



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**Análisis del Programa Nucleoeléctrico Propuesto
en el Programa de Energía de México y
Posibles Alternativas.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N**

**CRUZ PEDRO DIAZ VALLE
JOSE ALEJANDRO BARRUETA AVILA
JOSE GABRIEL HERRERA BONILLA
VICTOR MANUEL GUEVARA HERNANDEZ**

MEXICO, D. F.

1983



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

Pág.

INTRODUCCION.- 1

CAPITULO PRIMERO

UBICACION DEL PROGRAMA NUCLEOELECTRICO DENTRO DEL
CONTEXTO GENERAL DEL PROGRAMA DE ENERGIA DE MEXICO
Y EXPOSICION DEL MISMO.- 5

1.1 Objetivos del Programa de Energía. 7

1.2 Exposición del Programa Nucleoeléctrico. 9

1.3 Organismos de Apoyo al Programa Nucleoe-
léctrico. 12

CAPITULO SEGUNDO

DESCRIPCION DE LAS DIFERENTES TECNOLOGIAS NUCLEARES
Y DE LOS CICLOS DE COMBUSTIBLE CORRESPONDIENTES, --
ANALIZANDO LOS ASPECTOS AMBIENTALES. 17

2.1 La Energía Nuclear. 18

2.2 El Reactor Nuclear y su Funcionamiento. 26

2.3 Diferentes Tipos de Reactores 37

2.4 Ciclo del Combustible Nuclear. 56

2.5 Conversión de la Energía Nuclear en Elec-
tricidad. 82

2.6 Aspectos Ambientales de la Utilización de
la Energía Nuclear para la Producción de-
Energía Eléctrica. 84

CAPITULO TERCERO

PROBLEMAS DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA NUCLEAR Y DE POLITICA INTERNACIONAL IMPLICADOS EN UN PROGRAMA NUCLEAR MEXICANO.	93
3.1 Aspectos Estructurales.	94
3.2 Aspectos Económicos y Financieros.	106
3.3 Aspectos Políticos.	110

CAPITULO CUARTO

RECURSOS DE LAS DIFERENTES FUENTES DE ENERGIA PRIMARIA DE QUE DISPONE MEXICO PARA GENERAR ENERGIA - ELECTRICA.	118
4.1 Hidrocarburos.	120
4.2 Carbón.	126
4.3 Uranio.	127
4.4 Energía Hidráulica.	134
4.5 Energía Geotérmica.	138

CAPITULO QUINTO

PRONOSTICO DE LA DEMANDA FUTURA DE ENERGIA ELECTRICA.	143
5.1 Bases para el Pronóstico de la Demanda de Energía Eléctrica.	144
5.2 Cálculos de las Alternativas Generadas.	151
5.3 Resultados y Comparación de Alternativas.	158
5.4 Tablas y Gráficas.	160

CAPITULO SEXTO

PROPUESTA DE DIVERSIFICACION DE LOS MEDIOS DE GENERACION ELECTRICA PARA SATISFACER LA DEMANDA DE GENERACION NACIONAL FUTURA.	170
6.1 Comparación Económica de Centrales Generadoras.	171
6.2 Comparación Gráfica de Costos de Centrales Generadoras.	195
6.3 Propuesta de Diversificación de los Medios de Generación.	199
 BIBLIOGRAFIA.	 225

INTRODUCCION

Nuestro país ha dado un gran paso con la elaboración del Programa de Energía y se cuenta por primera vez con un plan nacional de energía a largo plazo, con metas concretas para 1990 y proyecciones al año 2000.

En la presentación de dicho programa se señala que -- "los detalles técnicos e incluso algunas de las metas concretas o de los supuestos de que parte, podrán y deberán seguirse discutiendo y afinando".

Por este hecho y buscando contar a largo plazo con un programa nucleoelectrico coherente, inscrito dentro de -- nuestras realidades nacionales, se realizó el presente trabajo de tesis, analizando el programa nucleoelectrico de -- México, dentro del contexto general del Programa de Ener-- gía y su participación en la diversificación energética, -- como medio de generación eléctrica hasta el año 2000.

La elaboración del presente trabajo de tesis, tiene -- la siguiente estructura:

En el capítulo primero se ubica el programa nucleoelectrico, dentro del contexto general del Programa de Energía de México, así como su exposición y mención de sus organis

mos de apoyo, para hacer posible el análisis de las proyecciones del programa nucleoelectrico al año 2000.

En el capítulo segundo se mencionan las características del aprovechamiento de la energía nuclear para producir energía eléctrica y se describen algunas de las diferentes tecnologías nucleares existentes en el mundo, con el fin de tener presente las tecnologías a utilizar en el desarrollo del programa nucleoelectrico.

En el capítulo tercero se analizan los principales problemas de transferencia de tecnología, aspectos políticos, económico-financieros y de recursos humanos, implicados en la realización del programa nucleoelectrico propuesto en el Programa de Energía, para determinar si es conveniente o inconveniente realizar el objetivo de 20,000 megawatts y sirva esto de base para la propuesta de diversificación.

En el capítulo cuarto se presenta la información actual disponible sobre los recursos energéticos de México, utilizados como fuentes primarias para generar energía eléctrica, con el fin de lograr el objetivo del Programa de Energía, de tener una mayor participación de las fuentes de energía primaria renovables y efectuar la diversificación de dichas fuentes.

En el capítulo quinto se establece el pronóstico del consumo de energía eléctrica al año 2000, utilizando para ello el método de H. Aoki, con el propósito de tener una referencia para definir la participación cuantitativa de los medios de generación del sector eléctrico nacional.

En el capítulo sexto se realiza la comparación económica de diferentes centrales generadoras de energía eléctrica, como una base para la justificación de la propuesta de diversificación de los medios de generación, y se complementa con una comparación gráfica de costos de generación y se analiza la contribución óptima de diferentes tipos de centrales, a diferentes factores de planta, con el método basado en el análisis llamado de punto de equilibrio.

Además, en este capítulo se efectúa la propuesta de diversificación de los medios de generación al año 2000, contemplando la participación de cada fuente de energía primaria para producir energía eléctrica, tomando en cuenta en dicha participación los recursos energéticos primarios y las posibilidades técnicas, económico-financieras, políticas y los recursos humanos con que cuenta nuestro país para lograr una mejor diversificación y un mejor desarrollo del país. Esta propuesta de diversificación constituye las conclusiones de este trabajo de tesis.

Por último, se presenta el resumen de las conclusiones a que se llegó en este trabajo de tesis.

CAPITULO PRIMERO

UBICACION DEL PROGRAMA NUCLEOELECTRICO DENTRO DEL CONTEXTO
GENERAL DEL PROGRAMA DE ENERGIA DE MEXICO Y EXPOSICION DEL
MISMO.

1.1 OBJETIVOS DEL PROGRAMA DE ENERGIA

1.2 EXPOSICION DEL PROGRAMA NUCLEOELECTRICO

1.3 ORGANISMOS DE APOYO AL PROGRAMA NUCLEOELECTRICO

UBICACION DEL PROGRAMA NUCLEOELECTRICO DENTRO DEL CONTEXTO
GENERAL DEL PROGRAMA DE ENERGIA DE MEXICO Y EXPOSICION DEL
MISMO.

El Programa de Energía de México fue elaborado por la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial a fines de 1980 y el día 4 de febrero de 1981 apareció en el Diario Oficial el Decreto Presidencial por el que se hace obligatorio su cumplimiento¹.

Por primera vez México cuenta con un plan nacional de energía a largo plazo con metas concretas para 1990 y proyecciones al año 2000.

El Programa de Energía deriva sus principales lineamientos del Plan Global de Desarrollo y del Plan Nacional de Desarrollo Industrial. Se parte de objetivos y metas de carácter global para ir profundizando, afinando y detallando por sectores y ramas específicas.

El Programa de Energía está dividido en ocho capítulos y varios apéndices. En el capítulo primero se destacan los aspectos principales del programa en su conjunto; el segundo plantea los objetivos del programa, establece -

(1) Sólo se publica en el Diario Oficial el resumen y conclusiones del programa.

sus prioridades y destaca sus vínculos con la industria, - el desarrollo regional y el sector externo. El tercer capítulo expone el marco macroeconómico y sectorial del programa. El capítulo cuarto fija las metas del programa a 1990 y analiza su impacto conjunto en los balances de energía del país. Los siguientes tres capítulos abordan la misma problemática por tipo principal de energético: petróleo y gas, carbón y electricidad, incluyendo en este último las distintas fuentes primarias de generación, las cuales son:

- Uranio
- Carbón
- Hidroeléctrica
- Combustóleo
- Gas Natural

El capítulo octavo se refiere a las acciones necesarias para instrumentar el programa, así como su seguimiento y evaluación.

1.1 OBJETIVOS DEL PROGRAMA DE ENERGIA

El objetivo principal del programa es aprovechar la dotación de energéticos disponibles y su uso para apoyar el desarrollo económico del país. Ello implica, en primer

lugar, expandir la producción de energéticos en función de las necesidades de un crecimiento económico equilibrado. - En segundo lugar, significa captar los recursos derivados de la explotación petrolera para destinarlos a actividades prioritarias.

Los objetivos específicos del programa son los siguientes:

- a).- Satisfacer las necesidades nacionales de energía primaria y secundaria.
- b).- Racionalizar la producción y el uso de energía.
- c).- Diversificar las fuentes de energía primaria, prestando particular atención a los recursos renovables.
- d).- Integrar el sector de la energía al desarrollo del resto de la economía.
- e).- Conocer con mayor precisión los recursos energéticos del país.
- f).- Fortalecer la infraestructura científica y técnica capaz de desarrollar el potencial de México en este campo y de aprovechar nuevas tecnologías.

En el presente trabajo de tesis se analiza el Programa nucleoelectrico, propuesto en el Programa de Energía de México y se dan posibles alternativas.

1.2 EXPOSICION DEL PROGRAMA NUCLEOELECTRICO.

Durante varios años se han realizado estudios de naturaleza diversa para analizar los aspectos de un programa nucleoelectrico nacional, cuya concepción se origina en la necesidad de diversificar los insumos energéticos primarios y en las ventajas de promoción industrial que traería consigo un programa, en contraste con la realización de proyectos nucleoelectricos aislados.

Respecto al aprovechamiento de la energía nuclear para generar electricidad, el Programa de Energía dice lo siguiente²:

"Con la entrada en operación en 1983 y 1984 de los reactores de Laguna Verde, y con una unidad más a ponerse en marcha antes de que termine el decenio, México contará en 1990 con capacidad nucleoelectrica del orden de 2,500 MW. Con estas plantas, y con otras más cuya construcción se iniciará durante los años ochentas, se prepararán las primeras generaciones de técnicos y obreros mexicanos en este campo. Este esfuerzo en materia nuclear obedece, entre otras razones al convencimiento de que la única forma efectiva de asimilar una tecnología es mediante su aplicación práctica".

(2) FUENTE: BOLETÍN INFORMATIVO DEL SECTOR ENERGETICO
AÑO 4, No. 11, NOV. 1980.

"El último decenio ha visto el inicio de importantes programas de investigación en diversas áreas de la tecnología nuclear. En el futuro se prevén desarrollos en nuevos combustibles, en el diseño de reactores más eficientes y nuevas normas y dispositivos de seguridad. Por ejemplo es probable que hacia finales de siglo esté disponible comercialmente la tecnología de los llamados reactores de cría, lo que podría modificar el panorama de la energía nuclear en el mundo. Es imperativo que México cuente con cuadros técnicos del más alto nivel, condición necesaria para aprovechar estos avances en el largo plazo".

"Además de las dos plantas nucleopléctricas que deberán estar en operación en 1990, se propone iniciar a partir de 1981 la selección de sitios y tecnologías para las unidades que empezarán a funcionar durante los años noventa. El objetivo planteado es que a finales de siglo se tengan instalados 20,000 MW de capacidad nuclear. Durante el presente decenio se contará con un plazo razonable para -- precisar las dimensiones y las características técnicas -- del esfuerzo en esta materia. Sin embargo, alcanzar dicho objetivo supone tomar acciones inmediatas. Ello se debe a que los períodos de maduración de los proyectos son particularmente extensos en este campo y a la necesidad de dar a la industria nacional el tiempo suficiente para que pue-

da vincularse adecuadamente al desarrollo de una actividad en la que no se tiene todavía experiencia en el país".

"Hay por el momento varias tareas a realizar. Las reservas probadas de uranio sólo alcanzarán para la vida - - útil de Laguna Verde. Por su parte, la recuperación de este combustible como subproducto del procesamiento de la roca fosfórica con que cuenta el país, permitirá nutrir los reactores que se proyectan para finales de los años ochenta. Todo ello hace aconsejable reforzar los programas de - Uramex (Uranio Mexicano) en materia de exploración de uranio en México. Así mismo, es necesario continuar con los estudios para determinar posibles localizaciones de plantas a instalarse en el futuro, atendiendo a sus características sísmicas, y a los problemas de enfriamiento de agua y de almacenamiento de desechos".

"Por último, deben concluirse los estudios encaminados a elegir las tecnologías de los nuevos proyectos. Es probable que, al igual que en el caso de la siderurgia, la mejor solución fuera no optar por un solo tipo de reactor sino combinarlos para mantener un mayor margen de maniobra, flexibilidad y autodeterminación tecnológica. En cualquier caso, la decisión correspondiente no deberá demorarse".

1.3 ORGANISMOS DE APOYO AL PROGRAMA NUCLEOELECTRICO.

El programa nucleoelectrico no se puede llevar a cabo solamente por la Comisión Federal de Electricidad, quien se encargará de la construcción, operación y mantenimiento de las plantas nucleoelectricas por lo que se tiene la necesidad de contar con organismos de apoyo, los cuales se encargarán de proporcionar la materia prima y el combustible³, así como supervisar la seguridad y encargarse de los aspectos de investigación nuclear.

En el Diario Oficial del 26 de enero de 1979 se promulgó la Ley Nuclear en donde se crean los organismos de apoyo siguientes:

- a).- Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA)
- b).- Uranio Mexicano (URAMEX)
- c).- Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ)
- d).- Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS)

(3) Entendiéndose como materia prima el mineral de uranio y por combustible dióxido de uranio (UO_2).

a).- COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA.

La Comisión Nacional de Energía Atómica tendrá las siguientes atribuciones:

- Coordinar los planes de trabajo y las actividades de los organismos públicos descentralizados del sector nuclear, como son, ININ y URAMEX.
- Hacer los estudios y formular los proyectos y programas que servirán de base al Ejecutivo Federal para ejercer las facultades siguientes:
 - 1.- Fijar los lineamientos relativos al aprovechamiento y desarrollo de la energía y tecnología nucleares, de acuerdo con la política nacional de energéticos.
 - 2.- Autorizar los programas y proyectos sobre el uso y aplicación de energía nuclear, que deberán someter a su consideración las entidades públicas o privadas.

b).- URANIO MEXICANO.

Uranio Mexicano tiene por objeto ser el agente exclusivo del estado mexicano para explorar, explotar, beneficiar y comercializar minerales radioactivos; realizar las

diversas etapas del ciclo de combustible nuclear, excepto el quemado y en cuanto a aquellas operaciones que le sea imposible efectuar, ordenará y supervisará las que deban llevarse a cabo; Importar y exportar minerales radioactivos y combustibles nucleares, esto último una vez satisfechos los requerimientos que dicte el desarrollo energético nacional. Por lo que toca a las actividades de investigación básica e investigación y desarrollo tecnológico del ciclo de combustible nuclear, éstas serán realizadas en el ININ, bajo la coordinación y aprobación de la Comisión Nacional de Energía Atómica.

c).- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES.

El Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares -- tendrá por objeto planear y realizar la investigación y el desarrollo en el campo de las ciencias y tecnología nucleares, así como promover los usos pacíficos de la energía nuclear y difundir los avances alcanzados para vincularlos al desarrollo económico, social, científico y tecnológico del país.

Las atribuciones del ININ son:

Realizar la investigación pura y aplicada en los diversos campos de la ciencia y la tecnología nucleares; --

prestar asistencia técnica a URAMEX, CNSNS, CFE y a las entidades públicas y privadas que lo requieran, en el diseño y construcción de plantas nucleoelectricas y, en su caso, en la contratación de dichos servicios.

d).- COMISION NACIONAL DE SEGURIDAD NUCLEAR Y SALVAGUARDIAS.

La Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias ejercerá las siguientes funciones:

- Establecer normas para que en el desarrollo de la industria nuclear se garantice la seguridad de los habitantes del país.
- Vigilar que se cumplan en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos las disposiciones legales y los tratados Internacionales de los que México es signatario, en materia de seguridad nuclear, física, radiológica y salvaguardias.
- Revisar, evaluar y autorizar las bases para el diseño, construcción, operación, modificación y la documentación de plantas e instalaciones nucleares.
- Establecer y manejar el sistema nacional de contabilidad y control de materiales nucleares.

- Establecer normas de seguridad nuclear, física, radiológica y salvaguardias para el buen funcionamiento de las plantas e instalaciones nucleares del país.

CAPITULO SEGUNDO

DESCRIPCION DE LAS DIFERENTES TECNOLOGIAS NUCLEARES Y DE
LOS CICLOS DE COMBUSTIBLE CORRESPONDIENTES, ANALIZANDO -
LOS ASPECTOS AMBIENTALES.

- 2.1 LA ENERGIA NUCLEAR.
- 2.2 EL REACTOR NUCLEAR Y SU FUNCIONAMIENTO.
- 2.3 DIFERENTES TIPOS DE REACTORES.
- 2.4 CICLO DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR.
- 2.5 CONVERSION DE LA ENERGIA NUCLEAR EN ELECTRICIDAD
- 2.6 ASPECTOS AMBIENTALES DE LA UTILIZACION DE LA --
ENERGIA NUCLEAR PARA LA PRODUCCION DE ENERGIA -
ELECTRICA.

DESCRIPCION DE LAS DIFERENTES TECNOLOGIAS NUCLEARES Y DE
LOS CICLOS DE COMBUSTIBLE CORRESPONDIENTES, ANALIZANDO -
LOS ASPECTOS AMBIENTALES.

El objetivo de este capítulo es mencionar las características del aprovechamiento de la energía nuclear y la descripción de algunas de las tecnologías nucleares existentes en el mundo, para la producción de energía eléctrica.

2.1 LA ENERGIA NUCLEAR

La energía nuclear es la energía almacenada dentro del núcleo del átomo y proviene de las fuerzas nucleares que mantienen unidos a los protones con los neutrones en el mismo.

El átomo está formado por un núcleo alrededor del cual giran los electrones (partículas con carga eléctrica negativa), y que está compuesto por protones (partículas con carga eléctrica positiva), y neutrones (partículas sin carga eléctrica). Ver figura 2.1 .

MODELO ATOMICO DE BHOR

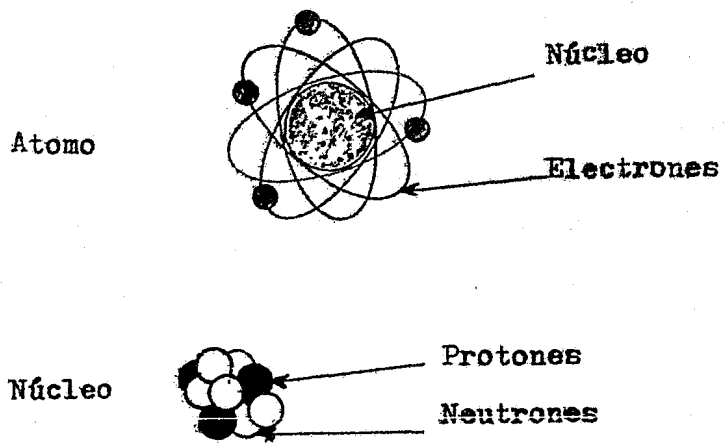


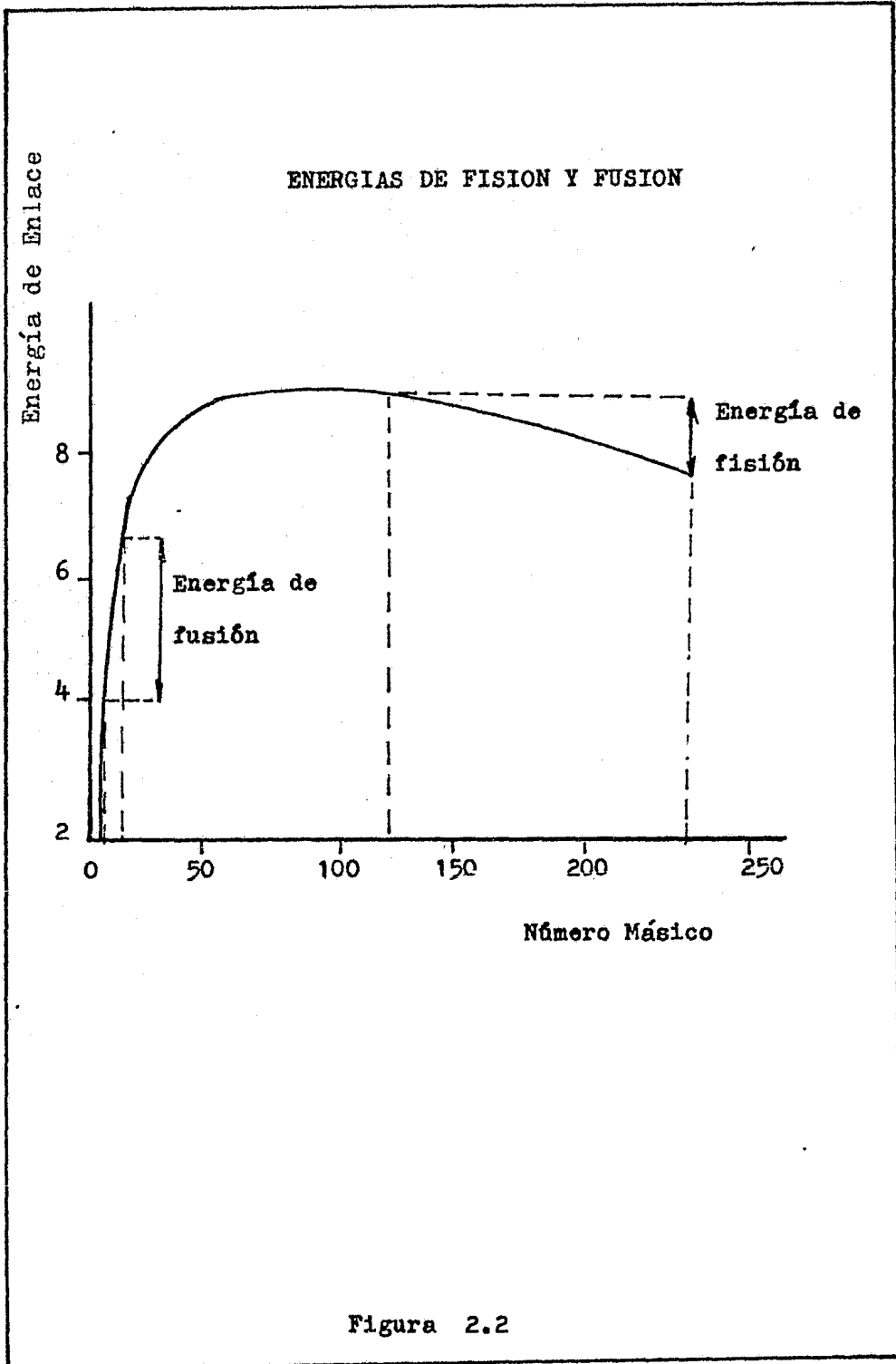
Figura 2.1

Como se puede deducir en la figura 2.2, que muestra gráficamente la energía de enlace en función del número másico de los elementos, existen dos formas para el desprendimiento de energía del núcleo atómico y nos lleva a concluir que los núcleos con masa atómica alrededor de 60 son los más estables, ya que tienen las mayores energías de enlace por nucleón (protón y neutrón). Se puede predecir -- que se liberarán grandes cantidades de energía al romperse los núcleos preferentemente con masas mayores a 60, de manera que se requiere menos energía para realizarlo (fisión). Se puede también predecir que si los núcleos con masas mucho más bajas que 60 pudieran combinarse para producir núcleos más pesados, se desprenderían cantidades aún -- mayores de energía nuclear (fusión).

Para liberar la energía nuclear es necesario llevar a cabo una reacción en la cual resulte una masa menor que la suma de las masas de los núcleos iniciales. Esta deficiencia de masa en el proceso se convierte en energía térmica de acuerdo con la equivalencia entre masa y energía dada -- por Einstein en 1905, la cual expresada literalmente es como sigue:

$$E = M C^2$$

Donde: E - Energía de enlace
M - Defecto de masa
C - Velocidad de la luz (3×10^8 m/s.)



REACCION DE FUSION.- Es la unión de dos núcleos ligeros, por ejemplo deuterio ($D_2 O$) y tritio ($D_3 O$), ambos isótopos¹ del hidrógeno (ver figura 2.3), para producir un elemento más pesado, como es el Helio. La reacción genera una ganancia neta de energía considerable ya que el núcleo final, aunque más pesado que alguno de los originales, pesa menos que la adición de los núcleos iniciales. - Este fenómeno se produce solamente en condiciones de temperatura mayores a los 110 millones de grados centígrados; - en la actualidad está en fase de investigación la producción de este fenómeno en forma controlada.

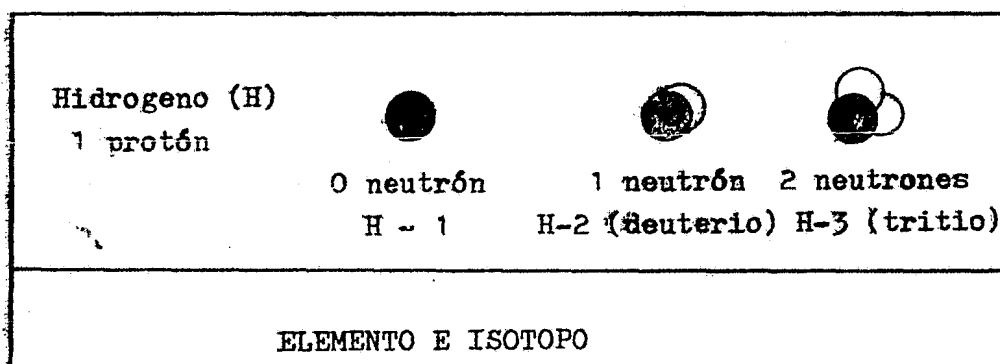


Figura 2.3

(1) Elementos con diferente número de neutrones pero con igual número atómico.

REACCION DE FISION.- En el año de 1938, Otto Hahn y Fritz Strassmann bombardearon el uranio con neutrones y obtuvieron una variedad de elementos conocidos, con números atómicos entre los de criptón ($Z=36$) y los del bario ($Z=56$) y una gran cantidad de energía. Sin estar completamente seguros de lo que había pasado publicaron sus descubrimientos.

En Dinamarca, la Dra. Lise Meitner, una eminente científica que hacía poco había salido de Alemania, tuvo conocimiento de los experimentos y los discutió con Neils Bohr y Otto R. Frisch. Los doctores Meitner y Frisch advirtieron pronto que lo que debió haber pasado es que los núcleos de uranio habían sido divididos durante el proceso, es decir, "Fisionado", palabra nueva que inventaron para designar lo que había sucedido.

Por lo tanto la fisión consiste en la separación de núcleos pesados en dos núcleos más ligeros con deficiencia de masa. Un neutrón impacta a un núcleo pesado (Por ej. uranio 235) fisionándolo, lo cual origina tres efectos principales (ver figura 2.4).

tro. El núcleo se separa en varias partes que constituyen los núcleos de átomos nuevos denominados productos de

fisión y son en general altamente radioactivos².

2do. Se escapan del núcleo 2.5 neutrones en promedio con una velocidad del orden de 20,000 Km/s.

3ro. Se libera una cantidad de energía cinética de los productos de fisión, la cual se manifiesta como energía calorífica.

Este fenómeno se repite sistemáticamente y se le conoce como reacción en cadena.

(2) Radioactivos: Elementos que emiten radioactividad.

Radioactividad.- Es el mecanismo de desintegración espontánea de ciertos isótopos, que se hace patente por la emanación de partículas atómicas o fotones electromagnéticos.

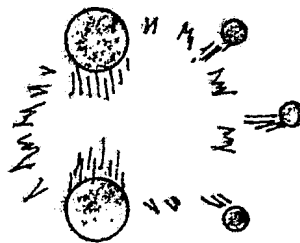
FISION DEL URANIO



Neutrón



Núcleo de
U-235



Productos
de fisión

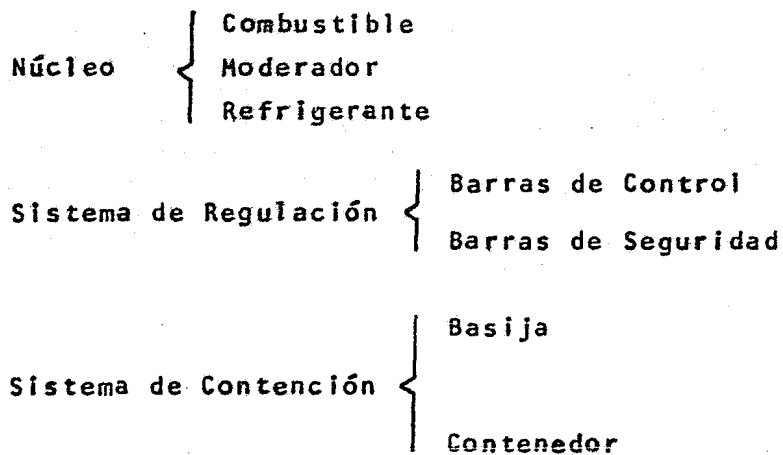
Nuevos
Neutrones

Figura 2.4

2.2 EL REACTOR NUCLEAR Y SU FUNCIONAMIENTO

Un reactor nuclear es un dispositivo en el cual se -- puede llevar a cabo una reacción de fisión en cadena y que se puede controlar a voluntad.

El reactor nuclear está integrado por los siguientes componentes básicos, que son:



Sistema de Extracción de Calor

NUCLEO.- Es la región donde tiene lugar la reacción nuclear exotérmica³ y es comparable al hogar de una caldera, es - decir, que allí se produce el calor. (ver figura 2.5).

(3) Exotérmica: Liberación de energía debido a una reac- - ción química.

VASIJA DE UN REACTOR (BWR)

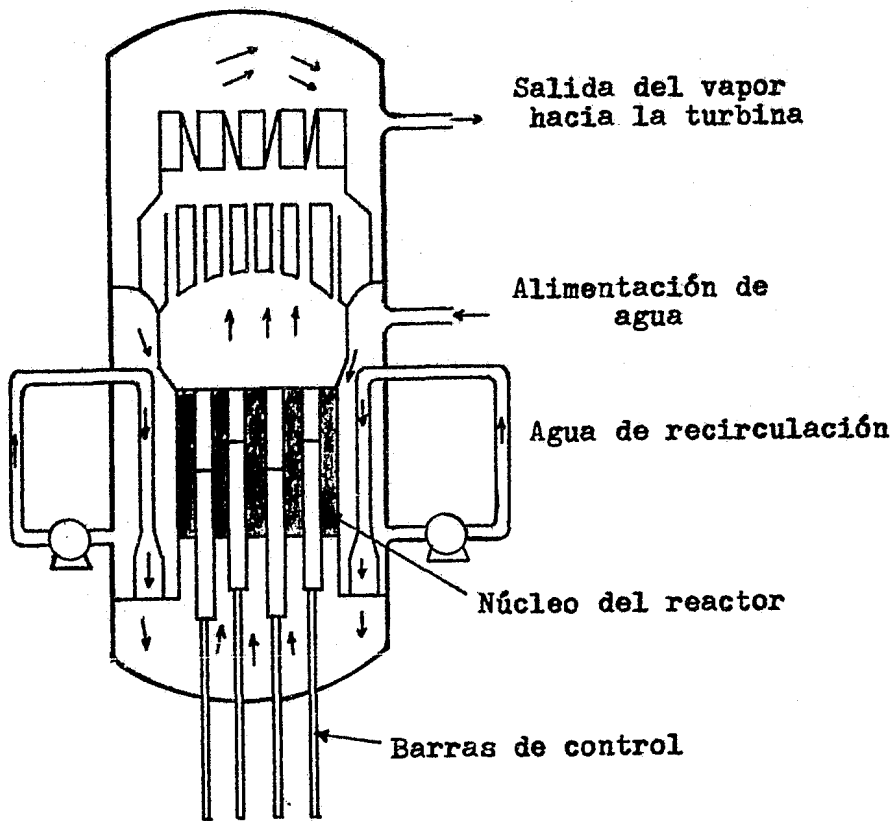


Figura 2.5

COMBUSTIBLE.- Aún cuando dentro de los reactores no se efectúa ninguna combustión en el sentido real de la palabra, se denomina combustible, por analogía, al material que contiene uno o más isótopos fisionables. Es por tanto el componente en el que, a consecuencia de la fisión nuclear, se produce la mayor cantidad de energía calorífica.

Conviene distinguir entre material fisionable (U-233, U-235, Pu-239) y material fértil (U-238, Th-232). Este último es el que, mediante una reacción nuclear con neutrones, da lugar al primero.

MODERADOR.- Es el material empleado en un reactor, esparcido con el combustible (puede ser el mismo refrigerante primario), para reducir la velocidad y la energía de los neutrones rápidos que son expelidos durante la fisión nuclear, para convertirlos en neutrones lentos y poder provocar así nuevas fisiones.

Los moderadores más empleados son: el grafito, el agua ordinaria y el agua pesada, los cuales están compuestos de núcleos ligeros.

REFRIGERANTE.- El calor liberado en el seno del combustible por la fisión nuclear y que sirve para producir vapor, se saca del reactor por un sistema termodinámico que puede

ser simple (circuito primario) o doble (circuito primario y secundario). La función del refrigerante es la de evitar daños en las estructuras y transferir la energía al exterior del reactor. El refrigerante debe tener las siguientes características:

- 1.- Ser suficientemente estable químicamente en presencia de reacciones nucleares.
- 2.- Capturar el menor número posible de neutrones.
- 3.- Tener capacidad y conductividad térmicas elevadas.
- 4.- No corroer los encamisados del combustible ni los demás componentes del reactor.

La selección del medio refrigerante representa una decisión fundamental al realizar el diseño de un reactor. -- Los refrigerantes puede ser:

- 1.- Agua natural en el caso de los reactores de uranio enriquecido.
- 2.- Gas carbónico, helio, agua pesada o líquidos orgánicos, para el caso de los reactores de uranio natural y otros tipos.

SISTEMA DE REGULACION.- Este sistema sirve para mantener y regular la reacción en cadena a un nivel determinado y para detenerla inmediatamente si se detecta una situación-

anormal. Está compuesto por barras formadas por materiales que tienen la propiedad de capturar ávidamente los neutrones y al apagar el reactor, esas barras quedan siempre dentro del núcleo. Está compuesto de los siguientes dos subsistemas:

BARRAS DE CONTROL.- Las barras de control tienen por objeto controlar la reacción en cadena lo cual se logra introduciendo o sacando del núcleo dichas barras, las cuales están hechas de aleaciones de plata y cadmio o acero y boro; también algunas veces, de metal Hafnio (Hf). Estas barras rápidamente absorben neutrones y por lo tanto pueden retardar la fisión y la reacción en cadena.

BARRAS DE SEGURIDAD.- Las barras de seguridad de composición análoga a las barras de control, entran al reactor automáticamente bajo la acción de su propio peso o de un mecanismo rápido apropiado, cuando por razones de seguridad se desea que la reacción se detenga instantáneamente.

SISTEMA DE CONTENCIÓN.- Este sistema es de vital importancia para la seguridad de los trabajadores, público en general y medio ambiente, ya que como su nombre lo indica, su misión es la de contener los productos radioactivos que se producen en el seno del combustible, mediante barreras sucesivas y por otro lado, el evitar que las radiaciones pe-

netrantes alcancen al hombre. Comprende los siguientes --
dos subsistemas:

VASIJA.- Es un recipiente cerrado de acero que con--
tiene el núcleo de combustible del reactor, su coraza tér--
mica y los pasos para dirigir el flujo del refrigerante, --
teniendo según el diseño del reactor, diferentes dispositi--
vos contenidos internamente.

CONTENEDOR.- Como partes del sistema de contención,--
se incluyen, el primario y el secundario. En el contene--
dor primario se da albergue a todo el sistema de genera--
ción de vapor y a los sistemas auxiliares de seguridad en
caso de emergencia, además protege al personal de la plan--
ta, de las radiaciones. Este edificio de concreto o de --
acero es de grandes dimensiones tanto en altura como en el
grosor de sus paredes.

El contenedor secundario es un segundo medio para con--
tener las fugas de vapor o de agua del reactor y al igual--
que el contenedor primario, forma una barrera adicional --
contra la liberación de radiaciones al exterior (edificio--
del reactor).

SISTEMA DE EXTRACCION DE CALOR.- El circuito de transmi--
sión de calor incluye los intercambiadores que transmiten

el calor del refrigerante, al circuito agua-vapor y por otro lado a la tubería y bombas.

FUNCIONAMIENTO.- El combustible nuclear es colocado dentro del reactor en forma de pastillas, formando las barras combustibles, que en su conjunto con otros elementos constituyen el núcleo del reactor. Dichas barras están rodeadas por el moderador. En la figura 2.6 cuadro (a), se indica que de alguna manera se bombardean las barras combustibles con neutrones térmicos, es decir neutrones que son suficientemente lentos para poder causar fisiones. El cuadro (b) muestra que después del choque se produjo la fisión. En el cuadro (c) se ilustra lo que ocurre después de la fisión, es decir, el nacimiento de 2.5 neutrones en promedio (con velocidades altas) y el alejamiento de los dos productos de fisión. Los productos de fisión chocan de inmediato con los núcleos vecinos, perdiendo su energía. Esta energía se transforma en calor (mostrada con flechitas), haciendo que las barras combustibles aumenten de temperatura.

La energía térmica generada es removida mediante el refrigerante para producir vapor.

En el cuadro (d) se puede ver que un par de neutrones escapan de la barra, después de que el otro pudo haber sido

LA REACCION EN CADENA

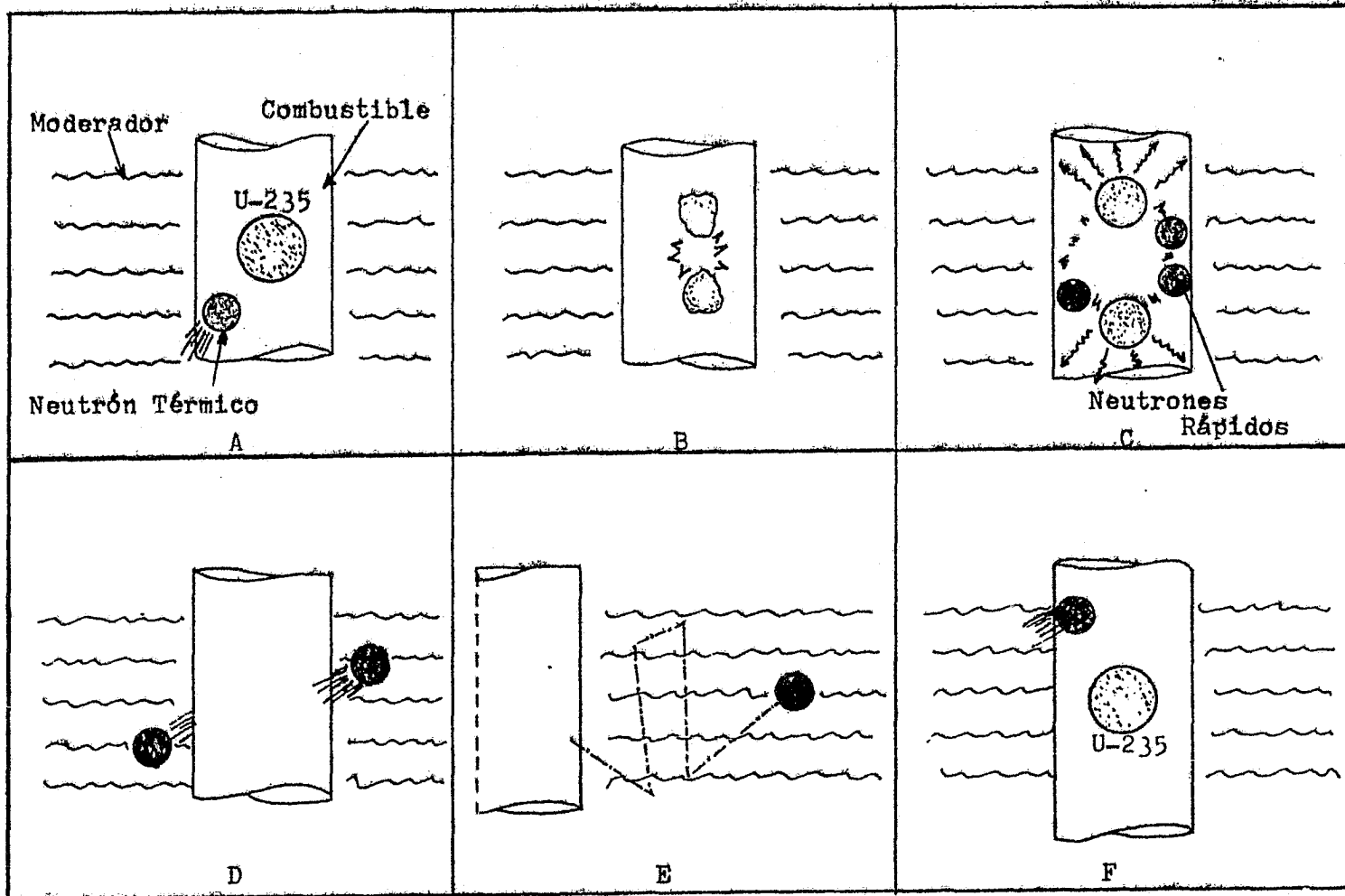


Figura 2.6

absorbido por materiales llamados "venenos"⁴. En el cuadro (e) se muestra que los neutrones que sobrevivieron se internan en el moderador en donde comienzan a sufrir colisiones, y por lo tanto van perdiendo su energía hasta que llegan a tener una cierta cantidad de ésta, que los pone en posibilidad de causar una nueva fisión. Durante este proceso de moderación, otro de los neutrones se perdió al ser absorbido por algún átomo (del moderador o del combustible) porque se escapó del sistema.

Finalmente, en el cuadro (f) encontramos una situación idéntica a la del cuadro (a); es decir, se estableció un ciclo en el que un proceso puede ocurrir una vez tras otra, indefinidamente. A este proceso se le denomina reacción de fisión en cadena. A los neutrones que intervienen en cada ciclo se les llama generaciones.

Este proceso de reacción en cadena nos lleva a tres diferentes estados de reacción, determinados por el factor de multiplicación K , que se define como el factor por el cual se multiplica el número de fisiones de una generación a la siguiente. Si dicho factor es la unidad, se mantiene constante la reacción en cadena y se le llama estado crítico de la reacción.

(4) Veneno: Cualquier material con alta probabilidad de captación neutrónica.

Si el factor es menor que la unidad, se tiene menor número de neutrones de una generación a la siguiente; a este estado se le llama subcrítico. Por último si el factor es mayor que la unidad, se tiene mayor número de neutrones de una generación a la siguiente, por lo que se le llama estado supercrítico.

En la figura 2.7, se muestra la forma en que se controla la reacción. Con una barra de control (barra de material absorbedor de neutrones), se regula la población de neutrones a voluntad en un ensamble supercrítico, simplemente introduciéndola o extrayéndola. De esta forma, si se quiere que el reactor opere a una cierta potencia, se introducen o se retiran las barras de control, hasta que la potencia llegue al nivel deseado. Adicionalmente a las barras de control se utilizan las de seguridad que entran al reactor automáticamente, por gravedad o por un mecanismo impulsor apropiado, cuando por razones de seguridad se desea parar rápidamente la reacción nuclear.

LAS BARRAS DE CONTROL

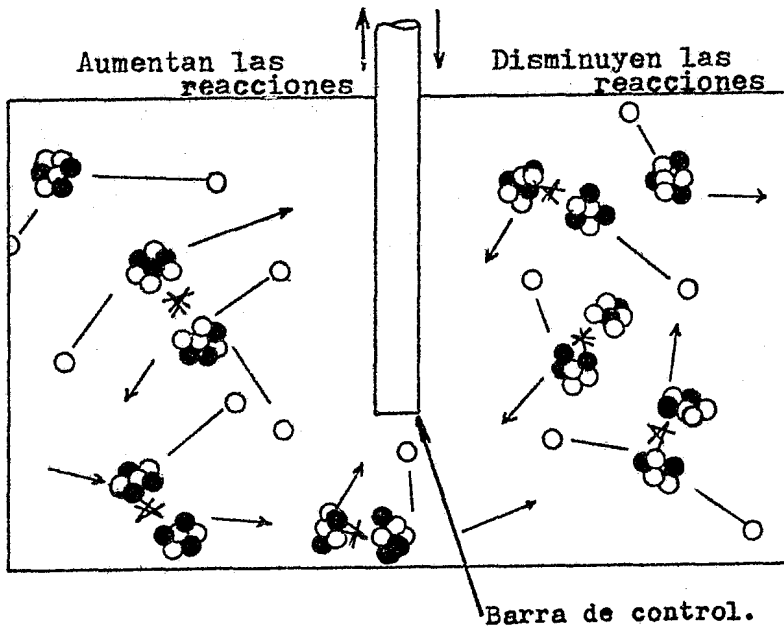


Figure 2.7

2.3 DIFERENTES TIPOS DE REACTORES

Hay muchos tipos de reactores nucleares, que podemos clasificar de muchas formas, pero para el tema que aquí se trata se pueden dividir en dos grandes grupos: Los reactores de investigación y los reactores de potencia.

Los reactores de investigación son aquellos que están diseñados para producir potencias de $\pm 10 \text{ MW}_t$. Se emplean para suministrar una fuente de radiación intensa de neutrones y de rayos Gamma. Estos reactores no son exclusivamente para la investigación, ya que la mayoría tienen otros objetivos, tales como la producción de radioisótopos, entrenamiento de personal y la enseñanza.

Los reactores de potencia tienen un propósito muy definido; la generación de energía eléctrica.

En el estado actual de la industria, los diseños que han ganado la más grande aceptación son todos los que emplean combustible sólido en forma de dióxido de uranio. El moderador puede ser tanto grafito como agua ligera o agua pesada. Y como refrigerante puede emplearse agua ligera o pesada, gas o sodio líquido.

Existen diferentes tipos de reactores de potencia en

el mundo, algunos de los cuales son los siguientes, enunciando sus características principales.

Orden de presentación: Sigla; explicación de la sigla; enfriador; moderador; combustible.

- AGR - Advanced Gas Reactor; gas; grafito; uranio ligeramente enriquecido. Desarrollado en Inglaterra por la United Kingdom Atomic Energy Authority -- (UKAEA).
- BHWR - Boiling Heavy Water Reactor; agua pesada en ebullición; agua pesada; uranio natural. Desarrollado en Canadá por la Canadian General Electric.
- BWR - Boiling Water Reactor; agua ligera en ebullición; agua ligera; uranio ligeramente enriquecido. Desarrollado inicialmente en Estados Unidos por General Electric y Allis Chalmers; en Suecia por Asea-Atom; en la Unión Soviética por el Estado -- (una unidad de 50 MW_e). Alemania Federal, Italia y Japón son licenciatarios de General Electric.
- GLWR - Gas Light Water Reactor; agua ligera bajo presión; grafito; uranio natural ligeramente enriquecido. Desarrollado en Estados Unidos (una unidad de 784 MW_e netos) y en la Unión Soviética --

(diez unidades totalizando 584 MW_e netos). Este proceso fue desarrollado paralelamente al RBMK y sirvió en parte para su puesta en servicio.

- HTGR - High Temperature Gas Reactor; gas a alta temperatura; grafito; uranio enriquecido y torio. Desarrollado en Estados Unidos por General Atomic; - en Alemania Federal por Brown Boveri-Krup y en Europa por la OCDE (Proyecto Dragón).
- HWBLWR - Heavy Water Boiling Light Water Reactor; agua ligera; agua pesada; uranio natural. Desarrollado en Canadá por Atomic Energy of Canada Ltd (AECL).
- HWLWR - Heavy Water Light Reactor; agua ligera; agua pesada; uranio natural ligeramente enriquecido. En proceso de desarrollo en Japón por PNC (Power Reactor Nuclear Fuel Development Co.) y en Italia por NIRA (Nuclear Italian Reattori Avanzati).
- HWGCR - Heavy Water Gas Cooled Reactor; gas; agua pesada; uranio natural ligeramente enriquecido y uranio natural. Desarrollado en Francia (EL₄) y en Checoslovaquia (Bohunice A).
- LWBR - Light Water Breeder Reactor; agua ligera bajo presión; agua ligera; uranio enriquecido y torio. Desarrollado en Estados Unidos. Sobregenerador Térmico

mico de Shippingport-2, de 60 MW_e netos. Este --
reemplazó al Shippingport-1, que era PWR.

- MAGNOX - Magnox; gas; grafito; uranio natural. Desarrollado en Inglaterra por la United Kingdom Atomic --
Energy Authority (UKAEA). Fue reemplazado por --
los AGR.
- PHWR - Pressurized Heavy Water Reactor; agua pesada bajo presión; agua pesada; uranio natural. Desarrollado en Canadá por Atomic Energy of Canada Ltd-
(AECL); en Alemania Federal por Siemens-KWU; en la India por el Departamento de Energía Atómica y en Suecia por Asea-Atom (Agesta).
- PWR - Pressurized Water Reactor; agua ligera bajo presión; agua ligera; uranio ligeramente enriquecido. Desarrollado originalmente en Estados Unidos por Westinghouse, Combustion Engineering y Babcock & Wilcox; en Alemania Federal por Siemens-KWU y en la Unión Soviética por el Estado. Francia, --
Bélgica, Japón y Suecia son licenciatarios de --
Westinghouse.
- RBMK - Reactor Bolshoe Molchnastie Kipiachie (reactor -
hirviente de gran potencia); agua ligera en ebullición; grafito; uranio ligeramente enriquecido. Desarrollado en la Unión Soviética por el Estado.

- SGHWR - Steam Generating Heavy Water Reactor; agua ligera; agua pesada; uranio ligeramente enriquecido. Desarrollado en Inglaterra por la United Kingdom Atomic Energy Authority (UKAEA). Un solo reactor (Winfrith).
- UNGG - Uranium Naturel Graphite-Gaz; gas; grafito; uranio natural. Desarrollado en Francia por el Comisariado en Energía Atómica (CEA).
- VVER - Vode Vodjanie Energitcheskie Reactor (reactor - para calor de proceso agua-agua); agua ligera bajo presión; agua ligera; uranio ligeramente enriquecido. Desarrollado en la Unión Soviética por el Estado.

En nuestro caso nos limitamos a dar una breve explicación de los reactores de mayor aplicación comercial en la actualidad y de algunos otros de los que se han realizado prototipos a nivel industrial:

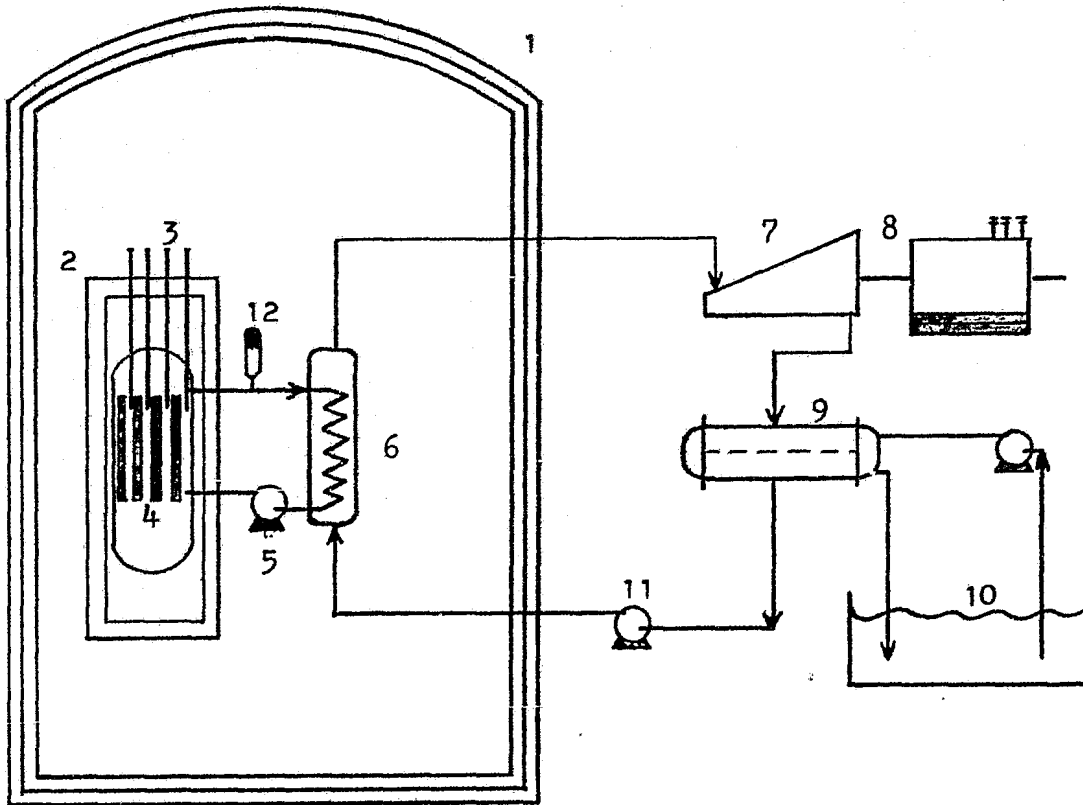
- 1.- Reactor de agua a presión (PWR)
- 2.- Reactor de agua hirviente (BWR)
- 3.- Reactor de agua pesada a presión (CANDU)
- 4.- Reactor de alta temperatura enfriado por gas - - (AGR) y (HTGR)
- 5.- Reactor rápido de crfa (se considera como reactor

de segunda generación).

1.- Reactor de agua a presión (PWR).- Este tipo de reactor utiliza como moderador agua ligera (agua común) y como combustible uranio 235 ligeramente enriquecido al 3% aproximadamente, ya que no es posible construir un reactor en el que se mantenga una reacción crítica, con solamente el 0.7% de Uranio 235 y agua ligera como moderador, debido a que ésta absorbe bastantes neutrones.

En estos reactores el refrigerante que circula a través del núcleo se mantiene a una presión alta, de tal manera que el agua no hierve; este circuito es cerrado y el agua se circula con el auxilio de una bomba. En el interior del generador de vapor, el circuito primario cede su energía al circuito secundario, de tal manera que el agua que circula en el circuito secundario se vaporiza y éste vapor se envía a la turbina, recuperándose después en el condensador para enviarse otra vez al generador de vapor en forma de agua; estos reactores utilizan un ciclo indirecto para la formación de vapor. (ver figura 2.8).

REACTOR DE AGUA A PRESIÓN (PWR)



- | | |
|----------------------------|--------------------------|
| 1 Contenedor de protección | 7 Turbina |
| 2 Vasija | 8 Generador eléctrico |
| 3 Barras de control | 9 Condensador |
| 4 Núcleo del reactor | 10 Agua de enfriamiento |
| 5 Bomba primaria | 11 Bomba de alimentación |
| 6 Generador de vapor | 12 Presurizador |

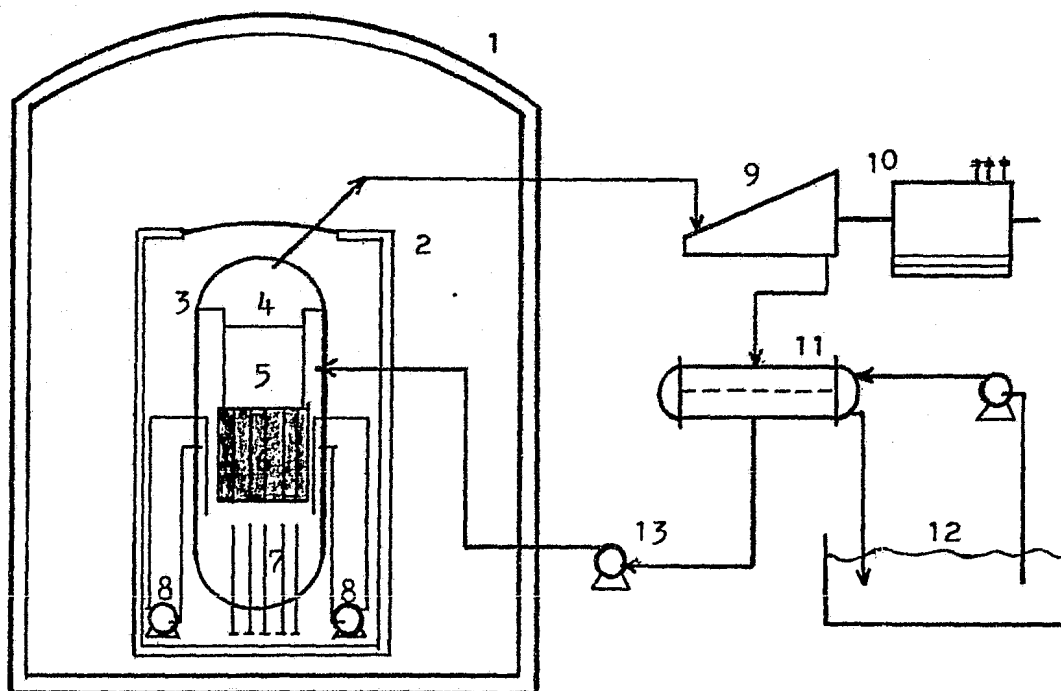
Figura 2.8

2.- Reactor de agua hirviente (BWR).- Este es el tipo de reactor que se está instalando en Laguna Verde, Veracruz.

En términos generales, el reactor BWR es similar al PWR; la única diferencia fundamental es que el circuito de enfriamiento del núcleo opera a una presión mucho más baja que en el caso del PWR, con lo cual el agua hierve al recibir el calor de las fisiones. Al hervir el agua dentro del núcleo y por lo tanto producir vapor, ya no es necesario tener un generador de vapor ni un circuito secundario, como puede verse en la figura 2.9 .

El vapor obtenido en el reactor pasa directamente a la turbina, de ahí al condensador, después del cual es necesario tratar el agua ya que contiene elementos radioactivos, para ser enviada nuevamente al reactor con el auxilio de varias bombas de alimentación para repetir el ciclo.

REACTOR DE AGUA HIRVIENTE (BWR)



- | | |
|------------------------|---------------------------|
| 1 Edificio del reactor | 8 Bombas de recirculación |
| 2 Contenedor primario | 9 Turbina |
| 3 Vasija | 10 Generador eléctrico |
| 4 Secador | 11 Condensador |
| 5 Separador | 12 Agua de enfriamiento |
| 6 Núcleo del reactor | 13 Bombas de alimentación |
| 7 Barras de control | |

Figura 2.9

3.- Reactor de agua pesada a presión (CANDU).- Este reactor es conceptualmente muy diferente a los anteriores. La diferencia más importante reside en que, aprovechando que el deuterio casi no absorbe neutrones, utiliza la combinación agua pesada (D_2O) - uranio natural.

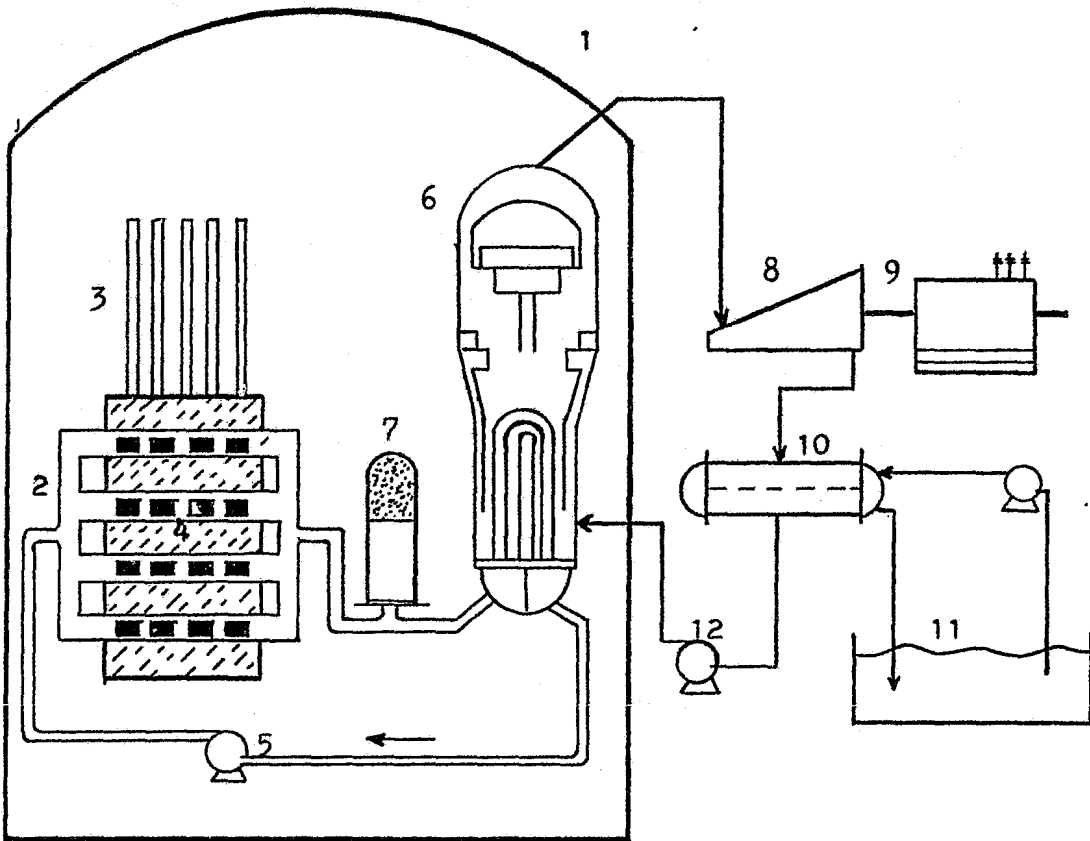
Otra diferencia fundamental es que utiliza tubos de presión en lugar de una gran vasija, como se muestra en la figura 2.10. Los elementos combustibles se colocan dentro de los tubos de presión. Estos tubos están contenidos dentro de un gran cilindro horizontal llamado Calándria.

El agua pesada que cumple la función de moderador está contenida en la calándria, rodeando a los tubos de presión. El agua pesada que hace las veces de enfriador, circula a través de los tubos es decir, entre los elementos combustibles, de los que recoge el calor de las fisiones.

La utilización de tubos de presión en lugar de la vasija de presión, permite que el combustible se cambie en funcionamiento o sea, sin apagar el reactor y sin siquiera bajarle la potencia.

En lo que resta el sistema es similar al PWR, en el sentido de que la presión de operación no permite la ebullición del agua en el núcleo del reactor; de ahí que también cuente con generadores de vapor y circuito secundario.

REACTOR DE AGUA PESADA (CANDU)



- | | |
|------------------------|--------------------------|
| 1 Contenedor | 7 Presurizador |
| 2 Calandria | 8 Turbina |
| 3 Barras de control | 9 Generador eléctrico |
| 4 Núcleo del reactor | 10 Condensador |
| 5 Bomba de agua pesada | 11 Agua de enfriamiento |
| 6 Generador de vapor | 12 Bomba de alimentación |

Figura 2.10

4.- Reactor de alta temperatura enfriado por gas.

4.1 Reactor (AGR).- Existe un tipo de reactor que se puede considerar de alta temperatura denominado, reactor avanzado de grafito - gas (AGR); que constituye el paso siguiente de los reactores grafito - gas tipo MAGNOX y que difieren fundamentalmente de éste en que utilizan como combustible, el uranio en forma de óxido y enriquecido al 2% aproximadamente. El gas carbónico o helio que sirven de refrigerante; está presurizado a 40 bars aproximadamente para tener una mejor transferencia térmica; la temperatura del gas a la salida del núcleo es bastante alta, del orden de 650°C y está limitada por la posibilidad de reacción del moderador de grafito con el bióxido de carbono.

En cambio el helio parece ser el refrigerante ideal, pero su disponibilidad limitada y su alto costo lo hacen poco atractivo. No tiene reacción química con el grafito, ni con la estructura del reactor. (Ver figura 2.11 a y 2.11 b).

REACTOR DE ALTA TEMPERATURA
ENFRIADO POR GAS (AGR)

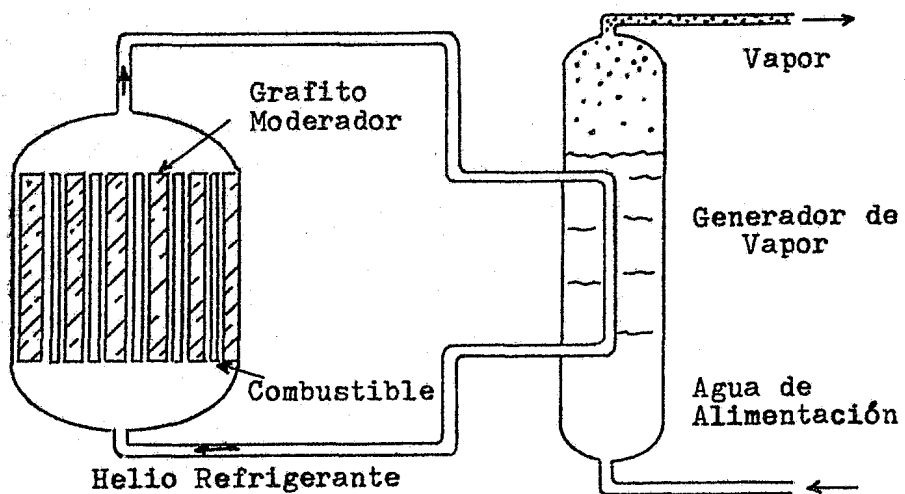
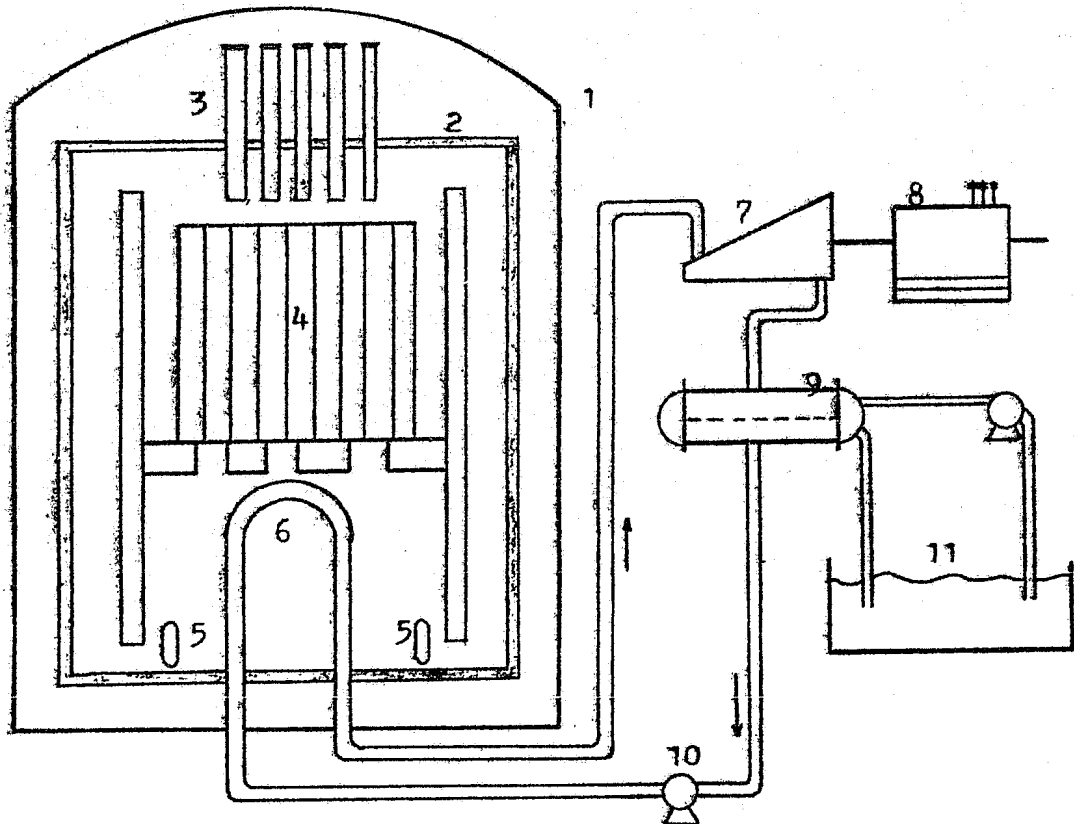


Figura 2.11a

REACTOR DE GRAFITO - GAS (MAGNOX)



- | | |
|----------------------|--------------------------|
| 1 Contenedor | 7 Turbina |
| 2 Vasija de concreto | 8 Generador |
| 3 Barras de control | 9 Condensador |
| 4 Núcleo del reactor | 10 Bomba de alimentación |
| 5 Ventilador | 11 Agua de enfriamiento |
| 6 Generador de vapor | |

Figura 2.11 b

4.2 Reactor (HTGR). - La siguiente generación de reactores enfriados por gas; son los llamados reactores de gas de alta temperatura (HTGR), o simplemente de alta temperatura, que han sido desarrollados recientemente y usan como moderador el grafito, pero el refrigerante es gas helio. - El combustible está constituido por uranio enriquecido y torio en forma de carburos; la proporción de material fisiónable en el núcleo, es del 4% aproximadamente. El combustible está rodeado por una cubierta de pirocarbono que resiste temperaturas mucho más altas que los combustibles metálicos y puede permanecer mucho tiempo en el reactor. - Las temperaturas que se alcanzan son hasta de 900 °C, lo que permitirá que estos reactores se puedan utilizar en un futuro como fuentes de calor industriales para las instalaciones siderúrgicas y para fábricas de productos químicos. (Ver figura 2.12).

REACTOR DE ALTA TEMPERATURA
ENFRIADO POR GAS (HTGR)

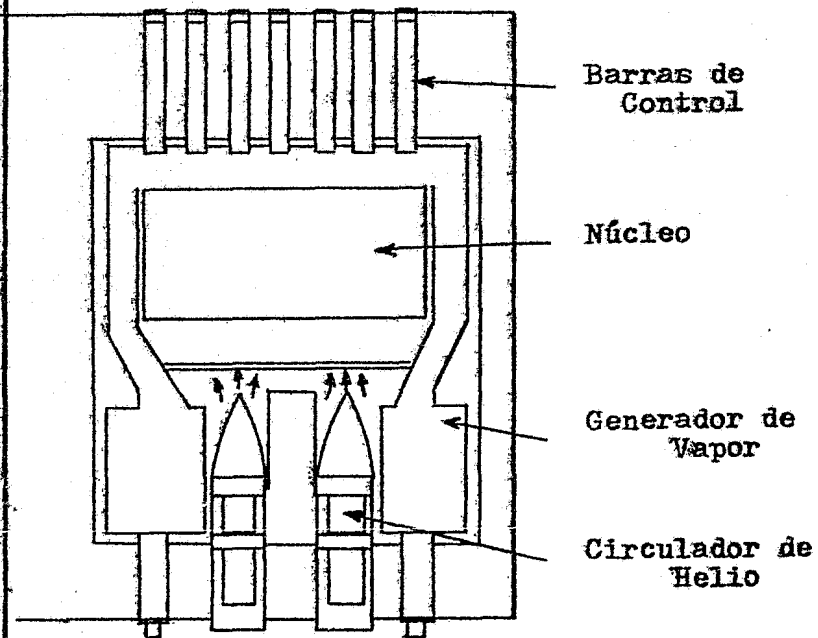


Figura 2.12

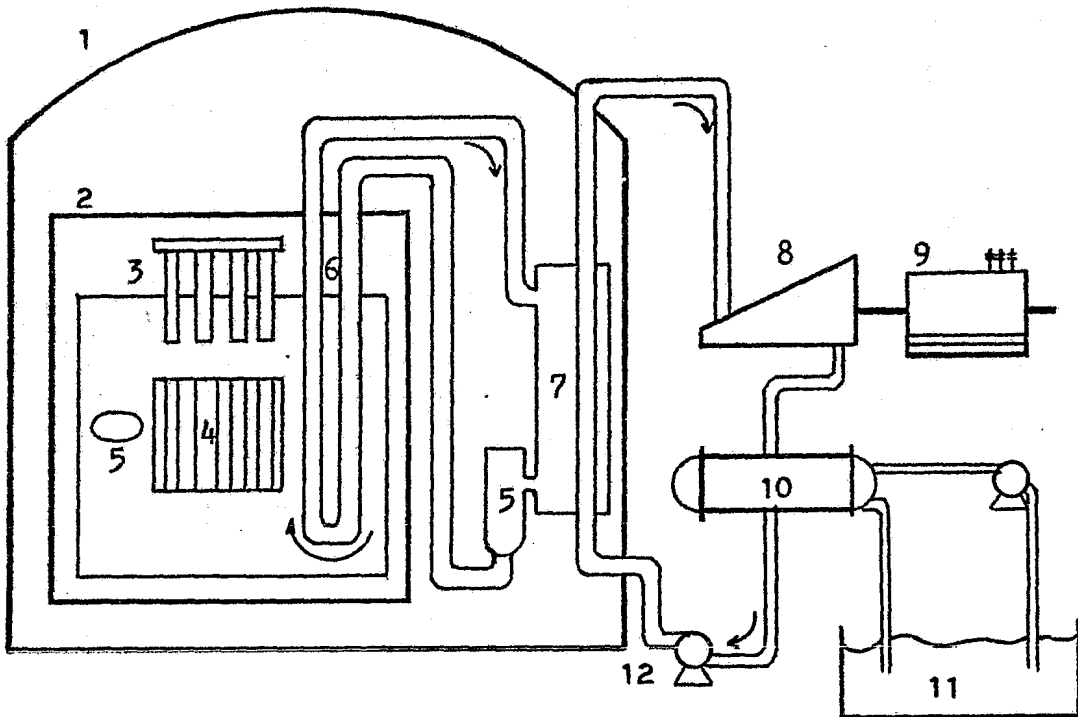
5.- Reactor rápido de cría.- En estos reactores que hasta la fecha están en etapa de prototipo, no hay moderador; el núcleo es de pequeñas dimensiones y el combustible está compuesto de óxidos mixtos de plutonio y de uranio enriquecido, de tal manera que se tenga una proporción alta de material fisionable; ésto se logra también teniendo uranio empobrecido y una alta proporción de plutonio. Para mantener la reacción no es necesario frenar los neutrones que son muy abundantes, ya que hay un buen número de núcleos fisionables.

Por otro lado no se usa moderador, para lograr un gran número de capturas en el Uranio 238 y así tener una buena generación de material fisionable que es el plutonio.

Alrededor del núcleo, están colocados los elementos de uranio empobrecido formando una cubierta. Los neutrones emitidos por el núcleo del reactor, son capturados por los núcleos de Uranio 238 que se transforman en Plutonio 239. De los 2.5 neutrones que se emiten en promedio con cada fisión, aproximadamente un neutrón sirve para mantener la reacción en el núcleo y un poco más de otro sirve para producir el plutonio en la cubierta. Por lo tanto, el reactor rápido de cría produce simultáneamente energía y combustible, pero en una cantidad mayor que la que él mismo consume y todo a costa del Uranio 238.

Debido a la elevada liberación de calor por unidad de volumen del núcleo, es necesario utilizar un refrigerante de gran capacidad calorífica, capaz de extraer el calor -- producido y que además no frene los neutrones; el refrigerante que se ha escogido, es el sodio líquido, aunque éste tenga una afinidad con los compuestos oxigenados y con el oxígeno mismo, al combinarse con ellos se producen reacciones exotérmicas violentas. Estos problemas se han resuelto aislando los circuitos de sodio, del agua y del aire. Por otro lado, como el circuito no está a presión, las posibilidades de fuga disminuyen. El sodio líquido tiene la ventaja de producir el vapor a temperaturas del orden de los 500 °C, a diferencia del agua que lo produce entre -- 300 °C y 400 °C. (Ver figura 2.13).

REACTOR RAPIDO DE CRIA (PHENIX)



- | | |
|---------------------------|--------------------------|
| 1 Contenedor | 7 Generador de vapor |
| 2 Vasija | 8 Turbina |
| 3 Barras de control | 9 Generador |
| 4 Núcleo del reactor | 10 Condensador |
| 5 Bombas de sodio | 11 Agua de enfriamiento |
| 6 Intercambiador de Calor | 12 Bomba de alimentación |

Figura 2.13

2.4 CICLO DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR

A diferencia del carbón, el uranio no puede ser utilizado en una central o planta nucleoelectrónica tal como sale de la mina; debe sufrir varias transformaciones antes de poder utilizarse en el reactor. Por otro lado, hay otros procesos que se deben de llevar a cabo después de que el combustible ha sido utilizado parcialmente en el reactor.

Mientras que los residuos provenientes de la combustión de los materiales fósiles no se pueden reciclar, el combustible irradiado que sale de un reactor contiene siempre plutonio y eventualmente algo de uranio enriquecido, que pueden ser utilizados en los mismos u otros reactores. El conjunto de estas transformaciones, que incluyen las que se efectúan en el reactor, se denomina ciclo de combustible nuclear.

El ciclo dura varios años y no es único, existen varios y se clasifican en función del tipo de reactor y del tipo de moderador.

Los ciclos más comunes son:

- a).- Ciclo de uranio natural (figura 2.14)
- b).- Ciclo de uranio enriquecido (figura 2.15)
- c).- Ciclo para reactores rápidos (figura 2.16)

Ciclo de uranio natural.

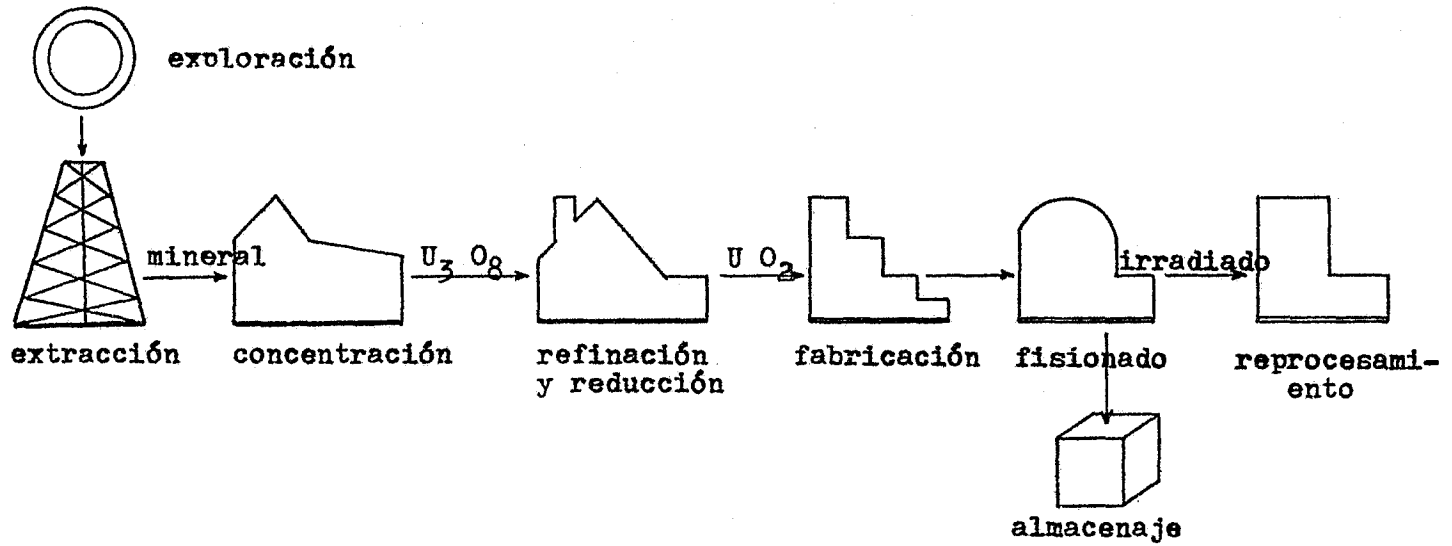


Figura 2.14

Ciclo de uranio enriquecido.

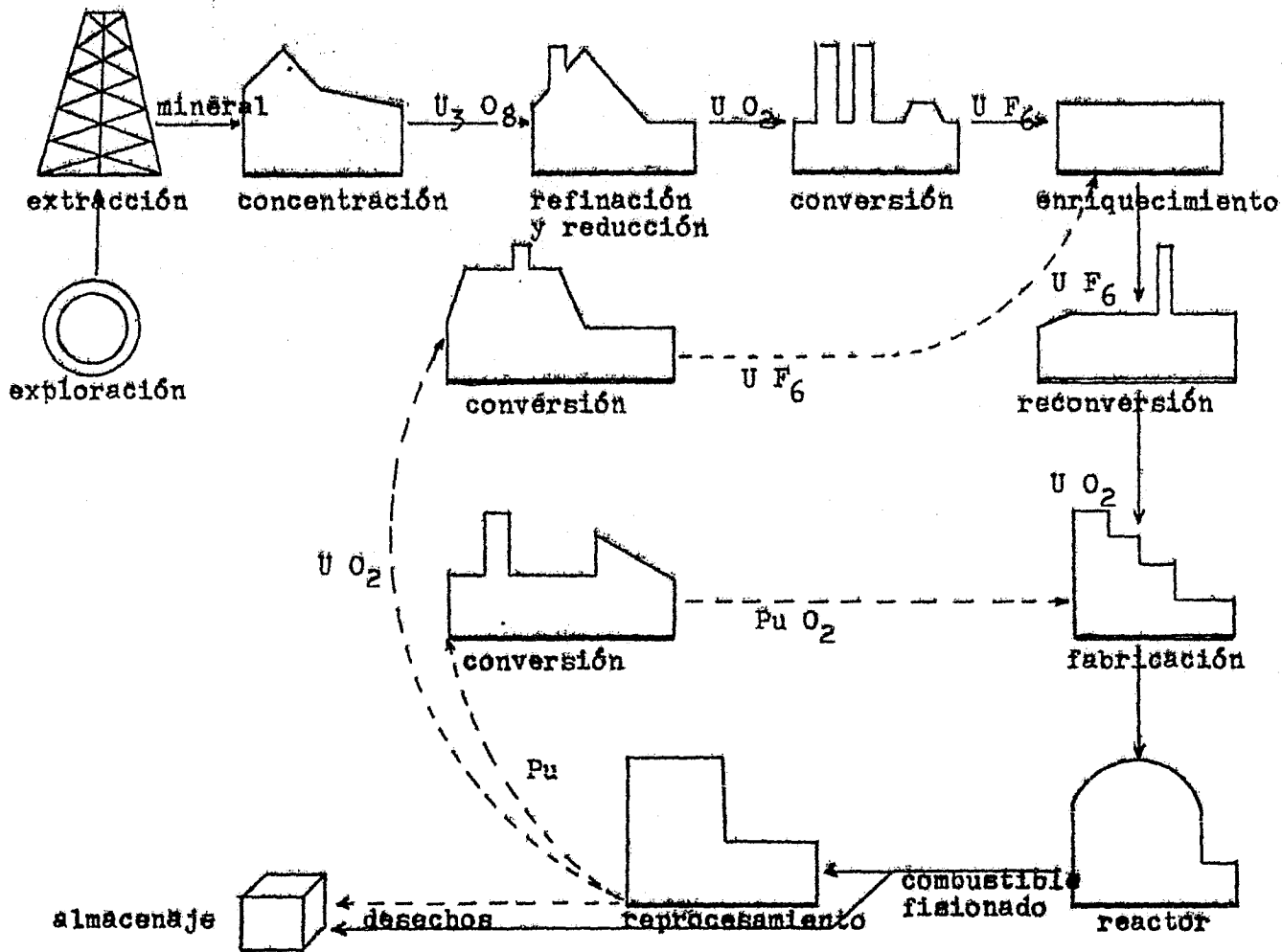


Figura 2.15

Ciclo para reactores rápidos.

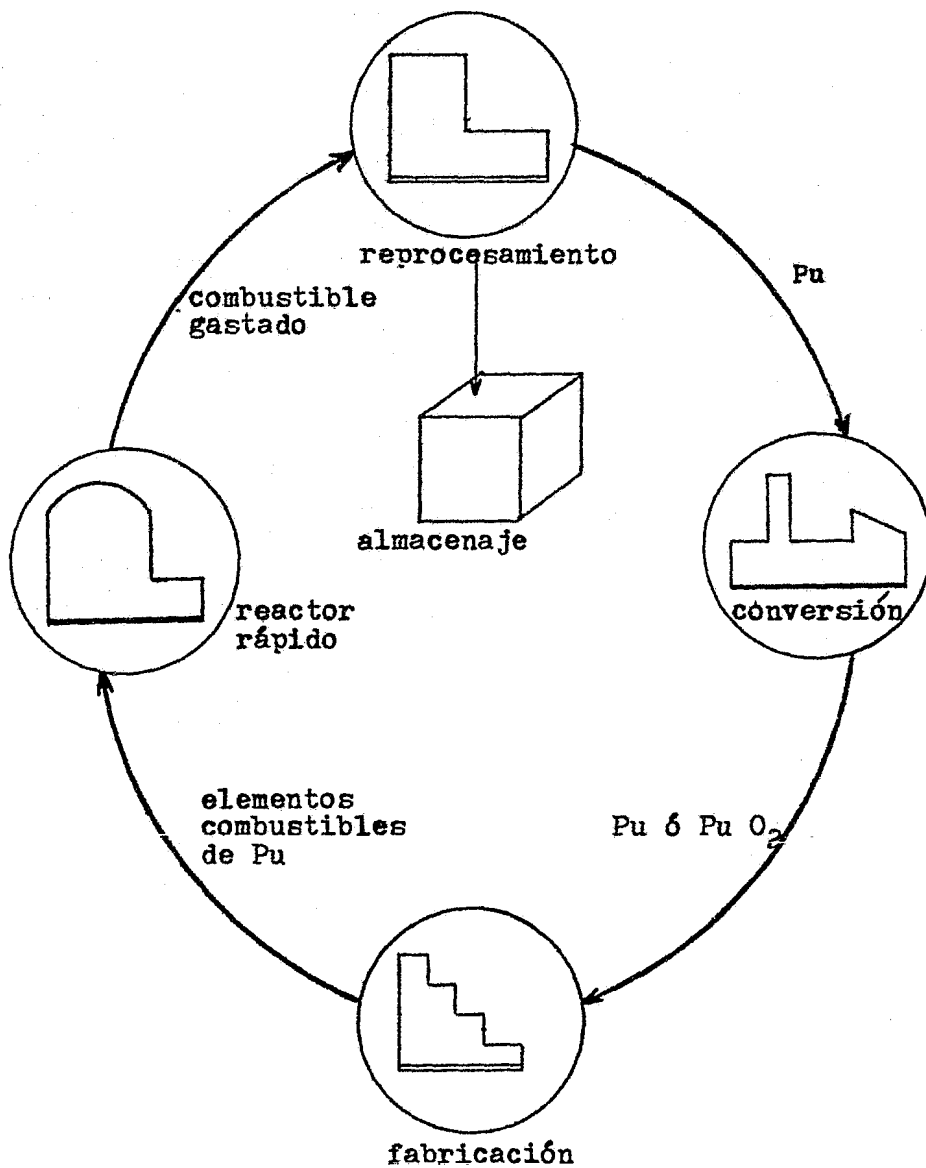


Figura 2.16

Las etapas del ciclo de combustible nuclear comprenden: exploración, extracción, concentración, enriquecimiento (si se requiere), fabricación de elementos fisionables, fisiónado en el reactor, reprocesamiento y almacenamiento de desechos radioactivos.

EXPLORACION.- Tiene el objetivo de encontrar y caracterizar yacimientos de uranio que sean económicamente aprovechables con las técnicas actuales.

La base para encontrar uranio es la geología, aunque sin ella también es posible localizar depósitos, pero de una manera casi casual.

Los métodos principales para localizar yacimientos se dividen en geofísicos y geoquímicos.

Los métodos geofísicos aprovechan principalmente las propiedades radioactivas del uranio y de otros elementos que forman su cadena de decaimiento. El método más común es la utilización de un espectrómetro de rayos gamma, con el que se mide la radiación en una área y luego se interpretan los datos para saber las concentraciones de potasio, torio y uranio.

Otro método que se utiliza como auxiliar es la radiometría aérea, que consiste en medir desde un avión o un --

helicóptero el gas radón (emisor de partículas alfa). El gas radón al ser producto de decaimiento del uranio, indica la presencia del mismo.

Los métodos geoquímicos se basan en la detección, por análisis químico, de trazas de uranio o elementos que tengan parentesco con él. Generalmente esas trazas se buscan en muestras de tierra, de agua de arroyos, de lagos, de -- plantas, de corrientes subterráneas, etc.

Una vez que se tiene el indicio de la existencia de un yacimiento de uranio, la única forma de comprobarlo es perforando, y una vez que así se ha demostrado su presencia, solamente puede ser cuantificado por perforación intensiva. Esta última fase de la exploración es la más costosa, pues hay que hacer muchas perforaciones para determinar las dimensiones del yacimiento; y con las muestras obtenidas medir su concentración y la forma en que está asociado con otros minerales.

EXTRACCION.- La extracción del uranio es prácticamente igual a la de los otros minerales, y puede realizarse por túnel o a cielo abierto, pero tomando las precauciones debidas ya que se trabaja con materiales radioactivos.

CONCENTRACION.- El uranio que se extrae de las minas

está en el mineral en una proporción muy baja, en general se presentan concentraciones de 0.05 a más de 0.1% y raras veces pasan del 1 %, y dada esta pobreza del mineral, se procede a una separación del uranio de los demás minerales mediante métodos químicos que se efectúan en las plantas de concentración, las cuales se construyen generalmente -- junto a las instalaciones de extracción a causa de los altos costos de transporte.

El tratamiento incluye una purificación para concentrar aún más el uranio en un compuesto conocido como: "torta amarilla" (U_3O_8), en forma cristalizada para facilitar el transporte.

La "torta amarilla", contiene del 50 al 70 % de uranio natural, este concentrado de uranio es una mezcla de uranatos de amoníaco, sodio y manganeso. Este producto es la materia prima que se puede obtener en el mercado internacional y a partir de la cual se separan los diferentes procesos del ciclo de combustible, el natural y el enriquecido.

ENRIQUECIMIENTO.- El uranio tal como se encuentra en la naturaleza, consiste de tres isótopos: Uranio 238, Uranio 235 y el Uranio 234, siendo sus porcentajes respectivamente del 99.28%, 0.71% y 0.01% (en lo que se refiere a --

este último, Uranio 234, su proporción en el uranio natural es tan pequeña que se le puede despreciar para fines prácticos).

El isótopo más importante desde el punto de vista de su aplicación directa a la producción de energía, mediante el proceso de fisión es el Uranio 235.

La operación de enriquecimiento consiste en elevar la proporción del Uranio 235, del 0.71% a un mínimo de 2% y - un máximo de 4%, para obtener la base del combustible que se empleará en las centrales nucleares.

La mayoría de los procedimientos de enriquecimiento - con que se cuenta en la actualidad, requieren que el uranio natural concentrado se encuentre en forma gaseosa y ésta - es la de hexafluoruro de uranio UF_6 que se produce en las plantas de conversión partiendo de la torta amarilla.

Los métodos o procesos con que se cuenta actualmente - en el mundo para el enriquecimiento del uranio son:

- a).- Difusión gaseosa
- b).- Ultracentrifugación
- c).- Aerodinámico o tobera de separación
- d).- Tratamientos químicos.

a).- DIFUSION GASEOSA.- Este procedimiento consiste en comprimir el hexafluoruro de uranio UF_6 gaseoso para -- después obligar a una difusión a través de una pared porosa llamada "barrera"; en las condiciones anteriores el hexafluoruro de Uranio 235 más ligero, se difunde un poco -- más aprisa que el Uranio 238, siendo el enriquecimiento -- del orden del 2 % solamente, requiriéndose disponer de un gran número de aparatos en cascada, necesitándose varios -- miles para llegar a una concentración del 90 %.

Una fábrica de difusión gaseosa está compuesta de una serie de pasos, que comprende cada uno, un difusor dotado de barreras, un compresor que proporciona el gas a la presión necesaria y un cambiador de calor que mantiene la temperatura deseada. (Ver figura 2.17).

Cascada de difusión gaseosa.

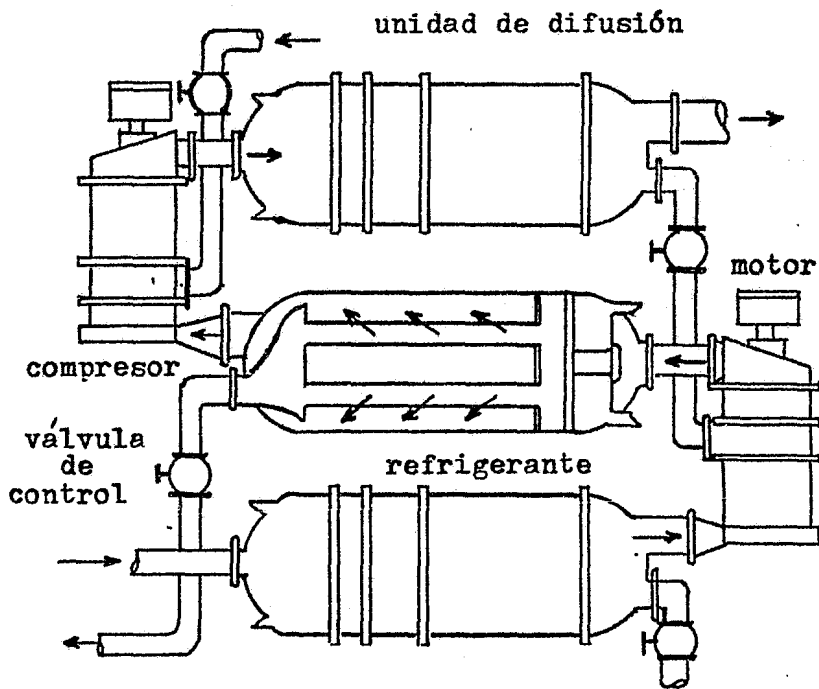


Figura 2.17

b).- ULTRACENTRIFUGACION.- Este procedimiento se basa en la utilización de un campo gravitatorio intenso, obtenido en un recipiente que gira a gran velocidad, donde se produce la separación de los átomos de Uranio 238 más pesados que tendrán tendencia a agruparse en la pared y átomos de Uranio 235, más ligeros que se juntarán en el centro. Con objeto de limitar las pérdidas de fricción, el recipiente gira en el interior de una envolvente bajo vacío y está acoplado directamente a un motor.

Se alimenta el UF_6 en estado gaseoso en el rotor de alta velocidad dentro de la envolvente de alto vacío.

Se extraen de la centrifugadora dos corrientes de gas, de diferente porcentaje isotópico. El flujo del producto se enriquece en Uranio 235 y el del residuo disminuye en Uranio 235. (Ver figura 2.18).

El UF_6 ya enriquecido, se envía a la planta de reconversión que generalmente está integrada a la planta de fabricación de elementos combustibles.

CENTRIFUGA EN CONTRACORRIENTE

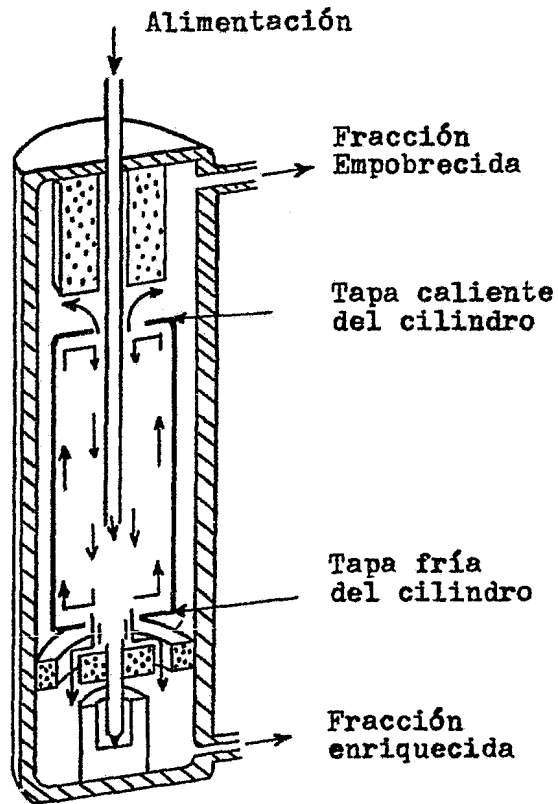


Figura 2.18

c).- AERODINAMICO O TOBERA DE SEPARACION.- Durante el proceso aerodinámico, se origina la separación mediante la dependencia de masa de las fuerzas centrífugas en un flujo curvado de la mezcla de (UF_6 / H_2). Básicamente, se aplican los mismos principios físicos que en la técnica centrífuga; sin embargo se evitan los problemas ocasionados por las máquinas centrifugadoras, ya que las fuerzas centrífugas se generan mediante la separación de una vena fluida rápida de UF_6 y un gas inactivo ligero. El gas ligero (H_2 ó He), presente en una gran cantidad por unidad de masa, aumenta la velocidad del flujo del UF_6 y en consecuencia aumenta la fuerza centrífuga que determina la separación. (Ver figura 2.19).

SECCION TRANSVERSAL DE LA TOBERA DE SEPARACION

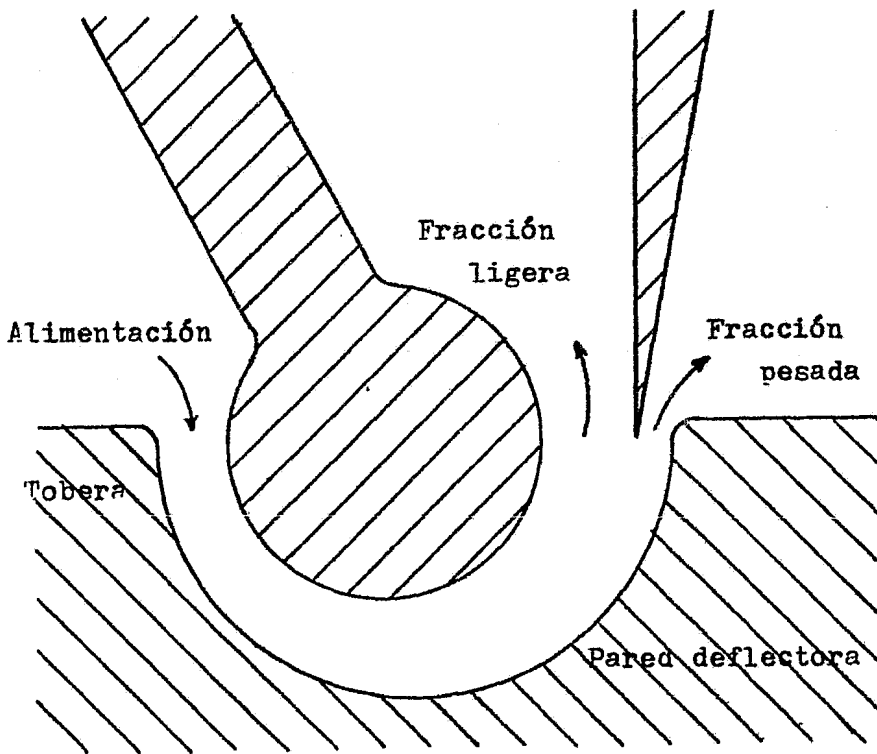


Figura 2.19

d).- TRATAMIENTOS QUIMICOS.- Un nuevo procedimiento francés para enriquecer uranio mediante técnicas químicas en desarrollo desde 1968, está a punto de ser lanzado al mercado. El Comisariado de Energía Atómica (CEA) ha expresado que este procedimiento puede competir económicamente con el de difusión y que, como aún las plantas pequeñas -- pueden ser rentables, el nuevo procedimiento puede resultar atractivo para los países que planeen instalar únicamente un pequeño número de reactores de agua presurizada, pero que quieran asegurarse su propio suministro de uranio enriquecido.

Este procedimiento de enriquecimiento químico, al parecer tiene que ver con el flujo a contracorrientes de soluciones acuosas y orgánicas que contienen uranio.

Aunque el grado de separación alcanzable de este sistema de contracorriente es menor que el de los procedimientos de difusión de una sola etapa, de manera que se necesitan más etapas para un enriquecimiento dado, los requerimientos de energía son mucho menores; en el procedimiento químico la energía se consume principalmente en la interconversión de las soluciones acuosas y orgánicas. Según el CEA, toda la energía necesaria es tan solo la cuarta parte de la requerida para el procedimiento de difusión.

El CEA da dos sencillas razones para creer que el procedimiento químico no contribuirá a la proliferación de armas nucleares. Por una parte, el tiempo necesario para equilibrar una cascada de etapas de contracorrientes, que aumenta con la magnitud de la cascada de enriquecimiento y así, con el grado de enriquecimiento necesario puede ser de hasta 10 años para una planta productora de uranio adecuado a fines bélicos. Y por otra parte este procedimiento químico necesita de altas concentraciones de uranio y que los problemas más serios podrían surgir con un enriquecimiento muy elevado. En otras palabras quienes pretendan fabricar armamentos con uranio lo harán a riesgo de sus propias vidas.

De los métodos mencionados anteriormente, los que existen en operación, se presentan a continuación:

Instalaciones de enriquecimiento de uranio en el mundo en operación hasta 1981, enunciados en el siguiente orden: País; Sitio; Propietario; Proceso; Capacidad (UTS / año)⁵.

AFRICA DEL SUR.- Valindaba; Ucor; Aerodinámico; 0.2-0.3 x 10⁶. Instalación piloto inició operaciones en abril de 1975.

(5) UTS: Kilogramos de unidades de trabajo de separación.

- ESTADOS UNIDOS.- a) Oak Ridge; DOE; Difusión gaseosa; 4.73×10^6 . Empezaron los trabajos en septiembre de 1943, la producción en enero de 1945.
- b) Paducah; DOE; Difusión gaseosa; 7.31×10^6 . Se terminó la primera unidad en enero de 1953.
- c) Portsmouth; DOE; Difusión gaseosa; - - 5.19×10^6 . Se terminó la primera unidad en julio de 1955.
- FRANCIA.- a) Pierrelate; CEA; Difusión gaseosa; no publicado. Iniciación de los trabajos: -- 1960. Producción en fábrica baja: 1964. - Producción en fábrica mediana: 1965. Producción en fábrica alta: abril de 1967.
- b) Tricastin; Eurodif; Difusión gaseosa; - 10.8×10^6 . Iniciación de la obra: fin de 1974. Capacidad de 2.2×10^6 UTS en 1979.
- JAPON.- Ningyo toge; PNC; Ultracentrifugación; -- 0.075×10^6 . Comenzaron los trabajos: - - agosto de 1977. Arranque dic. 1978.
- HOLANDA.- Almelo I; Urenco-ND; Ultracentrifugación; 0.01×10^6 . Comienzo de los trabajos: 1969-1970. Capacidad plena 1976.

Almelo II; Urenco-ND; Ultracentrifugación; 0.2×10^6 . Comenzaron los trabajos: 1974. Arranque: octubre de 1972.

REINO UNIDO.- a) Capenhurst II; Urenco-UK; Ultracentrifugación; 0.014×10^6 . Comienzo de los -- trabajos: 1971. Arranque: 1973.

b) Capenhurst III; Urenco UK; Ultracentrifugación; 0.2×10^6 . Comienzo de los trabajos: 1974. Inicio; septiembre 1977.

U.R.S.S.- Siberia; desconocido; Difusión gaseosa; - 7.1×10^6 . De los cuales, alrededor de -- 3×10^6 UTS/año estarán disponibles para exportar fuera del CAME⁶.

(6) CAME: Consejo de Ayuda Mutua Económica.

(Plan de economía energética de los estados de -- la comunidad socialista).

FABRICACION DE ELEMENTOS FISIONABLES.- Una vez que se tiene el uranio enriquecido en forma gaseosa de UF_6 , es necesario realizar la conversión química a UO_2 (sólido), para hacer posible la fabricación de los elementos combustibles o fisionables.

Dependiendo del tipo de reactor se requiere de un proceso determinado para obtener el UO_2 .

En el caso del reactor de uranio natural se hace una refinación de la "torta amarilla", la cual consiste en disolver el concentrado en ácido nítrico, purificando por extracción con solventes. Después de calcinarlo o denitrarlo (según el proceso que se siga), se reduce con hidrógeno el UO_3 resultante para obtener UO_2 , dióxido de uranio, que es el "polvito negro", con el que se fabrican las pastillas combustibles. Las pastillas son de aproximadamente un centímetro de diámetro y un centímetro de longitud. Estas pastillas se meten dentro de un tubo de Zircaloy, que es una aleación de circonio. Al tapar el tubo por ambos extremos, queda terminada una barra combustible. Estas barras miden aproximadamente 50 cm. de longitud.

En el caso de reactores de uranio enriquecido se realiza una reconversión a UO_2 , para lo cual existen varios procesos, pero el más común es el llamado ADU, en el que el

UF_6 se hace reaccionar con agua y amoniaco para producir - cristales de diurinato de amonio (ADU), que después de filtrarse se calcina en una atmósfera de hidrógeno para obtener el UO_2 . El polvo de dióxido de uranio se envía a la fábrica de elementos combustibles.

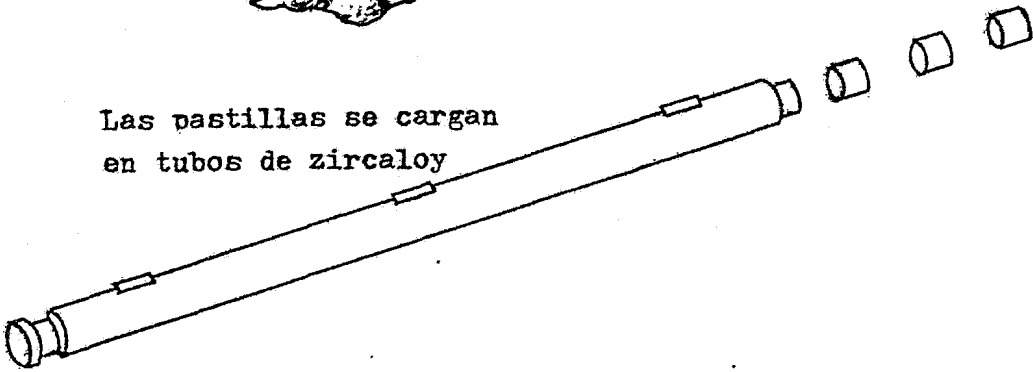
Los elementos combustibles de uranio enriquecido son más complejos que los de uranio natural. Aparte de contener uranio enriquecido, son bastantes más grandes; del orden de 5 m. de longitud o sea unas diez veces, y se ensamblan con muchas más piezas diferentes. (Ver figuras 2.20 y 2.21).

ELEMENTO COMBUSTIBLE DE URANIO NATURAL



Polvo de dióxido de uranio (UO_2)

Las pastillas se cargan
en tubos de zircaloy



Elemento combustible ensamble

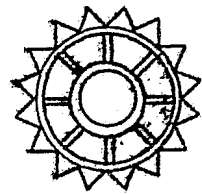
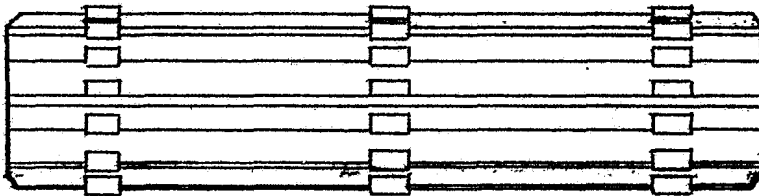


Figura 2.20

ELEMENTO COMBUSTIBLE DE URANIO ENRIQUECIDO

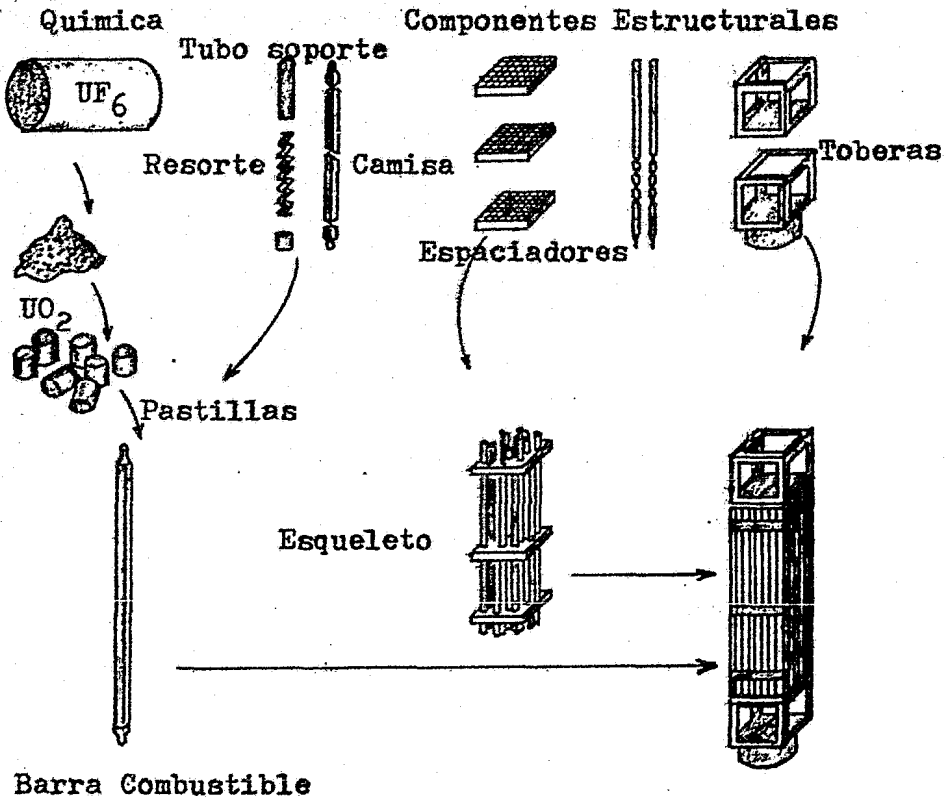


Figura 2.21

FISIONADO DEL URANIO ENRIQUECIDO EN EL REACTOR. - A una --
unidad de una central nuclear, por ejemplo un reactor BWR-
de 654 MW_e, como la de Laguna Verde, llega la carga inicial
del combustible, aproximadamente de 92 toneladas de UO₂, -
en forma de pastillas encapsuladas en tubos de zircaloy y
agrupados éstos en 444 ensambles de 8x8 tubos cada uno. En
el núcleo del reactor permanecerá el combustible del orden
de 3 a 4 años, sometido al flujo neutrónico.

En el reactor el combustible se consumirá poco a poco
mediante la reacción en cadena, produciendo calor y por --
otro lado plutonio 239, que siendo fisionable, también ge-
nera calor, pero como la rapidez de producción de plutonio
239 es mayor que la rapidez con que éste se fisiona, el re-
sultado neto es que al terminar de utilizar la primera car-
ga de combustible se tendrá plutonio almacenado. En el - -
ejemplo que se está considerando, un tercio de la energía-
calorífica proviene del plutonio 239 y los dos tercios res-
tantes del Uranio 235.

El primer ciclo de operación dura aproximadamente 21
meses y al terminar es necesario cambiar la tercera parte-
del combustible. Los ciclos siguientes a la primera recar-
ga duran un año y al terminar cada ciclo, hay que reempla-
zar una cuarta parte del núcleo por combustible nuevo y --
aproximadamente cada recarga es de 23 toneladas de UO₂ en-

riquecido. Después de cada recarga, el combustible irradiado se guarda en las piscinas de almacenamiento que están contiguas al reactor, para que la radioactividad de los productos de fisión desaparezca en un alto porcentaje.

FISIONADO DEL URANIO NATURAL EN EL REACTOR.- El reactor se carga con dióxido de uranio en forma de pastillas, para formar cada elemento de combustible, se introducen aproximadamente 29 pastillas en una funda de aleación de circonio, agrupados extremo a extremo y formado así cada haz de combustible; los cuales constan de 37 elementos. Cada canal de combustible contiene 12 haces del mismo. El sistema de aprovisionamiento de combustible está formado por dos máquinas; una de las cuales es operada a control remoto por una computadora; ésta empuja los haces de combustible dentro del canal del reactor, en tanto que en el extremo opuesto a este (reactor), otra máquina de aprovisionamiento recibe simultáneamente los haces de combustible usados. El combustible gastado o quemado se traslada vía elevador, de la máquina de aprovisionamiento de combustible a un transportador subacuático y de allí a una piscina de almacenamiento, ubicada en un edificio adyacente al edificio del reactor.

REPROCESAMIENTO.- Una vez cumplida la función en el

reactor, el combustible se envía a las plantas de procesamiento químico; los productos de fisión, el uranio y el plutonio se separan. Hay que notar que el propósito fundamental del reprocesamiento es el de recobrar el combustible nuclear que quede en el material utilizado, y separar los desechos radioactivos que se preparan para su almacenamiento final; es decir, se tienen dos razones fundamentales para llevar a cabo el proceso: una económica y otra de seguridad.

Los productos de fisión se condensan y almacenan, mientras que el uranio puede enviarse a las plantas de enriquecimiento, ya que contiene un porcentaje mayor en Uranio 235 que el uranio natural, es necesario enriquecerlo más - para utilizarlo de nuevo como combustible, es decir, reciclarlo, o bien este uranio puede guardarse para usarse posteriormente como una envolvente de combustible en los núcleos de los reactores rápidos, además del uranio empobrecido que se extrae de la etapa de enriquecimiento como subproducto; finalmente, el plutonio se transforma en metal - puro o en óxido para guardarse y esperar su uso posterior como combustible en los reactores rápidos de cría, o bien, para reciclarlo en los mismos reactores térmicos, con lo que se consigue una economía en el combustible.

ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES IRRADIADOS.- Después de que el combustible es consumido en el núcleo, se almacena durante unos años, provisionalmente en piscinas de almacenamiento, para que se reduzca considerablemente la actividad⁷ de los productos de fisión formados y después se transporta convenientemente a los centros de reprocesamiento o en su caso, a los depósitos de almacenaje definitivo.

El almacenaje provisional se realiza dentro de albercas refrigeradas, ubicadas en la misma central y el almacenaje definitivo se realiza incorporando el material, en bloques de vidrio refractario o de concreto para su almacenamiento definitivo en lugares seguros. Este tipo de lugares son por lo regular formaciones geológicas (generalmente de sal) o excavaciones realizadas en sitios que garantizan la máxima seguridad de los desechos, aún bajo condiciones drásticas de movimientos terrestres o cualquier otra situación que pudiera poner en peligro los bloques dentro de los cuales se almacenan los desechos radioactivos.

(7) Actividad: Es el número de desintegraciones por unidad de tiempo de una fuente de radiación; es una medida del nivel de decaimiento.

2.5 CONVERSION DE LA ENERGIA NUCLEAR EN ELECTRICIDAD.

Para entender como se lleva a cabo la conversión de energía nuclear a energía eléctrica, es conveniente comparar una planta termoeléctrica convencional con una planta nucleoelectrica.

En tanto que la energía calorífica que se produce en la caldera de una central termoeléctrica convencional proviene de los combustibles fósiles no renovables, como el carbón, el combustóleo y el gas natural, en una central nucleoelectrica esta energía resulta de la fisión de núcleos de materiales fósiles como el uranio, plutonio y torio, dentro de un reactor nuclear.

El calor producido en la caldera o en el reactor nuclear se emplea para producir vapor de agua. Este vapor de agua es conducido por medio de tubería a la turbina donde se expande produciendo trabajo mecánico, que se aprovecha para accionar un generador eléctrico. (Ver figura 2.22).

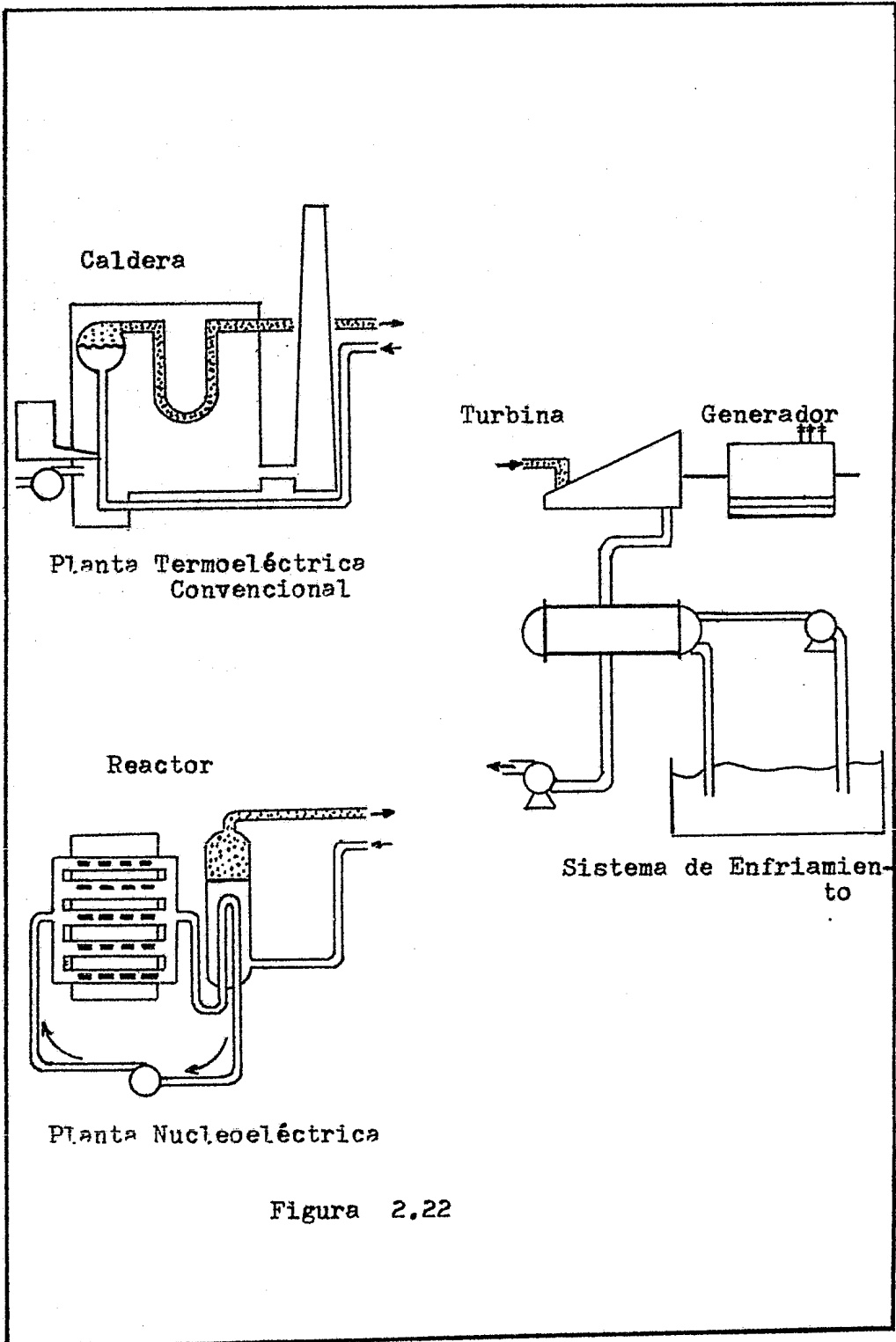


Figura 2.22

2.6 ASPECTOS AMBIENTALES DE LA UTILIZACION DE LA ENERGIA
NUCLEAR PARA LA PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA

Dado que los aspectos ambientales de la energía nuclear están ligados principalmente con la radioactividad, empezaremos por definirla y dar algunas características de la misma.

Por radiación se entiende la emanación de partículas atómicas o fotones electromagnéticos de alta energía, de una fuente que puede ser natural o artificial. Su unidad es el "rad", que es la cantidad de energía absorbida por gramo de materia irradiada. Dado que los efectos de diversos tipos de radiación sobre los organismos vivientes dependen de su naturaleza y de la de los tejidos irradiados, se ha adoptado otra unidad que mide las dosis absorbidas equivalentes y ésta es el "rem", que se obtiene de multiplicar los rads por un factor de calidad que toma los siguientes valores para cada tipo de radiación:

<u>TIPOS DE RADIACION</u>	<u>FACTOR DE CALIDAD</u>
(β) Beta	1
(γ) Gamma	1
(x) Rayos X	1
(n) Neutrónica	1 a 10
(α) Alfa	10 a 20

La radiación natural forma parte del medio ambiente del hombre y proviene principalmente de tres fuentes: la radiación cósmica, constituida por partículas de alta energía que vienen del sol y de las estrellas; los elementos radioactivos que se encuentran en el suelo y en los materiales que se utilizan para la construcción; finalmente se tienen los radioelementos que están presentes en el cuerpo humano, que provienen del aire que se respira, del agua -- que se bebe y de los alimentos que se ingieren.

En relación con la radioactividad artificial, se tiene que cada individuo recibe una dosis de radiación variable, proveniente de las fuentes creadas por el hombre. Por ejemplo, por el funcionamiento de reactores nucleares, aparatos de televisión, relojes luminosos, radiografías médicas, etc.

Es conveniente comparar los niveles de radioactividad de las fuentes naturales y artificiales con los de una central nuclear de potencia. Cabe mencionar que la Comisión Internacional para la Protección Radiológica fija un máximo de dosis permisible para el ser humano de 500 mrem.

Como puede observarse en la figura 2.23, la dosis -- anual promedio que proviene de la radioactividad natural -- es de 125 mrem.

COMPAPACION DE FUENTES DE RADIACION NATURAL Y ARTIFICIAL

(DOSIS ANUALES)

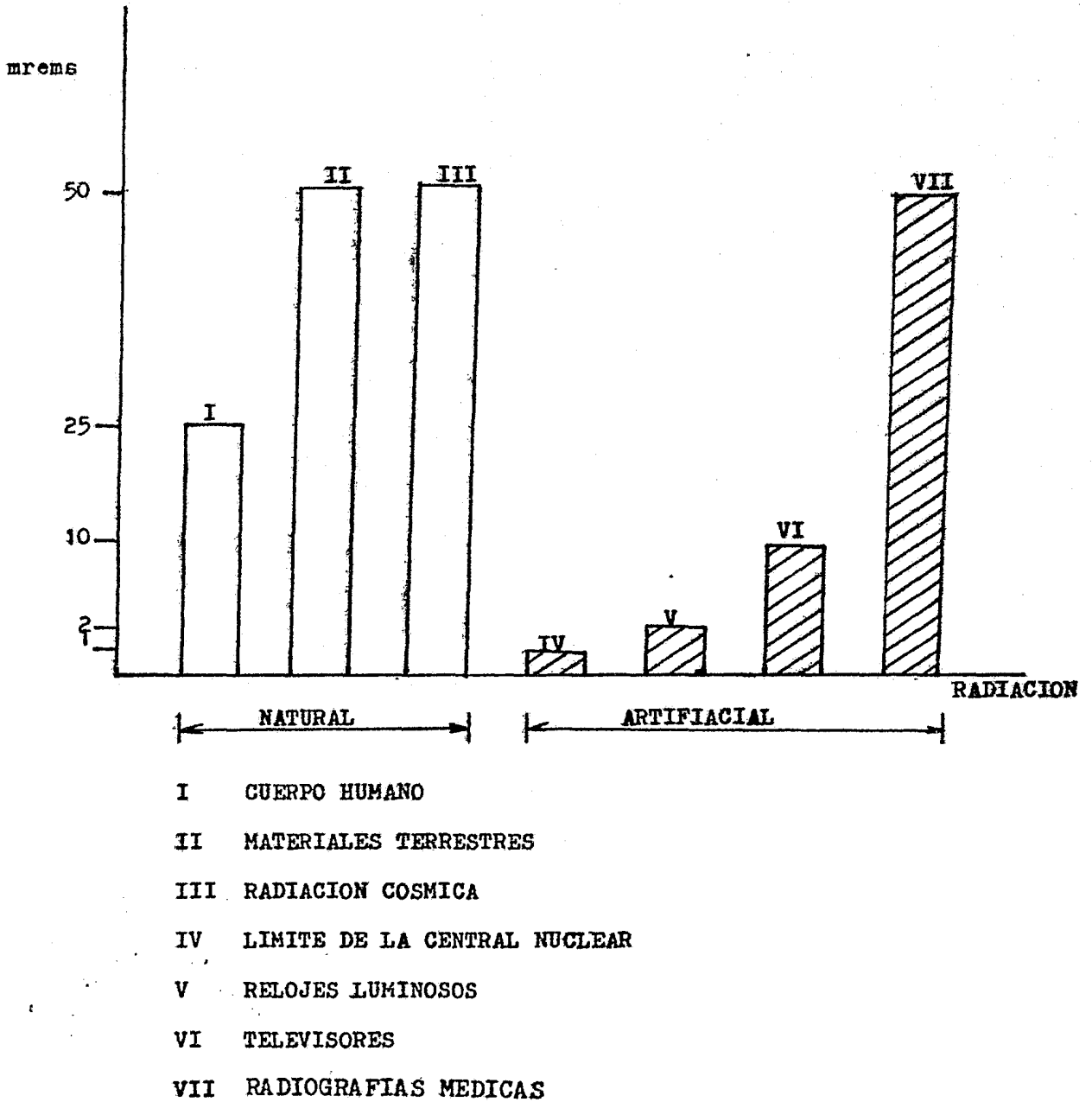


Figura 2.23

Por otro lado las dosis anuales promedio correspondientes a las fuentes radioactivas artificiales son del orden de 63 mrem. De esta información se ve que el incremento en la dosis recibida por el hombre debido al funcionamiento de una central nuclear de potencia, es insignificante; corresponde a groso modo al 1.5% del total.

Para definir los tipos de radiación se debe tener en cuenta que el mecanismo de desintegración es el mismo para los elementos radioactivos naturales o artificiales y las diferencias en el proceso se deberán al tipo de energía de la radiación únicamente. La desintegración se manifiesta por la emisión de energía en forma de partículas cargadas eléctricamente, como las partículas Alfa (α) y partículas Beta (β), o bien, en forma de radiación electromagnética Gamma (γ), o bien, radiación Neutrónica (n).

La radiación Alfa está formada por núcleos de helio - llevando doble carga positiva, por lo que su principal interacción con la materia es la ionización⁸ y por tanto es poco penetrante; toda la energía que transporta es cedida a lo largo de una trayectoria muy corta, unos cuantos centímetros en el aire y milésimas de milímetro en los tejidos

(d) IONIZACION: Es una consecuencia de la interacción de la radiación con la materia y consiste en la separación de un átomo eléctricamente neutro en dos o más partes cargadas.

de los organismos vivos.

La radiación Beta está formada por electrones y como tiene una carga negativa también producirá ionización y es un poco más penetrante que la radiación Alfa, pues alcanza unas decenas de centímetros en el aire. Otra forma de interacción con la materia es la excitación de la misma, transfiriendo su energía a los electrones que giran alrededor del núcleo.

La radiación Gamma es de naturaleza electromagnética, sin carga, por lo que no ioniza el medio de manera tan inmediata como la radiación Alfa o a la radiación Beta; es muy penetrante y puede atravesar una distancia grande en el aire sin que haya una fracción significativa de su energía que sea absorbida. La radiación X difiere de la radiación Gamma únicamente por el lugar donde se produce; La radiación Gamma en el núcleo y la radiación X en el exterior de él. La radiación X se emite cuando los electrones interiores de un átomo excitado liberan energía para alcanzar un estado estable.

La radiación Neutrónica está constituida por neutrones y no tiene carga alguna, por lo que su poder de penetración en los materiales es en general mayor que la radiación Gamma. No produce ionización en los átomos del medio por

desplazamiento o choque de los electrones; el efecto predominante en este tipo de radiación es la interacción con los núcleos, excitándolos.

En cuanto a los aspectos ambientales del ciclo del combustible, se tiene que en el proceso de extracción del mineral de uranio se liberan gases radioactivos naturales. Este mismo riesgo se presenta en la concentración del mineral. En la fabricación de elementos combustibles de uranio natural no se tienen riesgos significativos de contaminación. En la etapa de enriquecimiento es completamente diferente debido a la concentración del material fisionable al aumentar la proporción de enriquecimiento de Uranio 235, existiendo un riesgo grave, la criticidad accidental. El resultado de este accidente es la emisión de radiación intensa, capaz de producir dosis letales en los trabajadores implicados más no en el público. En la fabricación de elementos combustibles de óxido de uranio enriquecido y Plutonio, también persiste el riesgo de criticidad accidental.

Durante la etapa de quemado en el reactor los riesgos están obviamente ligados a las fuentes de radiación y contaminación que se genera en el reactor y que incluyen:

- La radiación Gamma y Neutrónica que se emiten en el momento mismo de la reacción de fisión.

- Los productos de fisión formados, que en general son altamente radioactivos.
- Los productos de activación que se forman al interactuar los neutrones con el fluido refrigerante y los materiales que componen diversas estructuras en el reactor.
- Los materiales fisionables que se forman como el Plutonio 239 en los reactores que utilizan uranio 235 como combustibles y uranio 233 para los que usan torio.

Los productos físi les engendrados en los elementos combustibles, debido al funcionamiento del reactor, constituirán desechos radioactivos, los cuales permanecerán en los conjuntos combustibles por toda la duración de su estancia en el reactor, así como su estancia en las piscinas de almacenamiento; estancia durante la cual la radioactividad se reduce.

El accidente máximo creíble en el funcionamiento de un reactor nuclear es una fuga grande en una de las principales líneas de refrigeración las cuales recirculan el agua de enfriamiento en el reactor. Entendiéndose en este caso que el reactor aumentará su temperatura gradualmente y por consiguiente se incrementaría también el calentamiento del encamisado y la probabilidad de falla del mismo, lo

cual conduciría a una diseminación de productos de fisión en el refrigerante permanente en la vasija del reactor. Todos los reactores cuentan con sistemas duplicados para suministrar el agua de enfriamiento para emergencias pero si fallan todos éstos, aunque la falta de un moderador interrumpiría la reacción en cadena, no se disiparía el calor proveniente de los productos de fisión contenidos en el núcleo, el cual representa el 5 % de la potencia del reactor. Si fallara la estructura de contención habría una fuga de material radioactivo hacia la atmósfera, lo que implicaría una contaminación radioactiva en la zona aledaña al reactor.

Otro riesgo importante se presenta en el transporte de los desechos radioactivos al almacenarse o llevarse a reprocesamiento; en este último existe todavía el riesgo de un accidente de criticidad natural en los recipientes que contienen los materiales fisiónables.

En lo que respecta al almacenaje definitivo de los desechos radioactivos hasta ahora no se ha establecido un método adecuado para su disposición final.

Otro aspecto ambiental importante son las descargas térmicas, que se hacen patentes con la utilización de un fluido refrigerante (agua) en las plantas nucleoelectricas,

el cual, al ser regresado a lagos, ríos o mar, incrementa la temperatura del agua en la proximidad de la planta, lo que puede provocar alteraciones ecológicas.

CAPITULO TERCERO

PROBLEMAS DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA NUCLEAR Y DE PO-
LITICA INTERNACIONAL IMPLICADOS EN UN PROGRAMA NUCLEAR ME-
XICANO.

3.1 ASPECTOS ESTRUCTURALES

3.2 ASPECTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS

3.3 ASPECTOS POLITICOS

PROBLEMAS DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA NUCLEAR Y DE --
POLITICA INTERNACIONAL IMPLICADOS EN UN PROGRAMA NUCLEAR -
MEXICANO.

El objetivo de este capítulo es analizar los principales problemas de transferencia de tecnología nuclear implicados en la realización de un programa nuclear mexicano y su relación con la política internacional.

3.1 ASPECTOS ESTRUCTURALES.

Dentro de los aspectos estructurales se analizan los problemas de transferencia de tecnología, ingeniería y manufactura de equipo nuclear, así como del ciclo de combustible nuclear y el problema de disponibilidad de recursos humanos debidamente capacitados.

3.1.1 INGENIERIA Y MANUFACTURA DE EQUIPO NUCLEAR.

La dependencia tecnológica de México en este rubro -- consiste principalmente en la ingeniería de proyecto, el diseño y fabricación de maquinaria y equipo, y en el ciclo de combustible.

Actualmente México no cuenta con la capacidad científica y tecnológica para romper con la dependencia exterior.

En el año de 1977 la Comisión de Energéticos y la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial encargaron un estudio para determinar la capacidad industrial nacional para fabricar componentes de plantas nucleoelectricas.

El objetivo del estudio fue determinar las posibilidades existentes en la industria nacional fabricante de maquinaria, equipo para producir componentes y materiales para dichas plantas.

Considerando la complejidad de los equipos utilizados en una planta nucleoelectrica y la dificultad de obtener información técnica sobre ellos, se consiguió la participación de tres consultores extranjeros, proveedores de los tres principales tipos de plantas nucleoelectricas en uso comercial. Ellos son: Westinghouse, de Estados Unidos, Asea-Atom, de Suecia y Atomic Energy de Canada Limited.

En el estudio mencionado se llegó a los siguientes resultados:

El análisis de la capacidad de la industria nacional indica que pueden ya fabricarse en México gran número de componentes cuyo valor total puede ser de mil ochocientos millones de pesos, para una unidad nucleoelectrica de 1,000 MW, de acuerdo con los datos proporcionados por Asea Atom de Suecia. Es decir, es posible obtener en México

componentes que representan alrededor del 25% del costo total de los equipos electromecánicos que se utilizan en una central nucleoelectrica (13% del costo total de la planta).

El costo para cada grupo de componentes que actualmente se pueden fabricar en el país se muestra en el cuadro No. 1. Obsérvese que el 67% del total son equipos mecánicos; 27.3% equipos eléctricos y 3.9% equipos relacionados con instrumentación. Un porcentaje considerable del total del equipo mecánico que puede fabricarse en el país se refiere a componentes que son relativamente sencillos, para los cuales ya existe capacidad de fabricación; entre éstos se mencionan los siguientes:

- En el ramo mecánico: Tuberías. Que representa el 22.2% del costo de los equipos que pueden fabricarse en el país; intercambiadores de calor el 16.8%; tanques, el 6.6%; grúas, el 6.3% y soportes, el 6.0%.
- En el ramo eléctrico: Tableros de fuerza. Que representa el 6.9% y cables, el 0.7% del costo total.

Los datos anteriores indican que en caso de integrarse un plan de fabricación de equipos nucleoelectricos en el país, podría adquirirse de inmediato una considerable porción de los equipos que se utilizan en una planta nucleoelectrica.

CUADRO No. 1

Componentes de una planta nucleoelectrica que se pueden fabricar en México.

Ramo	Clase de equipo	Costo millones de pesos	% del total
<u>Mecánico</u>	Compresores	2.7	0.15
	Ventiladores	10.8	0.6
	Ductos	21.6	1.2
	Filtros	10.8	0.6
	Soportes	108	6.0
	Tuberías	399.6	22.2
	Grúas	113.4	6.3
	Bombas	32.4	1.8
	Intercambiadores de calor	302.5	16.8
	Tanques	118.8	6.6
	Válvulas	81	4.5
	Compuertas	5.4	0.3
	Total equipo mecánico		1,207.0
<u>Eléctrico</u>	Transformadores	32.4	1.8
	Tableros de control	32.4	1.8
	Tableros de fuerza	124.2	6.9
	Cables	156.6	8.7
	Conduits	27.0	1.5
	Charolas	5.4	0.3
	Baterías	5.4	0.3
	Convertidores	48.6	2.7
	Rectificadores	5.4	0.3
	Motores	54.0	3.0
	Generadores diesel	----	---
Total equipo eléctrico		491.4	27.3
<u>Instrumentación</u>	Instrumentación varios	69.6	3.9
Total instrumentación		69.6	3.9
<u>Equipo misceláneo</u>	Materiales aislantes	32.4	1.8
Total equipo misceláneo		32.4	1.8
Total equipos		1,800.4	100
% Costo total de equipos en una planta nucleoelectrica tipo RAE			25 %

RAE; Reactor de Agua en Ebullición.

Datos basados en información proporcionada por ASEA-ATOM para un reactor tipo RAE y costos de equipos adquiridos en Suecia. El valor total de equipos electro-mecánicos en una

Algunos equipos fabricados en México requieren componentes importados para su fabricación. El cuadro No. 2 indica el porcentaje estimados de integración nacional y las limitaciones existentes para la fabricación de los equipos mecánicos, eléctricos y de instrumentación que constituyen una planta nucleoelectrica. Puede verse que los equipos -- que requieren materiales importados son compresores, filtros, grúas, tableros de control, generadores diesel e instrumentos.

Por otra parte, del análisis de las empresas encuestadas se desprende que en casi todo los casos existen deficiencias de carácter técnico que deberán resolverse para alcanzar la calidad requerida por una planta nuclear. Las principales deficiencias son:

- En general, la calidad de fabricación de las empresas mexicanas no tiene el nivel requerido de garantía de calidad para los componentes que se fabrican bajo normas nucleares. El mejoramiento de los sistemas de calidad implica establecer registros, pruebas, sistemas de inspección y entrenamiento de personal en las empresas mexicanas que participen en un programa de fabricación de componentes nucleoelectricos.
- En todos los casos, el personal que labora en las em-

CUADRO No. 2 LIMITACIONES DE LA CAPACIDAD DE FABRICACION
DE EQUIPO NUCLEOELECTRICO.

Equipo	Equipos que ya se fabrican en México.	Componentes importados.	Limitaciones en la capacidad de fabricación de equipos.
Compresores	Reciprocantes 1/1" 150 lb/in. hasta 3800 m ³ /hr.	Sellos, anillos, válvulas.	Compresores de tornillo, diafragma, rotatorio y compresores que tienen calificación Nuclear.
Ventiladores.	Axiales y Centrifugos hasta 24,000 M ³ /hr.	-----	Ninguna.
Equipos de aire acondicionado.	Todo tipo de equipos.	-----	Ninguna.
Ductos	Todo tipo de ductos, circulares y rectangulares.	-----	Ninguna.
Filtros	Filtros absolutos (HEPA), de carbón activado, de malla fina, cartuchos coladores y canasta.	Algunos materiales de filtros absolutos.	Pocos, solo existen en el caso de filtros de calidad nuclear.
Soportes	Colgantes, de resorte, grúas absorbedoras de golpes, etc.	-----	Ninguna en fabricación, se requiere consultar diseños.
Tuberías	Acero al carbono con y sin costura; cobre plástico; inoxidable soldada; recubierta.	Acero inoxidable (ya se inicia la producción en México).	Solo tubos sin costura en acero inoxidable.
Grúas	Carga hasta 100 tons. (pueden fabricarse mayores).	Controles.	Ninguna, puede requerirse diseños para grúas mayores de 125 tons.
Bombas	Centrifugas horizontales y verticales; de todos; turbinas; Bóxos profundo y rotatorias; de engranajes.	Engranajes; algunos sellos.	No se fabrican bombas dosificadoras; de pistón; sumergibles de mediana capacidad; de vacio; de tornillo y encapuchadas.
Intercambiadores de calor	De tubos y carcasa en todos los materiales.	Materiales especiales Inconel, titanio; acero inoxidable, níquel.	Intercambiadores de placas y de alta presión. Limitaciones en clases nucleares.
Tanques	De todo tipo de diversos materiales. Máxima capacidad de manejo en grúas 125 tons, Máxima capacidad de doblado de placa 2" en frío.	Materiales; titanio; níquel; acero inoxidable; Inconel.	Ninguna, solo control de calidad para clase nuclear.
Válvulas	Compuertas; globo; alivio retención; Mariposa. Control diafragma. Aguja seguridad, check. En acero inoxidable, acero al carbono y hierro. Fundido y forjado.	Algunas piezas fundidas; con controles válvulas especiales.	Principalmente calidad, no se satisfacen requisitos nucleares.
Compuertas	Todos tipos.	-----	Solo algunas restricciones al requerirse calidad nuclear.
Transformadores	Hasta 230 KV/150KVA pronto 400KV/400KVA	-----	Solo en alta capacidad. Limitación en hacer pruebas sísmicas.
Tableros de control	Solo se ensambla, instrumentos son de importación	Instrumentos	Diseño y limitación en hacer pruebas sísmicas.
Tableros de fuerza	Se fabrican de todo tipo, algunas de las compuertas son importadas.	Solo algunos controles especiales.	Ningunos. Para fabricación no existe capacidad para pruebas sísmicas.
Cables	Todos tipos.	-----	Cables triaxiales y coaxiales de doble tranzado.
Conduite y charolas	Metálicas, recubiertas y de plástico.	-----	Ninguna en fabricación. Existen limitaciones para realizar pruebas sísmicas.
Baterías	Alcalino y plomo ácido de cualquier capacidad.	-----	Solo existen limitaciones en calidades nucleares ya que requieren pruebas especiales.
Convertidores	Hasta 10 KVA. En el futuro hasta 200 KVA.	Materiales electrónicos.	En capacidades mayores a 10 KVA. Limitaciones si se requieren pruebas especiales.
Rectificadores	Todos tipos requeridos en una planta nucleoelectrica, excepto SCR.	Materiales electrónicos.	SCR. Limitaciones si se requiere calidad nuclear. (pruebas)
Motores	De inducción en baja tensión (hasta 600 V). Una empresa fabrica hasta 2.5 KV, Normas NEMA.	Alambres, acero al silicio.	Ninguna en fabricación. Algunas limitaciones debido a pruebas requeridas para calidad nuclear.
Barras colectoras	Solo de baja capacidad con aisladores hasta 13.8 KV.	Materiales de cobre.	No pueden fabricarse barras grandes para alimentación al generador.
Generadores Diesel	Máximo 300 KV.	-----	No pueden fabricarse en México estos equipos.
Instrumentación	Capacidad limitada, interruptores de presión, temperatura, termómetros de resistencia, termopares, interruptores de flujo, medidores de flujo, medidores de nivel, placas de orificio, venturis.	Materiales especiales, componentes de instrumentos.	Solo un pequeño porcentaje puede fabricarse en el país.
Materiales aislantes	Fibras de lana mineral, asbesto.	-----	No se fabrica acero inoxidable de acabado espejo.
Sistemas de comunicación y alarma.	Se fabrican todos los que se requieren excepto detección de neutrones y radioactividad.	Componentes electrónicos.	No se fabrican equipos para detección de neutrones y radioactividad.

presas entrevistadas no tienen experiencia en fabricación bajo normas nucleares. Considerando que se requieren controles especiales durante el proceso de fabricación, las empresas que participen en un programa nucleoelectrico deberán entrenar a su personal en estos procedimientos.

- Algunas empresas encuestadas tienen tecnología propia o que obtienen por medio de sus filiales. Sin embargo, en especial los fabricantes de bombas, válvulas y algunos equipos eléctricos y de instrumentación deben adquirir tecnología para participar en un programa de fabricación de componentes nucleoelectricos.

Los resultados del estudio indican que una vez definido el programa nucleoelectrico nacional, será necesario, a fin de lograr la participación de la industria mexicana, desarrollar una serie de actividades del tipo recomendado a continuación:

- Difundir información sobre cantidades y características de los equipos que constituyen una planta nucleoelectrica para que la industria nacional prepare planes de expansión y participe como proveedor de componentes.
- Para que la industria nacional pueda integrar la tec-

nología y los sistemas de calidad requeridos en la fabricación de componentes nucleoelectrónicos, el estado deberá realizar varias acciones específicas:

- a.- Establecer programas de integración y compromisos de adquisición de equipos con aquellas empresas - que desarrollen su capacidad de fabricación en el ramo nuclear.
 - b.- Apoyar a las empresas en los renglones de: adquisición de tecnología, mejoramiento de sistemas de calidad, capacitación de personal y expansión de líneas de producción.
 - c.- Fomentar el apoyo institucional a laboratorios de control de calidad, tanto privados como del sector público; y a instituciones gubernamentales - que tengan la capacidad de proporcionar estos servicios a las industrias fabricantes de componentes para plantas nucleoelectrónicas. En algunos casos será recomendable establecer organismos que - proporcionen servicios especializados de pruebas.
- Se recomienda analizar también la capacidad de ingeniería existente en el país, ya que este concepto es un factor de suma importancia en el costo total de una planta nucleoelectrónica.

- Finalmente, en base a la información obtenida en este estudio, se sugiere determinar, mediante precalificación de los proveedores potenciales de equipos para plantas nucleoelectricas, los costos, tiempo de entrega, calidad esperada, etc., de los equipos que pueden fabricarse en el país.

3.1.2 CICLO DEL COMBUSTIBLE

En lo referente al ciclo de combustible, México es tecnológicamente dependiente del exterior en casi todas sus fases. En lo que respecta a la prospección y exploración de minerales radioactivos, México puede seguir desarrollando sus programas basados en la tecnología que ya posee. Pero dichos programas se facilitarían considerablemente y podrían acelerarse si el país tuviera acceso a las últimas innovaciones tecnológicas en los países más avanzados. En lo tocante a la minería, en el proceso de extracción de minerales, tal vez lo único que México podría obtener del exterior sería algunos sistemas para aumentar la eficiencia con el tiempo.

Por el contrario, la dependencia de tecnología que México no posee es mucho más clara en las fases subsiguientes de procesamiento de los minerales radioactivos y de refinación y conversión de los minerales, donde están impiti-

cados los aspectos políticos que se analizan posteriormente. Sin embargo, si México llegase a optar por el desarrollo de proyectos nucleoelectrónicos basados en el uso de uranio enriquecido, dependerá evidentemente del exterior para el enriquecimiento del uranio. Si, por otra parte México pretendiese desarrollar su programa nuclear a base de uranio natural, implicaría también dependencia con respecto a al agua pesada y al zircaloy, sólo que esta dependencia se ve menos crítica que la del enriquecimiento, ya que es factible la transferencia de tecnología para la producción de agua pesada y zircaloy.

En lo referente a los desechos radioactivos, existen problemas que no se han podido resolver hasta la fecha en los países desarrollados que poseen tecnología nuclear.

3.1.3 RECURSOS HUMANOS

Otro problema que se vislumbra en la transferencia de tecnología nuclear, así como en la realización de los objetivos propuestos en el programa nucleoelectrónico para el año 2000, es la carencia de cuadros científicos, de ingenieros y técnicos suficientes para cubrir las necesidades de recursos humanos que se requerirán para la instalación ambiciosa de 20,000 MW. Esta situación incide desfavorablemente en nuestra capacidad para establecer una estrategia de

transferencia de tecnología, combinada a una marcada actividad de innovación que proporcione una capacidad mínima - para empezar a diseñar y construir diversos artefactos para la utilización de la energía nuclear.

Por lo tanto es necesario que se establezcan desde -- ahora los lineamientos básicos para generar un proyecto de formación de técnicos, profesionistas y científicos especializados en diversas áreas de la industria nucleoelectrica.

De acuerdo con los estudios proyectivos llevados a cabo por la Subdirección de Planeación Institucional y Formación de Recursos Humanos del ININ, que toman en cuenta las tendencias políticas de empleo en México, la necesidad de recursos humanos para el año 2000 se eleva a 98,000 personas. Además si con perspectivas optimistas, a través de -- una estrategia adecuada de transferencia de tecnología, se espera que para el año 2000 se llegue a un 75 % de participación nacional. Se tiene con estos argumentos simples, -- que para fin de siglo se tendrá que contar con cerca de -- 70,000 personas, con diferentes niveles de preparación, para que participen en dicho programa nucleoelectrico.

Se pueden dividir las áreas de las actividades involucradas en la industria nucleoelectrica en los cinco gran - rubros siguientes:

- a).- Construcción e instalación de centrales.
- b).- Operación de centrales.
- c).- Fabricación de componentes.
- d).- Actividades del ciclo del combustible.
- e).- Investigación y profesorado.

a).- CONSTRUCCION E INSTALACION DE CENTRALES.

Ya con la experiencia lograda en Laguna Verde, donde hoy día laboran cerca de 13,000 personas, se requerirán -- 20,000 gentes especializadas en esta tarea.

b).- OPERACION DE CENTRALES.

Una vez instaladas, las centrales requerirán para su operación de un contingente cercano a las 8,000 personas.

c).- FABRICACION DE COMPONENTES.

En este rubro donde se debe captar la tecnología procedente del exterior, para adaptarla a nuestras necesidades y condiciones específicas, para posteriormente innovar la para dejarla totalmente absorbida en el país. Se estima que las necesidades de personal calificado serán, en -- conjunto de obreros especializados y profesionistas cerca de 30,000 individuos.

d).- ACTIVIDADES DEL CICLO DEL COMBUSTIBLE.

Se requerirán cerca de 5,000 personas.

e).- INVESTIGACION Y PROFESORADO.

Los investigadores y profesores especializados son el vehículo sobre el cual el país debe alcanzar los fines de este siglo con una mayor capacidad, para enfrentarse a cambios tecnológicos, en el propio campo de plantas nucleoelectricas, que implican una gran complejidad.

En este rubro donde se requerirá contar con un mayor nivel de preparación, tanto en lo académico como en la especialización. Se fijan metas deseables que implican la capacitación de 5,000 investigadores y técnicos de apoyo, como mínimo.

3.2 ASPECTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS.

El elemento de mayor peso en el costo de producir - - energía eléctrica a partir de la energía nuclear es el costo de capital, que en la actualidad representa entre el 50 y el 80 por ciento del costo del kilowatt-hora.

Los costos estimados de la industria nuclear en estos momentos son cinco o seis veces superiores a los de finales de los años setentas.

Existen muchas estimaciones de los futuros costos de capital en materia de generación nucleoelectrica. Algunos-

cálculos recientes, hechos para las actividades de construcción a finales de los ochentas, han variado entre 825 dólares y 1800 dólares por kilowatt instalado.

La extensión de la duración de construcción de plantas nucleares de 5 años a más de 10 años, no solamente ha provocado un incremento en el pago de intereses durante la fase de construcción, sino que también ha dado lugar a una severa escalada de costos en las áreas de ingeniería y diseño por las modificaciones a los reglamentos de seguridad.

La mayoría de los grandes proyectos han tendido a aumentar en costo a una tasa más alta que la de la inflación. Las modificaciones a los reglamentos ambientales y de seguridad han forzado la ejecución de rápidos cambios en el diseño dando lugar, de manera invariable, a costos más altos. Independientemente del tipo de planta de que se trate, el incremento de costos y los retrasos en la construcción se han presentado en la mayor parte de los proyectos.

Los otros componentes del costo de la energía eléctrica de origen nuclear son el combustible, la operación y el mantenimiento. En lo referente al costo del combustible es donde las plantas nucleares poseen una ventaja significativa sobre las plantas que funcionan a base de combustibles-fósil. Los precios del uranio en contratos firmados desde

1977, generalmente se han estabilizado en un nivel ligeramente por arriba de los 40 dólares por libra de "torta -- amarilla" (U_3O_8).

Para el caso de las plantas nucleares, aún hay dudas en lo relativo a costos adicionales por concepto de seguridad y otras medidas. Sin embargo, con un alto nivel de reglamentación nuclear en existencia actualmente, parece poco probable que los costos de operación y mantenimiento de las plantas nucleares se incrementen notablemente por encima de los costos de operación y mantenimiento en otras -- plantas de generación eléctrica.

El alto costo de capital que implica la construcción de una planta nuclear comúnmente se emplea como un factor que inhibe la instalación de este tipo de plantas, pero ante el menor peso de los costos de combustible y de operación (en relación con otras plantas de generación eléctrica) el elemento capital costoso podría convertirse en una ventaja durante un período de alta inflación. Por ejemplo, si todos los costos de operación así como los precios del carbón y el uranio aumentasen al mismo ritmo, la ventaja económica tendería a aumentar en favor de la energía nuclear.

Con respecto al financiamiento, el Banco Mundial ha -

desempeñado un papel importante en la financiación de proyectos energéticos en los países en desarrollo, siendo el sector de la energía eléctrica aquel en el que se ha concentrado la mayor parte de las actividades de préstamo del banco para este tipo de proyectos.

Los proyectos financiados se someten a concurso internacional, admitiéndose un exceso del precio del 15 por ciento en las ofertas de los fabricantes nacionales. Este trato de favor no ha reducido, sin embargo, mucho la barrera que existe para la participación de las empresas locales, ya que en este sector de la industria hay empresas internacionales bien establecidas, lo que no ocurre a nivel local.

Otro obstáculo importante que se opone a la participación de los productores locales en los concursos para la ejecución de grandes proyectos energéticos son las condiciones financieras de los préstamos. Los préstamos oficiales, especialmente en virtud de acuerdos bilaterales, resultan mucho menos caros que los préstamos privados, particularmente los que ofrecen los proveedores de equipo. Así, por ejemplo, en el caso de los préstamos extranjeros obtenidos por los países en desarrollo de bajos ingresos para el sector de la energía eléctrica, mientras que el tipo me

dio de interés era de 26 por ciento y el plazo medio de --
vencimiento de 35 años en los créditos bilaterales, en los
préstamos ofrecidos por los proveedores, el interés medio-
se elevaba a 35 por ciento y se reducía a 12 años el pla-
zo de vencimiento.

La otra cara de la medalla es que los acuerdos bilate-
rales de financiamiento en fuentes oficiales imponen gene-
ralmente la obligación de adquirir los bienes de equipo en
el país proveedor de fondos.

En el caso de las plantas nucleares, la financiación-
bilateral oficial ha sido fácil de conseguir. Esto se debe
principalmente a que los países industrializados han esta-
do más que dispuestos a prestar esa ayuda, muchas veces en
condiciones excepcionalmente generosas, probablemente para
ayudar a sus fabricantes a establecerse en el mercado de -
exportación de la energía nuclear.

Las condiciones que lleva consigo la financiación ex-
terior, limitan generalmente las posibilidades de desarro-
llar una capacidad tecnológica, especialmente en el sector
de la concepción y de la fabricación de equipo.

3.3 ASPECTOS POLITICOS.

Uno de los principales retos que debe vencer cualquier

programa nucleoelectrico nacional, es el de dar plena vigencia al Tratado de no Proliferación de armas nucleares, tanto en sus aspectos limitativos como en aquellos referentes a la obligación entre los signatarios a prestar la asistencia técnica necesaria para el desarrollo de los usos pacíficos en la materia, y así vencer el control monopolico internacional al que se ha visto sujeta la tecnología nuclear.

El desarrollo nuclear pacífico en los estados que no tienen armas nucleares ha topado con restricciones estrictas causadas por el interés general en evitar la llamada difusión horizontal de las armas nucleares. La imposición de medidas unilaterales de supervisión y control, que van más allá del bien establecido sistema de Seguridad y Salvaguardias del Organismo Internacional de Energía Atómica -- (OIEA), constituye una presión innecesaria para los países que la sufren, presión que resulta injustificada, particularmente en el caso de México, puesto que es un país que de una manera clara e inequívoca ha renunciado a todos los usos militares de la energía nuclear, y que en realidad están prohibidos formal y legalmente en México en un plano interior en el artículo 27, párrafo VII de la Constitución Mexicana; y a nivel internacional; en el Tratado para la Proscripción de Armas Nucleares en América Latina (Tratado

de Tlaltelolco)¹; del cual México no sólo es parte sino -- fue concertado en gran medida a base del empeño mexicano, - y el cual dice textualmente en su artículo primero.

Artículo Primero.- Las partes contratantes se comprometen a utilizar exclusivamente con fines pacíficos el material y las instalaciones nucleares sometidos a su jurisdicción, y ha prohibir e impedir en sus respectivos territorios;

a).- El ensayo, uso, fabricación, producción o adquisición, por cualquier medio, de toda arma nuclear, por sí misma, directa o indirectamente, por mandato de terceros o cualquier otra forma, y

b).- El recibo, almacenamiento, instalación, emplazamiento o cualquier forma de posesión de toda arma nuclear, directa o indirectamente, por sí misma, por mandatos a terceros o de cualquier otro modo.

Además el Tratado de No Proliferación de Armas Nucleares (1968), que se inspiró en la propuesta de "átomos para la paz", en la que se entendía por "no proliferación", - la no adquisición y la no fabricación de tales armas o de cualquier artefacto explosivo nuclear; sin embargo, las potencias nucleares han ampliado ese concepto de tal manera-

(1) Ratificado por México el 20 de Sept. de 1967.

que la no proliferación, de aceptarse su interpretación, - significaría la no adquisición de su capacidad para desarrollar siquiera un elemento que pudiera prestarse, con el tiempo a la fabricación de armas nucleares.

Hasta ahora, el acceso a la tecnología más avanzada - ha sido casi imposible y, a juzgar por las actitudes que - se reflejan en las "directrices" del "Club de Londres", no cabe esperar mayor flexibilidad al respecto. En la primavera de 1975, por iniciativa y bajo la insistencia de los Estados Unidos de Norteamérica, un grupo importante de exportadores de tecnología nuclear, aceptó reunirse en Londres en la primera de lo que ha sido una serie de reuniones diseñadas para coordinar las políticas nacionales en materia de transferencia de tecnologías delicadas. Los participantes iniciales incluían a Gran Bretaña, los Estados Unidos, Alemania Occidental, Francia, la Unión Soviética y Canadá.

Debido a que Francia y la Unión Soviética amenazaron con retirarse de las reuniones si las deliberaciones eran dadas a conocer al público, la primera reunión, así como - las subsiguientes, fueron efectuadas y mantenidas en secreto. Mucho de lo que se sabe acerca del progreso de las negociaciones en el grupo se han limitado a lo que aparentemente son filtraciones de información recogidas por la - -

prensa. De estas filtraciones, los siguientes cuatro temas parecerían ser los que han dominado las discusiones:

- I).- La deseabilidad y posibilidad de requerir acuerdos de Salvaguardias amplios a todos los Estados que no poseen armamento nuclear.
- II).- La cuestión de si se debería prohibir y/o colocar bajo control internacional la diseminación de instalaciones del ciclo de combustible nuclear que desde la perspectiva de seguridad fuesen dedicadas.
- III).- La adecuación del sistema de Salvaguardias del Organismo Internacional de Energía Atómica y la efectividad de la nueva tecnología de Salvaguardias, y
- IV).- La conveniencia de que el grupo se reuniese en una forma regular y formal.

En enero de 1978, las quince naciones integrantes del "Club de Londres" acordaron criterios comunes para la transferencia de objetos que se integraron en una lista que incluye:

- El material especial y de origen, es decir, uranio natural y enriquecido, torio y plutonio, más allá de cantidades especificadas.

- El equipo nuclear; reactores nucleares capaces de producir más de 100 kg. de plutonio por año, y componentes especificados de reactores.

- El material no nuclear; incluidas agua pesada, instalaciones para reprocesamiento de combustible usado, y plantas para fabricación de elementos combustibles.

Como condiciones para la transferencia de cualquiera de los elementos de la lista antes mencionada, cada Estado receptor debe:

- Comprometerse formalmente a que no serán construidos artefactos nucleares explosivos.

- Colocar todo material e instalación que sea transferida bajo protección física efectiva.

- Colocar todos los objetos transferidos bajo las Salvaguardias del OIEA. Especificadas de manera explícita se encuentran las instalaciones para reprocesamiento, enriquecimiento, y para la producción de agua pesada. Cualquier instalación del mismo tipo que pudiera ser imitada por el país receptor, también debe estar bajo el régimen de Salvaguardias del OIEA.

- Aceptar que no operará o modificará una instalación -

de enriquecimiento capaz de producir uranio enriquecido a más del 20 por ciento, sin antes haber obtenido la aprobación del país suministrador.

- Estar de acuerdo en no transferir algunos de los objetos de la lista, excepto si se cumplen las condiciones mencionadas.

Además de requerir la aceptación de las condiciones anteriores como requisito para realizar exportaciones nucleares, cada suministrador estuvo de acuerdo en:

- Restringir la transferencia de instalaciones, tecnología y materiales que sean delicados en cuanto a seguridad.

- Promover la aceptación de centros de reciclado de combustibles internacionales.

- Reconocer la importancia de incluir en los acuerdos para el suministro de artículos contenidos en la lista, los arreglos apropiados para el acuerdo mutuo entre abastecedor y receptor en cuanto a reprocesamiento, almacenamiento, uso o retransferencia de material factible de ser empleado para la elaboración de armas.

- Promover la cooperación internacional en materia de intercambio de información sobre seguridad física así como

lo que se refiere a protección de material nuclear en --
tránsito.

Una causa adicional de preocupación es el hecho de --
que los países más avanzados en el campo nuclear no han --
aceptado, a pesar de sus declaraciones en sentido contra--
rio, dar a las organizaciones internacionales, especialmen--
te al OIEA, el apoyo necesario para que estas organizacio--
nes funcionen como cauces legítimos para la cooperación nu--
clear y asuman la principal responsabilidad para la no pro--
liferación de armas nucleares, como verdaderas representan--
tes de la comunidad mundial. Al mantener en un nivel bajo
la capacidad para fomentar el desarrollo de la energía nu--
clear para fines pacíficos, los países abastecedores nu--
cleares, y los Estados que poseen armas nucleares, han --
obligado a los países receptores a tratar directamente con
ellos, dependiendo así de circunstancias particulares y de
consideraciones arbitrarias.

CAPITULO CUARTO

RECURSOS DE LAS DIFERENTES FUENTES DE ENERGIA PRIMARIA DE
QUE DISPONE MEXICO PARA GENERAR ENERGIA ELECTRICA

- 4.1 HIDROCARBUROS
- 4.2 CARBON
- 4.3 URANIO
- 4.4 ENERGIA HIDRAULICA
- 4.5 ENERGIA GEOTERMICA.

RECURSOS DE LAS DIFERENTES FUENTES DE ENERGIA PRIMARIA DE
QUE DISPONE MEXICO PARA GENERAR ENERGIA ELECTRICA.

El objetivo de este capítulo es presentar la información disponible sobre los recursos energéticos de México, utilizados como fuentes primarias para generar energía eléctrica.

En México, el sector energético presenta algunas características especiales, emanadas principalmente del principio constitucional que consagra la propiedad originaria de la Nación sobre las tierras y aguas comprendidas en su territorio, así como su derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público y el de regular el aprovechamiento de los recursos naturales.

Este principio, se consagra expresamente en el artículo 27 constitucional y abarca todos los recursos naturales, entre ellos los energéticos como los hidrocarburos, el uranio y el carbón contenidos en el subsuelo del territorio nacional comprendiendo en éste la plataforma continental, los zócalos submarinos y el mar territorial.

A continuación se expondrán los recursos energéticos de México por tipo de fuente de energía primaria, para poder realizar la diversificación en el capítulo sexto en --

base a los recursos disponibles con las necesidades de generación de energía eléctrica.

4.1 HIDROCARBUROS

El organismo que se encarga de la explotación de los hidrocarburos de una manera integral es Petróleos Mexicanos, (PEMEX).

Regularmente PEMEX utiliza los métodos establecidos internacionalmente para evaluar las reservas de hidrocarburos, con base en la perforación exploratoria sistemática y creciente, en los resultados de los campos ya descubiertos y en los métodos de recuperación secundaria¹ aplicables.- A la fecha, las reservas de hidrocarburos se han estimado sin considerar todas las posibilidades de recuperación secundaria, lo que sugiere que con el adelanto de las técnicas y mayores recursos, el monto de las reservas podrá aumentar.

En diciembre de 1976 las reservas probadas de hidrocarburos totales ascendían a 11,160.9 millones de barriles.

En junio de 1977 esa cifra se había elevado a 16,001.6 millones de barriles.

(1) Recuperación secundaria: Consiste en la inyección de cantidades importantes de agua, en aquellos yacimientos que presentan características adecuadas.

Estos niveles fueron ampliamente superados a mediados de 1978 con la estimación oficial de 40,194 millones de barriles de reservas probadas. Posteriormente en el año de 1979 se anunció la existencia de 45,803.6 millones de barriles de reservas probadas.

Finalmente en el año de 1981 se registraron 72,068.8 millones de barriles de reservas probadas (ver tabla No. 4.1 figura No. 4.1) y 58,650 millones de barriles de reservas probables.

En lo que se refiere a las reservas potenciales estimadas por PEMEX han llegado a 250,000 millones de barriles, que incluyen las cantidades correspondientes a las reservas probadas y probables.

Para visualizar más objetivamente los datos que se han presentado en relación con las reservas probadas de hidrocarburos, conviene analizar con cierto detalle los aspectos relacionados con las actividades de exploración que ha venido desarrollando PEMEX.

Desde la nacionalización de la industria petrolera, PEMEX ha mantenido en forma permanente sus programas de exploración. El conocimiento geológico y el desarrollo tecnológico han evolucionado continuamente, llegándose a consi-

RESERVAS PROBADAS DE HIDROCARBUROS A FINALES DEL AÑO 1981

LUGAR	1976	1977	1978	1979	1980	1981
ZONA NORTE	2,352.6	3,072.8	3,504.6	3,182.2	2,762.9	2,976.5
ZONA CENTRO (2)	2,613.6	2,616.3	2,560.7	2,508.7	2,526.1	2,362.3
CHICONTEPEC	-	-	17,640.0	17,608.3	17,603.6	17,596.8
ZONA SUR	6,194.7	10,312.5	16,488.7	22,504.4	37,233.7	49,133.2
HIDROCARBUROS TOTALES (1) (MILLONES DE BARRILES)	11,160.9	16,001.6	40,194.0	45,803.6	60,126.3	72,068.8

(1) Incluye petróleo crudo, condensados, líquidos del gas y gas natural.

Se considera que 5000 pies cúbicos de gas natural son equivalentes a un barril de petróleo.

(2) Incluye Poza Rica y Angostura.

RESERVAS PROBADAS DE HIDROCARBUROS

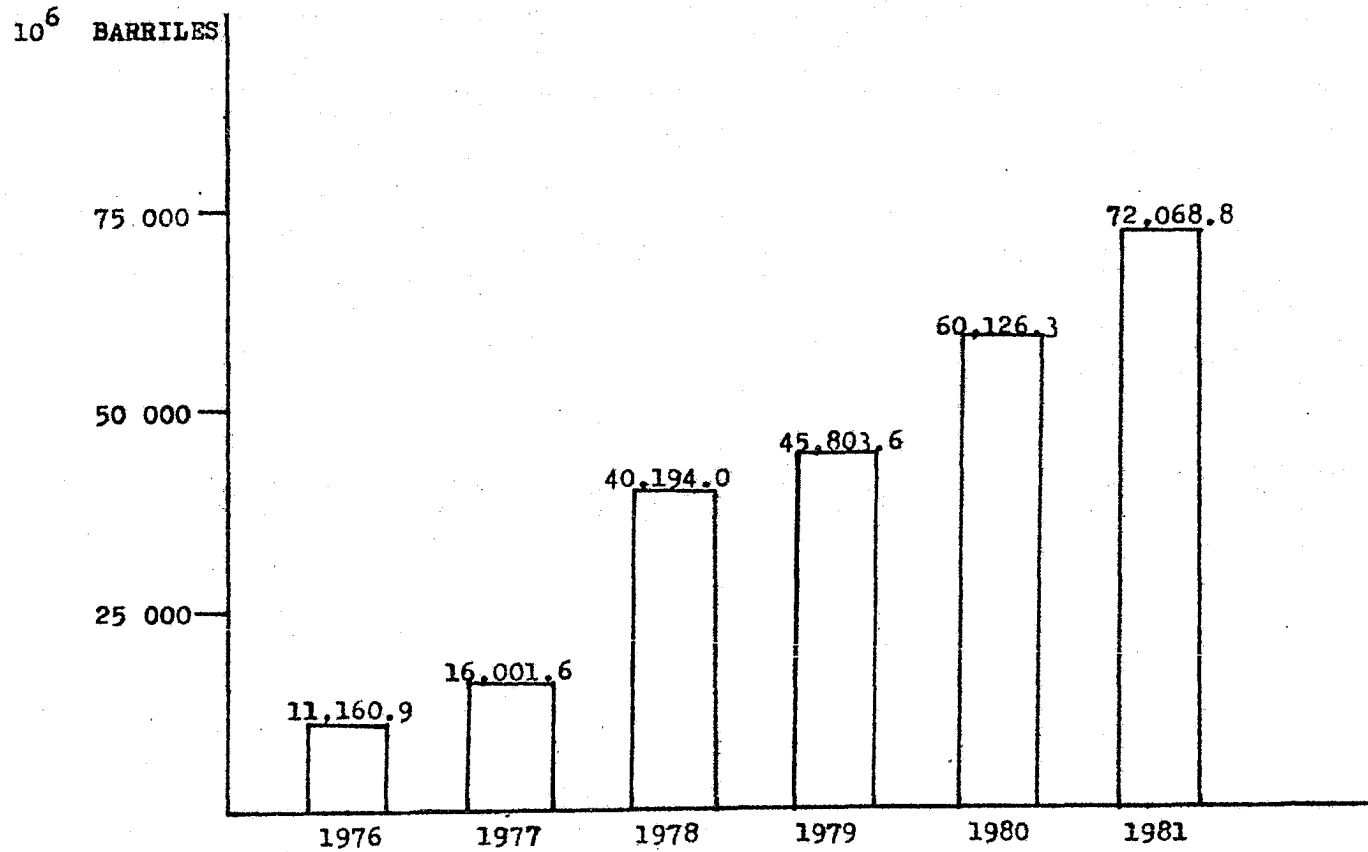


FIGURA No. 4.1

fuente: Boletín Informativo del Sector Energético - Abril 1982

derar en la actualidad que México cuenta con amplias posibilidades de encontrar nuevos yacimientos, como puede observarse en la figura 4.2, debido a las características geológicas del territorio nacional.

En primer término se encuentran los campos descubiertos en el área cretácica de Chiapas - Tabasco, en donde se tienen localizadas 127 estructuras y recientemente se han encontrado nuevos yacimientos, 4 de ellos con características semejantes a las de los campos actualmente en producción, tres de aceite ligero y tres más que son productores de gas.

Esta condición geológica se extiende hacia el norte, donde se encuentra la plataforma marina de Campeche y hacia el sur y oeste, en parte de los estados de Veracruz, Tabasco y Chiapas.

En la región del golfo de Campeche se tienen localizadas 60 estructuras susceptibles de ser perforadas en busca de reservas, y las características geológicas del área la sitúan entre las más prometedoras.

Al norte del país se están perforando pozos exploratorios en areniscas del terciario en busca de hidrocarburos, cerca de la ciudad de Laredo, Tamaulipas, en donde ya exis

PROVINCIAS GEOLOGICAS CON POSIBILIDADES A MEDIANO Y LARGO PLAZO

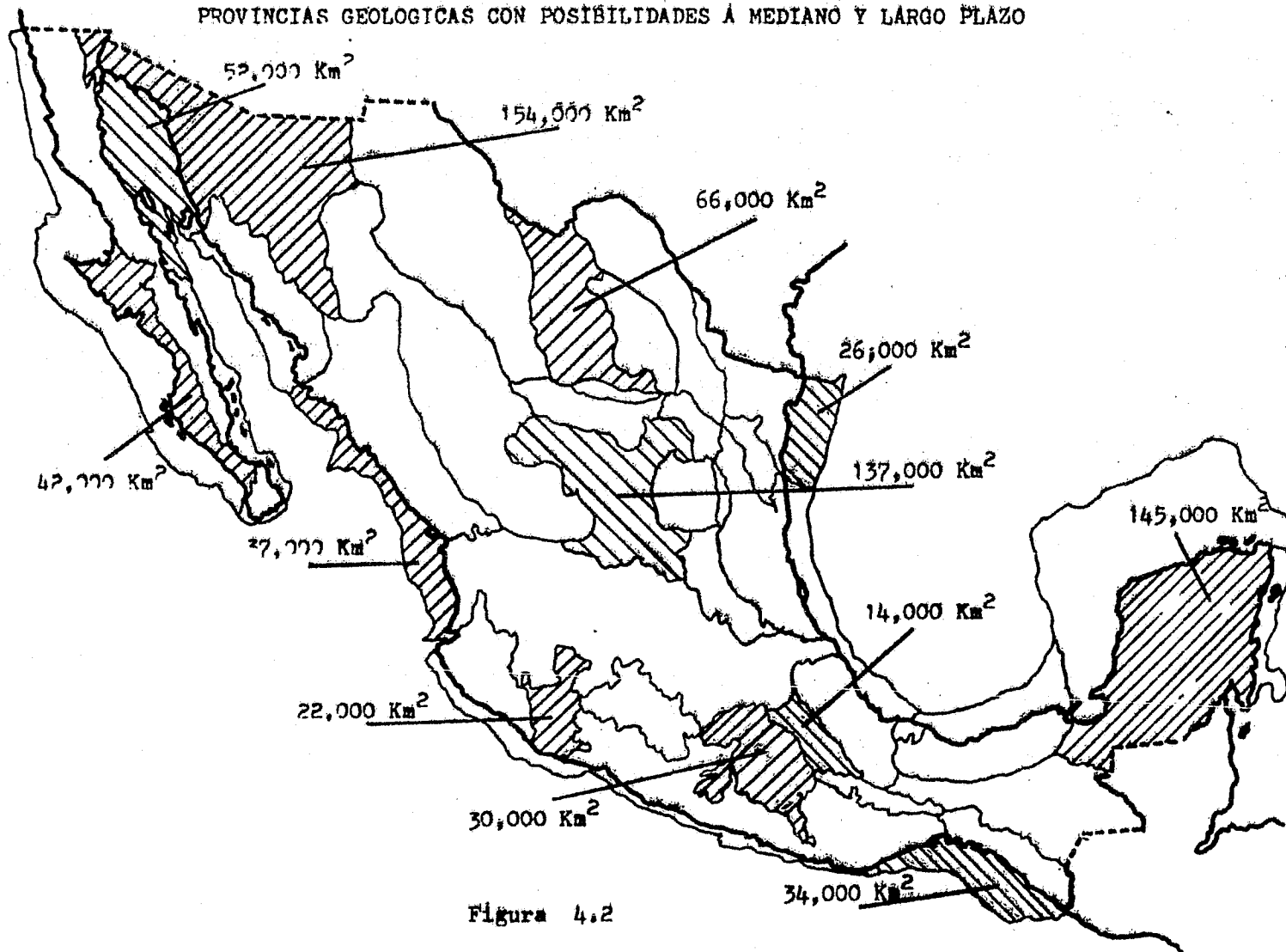


Figura 4.2

ten campos productores de gas y en las proximidades de esta área se ha descubierto una nueva región productora de gas en calizas del cretáceo y jurásico, que se ha denominado el golfo Sabinas.

Por otra parte, en la búsqueda de yacimientos en la costa del Pacífico, se ha descubierto gas en Baja California y en la cuenca de Sebastián Vizcaino.

Otra área de gran importancia es la cuenca de Chilontepec la cual se encuentra entre la planicie costera del golfo de México y las estribaciones de la Sierra Madre Oriental, abarcando parte del estado de Tamaulipas, la fracción norte del estado de Veracruz y parte de los estados de Hidalgo, Puebla, aunque la extracción de este petróleo será más costosa, porque requerirá la perforación de muchos pozos de baja producción por pozo.

4.2 CARBÓN

En agosto de 1977, con la participación de la Comisión de Fomento Minero de la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, de otras entidades nacionales con experiencia en minería, de Nacional Financiera y de la propia C.F.E., se constituye la empresa paraestatal "Minera Carbonífera Río Escondido" (MICARE, S.A.), con el propósito de

extraer carbón no coquizable y proporcionarlo a la Comisión Federal de Electricidad para fines energéticos. Las exploraciones han continuado ininterrumpidamente, lo que ha permitido que las reservas positivas se incrementen progresivamente.

Nuestro país cuenta con varias regiones carboníferas. En Coahuila, se localizan las cuencas de Sabinas, cuyo mineral tiene características favorables para la coquización y es apto para su uso en procesos metalúrgicos, y la de -- Fuente Río Escondido, constituida por carbón no coquizable.

Existen tres cuencas carboníferas en Oaxaca donde el carbón es del tipo sub-bituminoso, y dos en Sonora, con antracita. Ninguno de estos carbones es coquizable. (Ver figura 4.3).

Las reservas probadas de carbón coquizable son actualmente de alrededor de 1,500 millones de toneladas "in situ" equivalentes a más de 1000 millones de carbón "todo uno".

Las reservas probadas de carbón no coquizable ascienden a 620 millones de toneladas. Y los recursos potenciales se estiman en 4000 millones de toneladas.

4.3 URANIO.

La exploración uranífera en México se inició en 1957.

LOCALIDADES CARBONIFERAS DE LA REPUBLICA MEXICANA



FIGURA No. 4.3

En términos generales, el organismo que actualmente se encarga de la exploración, explotación, beneficio, y comercialización de los minerales radioactivos es Uranio Mexicano. (URAMEX).

Las áreas exploradas se encuentran localizadas, por orden de importancia, en los estados de Chihuahua, Nuevo León, Tamaulipas, Coahuila, Zacatecas, Querétaro y Puebla.

Los principales depósitos que ya se han evaluado o que están siendo evaluados para cuantificar los recursos de uranio mexicanos son los siguientes:

CHIHUAHUA.

Mina El Nopal, localizada cerca de Villa Aldama, en la parte oriental de la Sierra de Peña Blanca. Las reservas probadas son de 311.5 toneladas de uranio.

Mina La Domitila, que se encuentra a 3.5 Km. al oeste de la mina El Nopal; las reservas probadas son del orden de 52.6 toneladas de uranio.

Area Margaritas-Puerto III, que está localizada entre la región de la mina La Domitila y sus reservas son de 1062,4 toneladas de uranio.

Mina Nopal III, que se encuentra entre las minas El -

Hopal y Margaritas, a una distancia de 600 m. de la primera; sus reservas son de 176.9 toneladas de uranio.

Otras áreas, que están siendo exploradas en las zonas cercanas a las minas antes mencionadas, cuantifican un total de 325.4 toneladas de uranio.

SONORA.

Mina los Amoles; se localiza en el municipio de Rayón; las reservas probadas son de 409.9 toneladas de uranio.

Minas Noche Buena y Luz del Cobre que se encuentran localizadas en los municipios de Opodepe y San Antonio de La Huerta y cuyas reservas son de 178.6 toneladas de uranio para cada mina.

Otras minas de menor importancia en la misma región, suman en conjunto 122.5 toneladas de uranio.

OAXACA.

En la parte oeste del estado de Oaxaca, en la cuenca sedimentaria de Tlaxiaco, se han encontrado anomalías radiactivas.

La zona más importante del estado está situada cerca del pueblo de Tayata.

DURANGO:

Mina La Preciosa; está localizada en el municipio de Nazas y sus reservas probadas son del orden de 181.2 toneladas de uranio.

El Mezquite; esta mineralización está localizada al oriente del pueblo El Rodeo, sus reservas son de 77.6 toneladas de uranio.

Informes de otras localidades de la entidad las han evaluado en un total de 78.5 toneladas de uranio.

NUEVO LEON.

La zona de mineralización está en la Sierrita, municipio del General Bravo; en esta zona se descubrieron los depósitos conocidos como La Coma, con 1134.9 toneladas de uranio, Buena Vista con 1221 y el Chapopote, con 684.4 toneladas de uranio, y otras minas con un total de 437.5 toneladas de uranio.

Adicionalmente los registros efectuados a lo largo del territorio nacional han permitido hacer estimaciones de los recursos potenciales con que cuenta el país y que a la fecha se estiman en 225 000 toneladas de uranio, (Ver figura No. 4.4, tabla No. 4.2).

LOCALIDADES URANIFERAS DE LA REPUBLICA MEXICANA



FIGURA No. 4.4

MEXICO: RESERVAS NACIONALES DE MINERALES DE URANIO
ENERO 1961

SITIO	TONELADAS DE URANIO
CHIHUAHUA	
El Nopal	311.5
Margaritas Puerto III	1,062.4
	1,524.9
Nopal III	176.9
La Domitila	52.6
Otros (Depósitos minerales)	325.4
	87.2
(Lotes y concentrados)	62.1
SONORA	
Los Amoles	409.9
	493.6
Noche Buena	178.6
Luz del Cobre	170.6
Otros	122.5
DURANGO	
La Preciosa	161.2
	193.3
El Mezquite	77.6
Otros	78.5
NUEVO LEON	
La Coma	1,134.0
Buenvista	1,221.1
El Chapopote	604.4
Otros	437.5
TOTAL	6,993.0

4.4 ENERGIA HIDRAULICA.

El más reciente estudio sobre el potencial hidroeléctrico nacional fue realizado y publicado por la Comisión Federal de Electricidad en 1978.

En el mapa de la figura 4.5 y tabla 4.3 se muestra la distribución espacial del potencial hidroeléctrico identificado, según cuencas hidrográficas. Del total del potencial identificado el 30% se localiza en el complejo Grijalva-Usumacinta, el 7 % en la cuena del río Papaloapan y el 12 % en la del río Balsas.

En la tabla No. 4.4 tomada de dicho estudio, se resume el potencial hidroeléctrico identificado, agrupado por entidad federativa, que en total nos permitiría generar -- 171,866 GWh/año.

La cuantificación del potencial bruto teórico a nivel nacional fue de 500 000 GWh/año.¹

La relación del potencial identificado entre el potencial teórico es una forma de medir que tan explorada está una cuenca, y si se obtiene esta relación para todas las -

(1) Revista de Ingeniería No. 3, año 1960.

RELACION ENTRE EL POTENCIAL IDENTIFICADO Y EL
POTENCIAL BRUTO TEORICO SEGUN CUENCAS HIDROGRAFICAS.
Y SU DISTRIBUCION ESPACIAL.

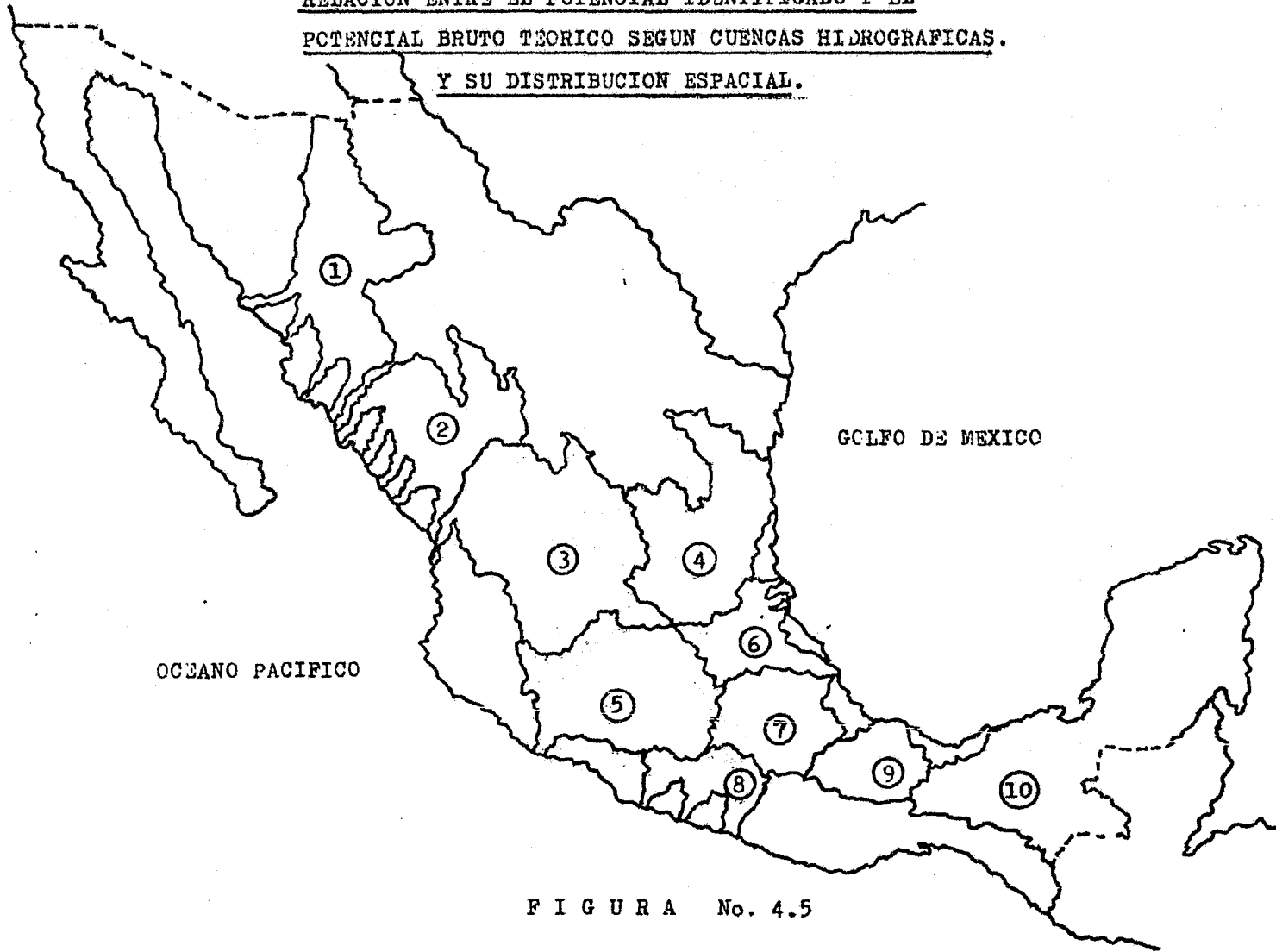


FIGURA No. 4.5

DISTRIBUCION ESPACIAL DEL POTENCIAL HIDROELECTRICO IDENTIFICADO, Y RELACION ENTRE EL POTENCIAL IDENTIFICADO Y EL POTENCIAL BRUTO TEORICO, SEGUN CUENCAS HIDROGRAFICAS.

No.	CUENCA	D.E. %	PI/PT %
1	YAQUI CULIACAN	7	26.
2	SAN LORENZO SAN PEDRO	5	27
3	LERMA SANTIAGO	6	27
4	PANUCO	4	36
5	BALSAS	12	27
6	JALAPA TUXPAN	7	27
7	PAPALOAPAN	7	33
8	PAPAGAYO VERDE	8	34
9	COATZACOALCOS	3	30
10	GRIJALVA USUMACINTA	30	67
11	OTRAS CUENCAS	11	

T A B L A No. 4.3

POTENCIAL HIDROELECTRICO IDENTIFICADO POR ENTIDAD FEDERATIVA

NUMERO	ESTADO	No. PROYS.	POT.MED MW	GENERACION MEDIA APROVECHABLE GWh.
1	COAHUILA	1	14	123
2	COLIMA	3	42	360
3	CHIAPAS	91	6,558	57,430
4	CHIHUAHUA	24	613	5,371
5	DURANGO	26	701	6,144
6	GUERRERO	33	1,826	15,995
7	GUANAJUATO	2	42	360
8	HIDALGO	7	127	1,113
9	JALISCO	31	763	6,684
10	MEXICO	14	353	3,090
11	MICHOACAN	30	768	6,728
12	MORELOS	2	66	570
13	NAYARIT	30	856	7,501
14	NUEVO LEON	1	5	44
15	OAXACA	66	2,507	21,964
16	PUEBLA	20	817	7,159
17	QUERETARO	4	137	1,200
18	SN.LUIS POTOSI	21	447	3,918
19	SINALOA	24	527	4,617
20	SONORA	15	414	3,628
21	TABASCO	8	209	1,830
22	TAMAULIPAS	10	95	833
23	VERACRUZ	62	1,614	14,137
24	ZACATECAS	8	118	1,035
SUMAS		541	19,619	171,866

T A B L A No. 4.4

cuencas del país, se tiene una buena idea de cuál debe ser la relación de estudios de identificación de proyectos en gabinete y en el campo, en las diferentes regiones, para su explotación. (Ver figura No. 4.5, tabla No. 4.5).

4.5 ENERGIA GEOTERMICA.

En cuanto a los aprovechamientos geotérmicos, los estudios para determinar su potencialidad se han venido realizando desde 1955 por parte de la Comisión Federal de - - Electricidad.

El desarrollo de la geotermia es factible en aquellos sitios donde se presentan fenómenos geológicos favorables para su explotación, como son la combinación de fallas en el manto terrestre y acuíferos subterráneos que permiten obtener vapor de subsuelo mediante la perforación de pozos.

Una de las principales zonas de nuestro país es la de Mexicali, que se localiza en una de las regiones del mundo donde se presenta el fenómeno de separación de placas terrestres, que a lo largo de la falla de San Andrés ha creado en el valle de Mexicali una importante zona de debilidad cortical.

Otra región mayor que la zona mencionada es la que se

POTENCIAL BRUTO TEORICO E IDENTIFICADO Y SU RELACION SEGUN
CUENCAS HIDROGRAFICAS

CUENCA HIDROLOGICA	POTENCIAL TEORICO MW	POTENCIAL IDENTIFICADO MW	R=PI/PT
YAQUI - MAYO	1,421	603.0	0.42
FUERTE	1,956	482.3	0.38
SINALOA-CULIACAN	1,629	227.6	0.14
SN. LORENZO ELOTA	979	177.3	0.18
PIAXTLA-PRESIDIO	718	234.0	0.32
BALUARTE	367	275.6	0.75
ACAPONETA	316	102.6	0.32
SAN PEDRO	1,157	177.9	0.15
LERMA SANTIAGO	4,266	1,092.7	0.27
AMECA	616	169.5	0.26
ARMERIA-COAHUAYANA	685	230.7	0.26
BALSAS	8,680	2,245.9	0.27
UNION PAPAGAYO	2,628	541.2	0.13
OMETEPEC	952	401.0	0.42
VERDE	1,047	608.8	0.58
COL. TEHUANTEPEC	390	270.2	0.69
PIJ. CINT. SUCH.	1,351	247.1	0.19
GRIJALVA-USUMACINTA	8,970	5,847.7	0.67
TON.-COATZACOALCOS	1,493	570.0	0.38
PAPALOAPAN	4,457	1,409.5	0.33
JAMAPA-ANTIGUA	1,845	453.2	0.24
NAUTLA-TECOLUTLA	3,152	740.4	0.21
CAZONES-TUXPAN	334	308.0	0.92
PANUCO	2,153	758.6	0.35
S. MARINA- S.FERNANDO	209	20.0	0.09
BRAVO	1,518	102.0	0.07
NAZAS	1,415	31.0	0.02
PLANICIE COSTERA	1,057	177.3	0.16
CUENCAS CERRADAS	--	--	--
BAJA CALIFORNIA	--	--	--
PENINSULA DE YUCATAN	--	--	--
P. BAJA CARGA (45)	--	772.2	--
P. PARTICULARES (335)	--	145.9	--
P. PEQUEÑAS OPER. (37)	--	33.0	--
P. PEQUEÑAS PROY. (85)	--	157.8	--
TOTAL EN LA REPUBLICA MEXICANA	56,322	19,619.0	0.39

T A B L A No. 4.5

conoce como Eje Neovolcánico, en la que se tienen detectadas más de 350 manifestaciones superficiales de energía calorífica de gran importancia, en las que se presentan 120 campos geotérmicos, que prometen un potencial considerable para la generación de electricidad. (Ver figura No. 4.6).

De las zonas que actualmente se exploran destacan: -- Ixtlan de los Hervores, Lago Cuitzeo, Los Negritos, La Primavera, San Marcos y Los Humeros en el Eje Neovolcánico y con mayor grado de avance Los Azufres, en Michoacán.

Con la información obtenida hasta la fecha, mediante trabajos de geología, geofísica y perforación, el potencial geotérmico de la zona de Mexicali se estima entre 850 y -- 1200 MW. En el centro del país, con los reconocimientos generales desarrollados, se considera que se cuenta entre 2000 y 3000 MW.

A continuación se presenta en la tabla No. 4.6 el resumen de los recursos energéticos de México.



RECURSOS ENERGETICOS DE MEXICO

RECURSOS NO RENOVABLES .

RECURSO	TIPO DE INFORMACION	CANTIDAD		EQUIVALENTE TERMICO(Kcal)
HIDROCARBUROS	RESERVAS PROBADAS	72,068 x 10 ⁶	BARRILES	110,011 x 10 ¹²
	RECURSOS POTENCIALES	250,000 x 10 ⁶	BARRILES	381,623 x 10 ¹²
CARBON	RESERVAS PROBADAS (1)	1,500 x 10 ⁶	TONELADAS	8,670 x 10 ¹²
	RESERVAS PROBADAS (2)	620 x 10 ⁶	TONELADAS	3,583 x 10 ¹²
	RECURSOS POTENCIALES	4,000 x 10 ⁶	TONELADAS	23,120 x 10 ¹²
URANIO	RESERVAS PROBADAS	8,993.8	TONELADAS	652 x 10 ¹²
	RECURSOS POTENCIALES	225,000	TONELADAS	16,313 x 10 ¹²
GEOTERMIA	RESERVAS PROBADAS	86,899	GWh	248.53 x 10 ¹²
	RECURSOS POTENCIALES	411,860	GWh	1,177.91 x 10 ¹²

RECURSOS RENOVABLES .

RECURSO	TIPO DE INFORMACION	ENERGIA ANUAL		EQUIVALENTE TERMICO(Kcal)
HIDROELECTRICIDAD.	POTENCIAL IDENTIFICADO	171,866	GWh	491 x 10 ¹²

(1) CARBON COQUIZABLE

(2) CARBON NO COQUIZABLE

EQUIVALENTES TERMICOS :

UN KILOGRAMO DE URANIO 72,500,000 Kcal

UN BARRIL DE PETROLEO EQUIVALENTE ... 1,526,493 Kcal

UN kWh ENERGIA ELECTRICA PRIMARIA ... 2,860 Kcal

UNA TONELADA DE CARBON 5,780,000 Kcal

TABLA 4.6

CAPITULO QUINTO

PRONOSTICO DE LA DEMANDA FUTURA DE ENERGIA ELECTRICA

- 5.1 BASES PARA EL PRONOSTICO DE LA DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA.
- 5.2 CALCULOS DE LAS ALTERNATIVAS GENERADAS.
- 5.3 RESULTADOS Y COMPARACION DE ALTERNATIVAS.
- 5.4 TABLAS Y GRAFICAS.

PRONOSTICO DE LA DEMANDA FUTURA DE ENERGIA ELECTRICA.

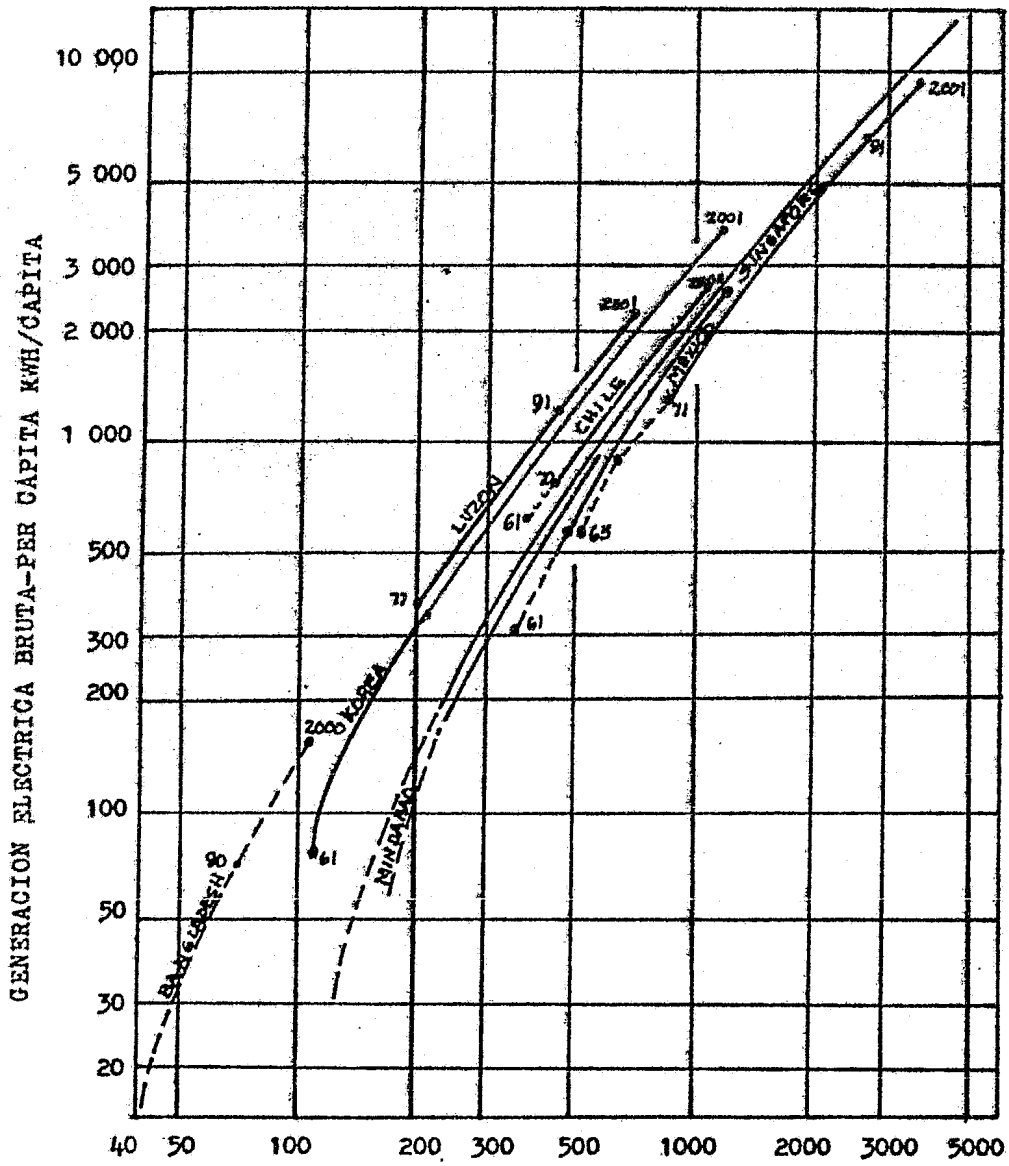
El objetivo principal que se plantea en este capítulo es pronosticar la demanda de energía eléctrica al año 2000 a nivel nacional.

5.1 BASES PARA EL PRONOSTICO DE LA DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA.

La planeación a largo plazo de los sistemas eléctricos de México debe tomar en cuenta las relaciones que existen entre los sectores económicos y sociales con el propio sector eléctrico.

Por lo tanto es necesario que al efectuar la planeación del sector eléctrico, se consideren diferentes hipótesis de desarrollo económico y de la población, tomando en consideración su trayectoria histórica.

Para el pronóstico de la demanda de energía eléctrica nos basamos en el método de H. Aoki. (gráfica 1). El propósito de este método es pronosticar la demanda de energía eléctrica; se basa en las relaciones comprobadas entre el Producto Nacional Bruto por habitante y el consumo de energía eléctrica por habitante. Los datos históricos del PNB, en la gráfica de H. Aoki se obtuvieron de la tabla mundial



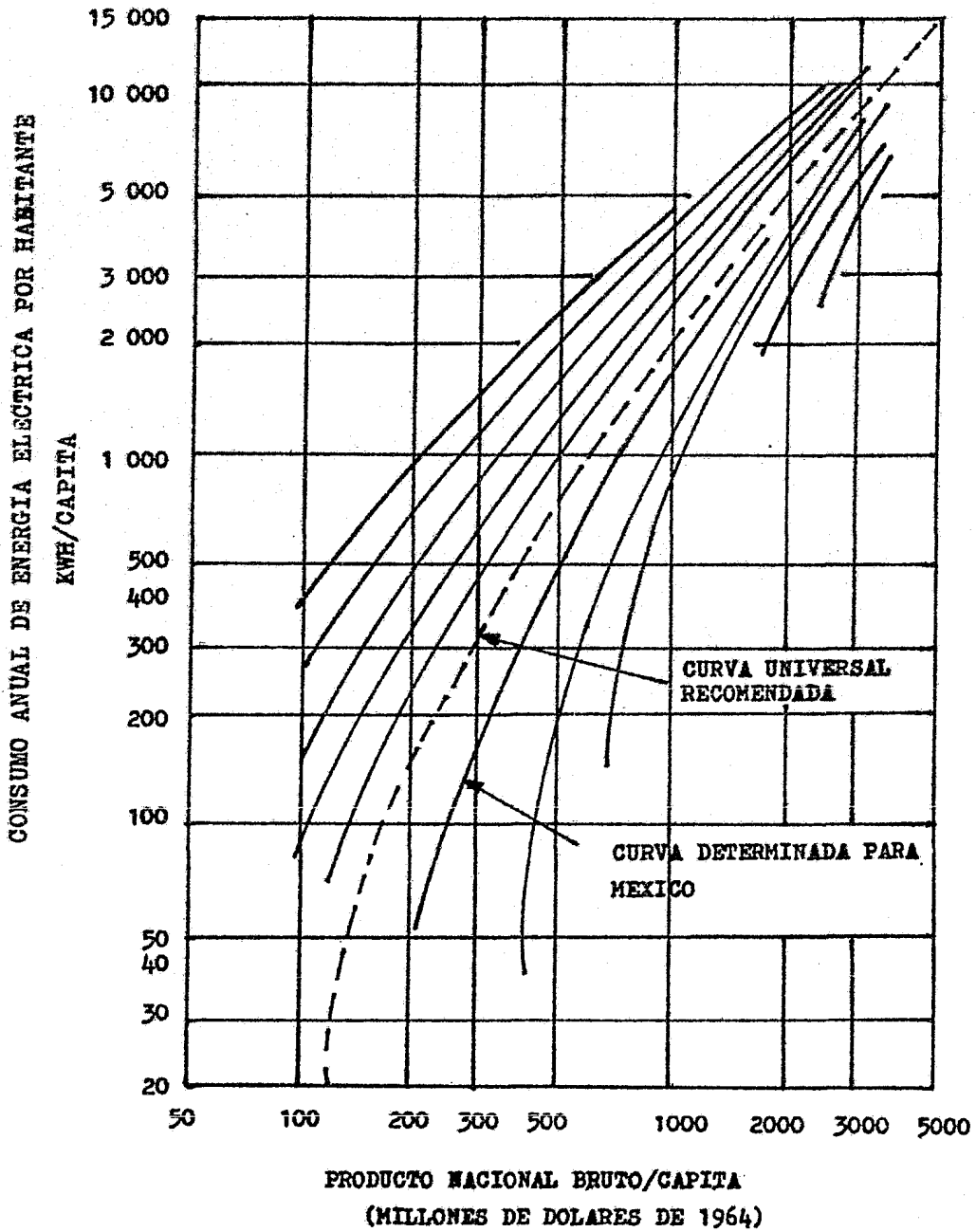
GRAFICA No. 1

del Banco Internacional de Reconstrucción y Desarrollo. -- (BIRD. Banco Mundial), publicados en enero de 1971, y se expresan en términos de precios constantes (dólares norteamericanos de 1964).

A este método, la Gerencia de Planeación de la Comisión Federal de Electricidad, en el Estudio del Desarrollo a Largo Plazo de los Sistemas Eléctricos en México, 1975¹, lo actualizó para el caso de México usando información reciente del consumo de energía eléctrica, valor del Producto Nacional Bruto y de la Población, y determinó la curva que correlaciona los valores del PNB per capita y KWh per capita (gráfica No. 2). Esta curva sigue la tendencia de la llamada curva "Universal" que H. Aoki determinó a nivel internacional.

Los datos (KWh/cap) en este estudio se utilizaron en este capítulo para la determinación de la demanda de energía eléctrica en el período de 1980-2000, para lo cual se estudiaron diferentes hipótesis de desarrollo, combinando tasas de crecimiento de población y crecimiento económico. Con relación al crecimiento histórico de la población de 1965 a 1980 se tuvo un crecimiento anual promedio de 3.31% (tabla No. 1).

(1) Plan de Expansión del Sector Eléctrico al año 2000 CFE Tomo I, octubre de 1970.



GRAFICA No. 2

POBLACION CENSADA DE LA REPUBLICA MEXICANA

ARO	A FINES DE JULIO (MILLONES DE HABITANTES)	TASA DE CRECI- MIENTO ANUAL %
1965	41.405	
1966	42.822	3.42
1967	44.289	3.42
1968	45.805	3.42
1969	47.374	3.42
1970	48.996	3.26
1971	50.596	3.26
1972	52.249	3.26
1973	53.955	3.26
1974	55.717	3.26
1975	57.537	3.26
1976	59.416	3.26
1977	61.357	3.26
1978	63.361	3.26
1979	65.430	3.26
1980	67.523	3.20

T A B L A No. 1

En las hipótesis adoptadas para el período de 1980 al año 2000 se proponen las siguientes tasas de crecimiento de población:

- 1) Se considera que el país sigue la trayectoria histórica, conservando un crecimiento del 3.5 % promedio anual.
- 2) Que el crecimiento de la población responde efectivamente a los programas de regulación de la natalidad, teniendo en consecuencia un crecimiento promedio anual del 2.5 %.

En cuanto al Producto Interno Bruto, la tasa de crecimiento histórica, de 1960 a 1980, fue de 6.5 % en promedio (tabla No. 2).

En las hipótesis propuestas para el período de 1980 al año 2000 se hacen las siguientes consideraciones del crecimiento del sector económico:

- 1) Que el país sigue la trayectoria histórica: un desarrollo económico aceptable para la economía de México del 6.5 % promedio anual.
- 2) Se supone un pequeño deterioro en la expansión de la economía y se tiene un desarrollo económico del 6 % promedio anual.

PRODUCTO INTERNO BRUTO
PRECIOS UNITARIOS DE 1960

ANO	P I B MILLONES DE PESOS	VARIACION ANUAL %
1960	150 511	-
1961	157 931	4.93
1962	165 310	4.70
1963	178 516	8.0
1964	199 390	11.70
1965	212 320	6.40
1966	227 037	6.90
1967	241 272	6.30
1968	260 901	8.14
1969	277 037	6.32
1970	296 600	6.92
1971	306 800	3.43
1972	329 100	7.30
1973	354 100	7.60
1974	375 000	5.90
1975	390 300	4.20
1976	398 600	2.10
1977	412 232	3.40
1978	445 727	8.10
1979	486 817	9.20
1980	516 482	6.30

TASA PROMEDIO 6.5 %

T A B L A No. 2

FUENTE: BANCO DE MEXICO. AÑO 1981.

- 3) Un escenario un tanto pesimista en cuanto al desarrollo económico, suponiendo un deterioro en la posición externa, teniéndose un crecimiento económico del 5.5 % promedio anual.

5.2 CALCULOS DE LAS ALTERNATIVAS GENERADAS.

Con este método se genera una alternativa cuando se considera una hipótesis de crecimiento de la población y una hipótesis de crecimiento del PNB.

Puesto que se tienen tres hipótesis de crecimiento -- del PNB y dos hipótesis del crecimiento de población se generan en total seis alternativas. Se consideran estas seis alternativas y se numeran de acuerdo a la hipótesis de población y del PNB como se muestran en la tabla No. 3.

Para efectos de cálculo del pronóstico de la demanda se utilizaron, como punto de partida, los datos del PNB, población y generación de energía eléctrica del año de 1980, los cuales son los siguientes:

PNB (1980)	\$ 46,699.45 x 10 ⁶ dls. (1964)
Población (3) (1980)	67,523 x 10 ⁶ hab.
Generación Eléctrica Bruta (2)	61.668 TWh.

(2) Ver tabla No. 4 a

(3) Consejo Nacional de la Población año 1981.

ALTERNATIVAS DE LAS DIFERENTES HIPÓTESIS DE CRECIMIENTO

ECONÓMICO Y DE LA POBLACION

1a. ALTERNATIVA

PNB..... 5.5 %
POBLACION..... 2.5 %

TABLA No. 4

2a. ALTERNATIVA

PNB..... 5.5 %
POBLACION... 3.5 %

TABLA No.5

3a. ALTERNATIVA

PNB..... 6.0 %
POBLACION..... 2.5 %

TABLA No. 6

4a. ALTERNATIVA

PNB..... 6.0 %
POBLACION... 3.5 %

TABLA No.7

5a. ALTERNATIVA

PNB..... 6.5 %
POBLACION..... 2.5 %

TABLA No. 8

6a. ALTERNATIVA

PNB..... 6.5 %
POBLACION... 3.5 %

TABLA No.9

T A B L A No. 3

DATOS HISTORICOS DE GENERACION BRUTA ANUAL

AÑO	GENERACION	TASA DE CRECIMIENTO
	TWH	ANUAL %
1965	14.717	9.81
1966	16.162	10.97
1967	17.935	11.16
1968	20.019	15.21
1969	23.065	12.65
1970	26.030	9.42
1971	28.483	10.70
1972	31.533	8.59
1973	34.244	10.99
1974	38.008	7.55
1975	40.879	9.16
1976	44.632	9.66
1977	48.945	8.23
1978	52.977	9.61
1979	58.070	6.54
1980	61.868	

TASA PROMEDIO 10.03 %

T A B L A No. 4 a

FUENTE: Sector Eléctrico Nacional, estadísticas 1965-1980, CFE.

A partir de estos datos se calcularon sus correspondientes valores para cada año futuro y un valor de PNB/hab. y así determinar el valor de KWh/Hab. utilizando las tablas generadas en el estudio realizado por la Gerencia de Planeación de la Comisión Federal de Electricidad (Anexo No. 1, tablas de la No. 9 a la No. 17). El KWh/Hab. multiplicado por la población del año correspondiente proporciona el pronóstico de la demanda de energía eléctrica en KWh, haciendo la conversión correspondiente a TWh.

El PNB está dado en precios expresados en dólares con poder adquisitivo de 1964, y dado que el método de H. Aoki utiliza datos del PNB expresados en este valor, se tuvo que hacer la conversión utilizando la siguiente metodología:

- 1) Se tienen datos del Producto Interno Bruto (PIB) a precios constantes de 1960, (tabla No. 2).
- 2) Se determina el PIB a precios de 1964 a partir del PIB de 1960 de la siguiente manera:

$$\frac{\text{PIB de 1964 a precios corrientes} = \$ 231,370}{\text{PIB de 1964 a precios de 1960} = \$ 199,390} = 1.1604$$

Con este factor (1.1604), multiplicado por los valores del PIB a precios de 1960 se obtiene la conversión a -

precios de 1964.

Después, para obtener el PNB (pesos 1964) se puede -- utilizar la siguiente relación⁴ :

$$\text{PNB} = \text{PIB} \times 0.974$$

Finalmente para expresar el PNB en dólares americanos de 1964 se considera un tipo de cambio de 12.5 por dólar.

Cálculo del PNB₍₁₉₈₀₎ (a precios unitarios de 1960), - para obtenerlo en dólares de 1964:

$$\begin{aligned} \text{PIB}_{(1980)} &= \$ 516,482 \times 10^6 \\ \text{PIB}_{(1964)} &= \$ 516,482 \times 10^6 \times (1.1604) = \$ 599,325 \times 10^6 \\ \text{PNB}_{(1964)} &= \$ 599,325 \times 10^6 \times (0.974) = \$ 583,742 \times 10^6 \\ \text{PNB}_{(\text{Dls. } 1964)} &= \frac{583,742 \times 10^6}{12.5} = \$ 46,699.45 \times 10^6 \end{aligned}$$

EJEMPLO DE CALCULO DEL PRONOSTICO DE DEMANDA (QUINTA ALTERNATIVA)

Con la hipótesis de crecimiento económico de 6.5 % -- promedio anual del PNB y el 2.5 % de crecimiento promedio-anual de la población, se estiman para el año 2000 sus valores partiendo de los datos de 1980, de la siguiente manera:

(4) Plan de Expansión del Sector Eléctrico al año 2000
Tomo I C.F.E. octubre 1970, pp. 5 Anexo 4.

$$\text{No. habitantes (2000)} = \text{No. habitantes (1980)} \times (i+1)^n$$

$$\text{PNB (2000)} = \text{PNB (1980)} \times (i'+1)^n$$

donde: n = número de años.

i = tasa de crecimiento promedio anual de la población

i' = tasa de crecimiento promedio anual del PNB.

Datos: No. habitantes (1980) = $67,523 \times 10^3$ $i = 2.5 \%$
PNB (1980) = $\$46,699.45 \times 10^6$ dls. (1964) $i' = 6.5 \%$
 $n = 20$ años.

sustituyendo:

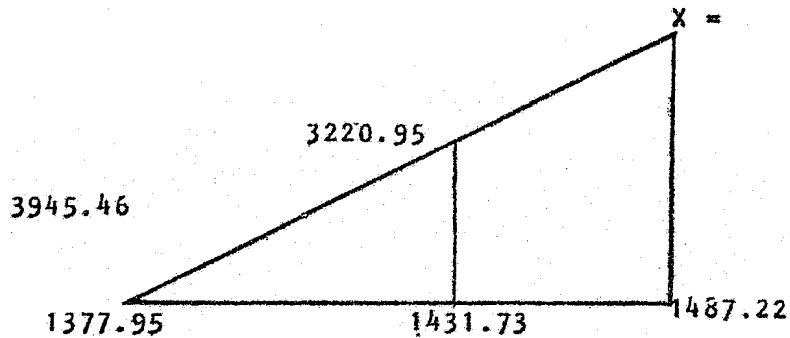
$$\begin{aligned} \text{No. hab. (2000)} &= 67,523 \times 10^3 \times (1+0.025)^{20} = 110,644.2 \times 10^3 \text{ hab.} \\ \text{PNB (2000)} &= \$46,699.45 \times 10^6 \times (1+0.065)^{20} = 164,552.28 \times 10^6 \text{ Dls.} \end{aligned}$$

Con estos valores de No. hab (2000) y PNB (2000) se encuentra la relación $\text{PNB (2000)} / \text{No. hab (2000)}$.

$$\frac{\text{PNB (2000)}}{\text{No. hab (2000)}} = \frac{164,552.28 \times 10^6}{110,644.2 \times 10^3} = 1,487.22 \text{ Dls/hab.}$$

Obteniendo este valor se determina la relación KWH/No. hab. realizando una extrapolación utilizando las tablas generadas por la Gerencia de Planeación de la C.F.E. (Anexo No. 1 tablas de la No. 9 a la No. 17).

Para este valor de 1,487.22 le corresponde una relación de:



$$X = 3,402 \text{ kWh/No. habitante.}$$

Con esta relación y con el número de habitantes estimados para el año 2000 se determina la demanda de energía eléctrica en kWh, haciendo la multiplicación del No.hab₍₂₀₀₀₎ por la relación.

$$\text{KWh} = \text{No.hab. (2000)} \times (3,402 \text{ kWh/No.hab (2000)})$$

$$\text{KWh} = 3.7641 \times 10^{11}$$

que realizando la conversión a TWh tenemos:

$$1 \text{ TWh} = 10^9 \text{ kWh} \quad \text{Por lo tanto:}$$

$$3.7641 \times 10^{11} \text{ kWh} = \underline{\underline{376.41 \text{ TWh}}}$$

A la cual le corresponde un crecimiento promedio ---
anual de generación:

$$\text{Generación}_{(1980)} \times (i+1)^n = \text{Generación}_{(2000)} \text{---(a)}$$

donde: n = número de años, i = tasa de crecimiento prome-
dio anual.

$$\text{Generación}_{(1980)} = 61.868 \text{ TWh.}$$

$$\text{Generación}_{(2000)} = 376.41 \text{ TWh.}$$

n = 20 años.

Despejando la tasa de crecimiento de la expresión (a)
tenemos:

$$i = \left[\frac{\text{Generación}_{(2000)}}{\text{Generación}_{(1980)}} \right]^{1/n} - 1$$

Por lo que sustituyendo los valores obtenemos:

$$i = \left[\frac{376.41}{61.868} \right]^{1/20} - 1 = 0.0944$$

$$\underline{i = 9.44 \%}$$

5.3 RESULTADOS Y COMPARACION DE ALTERNATIVAS.

Los resultados obtenidos de las seis alternativas se muestran en las tablas de la No. 4 a la No. 9 y la gráfica No. 3.

Las tasas de crecimiento promedio anual de la demanda de energía para el período 1980-2000 y las demandas de energía para cada alternativa generada al año 2000 se muestran en la tabla No. 10.

Se puede apreciar que para crecimientos altos de población con un desarrollo económico fijo se alcanzan menores valores de PNB por habitante, y de KWh por habitante.

Por el contrario para un alto desarrollo económico -- con un crecimiento demográfico fijo se logran más grandes valores de PNB por habitante y de KWh por habitante. De manera que con la alternativa generada con la hipótesis primera de población, que es la que tiene mayor tasa de crecimiento (3.5%) y con la hipótesis número 3 del PNB, que es la que tiene menor tasa de crecimiento (5.5 %), se obtiene la menor demanda de energía eléctrica para el período 1980-2000 con una tasa de crecimiento promedio anual de 7.32%.

Por el contrario, con la alternativa generada en la hipótesis número 1 del PIB, que es la que supone el más alto desarrollo económico (6.5%) y con la hipótesis número 2 de población que es la que tiene menor tasa de crecimiento (2.5 %), se obtiene la mayor demanda de energía eléctrica para el mismo período con una tasa de crecimiento promedio anual de 9.44 %.

5.4 TABLAS Y GRAFICAS.

PRONOSTICO DE ENERGIA ELECTRICA

METODO : H. AOKI

TASA PNB 5.5 %

PNB INICIAL 46,699.45 MILLONES DE DLS. DE 1964

POBLACION INICIAL 67.52 MILLONES DE HABITANTES

No. DE AÑOS 20 TASA DE POBLACION... 2.5 %

AÑO	POBLACION	P N B	PNB / CAP	KWH / CAP	TWH
1980	67.523	46,699.45	691.602	973.83	65.75
1981	69.211	49,267.91	711.853	1,026.71	71.06
1982	70.941	51,977.65	732.684	1,081.14	76.69
1983	72.714	54,836.42	754.129	1,138.85	82.81
1984	74.532	57,852.42	776.201	1,198.25	89.30
1985	76.396	61,034.31	798.919	1,261.01	96.33
1986	78.305	64,391.20	822.302	1,325.62	103.80
1987	80.263	67,932.71	846.369	1,394.74	111.94
1988	82.270	71,669.01	871.140	1,465.89	120.59
1989	84.326	75,610.81	896.63	1,538.38	129.70
1990	86.435	79,769.40	922.88	1,612.94	139.41
1991	88.596	84,156.72	950.11	1,694.30	150.01
1992	90.810	88,785.34	977.69	1,776.72	161.34
1993	93.081	93,668.53	1,006.30	1,864.23	173.52
1994	95.408	98,820.30	1,035.70	1,954.16	186.44
1995	97.793	104,255.40	1,066.00	2,046.26	200.11
1996	100.238	109,989.40	1,097.20	2,141.11	214.62
1997	102.744	116,038.80	1,129.30	2,242.41	230.39
1998	105.312	122,421.00	1,162.40	2,346.88	247.15
1999	107.945	129,154.10	1,196.40	2,458.01	265.30
2000	110.644	136,257.60	1,231.40	2,572.42	284.65

TABLA 4

PRONOSTICO DE ENERGIA ELECTRICA

METODO : H. AOKI

TASA PNB 5.5 %

PNB INICIAL 46,699.45 MILLONES DE DLS. DE 1964

POBLACION INICIAL 67.52 MILLONES DE HABITANTES

No. DE AÑOS 20 TASA DE POBLACION.... 3.5 %

AÑO	POBLACION	P N B	PNB / CAP	KWH / CAP	TWH
1980	67.523	46,699.45	691.60	973.83	65.75
1981	69.886	49,267.91	704.97	1,008.55	70.48
1982	72.332	51,977.65	718.59	1,044.31	75.53
1983	74.863	54,836.42	732.48	1,081.14	80.93
1984	77.484	57,852.42	746.63	1,119.04	86.70
1985	80.196	61,034.31	761.06	1,158.05	92.98
1986	83.003	64,391.20	775.76	1,198.19	99.45
1987	85.908	67,932.71	790.76	1,239.48	106.48
1988	88.914	71,669.01	806.04	1,281.95	113.98
1989	92.026	75,610.81	821.61	1,325.62	121.99
1990	95.247	79,769.40	837.49	1,370.51	130.55
1991	98.581	84,156.72	853.67	1,416.65	139.65
1992	102.031	88,785.34	870.17	1,464.06	149.38
1993	105.603	93,668.53	886.98	1,512.77	159.75
1994	109.299	98,820.30	904.12	1,562.79	170.81
1995	113.124	104,255.40	921.59	1,603.68	181.41
1996	117.083	109,989.40	939.40	1,667.03	195.18
1997	121.181	116,038.80	957.56	1,721.36	208.59
1998	125.423	122,421.00	976.06	1,776.72	222.84
1999	129.813	129,154.10	994.92	1,833.33	237.99
2000	134.356	136,257.60	1,014.14	1,891.30	254.10

TABLA 5

PRONOSTICO DE ENERGIA ELECTRICA

METODO : H. AOKI

TASA PNB 6.0 %

PNB INICIAL 46,629.45 MILLONES DE DLS. DE 1964

POBLACION INICIAL 67.52 MILLONES DE HABITANTES

No. DE AÑOS 20 TASA DE POBLACION.... 2.5 %

AÑO	POBLACION	P N B	PNB / CAP	KWH / CAP	TWH
1980	67.523	46,699.45	691.62	973.83	65.75
1981	69.211	49,501.41	715.22	1,042.26	72.13
1982	70.941	52,471.52	739.64	1,102.30	78.19
1983	72.714	55,619.79	764.91	1,168.26	84.94
1984	74.532	58,956.92	791.00	1,237.49	92.22
1985	78.396	62,494.32	818.00	1,310.10	100.08
1986	78.305	66,244.34	845.96	1,398.20	109.48
1987	80.263	70,218.72	874.85	1,473.20	118.23
1988	82.270	74,431.83	904.72	1,563.90	128.58
1989	84.326	78,897.71	935.61	1,656.21	139.66
1990	86.435	83,631.62	967.56	1,757.01	151.86
1991	88.596	88,649.92	1,000.60	1,849.63	163.86
1992	90.810	93,968.46	1,034.77	1,952.93	177.34
1993	93.081	99,606.57	1,070.10	2,062.30	191.96
1994	95.408	105,582.92	1,106.64	2,184.85	208.45
1995	97.793	111,917.91	1,144.43	2,294.03	224.34
1996	100.238	118,633.12	1,183.51	2,415.36	242.11
1997	102.744	125,751.00	1,223.92	2,530.31	259.94
1998	105.312	133,296.00	1,265.71	2,681.65	282.41
1999	107.945	141,293.82	1,308.93	2,822.05	304.62
2000	110.644	149,771.42	1,353.63	2,967.25	328.24

TABLE 6

PRONOSTICO DE ENERGIA ELECTRICA

METODO : H. AOKI

TASA PNB 6.0 %

PNB INICIAL 46,699.45 MILLONES DE DLS. DE 1964

POBLACION INICIAL 67.52 MILLONES DE HABITANTES

No. DE AÑOS 20 TASA DE POBLACION :... 3.5 %

AÑO	POBLACION	P N B	PNB / CAP	KWH / CAP	TWH
1980	67.523	46,699.45	691.60	973.83	65.75
1981	69.886	49,501.41	708.31	1,018.31	71.16
1982	72.332	52,471.50	725.42	1,062.08	76.82
1983	74.863	55,619.79	742.94	1,109.05	83.02
1984	77.484	58,756.90	758.30	1,150.23	89.12
1985	80.196	62,494.30	779.26	1,207.31	96.82
1986	83.003	66,244.45	798.09	1,259.97	104.52
1987	85.908	70,218.74	817.36	1,313.85	112.87
1988	88.914	74,431.83	837.11	1,370.51	121.85
1989	92.026	78,897.72	857.33	1,429.09	131.51
1990	95.247	83,631.67	878.04	1,488.63	141.78
1991	98.581	88,649.49	899.25	1,550.34	152.83
1992	102.031	93,968.46	921.23	1,612.81	164.56
1993	105.603	99,606.57	943.21	1,676.01	176.99
1994	109.292	105,582.95	965.99	1,745.92	190.68
1995	113.124	111,917.93	989.33	1,816.76	205.52
1996	117.083	118,633.23	1,013.23	1,890.66	221.36
1997	121.751	125,751.52	1,037.70	1,963.43	237.93
1998	125.423	133,296.34	1,062.76	2,041.08	255.99
1999	129.893	141,293.85	1,087.77	2,188.82	284.31
2000	134.356	149,771.46	1,114.73	2,202.63	295.93

TABLA 7

PRONOSTICO DE ENERGIA ELECTRICA

METODO : H. AOKI

TASA PNB 6.5 %

PNB INICIAL 46,699.45 MILLONES DE DLS. DE 1964

POBLACION INICIAL 67.52 MILLONES DE HABITANTES

No. DE AÑOS 20 TASA DE POBLACION 2.5 %

AÑO	POBLACION	P N B	PNB / CAP	KWH / CAP	TWH
1980	67.523	46,699.45	691.60	973.83	65.75
1981	69.211	49,734.91	718.59	1,044.25	77.48
1982	70.941	52,967.68	746.64	1,119.60	79.38
1983	72.714	56,410.58	775.81	1,198.19	87.12
1984	74.532	60,077.27	806.05	1,282.00	95.55
1985	76.396	63,982.29	837.50	1,370.51	104.70
1986	78.305	68,141.14	870.19	1,464.00	114.64
1987	80.263	72,570.31	904.14	1,562.70	125.48
1988	82.270	77,287.38	939.43	1,667.20	137.14
1989	84.326	82,311.06	976.11	1,776.72	149.82
1990	86.435	87,661.28	1,014.18	1,892.30	163.53
1991	88.596	93,359.27	1,056.40	2,020.30	178.99
1992	90.810	99,427.62	1,094.88	2,141.40	194.42
1993	93.081	105,890.41	1,137.61	2,274.90	211.75
1994	95.408	112,773.29	1,153.17	2,325.60	221.83
1995	97.793	120,103.56	1,228.13	2,562.42	250.58
1996	100.238	127,910.29	1,276.06	2,716.10	272.24
1997	102.744	136,224.46	1,325.86	2,877.31	295.62
1998	105.312	145,079.05	1,377.60	3,045.20	320.67
1999	107.945	154,509.18	1,431.36	3,220.95	347.68
2000	110.644	164,552.28	1,487.22	3,402.30	376.40

TABLA 8

PRONOSTICO DE ENERGIA ELECTRICA

METODO : H. AOKI

TASA PNB 6.5 %

PNB INICIAL 46,699.45 MILLONES DE DLS. DE 1964

POBLACION INICIAL 67.52 MILLONES DE HABITANTES

No. DE AÑOS 20 TASA DE POBLACION 3.5 %

AÑO	POBLACION	P N B	PNB / CAP	KWH / CAP	TWH
1980	67.523	46,699.45	691.60	973.83	65.75
1981	69.886	49,734.91	711.70	1,028.27	71.86
1982	72.332	52,967.68	732.30	1,081.14	78.20
1983	74.484	56,410.58	735.50	1,089.59	81.57
1984	77.484	60,077.27	775.34	1,198.19	92.84
1985	80.196	63,982.29	797.82	1,260.21	101.06
1986	83.003	68,141.14	820.94	1,320.62	109.61
1987	85.908	72,570.31	844.74	1,390.63	119.47
1988	88.914	77,287.38	869.22	1,460.06	129.81
1989	92.026	82,311.06	894.40	1,540.32	141.72
1990	95.247	87,661.28	920.37	1,610.23	153.34
1991	98.581	93,359.27	947.02	1,692.12	166.80
1992	102.031	99,427.62	971.75	1,767.06	180.29
1993	105.603	105,890.41	1,002.72	1,860.92	196.92
1994	109.299	112,773.29	1,031.78	1,948.99	212.91
1995	113.124	120,103.56	1,061.69	2,039.64	230.66
1996	117.083	127,910.29	1,092.46	2,132.98	249.62
1997	121.181	136,224.46	1,125.46	2,232.41	270.47
1998	125.423	145,079.05	1,156.71	2,335.47	292.86
1999	129.813	154,509.18	1,190.24	2,441.50	316.93
2000	134.356	164,552.28	1,224.74	2,550.68	342.70

TABLA 9

R E S U L T A D O S

ALTERNATIVA	VARIACION (PNB/POBLACION)%	TASA DE CRECIMIENTO PROMEDIO ANUAL %	DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA TWH
1	5.5/2.5	7.92	284.61
2	5.5/3.5	7.32	254.10
3	6.0/2.5	8.70	328.20
4	6.0/3.5	8.10	295.90
5	6.5/2.5	9.44	376.40
6	6.5/3.5	8.93	342.68

T A B L A No. 10

GRAFICA No. 3

TWE

COMPARACION GRAFICA DE LAS ALTERNATIVAS GENERADAS

500

400

300

200

100

No. DE ALTERNATIVA

1980

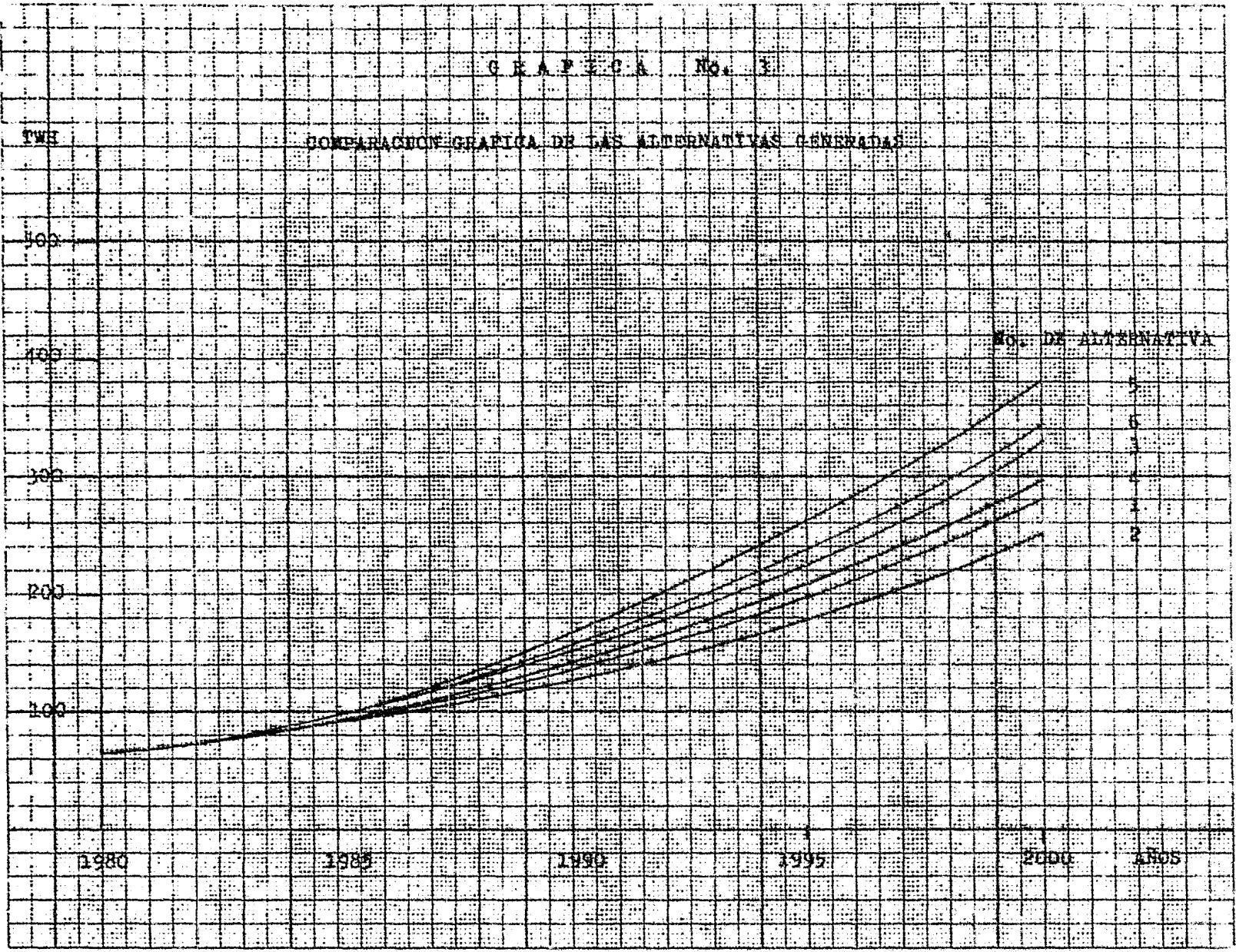
1985

1990

1995

2000

AÑOS



GRAFICA No. 3

TME

COMPARACION GRAFICA DE LAS ALTERNATIVAS GENERADAS

500

400

300

200

100

No. DE ALTERNATIVA

5
4
3
2

1980

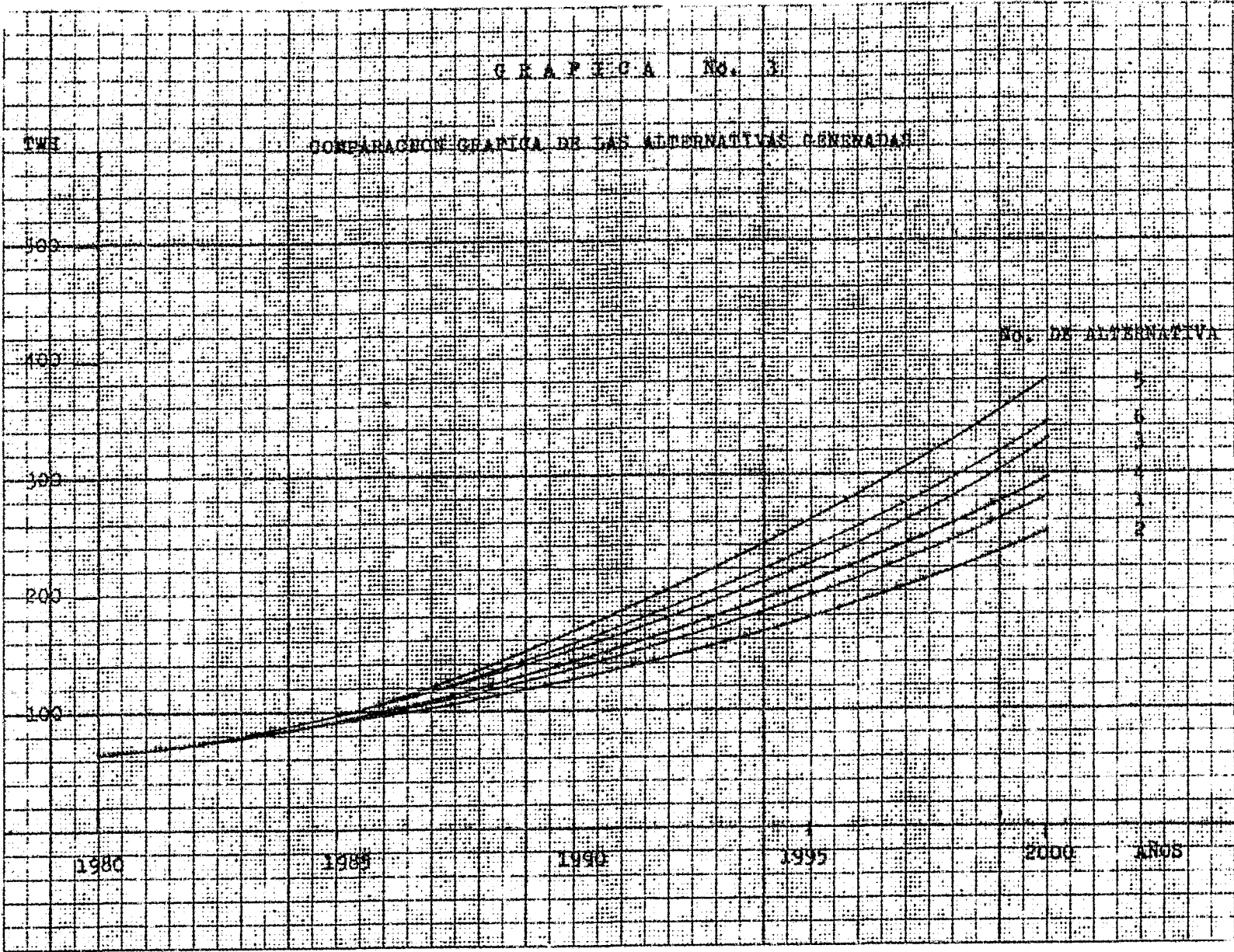
1985

1990

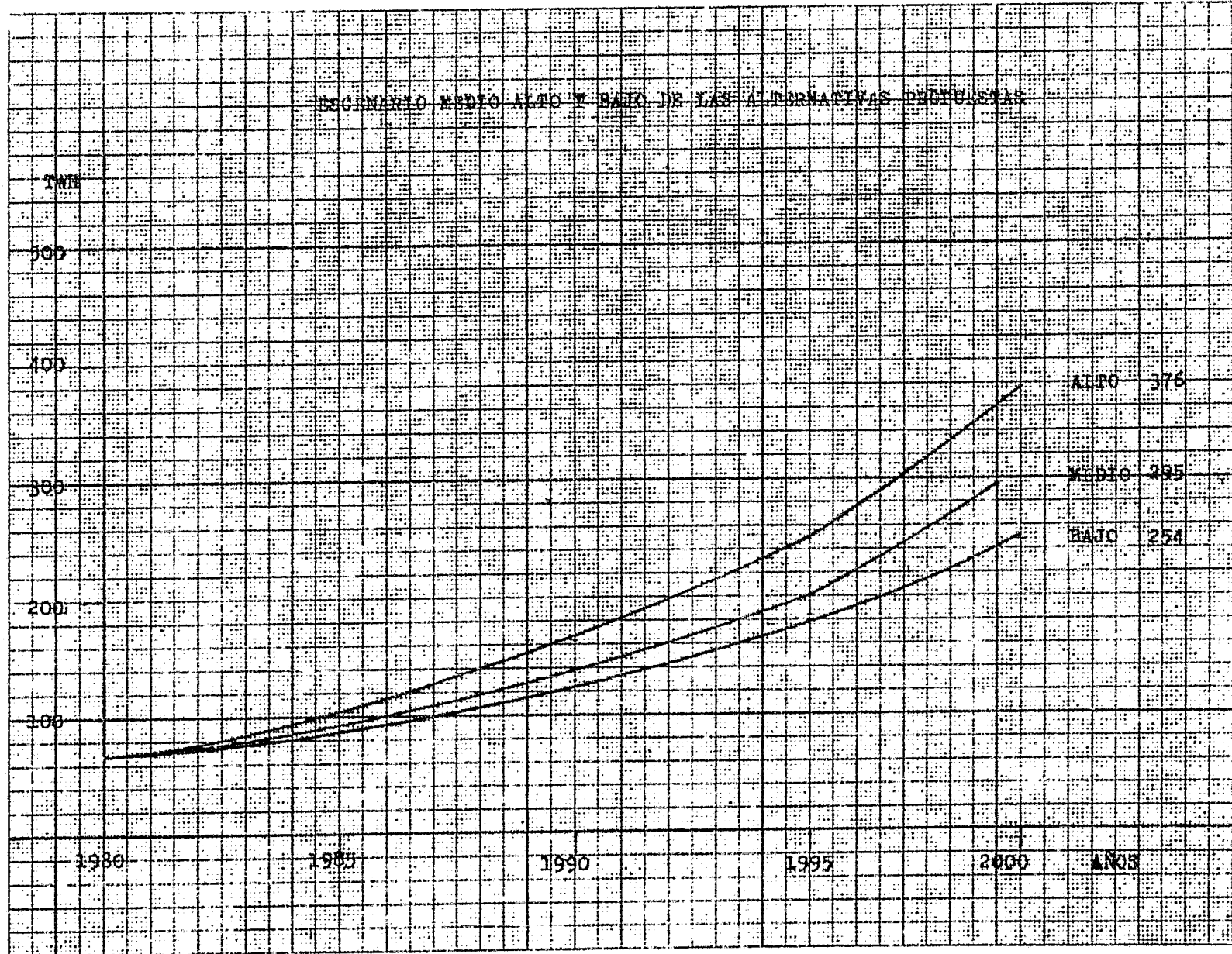
1995

2000

AÑOS



ESCENARIO MEDIO ALTO Y BAJO DE LAS ALTERNATIVAS PRODUCCION



CAPITULO SEXTO

PROPUESTA DE DIVERSIFICACION DE LOS MEDIOS DE GENERACION
ELECTRICA PARA SATISFACER LA DEMANDA DE GENERACION NACIO-
NAL FUTURA.

- 6.1 COMPARACION ECONOMICA DE CENTRALES GENERADORAS.
- 6.2 COMPARACION GRAFICA DE COSTOS DE CENTRALES GENERADORAS.
- 6.3 PROPUESTA DE DIVERSIFICACION DE LOS MEDIOS DE GENERACION.

PROPUESTA DE DIVERSIFICACION DE LOS MEDIOS DE GENERACION
ELECTRICA PARA SATISFACER LA DEMANDA DE GENERACION NACIO-
NAL FUTURA.

El objetivo de este capítulo es la comparación económica de centrales generadoras de energía eléctrica como -- una base para la justificación de la propuesta de diversificación de los medios de generación.

6.1 COMPARACION ECONOMICA DE CENTRALES GENERADORAS

El hecho de que la energía eléctrica no pueda almacenarse en cantidades significativas obliga a desarrollar un sistema de generación capaz de adaptarse en cada instante a la demanda de los usuarios; esta demanda está modulada -- por las actividades humanas en el territorio servido y presenta variaciones muy altas, siguiendo los ritmos de trabajo diarios, semanales, anuales y la influencia de los cambios estacionales.

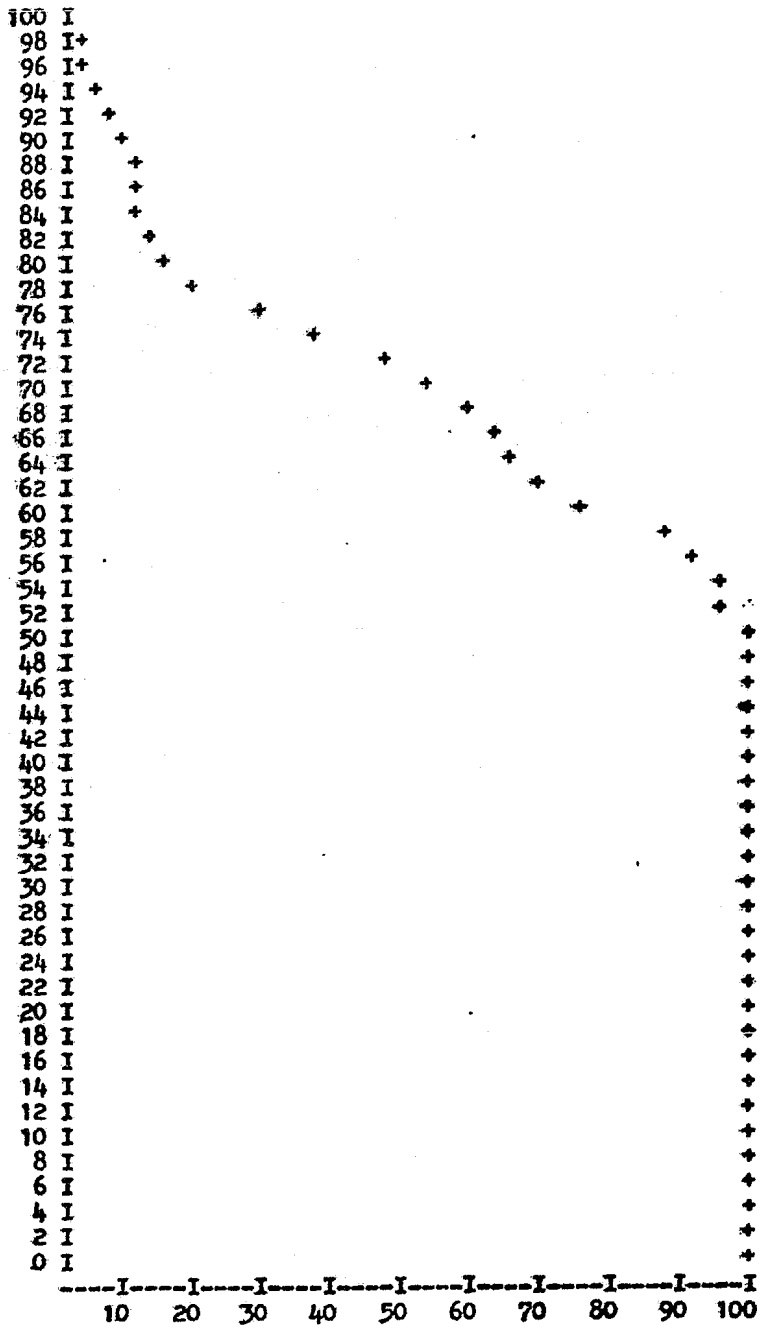
El problema complejo de la expansión de los medios de generación de un sistema eléctrico se planteó inicialmente como un problema exclusivamente de optimización económica; se trataba de minimizar la suma de los costos de inversión y operación, mediante una mezcla óptima de los diferentes medios de generación, satisfaciendo la potencia y la ener-

gía eléctrica requeridas con una calidad adecuada del servicio.

Para ilustrar en forma sencilla el procedimiento para obtener una combinación óptima de capacidad de generación para satisfacer una demanda eléctrica determinada, se presenta una aplicación gráfica del método basado en el análisis llamado de punto de equilibrio. Se trata de un modelo que, en su forma más sencilla, resuelve el problema de determinar la combinación óptima de unidades de generación nuevas de distintos tipos, necesarias para satisfacer la demanda de generación eléctrica en un año futuro determinado.

Para aplicar el análisis del punto de equilibrio conviene representar las características y magnitud de la carga mediante una curva de duración de carga. Esta curva se obtiene para un año determinado, a partir de las curvas diarias de demanda correspondientes a todos los días de ese año, sumando la demanda horaria durante el año y ordenándola de mayor a menor en función de la duración. Esto se ilustra en la figura 6.1, que muestra la curva de duración de carga correspondiente al sistema cuya carga semanal típica aparece en la figura 6.2 .

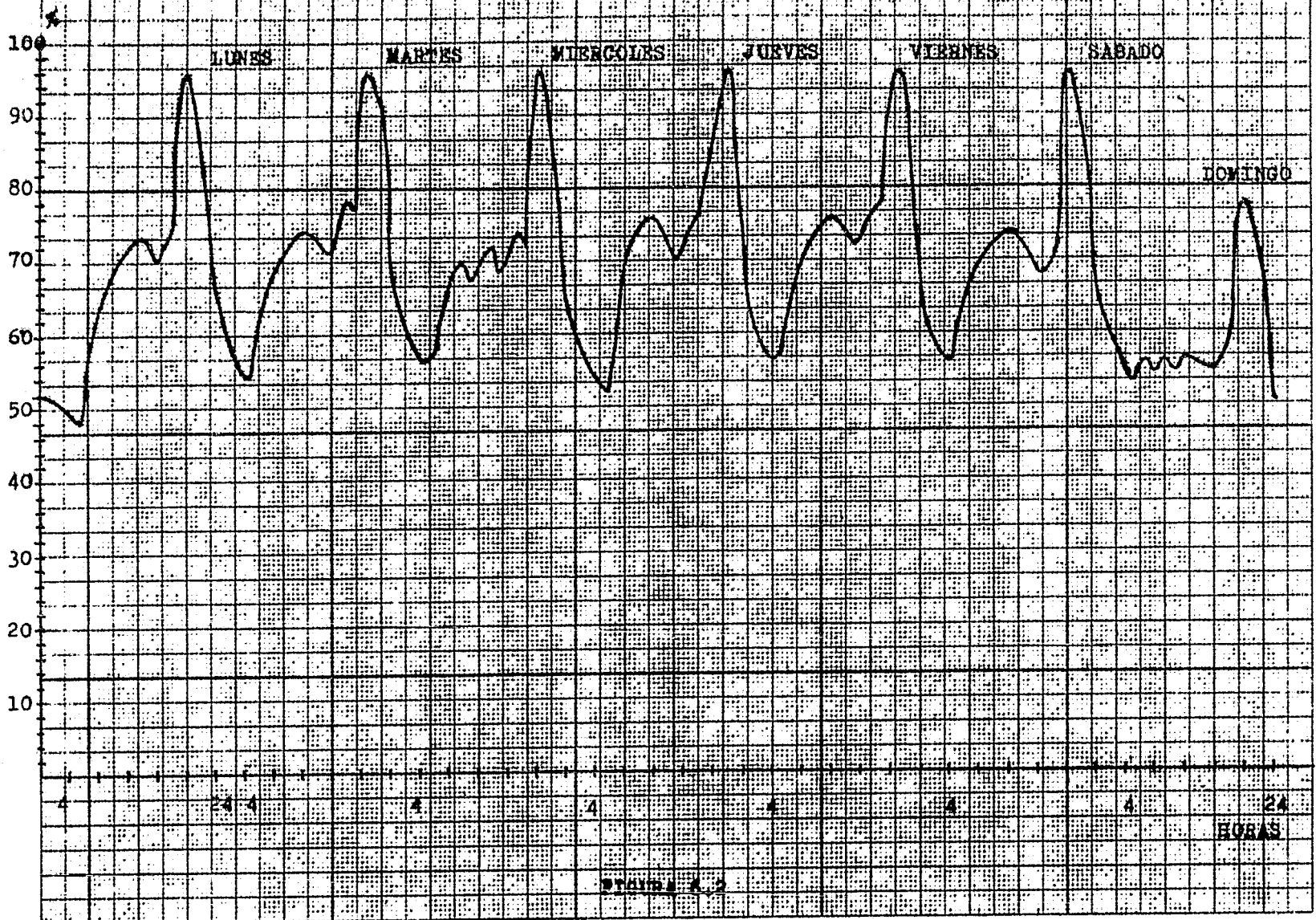
CURVA DE DURACION DE CARGA



CURVA DE DURACION DE CARGA ++++++

FIGURA 6.1

CURVAS DIARIAS DE DEMANDA ELÉCTRICA



La curva de duración de carga anual y las características de costo de producción de los distintos tipos de unidades generadoras pueden combinarse como se indica en la figura 6.3, donde las líneas rectas de la figura 6.3a representan gráficamente los costos en función de la duración de funcionamiento de cada unidad. La ordenada en el origen de cada recta queda determinada por el costo anual de inversión más los costos fijos anuales de operación. La pendiente de cada recta es función de los costos variables de operación que están dados por el costo del combustible utilizado, el cual depende del precio unitario del combustible, el consumo específico del combustible de la unidad generadora considerada y el poder calorífico del combustible. Evidentemente en el caso de una planta hidroeléctrica la pendiente de la recta que representa sus costos de producción es igual a cero.

Como se muestra en la figura 6.3b la combinación óptima de la capacidad de generación se obtiene cuando esta capacidad es la adecuada para suministrar la energía representada por el área (1) mediante la unidad generadora, cuya característica de producción corresponde a la recta (1), la energía correspondiente al área (2) con la unidad de característica (2) y la energía correspondiente al área (3) con la unidad de característica (3).

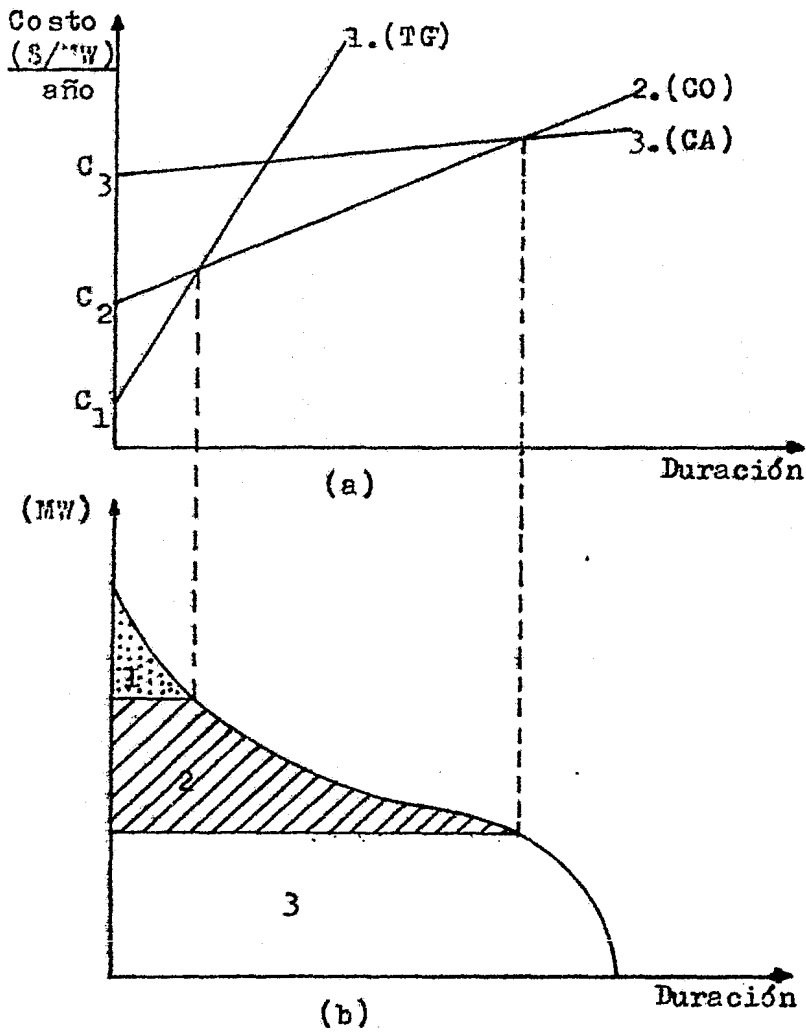


FIGURA 6.3

Ilustración del método del punto de equilibrio para la optimización económica de la expansión de la generación.

La comparación gráfica es una forma rápida de conocer el costo total anual de cada central según el factor de planta.

En la elección de plantas a instalar se toman, en cuenta entre otros factores, los costos a largo plazo de la generación. El Programa de Energía indica que, considerando los precios internacionales de los combustibles, las distintas fuentes se ordenan, de menor a mayor costo por unidad de generación, de la siguiente manera: geotérmica, carbonífera, hidráulica, nuclear y térmica a base de hidrocarburos. No obstante que dichos costos unitarios pueden cambiar en el futuro, esta última fuente continuará siendo la menos económica a precios internacionales.

En la tabla 6.1, tomada del Programa de Energía, se proporcionan los costos estimados de generación eléctrica para distintos tipos de plantas generadoras.

COSTOS ESTIMADOS DE GENERACION ELECTRICA PARA NUEVAS PLANTAS

(PESOS POR KWh)^ε

	Geo- térnica	Carbo- eléctrica	Hidro- eléctrica	Nucleo- eléctrica	Termo- eléctrica a base de combustóleo
Total	0.37	0.47	0.48	0.52	0.69
Costo de inversión	0.25	0.18	0.44	0.32	0.12
Costo de explotación	0.12	0.07	0.04	0.05	0.04
Costo de combustible ^{εε}	-	0.22	-	0.15	0.53

ε Precios de 1979

εε Comparación con base en precios internacionales de los combustibles.

TABLA - 6.1

Como puede verse en dicha tabla el costo estimado de generación de un KWh en una planta nucleoelectrica es más elevado que el costo del KWh generado en una planta hidroeléctrica, carboeléctrica o geotermoeléctrica y sólo es mayor el de una termoeléctrica convencional que utilice combustóleo a precio internacional.

Por otra parte, el costo de inversión en una planta nucleoelectrica es elevado, sólo superado, según la tabla 6.1, por el de una planta hidroeléctrica, pero con la importante diferencia a favor de esta última de que gran parte de la inversión en una planta hidroeléctrica se hace en moneda nacional, puesto que la mayor parte de los insumos necesarios son producidos en el país, mientras que en el caso de una nucleoelectrica la inversión necesaria requiere que el país desembolse divisas extranjeras, debido a que casi todo el equipo y la ingeniería del proyecto tienen actualmente que importarse.

En cuanto al costo del combustible, que representa en el caso de la nucleoelectrica el 29 por ciento del costo de KWh, es, en el caso de la hidroeléctrica, evidentemente igual a cero. Esto significa que el costo de generación de una planta hidroeléctrica prácticamente no se verá afectada por la inflación futura, mientras que el aumento futuro del precio del uranio sí incidirá en el costo de generación

de la planta nucleoelectrica.

Los datos anteriores muestran que las plantas nucleoelectricas no resultan actualmente competitivas, en las condiciones de México, con otros medios de generación disponibles.

La información anterior puede completarse con la de la figura 6.4, donde se presentan en forma gráfica los costos anuales totales de distintos tipos de unidades generadoras, en función de la duración de funcionamiento anual.- Para ello se consideraron los siguientes datos e hipótesis.

1.- OPCIONES ENERGETICAS.

Para el estudio comparativo de costos de las centrales generadoras se consideran formadas por una sola unidad y se muestran en la tabla 6.2 .

Aunque algunas centrales pueden quemar indistintamente dos tipos de combustibles, se considera un solo tipo de combustible para cada central generadora.

Los datos del combustible diesel no se utilizan en este estudio y se mencionan únicamente como referencia.

<u>OPCION ENERGETICA</u>	<u>CAPACIDAD MW</u>	<u>CATEGORIA</u>	<u>COMBUSTIBLE</u>	<u>OTRO</u>
<u>TIPO DE UNIDAD</u>		<u>(CODIGO)</u>	<u>CONSIDERADO</u>	<u>POSIBLE</u>
TERMOELECTRICA DE COMBUSTOLEO (Administración de construcción por CFE y agua enfriamiento por -- pozo).	350	T 350	COMBUSTOLEO	GAS
	160	T 160	COMBUSTOLEO	GAS
	84	T 84	COMBUSTOLEO	GAS
TERMOELECTRICA DE CARBON (administración de construcción por CFE y agua de enfriamiento por pozo).	350	C 350	CARBON	
GEOTERMIA (se incluyen pozos y vaporductos).	110	GT 110	NINGUNO	
	55	GT 55	NINGUNO	
NUCLEAR				
	LWR HWR	900 600	N 900 L N 600 H	URANIO ENRIQUECIDO URANIO NATURAL
CICLO COMBINADO (turbinas de gas -- 2 x 70 MW y turbina de vapor 1 x 100 MW)	240	CC 240	GAS	DIESEL
TURBINAS DE GAS	30	TG 30	GAS	DIESEL
HIDROELECTRICA (recuérdese que cada central hidroeléctrica es un caso especial).	según el proyecto	HIDRO	NINGUNO	

TABLA 6.2

En la primera columna de la tabla 6.2, se anota el tipo de unidad, donde se describen las características generales; en la segunda columna, la capacidad de cada unidad, en MW en la tercera columna, el código de identificación para pronta referencia, y en la última columna, el combustible que usa cada unidad.

2.- TASA DE DESCUENTO.

La tasa de descuento que se utiliza en el estudio es de 14 por ciento, la cual se ha encontrado como el interés promedio que el sector eléctrico incurre en sus movimientos financieros internacionales.

3.- INVERSION BRUTA.

La inversión bruta es el costo total para comprar - - equipo e instalarlo y construir, en general, a la central-generadora. Se acostumbra expresar la inversión bruta en pesos por cada KW instalado, ver tabla 6.3 .

Para determinar su equivalencia en anualidades (\$/KW-año), se aplica la tasa de descuento según la vida útil de cada central.

COSTOS DE INVERSION

COSTOS DE OPERACION DE CENTRALES GENERADORAS

- precios de Mayo de 1982 -

<u>CATEGORIA</u>	<u>INVERSION BRUTA</u>		<u>VIDA UTIL</u>	<u>COSTOS DE OPERACION</u>	
	<u>Dls \$/KW</u>	<u>\$/KW</u>	<u>AÑOS</u>	<u>FIJOS (\$/KW)</u>	<u>VARIABLES (\$/kWh)</u>
T 350	377.8	17,756.6	30	383	1.417
T 160	435.7	20,477.9	30	540	1.550
T 84	493.5	23,194.5	30	542	1.806
C 350	463.1	21,765.7	30	487	0.46
GT 110	1,220.3	57,354.1	30	893	-
GT 55	1,244.3	57,542.1	30	1,305	-
N 900 L	1,249.5	58,726.5	30	1,006	0.191
N 600 H	1,521.8	71,524.6	30	1,006	0.108
CC 240	328.6	15,444.2	20	405	2,264
TG 30	235.6	11,073.2	20	251	3.268
HIDRO	839.8	39,472.0	66: 30	60	-
(Peñitas)			C: 50		

ε 1 D1. = 47.00 H.H.

εε Vida equipo electromecánico

Vida obra civil (C)

FUENTE: Comisión Federal de Electricidad

TABLA 6.3

4.- COSTOS DE OPERACION.

Los costos de operación se han clasificado en costos fijos y costos variables, y lo que comprende cada uno de ellos se expone a continuación.

4.1.- COSTOS FIJOS DE OPERACION.

Los costos fijos de operación son todos aquellos que no están asociados directamente al consumo de combustible, como son los costos de mantenimiento, sueldo y salarios -- del personal y el tratamiento de agua entre otros. Para determinar los costos fijos en (\$/KW-año), basta dividir el costo total anual de una situación típica entre la capacidad instalada.

4.2.- COSTOS VARIABLES DE OPERACION.

Se han considerado como costos variables sólo aquellos que dependen del combustible, que son los más importantes y que se calcularon aplicando el poder calorífico, el consumo específico y los precios de los combustibles.

El poder calorífico de los combustibles es el siguiente:

<u>COMBUSTIBLE</u>	<u>PODER CALORIFICO</u>	
Combustóleo	10,019	Kcal/litro
Carbón	4,367	Kcal/Kg
Gas	8,458	Kcal/m ³
Diesel	9,243	Kcal/litro
Uranio natural	591x10 ⁶	Kcal/Kg
Uranio enriquecido	131x10 ⁶	Kcal/Kg

El consumo específico del combustible de las centrales generadoras es el siguiente:

<u>CATEGORIA</u>	<u>CONSUMO ESPECIFICO (Kcal/KWh)</u>
T 350	2,359
T 160	2,580
T 84	3,006
C 350	2,424
N 600 H	2,967
N 900 L	2,529
CC 240	2,564
TG 30	3,700

Para el precio del combustible de las unidades convencionales de gas y combustóleo se usan precios internacionales, ya que efectivamente es el precio de su venta cuando se exportan o importan hidrocarburos, y se intenta considerar el costo de oportunidad de los mismos.

El precio del carbón se considera nacional debido a que su aprovechamiento más económico es cercano a las minas y se supone que se aprovecharían las reservas de carbón mexicano sin efectuar importaciones.

Por supuesto, en las centrales geotermoeléctricas e hidráulicas, como no se consumen combustibles, sus costos variables son nulos, es decir, usan recursos naturales (agua o vapor del subsuelo) que están disponibles en lugares donde se pueden aprovechar y que a excepción de la inversión y los costos de operación, no se incurre en costo alguno por su uso.

Los precios de los combustibles al valor que tenían en mayo de 1982 se presentan a continuación:

<u>COMBUSTIBLE</u>	<u>PRECIO UNITARIO E INTERNACIONAL DE LOS COMBUSTIBLES</u>		
	<u>DOLARES</u>	<u>MONEDA NACIONAL</u>	
Combustóleo	20.37 Dls/barril	\$ 957/barril	\$ 6.02/litro
Carbón ⁶		\$ 750/ton.	\$ 0.75/Kg.
Gas	4.5 Dls/10 ³ ft ³ .	\$ 211.5/10 ³ ft ³ .	\$ 7.47/m ³ .
Uranio (U ₃ O ₈)	44 Dls/libra		
Diesel	44.4 Dls/barril	\$ 2087/barril	\$ 13.12/litro.

NOTA: 1 Dl. = \$ 47.00 M.N.

1 barril = 159 litros

& precio nacional.

·Aplicándose los datos anteriores en la fórmula siguiente:

$$CV = \frac{PU}{PC} \times CE$$

Donde las unidades de cada variable para cada combustible son:

CV = Costo variable por generación

PU = Precio unitario del combustible

CE = Consumo específico

PC = Poder calorífico

UNIDADES DE MEDICION

	COMBUSTOLEO	CARBON	GAS	DIESEL
CV	\$/KWh	\$/KWh	\$/KWh	\$/KWh
PU	\$/litro	\$/Kg	\$/m ³	\$/litro
CE	Kcal/KWh	Kcal/KWh	kcal/KWh	Kcal/KWh
PC	Kcal/litro	Kcal/Kg	Kcal/m ³	Kcal/litro

Se llegan a los siguientes valores de costos variables para las diferentes centrales generadoras:

CATEGORIA	COSTOS VARIABLES (\$/KWh)	
T 350	1.417	
T 160	1.550	
T 34	1.806	
C 350	0.416	
CC 240	2.264	
TG 30	3.264	
N 900 L	0.191	(1)
N 600 H	0.108	(1)

(1) FUENTE: Departamento de Ingeniería Nuclear, C.F.E.

El resumen de los costos de inversión y de operación se muestran en la tabla No. 6.3. En la primera columna, -- aparece la categoría de cada unidad; en las dos siguientes columnas aparece la inversión bruta unitaria, expresada en dólares y pesos; en la cuarta columna, aparece la vida -- útil de cada unidad y en las dos últimas, los costos de -- operación desglosados en fijos y variables.

5.- COSTOS ANUALES DE INVERSION Y OPERACION

Con objeto de comparar los costos totales, consideran

do inversión y operación, todos los costos se expresan en pesos anuales por kilowatt instalado.

5.1.- COSTO ANUALES DE INVERSION.

El costo anual de inversión, es la cantidad anual - - constante en que, durante la vida útil de la central generadora, se incurre para amortizar la inversión a determinada tasa de descuento. Para determinar el costo anual de inversión aplicamos la fórmula siguiente:

$$A = P \left[i (1 + i)^n / (1 + i)^n - 1 \right]$$

en la cual:

A = Costo anual de inversión, (\$/KW-año)

P = inversión bruta, (\$/KW)

i = Tasa de descuento

n = vida útil

Con los datos de inversión bruta de la tabla 6.3, -- aplicados a la fórmula anterior, se obtienen los resultados que se muestran en la segunda columna de la tabla 6.4.

Sustituyendo en la fórmula el valor de la tasa de interés, se encuentra que para vidas útiles de los equipos - de 20, 30 y 50 años, se tienen los siguientes factores de capitalización.

COSTO TOTAL EN ANUALIDADES \$/KW , CONSIDERANDO $i = 14 \%$

<u>CATEGORIA</u>	<u>COSTOS FIJOS ANUALES</u>			<u>FACTOR DE PLANTA</u>	<u>COSTOS VARIABLES ANUALES</u>	<u>COSTOS TOTALES ANUALES</u>
	<u>INVERSION</u>	<u>OPERACION</u>	<u>TOTAL</u>			
T 350	2,536	383	2,919	0.72	8,937	11,856
T 160	2,924	540	3,464	0.72	9,776	13,240
T 84	3,312	542	3,854	0.72	11,391	15,245
C 350	3,108	487	3,595	0.72	2,901	6,486
GT 110	8,190	893	9,083	0.80	-	9,083
GT 55	8,217	1,305	9,522	0.72	-	9,522
N 900 L	8,386	1,006	9,392	0.72	1,205	10,597
N 600 H	10,214	1,006	11,220	0.72	681	11,901
CC 240	2,332	405	2,737	0.48	9,520	12,227
TG 30	1,672	251	1,923	0.20	5,726	7,649
HIDRO	5,569	60	5,629	0.30	-	5,629
HIDRO	6,580	60	6,640	0.40	-	6,640
HIDRO	7,590	60	7,650	0.50	-	7,650
HIDRO	9,329	60	9,389	0.70	-	9,389

TABLA 6.4

$$(A/P , 14 \% , 20) = 0.1510$$

$$(A/P , 14 \% , 30) = 0.1428$$

$$(A/P , 14 \% , 50) = 0.1402$$

Los costos de las centrales hidroeléctricas son un caso especial porque tienen dos componentes con vidas diferentes: la obra civil y el equipo electromecánico; si se supone que de la inversión total el 65 % es de la obra civil y el 35 %, del equipo electromecánico y que la vida útil de ellos es de 50 y 30 años, respectivamente, se tiene:

$$\begin{aligned} 0.65 (A/P , 14 \% , 50) + 0.35 (A/P , 14 \% , 30) = \\ = 0.1411 \end{aligned}$$

5.2.- COSTOS FIJOS ANUALES DE OPERACION

Los costos fijos de operación ya están expresados en anualidades por lo que no requieren algún tratamiento y se muestran en la tercer columna de la tabla No. 6.4, por tanto son los mismos que los de la tabla 6.3. Para conocer el costo fijo total equivalente se deben sumar los costos fijos de operación y de inversión, el resultado aparece en la cuarta columna de la tabla No. 6.4.

5.3.- COSTOS VARIABLES ANUALES.

Los costos variables anuales, expresados en (\$/KW-año) se determinan con la siguiente fórmula:

$$CVA = CV (8760 \times FP)$$

en la cual :

CVA = Costo variable anual (\$/KW- año)

CV = Costo variable por generación (\$/KWh)

FP = Factor de planta anual

Con el factor de planta correspondiente a cada unidad se puede conocer su generación promedio, con la cual se determina su costo variable anual.

6.- COSTOS TOTALES ANUALES.

Los costos totales anuales incluyen la inversión, los costos fijos de operación y los costos variables de operación según sea el factor de planta. Estos costos totales-
anuales se muestran en la última columna de la tabla No. -
6.4.

Con lo expuesto anteriormente se obtienen las gráficas de costos anuales totales de los distintos tipos de unidades generadoras que se utilizan en este estudio ver figura 6.4.

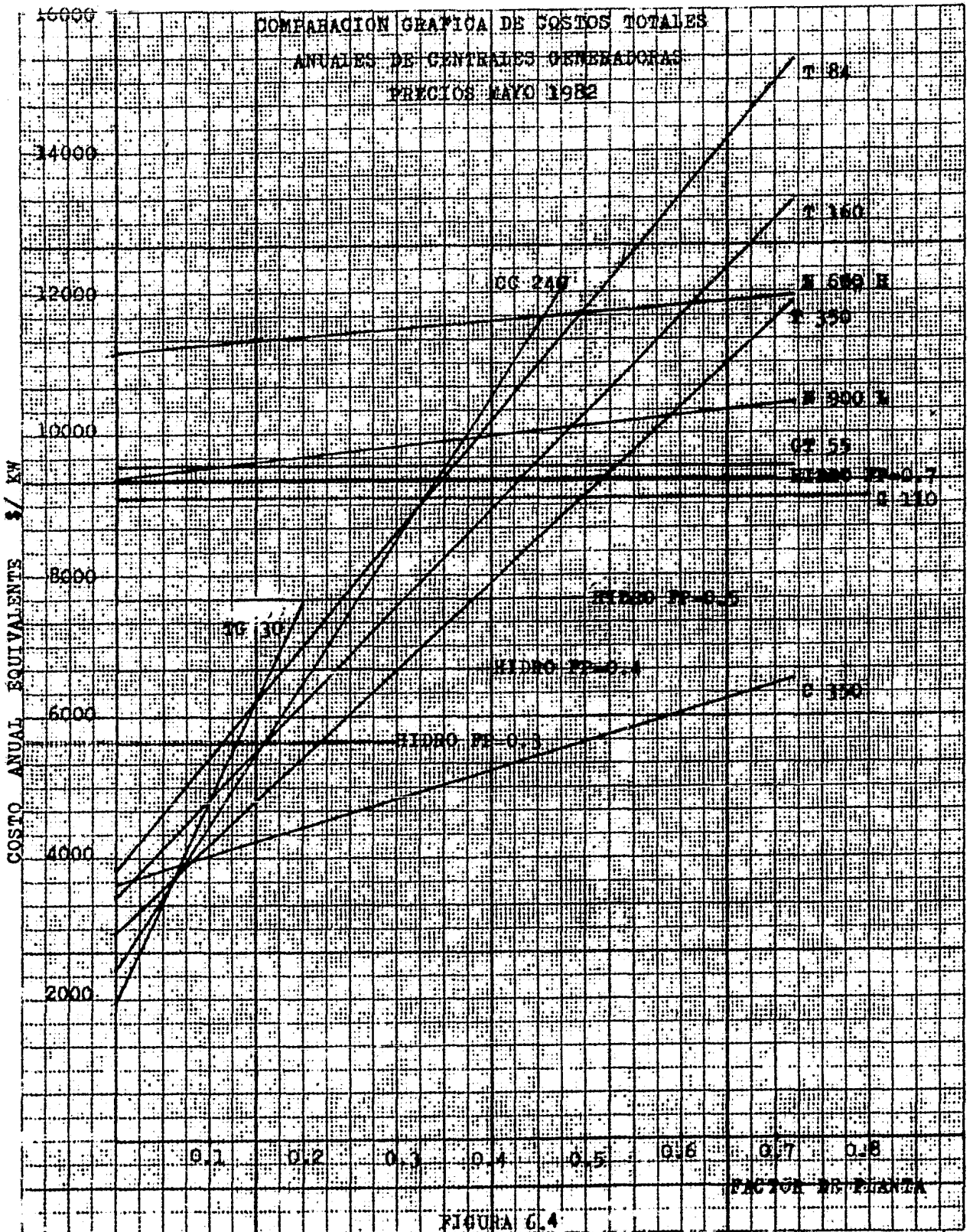


FIGURA 6.4

6.2 COMPARACION GRAFICA DE COSTOS EN CENTRALES GENERADORAS

Con objeto de tener referencias para comparación de costos, distinguimos a las unidades por su tipo de generación como de base (factor de planta alto) y de pico (factor de planta bajo).

Las gráficas de la figura 6.4 muestran lo siguiente:

a) Para generación de base las unidades T 64 son las más costosas (con precios internacionales del combustóleo) y las unidades de carbón (C 350) son las más económicas (con precio nacional del carbón).

b) El orden de conveniencia económica descendente de generación base, usando un factor de planta de 0.72 es:

<u>CATEGORIA</u>	<u>COSTO TOTAL</u>
	\$/KW-año
1) C 350	6,486
2) GT 110	9,003
3) GT 55	9,522
4) N 900 L	10,597
5) T 350	11,856
6) N 600 H	11,901
7) T 160	13,240
8) T 64	15,247

(pesos a principios de 1962: 47 pesos igual a un dólar)

c) El precio nacional del carbón se encuentra muy abajo del precio internacional de los hidrocarburos, sin embargo si se consideran todos los tipos de centrales a precios nacionales, desaparece la ventaja del carbón y lo más conveniente son las termoeléctricas a base de combustóleo a precio nacional.

A continuación se calcula hasta cuanto se puede incrementar el precio del carbón para igualar el costo de generación con combustóleo a precio internacional.

De los datos de la tabla 6.4 se tiene:

Costo total anual de T 350 = 11,056 (\$/KW-año)

Costo fijo anual de C 350 = -3,595 (\$/KW-año)

Costo variable anual - 0,261 (\$/KW-año)
equivalente de C 350

De acuerdo con lo expresado en el punto 5.3 se tiene:

$$CV = \frac{CVA}{0760 \times FP}$$

Costo variable equivalente por generación igual.

$$CV = \frac{\$ 0,261}{0760 \times 0.72} = 1.310$$

De donde el precio unitario equivalente del carbón es:

$$PU = \frac{CV \times PC}{CE}$$

$$PU = \frac{1.310 \times 4,367}{2,424}$$

$$PU = 2.36 \text{ (\$/Kg)}$$

$$PU = 2,360 \text{ (\$/tonelada)}$$

Es decir, que el precio del carbón puede aumentar hasta 2,360 (\$/tonelada), para ser equivalente una central a base de carbón a una de combustible fósil (combustóleo), - considerando a éste con precio internacional.

d) Para factores de planta superiores a 0.60, o sea - para proporcionar generación para la base de la curva de - carga, las plantas nucleares resultan más económicas que - las térmicas a base de combustóleo a precio internacional, pero para eso se requiere utilizar unidades muy grandes, - de 900 MW, lo que introduce problemas adicionales en la -- operación del sistema eléctrico nacional y puede hacer necesaria una reserva de generación mayor para lograr la estabilidad del sistema.

e) Sólo en el caso de instalar centrales nucleares de 600 H con factores de planta mayores a 0.72, se tiene --

ventaja sobre las centrales térmicas a base de combustóleo a precio internacional, pero no así para plantas hidroeléctricas.

f) En cuanto a centrales con factores de planta comprendidos entre 0.3 y 0.7 las centrales hidroeléctricas -- comparadas con las termoeléctricas de 350 MW a base de combustóleo a precio internacional, son las más económicas.

g) Para generación de pico, el orden de conveniencia-económica descendente, usando un factor de planta de 0.3 - es el siguiente:

	<u>CATEGORÍA</u>	<u>COSTO TOTAL</u> \$/KW-año
1)	Hidroeléctricas	5,629
2)	CC 240	8,687
3)	TG 30	10,512

h) En ciertos casos se requiere utilizar a la categoría hidroeléctrica con un factor de carga menor, lo que implica que se instale mayor capacidad sin conseguir aumento alguno en generación. Por ejemplo; si se requiere reducir el factor de planta a 0.2 en vez de 0.3 y si la generación original era de 1,314 GWh y la capacidad original era 500 MW, se tiene lo siguiente:

$$C = \frac{G}{FP \times H} = \frac{1,314}{0.2 (8.76)} = 750 \text{ MW}$$

en la cual:

C = Capacidad, MW G = Generación, GWh
FP = Factor de planta H = Miles de horas del año

En vez de tener 500 MW de capacidad, se tendrían 750 MW -- con un factor de planta de 0.2, lo que implica un costo total por KW instalado menor y que sería ligeramente más económica que la unidad de CC 240 con un factor de planta de 0.2 .

1) La generación obtenida utilizando turbinas de gas (TG 30), es la más económica para proporcionar los picos de la curva de carga, operando con un factor de planta de 0.1 (876 horas de operación anual) o menores.

6.3 PROPUESTA DE DIVERSIFICACION DE LOS MEDIOS DE GENERACION.

Como se mencionó en el capítulo primero en el inciso (c); se propone como un objetivo específico del Programa de Energía la diversificación de las fuentes de energía -- primaria, prestando particular atención a los recursos renovables.

La diversificación requiere de los programas hidroeléctricos, nucleoelectrónicos, carboeléctricos, geotermoeléctricos, para disminuir la importancia relativa del consumo de hidrocarburos.

La generación de electricidad (uno de los energéticos secundarios más importantes) presenta la mejor oportunidad para la diversificación. De hecho, el programa actual del sector eléctrico se ha orientado hacia el aprovechamiento de fuentes alternas, a efecto de buscar una menor dependencia de los hidrocarburos, que en la actualidad representa el 70 por ciento de la energía primaria insumida para su transformación en electricidad.

Las demandas máximas que imponen los usuarios al sistema eléctrico determinan la capacidad instalada de generación necesaria para satisfacer esa demanda, junto con las cantidades adecuadas de reserva. Por esta razón, las demandas máximas constituyen uno de los principales elementos que se utilizan en la planeación del crecimiento de la industria eléctrica y de la utilización del equipo, junto con la cantidad de energía eléctrica necesaria.

En el capítulo quinto se analizó el pronóstico del consumo de energía eléctrica al año 2000, partiendo de diferentes hipótesis de crecimiento de población y product-

nacional bruto, obteniéndose los siguientes valores:

<u>ALTERNATIVA</u>	<u>GENERACION PRONOSTICADA</u>
	<u>TWh</u>
Pronóstico alto - - - - -	376.4
Pronóstico medio - - - - -	295.9
Pronóstico bajo - - - - -	254.1

La propuesta de diversificación al año 2000, que a --
continuación se presenta se hace en base a lo siguiente:

- La generación pronosticada para el año 2000 (pronóstico-
alto).
- La disponibilidad de recursos energéticos primarios.
- La conveniencia económica de los medios de generación --
eléctrica.
- La participación técnico-administrativa, en la realiza--
ción de proyectos, de recursos humanos nacionales para -
el desarrollo de la industria eléctrica.
- La menor dependencia posible de tecnología extranjera.
- La necesidad de diversificación de los medios de genera-
ción para apoyar el objetivo del Programa de Energía de
México.
- Una mayor participación de las fuentes de energía prima-
ria a efecto de disminuir la participación relativa de -

los hidrocarburos.

PROPUESTA DE DIVERSIFICACION

<u>FUENTE DE ENERGIA PRIMARIA</u>	<u>PARTICIPACION (GWh)</u>	<u>%</u>
HIDRAULICA - - - - -	150,000	39.9
HIDROCARBUROS - - - - -	131,000	34.9
CARBON - - - - -	40,000	10.6
NUCLEAR - - - - -	30,000	8.0
GEOTERMIA - - - - -	<u>25,000</u>	<u>6.6</u>
TOTAL - - - - -	376,000	100.0

Para tener una base de referencia se compara la alternativa propuesta, resultado de este trabajo de tesis, con el Programa de Desarrollo del Sistema de Generación del Sector Eléctrico, propuesto por la Comisión Federal de Electricidad en la Expansión del Sector Eléctrico al año 2000. Ver figura 6.5

La participación de las fuentes de energía primaria en el Sector Eléctrico al año 2000, propuesto por los estudios de la Comisión Federal de Electricidad es la siguiente:

<u>FUENTE DE ENERGIA PRIMARIA</u>	<u>PARTICIPACION</u> <u>GWh</u>	<u>%</u>
HIDRAULICA - - - - -	80,000	14.54
HIDROCARBUROS - - - - -	280,000	50.93
CARBON - - - - -	40,000	7.27
NUCLEAR - - - - -	130,000	23.60
GEOTERMIA - - - - -	20,000	3.66
TOTAL - - - - -	<u>550,000</u>	<u>100.00</u>

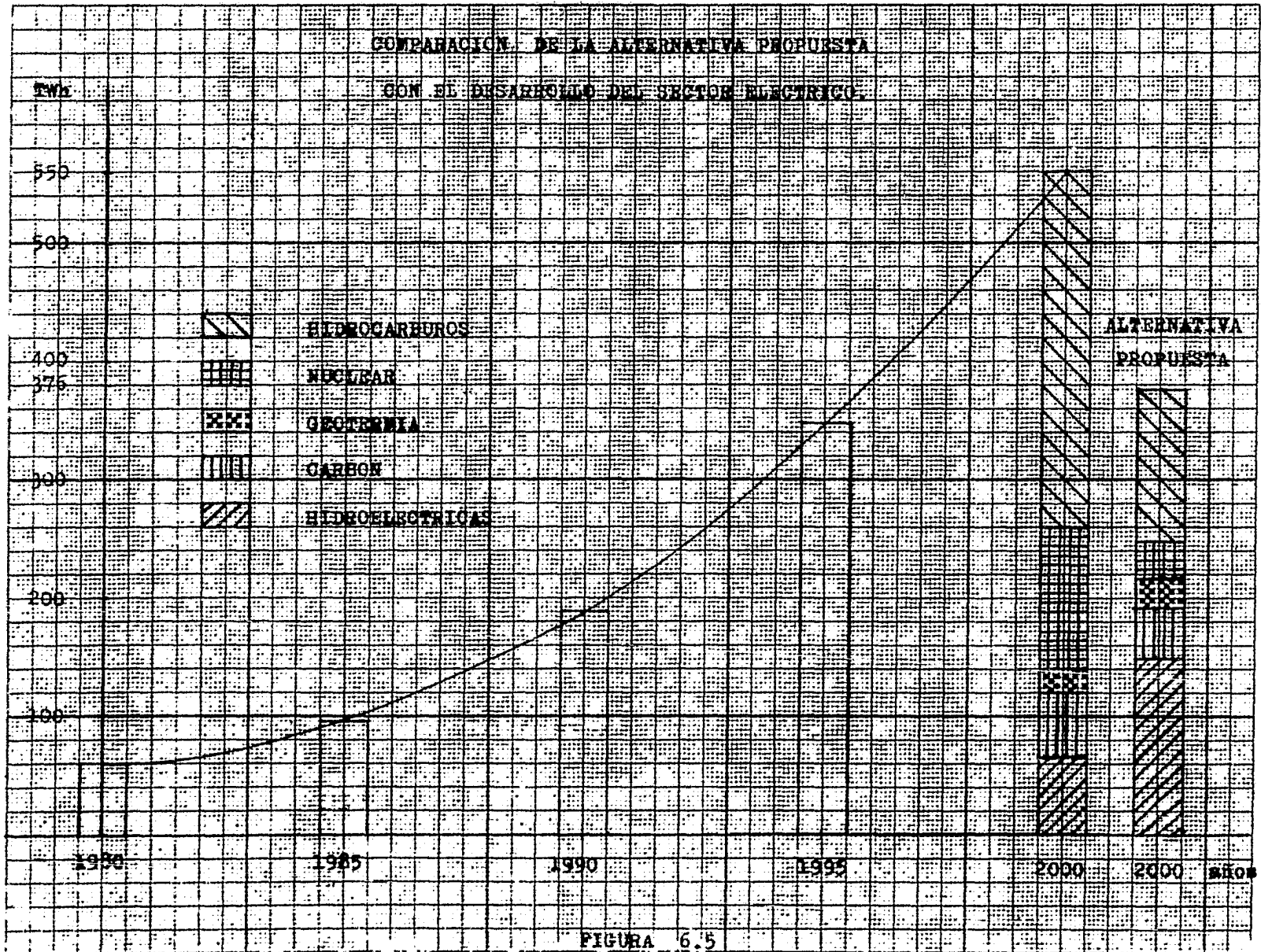


FIGURA 6.5

De la alternativa propuesta las capacidades de planta a instalar, para proporcionar la demanda de generación necesaria por cada fuente de energía primaria, se obtienen a partir del factor de planta, de la siguiente manera.

$$\text{CAPACIDAD} = \frac{\text{GENERACION}}{8760 \times \text{FP}}$$

Se utilizaron los siguientes factores de planta para estimar dicha capacidad a instalar.

<u>FUENTE DE ENERGIA PRIMARIA</u>	<u>FACTOR DE PLANTA (F P)</u>
HIDRAULICA	0.5
HIDROCARBUROS	0.72
CARBON	0.70
NUCLEAR	0.75
GEOTERMIA	0.75

Con estos valores de factor de planta y con la participación propuesta de generación, y sustituyendo en la fórmula anterior se obtiene la siguiente capacidad a instalar al año 2000.

<u>FUENTE DE ENERGIA PRIMARIA</u>	<u>CAPACIDAD (MW)</u>
HIDRAULICA - - - - -	34,300
HIDROCARBUROS - - - - -	20,800
CARBON - - - - -	6,500
NUCLEAR - - - - -	4,600
GEOTERMIA - - - - -	3,800
TOTAL - - - - -	<u>70,000</u>

Lo que implica que se requerirá cuatro veces la capacidad instalada en el año de 1981.

COMENTARIOS SOBRE LA PROPUESTA DE DIVERSIFICACION

1. PARTICIPACION HIDRAULICA

El potencial hidroeléctrico identificado, de acuerdo con el más reciente estudio de la Comisión Federal de Electricidad, permitiría una generación media anual de 171,866 GWh, mediante el desarrollo de 540 proyectos de aprovechamientos hidroeléctricos. Sin embargo, dado que algunos de los proyectos hidroeléctricos identificados podrían no ser factible su realización, se propone que la participación se considere de 150,000 GWh.

Dentro de las estrategias de expansión y diversificación del sector eléctrico, la componente de generación hidroeléctrica es de gran importancia, tanto desde el punto de vista de su participación porcentual, como de las ventajas por sus características de aprovechamiento renovable, y con respecto a otras fuentes de generación. Ventajas que generalmente no se toman en cuenta en las comparaciones -- económicas.

Algunas de las ventajas son las siguientes:

a) La energía hidráulica es un recurso renovable debido a la energía solar, que es la que produce el ciclo hidráulico. Su uso para generar electricidad permite ahorrar

el consumo de recursos no renovables y prolongar así la -- disponibilidad de éstos. Sin embargo, los métodos de eva-- luación económica usualmente utilizados no toman en cuenta el hecho de que se trata de un recurso que no se agota y -- dura indefinidamente y al hacer la comparación con una -- planta generadora que utilice un recurso no renovable se -- limita a comparar los costos de inversión y de operación -- (incluyendo el costo de combustible en el segundo caso). -- En realidad puede considerarse que el potencial hidroeléc-- trico no utilizado significa un desperdicio de energía aná-- logo a, por ejemplo, la quema de gas natural en la atmósfe-- ra.

b) El potencial hidráulico frecuentemente se ve aso-- ciado con los ríos más caudalosos, pero también está dispo-- nible en otros sitios. Dado que se le mide tanto por el vo-- lumen de agua como por la altura de su caída, un potencial hidráulico interesante puede encontrarse en corrientes que se hallan en áreas montañosas, en donde nacen cursos de -- agua.

c) El empleo de plantas hidroeléctricas pequeñas en -- donde no se cuenta con grandes potenciales hidráulicos, pe-- ro que se localizan retirados del sistema eléctrico, ofre-- ce una oportunidad singular para proporcionar energía eléc-- trica a comunidades aisladas, cuyo costo de conexión con la

red nacional de distribución de energía eléctrica resulta prohibitivo. La obtención de los máximos rendimientos de la generación hidroeléctrica a pequeña escala se lograría si ésta fuese integrada a los esquemas de desarrollo rural.

d) Por su competitividad económica con respecto a - - otras fuentes, es posible diseñar las plantas hidroeléctricas para que operen con factor de planta entre 0.3 y 0.7, - dependiendo el factor de planta elegido inicialmente de -- las características propias del aprovechamiento y el desarrollo del sistema eléctrico. Debe preverse el posible aumento futuro de la capacidad de generación.

e) La larga vida de las instalaciones hidroeléctricas y los bajos costos de operación hacen que el costo de la - energía generada sea muy poco afectado por la inflación, - al contrario de lo que ocurre con las plantas termoeléctricas, donde el aumento de precio de los combustibles afecta en forma importante el costo de la energía generada.

f) La componente nacional en el costo de las plantas hidroeléctricas es actualmente de más del 70 por ciento - - mientras que en las plantas termoeléctricas es del orden - del 55 por ciento, como puede verse en la tabla No. 6.5, -- preparada por la Gerencia General de Estudios e Ingeniería Preliminar de la Comisión Federal de Electricidad en 1977.

INTEGRACION DEL COSTO DE LAS OBRAS		VALORES MEDIOS	
		Plantas termoeléctricas con subestación %	Plantas hidroeléctricas con subestación %
CONCEPTOS			
Equipo y materiales	Nacional	15	10
	Importación	40	25
Ingeniería y diseño	Nacional	2.5	1.95
	Importación	0.5	0.05
Construcción y montaje	Nacional	37	60
	Importación	5	3
		100	100

En esta distribución sólo se han incluido los costos directos, es decir, no comprende indirectos de oficinas nacionales, ni los intereses durante la construcción.

FUENTE: Comisión Federal de Electricidad.

T A B L A No. 6.5

Puesto que ya actualmente tanto la ingeniería y el diseño como la construcción y el montaje de las plantas hidroeléctricas se realizan con recursos y tecnologías nacionales, la componente nacional del costo podría elevarse en breve plazo a prácticamente el 100 por ciento, si se desarrolla la fabricación en México de las turbinas hidráulicas y los generadores eléctricos correspondientes.

g) Los desarrollos hidroeléctricos constituyen frecuentemente una parte de un aprovechamiento hidráulico de usos múltiples, en cuyo caso los costos deben prorratearse entre los diferentes usos. Esto es especialmente interesante con las condiciones hidrometeorológicas que se tienen en el territorio nacional, caracterizadas por una temporada de lluvias y una temporada de estiaje muy marcadas, ya que un desarrollo hidroeléctrico con capacidad de almacenamiento anual permite regular el gasto del río y obtener beneficios adicionales para la agricultura, mediante el riego y el control de avenidas.

h) Las plantas hidroeléctricas no son contaminantes, a diferencia de las termoeléctricas, y en general tienen una influencia positiva en la ecología de la región. Su construcción crea una fuente importante de empleo para la mano de obra local y contribuye a mejorar la infraestructura de la zona, mediante la apertura de vías de comunicación

centros de población y, en ocasiones, desarrollos turísticos.

i) La flexibilidad de operación de las plantas hidroeléctricas las hace especialmente útiles en los grandes sistemas eléctricos interconectados.

El desarrollo del programa hidroeléctrico, para lograr la participación propuesta al año 2000 requerirá de la implantación de las siguientes políticas.

- Realizar primero los proyectos donde esté contemplado el uso múltiple de las obras.

- Buscar los mecanismos que propicien la más amplia coordinación entre los diferentes usuarios de las obras para que participen en su concepción y su financiamiento.

- Destacar dentro de la evaluación, el ahorro en el consumo de hidrocarburos que representa la utilización de plantas hidroeléctricas con relación a otras fuentes generadoras convencionales.

- Estudiar para cada proyecto las políticas de operación más adecuadas, de acuerdo a los usos alternativos implicados.

- Mantener un proceso sistemático de generación de --

proyectos hidroeléctricos.

- Fortalecer y ampliar los equipos técnicos necesarios para realizar la ingeniería de este tipo de proyectos.

2.- PARTICIPACION NUCLEAR

Nuestro país requiere diversificar el desarrollo y el aprovechamiento de sus fuentes energéticas. Para ésto, la nucleoelectricidad constituye una opción, probada ya a nivel mundial, con un potencial futuro bastante significativo.

A México no le conviene quedar fuera del desarrollo nucleoelectrico. Es necesario participar en él, dentro de sus posibilidades, e irnos preparando desde ahora para no quedarnos rezagados indefinidamente.

Además, el desarrollo nucleoelectrico puede tener efectos multiplicadores muy favorables sobre la economía del país en materia científica, tecnológica e industrial; siempre y cuando se cuente con los aspectos estructurales que comprenden la transferencia de tecnología, de ingeniería y manufactura de equipo nuclear, así como del ciclo de combustible nuclear y de los recursos humanos debidamente capacitados.

En cuanto al programa nucleoelectrico mexicano propuesto en el Programa de Energia, en donde se contempla como objetivo que a finales de siglo se tengan instalados 20 000 MW de capacidad nuclear, es necesario analizar si este objetivo es factible dadas las posibilidades del pais.

Uno de los retos consiste en definir la dimension, la tecnologia a utilizar y el ritmo del esfuerzo nucleoelectrico que debera hacerse durante los proximos años, lo cual se pretende conseguir con este trabajo de tesis.

De prevalecer el objetivo del Programa de Energia de Mexico, en materia nuclear, de instalar 20,000 MW nucleares, implicaria una dimension y un ritmo de desarrollo nucleoelectrico que esta fuera de toda proporcion con la realidad y las posibilidades de nuestro pais, entre otras razones por las siguientes.

a) El pais no cuenta con una base cientifica, industrial, tecnologica y organizativa suficiente para emprender y aprovechar un esfuerzo de tales dimensiones. De persistir en ello, el desarrollo nucleoelectrico se traduciria simplemente, en una importacion directa de plantas "llave en mano", en las que por lo general, un contratista extranjero se encarga de todo el proyecto. Es decir, todas las

decisiones tecnológicas están en sus manos, incluida la -- participación de fuentes extranjeras y nacionales en el suministro de equipo, materiales y servicios técnicos. El -- país recibiría generalmente el producto más no la tecnología, cancelándose así la posibilidad de asimilar la tecnología nuclear.

b) Por otro lado, no puede dejar de mencionarse que - en México aún no se ha producido a escala comercial un solo kilogramo del concentrado de uranio que cumpla con las especificaciones del mercado Internacional, lo que implicaría la importación de dicho concentrado de uranio.

c) La experiencia tan problemática que se ha tenido - con el proyecto de Laguna Verde constituye un ejemplo real de las limitaciones que existen para emprender un desarrollo nucleoelectrico tan ambicioso.

d) La difícil situación económica en que se encuentra el país y la propia limitación financiera del sector eléctrico, restringe seriamente las posibilidades de financiar un esfuerzo nucleoelectrico de tal importancia.

e) Las limitaciones técnico-políticas en cuanto a la transferencia de tecnología para el enriquecimiento de uranio, que se expresan en los lineamientos del "Club de Lon-

dres", condicionan la posibilidad de adquirir dicha tecnología.

f) Como se analizó en el capítulo tercero, sobre recursos humanos, en caso de pretender un desarrollo nuclear eléctrico ambicioso se vislumbra el problema de insuficiencia de estos recursos, los cuales se estimaron en 70,000 personas.

g) Las reservas probadas actuales de uranio no serían suficientes para satisfacer el consumo de este energético para cubrir el consumo con una capacidad de 20,000 MW, teniendo la necesidad de importar gran parte de dicho energético.

Por lo expuesto anteriormente se concluye que no es conveniente la realización del objetivo de los 20,000 MW, dada las posibilidades de nuestro país, ya que sería hipotecar la independencia energética. Por este motivo se propone la disminución de dicho programa de 20,000 MW a 4,600 MW, por las siguientes razones:

- Este programa nuclear mínimo (4,600 MW) permitiría comparar en forma objetiva las tecnologías a utilizar y crearía las bases para poder desarrollar después del año 2000 un programa nuclear más importante, en caso de que fuese necesario.

- Según el programa de Energía "las reservas probadas del uranio existentes solo alcanzarían para la vida útil - de Laguna Verde. Por su parte la recuperación de este combustible como subproducto del procesamiento de la roca fosfórica con que cuenta nuestro país, permitiría nutrir los reactores que se proyectan para finales de los ochentas", - por lo que se tendrá la necesidad de ampliar los programas de exploración, para evitar la importación del material -- fisil.

- De no disminuir el objetivo de 20,000 MW, tendrían que estar en alguna etapa de construcción en los años -- ochentas unos 18,700 MW de capacidad nuclear, adicionales a los dos reactores de Laguna Verde. En otras palabras, en un período de sólo 7 años se tendrían que manejar 14 pro-- yectos nucleares del tamaño aproximado de Laguna Verde, pa-- ra lograr dicho objetivo, y en las condiciones actuales -- del país no sería posible su realización.

- Por último la disminución al programa nucleoelectríco propuesto en el Programa de Energía obedece a que el -- país cuenta con otras opciones energéticas para su diversif-- ficación.

La capacidad propuesta a instalar de 4,600 MW al año-- 2000, se lograría con la entrada en operación de Laguna --

Verde y tres plantas más de la misma capacidad cada una.

En cuanto a la tecnología a utilizar será necesario llevar a cabo en su momento, un estudio técnico-económico que contemple los siguientes aspectos para cada uno de los tipos de reactores: aspectos económicos, operacionales, -- del ciclo del combustible, de seguridad, así como de sus -- sistemas, componentes y equipos, y de la participación de la industria mexicana para lograr una menor dependencia -- tecnológica y mayor transferencia de tecnología.

Con esta capacidad de 4,600 MW la participación de esta fuente de energía primaria a la propuesta de diversificación es de 30,000 GWh en el año 2000.

3.- PARTICIPACION DE CARBON

Como consecuencia de los cambios sufridos en el mercado internacional del petróleo, se ha observado una marcada tendencia a la utilización del carbón en la producción de energía eléctrica.

México, con su política de diversificación de energéticos inició el primer proyecto comercial de gran magnitud de generación de electricidad con base en el carbón, mediante la explotación de los yacimientos de carbón no coquizados.

ble del norte de Coahuila y la instalación de la planta -- carboeléctrica de Río Escondido, misma que tiene una capacidad en total de 1,200 MW, formada por 4 unidades con capacidad de 300 MW cada una.

Las reservas probadas de este mineral en la cuenca de Río Escondido ascienden a 620 millones de toneladas, suficientes para abastecer la mencionada planta y cinco más de la misma capacidad, considerando un factor de planta de -- 0.72 y una vida útil de 30 años por planta. Con lo cual se ría suficiente para proporcionar la capacidad de 6,500 MW, que se requieren para cubrir la participación de generación propuesta para el año 2000, y que es de 40,000 GWH.

4.- PARTICIPACION DE GEOTERMIA

La participación propuesta de esta fuente energética al año 2000 es de 25,000 GWH, lo que implicaría una capacidad a instalar de 3,800 MW, tomando como base un factor de planta de 0.75.

Actualmente se cuenta con una capacidad instalada de 140 MW en Cerro Prieto B.C.N. donde se estima un potencial entre 850 y 1,200 MW y de 25 MW en los azufres (Michoacán).

Por otra parte y como se mencionó en el capítulo cuar

to, en el eje neovolcánico se cuenta con 120 campos geotérmicos, que prometen un potencial considerable para la generación de electricidad, que junto con los aprovechamientos del centro del país, se considera un potencial geotérmico entre 2,000 y 3,000 MW. Mismos que podrían incrementarse a medida que avancen las exploraciones. Lo que indica que serían suficientes para proporcionar la capacidad propuesta.

Por último, según el informe del Grupo Técnico sobre Energía Geotérmica de las Naciones Unidas correspondiente a su segundo período de sesiones, Diciembre 1980, el desarrollo de la capacidad a instalar en México entre el año - 1980 - 2000 se prevé de la manera siguiente:

<u>AÑO</u>	<u>CAPACIDAD (MW)</u>
1980	150
1985	620
1990	1,000
1995	2,000
2000	4,000

Nota: Datos de noviembre 1980.

5.- PARTICIPACION DE HIDROCARBUROS

Como se mencionó anteriormente, los hidrocarburos representan actualmente el 70 % de la energía primaria insu- mida para su transformación en energía eléctrica, y dado - que uno de los objetivos de Programa de Energía es la di- versificación para disminuir esa dependencia, se propone - que la participación de los hidrocarburos sea en el año -- 2000 del 34.9 por ciento, por lo que su contribución sería - de 131,000 GWH, con una capacidad de 20,800 MW, con un fac- tor de planta de 0.72, con lo que se reduciría aproximada- mente a la mitad de la participación propuesta para el de- sarrollo del Sector Eléctrico, que es de 280,000 GWH. Se- gún documento de la Comisión Federal de Electricidad.

La participación propuesta de hidrocarburos en este - estudio de 131,000 GWH, se obtuvo a partir de la diferen- cia de la participación de las fuentes de energía primaria: carbón, nuclear, geotermia e hidráulica y la demanda de ge- neración pronosticada de 376 TWH, al año 2000.

RESUMEN DE LAS CONCLUSIONES

- a.- Se propone la reducción del objetivo de 20,000 MW de generación nucleoelectrónica a 4,600 MW, al año 2000.
- b.- Se propone, apoyados en los lineamientos del Programa de Energía, la diversificación de los medios de generación eléctrica, utilizando principalmente los recursos energéticos con que cuenta México, prestando especial atención a los recursos renovables.
- c.- Se propone la disminución en el consumo relativo de hidrocarburos para la generación de energía eléctrica.
- d.- Después de analizar diversas alternativas, combinando varias políticas de desarrollo económico y crecimiento de la población, se pronosticó que la demanda de energía eléctrica al año 2000 sería de 376.4 TWh, a diferencia de los Estudios de Expansión del Sector Eléctrico de la Comisión Federal de Electricidad, que da la cifra de 550 TWh, la cual consideramos alta.
- e.- Se propone la utilización óptima de diferentes tipos de centrales generadoras con diferentes factores de planta, según las condiciones particulares del proyecto y el nivel del desarrollo del sector eléctrico.

f.- Se propone que el desarrollo del programa nucleoelectrico de 4,600 MW tome en cuenta los siguientes aspectos:

- La participación de la industria mexicana, a fin de lograr las actividades recomendadas como resultado del estudio realizado por la Comisión de Energéticos de la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, presentada en el capítulo tercero, en donde se contemplan los aspectos estructurales de equiponuclear.

- La realización, en su momento, de un estudio técnico económico para seleccionar la tecnología nuclear a utilizar.

- La formación de recursos humanos nacionales suficientemente capacitados.

g.- Promover los vínculos en el programa nucleoelectrico, entre los organismos de apoyo siguientes:

- Comisión Federal de Electricidad, Industria Nacional de Manufacturas, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Uranio Mexicano, Comisión Nacional de Seguridad y Salvaguardias y las instituciones educativas del país.

- h.- Evitar al máximo posible la realización de proyectos-
"llave en mano".
- i.- Evitar de los países suministradores de tecnología nuclear, la imposición de medidas unilaterales de supervisión y control, dejándose estas medidas al Sistema de seguridad y Salvaguardias del Organismo Internacional de Energía Atómica.
- j.- Tratar de evitar los retrasos en los proyectos de construcción de centrales nucleares, ya que estos repercuten en el costo del kilowatt instalado.
- k.- Se propone reforzar los programas de exploración y explotación de los recursos energéticos para generar -- energía eléctrica, con el fin de tener una mayor participación en la diversificación energética.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- Ciclo de los Combustibles Nucleares. Kraftwerk-Union. República Federal de Alemania. Enero 1980.
- 2.- Choppin, G. Química. Publicaciones Culturales. México 1974.
- 3.- Comisión de Energéticos. Análisis de la Capacidad de la Industria Nacional, para Fabricar Componentes de Plantas Nucleoeléctricas. Tomo 1. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. México 1977.
- 4.- Costa Alonso, D. Transferencia de Tecnología y del -- Ciclo de Combustible, primer Serie de Documentos. -- ININ. México, abril 1979.
- 5.- Costa Alonso, D. Programa Nuclear Nacional. cuarta -- Serie de Documentos. ININ. México 1980.
- 6.- De Buen Lozano, O. La utilización de la Energía Nuclear para la Generación de Energía Eléctrica. Revista de Ingeniería, Año 1980, No. 1. México.

7.- Energéticos. Boletín Informativo del Sector Energético. Comisión de Energéticos. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. México.

<u>AÑO</u>	<u>No.</u>	<u>MES</u>	<u>DE.</u>
3	8	Agosto	1979
4	11	Noviembre	1980
5	2	Febrero	1981
5	3	Marzo	1981
5	5	Mayo	1981
5	12	Diciembre	1981
6	4	Abril	1982
6	5	Mayo	1982
6	7	Julio	1982
6	8	Agosto	1982

8.- García García, E. Los reactores Nucleares y la Producción de Electricidad. Comisión Federal de Electricidad México, 1980.

9.- Goded Echeverría, F. Ingeniería Nuclear. Publicaciones Científicas de la Junta de Energía Nuclear. Tomo I. Madrid, 1965.

- 10.- González de León, A. Tratado de Taltelolco para la --
Proscripción de las Armas Nucleares en América Latina
OPANAL, México, 1976.
- 11.- González Villarreal, J. Estado Actual de la Evolución
del Potencial Hidroeléctrico Nacional. Revista de In-
geniería, año 1960, No. 3, México.
- 12.- La energía Nuclear en los países en Desarrollo. Comer-
cio Exterior. Volumen 31, No. 11. México, noviembre -
1981.
- 13.- La Ingeniería y el Medio Ambiente. Facultad de Inge--
iería. UNAM, México, 1981.
- 14.- Ley Nuclear. Instituto Nacional de Investigaciones Nu-
cleares. ININ. México, 1979.
- 15.- López Rodríguez, M. Materiales Nucleares. Publicacio-
nes Científicas de la Junta de Energía Nuclear. Tomo
1. Madrid, 1971.
- 16.- Marks. Manual del Ingeniero Mecánico. Mc Graw-Hill, -
México 1981.
- 17.- Memoria del Simposio sobre Energía Nuclear México-Ca-
nadá. Academia Mexicana de Ingeniería. México, 1981.

- 18.- Méndez Palma, E. Mecanismos de Formación de Recursos Humanos para el Programa Nuclear. Revista Energía del Fuego al Atomo, año 4, No. 11. México, mayo 1982.
- 19.- Nuevo Procedimiento Francés para Enriquecimiento del Uranio. Información Científica y Tecnológica. CONACYT vol. 11, No. 33. México, noviembre 1980.
- 20.- Plan de Expansión del Sector Eléctrico al año 2000, - Tomo I. Gerencia de Estudios e Ingeniería Preliminar. Comisión Federal de Electricidad, México, 1978.
- 21.- Ponce M, A. Los Reactores Nucleares. Segunda Serie de Divulgación, ININ. México, marzo 1980.
- 22.- Ponce M, A. El Ciclo del Combustible Nuclear, Tercer-Serie de Divulgación, ININ, México, marzo 1980.
- 23.- Presencia de Uramex en el Desarrollo de México, Tomo I. México, 1980.
- 24.- Viqueira, J. Análisis de las Opciones Energéticas de México. Representaciones y Servicios de Ingeniería, - México, 1977.

25.- Viqueira, J. México en la Encrucijada Energética. Edita
tia Mexicana. México, 1981.

26.- Viqueira, J. La Planeación del Sector Eléctrico y la
Política Nacional de Energía. Facultad de Ingeniería.
UNAM, México 1982.