

201 83
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA



EXPANSION NUCLEOELECTRICA E INDUSTRIA
DEL CICLO DE COMBUSTIBLE EN MEXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIATURA EN INGENIERIA QUIMICA
P R E S E N T A N

ROGELIO LOZANO GOMEZ
GUILLERMO CULEBRO NIEVES

México, D. F.

1979



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

T E S I S

EXPANSION NUCLEOELECTRICA E INDUSTRIA DEL CICLO DE COMBUSTIBLE EN MEXICO

INTRODUCCION

I. ANTECEDENTES

- I: 1. Panorama energético mundial y recursos energéticos.
- I: 2. Panorama energético nacional y recursos energéticos.

II. PROYECCIONES DE GENERACION DE NUCLEOELECTRICIDAD

- II: 1. Demanda eléctrica.
- II: 2. Suministro de energía.
- II: 3. Déficit de energía y predicción nucleoelectrónica.

III. REACTORES PARA GENERACION DE ELECTRICIDAD

- III:1. Componentes de reactores.
- III:2. Tipos de reactores.
 - a) BWR (Reactor de agua en ebullición)
 - b) PWR (Reactor de agua a presión)
 - c) HWR (Reactor de agua pesada)
 - d) FBR (Reactor rápido o de cría)

IV. CICLO DE COMBUSTIBLE

- IV:1. Tipos y conceptos.
- IV:2. Calendarios de instalación de reactores.

IV: 3. Requerimientos de materiales y servicios del ciclo de combustible.

V. INTEGRACION DE LA INDUSTRIA NUCLEAR

V: 1. Plan de desarrollo tecnológico.

V: 2. Parámetros económicos y gastos aproximados para los programas LWR y HWR de 14,000 MWe.

VI. CONCLUSIONES

I N T R O D U C C I O N

Desde que en una cancha de squash del estadio Griggs de la Universidad de Chicago, Fermi controló la reacción en cadena en diciembre de 1942 y de los bombazos en julio 16, agosto 6 y 9 de 1945, se despertó un gran interés por esta fuente de energía para su uso pacífico. Esto se logra en el inicio de la década de los 60s, en que se instalan las primeras plantas de generación de energía nucleoelectricas competitiva con las fuentes convencionales en los países industrializados.

En la actualidad existen un gran número de plantas nucleoelectricas distribuidas en varios países y se han observado las grandes ventajas económicas que presentan sobre las plantas convencionales, principalmente sobre plantas termoeléctricas a base de petróleo y gas.

En base a esto y a la crisis energética que se prevee para los próximos años, principalmente por el agotamiento de las fuentes convencionales, se predice una instalación masiva de estas plantas en las próximas décadas en el mundo.

En México ya se encuentra en construcción una planta nuclear con una capacidad instalada de 1,300 MWe que se estima entrará en operación comercial en el año de 1992. Estudios de diversos organismos tanto internacionales como nacionales preveen una instalación de un mayor número de plantas en las próximas

dos décadas para que México pueda satisfacer sus demandas de energía eléctrica.

En este estudio, en la primera parte se hará un análisis breve de la situación energética mundial y recursos de los diferentes energéticos estimados en los últimos años, y luego de una manera más amplia el panorama energético nacional y recursos energéticos estimados a la fecha.

En el segundo capítulo, a base de un método de proyecciones de demanda de energía eléctrica que relaciona el producto interno bruto per cápita con el consumo per cápita de energía eléctrica, se estiman diferentes demandas que puede tener México de energía para diferentes crecimientos anuales probables hasta el año 2000. En base a esto, se hace un estudio del suministro probable de energía de los diferentes energéticos y las necesidades de energía nuclear para el año 2000.

En el tema tres se hace un estudio breve de los diferentes sistemas nucleares de suministro de vapor que actualmente son comerciales y de un sistema que se prevee entrará en el comercio la próxima década y que es de gran importancia debido a sus características.

En el capítulo cuatro se hace un estudio del ciclo de combustible nuclear asociado a cada tipo de sistema generador de vapor

que se desea instalar. Mostrando las diferencias que existen en los mismos y los requerimientos de servicios y materiales - para las diferentes alternativas de crecimiento nuclear.

En el capítulo cinco se mostrará el esfuerzo tecnológico y económico que México tendrá que realizar para producir sus propios combustibles nucleares que satisfagan un programa nuclear definido.

I ANTECEDENTES

1.1) PANORAMA ENERGETICO MUNDIAL

Los energéticos revisten una gran importancia en el mundo, ésto se refleja en la actividad de los sectores industriales y del transporte, así como en ciertas comodidades personales de que disfrutamos.

El panorama energético es en extremo complejo, principalmente por el agotamiento de las reservas de petróleo. Los recursos mundiales de petróleo se han estimado entre 250 y 300 gigatoneladas (1.8 a 2.2×10^{12} barriles). (1)

De acuerdo a los estudios realizados por la WAES (Workshop on Alternative Energy Estrategies) los escenarios muestran un cuadro cada vez más desconcertante a partir de 1985. Al considerar primero el combustible más crítico, el petróleo, se observa que el suministro de potencial máximo podría satisfacer la demanda hasta 1985; sin embargo, más allá de esta fecha, la discrepancia entre oferta y demanda aparece y crece rápidamente, dando lugar a grandes déficits de petróleo. Estas brechas potenciales pueden medirse con las diferencias entre las importaciones de petróleo requeridas por los países consumidores más importantes y las máximas exportaciones disponibles en los países productores. De acuerdo con éste estudio las necesidades -

de importación oscila entre 50 y 58 millones de barriles por -- día en el año 2000, mientras que los suministros disponibles para exportación oscila entre 34 y 39 millones de barriles por -- día; por esta razón, para el año 2000 cabe esperar déficits comprendidos entre 15 y 20 millones de barriles por día, ⁽¹⁾ esto -- es del orden del 27% de las necesidades totales del mundo no socialista.

Considerando lo anterior, es impostergable un esfuerzo para -- diversificar las fuentes de energía de manera que los hidrocarburos duren el tiempo necesario para una transición más adecuada hacia los nuevos sistemas de generación, presentándose como los más inmediatos las fuentes carboeléctricas, hidráulicas, -- geotérmicas y nucleares.

A continuación se presenta dentro de un contexto global los -- recursos y perspectivas de las nuevas fuentes diversificadoras.

C A R B O N

Las reservas de éste son abundantes y es un participante potencial de gran importancia en la satisfacción de futuras necesidades.

Las reservas geológicas mundiales de carbón son estimadas en -- más de 1×10^{13} ⁽¹⁾ toneladas; sin embargo, para poder usarlo se requieren programas específicos de desarrollo que incluyan la-

colaboración entre productores y consumidores. Se ha estimado que la demanda de este combustible se incrementará rápidamente después de los años 80s.

Este energético puede contribuir significativamente a resolver las necesidades, pero se ha marginado su utilización debido a los altos costos de transportes. Actualmente se han hecho grandes avances en la conversión de combustibles sólidos (Básicamente el carbón) a combustibles líquidos y gaseosos, reflejando un gran optimismo sobre estos procesos.

GEOTERMIA

Las reservas de geotermia están sólo a nivel de recursos potenciales. Actualmente se están operando alrededor de 1000MW en siete países y se espera un desarrollo acelerado en lo que resta del siglo en la utilización más eficiente de esta fuente.

HIDRAULICA

Los recursos hidráulicos conocidos son del orden de 2'300,000 - MW y proporcionan actualmente el 21% de la energía total, generando aproximadamente el 23% de la energía eléctrica mundial; en 1976 había una capacidad hidroeléctrica de 2.2 millones de - (1) MW que generaron 9.7 millones de GMH, sustituyendo aproximadamente 14,600 millones de barriles de combustóleo.

Los países en vías de desarrollo deben aprovechar más las fuentes hidroeléctricas ya que en esos países sólo se ha utilizado el 7% del potencial, comparado con un 46% del potencial de los países desarrollados.

N U C L E A R

La llamada "Crisis del Petróleo" pasada hizo que muchas empresas eléctricas cambiaran sus planes de desarrollo con plantas a base de petróleo por plantas nucleares, originándose un aumento considerable en la demanda de uranio.

Según información distribuída por la Agencia de Investigación y Desarrollo de la Energía (ERDA) de los Estados Unidos, en octubre de 1975 las reservas mundiales de uranio se evaluaron en -- 5'757,000 toneladas cortas de las cuales 3'264,000 se clasificaron como "Adicionales Estimadas".

El siguiente cuadro muestra los principales países en la materia.

(2)

RESERVAS MUNDIALES DE URANIO*

En miles de toneladas cortas de U₃O₈ (Octubre 15, 1975)

	RAZONABLEMENTE ASEGURADAS		ADICIONALMENTE ESTIMADAS	
	15 US \$/lb U ₃ O ₈	15-30 US \$/lb U ₃ O ₈	15 US \$/lb U ₃ O ₈	15-30 US \$/lb U ₃ O ₈
Australia	360	360	107	100
S & SW Africa	262	343	10	44
Canadá	187	216	421	545
Nigeria	52	65	26	39
Francia	48	71	33	53
Algeria	36	36	-	-
Gabón	26	-	6	-
España	13	134	11	138
Argentina	12	22	18	48
Suecia	-	390	-	48
USA **	320	134	500	312
Otros	42	134	15	69
TOTAL	1,360	1,904	1,150	1,352

- * Foreign Resources and Production Capability
 J. A. Patterson (Jefe de Evaluación de Suministros, ERDA)
- ** Boletín OIEA 18, No. 1, p. 14 (Feb. 1976)

*
en
*

DEMANDA MUNDIAL DE URANIO

(2)
 ERDA estimó igualmente a octubre de 1975 con un crecimiento moderado, una demanda mundial que acumulada a partir de 1975 en tres alternativas de enriquecimiento sería de 314,000 toneladas cortas de U_3O_8 (con colas de 0.30%) para el año de 1980; de - - 1'989,000 toneladas para 1990 y de 5'836,000 toneladas para el año 2000, que quedaría asegurada con las reservas mundiales de Uranio descubiertas a la fecha.

(2)

PROYECCION DE LA DEMANDA
 MUNDIAL DE URANIO

MILES DE TONELADAS CORTAS DE U_3O_8 ACUMULADAS
 A PARTIR DE 1975 CONSIDERANDO COLAS DE

AÑO	0.20%	0.25%	0.30%
1975	27	29	32
1980	265	287	314
1985	780	845	927
1990	1,666	1,810	1,989
1995	3,031	3,300	3,633
2000	4,853	5,291	5,836

Se supone un crecimiento moderado
 Se supone reciclado de U de Pu

PLANTAS NUCLEOELECTRICAS EN EL MUNDO

En 1976 la capacidad nucleoelectrónica mundial en operación (EEUU no incluido) aumentó un 33% pasando a 47,655 MWe generados por

138 reactores. Esta capacidad sobrepasa el total de los Estados Unidos de 47,186 MWe generados por 66 reactores.

Un total de 41 países fuera de los EEUU, tienen compromisos firmes de instalación de plantas nucleoelectricas; otros cinco tienen programas a largo plazo; 18 naciones tienen plantas nucleoelectricas en operación y a finales de 1977 existían 21 en total.

La URSS cuenta con 27 reactores en operación a fines de 1977 representando el 3% de su total.

Para el año 2000, Francia planea tener el 90% de su capacidad de generación por medios nucleares; España 67.5%; Pakistán 60%; Dinamarca 54%; Irán 50%; Egipto 43%; Finlandia, Portugal y EEUU 40% cada uno. (2)

El siguiente cuadro nos muestra la capacidad de las plantas nucleoelectricas y sus cambios de 1976 a 1977.

(2)

CAPACIDAD DE LAS PLANTAS NUCLEOELECTRICAS

Reactores en:	1977				1976	
	EEUU		EN EL MUNDO		EN EL MUNDO	
	MW (e)	No.	MW (e)	No.	MW (e)	No.
Operación	47,186	66	47,655	138	35,773	116
Construcción	95,439	90	90,943	118	85,182	117
Ordenados	70,148	61	42,135	50	53,787	58
Planeados			182,058	175	168,504	167
T O T A L	212,773	217	362,791	481	343,246	458

1.2) PANORAMA ENERGETICO NACIONAL

En México el petróleo y el gas han satisfecho en las últimas décadas aproximadamente el 90% de la demanda nacional de energía primaria como puede observarse en el cuadro a continuación:

	X 10 ⁹ Kcal				
	Crudos	Madera	Gas Natural	Carbón	Hidroelectricidad
1963	1465.78	44.08	867.02	105.48	153.46
1973	2511.39	6.60	1621.02	224.03	398.93

El sector energético produce el 94% y la industria metalúrgica el 6%; la energía generada por dicho sector proviene de -- los hidrocarburos en un 97%, los cuales se consumen en el país en la siguiente forma:

En la industria	45%
En el transporte	30%
Producción eléctrica	15%
Usos comerciales y domésticos	10%

La energía eléctrica es en un 54% de origen fósil y en un 46% de origen hidráulico.

Los hidrocarburos consumidos por la industria eléctrica se -- presentan en la siguiente forma:

Combustóleo	63%
Diesel	5%
Gas natural	32%

Se ha visto la conveniencia de que el país diversifique sus insumos energéticos primarios, reduciendo así su gran dependencia actual del petróleo. Esta conveniencia obedece a la necesidad de administrar prudentemente el empleo de los hidrocarburos, cosa que en México se ha descuidado al no tener definida claramente una política nacional de energéticos.

Ahora bien, la sustitución del petróleo por otros recursos es más inmediata en la generación de energía eléctrica que en la mayoría de las aplicaciones directas de los hidrocarburos.

Un plan razonable consistiría en desarrollar los aprovechamientos hidroeléctricos factibles y construir centrales eléctricas a base de Carbón y Uranio; cabe mencionar que con base a los precios internacionales actuales del petróleo, tanto el Carbón como el Uranio generan energía eléctrica con considerable ventaja económica.

CONSUMO DE ENERGIA PRIMARIA

Entre 1960 y 1974 el consumo de energía primaria creció en --
 (3)
 promedio al 7.7% anual, para llegar al orden del 500×10^{12} Kcal en 1974. Con esta tasa de crecimiento el consumo anual de energía primaria en 1980 sería de 780×10^{12} Kcal y de --

1,600 X 10¹² Kcal en 1990 y de 3,441 X 10¹² Kcal en el año -- 2000.

México consumió en 1975 energía primaria por 570 X 10¹² Kcal, ésto es, la energía equivalente a 4 45,000,000 barriles de petróleo crudo. De esta energía consumida, el 86.3% proviene del petróleo y del gas, es decir 384.3 millones de barriles - (1,052 millones de barriles diarios). (4)

La hidroelectricidad en el mismo año de 1975 representa un -- 8.07% del total, en tanto que el carbón mineral aportó el -- 5.26% además sólo el 40% de la energía eléctrica producida en ese año provino de la hidroelectricidad, el resto de los hidrocarburos.

El consumo por cabeza de energía primaria en México, es del or-
(4)
den de 1 X 10⁷ Kcal por habitante al año (7.8 barriles de petróleo al año). En estados Unidos este consumo es de 80.5 X 10⁶ Kcal por habitante y en Europa de 32.9 X 10⁶ Kcal.

En el contexto mundial, México es un país con un consumo energético per cápita muy bajo como puede observarse en la siguiente gráfica. Fig. 1

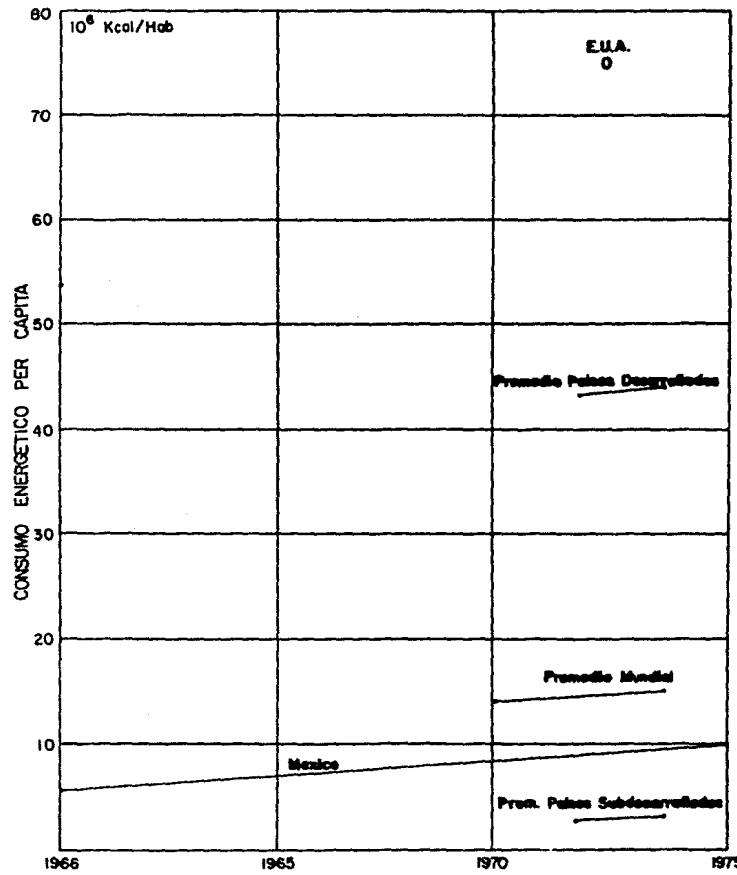


FIGURA 1

CONSUMO ENERGETICO PER CAPITA EN MEXICO Y EN EL MUNDO (4)

Se ha encontrado que existe una correlación muy marcada entre el consumo energético per cápita de una nación y su producto interno bruto per cápita. Más aún, se ha encontrado que las tasas anuales de aumento en el consumo energético y aumento en el producto nacional bruto están muy correlacionados.

En los países desarrollados, el coeficiente anual de aumento en el consumo energético y de aumento del producto nacional bruto son aproximadamente iguales. En los países en desarrollo la tasa anual de aumento en el consumo energético es aproximadamente 1.4 veces la tasa de aumento en el producto nacional bruto. En México entre 1960 y 1975, la tasa de aumento en el consumo energético creció 1.34 veces más que la tasa de aumento del producto interno bruto.

CONSUMO Y DEMANDA ELECTRICA

La tasa histórica de crecimiento de la demanda de energía eléctrica es superior al 11%; para su extrapolación al año ⁽³⁾ 2000, la CFE ha utilizado un método que la correlaciona con el ingreso por habitante, y que con base a algunos factores tomados de la experiencia mundial, lo ajusta, para tomar en cuenta efectos que podrían considerarse de saturación.

Con éste método, las demandas de energía eléctrica para el año 2000 resultan de 418 TWH (1 TWH = 1×10^9 KWH) contra

46 TWH en 1976.

En el último período (1985-2000) la tasa de crecimiento anual sería de 8.5% y el promedio anual para todo el período (1978-2000) sería de 9.67%. Si nos basamos en las tasas históricas de consumo eléctrico durante los últimos 14 años, las necesidades de energía eléctrica en el año 2000 serían superiores a los 600 TWH.

POTENCIAL ENERGETICO EN MEXICO

Base para el establecimiento de lineamientos de política energética es la determinación de los recursos energéticos con -- que el país pueda contar a futuro para hacer frente a las necesidades de energía que el desarrollo del mismo demandará.

HIDROCARBUROS

Las reservas probadas de petróleo crudo, gas natural y líquidos del gas a finales de 1977 ascendieron a 16,000 millones - de barriles.⁽⁵⁾ Las reservas probables son de 31,000 millones adicionales y las reservas potenciales incluyendo los dos renglones anteriores llegan a 120,000 millones de barriles.

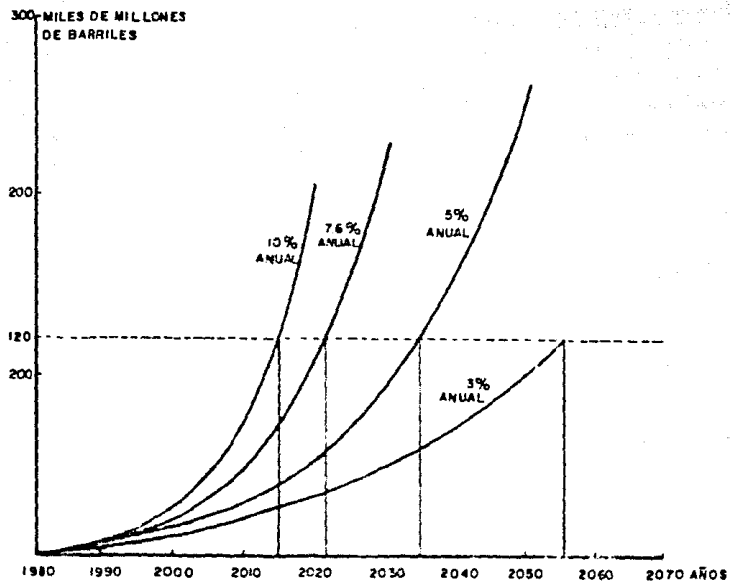
La producción media diaria en el año de 1977 fue de 1'085,550 barriles de crudo y de 2,046 millones de pies cúbicos por día.

PEMEX anuncia que para 1982 se alcanzará un volumen de - - - -
2'250,000 barriles diarios de crudo y líquidos del gas.

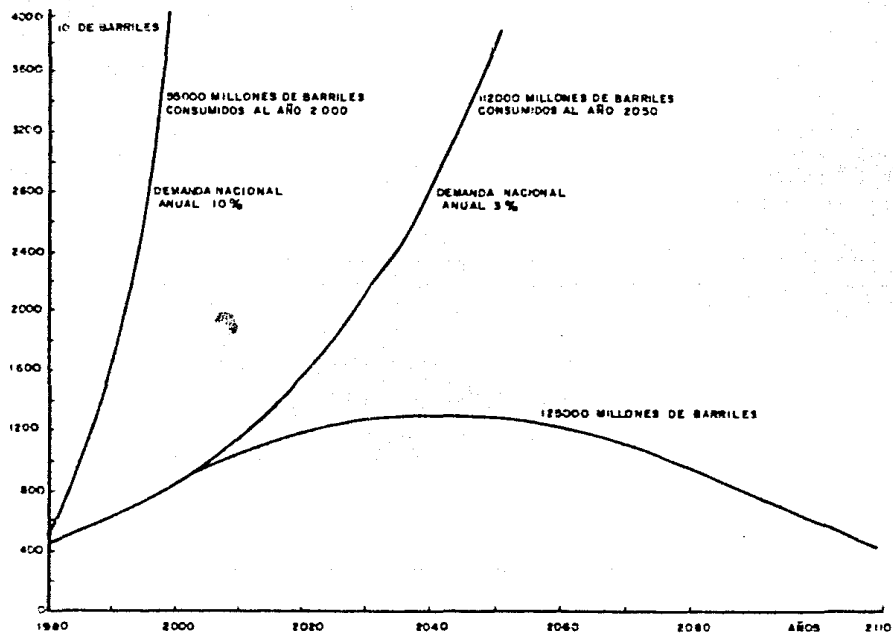
El consumo nacional durante 1978 fue aproximadamente del orden de 430 millones de barriles y el incremento anual varía del 7% al 3%. Con estos datos se calcularon los tiempos en que se consumirán totalmente las reservas mencionadas, asumiendo incrementos constantes en el consumo anual desde el 3% hasta el 10%. Los resultados se muestran en la gráfica 1-A (6) - se ve que en el mejor de los casos bastan 75 años para consumir totalmente dichas reservas, y en el peor de los casos, sólo se requieren 34 años a partir de esta fecha.

Otra forma de ver nuestra perspectiva del consumo del petróleo se ilustra en la gráfica 2-A (6) en la que la ordenada está en millones de barriles y se acorta el consumo anual con los valores extremos 3% y 10% de incremento. La curva de forma aproximada a una campana de Gauss, representa un modelo posible de variación con el tiempo del consumo anual, tal vez más realista que las otras, pues supone que no seguimos creciendo indefinidamente y que eventualmente se llega a un estado estacionario y luego decae el consumo. En el caso de esta curva, el - - -

GRAFICA I - A



GRAFICA 2 - A



consumo total hasta el año 2010 es igual a la reserva total su puesta, es decir, dentro de 50 ó 60 años en este esquema de -- consumo no habrá perspectivas a largo plazo para seguir dependiendo del petróleo.

POTENCIAL HIDROELECTRICO

Las estimaciones sobre el potencial aprovechable en México lo sitúan entre 22 y 25 GWe de capacidad instalada, que pueden ge nerar anualmente unos 83,000 GWH ⁽³⁾ teóricos, de los cuales se -- cree que es aprovechable un 80% del potencial máximo o sea -- 60,000 GWH aproximadamente.

Durante muchos años la capacidad hidroeléctrica del país ha re presentado aproximadamente la mitad de toda la capacidad eléctrica instalada; sin embargo, en los últimos años su participa ción ha venido disminuyendo paulatinamente en la medida que se agotan los sitios más ventajosos.

Actualmente, la capacidad hidroeléctrica instalada en el país ⁽⁷⁾ es de aproximadamente un poco más de 5 GWe que generan anual-- mente unos 17,000 GWH, que representan un 28% del potencial hi dráulico aprovechable.

Los planes de desarrollo del sector eléctrico contemplan que -- al año 2000 se habrán construído 43 centrales hidroeléctricas

adicionales a las existentes, con lo que la generación alcanzará un valor de 60,000 millones de KWH por año, en una potencia instalada de 25,000 MW.

A pesar de ello, la hidroelectricidad sólo contribuirá con el 19% de la energía eléctrica, o bien el 6.7% de la demanda total de energía para el año 2000.

Pese a que la energía hidroeléctrica goza de prestigio en varios aspectos, presenta también varios problemas, algunos de particular importancia para el caso de México.

Por ejemplo:

- i) La lejanía entre las cuencas de potencial hidroeléctrico y los centros principales de consumo, pues mientras que las primeras están localizadas en su mayor parte en el sur del país, las segundas están en el centro y en el norte, lo que implica pérdidas de energía y costos más elevados por transmisión.
- ii) La utilización de las plantas es muy baja, debido a su dependencia del flujo pluvial. Así por ejemplo la planta de Chicoasén, con una capacidad nominal de 2,400 MWe, sólo generará anualmente 5,600 GWH lo que corresponde a un factor de capacidad de sólo 26.6%. (7)
- iii) La inundación de grandes áreas y la pérdida consiguiente de tierras que generalmente son fértiles y por tanto de

uso agrícola. Este punto es particularmente importante -
en la cuenca del Usumacinta.

POTENCIAL CARBONIFERO

Tres son las provincias carboníferas de reconocida importancia en el país: Coahuila, Sonora y Oaxaca.

Las reservas probadas son del orden de 2,400 millones de toneladas⁽⁸⁾ y las estimaciones del potencial carbonífero son del orden de 8,000 millones de toneladas,⁽³⁾ de las cuales el '98% corresponden a las provincias de Coahuila.

De este total, 1,685 millones de toneladas pueden considerarse como medidas en mantos de espesores comprendidos entre 1.09 m y 1.40 m. Este carbón se considera con un potencial calorífico medio de 5,000 Kcal/kg.⁽³⁾

Hasta hace poco los trabajos de exploración y explotación del carbón se enfocaron casi en su totalidad a satisfacer las necesidades de la industria siderúrgica y la minero-metalúrgica.

Actualmente el sistema eléctrico mexicano sólo tiene una pequeña planta de 30 MWe en base a carbón; sin embargo, se está instalando la planta de Río Escondido que una vez concluída, tendrá una capacidad de 1,200 MWe; el carbón utilizado en estas - plantas es el llamado de flama larga.

De las reservas probadas de 170 a 180 millones de toneladas -- que corresponden a la cuenca del Río Escondido, no contienen carbón apropiado para la industria siderúrgica, pero sí para la generación eléctrica.

La planta carboeléctrica de Río Escondido consumirá 4.4 millones de toneladas de carbón anuales, lo que significa que las actuales reservas probadas de carbón flama larga son suficientes para el equivalente a 40 años de funcionamiento para esa planta. Por lo que se refiere a proyecciones a largo plazo hechas por la CFE, se estima que se podrán tener entre 9,000 y 10,000 MWe para el año 2000. (1) (7)

Con relación a los usos del carbón en la industria siderúrgica y minero-metalúrgica, se calcula que se incrementarán en forma creciente al año 2000 con una tasa anual de 9.76%. (3)

A fines del siglo, éstas industrias estarán utilizando 65 millones de toneladas anuales y la demanda acumulada de 1976 al 2000 será de 719 millones de toneladas, es decir, del orden de las actuales reservas probadas de carbón coquizable. (3)

La utilización del carbón para generar energía eléctrica presenta dos grandes problemas:

- i) Debido al alto costo del transporte, las plantas carboeléctricas tienen que instalarse en las inmediaciones de los -

yacimientos. Esto se debe a que el contenido energético por unidad de peso del carbón es relativamente bajo y por lo tanto es necesario transportar grandes cantidades.

- ii) La combustión del carbón es sumamente contaminante, el -- contaminante más dañino del carbón es el azufre.

En suma, existen reservas de carbón suficientes para las necesidades de las industrias siderúrgicas y minero-metalúrgicas - por lo que resta del siglo. Sin embargo, para el caso de la - industria eléctrica, se considera que la colaboración del carbón estará limitada a una capacidad de unos 10,000 MWe a fines del siglo, además que los problemas ambientales podrán llegar a ser determinantes en el desarrollo futuro de éste energético.

POTENCIAL GEOTERMICO

De acuerdo con los estudios realizados por la CFE, el poten- -
cial geotérmico estimado en 1976 es de 9,000,000⁽³⁾ de kw.

Actualmente en México se han instalado dos plantas de 37.5 MWe cada una, en Cerro Prieto, Baja California, que en 1975 genera-
ron 520 GWh, el 1.4% de toda la energía eléctrica generada en ese año en el país.

De la generación geotérmica que CFE ha estimado participará --
condos⁽⁵⁾ GW en el año 2000, alcanzará valores de 4 TWh para 1990

y 5.6 TWH para el año 2000. De esta fuente de energía se espera un aprovechamiento realmente significativo hasta el próximo siglo.

POTENCIAL URANIFERO

La metodología seguida por el INEN para determinar las reservas y estimar el potencial uranífero del país, consiste en agrupar las áreas potenciales del territorio nacional en base al tipo de roca que contiene concentraciones explotables de uranio. Subdividiéndolo en tres grupos que corresponden en yacimientos en rocas sedimentaris, en rocas ígneas y metamórficas asociadas y en rocas metamórficas.

Los recursos uraníferos que potencialmente se consideran factibles de encontrar en el territorio nacional, se han estimado en el orden de 140,000 toneladas de óxido de uranio (U_3O_8)⁽³⁾, de las cuales se consideran que alrededor de unas 100,000 toneladas se encuentran en el estado de Chihuahua.

(3) (7)

Las reservas probadas a la fecha son de 10,000 toneladas de U_3O_8 .

El uranio aún no se ha utilizado en la producción de energía eléctrica en México; se encuentra apenas en proceso de construcción en Laguna Verde, Veracruz, las dos unidades de la que

será la primera planta nucleoelectrónica en este país. Estas dos unidades con una capacidad conjunta de 1,300 MWe comenzarán a operar en los años de 1982 y 1983 respectivamente. Los requerimientos de uranio (U_3O_8) de estas dos unidades en sus 30 años de vida útil son un poco menor a las reservas probadas actualmente.

La elección de éste energético como una alternativa nueva que alivie la presión sobre los hidrocarburos, nos resulta de particular interés por las siguientes razones:

i) El mercado de uranio natural (materia prima para fabricar el combustible de cualquier tipo de reactor actual) está bastante diversificado, existiendo varias fuentes de suministro. Por otra parte, la lejanía de las fuentes de suministro no influyen significativamente en los costos de generación, ya que se trata de un mineral con un contenido energético por unidad de peso sumamente alto, por lo cual los volúmenes y pesos que se transportan son relativamente pequeños. Por ejemplo, para generar la misma energía eléctrica por cada kilogramo de uranio que requiere una nucleoelectrónica, la carboelectrónica requiere aproximadamente 20 toneladas de carbón.

ii) La energía eléctrica de origen nuclear es la que actualmente resulta más barata, sólo la que proviene del carbón en sitios muy cercanos a yacimientos de carbón barato puede llegar a ser similar en cuanto a costos.

iii) Dentro del campo de los usos exclusivamente pacíficos que son los únicos que a México interesan, el único valor del uranio es el asociado a la producción de energía, ya que ninguna otra industria lo utiliza para otros fines en cantidades significativas. Esto lo diferencia sustancialmente de los hidrocarburos, que se pueden utilizar en la petroquímica en lugar de quemarlos.

iv) Otras fuentes nuevas. Las fuentes energéticas que se enmarcan dentro del rubro general 'nuevas fuentes de energía' y entre las que se incluyen la energía solar, la fusión, cría, etc., son fuentes cuyo aprovechamiento depende de tecnologías que aún se encuentran en proceso de desarrollo, no habiendo posibilidad actual de aprovecharlas en forma comercial.

v) Los reactores térmicos instalados en la actualidad aparte de la generación eléctrica, generan plutonio, el cual junto con el uranio U-238 constituye el combustible nuclear para los reactores de cría o rápidos que son mucho más eficientes que los reactores térmicos, generan alrededor de 130 veces más energía a partir de la misma cantidad de uranio natural. Se prevee que éstos reactores entrarán en el comercio mundial en la próxima década.

Estudios recientes realizados por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) que utilizó el programa de cómputo WASPP

(Wien Automatic System Planning Package), por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), utilizando el programa de cómputo - MNI' (Modelo Nacional de Inversiones) y por el programa de reactores del Centro Nuclear de México del Instituto Nacional de Energía Nuclear (INEN) , utilizando WASP, han calculado los -- costos de un gran número de alternativas de expansión eléctrica y tomando en cuenta los diferentes costos de los energéticos primarios, las capacidades de las redes de distribución y de las plantas, las demandas de base y pico, los porcentajes de reservas aconsejables, obtienen aquella alternativa que satisface la demanda con el KWH más económico.

En el Cuadro 1-1 se muestran los resultados del OIEA, para -- 1973 y 1974, después de la alza en los costos del petróleo.

Es interesante señalar el crecimiento espectacular con relación al total de la demanda de energía eléctrica a ser generada por medios nucleares; del 4% en 1980, al 55% en 1990 y al -- 77% en el año 2000 a los precios actuales del petróleo.

Los estudios de la CFE de esa época obtenían una cifra cercana a la del OIEA, 14,260 MWe para la generación nucleoelectrica a 1990. Los estudios actuales de la CFE como del INEN han reducido sustancialmente la capacidad nucleoelectrica a instalarse en el país a 1990.

En el cuadro I-2 (10) (2) se muestran los resultados actuales reportados por la CFE con 21,400 MW nucleoelectrónicos para el año 2000, que representan un 26.4% del total de la capacidad instalada en ese año.

De acuerdo con la estimación hecha de demanda eléctrica de 418 GWHe, con una capacidad instalada de 80,000 MW aproximadamente y considerando que las estimaciones actuales sobre el potencial hidroeléctrico, geotérmico y carboeléctrico son de una generación anual de 83,000, 15,000 y 142,000 GWHe para el año 2000, con una capacidad instalada de 25,000, 2,000 y 20,000 MWe respectivamente, suponiendo un uso intensivo de carbón para generación eléctrica; es evidente que para entonces aún habrá un déficit de 178,000 GWHe y 33,000 MWe anuales que tendrán que ser suministrados por termoeléctricas a base de combustóleo o gas o por nucleoelectrónicas. De esto se deduce fácilmente que se tendrán que construir masivamente termoeléctricas convencionales y quemar combustóleo, cuyo valor como materia prima dentro de la petroquímica es mayor. De esto se deduce la necesidad de aprovechar el Uranio como recurso energético para la generación de energía eléctrica.

C U A D R O I - 1 (9)

CAPACIDAD INSTALADA PROYECTADA PARA MEXICO

AÑO	PLANTAS CONVENCIONALES				PLANTAS NUCLEARES				PLANTAS HIDRAULICAS				TOTAL
	1973		1974		1973		1974		1973		1974		MWe
	MWe	%	MWe	%	MWe	%	MWe	%	MWe	%	MWe	%	
1980	9,330	58	8,600	53	670	4	670	4	6,200	38	6,900	43	16,200
1990	16,860	43	9,100	23	15,540	40	21,600	55	6,900	17	8,600	22	39,300
2000	36,360	41	9,400	11	44,740	51	68,000	77	6,900	8	10,600	12	88,000

C U A D R O I - 2 (10) (2)

PROYECCION DE LA INSTALACION DE PLANTAS DE
ELECTRICIDAD PARA EL AÑO 2000

P L A N T A S	1986		2000	
	MWe	%	MWe	%
Hidroeléctricas	8,555	35.4	21,900	27.0
Termoeléctricas: <u>combustible</u> tóleo, diesel y gas	11,575	47.9	23,000	28.3
Carbón	2,430	10.1	9,500	11.7
Geotérmicas	290	1.2	5,400	6.6
Nucleoeléctricas	1,308	5.4	21,400	26.4
T O T A L .	24,158	100	81,200	100

II. PROYECCIONES DE GENERACION DE NUCLEOELECTRICIDAD

II.1 DEMANDA ELECTRICA.

La demanda de energía eléctrica ha crecido en México a una tasa de 9.4% anual durante los últimos 13 años, mientras que la capacidad instalada se ha incrementado a un 8.1% anualmente - en el mismo período. La tabla I muestra la capacidad instalada y la energía generada cada año en el período 1964-1976. ⁽¹¹⁾

T A B L A I

Año	Capacidad Instalada (MW)	Energía Neta Generada (GWH)
1964	4,696	15,763
1965	5,238	17,248
1966	5,596	18,755
1967	5,781	20,559
1968	6,009	22,765
1969	6,946	25,655
1970	7,457	28,654
1971	7,914	31,235
1972	8,471	34,335
1973	9,449	37,059
1974	10,098	40,781
1975	11,559	43,505
1976	12,842	47,202

Las proyecciones en base a la tasa histórica de crecimiento - se muestran en la tabla II. El país requerirá tener una capacidad de 84,000 MWe para general 466,000 GWh en el año 2000.

T A B L A I I

Año	Capacidad Instalada (MW)	Energía Neta Generada (GWH)
1976	12,842	47,202
1982	20,000	86,000
1988	32,000	151,000
1994	52,000	265,000
2000	84,000	466,000

El crecimiento histórico del sector eléctrico en México, co--
(3)
rresponde a un 3.5% de crecimiento anual de población y a un 6.0% por año de crecimiento real de la economía en el mismo - período. Sin embargo, no es probable que en largos períodos estos ejemplos permanezcan constantes.

Se están haciendo esfuerzos para reducir la velocidad de crecimiento de la población. La tabla III muestra tres casos de crecimiento de la población, marcados como (A), (B) y (C).

(A) corresponde a un decrecimiento drástico de un 0.5% cada 6 años en el crecimiento anual.

(B) es un caso de una reducción sólo de 0.25% en términos de - cada 6 años y (C) corresponde a un decrecimiento de 0.1% cada 6 años, ésto es, el crecimiento de población permanece esencialmente incierto.

T A B L A I I I

Año	(10 ⁶ H) ^A	Crecimiento Anual	(10 ⁶ H) ^B	Crecimiento Anual	(10 ⁶ H) ^C	Crecimiento Anual
1976	63		63		63	
		3.00%		3.25%		3.4%
1982	75		76		77	
		2.50%		3.00%		3.3%
1988	87		91		94	
		2.00%		2.75%		3.2%
1994	98		107		113	
		1.50%		2.50%		3.1%
2000	107		124		136	

Se consideran 3 escenarios de actividad económica.

- (1) Es un crecimiento económico mantenido del 6% anual hasta - el año 2000.
- (2) Corresponde a un crecimiento moderado del 5% anual hasta - finales del siglo.
- (3) Corresponde a un crecimiento económico bajo de solamente - el 4% anual hasta el año 2000. La tabla IV muestra estos escenarios.

T A B L A I V
Crecimiento del Producto Nacional Bruto
(10⁶ Pesos 1964)

Año	(1)	(2)	(3)
1976	475,827	475,827	475,827
1982	675,000	638,000	602,000
1988	957,000	856,000	762,000
1994	1'358,000	1'145,000	964,000
2000	1'927,000	1'535,000	1'220,000

Usando el método de H.AOKi (12) para predecir la demanda eléctrica como una función de la actividad económica y de la población, se pueden derivar 9 casos de demanda para el año 2000 como se indica en la tabla V.

T A B L A V
Demanda de Energía
En el año 2000 (GWH)

Caso	
I A	489,000
I B	417,000
I C	377,000
II A	304,000
II B	260,000
II C	235,000

III A	189,000
III B	161,000
III C	146,000

Se nota como la predicción de la demanda de energía es sensible a la variación de la actividad económica. En un grado menor esta predicción es sensible también a la disminución del crecimiento de la población.

Escogiendo los casos IB, IIB, IIIB como representativos de una alta, moderada y baja actividad económica para predecir la capacidad instalada y la demanda de energía eléctrica en México en el período 1976-2000. Como se muestra en la tabla VI.

T A B L A V I

Predicciones para el Sector Eléctrico en México

Año	I B		I I B		I I I B	
	Capacidad Instalada (MW)	Demanda Energía (GWH)	Capacidad Instalada (MW)	Demanda Energía (GWH)	Capacidad Instalada (MW)	Demanda Energía (GWH)
1976	12,842	47,202	12,842	47,202	12,842	47,202
1982	20,000	80,000	18,000	71,000	16,000	68,000
1988	31,000	136,000	25,000	108,000	21,000	85,000
1994	49,000	236,000	36,000	165,000	26,000	116,000
2000	77,000	417,000	50,000	260,000	33,000	161,000

SUMINISTRO DE ENERGIA

La tabla VII muestra el potencial estimado para Hidro en el año 2000 (13), (14), (15), Geotermia y carbón (10), capacidad eléctrica y generación anual en México, mientras que la tabla VIII nos muestra la capacidad instalada y la generación en 1976 (11).

T A B L A V I I

Potencial Tipo	Capacidad Instalada (MW)	Generación Estimada (GWH)
Hidro	25,000	83,000
Geotermia	2,000	15,000
Carbón	20,000	142,000

T A B L A V I I I

1976 Tipo	Capacidad Instalada (MW)	Energía Neta Generada (GWH)
Hidro	4,500	17,000
Geotermia	75	560
Carbón	37	200
Petróleo	<u>8,230</u>	<u>29,442</u>
Total	12,842	47,202

Solamente el 20% de nuestro potencial Hidro y menos del 5% de nuestra fuente de potencial geotérmico han sido desarrollados

hasta 1976, se espera desarrollar este potencial intensivamente en la siguiente década. Debido a que las reservas de carbón son preferentemente utilizadas en la industria del acero, se ha estimado que solamente alrededor de la mitad del potencial mencionado podría ser utilizado para la generación de electricidad, lo cual podría desarrollarse totalmente para el año 2000.

La tabla IX muestra las plantas de generación eléctrica ahora bajo construcción firmemente encargadas en el plan de expansión de 10 años de la CFE. (16)

La tabla X muestra la capacidad acumulada instalada de acuerdo al plan de expansión.

La tabla X-A muestra la capacidad y generación para cada tipo de fuente de 1986.

T A B L A I X			
Tipo	Principio de Operación	Nombre	Capacidad (MW)
Hidro	1977	Malpaso 5, 6	360
	1978	Angostura 4, 5	360
	1980	Chicoasen 1, 2, 3, 4, 5	1,500
	1985	Peñitas 1, 2, 3, 4	400
	1985	Caracol 1, 2, 3	570
	1985	Tecate 1, 2	90
	1985	La Amistad 1, 2	40

Tipo	Principio de Operación	Nombre	Capacidad (MW)
Hidro	1986	Aguamilpa 1, 2, 3	540
	1986	Temascal 5, 6	154
	1986	Bacurato 1, 2	84
	1986	Comedero 1, 2	<u>90</u>
		Subtotal	4,188
Geotermia	1979	Cerro Prieto 3, 4	75
	1982	Cerro Prieto 5	30
	1984	Cerro Prieto II 1, 2	110
	1986	Cerro Prieto II 1, 2	<u>110</u>
		Subtotal	325
Carbón	1982	Río Escondido 1, 2	600
	1984	Río Escondido 3, 4, 5	900
	1986	Carbón II 1, 2, 3	<u>900</u>
		Subtotal	2,400
Petróleo	1977	Tula 3, 4	600
	1978	Salamanca 3, 4	600
	1978	Tampico 3, 4	600
	1979	Guaymas 3, 4	300
	1979	Campeche 4	37.5
	1979	Punta Prieta II 1, 2	75
	1981	Manzanillo 1, 2	600

Tipo	Principio de Operación	Nombre	Capacidad (MW)
Petróleo	1981	Mazatlán II 3	300
	1981	Mérida II 1, 2	168
	1981	Francisco Villa 4	150
	1983	Desemboque 1, 2	300
	1983	Punta Prieta II 3	37.5
	1984	Manzanillo 3, 4	600
	1985	Mérida II 3, 4	168
	1985	Desemboque 3, 4	<u>300</u>
		Subtotal	4,836
Nuclear	1982	Laguna Verde 1	654
	1983	Laguna Verde 2	<u>654</u>
		Subtotal	1,308
		T O T A L	<u>13,057</u> =====

T A B L A X

Año	Capacidad Instalada (MW)
1976	12,842
1977	13,802
1978	15,362
1979	15,850
1980	17,450
1981	18,568
1982	19,852
1983	20,843
1984	22,453
1985	24,021
1986	25,899

T A B L A X - A

1986	Capacidad Instalada	Energía Generada
Tipo	(MW)	(GWH)
Hidro	8,688	30,000
Geotermia	400	3,000
Carbón	2,437	17,000
Petróleo	13,066	63,000
Nuclear	<u>1,308</u>	<u>9,000</u>
T o t a l:	25,899	122,000

DEFICIT DE ENERGIA Y PREDICION NUCLEOELECTRICA

Nótese que el plan de construcción de 10 años de la CFE está - basado en el caso IB, 6% de crecimiento económico anual y 0.25% cada 6 años de decrecimiento en la tasa de crecimiento de población.

Si en el período 1987-2000, las fuentes disponibles de hidro, - geotermia y carbón para la generación de electricidad son desarrolladas intensamente; la oferta y la demanda de energía eléctrica para el año 2000, será como se muestra en la tabla XI.

T A B L A X I

2000	IB		IIB		IIIB	
	Potencia (MW)	Energía (GWH)	Potencia (MW)	Energía (GWH)	Potencia (MW)	Energía (GWH)
Oferta						
Hidro	25,000	83,000	17,000	59,000	12,000	42,000
Geotermia	2,000	15,000	2,000	15,000	1,100	8,000
Carbón	10,000	71,000	10,000	71,000	5,600	39,000
Petróleo	13,000	63,000	13,000	63,000	13,000	63,000
Nuclear	1,300	9,000	1,300	9,000	1,300	9,000
TOTAL	51,300	241,000	43,300	217,000	33,000	161,000
Demanda	77,000	417,000	50,000	260,000	33,000	161,000
Déficit	25,700	176,000	6,700	43,000	- - -	- - -

Así suponiendo un desarrollo favorable de nuestros recursos renovables e intensificando el uso de carbón todavía existirá un déficit en la oferta de energía eléctrica para el año 2000, en cuyos casos solamente podría ser suplida por termoeléctricas a base de petróleo y gas o por capacidad nuclear.

Las reservas de petróleo con las que cuenta México se pueden - considerar ventajosas, pero hay que tener en cuenta que es un recurso no renovable y aprovecharlo en la mejor forma posible.

La tabla XII muestra nuestros recursos de energía primaria no renovables.

T A B L A X I I

Reservas en 1977

	Probadas	Probables	Potencial
Carbón (10^6 ton) (15)	2,400		8,000
Petróleo (10^6 m ³) (17)	2,325	4,610	18,600
U ₃ O ₈ (ton) (15)	10,000		150,000

La tabla XIII muestra el plan de desarrollo de PEMEX de nues--tra industria petrolera durante los próximos 6 años de admini--tración 1977-1982 (17); también muestra una extrapolación del consumo doméstico hasta el año 2000, a una tasa de crecimiento anual de 7.3%, el cual es el factor de crecimiento estimado --por PEMEX para el período 1977-1982.

T A B L A X I I I

Año	Consumo doméstico (10 ⁶ m ³)		Exportación (10 ⁶ m ³)		Producción total (10 ⁶ m ³)	
	Anual	Acumulado	Anual	Acumulado	Anual	Acumulado
1977	45,255	45,255	8,654	8,654	53,909	53,909
1978	48,552	93,807	15,419	24,073	63,971	117,880
1979	52,090	145,897	23,820	47,893	75,910	193,790
1980	55,885	201,783	34,193	82,086	90,078	283,868
1981	59,957	261,740	46,934	129,020	106,891	390,759
1982	64,326	326,066	62,515	191,535	126,841	517,600
1983	69,000	395,100				
1984	74,000	469,100				
1985	79,400	548,500				
1986	85,200	633,700				
1988	98,100	823,400				
1994	149,700	1'581,900				
2000	228,300	2'738,900				

Nótese que la exportación orientada a un 18.7% por año de la producción total, la cual no puede ser sostenida más allá de 1982 - pues peligraría el agotamiento de nuestras reservas como se puede observar en la tabla XIV.

T A B L A X I V

Predicciones de producción de petróleo en México considerando diferentes tasas de crecimiento anual en el período 1988-2000 (en 10^6 m^3)

Año	18.7%		12.0%		8.0%	
	Anual	Acumulado	Anual	Acumulado	Anual	Acumulado
1988	354,100	1'962,500	250,400	1'670,500	201,300	1'522,500
1994	988,400	5'996,000	494,200	3'946,000	319,400	3'117,200
2000	2'758,900	17'255,100	975,400	8'437,500	506,900	5'647,800

Por lo tanto la velocidad de crecimiento en la producción de petróleo debe eventualmente disminuir.

La tabla XV, muestra el consumo de petróleo del sector eléctrico en el período 1976 - 1986 como demanda de las plantas termoeléctricas a base de petróleo mostradas en la tabla IX.

T A B L A X V

Año	Capacidad Instalada (MW)	Energía Generada (GWH)	Petróleo Consumido (10 ⁶ m ³)	
			Anual	Acumulado
1976	8,230	29,442	6,477	
1977	8,830	34,000	7,500	7,500
1978	10,030	42,000	9,200	16,700
1979	10,442.5	45,000	9,900	26,600
1980	10,442.5	45,000	9,900	36,500
1981	11,660.5	53,000	11,700	48,200
1982	11,660.5	53,000	11,700	59,900
1983	11,998	56,000	12,300	72,200
1984	12,598	60,000	13,200	85,400
1985	13,066	63,000	13,900	99,300
1986	13,066	63,000	13,900	113,200

El petróleo para el sector eléctrico crece a un 8.1% anualmente según el inventario de la CFE; esto es, 0.8% más alto que el crecimiento anual de la demanda doméstica del petróleo. - Así, si persiste esta tendencia de uso de petróleo para el -- sector eléctrico hasta el año 2000, en este año la CFE po- - dría potencialmente tener una capacidad instalada de 31,000 MW de plantas termoeléctricas convencionales, generando 190,000-GWH de energía eléctrica anualmente. En este caso de uso

de petróleo en el sector eléctrico es indicado como "a" en la tabla XVI. De otra manera si PEMEX impone la restricción del uso del petróleo para la CFE desde 1987 en adelante, de tal manera que el crecimiento anual de esta reserva para la generación de electricidad es solamente del 6% ó 4% como se muestra en los casos 'b' y 'c' de la tabla XVI, entonces en el año - - 2000 la capacidad instalada de plantas de petróleo disminuye a 26,000 GWH en cada MW, generando 151,000 GWH ó 107,000 GWH en cada caso.

T A B L A X V I

Caso 'a': 8.1% anual de crecimiento de petróleo empleado por CFE

Año	Capacidad Instalada (MW)	Energía Generada (GWH)	Petróleo Consumido (10 ³ m ³)	
			Anual	Acumulado
1982	11,660.5	53,000	11,700	59,900
1988	16,000	80,000	17,500	146,900
1994	22,000	123,000	27,100	283,500
2000	31,000	190,000	41,700	494,000

Caso b': Crecimiento de 6.0% anual de petróleo empleado por CFE

1982	11,660.5	53,000	11,700	59,900
1988	15,000	75,000	16,500	145,200
1994	19,000	107,000	23,500	267,500
2000	26,000	151,000	33,300	441,000

Caso 'C': Crecimiento del 4.0% anual de petróleo empleado por CFE

Año	Capacidad Instalada (MW)	Energía Generada (GWH)	Petróleo Consumido (10 ³ m ³)	
			Anual	Acumulado
1982	11,660.51	53,000	11.700	59,900
1988	14,000	67,000	14.800	142.000
1994	16,000	85,000	18.700	243.800
2000	19,000	107,000	23.600	372.600

Así, combinando estos tres casos de capacidad de empleo de petróleo para el sistema eléctrico de México, en el período 1987-2000, con el déficit pronosticado por los casos IB y IIB de la tabla XI y suponiendo que el déficit permanente sólo puede ser cubierto por plantas nucleares, se llega a una lista de requerimientos de capacidad nuclear para varias estimaciones de crecimiento económico y disponibilidad de petróleo para generación eléctrica. Esta lista se muestra en la tabla XVII.

Debe tomarse en cuenta que estas estimaciones de crecimiento nuclear del sector eléctrico en México consideran que se intensifica el uso de los recursos hidro, geotermia y carbón disponibles para la generación eléctrica, además de seguir usando el petróleo en la industria eléctrica. Si estas fuentes no son desarrolladas a velocidad suficientemente grande, el petróleo se limitará a la industria petroquímica o al mercado de exportación, entonces el crecimiento nuclear debería ser aún mayor que en los casos indicados.

T A B L A X V I I

Expansión nuclear para el sector eléctrico en México

IB Año	'a'		'b'		'c'	
	Capacidad Instalada (MW)	Energía Generada (GWH)	Capacidad Instalada (MW)	Energía Generada (GWH)	Capacidad Instalada (MW)	Energía Generada (GWH)
1988	2,500	17,000	2,900	20,000	3,300	23,000
1994	4,500	31,000	6,300	44,000	8,300	57,000
2000	9,000	58,000	14,000	97,000	21,000	141,000

IIB		IIIB	
Año	Capacidad Instalada (MW)	Energía Generada (GWH)	
1988	1,300	9,000	
1994	1,300	9,000	
2000	1,300	9,000	

III. REACTORES PARA GENERACION DE ELECTRICIDAD

Una planta de energía nuclear es similar a una central térmica tradicional. Las plantas tradicionales queman petróleo, carbón o gas natural y el calor de la combustión hace hervir el agua para producir vapor. En las plantas nucleares en cambio, no ocurre el proceso de la combustión, en su lugar se emplea la fisión nuclear. La reacción producida por la fisión genera calor, el cual pasa al agua para generar vapor. Se puede decir consecuentemente, que la reacción de la fisión en una planta nuclear sirve para el mismo fin, la generación de calor, que la combustión de un combustible de origen orgánico en una planta común y corriente.

En base a lo anterior, un reactor nuclear se puede definir como una instalación en la que núcleos atómicos toman parte en una reacción de fisión autosostenida y como consecuencia de la reacción hay liberación de energía.

III. 1 COMPONENTES DE REACTORES

Los componentes básicos de un reactor se ilustran en la figura No. 3-1 (18), éstos son:

- 1) Un núcleo de combustible
- 2) Un moderador

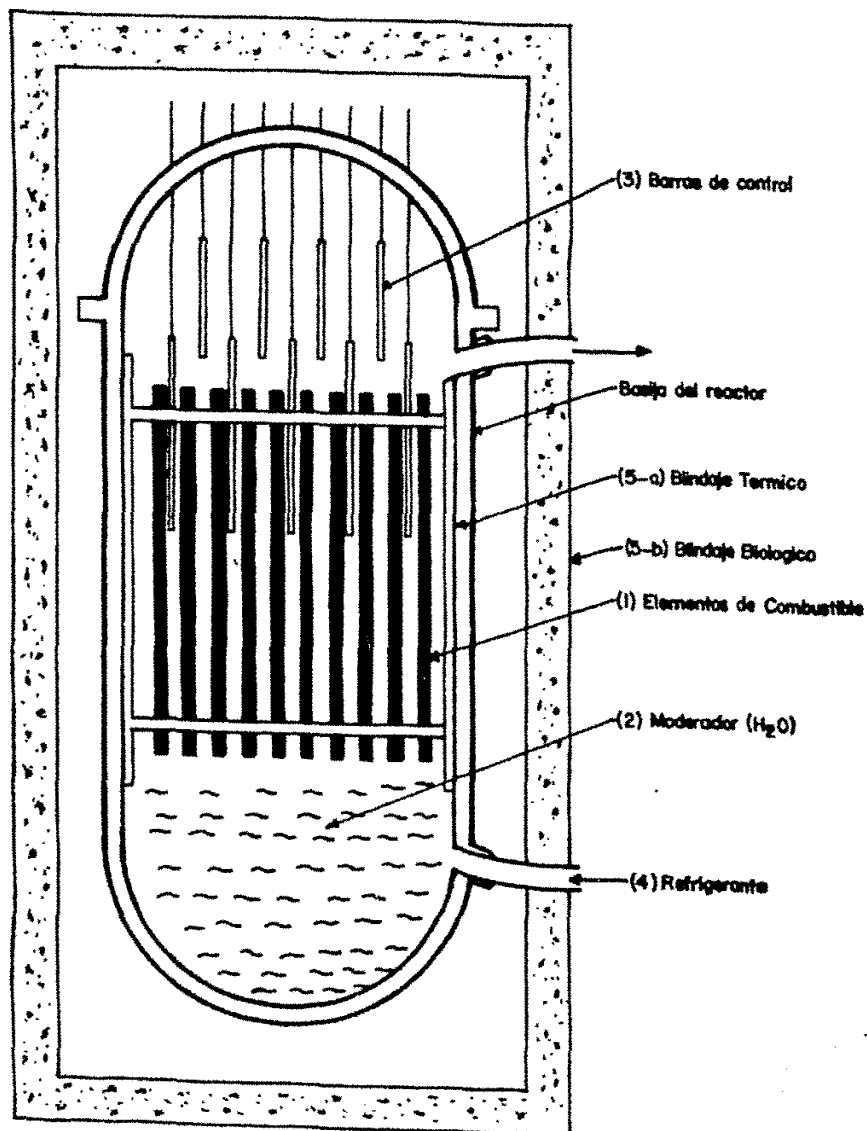


Figura 3-1

- 3) Sistema de control (Barras de control)
- 4) Refrigerante (Sistema para extraer el calor)
- 5) Blindaje: a) Blindaje térmico y b) Blindaje biológico

Un breve análisis de estos componentes se describe a continuación:

El Combustible

El ingrediente esencial del combustible de un reactor ha de ser un material que sea fisiónable, ésto es, una sustancia que se fisione o desintegre fácilmente al ser bombardeada con neutrones, la única sustancia que en su estado natural es fácilmente fisiónable es el Uranio 235. Este elemento es un isótopo del Uranio y se encuentra en proporción del 0.71% en el Uranio natural. Casi todo el Uranio natural consiste de U-238, el cual se conoce como 'material fértil' pues puede transformarse en otra sustancia fisiónable llamada Plutonio.

El combustible de un reactor consiste por lo regular, en una mezcla de materiales fisiónables con materiales fértiles. El porcentaje de átomos fisiónables en la mezcla de combustibles es un factor de suma importancia, pues afecta el tamaño físico del reactor. Cuanto más rico en átomos fisiónables es el combustible, más compacto puede ser el reactor.

Generalmente el combustible se usa casi siempre en estado sólido, bien sea uranio metálico, óxido de uranio o carburo de uranio. El combustible sólido se empaqueta en unidades compactas -- llamadas 'elementos combustibles'. El núcleo de un reactor con tiene gran cantidad de estos elementos.

Los elementos combustibles sólidos van provistos de un revestimiento que además de servir como parte integral del elemento, - impide el contacto directo entre el líquido refrigerante y el - combustible. Los materiales más comunes para revestimientos -- son el acero inoxidable y el zirconio, para reactores de potencia.

El Moderador

Los neutrones liberados en una reacción de fisión se mueven a - grandes velocidades al principio, pero al chocar con el material componente en el núcleo del reactor pierden velocidad. Esta reducción en velocidad es ventajosa, pues los neutrones lentos producen fisión más efectivamente que los rápidos; sin embargo, si las colisiones son numerosas, se corre el riesgo de que algunos neutrones choquen con átomos y sean absorbidos sin producir fisión (los productos de fisión, por ejemplo, absorben neutrones rápidamente). Lo que se necesita es un material que pueda frenar los neutrones pero sin absorberlos. A este material se le da el nombre de moderador.

La masa de un neutrón es casi igual a la de un átomo de hidrógeno; así pues, aquellos materiales con altas concentraciones de hidrógeno u otros átomos livianos, son los moderadores más eficientes.

Entre los materiales que más se usan como moderadores pueden enumerarse el agua ordinaria, el agua pesada, el grafito, el berilio y algunos compuestos orgánicos. El moderador debe estar bien distribuido en el envase o recipiente.

Barras de control

La mayoría de los reactores nucleares se controlan regulando la cantidad de neutrones presentes en el núcleo del reactor. Esto se logra usando sustancias como el boro o el cadmio, que poseen altos coeficientes de absorción neutrónica. Generalmente estas sustancias se insertan en el reactor en forma de varillas conocidas como 'Barras de Control'.

El reactor viene provisto de barras de control para regulación y un grupo de ellas suplementarias conocidas por 'Barras de Seguridad' las cuales se usan para paralizar la reacción en cadena del reactor en caso de emergencia.

Refrigerante

La energía liberada en el proceso de fisión, consiste más o menos en los siguientes componentes:

Energía cinética de los productos de fisión	84.0%
Energía cinética de los neutrones	2.5%
Liberación instantánea de rayos gamma	2.5%
Desintegración gradual radioactiva de productos de fisión	<u>11.0%</u>
	100.0%

Tan pronto los productos de fisión (y los neutrones) chocan con la materia contigua, casi toda su energía cinética se convierte instantáneamente en calor. Casi todo este calor se genera en el núcleo del reactor. Para evitar que el núcleo se funda con el exceso de calor, se necesita por lo tanto enfriar el sistema. En los reactores de potencia el calor extraído es el producto principal.

Teóricamente un reactor puede funcionar a cualquier nivel de potencia deseado, pero en la práctica el factor restrictivo es la rapidez con que el refrigerante puede extraer el calor del núcleo del reactor. Algunos reactores cuentan con la convección natural del refrigerante para este propósito; no obstante, la mayoría de los reactores vienen ya equipados con sistema de circulación forzada.

Algunos de los reactores utilizan refrigerantes en forma gaseosa que son: el aire, helio, dióxido de carbono; los líquidos como el agua ordinaria, el agua pesada y algunos compuestos orgánicos y por último algunos metales líquidos como el So-

mo el Sodio y el Litio. En algunos reactores el refrigerante - sirve además como moderador.

Blindaje contra radiaciones

La parte de energía de fisión que no se transforma instantáneamente en calor se emite en forma de penetrantes radiaciones atómicas.

Los reactores nucleares por consiguiente deben estar fuertemente blindados.

El blindaje térmico se utiliza en los reactores de alta potencia para proteger el tanque principal contra radiaciones. El blindaje biológico protege al personal contra exposición a irradiaciones. El blindaje térmico consiste comúnmente en un revestimiento de forro de acero y el blindaje biológico consiste casi siempre en una cubierta de hormigón de varios pies de espesor que cubre la instalación completa.

III.2) TIPOS DE REACTORES

No siendo posible describir aquí todos los posibles tipos de reactores y de centrales nucleares en desarrollo actualmente, nos limitaremos a exponer con algún detalle los más importantes:

- 1) BWR (Boiling Water Reactor, Centrales de agua en ebullición)

- 2) PWR (Pressurized Water Reactor, Centrales de agua a presión)
- 3) HWR (Heavy Water Reactor, Centrales de agua pesada)
- 4) FBR (Fast Breeder Reactor, Reactores rápidos de cría)

a) BWR.- Es el tipo más sencillo y elemental de una central nuclear pues sólo exige un circuito. El reactor constituido por unas placas de uranio metálico se sitúa en el interior de una vasija. Puesto que el vapor es generado en el interior de la vasija de presión, no es necesario un circuito secundario.⁽¹⁹⁾ El agua entra en el reactor y se calienta conforme pasa entre los elementos del combustible. El vapor comienza a concentrarse en la parte superior del reactor y sale por un tubo que está conectado a la turbina. Fig. 3.2

El agua y el vapor en un típico reactor de agua en ebullición se mantienen a una presión de 70.3 Kg/cm^2 . La presión eleva el punto de ebullición del agua a una temperatura aproximada de 285°C y de aquí que cuando se produce el vapor, su temperatura y presión son lo suficientemente grandes para permitir un empleo eficaz de la turbina. En el reactor, el agua al ir ascendiendo la longitud del reactor, se va formando burbujas y el agua se convierte en una mezcla de agua y vapor, de menor densidad que la del agua, lo cual le permite ascender hasta la salida del reactor. La diferencia de presión creada por la menor densidad de

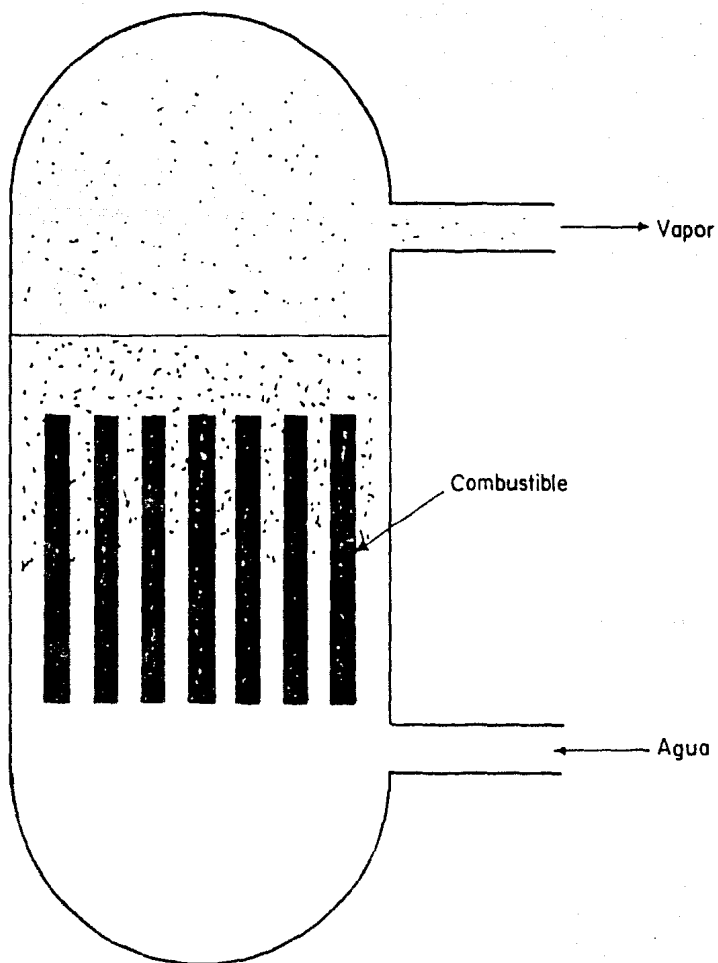


Figura 3-2

la mezcla que es del orden de varios metros es la que sirve para que sin necesidad de bombas se mantenga la circulación del vapor y el agua en el circuito. Los reactores de este tipo se dice -- que son de circulación natural, llamándose de circulación forzada a aquellos en los que para mantener el caudal de circulación se utilizan bombas. Otro ciclo muy usado es el llamado dual, -- que tiene dos salidas de vapor hacia la turbina.

- b) PWR.- Estas centrales poseen los dos circuitos, el primario y el secundario. En el primario la presión es lo suficientemente elevada para que la temperatura máxima alcanzada a la salida del reactor el agua no hierva, evitándose así la presencia de vapor en esta etapa.

La presión en el reactor es de 140.6 Kg/cm^2 y permite que se caliente el agua a 315°C sin que hierva, el agua calentada pasa al generador de vapor en donde se forma el vapor que mueve la turbina. Fig. 3.3 (20)

En el generador de vapor el agua caliente del reactor pasa por unos tubos que están rodeados por agua de la porción de la turbina en la planta; esta agua está a una presión muy inferior a la del sistema del agua del reactor. Los tubos del agua caliente del reactor transfieren calor del agua que los rodea y forman vapor que circula a una temperatura aproximada de 260°C . El agua del reactor se enfría al ceder parte de su calor y se bombea al reactor para comenzar otro ciclo.

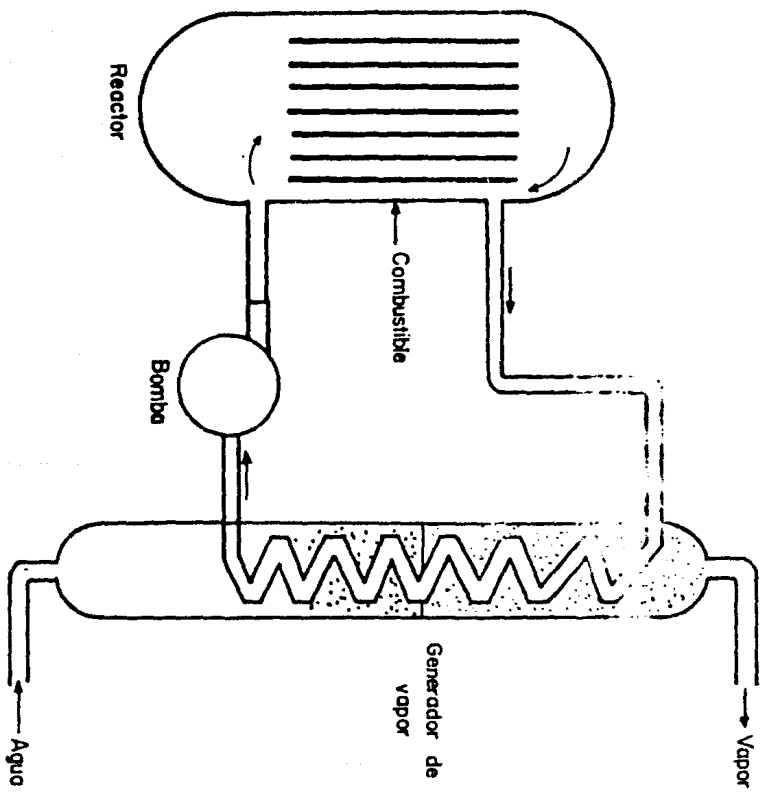


Figura 3-3

El agua de un sistema no se mezcla con la del otro, sólo se --
transfiere calor del sistema del reactor al sistema de vapor.

- c) HWR.- Los reactores de agua pesada son del tipo tubular, en --
los cuales el combustible nuclear se coloca en los tubos de --
elaboración que penetran en un depósito. El depósito contiene
agua pesada, la cual rodea los tubos que contienen el combustible
y actúa como moderador. Como el combustible está en una -
forma que no ocupa todo el espacio de los tubos de elaboración
hay cabida para que un agente de enfriamiento fluya por los --
elementos de combustible y elimine calor que se genera. Fig. 3.4
Cualesquiera de los diversos agentes de enfriamiento -compues-
tos orgánicos, gas, agua, agua pesada- se pueden emplear en es
te tipo de reactores, puesto que el moderador del agua pesada
está separado del agente de enfriamiento por las paredes de --
los tubos de elaboración.

Los refrigerantes orgánicos se pueden calentar a temperaturas
bastante altas sin que haya necesidad de aplicar una sobrepre-
sión para impedir que hiervan. El compuesto orgánico se ca-
lienta a 399°C, se bombea al generador de vapor y se utiliza -
para producir vapor a 385°C. (20)

Por su empleo del combustible, el reactor de agua pesada es de
un tipo intermedio. Su consumo de combustible es bajo (podría
elaborar un poco más del combustible que usa), lo cual lo hace
atractivo para usarse durante el período en el que se perfeccio-
nan los reactores de "CRIA".

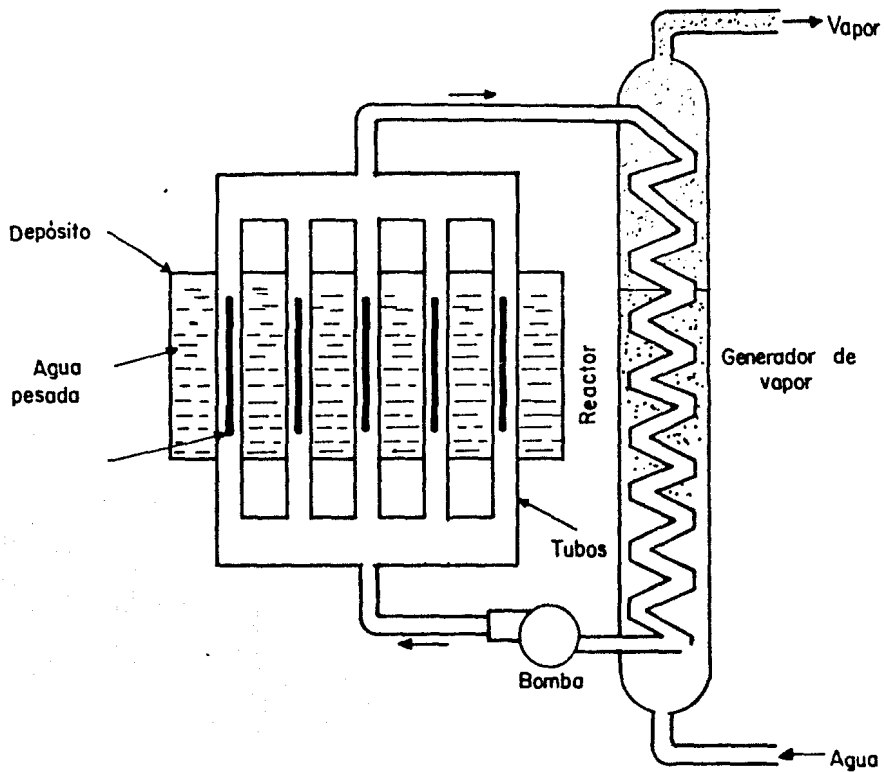


Figura 3-4

d) FBR.- Estos tipos de reactores producen más combustible del -- que consumen: ésto se debe a que al efectuarse la reacción de -- fisión con U-235 se liberan neutrones que pueden a su vez ini-- ciar otras fisiones. Sin embargo, no todos los neutrones son -- absorbidos necesariamente por el material fisionable; algunos -- se desperdician al ser absorbidos por el material estructural -- del reactor, los elementos moderadores y el refrigerante. El -- concepto de cría explota las características del material fér-- til. Cuando el núcleo de un átomo de material fértil absorbe -- un neutrón, el átomo fértil se puede transformar en un material fisionable. Fig. 3.5

Se dice que 'está criando' si por cada átomo que se fisiona se convierte en material fisionable más de un átomo del material fértil. Un material fértil es el U-238, que al absorber neutrones se convierte en Plutonio-239 que es fisionable.

Un reactor de cría muy eficiente es el usado con metal líquido; tiene un serpentín intermedio del permutador térmico colocado -- entre el sistema de enfriamiento del reactor y el sistema agua-vapor de la turbina. El serpentín intermedio utiliza además me-- tal líquido, porque tiene excelentes características de transmi-- sión del calor. El metal es por lo general Sodio o una combina-- ción de Sodio y Potasio.

El metal líquido del serpentín enfriador se calienta a unos -- 482°C y pasa al permutador térmico, donde cede su calor al me-- tal líquido del serpentín intermedio, el cual avanza al genera--

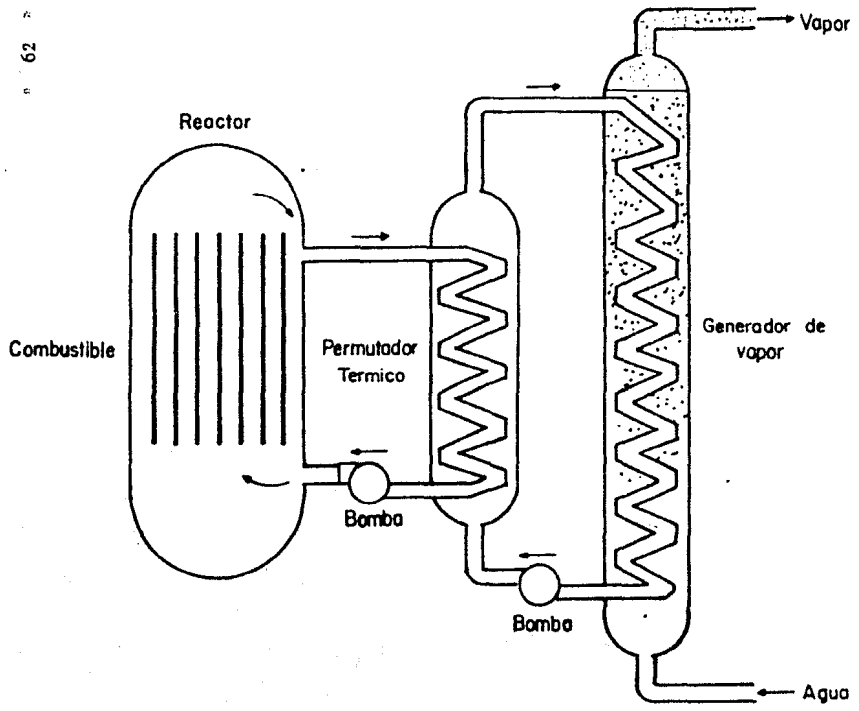


Figura 3-5

dor de vapor donde calienta el agua produciéndose éste a una temperatura de 426°C (20). El metal líquido tiene la característica de que elimina el calor eficientemente y no tiene -- que usar presiones altas para alcanzar altas temperaturas. El combustible de un reactor de cría enfriado así se puede manejar a muy alta potencia', gracias a que se puede eliminar fácilmente el calor.

Una de las malas características del metal líquido es su tendencia a reaccionar químicamente. Siempre que el metal líquido se pone en contacto con vapor o agua inmediatamente ocurre una reacción violenta. Para aislar el sistema del reactor contra cualquier dificultad posible, este tipo de reactores cuenta con un serpentín de permutación térmica.

I V CICLO DE COMBUSTIBLE

IV. 1 TIPOS Y CONCEPTOS

T i p o s

En contraste con los combustibles fósiles, la utilización del Uranio para generar electricidad implica un proceso complejo - tanto antes como después de su empleo en reactores.

Los procesos que recorre el Uranio desde su minería hasta su - tratamiento posterior después de haber sido utilizado en reactores es comunmente llamado "CICLO DE COMBUSTIBLE NUCLEAR".

En la actualidad existen dos tipos de ciclos y la elección de uno de éstos está en función del tipo de reactor que se desea usar. Estos ciclos son los llamados "CICLO DE COMBUSTIBLE DE URANIO NATURAL", asociado a los reactores de agua pesada y "CICLO DE COMBUSTIBLE DE URANIO ENRIQUECIDO" (21), asociado a los reactores de agua ligera. Estos ciclos existen en sus modalidades abierto o cerrado dependiendo de si existe o no la etapa de reprocesamiento. En la figura 4.1 se muestran las actividades que constituyen el ciclo de combustible cerrado de Uranio enriquecido. En la figura 4.2 se muestran las actividades que constituyen el ciclo de combustible cerrado para Uranio natural.

En las figuras 4.1 y 4.2 puede observarse el menor número de actividades que constituyen el ciclo de Uranio natural comparado con el Uranio enriquecido, aunque debe hacerse notar que en

el caso de decidirse instalar reactores de agua pesada deberá abordarse la producción de agua pesada en paralelo con el ciclo de combustible de Uranio natural, que aunque no es propia mente una etapa del ciclo es complementaria del mismo.

Los ciclos de combustible abierto de los mencionados anteriormente son similares, pero sin incluir la etapa de reprocesamiento.

FIGURA 4.1 CICLO DE COMBUSTIBLE DE URANIO ENRIQUECIDO

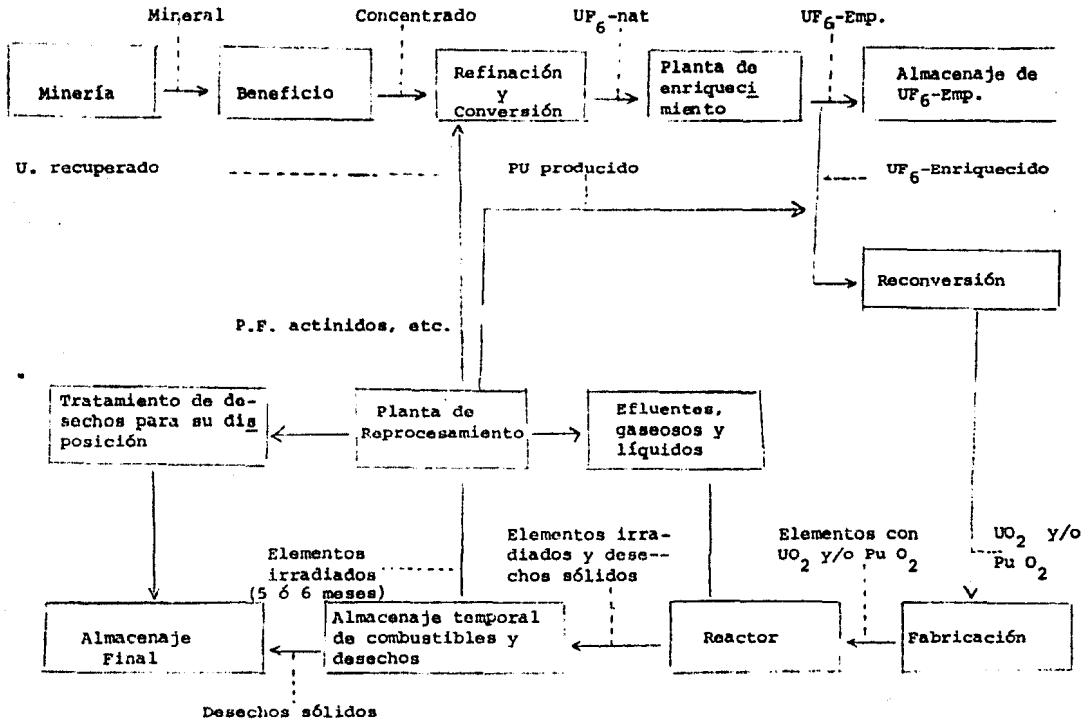
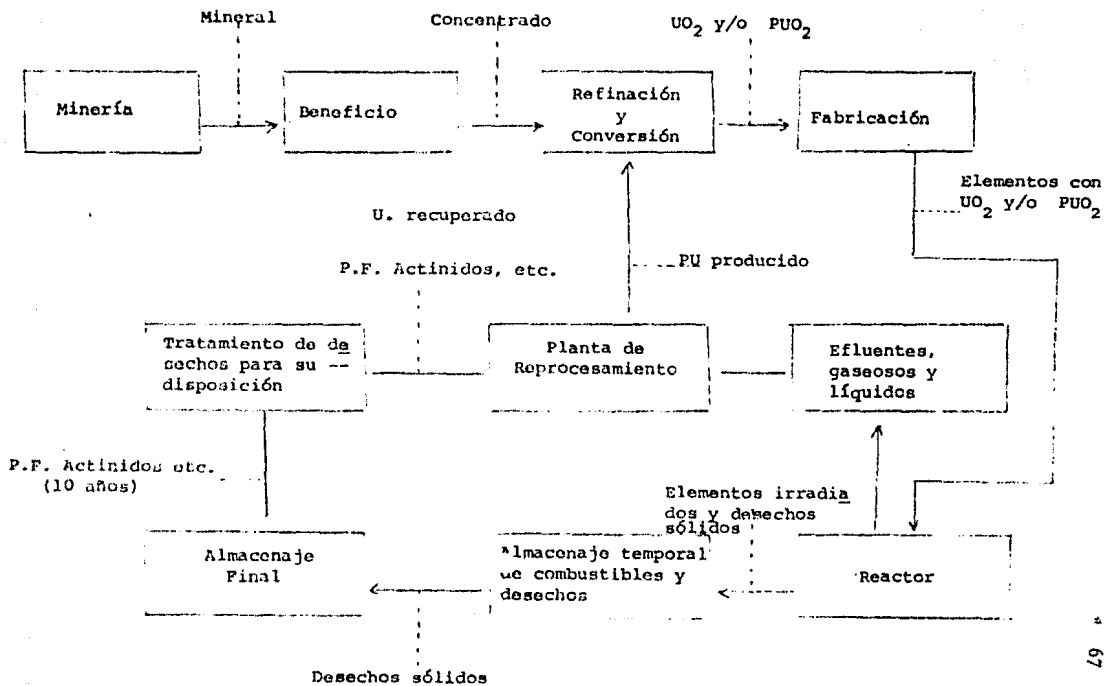


FIGURA 4.2 CICLO DE COMBUSTIBLE DE URANIO NATURAL



C o n c e p t o s

El Uranio se origina en depósitos minerales de diversos tipos en concentraciones que van de menos de uno a varios gramos de Uranio por kilogramo de mineral. De la mina el mineral es llevado a una planta de beneficio donde se eleva la concentración de Uranio, hasta valores comprendidos entre 70 y 90% como U_3O_8 . A este concentrado se le conoce comunmente como 'torta amarilla'. Posteriormente el concentrado pasa por una etapa de refinación en la cual se remueven los diluyentes no uranfíeros y queda el material puro.

Cuando es necesario enriquecer, el concentrado se convierte en UF_6 que se emplea para alimentar las plantas de enriquecimiento. En estas plantas la concentración de U-235 se eleva hasta el valor requerido para su empleo en reactores enfriados por agua ordinaria (2-3%). En el caso de combustible para centrales CANDU, este paso no es necesario y el concentrado se convierte directamente en polvo de UO_2 .

El UF_6 enriquecido es enviado a una planta de reconversión donde se convierte en polvo de UO_2 . El UF_6 empobrecido se almacena para algún uso futuro.

Con el polvo de UO_2 se procede a fabricar las pastillas de combustible mediante un proceso de sinterizado (prensado y horneado).

Las pastillas se rectifican para darles la dimensión exacta y se colocan en tubos zircaloy para construir el elemento combustible.

En paralelo con lo anterior está la industria del zircaloy. La minería y beneficio del Zirconio son actividades relativamente convencionales; sin embargo, la obtención de la pureza nuclear y las aleaciones requeridas para la fabricación de los tubos y demás componentes son procesos difíciles y costosos debido a ciertas impurezas del mineral y a las características metalúrgicas del Zirconio.

Una vez fabricados los ensambles se procede a emplearlos en reactores. Al finalizar su irradiación dentro del reactor, se almacenan en albercas expresamente construídas dentro de la planta durante períodos de seis o más meses antes de ser enviados a una planta de reprocesamiento.

En la planta de reprocesamiento, el Plutonio producido por absorción de neutrones en el U-238 y el Uranio residual se separan de los productos de fisión y posteriormente uno del otro. El Uranio y el Plutonio pueden ser reciclados y los desechos que consisten principalmente de actínidos de vida media larga, son procesados y empacados para su disposición final tras una residencia de unos 10 años en la misma planta de reprocesamiento. Los sistemas de almacenamiento definitivo para los produc

tos de fisión considerados viables en la actualidad son depósitos naturales (cavernas, minas de sal, etc.) en regiones geológicamente estables.

De lo anteriormente expuesto, podrá notarse que la producción de concentrados es una etapa independiente del tipo de combustible que se pretenda fabricar (CANDU O LWR).

El resto del ciclo del combustible depende casi totalmente del conocimiento del tipo de reactores que se van a instalar. Si se decide por ejemplo a construir reactores de uranio natural, se abordará la producción de agua pesada, indispensable en este tipo de reactores; aún cuando la tecnología del combustible nuclear y del agua pesada son diferentes, su desarrollo conjunto es necesario.

Por otro lado si la decisión es instalar reactores de Uranio enriquecido se abordaría la producción de combustibles y el desarrollo de técnicas para el enriquecimiento de Uranio.

A continuación se presentan algunas características y datos sobre los procesos de enriquecimiento de Uranio y producción de agua pesada que constituyen la diferencia fundamental de los ciclos mencionados.

ENRIQUECIMIENTO DE URANIO

Los Estados Unidos, Unión Soviética, Inglaterra y Francia han desarrollado la tecnología de enriquecimiento isotópico del Uranio, además de su utilización militar para usos civiles.

La capacidad de enriquecimiento de Uranio se mide en 'unidades de trabajo separativo' (UTS) que implica el proceso necesario para llevar una cierta cantidad de Uranio de la concentración natural hasta un enriquecimiento dado del isótopo U-235.

Las únicas plantas industriales de enriquecimiento de Uranio que operan actualmente se encuentran en los Estados Unidos y en la Unión Soviética (2).

Existen además dos grandes consorcios europeos: EURODIF, constituido por Francia, Italia, Bélgica y España; y URENCO que integran Gran Bretaña, la República Federal de Alemania y Holanda.

EURODIF construye una planta de difusión gaseosa con capacidad de 10.8 millones anuales de UTS que se espera esté trabajando a plena capacidad en los primeros años de la década de los ochentas. Por su parte URENCO instala dos plantas con base en la tecnología de la centrifugación gaseosa que según el proyecto para 1982 alcanzarán su capacidad de diseño que es de ocho millones de UTS en conjunto. Como se muestra en el siguiente cuadro.

PLANTAS O PROYECTOS DE PLANTAS PARA ENRIQUECER URANIO

PLANTA O PROYECTO	PROCESO	CAPACIDAD MILLONES DE UTS AL AÑO	FECHA PARA OPERACION NORMAL	CONSUMO ELECTRICO MW
U.R.S.S.	D. G.	?	Operando	?
ERDA	D. G.	13	Operando	6,060
EURODIF I	D. G.	10.0	1982	3,100
URENCO/CENTEC	C. G.	8	1985	300
SUDAFRICA	Toberas	7 (?)	1984 (?)	2,000
BRASIL ALEMANIA	Toberas	2	(?)	?
IND. PRIVADA E.U.	D. G.	Proyectos Concretos Realización Incierta		
ERDA	D. G. más mejoras	27.7	1984	7,383

En cuanto a la disponibilidad de tecnología debe citarse que existen dos procesos para instalar plantas comerciales de enriquecimiento de Uranio: el de difusión gaseosa y el de centrifugación gaseosa.

El primero de ellos es utilizado en los Estados Unidos y casi con toda seguridad en la Unión Soviética.

El de centrifugación gaseosa sólo se ha verificado a pequeña escala aún cuando es el que URENCO utilizará en sus plantas.

En el siguiente cuadro se muestran algunos datos sobre estas plantas.

(2)

CAPACIDAD: 9 MILLONES DE U.T.S.

	Centrifugación	Difusión
Costo de las plantas en millones de dólares de 1977	3,500	2,800
Costo de la planta en millones de dólares escalados	6,000	4,400
Costo de la planta de electricidad en millones de dólares	100	3,100
Potencia requerida MWe	105	2,700
Costo de la U.T.S. en dólares en 1977	71	101
Tiempo de construcción en años	11	9

AGUA PESADA

Canadá representa el 90% de la producción mundial de D_2O . Existen en operación en Canadá dos plantas de producción de agua pesada de 144.9 Kg. por hora, equivalente a 1,050 toneladas por año, y en proceso de instalación otras 4 plantas con capacidad de 342.2 Kg. por hora y 2,460 toneladas por año. (22)

El proceso utilizado actualmente para producir agua pesada es de intercambio químico H_2O-H_2S conocido como proceso G-S.

Otros procesos de intercambio que se investigan para obtener D_2O son: NH_3-H_2 ; amina- H_2 ; H_2-H_2O ; agua-hidrazina; fosfina-agua; -- $HI-H_2O$. (23)

En 1975 se consiguieron costos para una planta de 400 toneladas anuales de 250 millones de dólares canadienses.

Los costos de que se dispone información son: (24)

- a) USERDA.- Cita un costo de 213.40 dólares-kg de agua pesada a marzo de 1977; para cantidades grandes de agua pesada puede negociarse menor precio.
- b) NORUEGA.- Cita un costo de 165 dólares por kg. de agua pesada a enero de 1977.
- c) CANADA.- Cita un costo probablemente igual al de Noruega, según la fuente.

El costo de obtención de D_2O por proceso G-S es de 120 dólares por kg. de agua pesada (1978). De este costo se estima que el 60% corresponde a variaciones del capital, 24% a energía y 15% a operación y mantenimiento. (23)

El consumo de energía en plantas canadienses es de $9MWh/KgD_2O$. La Gulf Research and Development investiga el proceso de obtención a partir del gas natural, pero el consumo de energía es -- dos veces mayor que el de G-S.

En México se han presentado algunas proposiciones con NH_3-H_2 - utilizando gas natural como fuente de Hidrógeno.

Este método es de fácil implementación, la tecnología es conocida, tenemos fuentes de materias primas adecuadas. El material de construcción primordial es acero inoxidable, aluminio y aún acero al carbón. Necesita de una buena instrumentación y puede que se requiera un catalizador.

IV.2 CALENDARIOS DE INSTALACION DE REACTORES

Típicamente el desarrollo de un proyecto nucleoelectrico a partir de su iniciación formal requiere de un tiempo que oscila en entre 8 y 10 años. En la figura 4.3 se presenta la ruta crítica tipo de la instalación del primer reactor en una planta nuclear desde que se decide la instalación hasta que la planta se pone

(3)

en operación comercial. Esto es, si se decide la compra e instalación de la próxima nucleoelectrica mexicana el primero de enero de 1979, su operación comercial se lograría aproximadamente el primero de enero de 1988.

En las tablas 3.1 y 3.2 se muestran los periodos de instalación para los diferentes programas nucleoelectricos deducidos anteriormente (9,000, 14,000 y 21000 MWe) y según el tipo de reactores que se utilizen.

IV.3 REQUERIMIENTOS DE MATERIALES Y SERVICIOS DEL CICLO DE COMBUSTIBLE

Parámetros Técnicos del Ciclo de Combustible

En la tabla 3.3 se muestran los principales parámetros técnicos del ciclo de combustible para reactores LWR y HWR. (26)

Normalmente el nucleo inicial de un reactor se irradiará durante aproximadamente 18 meses y las recargas subsecuentes se efectuarán aproximadamente cada año. En los sistemas RAP se reemplaza aproximadamente un tercio de núcleo cada año, mientras que en los RAE se reemplaza del orden de un cuarto por año. (27) En las centrales CANDU se reemplaza del orden del 2% de los elementos por semana, esto es, sin parar el reactor.

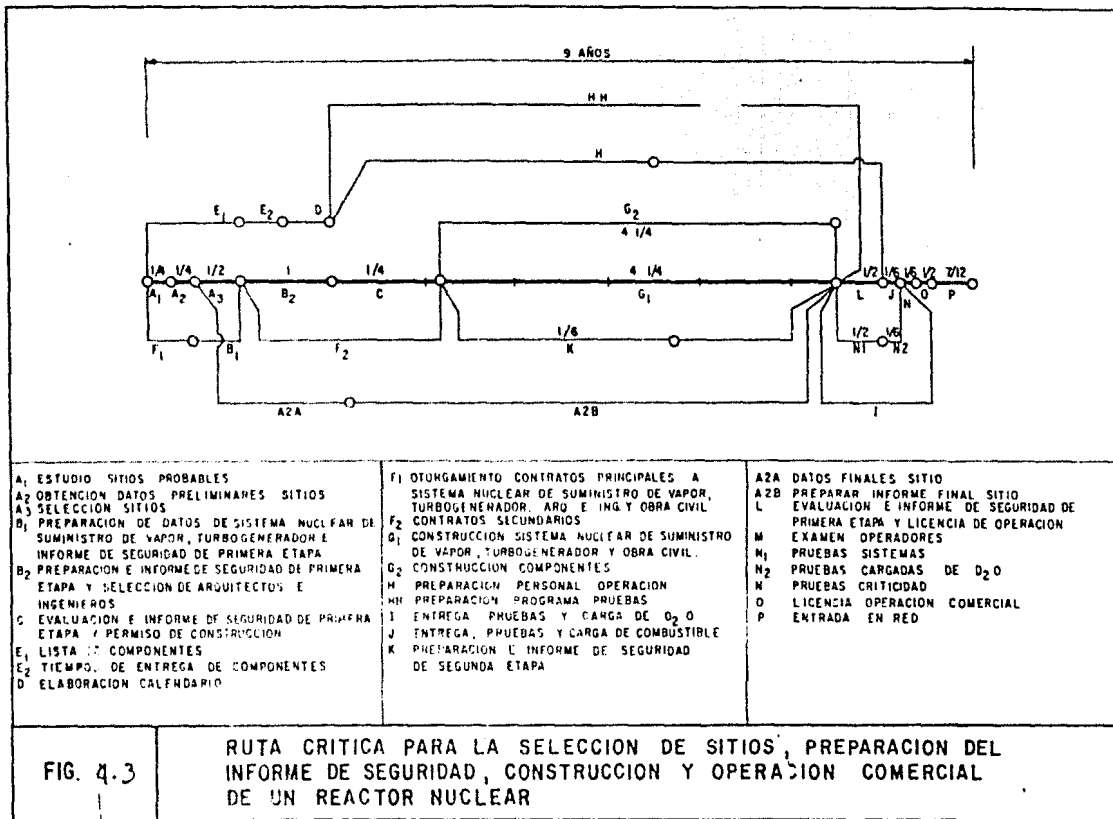


TABLA 3.1

CALENDARIO DE INSTALACION DE REACTORES PARA LOS
PROGRAMAS LWR DE 9,000, 14,000 y 21,000 MWe

	Anual	Acumulado	Anual	Acumulado	Anual	Acumulado
1982	650	650	650	650	650	650
1983	650	1,300	650	1,300	650	1,300
1984		1,300		1,300		1,300
1985		1,300		1,300		1,300
1986		1,300		1,300		1,300
1987		1,300		1,300		1,300
1988	600	1,900	600	1,900	900	2,200
1989	600	2,500	600	2,500	900	3,100
1990	600	3,100	600	3,100	900	4,000
1991		3,100		3,100	900	4,900
1992		3,100		3,100	900	5,800
1993		3,100	900	4,000	1,200	7,000
1994	900	4,000	900	4,900	1,200	8,200
1995	900	4,900	900	5,800	1,200	9,400
1996	900	5,800	1,200	7,000	2,400	11,800
1997	900	6,700	1,200	8,200	2,400	14,200
1998		6,700	1,200	9,400	2,400	16,600
1999	1,200	7,900	2,400	11,800	2,400	19,000
2000	1,200	9,100	2,400	14,200	2,400	21,400
T O T A L :		9,100MWe		14,200 MWe		21,400 MWe

TABLA 3.2

CALENDARIO DE INSTALACION DE REACTORES PARA LOS
PROGRAMAS HWR DE 9,000, 14,000 y 21,000 Mwe

	Anual	Acumulado	Anual	Acumulado	Anual	Acumulado
1982	650	650	650	650	650	650
1983	650	1,300	650	1,300	650	1,300
1984		1,300		1,300		1,300
1985		1,300		1,300		1,300
1986		1,300		1,300		1,300
1987		1,300		1,300		1,300
1988	600	1,900	600	1,900	600	1,900
1989	600	2,500	600	2,500	600	2,500
1990	600	3,100	600	3,100	600	3,100
1991		3,100	600	3,700	1,200	4,300
1992		3,100		3,700	1,200	5,500
1993	600	3,700	1,200	4,900	1,200	6,700
1994	600	4,300	1,200	6,100	1,200	7,900
1995	600	4,900	1,200	7,300	1,200	9,100
1996	600	5,500	1,200	8,500	1,200	10,300
1997	600	6,100	1,200	9,700	2,400	12,700
1998	600	6,700	1,200	10,900	2,400	15,100
1999	1,200	7,900	1,200	12,100	2,400	17,500
2000	1,200	9,100	2,400	14,500	3,600	21,100
<hr/>						
T O T A L :		9,100 MWe		14,500 MWe		21,100 MWe

T A B L A 3.3

PARAMETROS DEL CICLO DE COMBUSTIBLE DE REACTORES

Primera Carga	L W R	H W R
Uranio ton/GW(e)	114	143
Enriquecimiento promedio de U-235	2.03	0.711
Uranio natural ton/GW(e)	444	145
Trabajo separativo ton uts/GW(e)	227	-
Agua pesada ton/GW(e)	-	732

R E C A R G A S

Uranio ton/GW(e) Año	39.4	168
Enriquecimiento (%)	2.7	0.711
Uranio natural ton/GW(e) Año	211	170
Trabajo separativo ton uts/GW(e) Año	129	-
Agua pesada ton/GW(e) Año	-	37

* UTS.- Unidades de trabajo separativo.

Necesidades de materiales y servicios del ciclo de combustible del programa de 1,300 MW(e) para los 30 años de vida útil de las plantas.

	L W R	H W R
Uranio natural (ton U_3O_8)	8,531.9	6,597.5
Fabricación (ton de U)	1,633.58	6,519.5
Reprocesamiento si se decide (ton de U)	1,633.58	6,519.5
Enriquecimiento (ton de UTS)	4,784.3	-
Agua pesada (ton de D_2O)	-	2,346.5

Suposiciones

Plantas con un factor de capacidad del 80% y que no se recicla ni PU ni U-235.

Necesidades de materiales y servicios del ciclo de combustible del programa de 9,000 MW(e) para los 30 años de vida útil de las plantas.

	L W R	H W R
Uranio natural (ton U_3O_8)	59,067	45,675
Fabricación (ton de U)	11,309.4	43,848
Reprocesamiento si se decide (ton de U)	11,309.4	43,848
Enriquecimiento (ton de UTS)	35,712	-
Agua pesada (ton de D_2O)	-	16,245

Suposiciones

Plantas con un factor de capacidad del 80% y que no se recicla ni Pu y U-235.

Necesidades de materiales y servicios del ciclo de combustible del programa de 14,000 MW(e) para los 30 años de vida útil de

las plantas.

	L W R	H W R
Uranio natural (ton U_3O_8)	91,882	71,050
Fabricación (ton de U)	17,592.4	70,210
Reprocesamiento si se decide (ton de U)	17,592.4	70,210
Enriquecimiento (ton de UTS)	55,552	-
Agua pesada (ton de D_2O)	-	25,270

Suposiciones

Plantas con un factor de capacidad del 80% y que no se recicla ni Pu y U-235.

Necesidades de materiales y servicios del ciclo de combustible del programa de 21,000 MW(e) para los 30 años de vida útil de las plantas.

	L W R	H W R
Uranio natural (ton U_3O_8)	137,823	106,575
Fabricación (ton de U)	26,388.6	105,315
Reprocesamiento si se decide (ton de U)	26,388.6	105,315
Agua pesada (ton D_2O)	-	37,905
Enriquecimiento (ton de UTS)	83,328	-

Suposiciones

Plantas con un factor de capacidad del 80% y que no se recicla ni Pu y U-235.

REQUERIMIENTOS ANUALES DE SERVICIOS DEL CICLO DE COMBUSTIBLE PARA
 LOS DIFERENTES PROGRAMAS, HASTA EL AÑO 2000.

* 83 *

CAPACIDAD INSTALADA		TONELADAS DE "U" NATURAL REQUERIDAS PARA EL PROGRAMA LWR DE 9,000 MWe		
AÑO	MW	1A. CARGA	RECARGA	TOTAL
1982	650	288.6		288.6
1983	650	288.6	137.15	425.75
1984			274.3	274.3
1985			274.3	274.3
1986			274.3	274.3
1987			274.3	274.3
1988	600	266.4	274.3	540.7
1989	600	266.4	400.9	667.3
1990	600	266.4	527.5	793.9
1991			654.1	654.1
1992			654.1	654.1
1993			654.1	654.1
1994	900	399.6	654.1	1,053.7
1995	900	399.6	844	1,243.6
1996	900	399.6	1,033.9	1,433.5
1997	900	399.6	1,223.8	1,623.4
1998			1,413.7	1,413.7
1999	1,200	532.8	1,413.7	1,946.5
2000	1,200	532.8	1,666.9	2,199.7
TOTAL:	9,100	4,040.4	12,649.8	16,689.9

CAPACIDAD INSTALADA		TONELADAS DE "U" NATURAL REQUERIDOS PARA EL PROGRAMA HWR DE 9,000 Mwe		
AÑO	MW	1A. CARGA	RECARGA	TOTAL
1982	650	288.6		288.6
1983	650	288.6	137.15	425.75
1984			274.3	274.3
1985			274.3	274.3
1986			274.3	274.3
1987			274.3	274.3
1988	600	87	274.3	361.3
1989	600	87	376.3	463.3
1990	600	87	478.3	565.3
1991			580.3	580.3
1992			580.3	580.3
1993	600	87	580.3	667.3
1994	600	87	682.3	769.3
1995	600	87	784.3	871.3
1996	600	87	886.3	973.3
1997	600	87	988.3	1,075.3
1998	600	87	1,090.3	1,177.3
1999	1,200	174	1,192.3	1,366.3
2000	1,200	174	1,396.3	1,570.3
TOTAL:	9,100	1,708.2	11,124.25	12,832.5

CAPACIDAD INSTALADA

TONELADAS DE "U" FABRICADOS REQUERIDOS
PARA EL PROGRAMA LWR DE 9,000 MWe

AÑO	MW	1A. CARGA	RECARGA	TOTAL
1982	650	74.1		74.1
1983	650	74.1	25.61	99.71
1984			51.22	51.22
1985			51.22	51.22
1986			51.22	51.22
1987			51.22	51.22
1988	600	68.4	51.22	119.62
1989	600	68.4	74.86	143.26
1990	600	68.4	98.5	166.9
1991			122.14	122.14
1992			122.14	122.14
1993			122.14	122.14
1994	900	102.6	122.14	224.74
1995	900	102.6	157.6	260.2
1996	900	102.6	193.06	295.66
1997	900	102.6	228.52	331.12
1998			263.98	263.98
1999	1,200	136.8	263.98	400.78
2000	1,200	136.8	311.26	448.06
TOTAL:	9,100	1,037.4	2,362.03	3,399.5

CAPACIDAD INSTALADA		TONELADAS DE "U" FABRICADOS REQUERIDOS PARA EL PROGRAMA HWR 9,000 MWe		
AÑO	MW	1A. CARGA	RECARGA	TOTAL
1982	650	74.1		74.1
1983	650	74.1	25.61	99.71
1984			51.22	51.22
1985			51.22	51.22
1986			51.22	51.22
1987			51.22	51.22
1988	600	85.8	51.22	137.02
1989	600	85.8	152.02	237.82
1990	600	85.8	252.82	338.62
1991			353.62	353.62
1992			353.62	353.62
1993	600	85.8	353.62	439.42
1994	600	85.8	454.42	540.22
1995	600	85.8	555.22	641.02
1996	600	85.8	656.02	741.82
1997	600	85.8	756.82	842.62
1998	600	85.8	857.62	943.42
1999	1,200	171.6	958.42	1,130.02
2000	1,200	171.6	1,160.02	1,331.62
TOTAL	9,100	1,263.6	7,145.95	8,409.55

AÑO	CAPACIDAD INSTALADA MW	TONELADAS DE UTS REQUERIDAS POR EL PROGRAMA LWR DE 9,000 MWe		
		1A. CARGA	RECARGA	TOTAL
1982	650	147.55		147.55
1983	650	147.55	83.85	231.4
1984			167.7	167.7
1985			167.7	167.7
1986			167.7	167.7
1987			167.7	167.7
1988	600	136.2	167.7	303.9
1989	600	136.2	245.1	381.3
1990	600	136.2	322.5	458.7
1991			399.9	399.9
1992			399.9	399.9
1993			399.9	399.9
1994	900	204.3	399.9	604.2
1995	900	204.3	516	720.3
1996	900	204.3	632.1	836.4
1997	900	204.3	748.2	952.5
1998			864.3	864.3
1999	1,200	272.4	864.3	1,136.7
2000	1,200	272.4	1,019.1	1,291.5
TOTAL	9,100	2,065.7	7,733.55	9,799.25

CAPACIDAD INSTALADA		TONELADAS DE AGUA PESADA (D ₂ O) REQUERIDAS PARA EL PROGRAMA HWR DE 9,000 MWe		
AÑO	MW	LA. CARGA	RECARGA	TOTAL
1982	650			
1983	650			
1984				
1985				
1986				
1987				
1988	600	439.2		439.2
1989	600	439.2	22.2	461.4
1990	600	439.2	44.4	483.6
1991			66.6	66.6
1992			66.6	66.6
1993	600	439.2	66.6	505.8
1994	600	439.2	88.8	528
1995	600	439.2	111	550.2
1996	600	439.2	133.2	572.4
1997	600	439.2	155.2	594.6
1998	600	439.2	177.6	616.8
1999	1,200	878.4	199.8	1,078.2
2000	1,200	878.4	243.8	1,122.2
TOTAL:	9,100	5,709.6	1,376	7,085.6

TONELADAS DE PLUTONIO PRODUCIDO POR LOS
PROGRAMAS LWR Y HWR DE 9,000 MWe

AÑO	HWR MW	PU	LWR MW	PU
1982	650		650	
1983	650	.1365	650	.1365
1984		.273		.273
1985		.273		.273
1986		.273		.273
1987		.273		.273
1988	600	.273	600	.273
1989	600	.531	600	.399
1990	600	.789	600	.525
1991		1.047		.651
1992		1.047		.651
1993	600	1.047		.651
1994	600	1.305	900	.651
1995	600	1.563	900	.84
1996	600	1.821	900	1.029
1997	600	2.079	900	1.218
1998	600	2.337		1.407
1999	1,200	2.595	1,200	1.407
2000	1,200	3.111	1,200	1.659
TOTAL:	9,100	20.77	9,100	12.59

CAPACIDAD INSTALADA

TONELADAS DE "U" NATURAL REQUERIDOS
POR EL PROGRAMA LWR DE 14,000 MWe

AÑO	MW	LA. CARGA	RECARGA	TOTAL
1982	650	288.6		288.6
1983	650	288.6	137.15	425.75
1984			274.3	274.3
1985			274.3	274.3
1986			274.3	274.3
1987			274.3	274.3
1988	600	266.4	274.3	540.7
1989	600	266.4	400.9	667.3
1990	600	266.4	527.5	793.9
1991			654.1	654.1
1992			654.1	654.1
1993	900	399.6	654.1	1,053.7
1994	900	399.6	844	1,243.6
1995	900	399.6	1,033.9	1,433.5
1996	1,200	532.8	1,223.8	1,756.6
1997	1,200	532.8	1,477	2,009.8
1998	1,200	532.8	1,730.2	2,263
1999	2,400	1,065.6	1,983.4	3,049
2000	2,400	1,065.6	2,489.8	3,555.4
TOTAL:	14,200	6,304.8	15,181.45	21,486.3

CAPACIDAD INSTALADA		TONELADAS DE "U" NATURAL REQUERIDAS POR EL PROGRAMA HWR DE 14,000 MWe		
AÑO	MW	1a. CARGA	RECARGA	TOTAL
1982	650	288.6		288.6
1983	650	288.6	137.15	425.75
1984			274.3	274.3
1985			274.3	274.3
1986			274.3	274.3
1987			274.3	274.3
1988	600	87	274.3	361.3
1989	600	87	376.3	463.3
1990	600	87	478.3	565.3
1991	600	87	580.3	667.3
1992			682.3	682.3
1993	1,200	174	682.3	856.3
1994	1,200	174	886.3	1,060.3
1995	1,200	174	1,090.3	1,264.3
1996	1,200	174	1,294.3	1,468.3
1997	1,200	174	1,498.3	1,672.3
1998	1,200	174	1,702.3	1,876.3
1999	1,200	174	1,906.3	2,080.3
2000	2,400	348	2,110.3	2,458.3
TOTAL:	14,500	2,491.2	14,796.25	17,287.5

CAPACIDAD INSTALADA		TONELADAS DE "U" FABRICADOS REQUERIDAS POR EL PROGRAMA LWR DE 14,000 MWe		
AÑO	MW	LA. CARGA	RECARGA	TOTAL
1982	650	74.1		74.1
1983	650	74.1	25.61	99.71
1984			51.22	51.22
1985			51.22	51.22
1986			51.22	51.22
1987			51.22	51.22
1988	600	68.4	51.22	119.62
1989	600	68.4	74.86	143.26
1990	600	68.4	98.5	166.9
1991			122.14	122.14
1992			122.14	122.14
1993	900	102.6	122.14	224.74
1994	900	102.6	157.6	260.2
1995	900	102.6	193.06	295.66
1996	1,200	136.8	228.52	365.32
1997	1,200	136.8	275.8	412.6
1998	1,200	136.8	323.08	459.88
1999	2,400	273.6	370.36	643.96
2000	2,400	273.6	464.92	738.52
TOTAL:	14,200	1,618.8	2,834.83	4,453.63

CAPACIDAD INSTALADA

TONELADAS DE "U" FABRICADAS REQUERIDAS
POR EL PROGRAMA HWR DE 14,000 MWe

AÑO	MW	LA. CARGA	RECARGA	TOTAL
1982	650	74.1		74.1
1983	650	74.1	25.61	99.71
1984			51.22	51.22
1985			51.22	51.22
1986			51.22	51.22
1987			51.22	51.22
1988	600	85.8	51.22	137.02
1989	600	85.8	152.08	237.88
1990	600	85.8	252.82	338.62
1991	600	85.8	353.62	439.42
1992			454.42	454.42
1993	1,200	171.6	454.42	626.02
1994	1,200	171.6	656.02	827.62
1995	1,200	171.6	857.62	1,029.22
1996	1,200	171.6	1,059.22	1,230.82
1997	1,200	171.6	1,260.82	1,432.42
1998	1,200	171.6	1,462.42	1,634.02
1999	1,200	171.6	1,664.02	1,835.62
2000	2,400	343.2	1,865.62	2,208.82
<hr/>				
TOTAL:	14,500	2,035.8	10,774.81	12,810.61

CAPACIDAD INSTALADA

TONELADAS DE TRABAJO SEPARATIVO REQUE
RIDAS POR EL PROGRAMA LWR DE 14.000 MWe

AÑO	MW	LA. CARGA	RECARGA	TOTAL
1982	650	147.55		147.55
1983	650	147.55	83.85	231.4
1984			167.7	167.7
1985			167.7	167.7
1986			167.7	167.7
1987			167.7	167.7
1988	600	136.2	167.7	303.9
1989	600	136.2	245.1	381.3
1990	600	136.2	322.5	458.7
1991			399.9	399.9
1992			399.9	399.9
1993	900	204.3	399.9	399.9
1994	900	204.3	516	720.3
1995	900	204.3	632.1	836.4
1996	1,200	272.4	748.2	1,020.6
1997	1,200	272.4	903	1,175.4
1998	1,200	272.4	1,057.8	1,330.2
1999	2,400	544.8	1,212.6	1,757.4
2000	2,400	544.8	1,522.2	2,067
TOTAL:	14,200	3,223.4	9,281.55	12,504.95

CAPACIDAD INSTALADA

TONELADAS DE AGUA PESADA REQUERIDAS
POR EL PROGRAMA HWR DE 14,000 Mwe

AÑO	MW	1A. CARGA	RECARGA	TOTAL
1982	650			
1983	650			
1984				
1985				
1986				
1987				
1988	600	439.2		439.2
1989	600	439.2	22.2	461.4
1990	600	439.2	44.4	483.6
1991	600	439.2	66.6	505.8
1992			88.8	88.8
1993	1,200	878.4	88.8	967.2
1994	1,200	878.4	133.2	1,011.6
1995	1,200	878.4	177.6	1,056
1996	1,200	878.4	222	1,100.4
1997	1,200	878.4	266.4	1,144.8
1998	1,200	878.4	310.8	1,189.2
1999	1,200	878.4	355.2	1,233.6
2000	2,400	1,756.8	399.6	2,156.4
<hr/>				
TOTAL:	14,500	9,662.4	2,175.6	11,838

TONELADAS DE PLUTONIO PRODUCIDO POR LOS
PROGRAMAS LWR Y HWR DE 14,000 MWe

AÑO	LWR	PLUTONIO	HWR	PLUTONIO
	CAPACIDAD INSTALADA		CAPACIDAD INSTALADA	
	MW	TON	MW	TON
1982	650		650	
1983	650	.1365	650	.1365
1984		.273		.273
1985		.273		.273
1986		.273		.273
1987		.273		.273
1988	600	.273	600	.273
1989	600	.399	600	.531
1990	600	.525	600	.789
1991		.651	600	1.047
1992		.651		1.305
1993	900	.651	1,200	1.305
1994	900	.84	1,200	1.821
1995	900	1.029	1,200	2.337
1996	1,200	1.218	1,200	2.853
1997	1,200	1.47	1,200	3.369
1998	1,200	1.722	1,200	3.885
1999	2,400	1.974	1,200	4.401
2000	2,400	2.478	2,400	4.917
TOTAL:	14,200	15.1	14,500	30.06

TONELADAS DE PLUTONIO PRODUCIDO POR LOS
PROGRAMAS LWR Y HWR DE 14,000 MWe

AÑO	LWR		HWR	
	CAPACIDAD INSTALADA	PLUTONIO	CAPACIDAD INSTALADA	PLUTONIO
	MW	TON	MW	TON
1982	650		650	
1983	650	.1365	650	.1365
1984		.273		.273
1985		.273		.273
1986		.273		.273
1987		.273		.273
1988	600	.273	600	.273
1989	600	.399	600	.531
1990	600	.525	600	.789
1991		.651	600	1.047
1992		.651		1.305
1993	900	.651	1,200	1.305
1994	900	.84	1,200	1.821
1995	900	1.029	1,200	2.337
1996	1,200	1.218	1,200	2.853
1997	1,200	1.47	1,200	3.369
1998	1,200	1.722	1,200	3.885
1999	2,400	1.974	1,200	4.401
2000	2,400	2.478	2,400	4.917
TOTAL:	14,200	15.1	14,500	30.06

CAPACIDAD INSTALADA

REQUERIMIENTOS DE "U" NATURAL (TON)
PARA EL PROGRAMA LWR DE 21,000 MWe

AÑO	MW	1A. CARGA	RECARGA	TOTAL
1982	650	288.6		288.6
1983	650	288.6	137.15	425.75
1984			274.3	274.3
1985			274.3	274.3
1986			274.3	274.3
1987			274.3	274.3
1988	900	399.6	274.3	673.9
1989	900	399.6	464.2	863.8
1990	900	399.6	654.1	1,053.7
1991	900	399.6	844	1,243.6
1992	900	399.6	1,033.9	1,433.5
1993	1,200	532.8	1,223.8	1,756.6
1994	1,200	532.8	1,477.0	2,009.8
1995	1,200	532.8	1,730.2	2,263
1996	2,400	1,065.6	1,983.4	3,049
1997	2,400	1,065.6	2,489.8	3,555.4
1998	2,400	1,065.6	2,996.2	4,061.8
1999	2,400	1,065.6	3,502.6	4,568.2
2000	2,400	1,065.6	4,009.0	5,074.6
TOTAL:	21,400	10,078.8	23,340.5	33,418.5

CAPACIDAD INSTALADA		TONELADAS DE "U" NATURAL REQUERIDAS POR EL PROGRAMA HWR DE 21,000 MWe		
AÑO	MW	1A. CARGA	RECARGA	TOTAL
1982	650	288.6		288.6
1983	650	288.6	137.15	425.75
1984			274.3	274.3
1985			274.3	274.3
1986			274.3	274.3
1987			274.3	274.3
1988	600	87	274.3	361.3
1989	600	87	376.3	463.3
1990	600	87	478.3	565.3
1991	1,200	174	580.3	754.3
1992	1,200	174	784.3	958.3
1993	1,200	174	988.3	1,162.3
1994	1,200	174	1,192.3	1,366.3
1995	1,200	174	1,396.3	1,570.3
1996	1,200	174	1,600.3	1,774.3
1997	2,400	348	1,804.3	2,152.3
1998	2,400	348	2,212.3	2,560.3
1999	2,400	348	2,620.3	2,968.3
2000	3,600	612	3,028.3	3,640.3
TOTAL:	21,100	3,538.2	18,570.25	22,108.45

CAPACIDAD INSTALADA		TONELADAS DE "U" FABRICADAS REQUERIDAS POR EL PROGRAMA LWR DE 21,000 MWe		
AÑO	MW	1A. CARGA	RECARGA	TOTAL
1982	650	74.1		74.1
1983	650	74.1	25.61	99.71
1984			51.22	51.22
1985			51.22	51.22
1986			51.22	51.22
1987			51.22	51.22
1988	900	102.6	51.22	153.82
1989	900	102.6	86.68	189.28
1990	900	102.6	122.14	224.74
1991	900	102.6	157.6	260.2
1992	900	102.6	193.06	295.66
1993	1,200	136.8	228.52	365.32
1994	1,200	136.8	275.8	412.6
1995	1,200	136.8	323.08	459.88
1996	2,400	273.6	370.36	643.96
1997	2,400	273.6	464.92	738.52
1998	2,400	273.6	559.48	833.08
1999	2,400	273.6	654.04	927.64
2000	2,400	273.6	748.6	1,022.2
TOTAL:	21,400	2,439.6	4,465.99	6,905.6

CAPACIDAD INSTALADA		TONELADAS DE "U" FABRICADOS REQUERIDOS POR EL PROGRAMA HWR DE 21,000 MWe		
AÑO	MW	1A. CARGA	RECARGA	TOTAL
1982	650	74.1		74.1
1983	650	74.1	25.61	99.71
1984			51.22	51.22
1985			51.22	51.22
1986			51.22	51.22
1987			51.22	51.22
1988	600	85.8	51.22	137.02
1989	600	85.8	152.02	237.82
1990	600	85.8	252.82	338.62
1991	1,200	171.6	353.62	525.22
1992	1,200	171.6	555.22	726.82
1993	1,200	171.6	756.82	928.42
1994	1,200	171.6	958.42	1,130.02
1995	1,200	171.6	1,160.02	1,331.6
1996	1,200	171.6	1,361.62	1,532.8
1997	2,400	343.2	1,563.22	1,906.4
1998	2,400	343.2	1,966.42	2,309.6
1999	2,400	343.2	2,369.62	2,712.8
2000	3,600	514.8	2,772.82	3,287.6
TOTAL:	21,100	2,979.6	14,504.35	17,483.43

CAPACIDAD INSTALADA		TONELADAS DE TRABAJO SEPARATIVO REQUE TIDOS POR EL PROGRAMA LWR DE 21,000 MWe		
AÑO	MW	LA. CARGA	RECARGA	TOTAL
1982	650	147.55		147.55
1983	650	147.55	83.85	231.4
1984			167.7	167.7
1985			167.7	167.7
1986			167.7	167.7
1987			167.7	167.7
1988	900	204.3	167.7	372
1989	900	204.3	283.8	488.1
1990	900	204.3	399.9	604.2
1991	900	204.3	516	720.3
1992	900	204.3	632.1	836.4
1993	1,200	272.4	748.2	1,020.6
1994	1,200	272.4	903.0	1,175.4
1995	1,200	272.4	1,057.8	1,330.2
1996	2,400	544.8	1,212.6	1,757.4
1997	2,400	544.8	1,522.2	2,067.0
1998	2,400	544.8	1,831.8	2,376.6
1999	2,400	544.8	2,141.4	2,686.2
2000	2,400	544.8	2,451.0	2,995.8
TOTAL:	21,400	4,857.8	14,622.15	19,479.95

CAPACIDAD INSTALADA		TONELADAS DE AGUA PESADA REQUERIDAS POR EL PROGRAMA HWR DE 21,000 MWe		
AÑO	MW	1A. CARGA	RECARGA	TOTAL
1982	650			
1983	650			
1984				
1985				
1986				
1987				
1988	600	439.2		439.2
1989	600	439.2	22.2	461.4
1990	600	439.2	44.4	483.6
1991	1,200	878.4	66.6	945
1992	1,200	878.4	111	989.4
1993	1,200	878.4	155.4	1,033.8
1994	1,200	878.4	199.8	1,078.2
1995	1,200	878.4	244.2	1,122.6
1996	1,200	878.4	288.6	1,167
1997	2,400	1,756.8	333	2,089.8
1998	2,400	1,756.8	421.8	2,178.6
1999	2,400	1,756.8	510.6	2,267.4
2000	3,600	2,635.2	599.4	3,234.6
TOTAL:	21,100	14,493.6	2,997	17,490.6

TONELADAS DE PLUTONIO PRODUCIDO POR LOS
PROGRAMAS LWR Y HWR DE 21,000 MWe

AÑO	LWR MWe	PU (PRODUCIDO)	HWR MWe	PU (PRODUCIDO)
1982	650		650	
1983	650	.1365	650	.1365
1984		.273		.273
1985		.273		.273
1986		.273		.273
1987		.273		.273
1988	900	.273	600	.273
1989	900	.462	600	.531
1990	900	.651	600	.789
1991	900	.84	1,200	1.047
1992	900	1.029	1,200	1.563
1993	1,200	1.218	1,200	2.079
1994	1,200	1.47	1,200	2.595
1995	1,200	1.722	1,200	3.111
1996	2,400	1.974	1,200	3.627
1997	2,400	2.478	2,400	4.143
1998	2,400	2.982	2,400	5.175
1999	2,400	3.486	2,400	6.207
2000	2,400	3.99	3,600	7.239
TOTAL:	21,400	23.80	21,100	39.6

V. INTEGRACION DE LA INDUSTRIA NUCLEAR

V.1 PLAN DE DESARROLLO TECNOLOGICO

A continuación se presentará el desarrollo que México deberá realizar en las diferentes etapas del ciclo de combustible necesarias para satisfacer los requerimientos del programa nucleoeléctrico de 14,000 MWe considerado como caso promedio de expansión nucleoelectrica.

a) Desarrollo de exploración de recursos uraníferos.

Un factor de gran importancia para decidir un programa nucleoeléctrico o cualquier programa energético es el contar con el combustible necesario para el desarrollo del mismo. Las reservas de U_3O_8 actualmente probadas (10,000 ton.) son suficientes para satisfacer los requerimientos de una planta como Laguna Verde durante sus 30 años de vida útil, pero en el caso de la instalación de más plantas nucleoelectricas para satisfacer las necesidades de energía eléctrica para el año 2000 como se mencionó anteriormente como es el caso de 14,000 MWe nucleares, será necesario incrementar las reservas probadas en los próximos años por lo menos a la cantidad requerida por el programa mencionado que son de aproximadamente 21,500 ton. para el caso en

que se usen reactores de agua ligera y de 17,300 ton. para el caso en que se usen reactores de agua pesada hasta el año 2000; y de 92,000 ton. para LWR y 71,000 ton. para HWR para los 30 -- años de vida útil de las plantas.

De lo anterior se puede observar que México tendrá que adicionar 11,500 ton. de U_3O_8 a las probadas actualmente en un caso y de 7,300 ton. en el otro caso para satisfacer sus requerimientos para el año 2000 y 82,000 ton. y 61,000 ton. respectivamente para los 30 años de vida útil de las plantas.

Un desarrollo positivo en la exploración de recursos uraníferos sería que México contara con las reservas probadas mencionadas -- anteriormente antes de la fecha de funcionamiento de su próxima planta nuclear.

Es importante que México haga un estudio concienzudo en este agpecto para poder visualizar hasta que punto el país puede ser -- independiente para satisfacer sus propias necesidades de Uranio natural.

b) Explotación minera de recursos uraníferos.

Para satisfacer los requerimientos de U_3O_8 del programa de -- 14,000 MWe deberá tener para 1982 una explotación de 290 toneladas de U_3O_8 y a partir de esta fecha incrementar su explotación a un ritmo exponencial de acuerdo con la siguiente ecuación:

$U = 288.6 e^{.12t}$ para el caso de la línea LWR, lo cual se puede observar en la figura 5.1 y en la cual se muestran los requerimientos reales de U 308 para el programa de 14,000 MWe hasta el año 2000.

En la figura 5.2 se muestra el ritmo de explotación de acuerdo a la ecuación $U = 288.6 e^{.11t}$ y los requerimientos que deberán seguirse para satisfacer las necesidades de U_3O_8 del mismo programa pero con reactores de agua pesada.

En las figuras 5.1 y 5.2 se puede observar que el ritmo de explotación para el caso del programa HWR es menor que para el programa LWR y ésto es debido a la menor cantidad de U_3O_8 que se requiere para los reactores de agua pesada.

c) Concentración o beneficio de recursos uraníferos

Como se mencionó anteriormente, esta etapa del ciclo de combustible consiste en elevar la concentración de Uranio hasta valores comprendidos entre 70% y 90% como U_3O_8 . En la figura 5.3 se muestra de una manera esquemática el proceso de beneficio. (28)

El proceso de beneficio del Uranio es una etapa del ciclo de combustible muy importante debido a que es la primera forma comercial del Uranio. México deberá hacer todo lo posible para desarrollar este proceso en los próximos años para satisfacer las necesidades del programa nucleoelectrónico de 14,000 MWe o pa

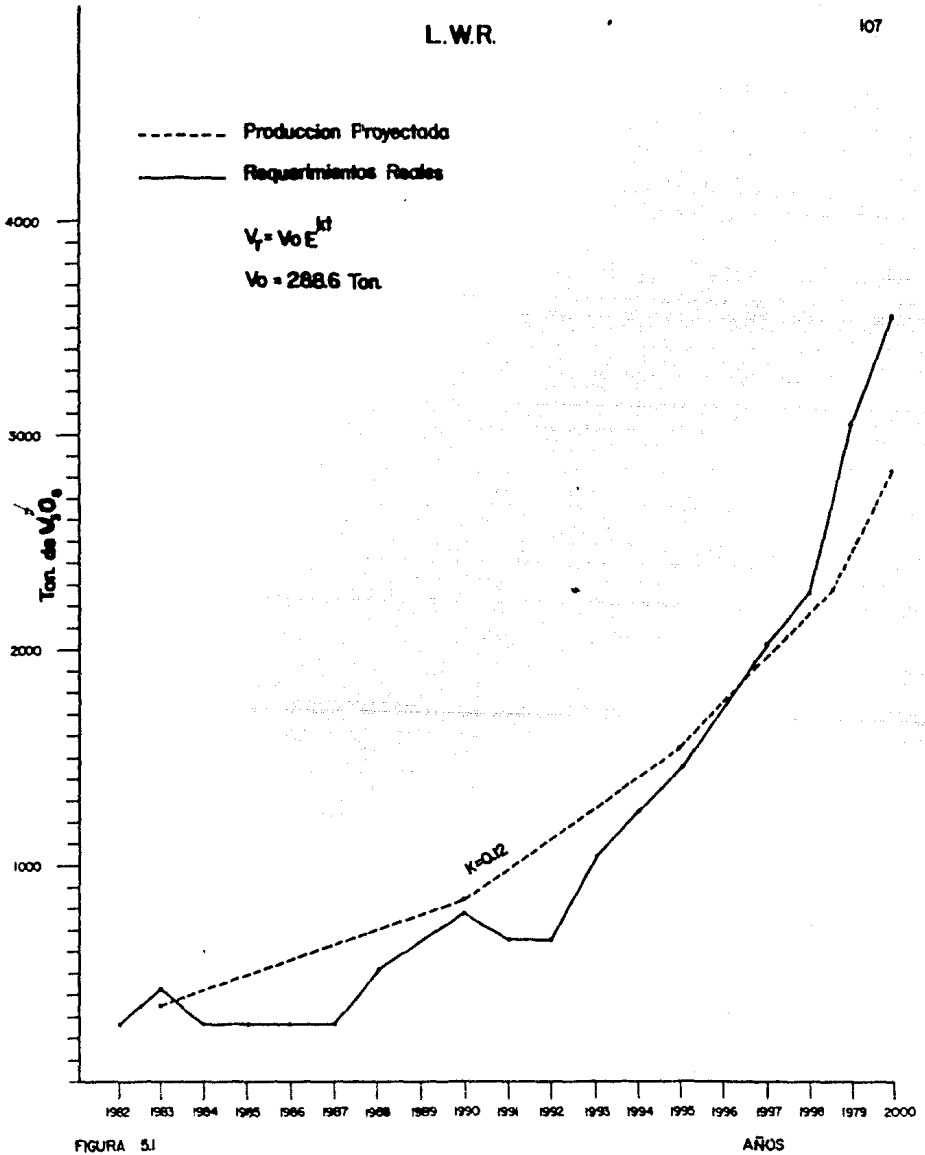
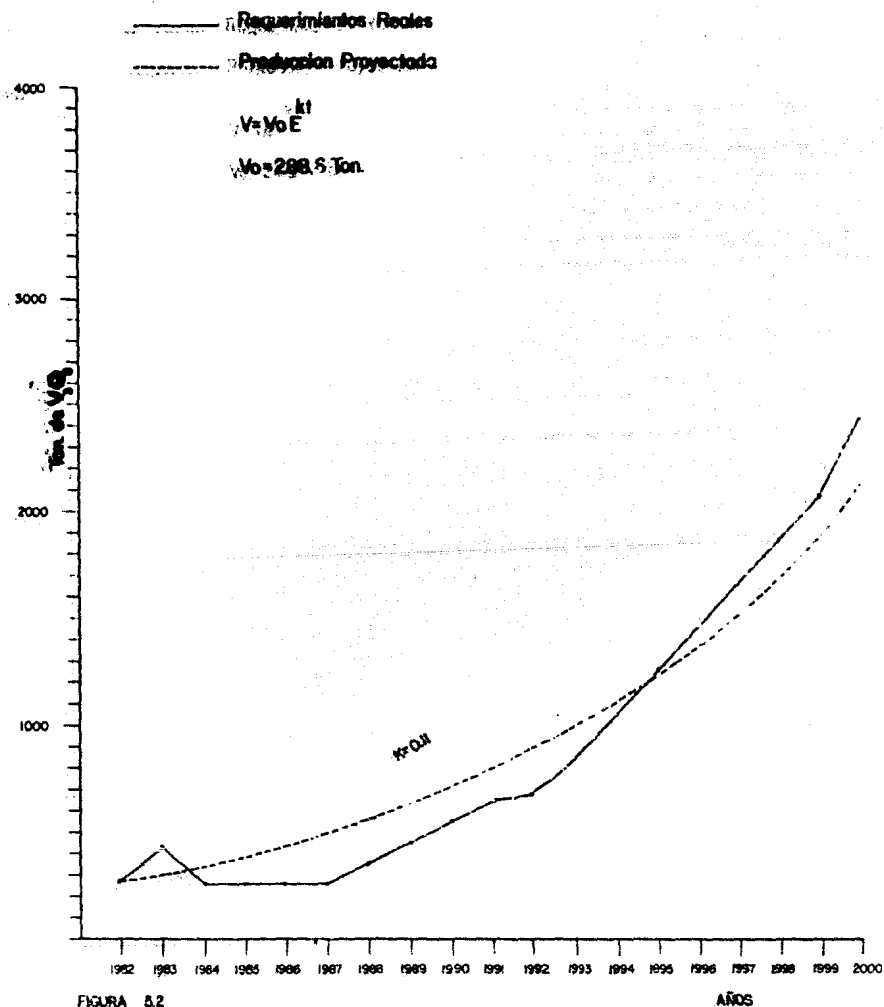


FIGURA 5.1

AÑOS

H.W.R.



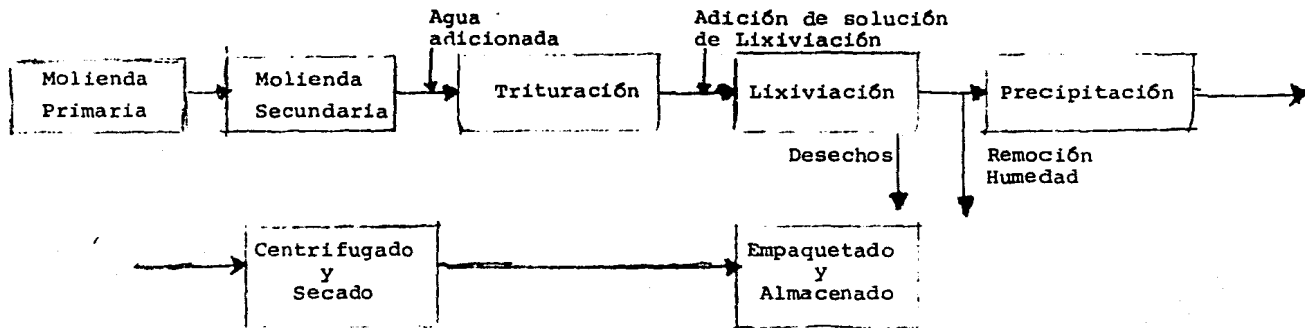


Fig. 5.3 Etapas básicas en el tratamiento de Uranio

ra vender al extranjero.

Un calendario de instalación de estas plantas para satisfacer - los requerimientos del programa mencionado se muestra en el siguiente cuadro, según sean reactores LWR o HWR.

Proceso	L W R		H W R	
	Año	Capacidad	Año	Capacidad
Beneficio	1982	300 ton/año	1982	300 ton/año
Beneficio	1988	500 ton/año	1989	500 ton/año
Beneficio	1994	1,000 ton/año	1995	1,000 ton/año
Beneficio	1998	1,000 ton/año	-	-

En el cuadro anterior puede observarse la mayor cantidad de plantas de beneficio que se requieren para el programa LWR.

La primera planta de 300 toneladas por año se considera en base a que esta planta es suficiente para satisfacer los requerimientos anuales de la planta de Laguna Verde. Una planta de esta capacidad de beneficio trata alrededor de 1,000 toneladas de mineral por día y el costo de construcción es de aproximadamente 400 millones de pesos y los costos de capital y operación son de alrededor de 185 millones de pesos.

Con lo que respecta a la disponibilidad de tecnología es de hacerse notar que la tecnología de estas plantas es ampliamente conocida y México no tendría grandes problemas para una instalación de plantas como las propuestas en el cuadro anterior, espe

cíficamente para el programa HWR.

d) Fabricación de combustibles nucleares.

Como se mencionó anteriormente, con el polvo de UO_2 se procede a fabricar los elementos de combustible mediante un proceso de sinterizado (prensado y horneado).

Actualmente México fabrica estos elementos de una manera experimental en el Centro Nuclear de Salazar por lo tanto se puede esperar que en los próximos años lo pueda hacer de una manera comercial. Un calendario de instalación de estas plantas de fabricación para satisfacer los requerimientos del programa de 14,000 MWe se muestra en el siguiente cuadro, según la línea de reactores que se siga.

Proceso	L W R		H W R	
	Año	Capacidad	Año	Capacidad
Fabricación	1982	100 ton/año	1982	200 ton/año
Fabricación	1992	200 ton/año	1992	600 ton/año
Fabricación	1997	200 ton/año	1995	600 ton/año

Se ha encontrado que en estas plantas la capacidad mínima rentable es la de una línea de producción de 100 toneladas por año.

En el cuadro anterior puede observarse la mayor capacidad de las plantas que se requieren para el programa HWR o en otro caso la

mayor cantidad de plantas de menor capacidad. Esto es debido a la mayor cantidad de elementos fabricados que se requieren para este tipo de programa, el cual utiliza Uranio natural a diferencia del LWR que utiliza Uranio enriquecido.

México deberá hacer todo lo posible para realizar esta etapa que es fundamental en el ciclo de combustible y para un desarrollo independiente en lo que se refiere al combustible nuclear.

En cuanto a la disponibilidad de tecnología, hay en la actualidad varios países que la desarrollan y México tiene grandes oportunidades para obtener la transferencia de la misma.

e) Enriquecimiento de Uranio

Esta etapa del ciclo de combustible que consiste en aumentar la concentración del isótopo U-235 del Uranio natural, es necesaria solamente para el programa basado en reactores de agua ligera.

Es muy difícil que México pueda contar con una planta de enriquecimiento en el futuro debido tanto a situaciones políticas internacionales como a situaciones tecnológicas y económicas del país.

En caso contrario México deberá instalar una planta de una capacidad de 1 MUTS (un millón de unidades de trabajo separativo), - que sería suficiente para satisfacer los requerimientos del programa LWR de 14,000 MWe.

Una alternativa que para enriquecimiento tendría el país sería la de formar parte de uno de los consorcios europeos que se mencionaron anteriormente.

f) Reprocesamiento

Esta etapa del ciclo de combustible es aplicable y de gran importancia para cualquier línea de reactores que se siga aún cuando parezca de mayor necesidad para la línea LWR debido a el mayor consumo de Uranio natural que se tiene. Esta etapa del ciclo de combustible que consiste en la recuperación y separación del Uranio y Plutonio de los desechos de fisión reviste un gran interés para el país, principalmente por la recuperación de Plutonio que es el combustible principal que se emplea para los reactores rápidos o de cría que se presume entrarán al comercio internacional la próxima década por lo cual México debe prestar gran atención a este proceso y tratar de instalar una planta de reprocesamiento - en lo que resta del siglo.

Una fecha de instalación de esta planta, considerando el tiempo de construcción de acuerdo a la experiencia norteamericana y el programa de 14,000 MWe sería aproximadamente en 1991 y con una capacidad de 800 toneladas de Uranio por año para el caso de seguirse la línea LWR. (21)

Para el caso de seguirse la línea HWR la fecha de operación sería aproximadamente en 1995 con una capacidad de 2,500 toneladas

de Uranio por año.

g) Producción de agua pesada

Esta industria va asociada sólo a los reactores del programa HWR aún cuando no representa propiamente una etapa del ciclo de combustible debe desarrollarse paralelamente al mismo por ser complementarios.

México debe prestar gran atención a esta industria ya que es un factor básico para decidir si se sigue una línea de reactores - HWR en el futuro. En el país se cuenta con grandes cantidades de la materia prima que se emplea actualmente para la producción de agua pesada que son: H_2 y H_2S y como se mencionó anteriormente se han presentado algunas proposiciones para producirla por medio del método NH_3-H_2 utilizando el gas natural como fuente de hidrógeno.

México para satisfacer los requerimientos de agua pesada para el programa HWR de 14,000 MWe deberá instalar una planta con una capacidad de 1,000 toneladas de agua pesada por año, la cual debería operar comercialmente aproximadamente en 1988.

PLANTAS DEL CICLO DE COMBUSTIBLE REQUERIDAS PARA EL PROGRAMA
DE 14,000 MW(e)

PROCESO	LINEA L W R			LINEA H W R		
	PLANTAS	AÑO	CAPACIDAD	PLANTAS	AÑO	CAPACIDAD
Beneficio	(1)	1982	300/ton/año	(1)	1982	300/ton/año
	(1)	1988	500/ton/año	(1)	1989	500/ton/año
	(1)	1994	1,000/ton/año	(1)	1905	1,000/ton/año
	(1)	1998	1,000/ton/año			
Fabricación	(1)	1982	100/ton/año	(1)	1982	200/ton/año
	(1)	1992	200/ton/año	(1)	1992	600/ton/año
	(1)	1997	200/ton/año	(1)	1995	600/ton/año
Agua Pesada				(1)	1988	1,000/ton/año
Almacenamiento de combustible irradiado	(1)	1989	1,000 ton U/año	(1)	1989	5,000 ton U/año
Reprocesamiento	(1)	1991	800 ton U/año	(1)	1995	2,500 ton U/año

PARAMETROS ECONOMICOS DEL CICLO DE COMBUSTIBLE

U ₃ O ₈ (extraído y en forma de torta amarilla) (2)	\$ 2,138.6/Kg U ₃ O ₈	\$ 2,138.6/Kg U ₃ O ₈
Refinación y conversión (2)	700/Kg U	100/Kg U
Enriquecimiento (2) (29)	\$ 2,250/Kg Uts	\$ 0
Reconversión		0
Fabricación (2) (29)	\$ 3,375/Kg U	\$ 2,250/Kg U
Agua pesada (2) (24)	\$ 0	\$ 3,713/Kg D ₂ O
Reprocesamiento (30)	\$ 4,207/Kg U	\$ 2,104/kg U
Crédito por Plutonio (30)	\$ 810/g Pu fisionable	810/g Pu fisionable

GASTOS DIRECTOS ANUALES APROXIMADOS DEL URANIO
 NATURAL COMO CONCENTRADO PARA LOS PROGRAMAS LWR
 Y HWR DE 14,000 MWe EN MILLONES DE PESOS DE 1978

AÑO	L W R	H W R
1982	617	617
1983	910	910
1984	586	586
1985	586	586
1986	586	586
1987	586	586
1988	1,156	772
1989	1,427	990
1990	1,697	1,208
1991	1,398	1,427
1992	1,398	1,459
1993	2,251	1,831
1994	2,659	2,267
1995	3,065	2,703
1996	3,756	3,140
1997	4,298	3,576
1998	4,839	4,012
1999	6,520	4,448
2000	7,603	5,257
	<hr/>	<hr/>
	45,938	36,961

COSTO DE REFINACION Y CONVERSION PARA LOS
PROGRAMAS LWR Y HWR DE 14,000 MWe, EN MI-
LLONES DE PESOS DE 1978

AÑO	L W R	H W R
1982	202	28
1983	298	42
1984	192	27
1985	192	27
1986	192	27
1987	192	27
1988	378	36
1989	467	46
1990	555	56
1991	458	66
1992	458	68
1993	737	85
1994	870	106
1995	1,003	126
1996	1,229	147
1997	1,406	167
1998	1,584	187
1999	2,137	208
2000	2,488	246
	<hr/>	<hr/>
	15,035	1,722

COSTO DE TRABAJO SEPARATIVO Y DE AGUA PESADA
 PARA LOS PROGRAMAS LWR Y HWR DE 14,000 Mwe -
 EN MILLONES DE PESOS DE 1978

AÑO	L W R	H W R
1982	332	-
1983	520	-
1984	377	-
1985	377	-
1986	377	-
1987	377	-
1988	683	1,630
1989	858	1,713
1990	1,032	1,795
1991	899	1,878
1992	899	329
1993	1,359	3,591
1994	1,620	3,756
1995	1,882	3,921
1996	2,296	4,085
1997	2,644	4,250
1998	2,993	4,415
1999	3,954	4,580
2000	4,650	8,006
	<hr/>	<hr/>
	28,129	43,949

COSTOS ANUALES DE FABRICACION EN MILLONES DE
 PESOS DE 1978 PARA LOS PROGRAMAS LWR Y HWR -
 DE 14,000 MWe

AÑO	L W R	H W R
1982	250	166
1983	336	224
1984	172	115
1985	172	115
1986	172	115
1987	172	115
1988	403	308
1989	483	535
1990	563	761
1991	412	988
1992	412	1,022
1993	758	1,408
1994	878	1,862
1995	997	2,315
1996	1,232	2,769
1997	1,392	3,222
1998	1,552	3,676
1999	2,173	4,130
2000	2,492	4,969
	<hr/>	<hr/>
	15,019	28,815

COSTOS POR REPROCESAMIENTO PARA EL PROGRAMA
LWR Y HWR DE 14,000 MWe EN MILLONES DE PESOS
DE 1978

AÑO	L W R	H W R
1982	311	156
1983	419	209
1984	215	107
1985	215	107
1986	215	107
1987	215	107
1988	503	288
1989	602	500
1990	702	712
1991	513	924
1992	513	956
1993	945	1,317
1994	1,094	1,741
1995	1,244	2,165
1996	1,537	2,589
1997	1,735	3,013
1998	1,934	3,437
1999	2,709	3,862
2000	3,107	4,647
	<hr/>	<hr/>
	18,728	26,944

CREDITO POR PLUTONIO PARA LOS PROGRAMAS LWR
Y HWR DE 14,000 MWe EN MILLONES DE PESOS
DE 1978

AÑO	L W R	H W R
1982	-	-
1983	110	110
1984	221	221
1985	221	221
1986	221	221
1987	221	221
1988	221	221
1989	323	430
1990	425	639
1991	527	848
1992	527	1,057
1993	527	1,057
1994	680	1,475
1995	833	1,892
1996	986	2,310
1997	1,190	2,728
1998	1,394	3,146
1999	1,598	3,564
2000	2,007	3,982
	<hr/>	<hr/>
	12,232	24,343

COSTOS TOTALES DEL CICLO DE COMBUSTIBLE PARA
LOS PROGRAMAS HWR Y LWR DE 14,000 MWe EN MI-
LLONES DE PESOS DE 1978

	L W R	H W R
Costo de U ₃ O ₈	45,938	36,961
Refinación y conversión	15,035	1,722
Enriquecimiento	28,129	-
Fabricación	15,019	28,815
Reprocesamiento	18,728	26,944
Agua pesada	-	43,949
	<hr/>	<hr/>
T O T A L	122,849	138,391
	<hr/>	<hr/>
Crédito por Plutonio	12,232	24,343
	<hr/>	<hr/>
	110,617	114,048

VI CONCLUSIONES

De lo anteriormente expuesto, podemos observar en primer lugar la necesidad que tiene el país de desarrollar seriamente un programa nucleoelectrico definido claramente y las conveniencias que esto representa. Es cierto que el país cuenta con grandes recursos petroleros, pero hay que observar que esta fuente de energía es un recurso no renovable y que tiene una gran importancia en otro tipo de industrias que no sea la eléctrica y que de acuerdo a los precios actuales del petróleo y sus derivados y los que se preveen para el futuro es necesario que este recurso sea aprovechado lo mejor posible para un desarrollo tecnológico, económico y social favorable para México.

México se encuentra en una edad temprana en lo que se refiere a la industria nuclear, por lo cual tendrá que realizar un esfuerzo muy grande para tratar de alcanzar a los países desarrollados en este terreno, para lo cual es muy importante crear una infraestructura científica y tecnológica lo más rápido posible en este aspecto. México en los contratos de sus primeras plantas nucleares deberá hacer todo lo posible para lograr que venga incluida la transferencia de tecnología en su manera más amplia.

Un aspecto de gran importancia dentro de un desarrollo nuclear, es lo referente al combustible nuclear, que fue uno de los temas de mayor interés en el trabajo antes expuesto y nos representa la posibilidad y el esfuerzo que tiene que realizarse para que en México se puedan fabricar los combustibles necesarios para satisfacer la demanda de las plantas nucleares propuestas para el país. México tiene varios años de ser independiente en lo que se refiere a la producción de los combustibles requeridos tanto por industrias, comercios, usos domésticos, transporte y plantas eléctricas a base de combustibles fósiles por lo cual se deberá hacer todo lo posible por ser independiente respecto al combustible nuclear.

También se puede observar una cierta ventaja en lo que se refiere a la producción de combustibles para un proyecto nuclear a base de reactores HWR (Reactores de agua pesada) los cuales no incluyen dentro de su ciclo de combustible la etapa de enriquecimiento de Uranio, la cual prácticamente es imposible que se pueda realizar en el país en algún futuro próximo debido tanto a situaciones políticas internacionales como a los requerimientos económicos y tecnológicos de una planta de enriquecimiento, en cambio la producción de agua pesada requerida por reactores HWR es un proceso factible de realizar en México ya que su tecnología no es tan complicada como la de una planta de enriquecimiento de Uranio.

Además se ha observado en el ámbito internacional que la mayor-

transferencia de tecnología la han logrado los países que han adoptado el sistema de reactores de agua pesada (CANDU) que lo proporciona fundamentalmente Canadá. Otro factor importante es que en el caso de adoptarse el sistema de reactores -- CANDU los tratados se llevan a cabo en la relación Estado--Estado, a diferencia de los reactores LWR que por lo general los tratados se llevan a cabo con empresas particulares, las cuales son las que suministran los sistemas LWR tanto en lo que se refiere a reactores como a combustibles requeridos por los mismos, lo cual sujeta al país a decisiones de esas empresas en un momento determinado, y eso puede ser perjudicial para México. Las empresas principales en este terreno son General Electric, Magnavox, etc.

Otra cuestión de importancia es la mayor cantidad de Plutonio que se genera en los reactores HWR, el cual constituye el combustible principal de los reactores de la próxima generación-eléctrica que son los reactores rápidos o de cría y los cuales se presume ofrecen grandes ventajas sobre los reactores actuales (térmicos), principalmente por lo que se refiere a consumo de combustible que es mucho menor que en los reactores actuales, por tanto en este trabajo se recalca la necesidad de una planta para procesamiento de combustible tanto para recuperar combustible no fisiónado como el Plutonio producido.

Otro punto que se hace notar, es la importancia que tiene el que se construya una planta de beneficio lo más rápidamente posible con la capacidad necesaria para satisfacer los requerimientos de concentrados que requerirá Laguna Verde durante las recargas, -- pues de hacerse notar que hasta esta etapa del ciclo de combustible el costo del combustible representa un 50% del costo total del mismo. La etapa de beneficio es independiente del tipo de reactores que se instalen y además es la primera etapa comercial del Uranio, lo cual significa que en caso de que México no decidiera construir más plantas nucleares, podría vender el Uranio concentrado a países que lo requirieran y es de hacerse notar que el precio que ha alcanzado el Uranio en el mercado mundial es bastante elevado (40 dls por libra) lo cual podría representar una buena fuente de ingresos para México.

El desarrollo posterior del ciclo de combustible a partir de esta etapa será según el tipo de reactores que se vayan a instalar, -- por lo cual se tendrá que hacer un estudio muy profundo y detallado de lo que más le conviene a México para poder tomar una decisión definitiva en este terreno. Paralelo a lo anterior deberán realizarse campañas de información al público sobre la -- energía nuclear y las ventajas que tiene para el desarrollo futuro del país, pues debido a esta falta de información se ha notado en los países desarrollados la aversión que tiene la pobla-

ción en general a la construcción de plantas nucleares, mal que se arrastra desde la explosión de las bombas atómicas en 1945.

El entendimiento de los sistemas nucleares actuales será básico para la comprensión de los próximos sistemas de generación eléctrica que se están desarrollando en el mundo como son el de fisión rápida (cría) uno de los cuales ya está en construcción en Francia para entrar en operación comercial la próxima década -- (superfenix), como los que se encuentran todavía en vías de investigación como el de la fusión nuclear que se piensa será de gran importancia en el próximo siglo.

El no tomar en cuenta ésto, es el seguir al margen y dependencia de los países desarrollados con todo y que se cuente con grandes reservas de hidrocarburos y gas.

BIBLIOGRAFIA

- (1) BOLETIN INFORMATIVO DEL SECTOR ENERGETICO
AÑO 1 No. 2 OCTUBRE 1977
- (2) EL ECONOMISTA MEXICANO
VOLUMEN XII No. 2 MAYO-ABRIL 1978
URANIO: ARNULFO MORALES
- (3) COMISION NACIONAL DE ENERGETICOS MEXICO 1975
PROPUESTA DE LINEAMIENTOS DE POLITICA ENERGETICA
- (4) EL ECONOMISTA MEXICANO
VOLUMEN XII No. 2 MAYO-ABRIL 1978
- (5) EL ECONOMISTA MEXICANO
VOLUMEN XII No. 2 MAYO-ABRIL 1978
LA POLITICA DE PETROLEOS MEXICANOS: JORGE DIAZ SERRANO
- (6) EL ECONOMISTA MEXICANO
VOLUMEN XII No. 2 MAYO-ABRIL 1978
FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA A LARGO PLAZO: SOLAR, CRIA Y FUSION
MARIO VAZQUEZ REYNA
- (7) EL ECONOMISTA MEXICANO
VOLUMEN XII No. 2 MAYO-ABRIL 1978
SITUACION Y PERSPECTIVAS DE LOS ENERGETICOS EN MEXICO
ANTONIO PONCE
- (8) BOLETIN I.I.Q E
VOLUMEN I No. 7 NOVIEMBRE 1977
CONSIDERACIONES SOBRE LA PLANEACION NUCLEOELECTRICA A LARGO PLAZO
CARLOS VILLANUEVA MORENO
- (9) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
VIENNA 1973
MARKET SURVEY FOR NUCLEAR POWER IN DEVELOPING; COUNTRIES:
MEXICO
- (10) C.F.E.
GERENCIA GENERAL DE ESTUDIOS E INGENIERIA PRELIMINAR
40. ANIVERSARIO MEXICO 1977
EL PROGRAMA DE DESARROLLO DEL SECTOR ENERGETICO

- (11) C.F.E.
GERENCIA GENERAL DE OPERACION MEXICO 1976
INFORMACION BASICA DEL SECTOR ELECTRICO NACIONAL
- (12) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
VIENNA 1973
MARKET SURVEY FOR NUCLEAR POWER IN DEVELOPING COUNTRIES: MEXICO
APENDIX F. LONG RANGE FORE CASTING OF THE DEMAND FOR ELECTRIC
ENERGY
H AOKY
- (13) C.F.E.
GERENCIA GENERAL DE PLANEACION Y PROGRAMA - MEXICO 1975 -
ESTUDIO DEL DESARROLLO A LARGO PLAZO DE LOS SISTEMAS ELECTRI-
COS DE MEXICO
- (14) BOLETIN IIE
VOL 1. No. 4 AGOSTO 1977
CONSIDERACIONES SOBRE EL POTENCIAL HIDROELECTRICO DEL PAIS
CAPELLA A.
- (15) WAES C. I. WILLSON. DIRECTOR
PRESS - BOSTON 1977
ENERGY SUPPLY TO THE YEAR 2000. 2nd TECHNICAL REPORT
- (16) C.F.E.
GERENCIA GENERAL DE ESTUDIOS E INGENIERIA PRELIMINAR
MEXICO NOVIEMBRE 1977
PROGRAMA DE OBRAS E INVERSIONES DEL SECTOR ELECTRICO
- (17) REVISTA ECONOMICA
Nov. 16, 1977, Vol. 1 Número 5 MEXICO
INFORME DEL ING. JORGE DIAZ SERRANO: DIRECTOR GENERAL DE -PEMEX-
ANTE LA CAMARA DE DIPUTADOS (26 DE OCTUBRE DE 1977)
- (18) COMISION DE ENERGIA ATOMICA DE LOS EEUU
DIVISION DE INFORMACION TECNICA
REACTORES NUCLEARES: EEUU.
- (19) TEORIA DE REACTORES Y ELEMENTOS DE INGENIERIA NUCLEAR
F. GOODED
- (20) COMISION DE ENERGIA ATOMICA DE LOS EEUU.
DEPARTAMENTO DE INFORMACION TECNICA
PLANTAS DE ENERGIA NUCLEAR

- (21) BOLETIN DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS (IIE)
NOVIEMBRE DE 1977 Vol. 1 No. 7
- (22) A.E.C.L.
JUNE 1976
THE CANADIAN HEAVY WATER SUPPLY PROGRAM
A. DAHLINGER P.S. McVALLY
- (23) TESIS: LA SEPARACION ISOTOPICA, IMPORTANCIA, POSIBILIDADES
Y PERSPECTIVAS PARA MEXICO Y LA INDUSTRIA NUCLEAR
FACULTAD DE QUIMICA (TESIS 1978)
OCTAVIO REYES VENEGAS
- (24) NUCLEONICS WEEK
MARZO 24 -1977-
- (25) SCIENTIFIC AMERICAN
MARCH 1977 Vol. 236 No. 3
FAST BREEDER REACTOR
- (26) BOLETIN DEL ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA OIEA
Vol. 8 1978
- (27) COMISION NACIONAL DE ENERGETICOS
DICIEMBRE 1978 MEXICO
IMPLICACIONES DEL PROGRAMA NUCLEOELECTRICO MEXICANO
- (28) NUCLEAR POWER ECONOMICS
Vol. II (1964-1967) 1968
- (29) NUCLEAR FUEL
DECEMBER 26 1977
- (30) INTERNATIONAL ATOMICS ENERGY AGENCY
VIENNA 1977
REPORT OF THE IAEA STUDY PROYECT
Vol. II BASIS STUDIES 1977
REGIONAL NUCLEAR FUEL CYCLE CENTRES