



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

"DIFERENTES ALTERNATIVAS PARA LA GENERACION
DE ENERGIA NUCLEOELECTRICA EN MEXICO".

T E S I S

Que para obtener el título de:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

p r e s e n t a :

OCTAVIO PEREYRA SOLIS

México, D.F.

1983



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Con profundo agradecimiento a, mi padre que siempre me apoyó y me alentó en mi carrera.

Sr. GENARO PEREYRA TRUJILLO.

A mi madre, con inmenso cariño, que con amor, paciencia y consejos me ayudó a realizarme en la vida haciendo de mí un profesionalista.

Sra. LUVIA SOLIS HERNANDEZ.

A mis hermanos que de alguna manera
u otra colaboraron.

HUMBERTO.

BETHY.

PATY.

A mis abuelitos, tíos y primos con el afecto de siempre. Y en especial a mi tío el Ing. NORBERTO SOLIS HERNANDEZ.

A mis maestros, amigos y compañeros.

INDICE

	Págs.
CAPITULO I	
Perspectivas mundiales en el campo de los energéticos.....	1
CAPITULO II	
Perspectivas de México en el campo de los energéticos.....	13
CAPITULO III	
Generación Nuclear.	
Análisis de los diferentes tipos de planta nucleoelectrica.....	130
CAPITULO IV	
Actividades principales que deben desarrollarse para el proyecto y puesta en servicio de una planta nucleoelectrica.	
A) Especificaciones Generales.....	197
B) Localización y Ecología.....	206
C) Proyecto General.....	230
D) Especificación de equipo principal..	235
E) Diseño Detallado.....	238
F) Especificaciones de Equipo Auxiliar.	241
G) Establecimiento de la garantía y del control de calidad..	243

	Págs.
H) Supervisión de la Fabricación.....	255
I) Transporte de Equipo.....	257
J) Instalaciones en el sitio de la - - obra.....	261
K) Organización del sistema de almace- nes de aire acondicionado.....	265
L) Organización de la Construcción.....	266
M) Entrenamiento del Personal.....	281
N) Planeación, Programación y Control de la Obra.....	282
Ñ) Pruebas y Puesta en Servicio.....	287
O) Operación.....	291
P) Manejo de Combustibles Nucleares....	295

CAPITULO V

Análisis de los factores fundamentales que deben tenerse en cuenta para la - selección del tipo o tipos de plantas nucleoeléctricas que sean más adecua-- das para el país.....	301
---	-----

C A P I T U L O I

PERSPECTIVAS MUNDIALES EN EL CAMPO
DE LOS ENERGETICOS.

SITUACION MUNDIAL DE LOS ENERGETICOS

La historia universal del hombre es su lucha por el dominio de la naturaleza, del tiempo y del espacio. El hombre por medio de la tecnología ha sabido transformar en objetos útiles los productos naturales. Este proceso ha tenido un carácter fundamentalmente dinámico, determinado por la incesante demanda de bienes de producción, por la competencia y por los nuevos descubrimientos científicos que constituyen el rango característico de nuestra época.

El profundo dinamismo de la tecnología hace que los procedimientos e instrumentos de trabajo entren en la abolecencia en poco tiempo, lo cual aparece con mucha claridad en el momento actual al analizar el uso pasado, presente y futuro de los energéticos y de los métodos utilizados para su -- aprovechamiento.

En la historia de la tecnología, cuyo comienzo se pierde en la prehistoria con el descubrimiento del tallado de la piedra, de la escalera, de la rueda y el aprovechamiento del fuego, existen dos épocas perfectamente definidas que son la primera y la segunda Revoluciones Industriales.

El comienzo de la primera Revolución industrial podemos situarlo en forma aproximada en el año de 1860 y tuvo lugar en Inglaterra, siendo la característica principal de este importante momento histórico, la sustitución del esfuerzo muscular del hombre y de los animales por la fuerza de -- las máquinas, donde dio lugar al nacimiento de la fábrica y provocando el surgimiento de la gran industria moderna.

La segunda Revolución Industrial acaba de comenzar -- hace pocos años y su causa fundamental ha sido el desarrollo

de las máquinas electrónicas que van sustituyendo a ritmo -- acelerado el trabajo cerebral rutinario del hombre.

La primera Revolución Industrial se caracteriza por la iniciación del consumo acelerado de los energéticos, primero de la madera y el carbón y ya en los principios del siglo XX de los derivados del petróleo, cuyo consumo caracteriza a la época en que vivimos.

A pesar de las grandes reservas de petróleo del Medio Oriente y de Venezuela, existe una clara conciencia mundial de que estas reservas tienen un fin y que es necesario y urgente sustituir a los hidrocarburos por otros energéticos.

En la figura I - 1 se muestran los tamaños relativos de las reservas estimadas conocidas de combustibles fáciles y de energía hidroeléctrica, expresadas en Joules.

Se ve de inmediato que la reserva de carbón constituye la principal fuente de energía para el futuro, a pesar de que en el momento actual representa una parte relativamente menor del consumo, tal como se ve en la figura 1 - 2. Las reservas de petróleo y gas tomadas conjuntamente representan una parte menor de la energía disponible del carbón y sin embargo en el momento actual representan el petróleo y el gas natural el 60 % de los energéticos que se consumen en el mundo.

En la figura I - 3 se analiza la demanda mundial del petróleo en comparación con la posible producción del mismo, pudiéndose observar que a un ritmo de crecimiento del consumo de un 5 % anual, la producción de petróleo mundial -- cerca del año 1990 ya no será suficiente para suplir la demanda, siendo necesario sustituir ésta con otros energéticos.

RESERVAS MUNDIALES Y UTILIZACION DE COMBUSTIBLES FOSILES Y DE ENERGIA HIDROELECTRICA

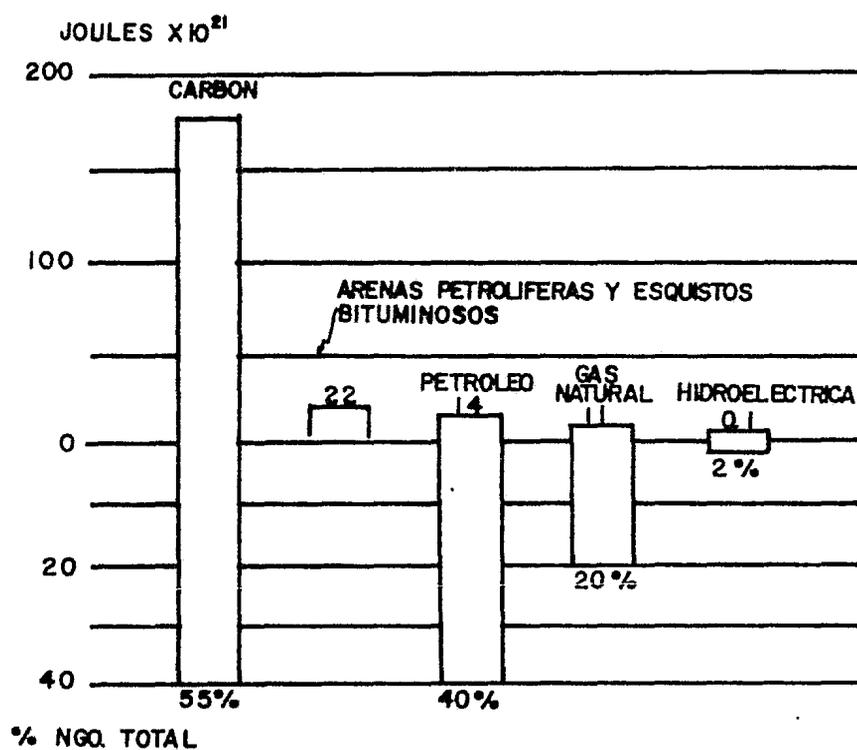


FIG. I-1

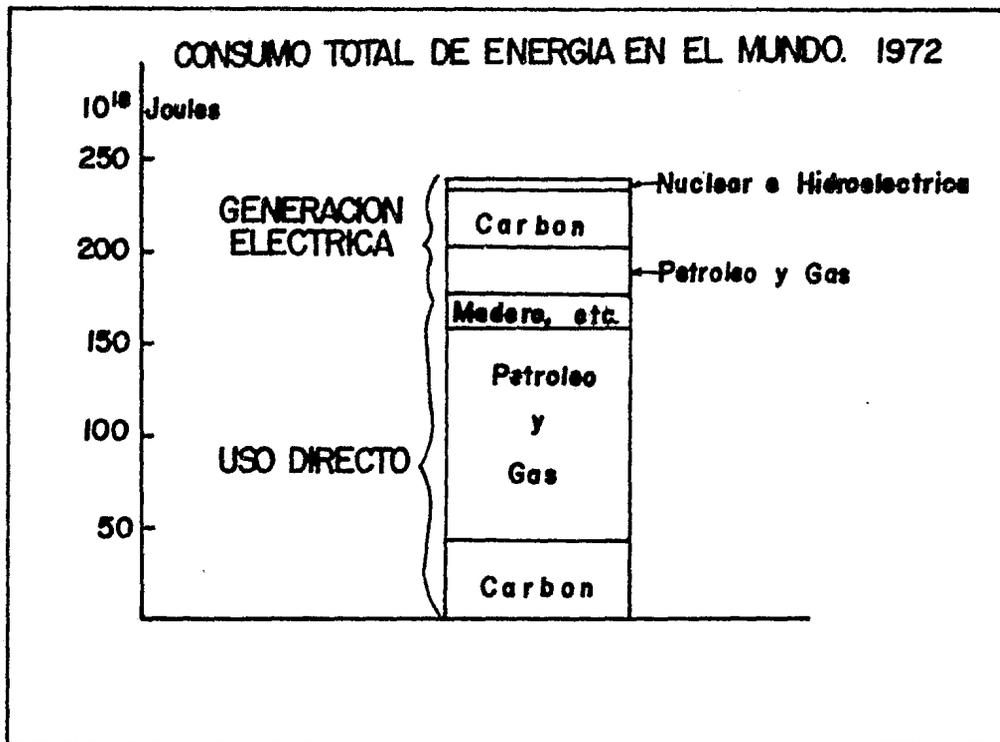


FIG. I - 2

CONSUMO FUTURO MUNDIAL DE PETROLEO EN
RELACION CON UN CONSUMO CON CRECIMIENTO ANUAL DE 5%

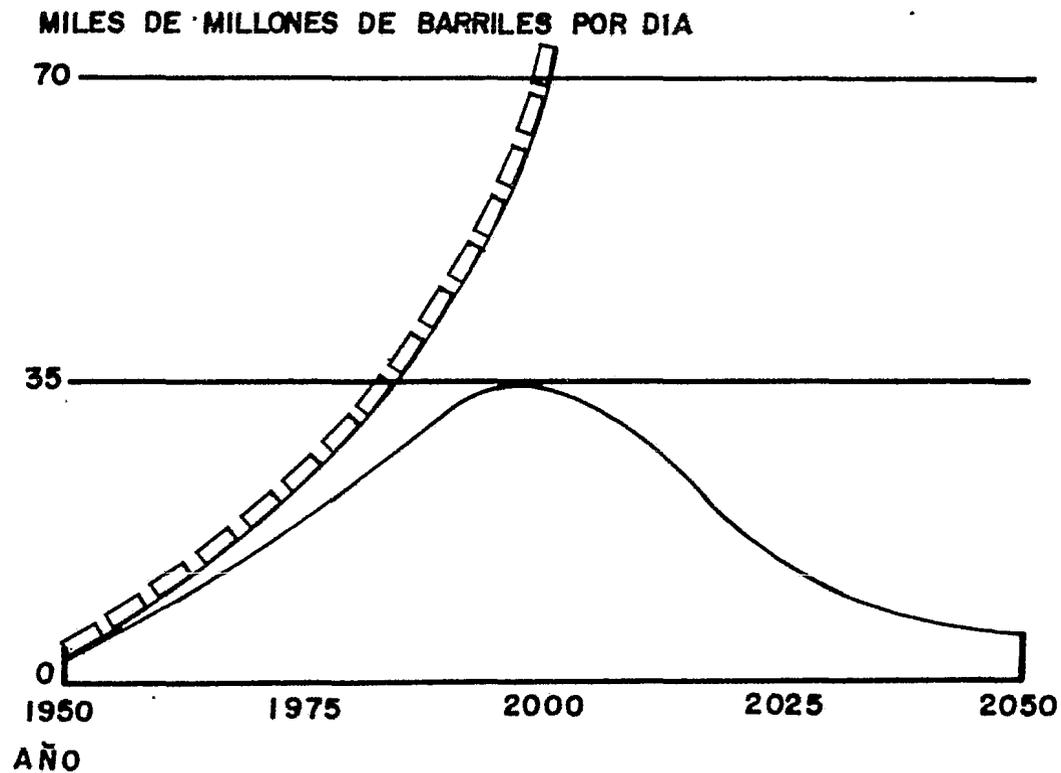


FIG. I - 3

Las condiciones anteriores determinan que la economía debe transformarse lo antes posible para reducir drásticamente la dependencia desproporcionada que se tiene del petróleo y del gas, utilizando otras fuentes de energía de las que existen abundantes cantidades, como son el carbón y el uranio. Aquí es importante destacar que para la mayoría de sus usos, estos combustibles deben ser convertidos previamente a electricidad.

Dentro de la tecnología actual la manera de resolver la crisis de energéticos es de utilizar cada día más la electricidad, creando una economía eléctrica en la cual se empleará la electricidad para sustituir el uso del petróleo y del gas, siempre que sea técnica y económicamente recomendable.

SITUACION MUNDIAL DEL PETROLEO

El petróleo tiene el mayor porcentaje del 97 % del consumo de combustibles orgánicos, de ahí que, cuando la crisis del petróleo apareció en octubre de 1973, se hicieron esfuerzos para reanudar el flujo del suministro para satisfacer las demandas. Pero el problema real resultó no ser éste, sino el que está apareciendo ahora, cuando un incremento continuo del consumo, aunado al aumento de los precios del petróleo a cuatro veces su precio anterior, en los tres meses que siguieron a la guerra Arabe-Israeli (octubre de 1973), está gerando una transferencia significativa de riqueza y poder económico.

Durante los años sesenta la abundancia y la disponibilidad de fuentes baratas de energéticos, particularmente -

del petróleo, se tomó como una situación permanente e irreversible. Este error de interpretación trajo la presente crisis de energéticos.

Actualmente alrededor del mundo las ubicaciones de los recursos y lugares donde más se necesitan están dentro de las fronteras de sociedades de metas y objetivos drásticamente distantes y conflictivos. Por ejemplo, Japón importa el 99 % de su petróleo, principalmente del Medio Oriente, para satisfacer el 65 % del total de sus requerimientos de energéticos. En una situación un poco menos dramática, Europa Occidental es bastante dependiente todavía del Medio Oriente y esta dependencia aumentará sustancial y rápidamente en los próximos años. En el cuadro I - 1 se enumeran los principales países productores de petróleo y el lugar que han ocupado de 1920 a 1975.

La energía barata en forma de petróleo ha sido el combustible primario que ha causado el crecimiento sin precedente de la economía mundial en los decenios de los cincuenta y los setenta. El incremento del precio del petróleo en 1973 se sintió como una catástrofe; sin embargo, la continuación de una sobre explotación del petróleo generado por un bajo precio sin razón, nos llevaría a grandes desconciertos a nivel mundial causado por el agotamiento de las reservas y por la falta de motivación para desarrollar sustitutos a tiempo.

Un desarrollo mucho más beneficioso para todos los involucrados resulta de un escenario de precios óptimos, en el cual el precio es aumentado gradualmente hasta un nivel óptimo. Tal política generaría el advenimiento de sustitutos en una forma más regular y prolongaría la vida de las reservas. Tanto las regiones explotadoras como las importado-

C U A D R O I - 1

PRINCIPALES PAISES PRODUCTORES DE PETROLEO
LUGARES QUE HAN OCUPADO 1920-1975

	1975	1970	1960	1950	1940	1930	1920
U.R.S.S.	1o	2o	2o	3o	2o	3o	3o
U.E. U.U.	2o	1o	1o	1o	1o	1o	1o
Arabia Saudita	3o	4o	5o	5o	11o	--	--
Iran	4o	3o	6o	4o	4o	4o	5o
Venezuela	5o	5o	3o	2o	3o	2o	--
Irak	5o	8o	7o	8o	7o	10o	--
Kuwait	6o	7o	4o	6o	--	--	--
Nigeria	7o	10o	--	--	--	--	--
Canada	8o	9o	8o	10o	9o	9o	--
Libia	9o	6o	--	--	--	--	--
Indonesia	10o	12o	9o	9o	5o	5o	4o
Argelia	11o	11o	11o	--	--	--	--
México	12o	13o	10o	7o	6o	6o	2o
Argentina	13o	15o	12o	11o	8o	7o	6o
Zona Neutral	14o	14o	14o	--	--	--	--
Katar	15o	16o	13o	13o	--	--	--
Egipto	16o	17o	15o	12o	10o	8o	7o
Ecuador	17o	18o	--	--	--	--	--

ras se desarrollarían mejor.

Es obvia la ventaja de mantener un flujo continuo - de petróleo en el futuro inmediato, de los países productores a los consumidores. Dentro de los próximos diez años la energía nuclear contribuirá comparativamente poco a la solución de la crisis de energéticos.

En los últimos cuarenta años la producción mundial de petróleo se ha duplicado cada diez años y aún con los cálculos más optimistas de las reservas éste se agotará totalmente en el próximo siglo.

Seguramente se desarrollará nuevas fuentes de energéticos para entonces. Pero todo indica que en ausencia de algún importante descubrimiento científico y tecnológico, -- los sustitutos del petróleo, no solo serán más costosos sino menos adaptables a las necesidades de las naciones subdesarrolladas. Mientras tanto, las naciones desarrolladas utilizarán el petróleo crudo durante los decenios restantes a -- gran velocidad en el tiempo que lleva el desarrollo de sustitutos para no sufrir un excesivo castigo económico.

Análisis de las reservas de combustible fósil (petróleo y gas). El primero de enero de 1973, los recursos de petróleo suman casi 90 000 millones de toneladas, equivalentes a 667 000 millones de barriles (una tonelada métrica -- igual a 7.47 barriles), lo que a nivel de consumo de 1972 de unos 2 500 millones de toneladas, alcanzaría para un total -- de 37 años.

Pero si el consumo global se incrementa el 5 %, las reservas tendrían una vida útil de solo 21 años, como se ven en el cuadro I - 2, y el cuadro I - 3 que está a continuación nos da las reservas estimadas de petróleo crudo por años.

C U A D R O I - 2

RESERVAS DE PETROLEO POR REGIONES
(miles de barriles)

REGION	RESERVAS COMPROBADAS	PRODUCCION (1972)	<u>INDICE DE VIDA</u>	
			ESTATICO	DINAMICO 5%
AMERICA DEL NORTE	47023271	4011350	12	9
EUROPA OCCIDENTAL	12632000	157680	80	9
JAPON	23000	5475	4	4
AUSTRALIA	2354460	157206	15	11
EUROPA ORIENTAL	78500000	3066000	26	17
AMERICA LATINA	32601750	1739079	19	14
MEDIO ORIENTE	438894000	7519110	58	28
AFRICA CONTINENTAL	22801000	754638	30	19
SUR DE ASIA	12553800	543084	23	16
CHINA	19500000	186150	105	38
TOTAL MUNDIAL	666883281	18140122	37	21

C U A D R O I - 3

RESERVAS MUNDIALES ESTIMADAS DE PETROLEO CRUDO.

1967 - 1975

MILLONES DE BARRILES

AÑO	AFRICA	ASIA, MEDIO Y EXTREMO ORIENTE	EUROPA INCL. URSS	AMERICA DEL NORTE	AMERICA DEL SUR	TOTAL MUNDIAL
1957	1702	172914	12518	35301	18233	240663
1958	2997	171627	1448	36275	19730	232077
1959	5297	167232	25636	37942	20046	256153
1960	8374	172500	26821	38057	20804	266555
1961	9595	181898	26236	38699	21002	277430
1962	12661	202305	25307	38647	21210	300130
1963	15015	215093	35127	38789	22883	326907
1964	17246	225885	36102	40094	23199	342526
1965	22978	239256	37960	40892	24038	365124
1966	28052	252579	41068	42257	24190	388231
1967	33798	259964	39483	42662	23991	399383
1968	35459	272803	41460	44901	25009	419634
1969	46950	327773	60750	41494	24761	501723
1970	65107	343923	63401	77788	33377	583596
1971	47055	346753	71856	62234	31780	559673
1972	104510	394702	88951	62238	31185	681586
1973	72410	404727	97681	139269	30835	744922
1974	74100	447943	108763	139536	29685	800047
1975	65085	409595	105911	144054	31414	756059

Se hacen nuevos descubrimientos de petróleo continuamente pero la frecuencia de los mismos disminuye y los costos se incrementan radicalmente.

Por ejemplo, el costo de capital y el costo unitario técnico de explotar el petróleo del mar del Norte, es por lo menos diez veces más que aquellos relacionados con las operaciones petroleras del golfo Pérsico.

Se deben esperar aún mayores costos para los nuevos descubrimientos de petróleo submarinos y particularmente para los yacimientos a grandes profundidades debajo del mar, inclusive, sin contar los posiblemente extremados costos externos que resultan de la creación de riesgos ambientales no previstos. Además para tener una proporción moderadamente adecuada entre las reservas probadas y la producción anual de petróleo crudo pronto será necesario explotar cada año nuevos depósitos de petróleo de la dimensión de la costa norte de Alaska o el mar del Norte, si es que el consumo de petróleo continua a las tasas de crecimiento que ahora se proyecten. Se debe recordar que una tasa de crecimiento anual del 5 % aún doblando las reservas, éstas se agotarían después de solamente 14 años más.

Si se toman inclusive las estimaciones más optimistas de reservas de petróleo recuperable (incluyendo petróleos de esquistos y arenas) en 500 000 millones de toneladas (alrededor de seis veces los recursos comprobados actualmente). El incremento continuo del consumo del petróleo agotaría las reservas alrededor del año 2 030 o sea dentro de un poco más de 50 años.

La característica más destacada de la actual situación del petróleo tiene que verse en términos del hecho de que casi dos terceras partes de las reservas comprobadas se-

se encuentran en las costas del golfo Pérsico y del norte de Africa, donde el costo de capital de un barril en el sitio de exploración (sin incluir transporte, impuestos y ganancias de la empresa explotadora) son extremadamente bajos.

Los dueños de estas reservas gigantes de bajos costos técnico poseen un virtual monopolio sobre el petróleo barato, lo cual les da libertad para subir el precio del petróleo crudo a lo que su opinión, esté dispuesto a pagar, el mercado del petróleo, así como para imponer topes de producción. La época del petróleo barato ha terminado más rápidamente de lo esperado y en una forma, peor de la esperada por los economistas del petróleo mejor informados a causa del monopolio virtual de los países de la OPEP productores de este recurso en el cuadro I - 4 se da una relación hasta 1973 de los miembros de la OPEP. Existen grandes diferencias entre la producción y el consumo de energéticos, en las 173 naciones del mundo. De este total, 110 deben importar más de dos terceras partes de su suministro y 17 deben importar entre uno y dos tercios de sus requerimientos totales de energéticos, por lo tanto casi una tercera parte del total mundial de energía primaria el 90 % de este petróleo crudo se distribuye por una extensa red comercial mundial.

De este petróleo, el 90 % es suministrado por la OPEP (Organización de países exportadores de petróleo), y más de la mitad de este 90 % proviene de las naciones Arabes. Por otra parte el 80 % del petróleo vendido que fué objeto de comercio y que sumó 1 500 millones de toneladas en 1970 (o 10,000 millones de barriles) se vendió a las naciones industrializadas incluidos los Estados Unidos, Canadá, Japón, Australia y los países comprendidos en Europa Occidental.

C U A D R O I - 4

ORGANIZACION DE PAISES EXPORTADORES DE PETROLEO

(Fundada en Bagdad, Irak en 1960)

PAISES MIEMBROS:

		<u>PORCENTAJE DE LA PRODUCCION MUNDIAL DE PE TROLEO CRUDO</u>	<u>PRECIO DlIs/BlS 1974 1975</u>	
FUNDADORES	Iran	10.39	11,14	12.43
	Irak	4.45	17,71	12.40
	Kuwait	3.62	11.61	12.15
	Arabia Saudita	12.99	11.35	12.33
	Venezuela	4.45	10.30	---
INGRESARON EN	1961 Katar	.76	11.54	12.64
	1962 Indonesia	2.41	---	---
	1963 Libia	2.60	11.28	16.06
	1967 Abu-Dhabi	3.42	12.47	12.70
	1969 Argelia	1.73	13.64	---
	1971 Nigeria	3.43	11.42	13.71
	1973 Ecuador	.30	---	---
	1973 Gabon	<u>.37</u>	11.67	---
		50.92 %		

SITUACION MUNDIAL DEL GAS

El gas natural está constituido por los componentes más volátiles que resultan del proceso de formación del petróleo. Su explotación comenzó casi simultáneamente con la de éste; en la segunda mitad del siglo pasado era ya utilizado como combustible en algunas regiones del mundo. Sin embargo, no conoció la extraordinaria expansión del petróleo, ya que carecía del estímulo que para éste significaba la formación - al aparecer el motor de combustión - de un gran mercado específico. Así, la evolución de la producción del gas natural fue lenta durante muchos años. En 1929, era solamente de unos 60 000 millones de metros cúbicos, un 95 % de los cuales eran producidos y consumidos en Estados Unidos. En 1950, esta cifra apenas había alcanzado los 190 000 millones de metros cúbicos. A partir de entonces, la producción comienza a crecer de un modo mucho más rápido. En los últimos veinte años, este crecimiento ha sido de un 9 % anual, aproximadamente. Las razones de este cambio de ritmo son de tipo técnico y económico.

Los progresos realizados en las canalizaciones han permitido alargar considerablemente las distancias comercialmente accesibles. Los sistemas de licuefacción y regasificación permiten los transportes intercontinentales que hasta hace muy poco eran técnicamente imposibles. Desde el punto de vista económico, el gas natural mantiene unos precios relativamente bajos, beneficiándose de su condición de subproducto de la prospección y explotación del petróleo.

A pesar de su expansión más tardía, el gas natural presenta, de cara a su futuro, una problemática similar a la del petróleo: sus reservas no parecen suficientes para que -

C U A D R O I - 5

RESERVAS DE GAS POR REGIONES

(10 m)

REGION	RESERVAS COMPROBADAS	PRODUCCION (1972)	INDICE DE VIDA	
			ESTATICO	DINAMICO 5 %
AMERICA DEL NORTE	9244	713	13	10
EUROPA OCCIDENTAL	5056	124	14	22
JAPON	11	3	4	4
AUSTRALIA etc.	1509	3	438	64
EUROPA ORIENTAL	18219	264	69	31
AMERICA LATINA	2243	93	24	16
MEDIO ORIENTE	13733	55	248	53
AFRICA CONTINENTAL	1359	2	648	72
SUR DE ASIA	1348	13	101	37
CHINA	595	4	150	44
TOTAL MUNDIAL	53317	1299	41	23

no prosiga durante mucho tiempo el ritmo de crecimiento actual del consumo.

En Estados Unidos, en particular, el panorama es especialmente inquietante, con una relación consumo-reservas - conocidas que, en 1971, era de 1 a 13. La Unión Soviética, - segundo país productor, parece disponer de reservas más importantes (relación reservas-producción 73/1, en 1971). El cuadro 1-5, nos da las reservas comprobadas, producción 1972, o índices de vida estático y dinámico.

SITUACION MUNDIAL DEL URANIO

La explotación y el mercado del uranio se han caracterizado por una evolución muy rápida y extremadamente irregular, marcada por profundos altibajos. Se inicia de modo - espectacular hacia 1950 y, estimulada por la demanda militar, crece a un ritmo muy intenso. En 1959 se alcanza un máximo - de la producción, con 34 200 tm de uranio obtenido en occi-- dente; 13 000, en Estados Unidos; 12 000, en Canadá, y 5 500, en la República Sudafricana. En menos de veinte años se - - constituye así una industria minera muy importante, que al-- canza el tercer rango en la producción de minerales no férri-- cos, detrás del oro y el cobre, con una cifra de negocios -- del orden de 1 000 millones. Al comienzo de los años sesenta esta expansión se frena bruscamente. En primer lugar, se constata que las necesidades militares habían sido sobre es-- timadas muy ampliamente, y que las demandas civiles no bas-- tan para sustituirlas.

La política de petróleo barato practicada por las - grandes compañías hace que se retrase mucho la puesta a pun-

to de centrales nucleares. De este modo, se produce una situación de brusca caída de los precios de los minerales de uranio que obliga a cerrar un gran número de minas. La disminución del consumo militar, correspondiendo a una relativa estabilización de la carrera de armamentos, hace que esta situación se prolongue durante toda la década de los sesenta.- El nivel más bajo se alcanza en 1966, con una producción global, en el mundo occidental, de 14 600 tm. Después comienza una lenta recuperación, hasta alcanzarse, en 1970, una producción, en occidente, de 18 500 tm.

La crisis del petróleo y la puesta a punto de la industria de la electricidad nuclear han determinado que esta lenta recuperación se convierta, posiblemente, en un nuevo impulso. En este sentido, se prevé que, durante el periodo 1970 - 1980, el consumo de uranio se cuadruplicue.

Las estimaciones de necesidades son espectaculares, como consecuencia de la política de desarrollo de la electricidad nuclear. En Estados Unidos, por ejemplo, las necesidades en 1970 fueron de 6 300 tm de uranio puro; en 1980, se calcula que serán de 33 000 tm. La República Federal Alemana pasaría, en el mismo período, de 900 a 4 100 tm; Italia, de 500 a 1 300, y España de 350 a 1 450. Considerando globalmente el conjunto de países occidentales que emprenden una política de centrales nucleares, la demanda pasaría de 15 175 tm, en 1970 a 61 250, en 1980.

Para hacer frente a esta evolución sería necesario descubrir cada año de 25 000 a 50 000 tm de nuevas reservas de uranio. La corteza terrestre lo contiene en grandes cantidades; un promedio de 3 o 4 gramos por tonelada. Más, para poder extraerlo en condiciones rentables, es preciso que la proporción de metal contenido alcance 1 Kg/tm, o que, si-

el contenido es menor, el uranio esté asociado a otro metal, de modo que su obtención simultánea cree unas condiciones -- económicamente favorables. Respecto a las posibilidades de beneficiar nuevas reservas en estas condiciones, impera una situación de incertidumbre. En todo caso y a pesar de la ausencia de datos a este respecto, una cosa sí parece cierta; -- que el previsible de la demanda de minerales uraníferos motivará una situación de agravamiento de la dependencia energética de los países industriales de occidente respecto a los productores. Esto es particularmente grave en el caso de Europa, donde sólo las reservas francesas pueden considerarse de cierta importancia, pero afecta también a Estados Unidos.

En el cuadro 1-6, se da la evolución de la producción de uranio natural en toneladas de metal.

C U A D R O 1 - 6

EVOLUCION DE LA PRODUCCION DE URANIO NATURAL
EN TONELADAS DE METAL.

ESTADOS UNIDOS	14 480	7 550	9 860
CANADA	9 780	3 000	3 090
REP. SUDAFRICANA	4 925	2 530	3 170
EUROPA (aprox.)	1 945	1 244	1 445
AUSTRALIA	935	260	230

SITUACION MUNDIAL DEL CARBON

Las naciones que son principales consumidoras del mundo libre cambiaron del uso del carbón por el petróleo, -- cuando después de la segunda guerra mundial se hizo disponible el petróleo barato Arabe, pensaron que podían darse el lujo de olvidar la explotación de sus reservas de carbón; -- las naciones consumidoras de energía del mundo socialista -- continuaron utilizando carbón como su principal recurso de energía primaria.

El carbón, con todas sus limitaciones, es un complemento temporal razonable de los recursos energéticos mundiales mediante el período de transición; es eficiente y existen grandes cantidades del mismo.

En la actualidad, las reservas de carbón conocidas e identificadas a nivel mundial suman más de 4.5 billones de toneladas. El uso del carbón presenta algunos problemas; su distribución es diferente en cada región, el recurso es voluminoso y no se quema con la limpieza del petróleo o el gas, pero existe y puede ser transportado y aún podría mejorarse su utilización quemándolo con más eficiencia (especialmente en su estado líquido).

Su uso para calefacción extendería la vida útil de las reservas del petróleo. Las reservas de carbón son grandes y tienen un índice de vida estática de aproximadamente 200 años. En el cuadro I - 6 se dan las reservas comprobadas, la producción y el índice de vida estático; los cuadros I - 7 y I - 8 dan una información más detallada de países-productores de carbón 1972 y reservas mundiales respectivamente.

C U A D R O I - 7

RESERVAS DE CARBON POR REGIONES

(en millones de toneladas métricas de carbón equivalente)

REGION	RESERVAS IDENTIFICADAS	PRODUCCION	INDICE DE VIDA	
			ESTATICO	DINAMICO 2 %
AMERICA DEL NORTE	688025	556	1237	164
EUROPA OCCIDENTAL	70673	385	184	78
JAPON	10057	40	253	91
AUSTRALIA etc.	68652	110	652	131
EUROPA ORIENTAL	2457348	821	2993	207
AMERICA LATINA	11097	9	1214	163
MEDIO ORIENTE	58	1	75	46
AFRICA CONTINENTAL	6588	4	1555	175
SUR DE ASIA	56855	88	646	133
CHINA	786303	396	1988	187
TOTAL MUNDIAL	4155656	2410	1725	180

C U A D R O I - 8

PRINCIPALES PAISES PRODUCTORES DE CARBON EN 1972
(miles de toneladas)

PAIS	CARBON			TOTAL	%
	BITUMINOSO	LIGNITO	ANTRACITA		
ESTADOS UNIDOS	530	10	6	546	21
U. R. S. S.	423	155	77	655	25
CHINA	319	80	20	419	16
POLONIA	152	38	--	190	7
REINO UNIDO	116	---	3	119	4
REP. FED. DE ALEMANIA	95	110	7	212	8
T O T A L	1,635	393	113	2,141	81
RESTO DEL MUNDO	26	412	65	503	19
PRODUCCION MUNDIAL	1,661	805	178	2,644	100

CUADRO 1 - 9

RESERVAS MUNDIALES DE CARBON

PAIS	ANTRACITA, BITUMINOSO Y SUB-BITUMINOSO EN - MILLONES DE TONELADAS	%	LIGNITO EN MILLONES DE TONELADAS.	TOTAL	%
ASIA					
U.R.S.S.	997 718	20.6	201 943	1 199 661	19.9
CHINA	1 010 715	20.9	599	1 011 314	16.7
INDIA	62 410	1.3	507	62 917	1.0
JAPON	9 894	0.2	258	10 152	0.2
OTROS PAISES	4 710	0.1	3 806	8 516	0.1
TOTAL	2 085 447	43.1	207 113	2 292 560	37.9
NORTE AMERICA					
ESTADOS UNIDOS	2 076 374	42.9	935 744	2 912 118	48.2
CANADA	62 456	1.3	24 443	86 897	1.4
MEXICO	4 304	0.1		4 304	0.1
TOTAL	2 143 132	44.3	860 187	3 003 319	49.7
EUROPA					
ALEMANIA	224 238	4.6	61 983	286 220	4.8
REINO UNIDO	170 638	3.5		170 638	2.8
POLONIA	79 977	1.7	18	79 995	1.3
CHECOSLOVAQUIA	6 448	0.1	12 496	18 944	0.3
FRANCIA	12 284	0.3	430	12 714	0.2
BELGICA	5 986	0.1		5 986	0.1
PAISES BAJOS	3 399	0.1		3 399	0.1
OTROS	2 612	0.1	22 148	24 769	0.4
TOTAL	505 591	10.5	97 075	602 685	10.0
AFRICA					
REP. DE SUR AFRICA	67 980	1.4		67 980	1.1
OTROS	1 650		200	1 850	
TOTAL	69 630	1.4	200	69 830	1.1
OCEANIA					
AUSTRALIA	16 795	0.3	40 988	57 784	1.0
OTROS	99		785	884	
TOTAL	16 894	0.3	41 773	58 668	1.0
CENTRO Y SUR AMERICA					
COLOMBIA	11 996	0.2		11 996	0.2
VENEZUELA	3 067	0.1		3 067	0.1
OTROS	3 555	0.1	254	3 809	0.1
TOTAL	18 618	0.4	254	18 872	0.4
TOTAL MUNDIAL	4 839 312	100.0	1 206 603	6 045 914	100.0

El carbón es explotado en muchas naciones del mundo. Sin, embargo muchos de los países productores no tienen la capacidad suficiente para alimentar los requerimientos de sus industrias, teniendo necesidad de importar, particularmente carbón de buena calidad y coque para la industria siderúrgica. Las exportaciones durante 1972 de carbón bituminoso, de antracita y de coque aparecen en el cuadro 1 - 10.

Los Estados Unidos como primer país productor, es quien más comercializa el carbón dentro del panorama mundial.

PERSPECTIVAS DE LA ENERGIA SOLAR

En todos los estudios sobre posibles alternativas a la crisis energética se cita el Sol como una fuente de energía gratuita e inagotable que constituye un reto al ingenio-tecnológico. El problema que plantea su utilización es comparable al que, en el campo de la tecnología minera, suscitan los grandes yacimientos de concentraciones muy débiles; hay que encontrar el procedimiento idóneo para concentrar unos elementos globalmente relevantes, pero muy dispersos. El problema, desde luego, no está resuelto en condiciones que aseguren una mínima rentabilidad. El costo de las fotopilas de silicio o de otros materiales que integran los paneles solares es, actualmente, de unas 400 pesetas por cada palmo cuadrado. Se trata de un precio abordable para las células fotoeléctricas, pero absolutamente prohibitivo para la obtención de electricidad a gran escala.

No obstante, las investigaciones en curso, y sus resultados provisionales, hacen suponer que en los próximos años la fabricación en serie de los elementos de los paneles

C U A D R O 1 - 10

EXPORTACION E IMPORTACION EN EL CONSUMO

EXPORTACIONES DE CARBON BITUMINOSO DURANTE 1972

PAIS DE DESTINO	MILLONES DE TONELADAS	%
CANADA	16.5	32.4
JAPON	16.3	32.0
COMUNIDAD ECO. EUROPEA	10.1	19.8
OTROS DE EUROPA	5.1	10.0
SUR AMERICA	2.4	4.7
OTROS	0.6	1.1
TOTAL	51.6	100.0

EXPORTACIONES DE ANTRACITA DURANTE 1972

CANADA	453	67.2
EUROPA	208	30.9
OTROS	13	1.9
TOTAL	674	100.0

EXPORTACIONES DE COQUE DURANTE 1972

CANADA	442	40.2
EUROPA	455	41.4
MEXICO	95	8.6
ASIA	82	7.5
OTROS PAISES	26	2.3
TOTAL	1 000	100.0

permitirá iniciar el uso de la energía solar en determinados ámbitos de la vida de los países más ricos: por ejemplo, en la obtención de electricidad o calefacción para las viviendas unifamiliares.

Otra cuestión crucial que se plantea es el almacenamiento de la energía que permita superar el problema de la alternancia del día y de la noche, o de los períodos soleados y nubosos. Para ello se han propuesto múltiples soluciones, desde acumuladores de pilas recargables, pasando por dispositivos de disociación de agua mediante luz focalizada, hasta la electrólisis con electrodos no conectados a una fuente eléctrica exterior, sino que funcionen con simple exposición al sol, et.

En este campo, los problemas básicos siguen planteados y no parece que la utilización de la energía solar sea operativa en un plazo breve. Sin embargo, el tema es objeto de programas de investigación que en los últimos años han adquirido gran importancia, con proyectos ambiciosos de cara a un futuro más o menos lejano; centrales eléctricas con paneles de dimensiones gigantescas emplazadas en los desiertos, satélites productores de energía.

Los estudios en este campo se dirigen a encontrar mejores alternativas de aprovechamiento y a mejorar las técnicas existentes; a continuación enumeramos las más importantes. Estas han sido agrupadas de acuerdo con el tipo de conversión energética que se lleva a cabo en el proceso en el cual la energía solar se vuelve aprovechable. Algunas agrupaciones parecerán similares pero, si el objetivo es diferente, se diferenciarán para clasificar el panorama.

1) Conversión Termal.

En este proceso, se contempla la conversión de radiación solar de baja densidad energética. Los sistemas propuestos -- consisten en concentrar la radiación solar en un colector -- dentro del cual fluye el fluido de trabajo que acarrea el calor. Este calor puede ser convertido directamente en ener--gía química o transferido posteriormente a otro sistema de -- trabajo.

2) Conversión : Fotovoltaica.

La conversión fotovoltaica consiste en la transformación de la radiación solar directamente en energía eléctrica. La radiación es absorbida en semiconductores generando pares de -- hoyos electrones que se separan en presencia de un campo -- eléctrico produciendo una corriente. Los principales tipos-- de semiconductores que se han usado son: el monocristal de -- silicio y el sulfuro de cadmio. La factibilidad técnica de -- este proceso es conocida ya que en los últimos años se han -- usado para proveer de energía a laboratorios especiales.

3) Conversión Fotoquímica.

Este proceso consiste en transformar la radiación solar di--rectamente en energía química, es decir inducir reacciones -- químicas con los fotones que lleven a productos estables y -- ricos en energía. Esta alternativa presenta una ventaja muy importante, que es la relativa facilidad de almacenamiento -- de energía. El principal interés se ha despertado en la producción de hidrógeno por medio de reacciones fotoquímicas y-- en especial de fotólisis del agua.

4) Gradientes Térmicos de los Océanos.

Esta forma de aprovechar la energía solar consiste en hacer--

uso de la diferencia de temperaturas del agua a diferentes - profundidades del océano para obtener trabajo. Fue sugerida desde el siglo pasado y a principios de este siglo una pequeña planta fué construída y operada en Cuba. La eficiencia - de estas plantas es pequeña de menos del 10 %, pero la cantidad de energía almacenada en estas aguas superficiales es -- tan grande, que ha resurgido nuevamente el interés por este proceso.

5) Conversión Biológica.

La naturaleza ha hecho uso de la radiación solar desde el -- inicio de la vida en el planeta. La conversión de la ener-- gía solar abiomasa por procesos fotosintéticos es de interés, ya que el material orgánico así producido puede ser transfor-- mado posteriormente a combustibles limpios del tipo metano o alcohol.

6) Calentamiento y Refrigeración

En este caso la energía solar es usada para calentar directa-- mente algunas sustancias, con la característica de que las - temperaturas que se alcanzan son usualmente bajas. Esta actividad ha despertado interés como medida de ahorro en los - combustibles convencionales. Su aplicación se encuentra tan-- to en el área del acondicionamiento ambiental de viviendas - como el área industrial y agrícola.

El principal obstáculo para el aprovechamiento de - la energía nuclear es que dicha energía no se recibe por - - igual en todas las regiones del mundo, ni a todas horas del día en un mismo lugar.

La radiación de los rayos solares en el interior de la atmósfera es como sigue:

15% Absorción atmosférica (parte de ella alcanza la su perficie terrestre como radiación difusa).

35% Reflexión de las nubes y dispersión (parte de la - cual es radiación difusa que llega a la tierra).

6% Reflexión atmosférica de vuelta al espacio.

44% Radiación directa incidente sobre la superficie te rrestre.

La intensidad de la radiación directa depende de la posición geográfica, estación del año, hora del día, nubes y contaminación atmosférica, por lo que para utilizar esta - - fuente de energía deberá hacerse uso de estadísticas meteorolog lógicas. Se acostumbra medir la radiación solar en langley por minuto; un langley es equivalente a una caloría de energía de radiación por cm^2 . La intensidad de la radiación solar varía desde cero hasta 1.5 langley/min.; si suponemos la radiación solar con una intensidad de un langley por minuto, en un metro cuadrado se recibiría 10 Kcal por minuto lo cual da idea del potencial de dicha fuente de energía.

Para la absorción de energía solar básicamente se - cuenta con dos tipos de colectores; planos y parabólicos.

Los colectores planos están formados ya sea por dos placas metálicas de aluminio, cobre o acero galvanizado, pinta das de negro para favorecer la absorción del calor, o por un tubo continuo en forma de serpentín y soldado a una placa plana metálica también pintada de negro. Estas placas van alojadas en una caja de material aislante y la cual tiene -- una cubierta de vidrio o plástico transparente que protege - las placas de la intemperie. El calor absorbido por las placa cas o el tubo se transfiere a un fluido que circula por el -

interior de los mismos. La temperatura límite máxima que se ha logrado hasta el momento es de 100°C.

Los colectores parabólicos concentran los rayos solares en un foco donde es colocado el medio que se desea calentar. La temperatura que se ha logrado en este tipo de colectores ha sido de 300°C.

Algunos inconvenientes que presentan estos tipos de colectores son:

Movimiento del colector para recibir los rayos solares - en dirección normal.

Necesidad de radiación directa.

Superficie reflectora perfectamente limpia.

Peligro para la vista a personas próximas a la radiación.

ENERGIA NUCLEAR

En general, se estima que el papel del átomo en el balance energético mundial comenzará a ser relevante en la década de los ochenta, en 1970, la potencia electronuclear instalada representaba menos del 1.5 % del conjunto de la -- eléctrica. Existen previsiones que señalan que, en 1980, la electricidad de origen nuclear representará un 15 % a 20 % - de la producción eléctrica y, aproximadamente, un 5 % del total de energía. En los años siguientes, es previsible un desarrollo más rápido (se habla, así, de que en 1985 se podría alcanzar un 10 % de la producción energética mundial).

También en este sector se observa una penetración - de los intereses petroleros. A corto plazo, el aumento rápi

do de la energía nuclear podría significar un freno para el ritmo de crecimiento del consumo del petróleo, del gas natural y del carbón. Esta perspectiva preocupa a los petroleros, por lo que tratan de penetrar en un mercado a la vez preocupante y prometedor. En 1970, en Estados Unidos diecisiete empresas petroleras efectuaron el 55 % de las operaciones de prospección de uranio, y controlaban el 48 % de las reservas conocidas. Posteriormente, este proceso de control creciente se ha acelerado.

No parece que la energía nuclear vaya a imponerse, por lo menos a corto o medio plazo, como sustituto del petróleo en Estados Unidos. Se prevé un desarrollo más rápido de los hidrocarburos sintéticos, líquidos y gaseosos, obtenidos a partir del carbón, de los esquistos bituminosos y de las asfálticas. Sin embargo, en Europa Occidental y Japón, la escasez de importantes reservas de carbón y de esquistos bituminosos posiblemente determinará un desarrollo más rápido de las centrales nucleares, aun a riesgo de quemar etapas en un proceso que muchos juzgan precipitado y lleno de riesgos, tanto desde el punto de vista de la seguridad de las poblaciones como el equilibrio ecológico. En Estados Unidos, las protestas de la opinión pública han conseguido, en los dos o tres últimos años, ejercer un freno a la implantación de las centrales nucleares, bloqueándola casi por completo. Es probable que este movimiento se extienda también a Europa y al Japón. Pero es difícil predecir si llegará a frenar un proceso que desde el punto de vista de los grandes intereses económicos aparece como ineludible.

ENERGIA GEOTERMICA

En teoría, el problema que supone una posible utilización de la energía geotérmica es muy sencillo. Sabemos -- que, a medida que se profundiza en el interior de la tierra, el calor aumenta. Este incremento, conocido con la expresión de gradiente geotérmico, es del orden de 1°C por cada 30 o 35 metros de profundidad. Se trata, pues, de efectuar unos sondeos suficientemente profundos que alcancen zonas de temperatura elevada, y de aprovechar su energía térmica.

Existen ya algunas tentativas en este sentido. En la ciudad de Melun, Francia, la extracción de agua de una capa freática profunda, situada a unos 1 800 metros, proporciona calefacción doméstica a un conjunto de unas 2 000 viviendas. Las posibilidades de aprovechar el calor geotérmico -- son muy evidente; a una profundidad de 1 500 metros, el agua se halla ya a una temperatura de unos 60°C , es decir, aproximadamente igual a la utilizada en los sistemas de calefacción doméstica. Por tanto, es posible concebir unos sistemas que, mediante tuberías calorífugas, hagan ascender esta agua, la cual, una vez utilizada como fuente de calor, puede ser reintroducida en la capa freática de origen.

El problema del aprovechamiento de la energía de -- origen geotérmico para el funcionamiento de las centrales -- eléctricas es bastante más complejo. Actualmente, las pocas que la utilizan se hallan enclavadas en zonas de vulcanismo -- secundario, donde el agua caliente o el vapor afloran a la -- superficie o se hallan a escasa profundidad. Tal es el caso, por ejemplo, de la central de Larderello, en Italia, con una producción de unos 400 megavatios, o de las centrales de la -- región de San Francisco, en Estados Unidos, que producirán --

unos 600 megavatios en 1975, y suministrarán electricidad a una gran parte de la bahía. Sin embargo, en las regiones no volcánicas, las posibilidades de aprovechamiento de la energía geotérmica chocan con el grave problema de los elevados costos de perforación; en la actualidad, un sondeo petrolífero de 3 000 metros de profundidad puede costar entre 1.5 y 3 millones de dólares, a lo que habría que añadir el costo de la calorifugación del sistema de tuberías.

A pesar de ello, la energía geotérmica aparece como muy prometedora, totalmente ilimitada y, probablemente, de escasos efectos contaminantes. En Estados Unidos, un plan establecido en 1972 calculó que, con unas inversiones moderadas, un 2 % de la electricidad necesaria en 1985, y un 4 % de la del año 2000, podrían ser de origen geotérmico. El mismo plan proponía un programa más acelerado que, mediante un sistema, permitiría producir un 21 % de la electricidad consumida en el año 2000. En Francia, el Bureau de Recherches Geologiques et Minieres ha calculado que el potencial geotérmico de una capa situada a 7 500 metros de profundidad sería de unos 7 500 megavatios por año y por kilómetro cuadrado.

PLANTAS MAREMOTRICES

Las centrales maremotrices son aquellas en las que la altura de caída es del mismo orden de magnitud que la amplitud de la marea, es decir con un máximo de 15 m. en los sitios favorables. Estas centrales constituyen una categoría particular entre los aprovechamientos de baja caída.

El fenómeno de las mareas se define como la varia--

ción periódica del nivel del mar y se presenta principalmente en la vecindad de las costas; estas variaciones de nivel provocan la formación de corrientes periódicas, denominadas por los pilotos como "corrientes de marea".

Las mareas se provocan por la atracción ejercida -- por el sol y la luna sobre los Océanos, pero la ley de variación de nivel está influenciada sensiblemente por la forma - de relieve de la costa (fenómeno de resonancia).

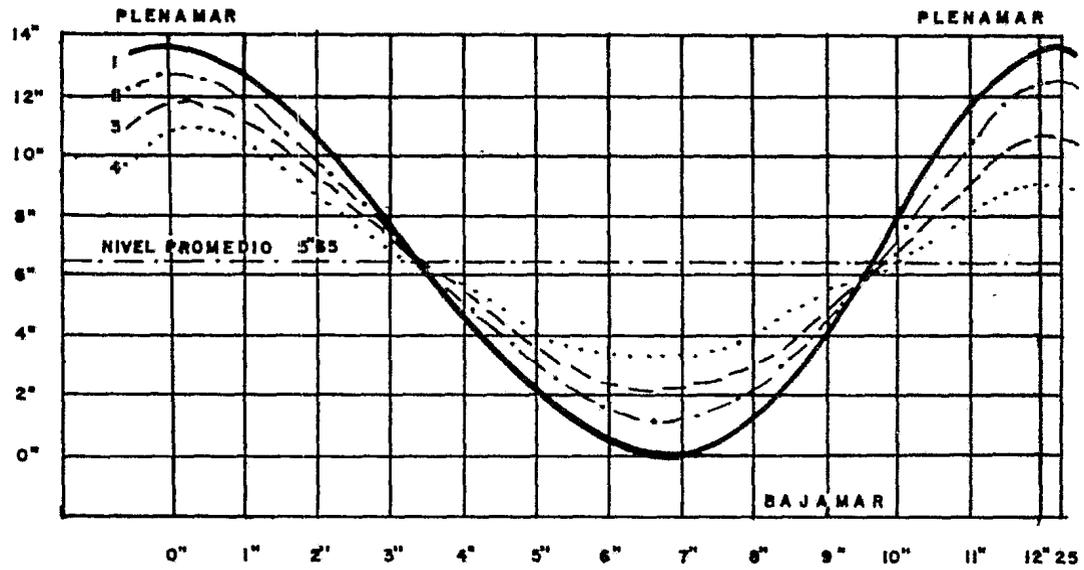
En el lenguaje marítimo se dice que se tiene una -- "pleamar" cuando hay marea alta y un "bajamar" cuando hay marea baja. La diferencia de nivel entre las cotas sucesivas se llama "amplitud de marea". Se llama "flujo" la corriente que acompaña la llegada de la pleamar y "reflujo" la que va ligada a la aparición de la bajamar, ver figura I-4.

La amplitud varía siguiendo las posiciones relati--vas entre la Tierra, el Sol y la Luna. La amplitud máxima - en el período de sisigias, esto es cuando el día y la noche tienen la misma duración.

Se conoce como período de marea el tiempo que separa los pleamares o dos bajamares consecutivos. En francia - donde se han desarrollado los mayores estudios en lo relativo a las plantas Maremotrices, los períodos duran exactamente 12 horas 25 minutos.

La amplitud sufre variaciones con los ciclos luna--res (cada 29 días y medio) y anuales; el período lunar co- - rresponden las mareas de agua viva y las mareas de agua muerta. Para contar con un valor que nos relacione la amplitud- en cualquier período y la amplitud media se cuenta con un coeficiente denominado "coeficiente de marea", que se calcula-

A M P L I T U D E S

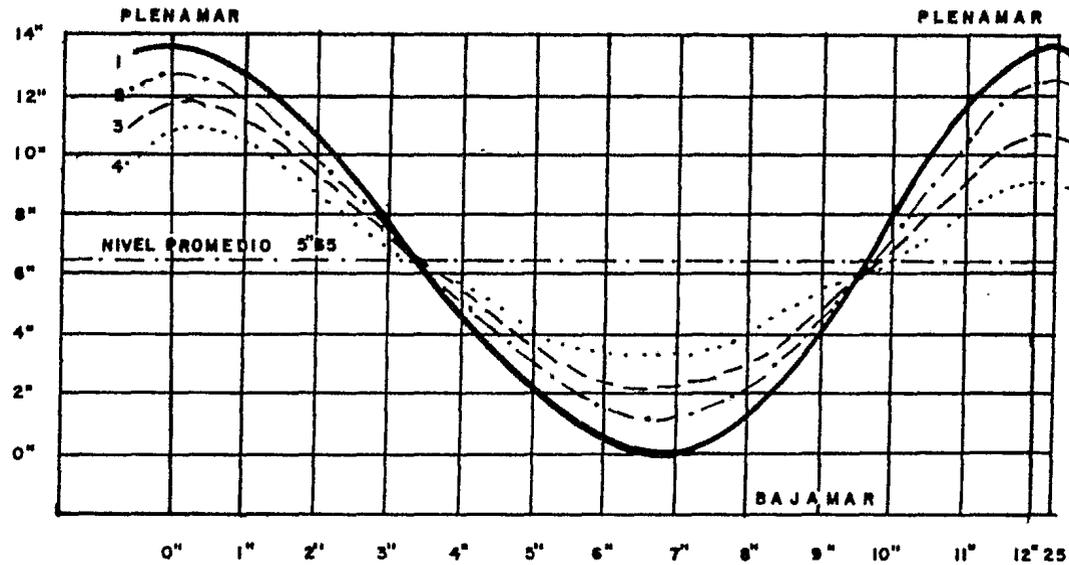


- 1: MAREA VIVA EXCEPCIONAL EQUINOCCIAL
- 2: MAREA VIVA MEDIA
- 3: MAREA MEDIA
- 4: MAREA MUERTA MEDIA

CARACTERISTICAS DE UNA MAREA

FIG. I - 4

A M P L I T U D E S



- 1: MAREA VIVA EXCEPCIONAL EQUINOCCIAL
- 2: MAREA VIVA MEDIA
- 3: MAREA MEDIA
- 4: MAREA MUERTA MEDIA

CARACTERISTICAS DE UNA MAREA

FIG. I - 4

en la siguiente forma:

$$C = \frac{A}{A_m}$$

donde:
 A - Amplitud de una marea dada.
 A_m - Amplitud media de las mareas aguas vivas medias en el equinoccio.

Este coeficiente varía en general de un 20 % a un 120 % para un sitio determinado según la época del año (los valores extremos no se presentan más que una vez en varios años).

Los valores de la amplitud de referencia A_m de los sitios más notables en el mundo son los que se dan a continuación:

Bahía de Fundy (U.S.A.):	15.4 m.
Bahía de San Jose (Patagonia):	14.0 m.
Bahía de Sever (Gran Bretaña):	13.8 m.
Bahía del Monte de San Miguel (Francia):	12.6 m.
Estuario de la Rance (Francia):	11.4 m.

La energía hidráulica del mar puede transformarse en energía eléctrica por medio de un aprovechamiento formado por:

A) Una presa que atraviesa un estuario cerrando la bahía, creando un vaso aislado en el cual el nivel es diferente al nivel del mar; esta presa deberá tener los elementos móviles necesarios para cerrar el vaso permitiendo establecer una comunicación entre el vaso y el mar ver figura 1-5.

PRINCIPIO DE UN APROVECHAMIENTO MAREMOTRIZ

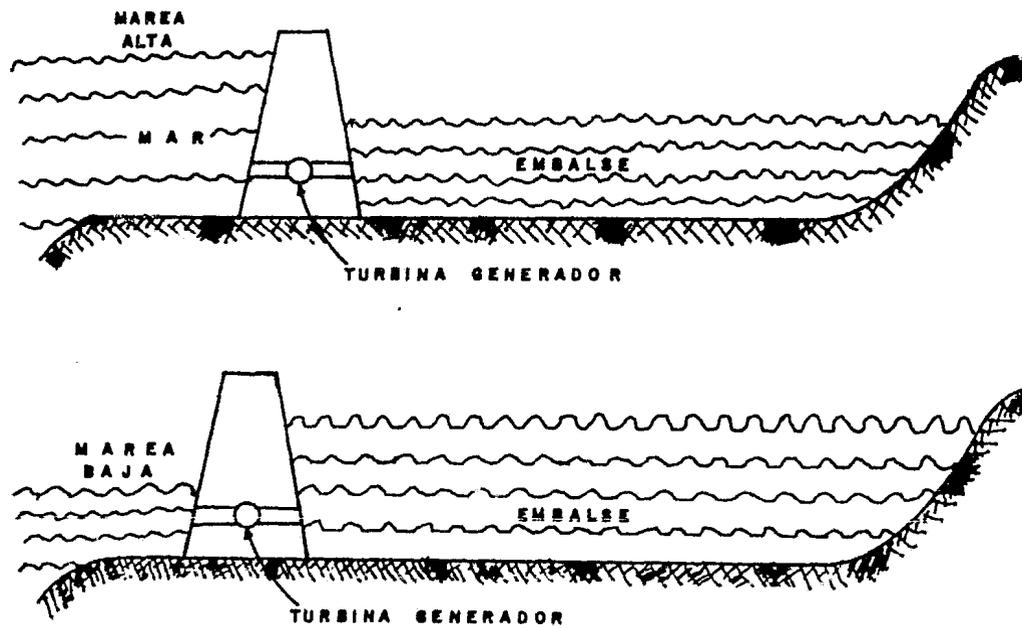


FIG. I-5

B) Una central equipada de grupos turboalternados que funcionan gracias a la diferencia del nivel existente en tre el vaso y el mar.

E N E R G I A E O L I C A

Aunque resulta casi imposible determinar el momento en que el hombre utilizó por primera vez una máquina para -- aligerar su labor cotidiana, se puede observar que las más -- antiguas se basan en la rotación como medio de movimiento -- uniforme para efectuar trabajos de tipo repetitivo, como son moler y bombear agua. Es así como surgen los molinos, en -- los que la flecha vertical era movida por hombres o bestias, por medio de una larga viga horizontal, empujada o jalada si guiendo una trayectoria circular. El mismo efecto sobre una flecha horizontal era logrado al "caminar" sobre las paletas de una rueda vertical. Mediante la adición de velas y paletas primitivas a las ruedas, la transición a viento y agua -- como fuerzas motrices se efectuó sin mayores cambios en la -- tecnología de utilización de la energía.

Aunque el origen del molino de viento es un tanto -- incierto, y se desconoce el creador original de la idea, un -- tanto fantástica, de "domesticar" al viento y hacerlo traba -- jar para el hombre, se sabe que en Persia durante el siglo X, ya se encontraban en uso primitivos molinos de eje vertical. Estos molinos giraban dentro de una estructura cuadrada, per mitiendo la circulación del viento a través de aberturas dia gonalmente opuestas en las paredes de la misma.

Se acepta tradicionalmente que este principio fue -- llevado al Este por prisioneros de Genhis Khan, encontrándo -- se molinos de eje vertical con velas tejidas en varias regio

nes de China, donde eran usados principalmente para irrigación. Aunque este tipo de molinos eran conocidos en Europa desde el renacimiento, nunca llegaron a popularizarse.

El molino de viento europeo típico parece ser un invento del Norte Gótico. Estas máquinas de peculiar aspecto, que en la época debieron parecer la creación de un genio cercano a la demencia, aparecieron en Inglaterra a principios del siglo XII, y al finalizar el siglo, se encontraban ya extendidas en todo el norte de Europa. En el sur, aunque con lentitud, se adoptó su uso, quedando establecido en Italia a principios del siglo XIV, pero desconociéndose aún, 200 años más tarde, en España. Los cruzados Alemanes introdujeron el molino de tipo europeo (eje horizontal) al Asia Menor, y es probable que por la misma época hicieron su aparición en las islas del Mediterráneo. Esto representa un cambio significativo en el sentido predominante del flujo de ideas de Este a Oeste, y da fuerza al argumento de que el molino Europeo fue desarrollado en forma independiente a los encontrados en Persia.

La importancia de la energía Eólica en el desarrollo de las naciones industrializadas es solo comparable a la de la energía hidráulica, ya que hasta antes del desarrollo de la máquina de vapor en la segunda mitad del siglo XVIII, fueron las únicas fuentes naturales de energía mecánica utilizada en una escala significativa.

En esta era preindustrial, las naciones que dominaban al viento dominaban al mundo; las grandes armadas se movían a vela, al igual que en muchas regiones un sinnúmero de procesos productivos necesarios, como irrigación y drenaje, molinos para granos, aserraderos, beneficios de aceite comestible e industrial, textiles, forjas, etc. De entre es--

tos países, los más importantes son la Gran Bretaña, Holanda, Dinamarca y Alemania. En ellos, la revolución industrial hu biera resultado imposible sin la era preindustrial con los - miles de molinos y ruedas hidráulicas.

En países con una economía de base agrícola, como - las islas Mediterráneas Mikonos y Creta, la producción se - vería reducida a una fracción de la existente si desapareciera n los miles de molinos de viento para bombeo de agua que - se encuentran en constante operación. En tiempos modernos, - entre 1880 y la segunda guerra mundial, en Estados Unidos se instalaron 6 millones de pequeños aerogeneradores y aerobomba s, de los cuales aún siguen en operación cerca de 100 000. En la actualidad, aunque los grandes molinos europeos se han convertido en atracción turística y monumentos nacionales, - la lista de los países que utilizan pequeñas unidades de tipo moderno es significativa: Argentina, 30 000; la U.R.S.S., 30 000; Australia, 15 000; Sudáfrica, 5 000, etc.

Aunque la centralización de la producción en los -- países industrializados, así como la falsa promesa de disponi bilidad ilimitada de combustibles fósiles, relegaron el -- aprovechamiento masivo del viento, en las décadas posterori - res a la segunda guerra mundial se construyeron varias unidade s de cientos de kilowatts, que aunque eran operativamente- viables, no resultaron competitivas dentro de un patrón de - energéticos con precios artificialmente bajos. Estos esfuerzo s se muestran en forma resumida en el cuadro I - 11.

AEROGENERADOR	LUGAR	FECHA	POTENCIA NOMINAL (KW)	VELOCIDAD NOMINAL (Km/hr)	DIAMETRO DEL ROTOR (m)	NUMERO DE ASPAS	VELOCIDAD NOMINAL DE ROTACION (rpm)
SMITH-PUTHAM	GRANDPA'S KNOB VERMONT E U	1941-45	1250	51	53	2	29
AEROWATT	FRANCIA	1957-65	800	72	32	3	47
NEYRPC	FRANCIA	1963-64	1000	61	35	3	
NEYRPC	FRANCIA	1960-63	132	45	21	3	
BALACLAVA	U R S S	1931-41	100	40	30	3	30
G E D S E R	DINAMARCA	1957-67	200	53	24	3	30
JOHN BROWN	ORKNEY, GRAN BRETAÑA	1950s	100	56	15	3	130
NASA/ERDA	SANDUSKY, OHIO E U	1975	100	29	38	2	40
F. L. SMIDTH (12 unidades)	DINAMARCA	1941-50s	60	35	17	2	VARIABLE
F. L. SMIDTH (6 unidades)	DINAMARCA	1943-50s	70	30	24	3	VARIABLE
ISLE OF MAN	GRAN BRETAÑA	1958-...	100	66	15	3	75

CUADRO I : 11

C A P I T U L O I I

PERSPECTIVAS DE RECURSOS ENERGETICOS EN MEXICO

ANALISIS DE LA SITUACION ENERGETICA DE MEXICO

En la figura II - 1 se muestra el balance de energéticos de México para el año de 1975. Puede verse que los hidrocarburos (petróleo y gas natural) representan el 86 % - de la energía primaria consumida en el país.

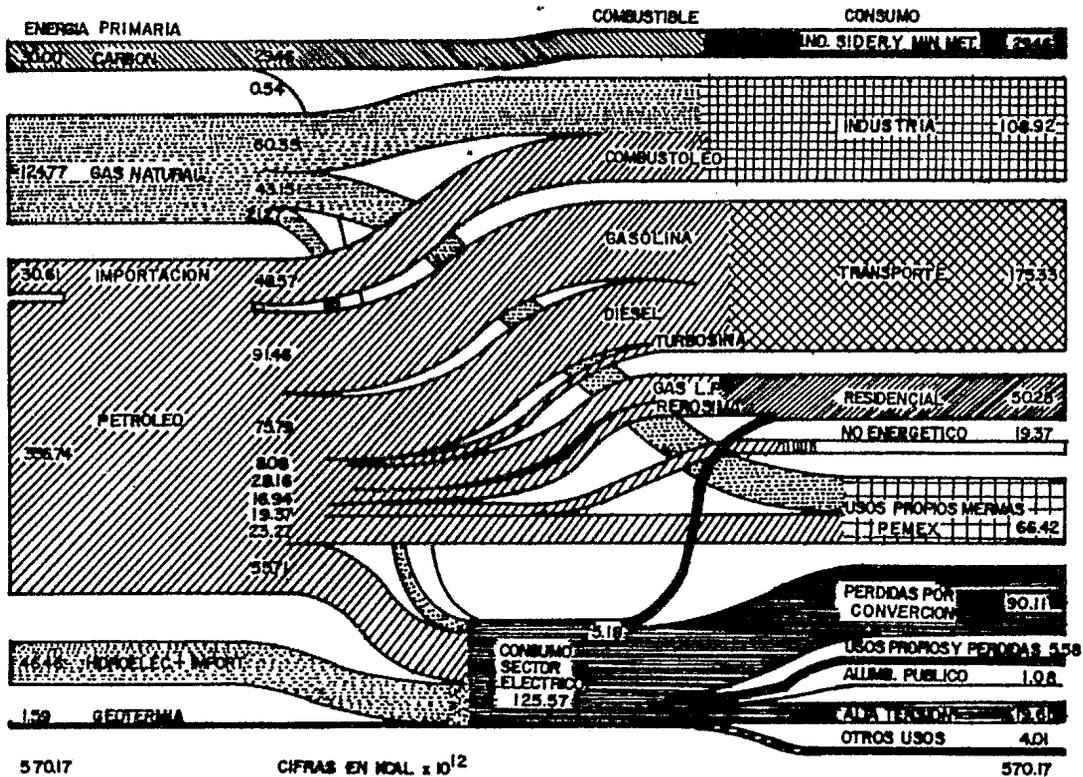
Se tiene actualmente una certeza razonable de que -- los recursos petroleros de México son suficientes para satisfacer las necesidades del país, por lo menos hasta los primeros años del próximo siglo pero, por otra parte, debemos prepararnos para la declinación de dichas reservas que se estima que, a nivel mundial, se iniciará hacia fines del siglo - XX.

Es necesario, por lo tanto, ir reduciendo la depen--dencia excesiva que actualmente se tiene de los hidrocarburo--ros como fuente de energía y es precisamente el sector Eléc--trico el que puede contribuir en mayor medida a esa reduc--ción, desarrollando el uso de otros energéticos para la generación de energía eléctrica.

Entre 1960 y 1974 el consumo de energía primaria -- creció en promedio al 7.7 % anual, para llegar al orden de - 500×10^{12} Kcal en 1974. Con estas tasas de crecimiento el consumo anual de energía primaria en 1980 sería de 780×10^{12} Kcal y de $1\ 600 \times 10^{12}$ Kcal durante 1990.

El petróleo y el gas han satisfecho en las últimas--décadas aproximadamente el 90 % de la demanda nacional de -- energía primaria, correspondiendo el resto esencialmente a - energía hidroeléctrica (aproximadamente la mitad de la demanda de energía eléctrica) y a carbón (para siderúrgica princi

BALANCE ENERGETICO 1975



BALANCE OFERTA-DEMANDA DE ENERGETICOS EN 1975

FIG. II-1

palmente). Al ritmo actual de crecimiento en el consumo, se anticipa que el petróleo y el gas contribuirán del orden de 700×10^{12} Kcal al total de la demanda de energía primaria esperada en 1980.

Los combustibles fósiles, particularmente el combustible, han adquirido una importancia creciente en la generación de electricidad. Mientras que las plantas hidroeléctricas generaban más del 50 % de la energía eléctrica en 1960, contribuyeron sólo 40 % en 1974. El carbón ha jugado hasta ahora un papel marginal. Así mismo, aunque todavía de manera muy limitada, las fuentes geotérmicas han empezado a explotarse; en la actualidad se tienen dos unidades de 37.5 Mw cada una, en Cerro Prieto, Baja California, operando desde 1973. La situación geopolítica mundial, la situación nacional de gran dependencia en los hidrocarburos para la satisfacción de las necesidades de energía, y la disponibilidad de otros recursos energéticos, han dado lugar a que el gobierno haya adoptado una política tendiente a diversificar las fuentes primarias de energía.

Para ello se ha tomado en cuenta que además del petróleo y el gas, cuyas reservas medidas a la fecha, equivalen al orden de 6 000 millones de barriles (el potencial, según algunas autoridades mundiales, podría estar comprendido entre 20 y 100 mil millones de barriles), México cuenta con carbón, reservas medidas del orden de mil millones de toneladas. Por otra parte para el uranio las reservas medidas son de 7 973 toneladas de U_3O_8 para fines de 1975. El potencial hidroeléctrico total aprovechable es, en teoría de 80 TWN por año (que equivale un valor de sustitución a 130 o 140 millones de barriles de combustible por año).

La necesidad de diversificar los insumos energéti--

cos obedece a una estrategia lógica, si México tiene muchos-hidrocarburos, el mercado mundial da la ocasión de utilizarlos para financiar el desenvolvimiento económico. Si no tiene suficientes hidrocarburos, los precios del mercado hacen imperativa su sustitución. De cualquier manera, existen presiones muy serias para tratar de alternar la situación actual de una dependencia en 90 % de los hidrocarburos. Y como mínimo esto debe hacerse en el sector eléctrico, donde la tendencia ha sido hacia una mayor utilización de hidrocarburos en la generación de electricidad. Como la energía de origen hidráulico es relativamente limitada, después de equipar los aprovechamientos posibles la sustitución tendrá que hacerse sobre todo mediante carbón y uranio.

H I D R O C A R B U R O S

(petróleo y gas)

E X P L O R A C I O N

Al iniciarse este período la situación de las reservas de hidrocarburos en el país era inquietante; además de su crecimiento lento, en 1971 hubo una ligera disminución. La propia relación entre la reserva y la producción disminuía francamente; la producción de petróleo y gas era insuficiente para cubrir la demanda interna.

Con el fin de contrarrestar esta situación las políticas exploratorias empleadas tradicionalmente, sufrieron un cambio radical en sus métodos y sistemas.

Los cambios introducidos llevaron al descubrimiento

de nuevas provincias petroleras que han puesto al país en -- una situación de privilegio.

Los prospectos petroleros económicamente atractivos comprenden las cuencas sedimentarias de origen marino cuya - extensión en el país alcanza 900 000 Km² en tierra y 400 000 Km² en las plataformas marinas del golfo de México y del Pa- cífico.

La producción petrolera de México ha provenido tra- dicionalmente de la planicie costera del golfo con una peque- ña contribución de su plataforma marina. Aunque algunas zo- nas de esta área ya han sido muy explotadas, aún queda gran- parte de petróleo por descubrir.

La actividad exploratoria del sexenio 1970-1976 se- distribuye a razón de 70% en el área antes mencionada; 10% - se ha aplicado a las plataformas marinas del golfo y de Baja California y 20% corresponde a reconocimientos preliminares- sobre una superficie aproximada de 500 000 Km². Los resulta- dos más trascendentales de toda la historia de Petróleos Me- xicanos corresponden al descubrimiento de la provincia cretá- cica de Chiapas-Tabasco donde se ubican los ricos campos de- Sitio Grande, Cactus, Samaria y Cunduacán, cuya producción - actual de 440 000 barriles por día, significa el 55% de la - nacional.

Otra área de importancia es la de Cotaxtla en Vera- cruz, donde se descubrieron hidrocarburos en rocas semejan- tes y de la misma edad; que las de Tabasco.

En Nuevo Laredo, Tams. se ha desarrollado activi- dad en dos franjas geológicas, lo que ha conducido al descu- brimiento de gas en sus alrededores y en dos nuevas estructu- ras, Anáhuac y Totonaca, que prometen mejorar el suministro-

de energéticos al norte del país.

Las exploraciones de Baja California desde Guerrero Negro hasta la Paz condujeron a la perforación de tres pozos que permitirán valorar las cuencas de Sebastián Vizcaino y - Purísima - Iray. Este trabajo se realiza en cooperación con el Instituto Mexicano del Petróleo.

Mediante los trabajos de exploración y la perforación de 562 pozos exploratorios y 1 569 de desarrollo en los primeros cinco años de este período, fueron descubiertos - - 2 559 millones de barriles y se incrementaron las reservas - de 5 567.5 millones de barriles que había a fines de 1970 a - 6 338.3 millones cuantificadas al terminar 1975.

Este período ha sido relevante y oportuno en la producción de hidrocarburos, pues se logró que el país pasara, - de una dependencia externa de materia prima, a una posición - de autosuficiencia, y de contar con excedentes para exporta - ción.

Esto sucedió precisamente durante la llamada crisis de energéticos, caracterizada por una elevación de 55% en el precio del crudo y sus derivados que puso en situación difícil a todos los países del mundo que requieren crudo extranjero. La producción de crudo y líquidos extraídos del gas - pasó de 177.3 millones de barriles en 1971 a 294.3 millones - de barriles en 1975, un incremento de 66%. Como referencia, el aumento fué de 63% con respecto al período entre 1960 y - 1970.

El aumento del 22% en la producción del gas, parece bajo, frente a la producción de líquidos; sin embargo, en este caso influye la inevitable demora en construir con oportunidad las plantas de tratamiento y las líneas de transporte-

a los centros de consumo; con todo es muy prometedor el resultado del esfuerzo exploratorio en el norte del país que condujo al descubrimiento de los campos de Nuevo Laredo y áreas anexas cuya producción de 63.2 millones de pies cúbicos por día, ya que se ha incorporado al sistema que alimenta los ductos del norte; el desarrollo de Anáhuac y Totonaca complementará el suministro futuro de gas a esa importante zona del país.

Es importante recalcar que durante el sexenio 1970-1976 se ha adquirido la autosuficiencia en petroquímicos básicos apoyada en los descubrimientos y explotación de los yacimientos de gas y aceite del área de Chiapas y Tabasco.

DEMANDA PROBABLE DE HIDROCARBUROS

(Millones de barriles de petróleo
crudo equivalente).

<u>AÑO</u>	<u>DEMANDA INTERNA</u>	<u>EXPORTACION</u>	<u>TOTAL</u>
1976(I)	19.6	38.9	458.5
1977	451.9	54.7	506.6
1978	486.6	54.7	541.3
1980	564.3	54.7	578.7
1981	598.0	54.7	652.7
1982	633.8	54.7	688.5
1984	712.1	54.7	766.8
1985	750.4	54.7	805.1
<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
1976-1985	5 811.7	531.2	6 342.9

(I) Programa

PROYECCION DE LA DEMANDA DE HIDROCARBUROS
AL AÑO 2 000

(Millones de barriles de petróleo crudo -
equivalente).

<u>AÑO</u>	DEMANDAS ESPERADAS	
	<u>MAXIMA</u>	<u>MINIMA</u>
1985	750.4	750.4
1990	1043.1	779.4
1995	1470.5	1052.0
2000	2077.8	1422.8

RESERVAS DE HIDROCARBUROS

(Miles de barriles de crudo equivalente al 1^o. de Enero indicado).

<u>AÑO</u>	<u>CRUDO</u>	<u>TOTAL</u>
1971	2 879 652	5 567 499
1972	2 837 062	5 428 308
1973	2 832 719	5 387 813
1974	2 846 838	5 431 704
1975	3 086 893	5 773 446
1976	3 431 144	6 338 313

PRODUCCION DE CRUDO Y GAS NATURAL EN PROMEDIO ANUAL DE 1971 A 1976. (Líquidos en miles de barriles por día; gas en millones de pies cúbicos por día).

<u>AÑO</u>	<u>CRUDO</u>	<u>LIQUIDOS</u>	<u>TOTAL LIQUIDOS</u>	<u>GAS</u>
1971	427.1	58.5	485.6	1 762.2
1972	442.0	60.3	502.3	1 803.9
1973	451.7	67.7	519.4	1 854.1
1974	574.8	77.5	652.3	2 040.2
1975	718.5	89.5	806.0	2 154.9
1976	826.9	108.0	934.9	2 101.0

U R A N I O

Las reservas conocidas de uranio en México son del orden de 6 000 toneladas de óxido de uranio, apenas suficientes para cubrir los requerimientos nucleoelectrónicos de la planta de laguna verde.

El desarrollo de un programa nucleoelectrónico importante será condicionado a que se compruebe la existencia de reservas nacionales de uranio en cantidad suficiente, ya que actualmente se prevé una escasez de uranio a nivel mundial, lo que incidirá en los precios internacionales del uranio y dificultará su adquisición en el extranjero.

También se prevé, para la década de los años ochenta, una insuficiencia a nivel mundial en servicios de enriquecimientos de uranio, lo que constituye uno de los factores para decidir el tipo de reactor y de combustible nuclear que debe adoptarse.

Se requiere también tomar una decisión en cuanto al tipo o los tipos de reactores que se adoptarán y desarrollar un programa de integración industrial para la fabricación creciente de componentes de plantas nucleoelectricas en el país.

El desarrollo de un programa nuclear de magnitud importante requiere resolver todos los problemas asociados con el ciclo de combustible, incluyendo el reprocesamiento, del combustible irradiado y la disposición de los desechos radioactivos.

Se considera indispensable que las decisiones que se tomen en cuanto al tipo de reactor nuclear y del combusti

ble correspondiente, proporcionen al país, en lo referente a la operación de las plantas nucleoelectricas, el mismo grado de independencia que se tiene actualmente en la operación de plantas termoeléctricas que utilizan combustibles fósiles.

Al igual que otros países, muchos especialistas de la energía en nuestro medio, tienden a considerar a la energía nuclear como una fuente de la que sería preferible prescindir.

Sus características especiales y sobre todo su origen bélico, la rodean de un halo de peligro, que interfiere con las consideraciones para demostrar su seguridad, en comparación con otras actividades de la sociedad industrial, -- cancelando prácticamente las evidencias que la operación de más de 200 reactores de potencia ha dado sobre su bondad.

Se observa cierta tendencia a considerar la energía nuclear como una alternativa, que puede ser sustituida por -- las fuentes convencionales e inclusive por fuentes cuya tecnología no se ha desarrollado todavía como el sol. La realidad es que la opción si existe; pero no se plantea entre la nuclear y la tradicional, sino entre la energía eléctrica de origen nuclear y las restricciones.

Aún cuando los adelantos científicos logrados hasta la fecha, permiten contemplar con optimismo la situación -- energética del siglo XXI, las fuentes asintóticas no estarán disponibles antes de que aparezca la declinación de los hidrocarburos, prevista, a nivel mundial, hacia fines del presente siglo. En el corto plazo, los países como México que cuentan con ellos, podrán seguir instalando centrales generadoras a base de petróleo o gas. Sin embargo, a pesar de que los recursos petroleros fueran realmente de la magnitud infe

rida mediante razonamientos fundados en consideraciones geológicas, las necesidades de energía eléctrica pronosticadas en nuestro país, con referencia a un escenario de desarrollo económico superior al crecimiento demográfico no podrán abastecerse con hidrocarburos, si éstos deben satisfacer también las necesidades del transporte y la industria.

El carbón, que tendrá un papel cada vez más importante en la economía energética nacional, sólo compete con la energía nuclear, en localidades relativamente cercanas a los yacimientos y además, su aprovechamiento implica inversiones cuantiosas en minas e infraestructura, con períodos de construcción largos y problemas sociales derivados de la propia labor minera.

Se sabe ya que el potencial hidroeléctrico teórico de México es insuficiente para satisfacer la demanda de electricidad. Se sabe también que muchos de los aprovechamientos por desarrollar implican inversiones inabordables, debido a sus características geológicas y por ello se estima, en el mejor de los casos, una contribución del orden del 15 % de la hidroelectricidad, en la generación necesaria para el año 2 000. Y esto suponiendo que la demanda de energía eléctrica crecerá a un ritmo inferior al histórico.

El sector energético nacional tiene una balanza comercial deficitaria con el exterior porque las exportaciones de crudo y productos no compensan la suma de importaciones de equipos y productos para PEMEX y CFE. La situación económica del país requerirá de considerables esfuerzos para aumentar las exportaciones de hidrocarburos, de preferencia a niveles que den un superávit en la balanza del sector, a fin de contribuir a satisfacer la demanda nacional de divisas.

Una parte de los hidrocarburos a exportar se obtendrá reduciendo los consumos nacionales con medidas de racionalización; el resto de los hidrocarburos para exportar deberá provenir de la diversificación de fuentes primarias de energía que, de no planearse a tiempo, tendrá el efecto de reducir las disponibilidades de hidrocarburos para el mercado nacional, hasta provocar las restricciones.

Cada kilowatt instalado en centrales grandes y modernas a base de combustóleo, consume del orden de 10 barriles si genera con el 75 % de factor de planta. Así, cada Kilowatt instalado en centrales nucleoelectricas ahorraría 10-barriles por año de petróleo. Si, con base a la información disponible, se considera una diferencia en costos de capital de 420 dólares por Kilowatt, entre la nucleoelectrica y la termoeléctrica, un precio de 11.25 dólares por barril y un costo del ciclo de combustible nuclear de 5.6 milésimos de dólar por KWN; utilizando barriles como la unidad de medida se concluye que gastando 37 barriles por cada kilowatt nuclear se dejan de quemar 202 barriles, durante los treinta años de operación de la planta, considerando que el ciclo de combustible nuclear también se paga en barriles. Esto es, cada barril de petróleo gastado en centrales nucleares permite ahorrar 4.46 barriles netos de petróleo.

Si los 40 000 Mw nucleares que la CFE prevé en sus programas nucleares para el año 2 000 hubieran de sustituirse por centrales a base de combustóleo, su consumo sería, durante 30 años de operación, de 12 000 millones de barriles, que son casi el doble de las reservas totales probadas de hidrocarburos a la fecha en México.

La energía nuclear representa un reto difícil, que ya se ve en Laguna Verde, Veracruz, pero precisamente por --

tratarse de un reto difícil, su aprovechamiento solo se logrará si se afronta en serio. Comprar un par de plantas en el exterior no permitirá desarrollar la infraestructura, que de acuerdo a los planes de CFE se requiere, para disponer -- del orden de 40 000 MW nucleoelectrónicos a fines del siglo. -- Sólo si se compromete un programa substancial para los próximos 12 o 15 años, será posible tener la escala para crear la estructura industrial que haga posible contar con suficiente electricidad en el año 2 000.

EXPLORACIONES EN BUSCA DE URANIO

Las exploraciones en busca de depósitos de minerales radioactivos pueden hacerse con mejor éxito, si se llevan a cabo en las siguientes áreas:

- I.- En donde anteriormente se haya encontrado minerales de uranio y torio. Las grandes áreas de granitos y rocas metamórficas (gneisses y esquitos) son altamente favorables para la existencia de depósitos de uranio y torio en forma de vetas.
- II.- En donde las condiciones geológicas sean semejantes a las de determinada región en la cual se hayan localizado con anterioridad yacimientos de minerales radioactivos.
- III.- En aquellos distritos mineros en donde existen yacimientos de otros metales, está indicado buscar en los afloramientos o crestones de los cuerpos minerales de estas áreas la presencia de manchas o coloraciones brillantes, especialmente de color amarillo limón, anaranjados.

jadas o verdes, que son indicadoras de la existencia de minerales de uranio. Las manchas rojas o cafés-rojizas de hematita en los afloramientos, son también -- frecuentemente buenos indicios.

La Comisión Nacional de Energía Nuclear, en vista de los estudios de carácter geológico realizados por ella -- hasta la fecha en el territorio de la República Mexicana, recomienda la prospección y exploración de las siguientes regiones o provincias metalogénicas:

- a).- Sierra Madre Occidental.- La Sierra Madre Occidental es una provincia que contiene en su extremidad Norte rocas sedimentarias del Cámbrico, Devónico, Mississípico, Pennsylvánico, Triásico, Jurásico y Cretácico. Tiene esta provincia estructuras geológicas altamente favorables para contener uranio y una intensa mineralización -- perfectamente comprobada. Una exploración metódica y concienzuda de la Sierra Madre Occidental indicará en -- donde se encuentran específicamente sus yacimientos de uranio.
- b).- Plataforma de Coahuila.- La Plataforma de Coahuila incluye partes de la mesa del Norte y de la Sierra Madre Occidental. Alrededor de la que paleogeográficamente se -- conoce como el área estable de la Península de Coahuila, existen sedimentos cuya edad geológica y composición litológica así como su carácter predominante litoral, tienen notable similitud estratigráfica como la formación "Morrison" del Jurásico Superior, en la meseta del Colorado, E.U.A. Las "trampas" para la depositación del -- uranio pueden ser en esta región los paleocanales; un -- cambio de permeabilidad en las rocas clásticas, ya sea en el sentido horizontal o vertical; una serie de frac-

turas; los flancos de un anticlinal o de un sinclinal; las terrazas estructurales; la presencia de materia carbonosa y de troncos solificados, o bien la existencia de concreciones calcáreas, etc. Estas diversas "trampas" o la combinación de ellas, existen de hecho en los sedimentos Jurásicos depositados alrededor de Coahuila y del Golfo de Sabinas, lo mismo que en los sedimentos mesozoicos de Oaxaca, Guerrero, Chiapas y Puebla.

- c).- Región Noroeste de la Planicie del Golfo.- La formación "Jackson", del Eoceno, contiene en la Región Sureste -- del Estado de Texas, E.U.A., algunos depósitos de Carnotita y de otros minerales secundarios de uranio, que -- son económicamente explotables. La mencionada formación Jackson tiene un amplio desarrollo estratigráfico en la Cuenca de Burgos, de la región noreste de México, y por lo mismo, es una zona propicia para contener depósitos minerales radioactivos. Existe también la posibilidad de que otras zonas de la planicie costera del -- Golfo de México, además de la ya mencionada, contengan depósitos de minerales radioactivos.
- d).- Altiplanicie Central.- La Altiplanicie Central, que es una combinación de las prolongaciones meridionales de -- la provincia de las Cuencas y las Cordilleras ("Basin -- and Range Province"), de los Estados Unidos, tiene características similares a las de estas áreas; por lo -- mismo, resulta favorable para contener depósitos de minerales radioactivos de carácter primario o secundario, a causa de su intensa mineralización así como por su se -- mejanza con las áreas uraníferas correspondientes de -- Arizona y Nuevo México, en los Estados Unidos. En esta región quedan incluidas varias localidades mexicanas -- del Estado de Chihuahua, que han demostrado ya contener

efectivamente depósitos de uranio: Placer de Guadalupe, El Solar, la zona aledaña a Ojinaga, la Sierra de Gómez, cuyos yacimientos de tyuyamunita tienen verdadera importancia industrial, y además la Sierra Chica de Gómez y la de Aldama en donde actualmente se han iniciado exploraciones.

e).- Valle de Oaxaca.- Una parte de esta provincia fisiográfica, en las inmediaciones de Telixtlahuaca, contiene numerosas pegmatitas, de las cuales la Comisión Nacional de Energía Nuclear ha extraído minerales de Uranio y Torio, principalmente: betafita y allanita y en menor cantidad, pechblenda, urano-thorita, autunota y manosita. Además, al noreste, norte y noreste de la ciudad de Oaxaca existen algunos sedimentos Jurásicos, de carácter continental, que presentan una gran semejanza con los de la meseta del Colorado, en los Estados Unidos, región ésta de donde se ha obtenido la mayor producción comercial de uranio de esa nación.

f).- Sierra de Chiapas.- Esta región de la república conocida también con el nombre de Macizo de Chiapas, ofrece condiciones geológicas muy favorables para la presencia de depósitos de minerales radioactivos. Existen allí rocas metamórficas y sedimentarias del Paleozoico y del jurásico, en sus linderos septentrional y noreste.

Se considera que hay también condiciones favorables para la existencia de "trampas" con minerales radioactivos, en las zonas de contacto entre la Sierra de Chiapas y los sedimentos de rocas metamórficas antes mencionados. No se debe descartar la posibilidad de que en el macizo de la Sierra de Chiapas haya indicaciones de mineralización uranífera que justifiquen la ejecución -

de exploraciones en esta amplia pero poco conocida y accesible región de la República Mexicana.

CICLO DE COMBUSTIBLE

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. El uranio se origina en depósitos minerales de diversos tipos con concentraciones que son, desde menos de un gramo de uranio por kilogramo de mineral, hasta varios gramos - por kilogramo de la mina, el mineral es llevado a una planta de beneficio, donde se eleva la concentración de uranio, en forma de UO_2 hasta valores comprendidos entre 70 y 90 %. - A este concentrado se le conoce comúnmente como "TORTA AMARILLA" posteriormente, el concentrado pasa por una etapa de refinación, en el cual se remueven los diluyentes no uraníferos, quedando el material puro.

Cuando es necesario enriquecer el concentrado se -- convierte en UF_6 ; éste es un compuesto gaseoso a temperatura de enriquecimiento. En estas plantas la concentración de -- $U-235$ se eleva hasta el valor requerido para su empleo en reactores enfriados y moderados por agua ordinaria. En el caso del combustible para las 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 conversión, donde el hexafluoruro se convierte en UO_2 . El UF_6 -empobrecido se almacena para su uso futuro. El enriqueci- - miento es un proceso mediante el cual se eleva la concentra-

ción del isótopo 235 por encima de la que tiene en el uranio natural.

Debido a la similitud de las propiedades químicas - entre los isótopos para efectuar la separación (enriquecimiento) debe recubrirse a procesos físicos. Entre los múltiples procesos desarrollados para separar isótopos existen actualmente sólo dos para enriquecer uranio. De hecho, únicamente uno de ellos puede considerarse hoy como comercial.

PROCESO PARA ENRIQUECER EL URANIO

- a).- Difusión gaseosa o molecular.- Este proceso se basa en un fenómeno descubierto en 1829 por Graham: La velocidad con la cual distintos gases atraviesan una membrana porosa, depende de su peso molecular. En el caso, del uranio se utiliza UF_6 gaseoso, esto se hace circular a través de un tubo de paredes porosas aproximadamente la mitad del gas se difunde a través de la barrera porosa y es enviada a la siguiente etapa de separación; la porción que no se difundió se recicla hacia la etapa de separación anterior, la corriente difundida queda ligeramente enriquecida en el isótopo 235 del uranio, y la otra corriente queda empobrecida proporcionalmente. Una planta de enriquecimiento consiste básicamente de un conjunto de etapas de separación en serie. Estas plantas se caracterizan por su alto consumo de energía porque la capacidad mínima económica es muy grande (del orden de 10 millones de UTS).
- b).- Centrifugación gaseosa o molecular.- El empleo de la centrifugación gaseosa para separar isótopos fué sugerido

do inicialmente por Lindeman y Astor en 1919. Esta separación se basa en un fenómeno más general, el de difusión por presión, producida en este caso por la fuerza centrífuga que depende del peso molecular del gas. El gas se mueve a lo largo del eje del rotor y la componente pasada tiende por la acción del campo centrífugo, a migrar hacia las paredes, el flujo central queda enri-- quecido en el isótopo más ligero, el 235, mientras que el flujo periférico quedará proporcionalmente empobrecido en este isótopo. Las características principales de este tipo de planta son de bajo consumo específico de - energía eléctrica (del orden de 10 % del que se requie- re de la difusión gaseosa), y un diseño modular que lo hace económicamente atractivo aún a capacidades relati- vamente bajas, (aproximadamente 0.5 millones de UTS); - pero con inversión unitaria mayor. Siendo una tecnolo- gía en etapa de desarrollo, las centrífugas necesitan - cambiarse frecuentemente y de hecho, se requiere un su- ministro constante de ellas.

c).- Toberas de separación.- Este proceso ha despertado interés, a pesar de estar en etapa de experimentación, de - este proceso existen dos variantes, una desarrollada en la República Federal Alemana y otra desarrollada en SudAfrica. En separación de isótopos se denota como "Uni- dad de separación" al elemento más pequeño en el cual - se efectúa una separación varios de estos elementos, co nectados en paralelo constituyen una "Etapa". Varias - etapas en serie forman, finalmente una "cascada". A la corriente empobrecida que sale de la cascada se le denota como las "colas del proceso". Es común expresar la capacidad de separación de una planta de enriquecimien- to en términos de "unidades de trabajo de separación --

(UTS). La UTS es una medida del trabajo por kilogramo de uranio en el producto, que debe efectuarse en una cascada para aumentar la concentración de U-235 entre dos valores que dependen de la concentración de U-235 en las colas. Así por ejemplo, si las colas tienen una concentración de U-235 del 0.2% se requerirá un UTS para elevar la concentración de un kilogramo de uranio de 0.711% a 1.375%.

Con el polvo de UO_2 se procede a fabricar las pastillas mediante un proceso de sinterizado (prensado y horneado), las pastillas se rectifican para darles la dimensión exacta y se colocan en tubos de Zircaloy para construir el elemento combustible.

La fabricación de los tubos de Zircaloy se realiza mediante procesos de extrusión, que requieran del orden de 30% más de material para pérdidas del proceso y rechazo por el estricto control de calidad.

Una vez fabricados los ensambles, se procede a su empleo en reactores, al finalizar su uso dentro del reactor (generación de energía, irradiación), se almacenan los elementos combustibles en albercas expresamente construidas al efecto dentro de la planta, durante períodos de 6 o más meses antes de ser enviados a una planta de reprocesamiento.

En la planta de reprocesamiento el Plutonio y el uranio residual se separan de los productos de fisión y posteriormente, uno de otro.

El primer paso consiste en fragmentar el material estructural (Zircaloy) y disolver los fragmentos en ácido. Siguen entonces varias etapas de extracción por solven-

tes, dando lugar a uranio y Plutonio descontaminados y a productos de fisión concentrados. El uranio y el Plutonio pueden ser reciclados y los desechos, que consisten principalmente de productos de fisión y actínidos - de vida media larga, son procesados y empacados para su disposición final, tras una residencia de unos 10 años - en la planta de reprocesamiento misma.

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DEL URANIO

Los sistemas de almacenamiento definitivo para los productos de fisión considerados viables en la actualidad, - son depósitos naturales (cavernas, minas de sal, etc.) en regiones geológicamente estables, para el futuro se prevén - - otras soluciones como la transmutación de elementos estables.

EXPLOTACION DE URANIO EN MEXICO

En el año de 1956 se creó la Comisión de Energía Nuclear, para entender al desarrollo de los usos pacíficos de la Energía Nuclear en México, tarea que comprende la localización de yacimientos de minerales radioactivos.

En el período comprendido entre 1956 y 1970, las inversiones realizadas en actividades de exploración de uranio, ascendió a una cantidad cercana a los 110 millones de pesos, lo cual dió como resultado, descubrimientos de interés en -- los estados de Chihuahua, Nuevo León y Tamaulipas y en menor medida en los estados de Sonora, Durango y Coahuila.

En el sexenio de 1970-77, coincidiendo con la creación del Instituto Nacional de Energía Nuclear, en sustitución de la antigua Comisión se impulsó en forma definitiva, la prospección de minerales radioactivos mediante la asignación de inversiones cada vez crecientes, como se puede apreciar en la gráfica II-1 y II-2.

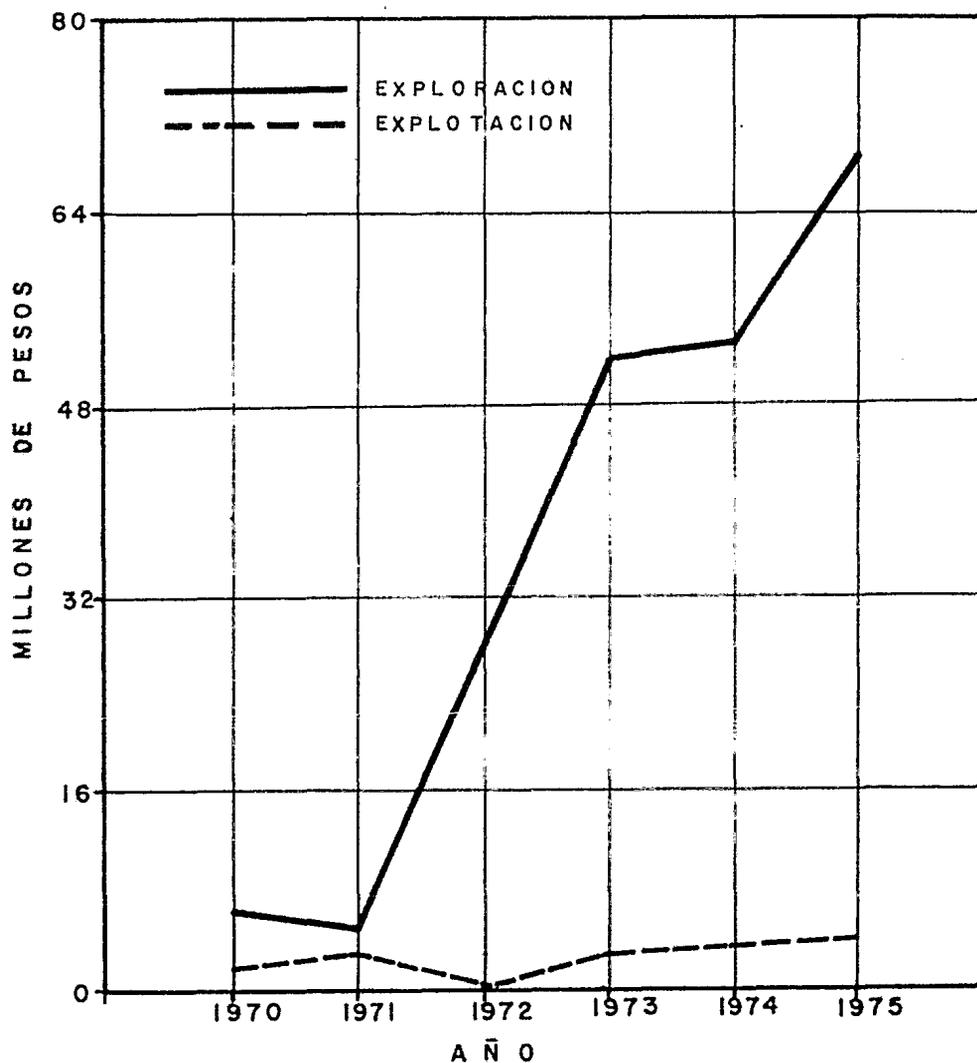
Como resultado de las cantidades destinadas a estas labores, se han incrementado de manera destacada las reservas nacionales de uranio, habiéndose aumentado de 650 toneladas de $U_3 O_8$, a cerca de 5 922 toneladas según se observa en la gráfica II-2.

RESERVAS DE URANIO EN 1975

El Instituto Nacional de Energía Nuclear, dió a conocer las cifras de las reservas nacionales -in situ- de minerales de uranio al 31 de diciembre de 1975.

Los datos se refieren únicamente a los estados de Chihuahua, Nuevo León, Sonora y Durango. Se reportan 7,972.8 toneladas de $U_3 O_8$ de las cuales el 75% son reservas positivas y el resto se califican como inferidas. En el estado de Chihuahua en las unidades minerales de El Nopal, Margaritas, Domitila, Nopal III, Puerto III y otras menores se acreditan un total de 4,619.8 toneladas de las cuales 1,850 se determinaron mediante perforaciones con espaciamiento amplio, por lo cual se consideraron como inferidas, comprendiendo en conjunto el 57.9% del total de las reservas nacionales; en el estado de Nuevo León, se ubicaron 2,668 toneladas distribuidas en las localizaciones conocidas como La Coma, Buenavista y El Chapote, aportando el 3.5% del total nacional; en el-

INVERSIONES EN EXPLORACION
Y EXPLOTACION EN MINERALES
RADIATIVOS EN MEXICO 1970-1975

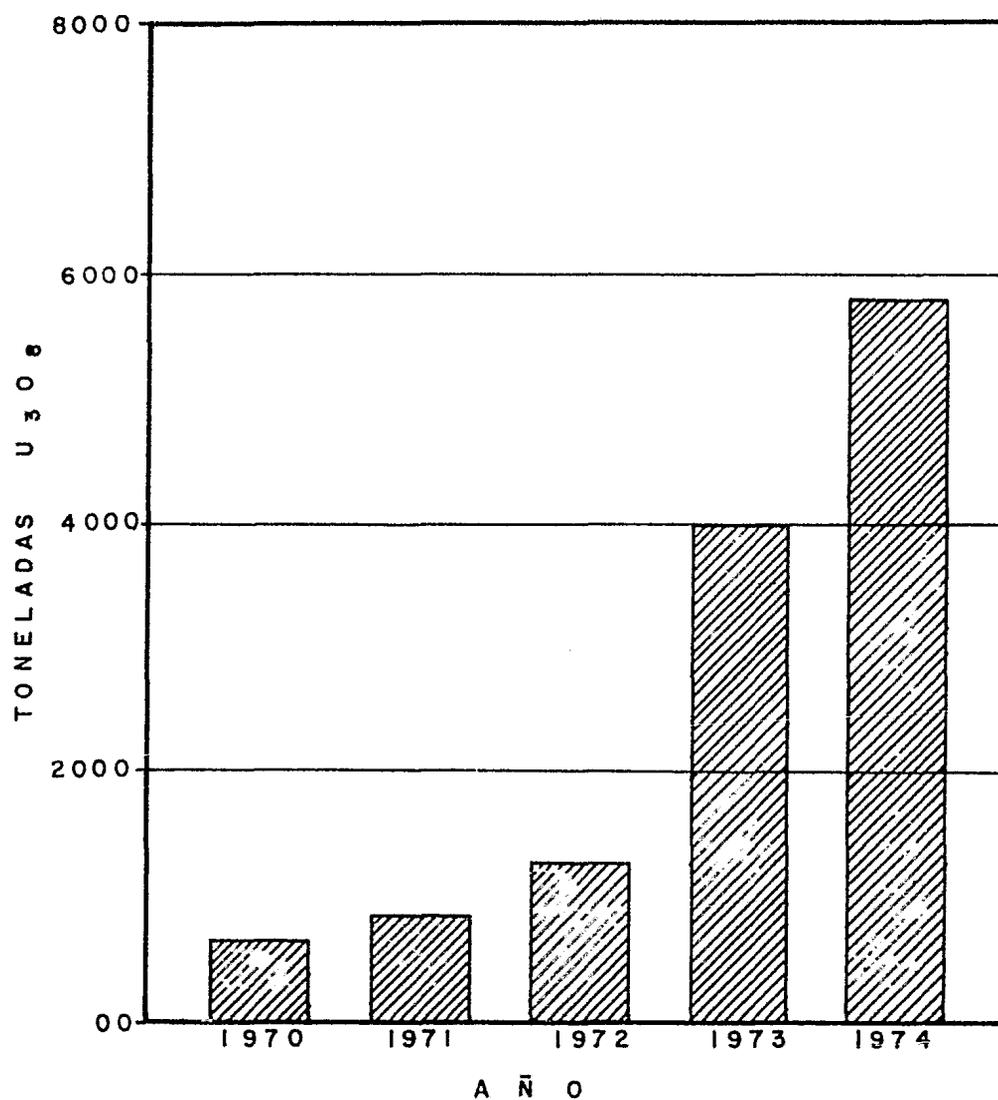


FUENTE:

Informes anuales de labores del instituto
nacional de Energía Nuclear

GRAF. II-1

INCREMENTO RESERVAS DE
URANIO EN MEXICO 1970-1974



GRAF. II-2

norte también, dentro del estado de Sonora en la ubicación minera conocida como Los Amolas se cuantificaron 475 toneladas, cantidad que representa el 6% del monto global de las reservas; en Durango se precisó una cifra de 210 toneladas comprendidas dentro del yacimiento La Preciosa que significa el 2.6% de la cantidad total de las reservas con las que cuenta el país.

En la gráfica II-3, se observa la evolución de las reservas nacionales de uranio.

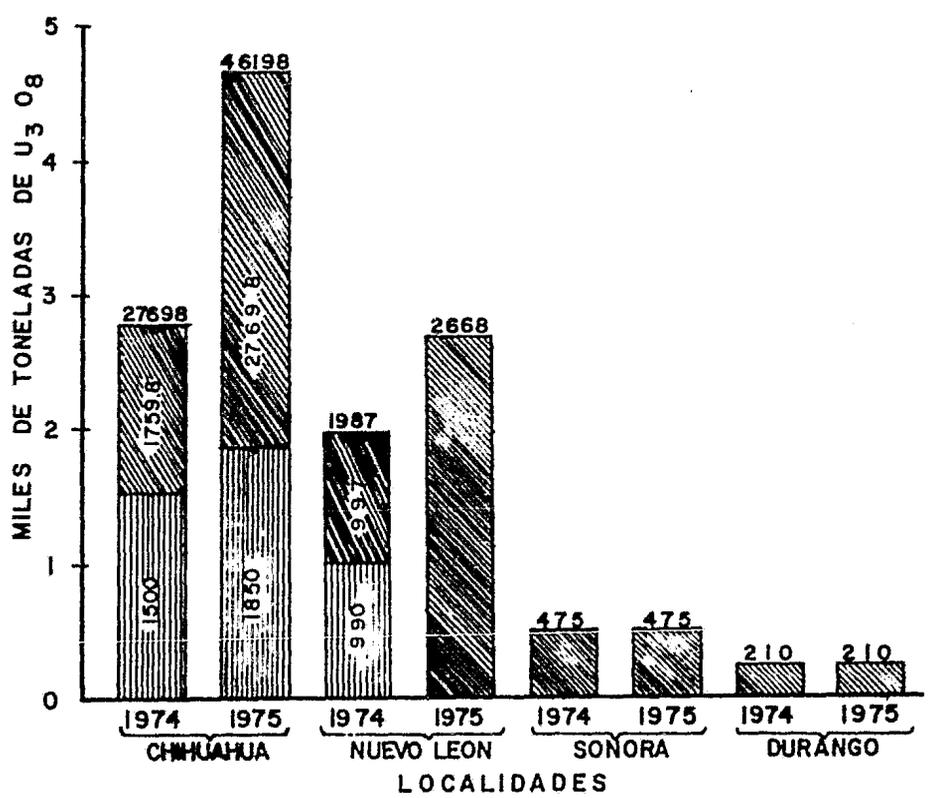
INDUSTRIAS DEL CICLO DE COMBUSTIBLE

Casi todos los países interesados en desarrollar un programa nucleoelectrico formal, se han preocupado de integrar, en la medida de lo posible, la industria del ciclo de combustible.

Los mayores productores de concentrados de uranio en el mundo son: LOS ESTADOS UNIDOS, CANADA, AUSTRALIA, SUDAFRICA y FRANCIA, lo cual refleja en parte que estos países son los que más esfuerzo han dedicado a la minería del uranio. Por lo que se refiere a servicios de conversión a UF_6 , la capacidad actual está concentrada en su mayor parte en Estados Unidos, Inglaterra, Francia, Canadá, Japón y los países Socialistas. La conversión directa de concentrados a polvo de UO_2 está circunscrita prácticamente a Canadá, Francia e Inglaterra, fabrican uranio metálico para sus reactores Gas-Grafito.

Por su carácter especial, el enriquecimiento del uranio y la fabricación de agua pesada se tratan por separado. Otra fase del ciclo de combustible, en la cual los paí-

EVOLUCION DE LAS RESERVAS NACIONALES
DE URANIO DE 1974 a 1975
- IN SITU -



- RESERVAS POSITIVAS
- RESERVAS INFERIDAS

FUENTE: INFORMES DE LA DIRECCION GENERAL DEL INSTITUTO
NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

GRAF. II - 3

ses interesados participan desde las etapas más preliminares de sus programas nucleoelectrónicos, ya que las inversiones necesarias son relativamente bajas. En consecuencia, los servicios de fabricación de combustible están bastante dispersos geográficamente.

El Circonio es un material esencial de los elementos combustibles para los reactores nucleares, en forma de una aleación denominada "ZIRCALOY" para el encamisado de las pastillas de óxido de uranio, natural o enriquecido y además, como elemento estructural de los arreglos de combustibles. En el caso de los reactores CANDU, el Zircaloy es además la materia prima para los tubos de presión. La tecnología de purificación y maquinado del Circonio está concentrada únicamente en dos compañías y tan sólo del orden de diez compañías fabrican tubos de Zircaloy.

La capacidad de reprocesado de combustibles irradiados es, por el momento, inferior a la demanda y sus perspectivas inmediatas son poco optimistas. En los Estados Unidos, las diferentes plantas proyectadas han sufrido retrasos considerables, tanto por motivos técnicos, como de licenciamiento. Existen tres plantas en construcción o proyecto con capacidad de 1 500 ton. U/año, cada una. La demanda es superior a la capacidad programada y probablemente las empresas eléctricas tendrán que almacenar el combustible irradiado durante algunos años, en las propias plantas nucleoelectrónicas, construyendo almacenes apropiados.

En Europa, la única firma que se dedica al reprocesamiento es United Reprocessors, consorcio formado por la Gran Bretaña, Francia y Alemania. En la actualidad sólo cuenta con una planta de 400 ton. U/año, también empleable a 800 ton. U/año, y Alemania planea una tercera planta de --

1500 ton. U/año para entrar en servicio en 1983.

CARBON

Se define al carbón mineral de origen orgánico como un mineral que se formó por un proceso de la descomposición y compactación de helechos, licopodios fanerógamas, coníferas, etc., y en algunos casos de restos de animales.

Las reservas positivas de carbón actualmente conocidas en México ascienden a 800 millones de toneladas y se localizan en el Estado de Coahuila. Se conocen yacimientos de menor importancia en Sonora y Oaxaca.

La producción anual de carbón es del orden de cinco millones de toneladas y es absorbida casi en su totalidad -- por la industria siderúrgica.

El uso del carbón como combustible para generar -- electricidad a escala comercial data del año de 1966, en el que la Comisión Federal de Electricidad inició la operación de la termoeléctrica Venustiano Carranza, en Nava Coahuila, -- con una capacidad instalada de 37.5 MW y la cual tiene un -- consumo aproximado de 150,000 toneladas al año.

La Comisión Federal de Electricidad ha explorado y -- cubicado 180 millones de toneladas de carbón no coquizable -- en el yacimiento de Río Escondido, cerca de Piedras Negras, -- lo que permite instalar una planta generadora con hasta cinco unidades de 300 MW. Se ha supuesto en forma conservadora, que será posible encontrar otros yacimientos, principalmente en la región de Coahuila, que permiten instalar otros 8,550-MW en plantas generadoras que utilicen carbón.

Debe considerarse que este programa de uso del carbón para generación de energía eléctrica es un programa mínimo, que podrá ampliarse si las futuras exploraciones comprueban que las reservas de carbón son mayores de lo que actualmente se conoce.

Al precio del carbón considerado en los estudios de C.F.E. que es de 232 pesos por tonelada, o sea algo más alto que los actuales precios nacionales, la generación con plantas que utilicen carbón resulta más barata que con plantas - nucleoeeléctricas.

Por lo tanto, una mayor disponibilidad de carbón o un desarrollo más acelerado de este tipo de plantas que el - supuesto es los estudios, daría como resultado una reducción del programa nucleoeeléctrica.

PRINCIPALES ELEMENTOS QUE LO COMPONEN

Derivados de la madera, materiales vegetales como - son: Carbón, hidrógeno y oxígeno junto con pequeñas cantidades de azufre y nitrógeno, conteniendo como materias volátiles dióxido de carbón, metano y compuestos aceitosos (alquitrán y brea) que a su vez contienen amoniaco, tolueno, naf--tas y creosotas.

CLASIFICACION GENERAL DE LOS CARBONES MINERALES

La clasificación general del carbón mineral en función de sus caracteres fisicoquímicos y de la relación entre carbón fijo y materias volátiles es la siguiente:

PORCIENTO DE CONTENIDO EN SECO Y LIBRE DE CENIZA

TIPO DE CARBON	CARBON	HIDROGENO	OXIGENO	MATERIAS VOLATILES
Antracita	92-94	3-4	3-4	Menos del 15
Bituminoso	75-90	4-5	5-20	18-40
Lignito	65-75	5	15-25	40-50

TIPO DE CARBON	PODER CALORIFICO (B.T.U./lb)
Antracita	14,000 - 16,000
Bituminoso	11,000 - 16,000
Lignito	4,900 - 8,900

Dentro de esta clasificación general, a su vez se clasifican tipos de carbón intermedios con características igualmente intermedias, colocados en el siguiente orden.

GRUPO	CLASIFICACION INTERMEDIA
antracita	meta-antracita
 semi-antracita
 de volatilidad baja
Bituminoso	de volatilidad media
 de volatilidad alta
Lignito	de carbón pardo

USOS DEL CARBON MINERAL

El lignito y la antracita son utilizados principalmente como combustibles para generar energía eléctrica, o sea como productos energéticos.

El coque; producto que se obtiene mediante un proceso de fusión en el cual se elimina el contenido de materias volátiles y se eleva el contenido de carbón fijo. El coque es utilizado en la industria siderúrgica, la cual lo emplea como combustible y básicamente como reductor para transformar el mineral de hierro, en arrabio o hierro de primera fusión, así mismo es utilizado en la industria metalúrgica de los minerales no ferrosos.

PRINCIPALES REGIONES CARBONIFERAS

Las principales regiones carboníferas que se conocen hasta la fecha, se encuentran localizadas en los estados de Coahuila, Sonora y Oaxaca. En el estado de Coahuila existe la presencia de 2 regiones, una de ellas localizada en las inmediaciones y al sur de Sabinas y Nueva Rosita, integradas por ocho cuencas carboníferas conocidas con los nombres de Sabinas, las Esperanzas, Saltillito, Lampacitos, San Patricio, Las adjuntas, Monclova y San Salvador.

La segunda región se encuentra localizada en la parte noroeste del estado de Coahuila, cercana a la ciudad de Nava, comprendiendo la cuenca carbonífera conocida con el nombre de Río Escondido o de Fuente, cuyo carbón corresponde al tipo bituminoso de volatilidad alta y flama larga, con características poco favorables para ser transformado en coque

desde el punto de vista económico, utilización para fines -- energéticos, en la generación de energía eléctrica.

En el estado de Oaxaca existe el área carbonífera -- conocida con el nombre de la Mixteca la cual comprende las -- cuencas de el Consuelo, Mixtepec y Cuenena cuyo carbón co-- rresponde el tipo antracítico con características no coquiza-- bles y que actualmente no presenta valor comercial, tanto -- por su lejanía de los centros de consumo, como por sus reser-- vas limitadas. En el estado de Sonora existen dos cuencas -- carboníferas una de ellas conocida como San Marcial y la -- otra como Santa Clara correspondiendo el carbón de estas -- cuencas el tipo antracítico y debido a la lejanía de las -- vías de comunicación, no se han explotado estos yacimientos.

CUENCAS CARBONIFERAS

	longitud	ancho	profundidad
CUENCA DE SABINAS	62 Kms	24 Kms	500 metros
CUENCA DE LAS ESPERANZAS	34 "	7 "	1,100 "
CUENCA DE SALTILLITO	47 "	23 "	1,400 "

De acuerdo a la información disponible, durante el-- año de 1975 el consumo nacional de carbón mineral disminuyó-- un 3% respecto a 1974 el consumo de la industria siderúrgica que es del orden del 84%. Registró un descenso del 2.5%, -- consecuencia de la disminución del 2.3% en la producción de-- las fundiciones de acero.

La rama minero-metalúrgica 14% del consumo nacional

utilizó 3% menos que en 1974. El consumo de carbón para -- otros usos disminuyó en un 2.4%.

El sector eléctrico, que representa el 2%, consumió un 13.3% menos que en el ciclo anterior.

La producción nacional de carbón mineral lavado resultó superior en un 2.4 % en tanto que la de coque disminuyó en 3.9 %.

Las importaciones de carbón mineral lavado se elevaron en un 50 % en tanto que las de coque se redujeron al 50%.

La producción nacional de carbón "todo uno" disminuyó en un 2.5 %; la de carbón lavado en 2.6 % en tanto que la de coque aumentó el 1 %.

DISPONIBILIDAD Y CONSUMO DEL CARBON

	1970	1971	1972	1973	1974	1975
	(miles de toneladas)					
1.- Producción de -- carbón mineral-- "todo uno"	2 959	3 513	3 614	4 263	5 166	5 037
2.- Disponibilidad-- de carbón mine-- ral lavado	1 825	2 248	2 431	2 600	3 216	3 293
a) nacional	1 672	1 985	2 042	2 409	2 919	2 486
b) importado	153	263	389	191	297	447
3.- Disponibilidad-- de coque	1 760	18 838	2 192	2 284	2 778	2 190
a) nacional	1 300	1 589	1 756	1 935	2 071	2 088
b) importado	460	249	436	349	207	102

	1970	1971	1972	1973	1974	1975
	(miles de toneladas)					
4.- Consumo del carbón mineral	4 133	4 315	4 949	5 532	5 591	5 822
a) siderurgia	3 416	3 626	4 146	4 640	5 000	4 875
b) minero metalúrgica	576	604	693	774	855	829
c) eléctrica	121	85	110	115	136	118

CLASIFICACION Y CALIDAD DEL CARBON

REGION:

CLASIFICACION:

COAHUILA:

Cuenca de Sabinas y adyacentes.

Carbón Bituminoso de volatilidad media a baja.

Cuenca de Río Escondido

Carbón Bituminoso de volatilidad alta y flama larga.

SONORA:

Cuenca de San Marcial y Santa Clara.

Carbón Antracítico o meta-antracítico.

OAXACA:

Cuenca de la Mixteca

Carbón sub-antracítico y algo bituminoso.

ANALISIS QUIMICO Y PODER CALORIFICO
DEL CARBON "TODO UNO"

COAHUILA:	% carbón fijo	% materias volátiles	% cenizas	B.T.U./lb.
<u>Cuenca de Sabinas</u>				
Mina No. 5 Rosita	41.3	22.8	35.9	-----
Mina Sabina No. 2	41.3	21.7	37.0	-----
Mina No. 5	52.0	19.0	28.5	-----
Mina Don Evaristo	36.0	18.5	46.3	-----
Mina la Saucedá	38.0	18.5	43.5	8 345
Mina Mimosa No. 1	41.3	18.5	40.6	8 766
<u>Cuenca de Saltillo</u>				
Tajo zona poniente	35.0	20.0	45.0	-----
Mina San Pedro	50.0	21.0	29.0	-----
Mina la Escondida	51.0	20.0	29.0	-----
Tajo 1 y 11	45.0	18.5	36.9	9 321
Tajo III	41.3	16.0	42.7	8 458
Mina florida I	36.8	17.8	45.5	8 052
Minas Barroteran I, II y III	42.1	16.0	41.9	8 577
Minas la Luz I, I I/II y II	55.0	28.0	17.0	-----
<u>Cuenca de las Esperanzas.</u>				
Mina IV I/II	40.7	20.0	40.7	-----
<u>Cuenca de Río Escondido</u>				
Mina I (C.F.E.)	40 - 50	32 - 40	18 - 21	10 000
SONORA:				
<u>Cuencas de San Miguel y Santa Clara</u>				
	70 - 75	4 - 5	10 - 12	11 500
OAXACA:				
<u>Cuenca de la Mixteca.</u>				
	32 - 40	15 - 18	30 - 35	-----

TRATAMIENTO METALURGICO DEL CARBON
MINERAL "TODO UNO"

El carbón mineral que se produce en México es de -- tal naturaleza que, en términos generales, se puede catalo-- gar de mala calidad, ya que tiene un bajo contenido de car-- bón fijo (45 a 50%) en comparación con el de otros países. - En consecuencia, su contenido de materias volátiles y de ce-- niza alcanza, en su conjunto, a veces hasta el 55%. Esto ha ce que necesariamente el carbón tenga que ser lavado para re-- ducir el contenido de ceniza y poder así ser coquizado.

En virtud de que el carbón mineral "todo uno" que - se obtiene en las explotaciones mineras, contiene un alto -- porcentaje de cenizas, hay la necesidad de sujetarlo a un - tratamiento de lavado se hace en instalaciones metalúrgicas-- conocidas con el nombre de PLANTAS LAVADORAS.

Las cenizas contenidas en el carbón mineral "todo - uno" están constituidas por lo que podría llamarse dos tipos de cenizas y las cuales son:

a) CENIZAS INTRINSECAS.- Las cenizas intrínsecas son aque-- llas que dependen de la naturaleza de la vegetación y de las condiciones bajo las cuales tuvo origen el propio depósito - de carbón. Estas cenizas, en los yacimientos de carbón, al-- canzan en promedio un porcentaje del 8 al 9% en aquellas ban-- das de carbón sumamente puro.

b) CENIZAS EXTRINSECAS.- Las cenizas extrínsecas son aque-- llas que dependen de las bandas de arcilla y pizarra que se-- encuentran intercaladas en los mantos de carbón y la canti--

dad de materia estéril proveniente del techo y piso de los -
mismos, como consecuencia de la ejecución de los trabajos de
explotación.

Teóricamente, el tratamiento de lavado del carbón -
mineral "todo uno" sería el de separar totalmente las cenizas
extrínsecas; por dicha teoría se encuentra limitada por-
el factor económico, por lo que sólo es posible reducir el -
contenido de cenizas a un porcentaje del 15 a 17%.

En 1973, las plantas lavadoras, en conjunto, benefi-
ciaron 3.912,784 toneladas de carbón "todo uno" y se obtuvie-
ron como consecuencia de dicho beneficio 1.846,814 toneladas
de carbón ya lavado.

Las cifras anteriores demuestran, en términos de pe-
so seco, lo siguiente:

- a) Que para obtener una tonelada de carbón lavado es neces-
ario procesar 2,119 toneladas de carbón "todo uno".
- b) Que la "recuperación" de carbón lavado respecto al carbón
"todo uno" es del 47.20%.

Los límites de la calidad del carbón "todo uno" su-
jeto al tratamiento de lavado, así como los del carbón ya la-
vado son los siguientes:

	Porcentaje carbón "todo uno"	Porcentaje carbón lavado
carbón fijo	35 - 52	60 - 62
materiales volátiles	19 - 22	22 - 24
ceniza	17 - 46	15 - 17
azufre	1 - 1.1	0.9
humedad	5 - 7	8 - 9

El análisis de cribas del carbón "todo uno" sujeto al tratamiento de lavado, que alimenta a los hornos de coquización, en promedio, es el siguiente:

<u>CRIBAS</u>	<u>%</u>
+ 1/4"	8
-1/4" a -1/8"	12
-1/8"	80

Las plantas lavadoras, en forma individual, reportan diferentes porcentajes de "recuperación" los cuales dependen principalmente de los contenidos de ceniza y de finos en el carbón mineral "todo uno" beneficiado y del equipo metalúrgico con que cuenta la planta lavadora.

En el caso particular de la cantidad de finos contenida en el carbón mineral "todo uno" se hace la observación de que dicha cantidad es mayor en aquel carbón mineral que es minado con equipo mecanizado de "Frente Larga" y "Mineros Continuos".

Se hace la observación que la producción de carbón "todo uno", proveniente de las minas La Luz I, I/II y II de la Cía. Carbonífera de San Patricio, S.A. no pasa por las plantas lavadoras. Estas minas producen un carbón mineral con un bajo contenido de ceniza (17%).

Las plantas lavadoras que están en operación en el área de Sabinas, son las siguientes:

- 1.- Planta lavadora de Palaú. Esta planta está en Palaú y es operada por la Cía. Carbonera La Saucedá, S.A. (fi -

lial de Altos Hornos de México, S.A.) teniendo una capacidad instalada de lavado de 350 toneladas por hora. La producción de carbón lavado de esta planta es remitida a Monclova, lugar donde Altos Hornos de México, S.A. tiene instalada su planta coquizadora; haciéndose el envío por ferrocarril.

- 2.- Planta lavadora de Barroterán. Esta planta está ubicada en Barroterán y es operada por la cía. minera de Gpe. -- S.A. (filial de Altos Hornos de México, S.A.) y tiene una capacidad instalada de lavado de 230 ton. por hora.

La producción de carbón lavado de esta planta, también es enviada a Monclova para su coquización y su envío se hace por ferrocarril y camiones.

- 3.- Planta lavadora en las Esperanzas. Esta planta está ubicada en las Esperanzas por Hulera Mexicana, S.A. (filial) de Fundidora Monterrey, S.A.; teniendo una capacidad instalada de lavado de 350 ton. por hora.

Las instalaciones de la planta se encuentran localizadas junto a las de la planta coquizadora que opera la misma empresa que se cita.

- 4.- Planta lavadora de Rosita. La planta está ubicada en Rosita y es operada por Asarco Mexicana, S.A. teniendo una capacidad instalada de lavado de 200 ton. por hora.

Las instalaciones de la planta se encuentran localizadas junto a las de la planta coquizadora de la misma empresa que se menciona.

	Carbón "todo uno" beneficiado		Carbón lavado producido	
	toneladas	%	toneladas	%
Planta lavadora de Barrioterán Cía. minera de Gpe. S.A.	897 584	32	440 532	24
Planta lavadora en Palaú Cía. carbonífera La Saucedá S.A.	648 363	16	267 374	14
Total Altos Hornos de México, S.A.	1 545 947	39	707 906	38
Planta lavadora en las Esperan- zas; Hulera Mexicana, S.A.	1 476 421	38	672 520	37
Planta lavadora en Rosita Asarco Mexicana, S.A.	890 416	23	466 388	25
TOTAL	3 912 784	100	1 846 814	100

La relación de carbón "todo uno" a carbón lavado y las "recuperaciones" en términos de peso seco, en cada una de las plantas lavadoras son las siguientes:

Planta lavadora	Relación de carbón "todo uno" a carbón lavado	Recuperación en %
Barroteran	2.038 a 1	49.08
Palaú	2.425 a 1	41.24
Las Esperanzas	2.195 a 1	45.55
Rosita	1.909 a 1	52.38
Promedio	2.119 a 1	47.20

Costo de lavado. En virtud de que los costos de -- operación del tratamiento de lavado, varían en función de -- las características propias de cada planta lavadora, así como las del carbón "todo uno" beneficiado, sólo se dan a conocer los límites entre los cuales fluctúa el costo de este -- tratamiento por tonelada de carbón ya lavado, cuyos límites -- son de 32 a 45 pesos.

REGIONES CARBONIFERAS EN PRODUCCION

Actualmente la única región carbonífera que es objeto de trabajos de exploración es la de "Coahuila" en virtud de que las industrias siderúrgicas integradas, principalmente son los consumidores del carbón, se encuentran localizadas en Monclova, Coahuila y Monterrey N.L. la C.F.E. tiene -- instalada una planta termoeléctrica de 37 500 Kw. en Nava, -- Coahuila que utiliza como combustible carbón mineral.

En la región de "coahuila" las zonas de explotación se encuentran localizadas en las cuencas carboníferas de Sabinas, Saltillito, Las Esperanzas, Río Escondido o fuente. -- Las Regiones de Oaxaca y Sonora, a la fecha no se han explo-

tado por su lejanía de los centros siderúrgicos o de consumo, además de las primeras investigaciones indican que el carbón, en su mayor parte, no es coquizable, como en el caso de la - región de Oaxaca.

Enseguida observamos la producción del carbón "todo uno" en base a las cuencas que le dieron origen desde 1890-- 1973.

PRODUCCION DEL CARBON "TODO UNO"

CUENCA CARBONIFERA	TONELADAS	%
SABINAS	1 942 874	45 64
SALTILLO	1 940 195	45 58
LAS ESPERANZAS	253 180	5 95
DE FUENTE (RIO ESCONDIDO)	118 546	2 78
SAN PATRICIO	1 793	-----
	<hr/>	<hr/>
TOTAL:	4 256 588	100 00

COSTOS DE EXPLOTACION

El costo de explotación por toneladas de carbón "to do uno" puesta en boca-mina, depende del sistema de explotación, grado de mecanización y condiciones bajo las cuales se ejecutan los trabajos de mecanización y condiciones bajo las cuales se ejecutan los trabajos de explotación, tales como -

profundidad y espesor del manto de carbón, características - del piso y techo plegamientos, presencia de fallas y gases,- y grado de eficiencia de los operadores.

Los costos de explotación en las minas carboníferas de la región de "COAHUILA" varían de una mina a otra por lo que sólo indican en forma general los costos según los sistemas de explotación.

Sistemas de Explotación	Costo por tonelada de carbón "todo uno" puesta en boca-mina.
A cielo abierto (tajos)	60 - 75 pesos
Frente Larga	90 - 105 "
Salones y Pilares (minero continuo)	135 - 150 "
Salones y Pilares (picos manuales y neumáticos)	115 - 210 "
Pozos (cuartos y pilares)	75 - 90 "

RESERVAS DE CARBON MINERAL

La cuantificación de las reservas de carbón "in-situ", según las categorías que se indican, muestran las cifras siguientes:

MILES DE TONELADAS METRICAS

CUENCA	medidas	indicadas	inderidas	posibles	total
Sabinas	125 650	40 210	397 010	714 570	1 277 440
Las Esperanzas	159	-----	77 625	94 665	172 449
Saltillito	35 192	42 482	9 634	576 328	663 636
San Patricio	2 809	20 600	-----	1 300 591	1 324 000
Las Adjuntas	954	281	468	-----	843
Monclova	-----	-----	-----	5 616	5 616
San Salvador	94	281	468	-----	843
TOTAL:	164 858	106 382	522 137	3 202 480	3 995 857

Categorías o Tipos de Reservas de Carbón

Reservas Medidas: Cantidad de mineral calculado con medidas hechas en el afloramiento en zanjas, en labores mineras y en barrenos y para esto, la separación entre -- los puntos de donde se tiene información no debe exceder de 250 metros.

Reservas Indicadas: cantidad de mineral calculado en parte -- por medidas directas y en parte proyectado los mismos datos en una distancia razonable, de acuerdo con la -- evidencia geológica. En general, la distancia entre -- los puntos de observación no es mayor de un kilómetro.

Reservas Inferidas: cantidad de mineral calculado principalmente sobre la información geológica, en relación con los espesores y continuidad de los estratos apoyada -- por unas cuantas observaciones en puntos que distan -- hasta 4 kilómetros entre sí.

Reservas Posibles: incluyen carbón que por muchas razones, -- no pueden clasificarse dentro de las tres categorías -- citadas. En el área de Sabinas las reservas posibles incluyen carbón lenticular y carbón con un elevado -- contenido de ceniza. En las otras cuencas, las reservas están clasificadas como posibles para aquellas -- áreas donde la línea de afloramiento no se ha determinado con exactitud, o donde no se ha demostrado que -- existe carbón, según la información disponible.

ESPESORES DEL MANTO DE CARBON EN METROS

Cuenca	Medidas	Indicadas	Inferidas	Posibles
Sabinas	1.70	1.60	1.60	1.40
Las Esperanzas	1.70	1.60	1.60	1.40
Saltillito	1.70	1.60	1.60	1.40
San Patricio	1.20	1.20	----	1.20
Monclova	----	----	----	1.50
San Salvador	1.50	1.50	1.50	----

Para estos cálculos se usó un peso específico igual a 1.56 y los espesores igual a 1.56.

RESERVAS EN MILES DE TONELADAS

Cuenca	Positivas	Probables	Posibles	Total
Sabinas	217 919	82 258	645 254	945 431
Las Esperanzas	5 332	-----	78 036	83 368
Saltillito	101 302	23 400	345 384	470 086
San Patricio	6 231	-----	220 689	226 920
Las Adjuntas	-----	-----	212 772	212 772
TOTAL	330 784	105 658	1 502 135	1 938 577

Estas reservas corresponden a mantos de carbón con-

un promedio de 1.50 m. de espesor y a no más de 330 m. de -- profundidad, y su clasificación es del tipo carbón mineral - coquizable. Para efectos de cálculos se usa un peso específico de 1.40 m. y salvo el caso de las reservas positivas, - las áreas correspondientes a las probables y posibles se - - efectuaron en un 50 % por los conceptos de lenticularidad, - carbón con alto contenido de cenizas y pequeño espesor de -- los mantos de carbón. En la región de río Escondido del Estado de Coahuila la cuantificación muestra la cifra siguiente:

MILES DE TONELADAS (reservas)

Positivas	Probables	Posibles	Total
50	---	---	50

Estas reservas corresponden al tipo de carbón mineral NO COQUIZABLE.

La cuantificación de las reservas de carbón en los Estados de Oaxaca y Sonora son las siguientes:

MILLONES DE TONELADAS (reservas)

<u>Estado</u>	<u>Cuenca carbonífera</u>	<u>Positivas</u>	<u>Probables</u>	<u>Posibles</u>	<u>Total</u>
Oaxaca	La Mixteca	6 557	26 359	30 272	63 188
Sonora	San Marcial	2 060	4 725	9 120	15 905
	Santa Clara	235	1 124	4 506	5 865
	Sub-total:	2 295	5 849	13 626	21 770
	TOTAL:	8 852	32 208	43 898	84 958

Estas reservas corresponden al tipo de carbón mineral NO COQUIZABLE.

MILES DE TONELADAS DE CARBON MINERAL

<u>Clasificación</u>	<u>Coquizable*</u>	<u>%</u>	<u>No cotizable*</u>	<u>%</u>	<u>Total</u>	<u>%</u>
Positivas	330 784	17.06	58 852	43.61	389 636	18.79
Probables	105 658	5.45	32 208	23.87	137 866	6.69
Posibles	1 502 135	77.49	43 898	32.52	1 546 030	73.50
TOTAL:	1 938 577	100.00	134 958	100.00	2 073 530	100.00

* Cuenca de Sabinas y cuencas adyacentes, Coah.

** Río Escondido, Coah., Sonora y Oaxaca.

Reservas positivas o medidas: cantidad de mineral calculado en base a mediciones, datos cualitativos y cuantitativos, obtenidos en afloramientos, zanjas, labores mineras y barrenos, con la condición de que la separación entre los puntos de donde provienen dichos datos no exceda de 500 metros.

Reservas probables o indicadas: cantidad de mineral calculado en base a mediciones datos cualitativos y cuantitativos, obtenidos en afloramientos, zanjas, labores mineras y barrenos con la condición de que la -

separación entre los puntos de donde provienen dichos datos no exceda de 1,000 metros.

Reservas posibles o inferidas: cantidad de mineral calculado principalmente sobre información geológica relacionada con los espesores y continuidad de los estratos, - que se apoya por observaciones en puntos que distan - entre sí más de 1,000 metros.

La recuperación de los subproductos derivados de la coquización del carbón se realiza en instalaciones anexas a las de las plantas coquizadoras, obteniéndose según el grado de integración de las instalaciones los sub-productos siguientes: como productos primarios, alquitrán, sulfato de amonio y aceite ligero y derivados de éstos se producen naftaleno, -- creosota, brea de alquitrán, benceno, tolueno, xileno y naftas. Después de las recuperaciones anteriores, queda el gas de coque limpio que se utiliza como combustibles en los quemadores de: baterías de hornos, estufas de altos hornos y plantas de fuerza.

El orden de la capacidad instalada de las plantas - de sub-productos se muestra a continuación:

TONELADAS POR AÑO

<u>Sub - productos primarios</u>	<u>Ahmsa</u>	<u>Asarco</u>	<u>Hullera</u>	<u>Total</u>
Alquitrán	36 000	9 500	21 000	66 500
Sulfato de amonio	12 000	3 200	-----	15 200
Aceite ligero	9 000	2 400	-----	11 400
Gas	450 mm m ³	120 mm m ³	250 mm m ³	830 mm m ³

Derivados de alquitrán y aceite ligero

Naftaleno	2 850	250	<hr/>	3 100
Creosota	10 500	2 800	<hr/>	13 300
Brea de Alquitrán	22 500	6 000	<hr/>	28 500
Benceno	6 750	1 800	<hr/>	8 550
Tolueno	1 500	400	<hr/>	1 900
Xileno	500	125	<hr/>	625
Naftas	750	200	<hr/>	950

El caso de Hullera Mexicana sólo posee las correspondientes para recuperar alquitrán y gas, debido a la competencia de los derivados del petróleo, ya que las instalaciones requieren fuertes inversiones y no es rentable por el tamaño de su producción.

Los rendimientos de los sub-productos que se derivan de las materias volátiles contenidos en una tonelada de carbón seco, son del orden siguiente:

Alquitrán	22.00 Kgs.
Sulfato de Amonio	7.00 "
Aceite Ligero	6.00 "
Naftaleno	2.00 "
Creosota	6.00 "
Brea de Alquitrán	13.00 "

Benceno	4.00 Kgs.
Tolueno	1.00 "
Xileno	0.2 "
Naftas	0.3 "
Gas	300 Mts ³

El destino de la producción de los sub-productos es tá canalizado hacia el mercado nacional, salvo el caso del -alquitrán que se exporta en un 255 de la producción.

EL CARBON MINERAL UTILIZADO COMO ENERGETICO

En el año de 1932 la planta termoeléctrica Franke, - en el Estado de Durango inició sus operaciones utilizando co mo combustible carbón mineral operando exclusivamente con es te combustible durante algunos años y en 1937 el consumo del carbón era del orden de 500 toneladas diarias. Posteriormente debido a la mayor facilidad del manejo de los combusti- - bles líquidos, el carbón comenzó a ser sustituido por éstos, con base en carbón y en el 40% con petróleo; finalmente en - 1963 había quedado eliminado totalmente el uso del carbón.

En 1967 se puso en operación la planta termoeléctrica de Nava en el Estado de Coahuila, con una capacidad insta lada de 37,500 KW. utilizando como combustible carbón mine-- ral que se extrae de una mina sicuada a 33 Kms. de la planta, en un lugar llamado Río Escondido que constituye actualmente su fuente de abastecimiento.

La Comisión Federal de Electricidad ha explotado y-

cubicado 180 millones de toneladas de carbón no coquizable - en el yacimiento de Río Escondido, cerca de Piedras Negras, - lo que permite instalar una planta generadora con hasta cinco unidades de 300 Mw. Se ha supuesto en forma conservadora, que será posible encontrar otros yacimientos, principalmente en la región de Coahuila, que permitan instalar otros 7,550-Mw. en plantas generadoras que utilicen carbón.

De los 11,075 Mw. instalados en el país, a la fecha sólo 30 Mw. corresponden a plantas que utilizan carbón mineral, es decir un 0.3% del total.

CONSUMO FUTURO DE ENERGETICOS POR EL SECTOR ELECTRICO.

Por lo que hace a los consumos de combustibles, puede verse en las siguientes gráficas II-4, II-5, II-6, II-7 - que el consumo acumulado de 1982 a 1999, para los distintos-combustibles sería.

Combustóleo	2 457 millones de barriles
Diesel	104 millones de barriles
Carbón	328 millones de barriles
Uranio ($U_3 O_8$)	20 102 Toneladas

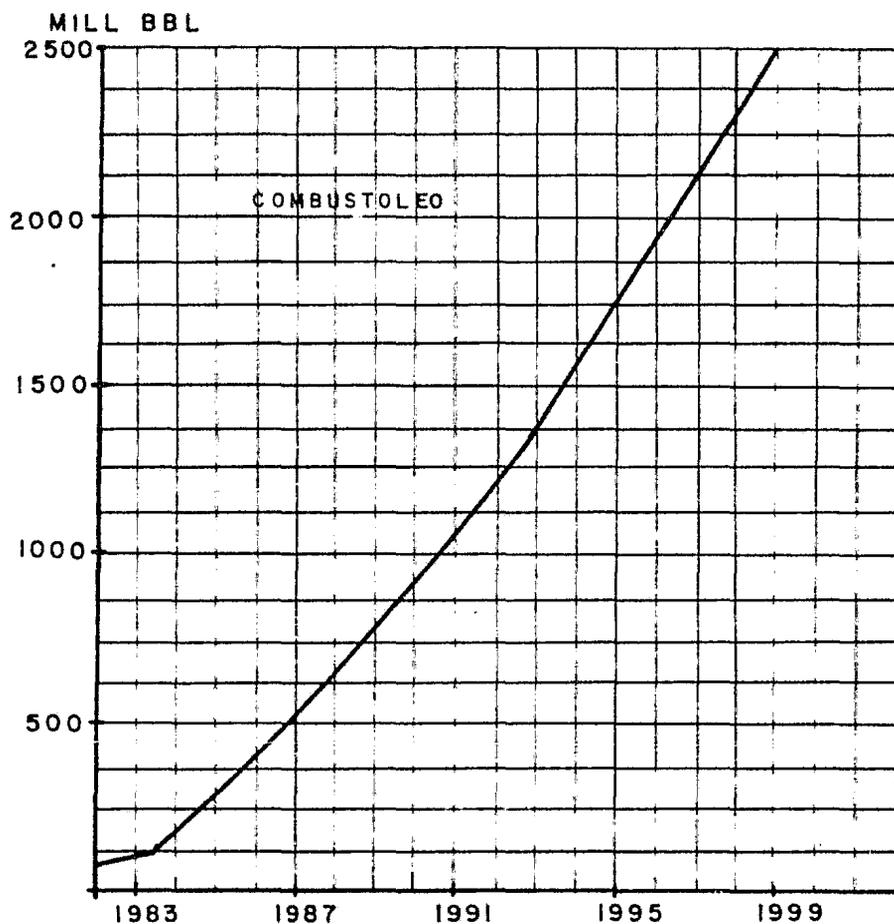
Comparado los valores anteriores con las reservas - conocidas de los diferentes energéticos primarios se aprecia que el mayor déficit ocurre para el uranio, ya que, como se dijo antes las reservas conocidas actualmente son del orden de 6 123 toneladas medidas y 1 850 toneladas inferidas para-1976.

PRECIOS DE COMBUSTIBLES A MONEDA NACIONAL DE 1976.

<u>Combustible</u>	<u>PRECIO</u>	<u>FUENTE</u>
Uranio Natural ($U_3 O_8$)	40.00 Dls/lb.	OIEA, Ago. 1976
Combustóleo*	9.80 Dls/bbl.	Petroleum Economist. Ago 1976
Diesel	14.28 Dls/bbl.	Petroleum Economist. Ago 1976
Carbón	232.00 \$/ton.	C.F.E. 1976.

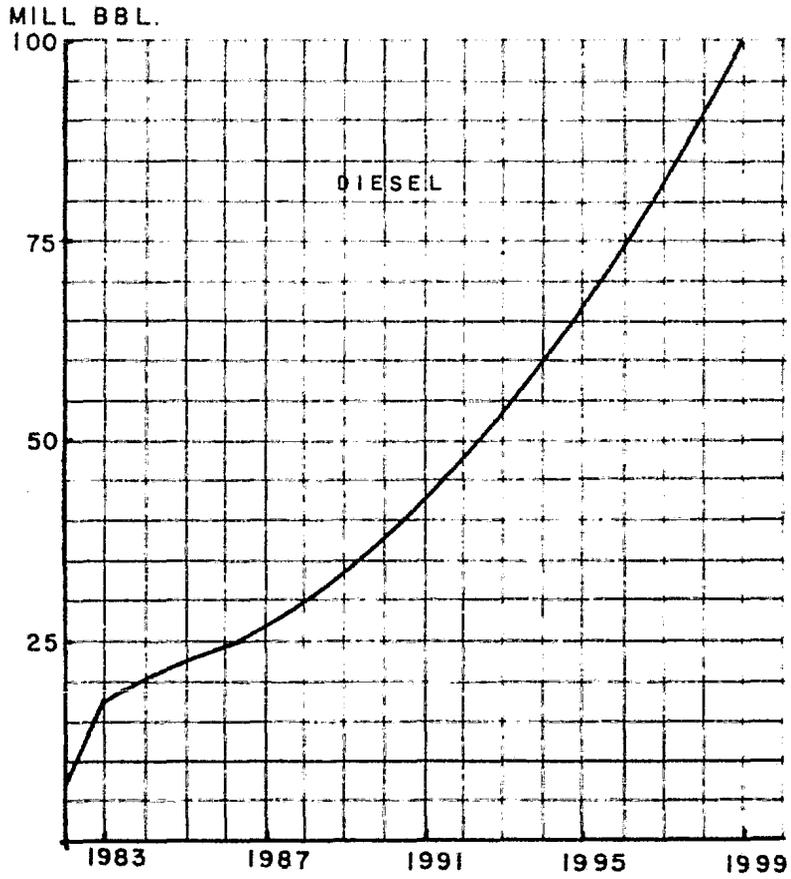
* Combustóleo y Diesel a precios internacionales.

**CONSUMOS ACUMULADOS DE COMBUSTIBLE
(PERIODO 1982-1999)**



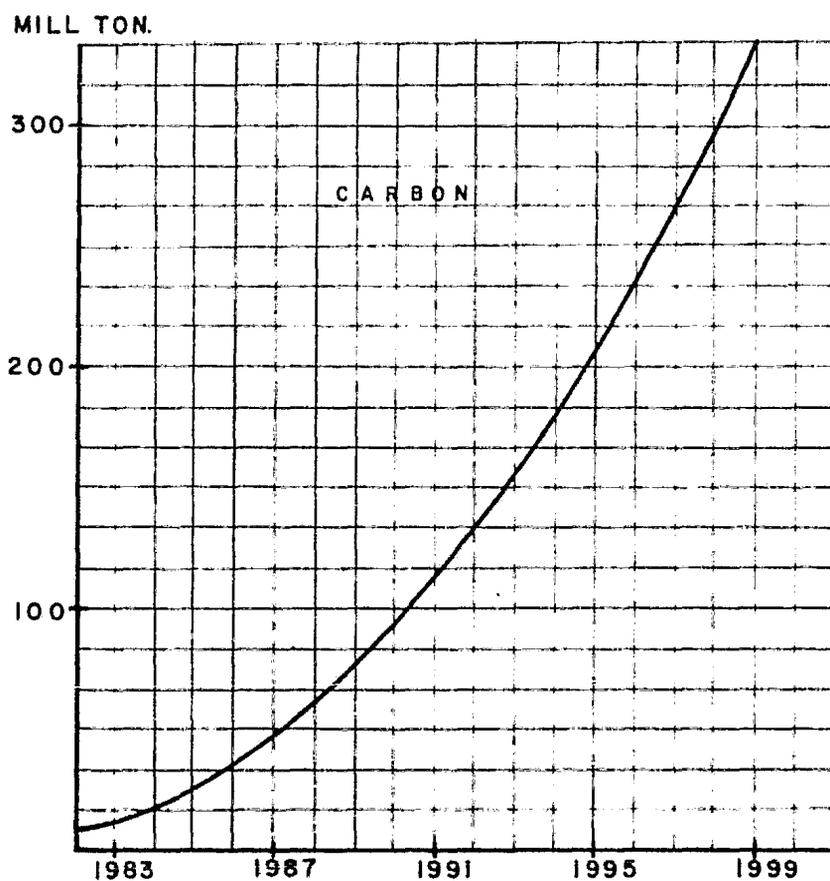
GRAF. II - 4

CONSUMOS ACUMULADOS DE COMBUSTIBLE (PERIODO 1982-1999)



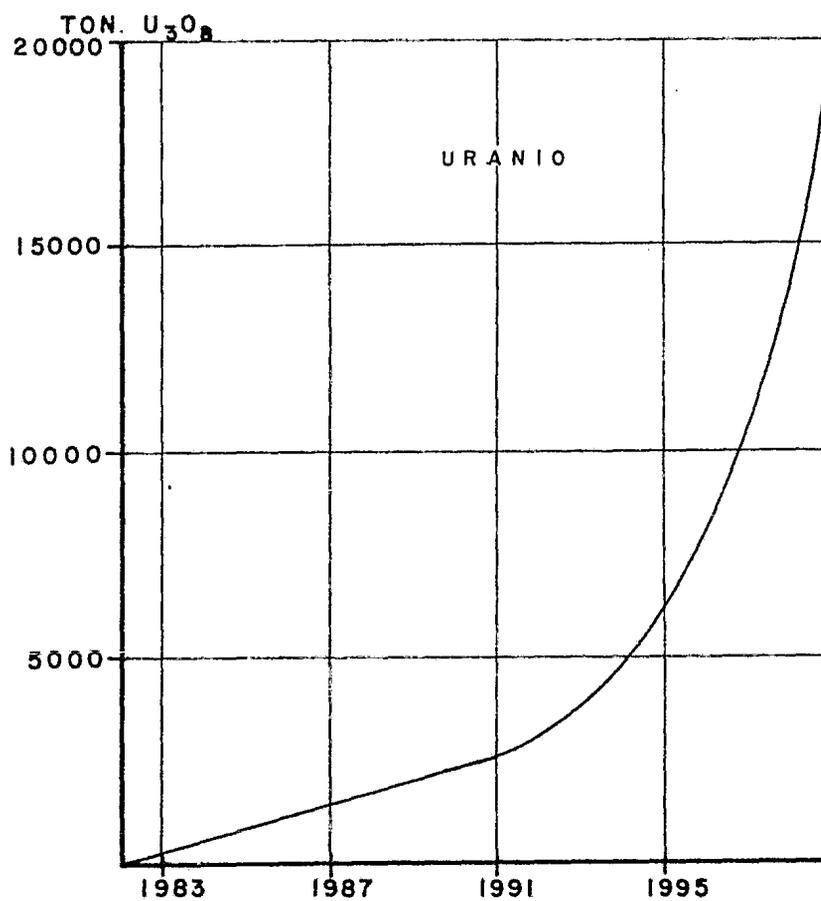
GRAF. II - 5

**CONSUMOS ACUMULADOS DE COMBUSTIBLE
(PERIODO 1982-1999)**



GRAF. II-6

CONSUMOS ACUMULADOS DE COMBUSTIBLE
(PERIODO 1982-1999)



GRAF. II-7

POTENCIAL HIDROELECTRICO

El potencial hidroeléctrico que queda por desarrollar en México es importante, del orden de cuatro veces mayor que la capacidad de generación hidroeléctrica actualmente en servicio.

En 1974 la C.F.E. y el plan Nacional Hidráulico, dependiente de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, realizaron y publicaron un estudio del potencial hidroeléctrico en México, con el patrocinio de la comisión de energéticos.

Esta evaluación del potencial hidroeléctrico está basada en las exploraciones y en los estudios topográficos, hidrológicos, geológicos y otros realizados durante muchos años por la C.F.E. y la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

En la tabla siguiente se resumen los resultados de este estudio.

POTENCIAL HIDROELECTRICO NACIONAL A DICIEMBRE DE 1976

Plantas	Potencia		Energía anual	
	Mw.	%	GWH	%
Operación	4 529	18	17 000	21
Construcción	4 090	16	8 541	10
Estudio	<u>16 631</u>	<u>66</u>	<u>57 605</u>	<u>69</u>
TOTAL	25 250	100	83 143	100

Como puede verse el potencial hidroeléctrico del país asciende a 25 250 Mw, con una generación media anual de 83 146 millones de KWH. Las plantas hidroeléctricas en operación

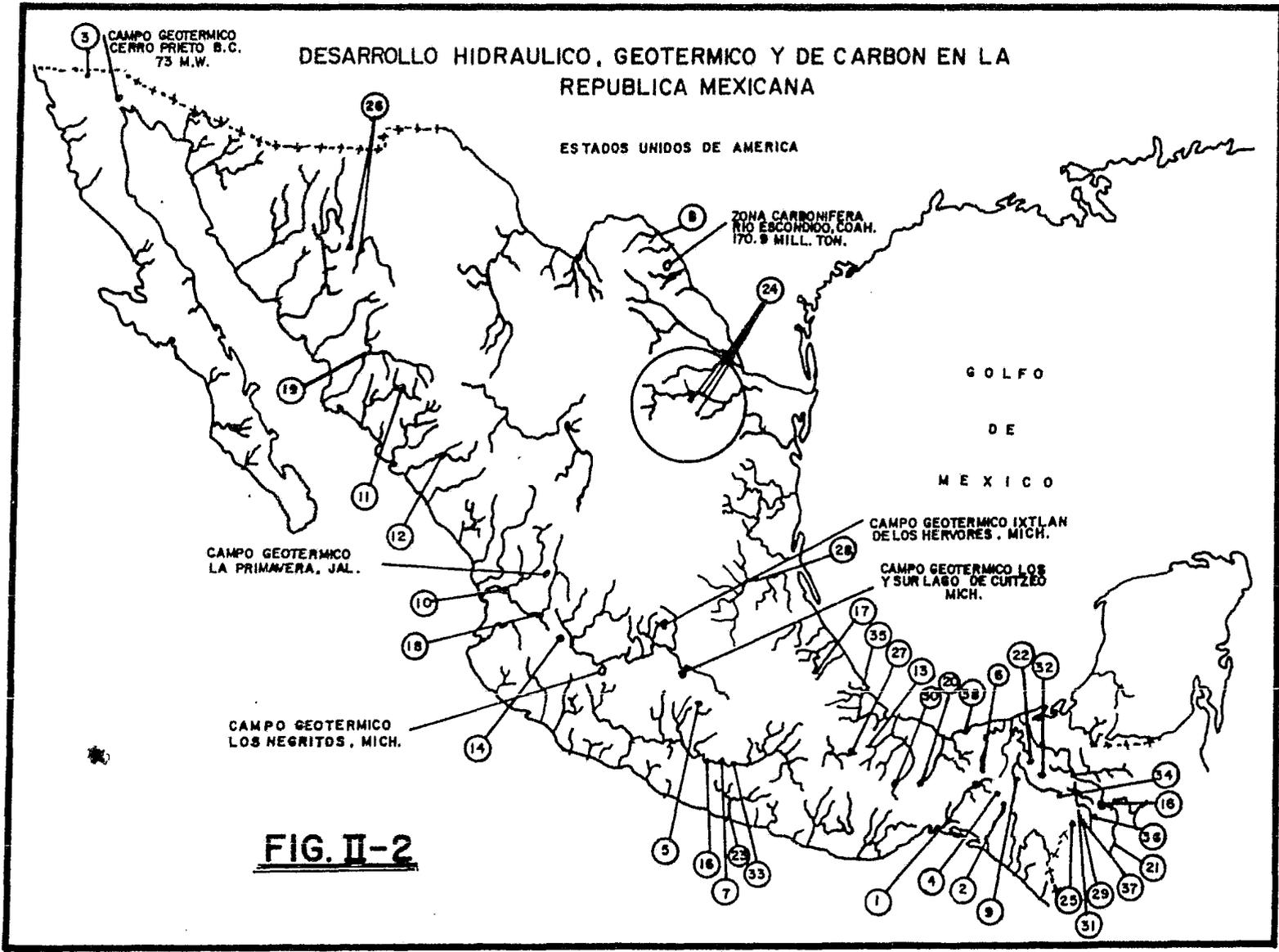
ción, con una potencia instalada de 4 529 Mw., representan - el 18 % del potencial total. Las plantas hidroeléctricas en construcción aumentarán la capacidad instalada en 4 090 Mw.

En el mapa de la figura II - 2 se muestra la localización de los principales aprovechamientos hidroeléctricos - pendientes de desarrollar.

En todas las alternativas de expansión a largo plazo de los medios de generación estudiadas por la C.F.E. considerando precios internacionales del combustóleo y diesel, las plantas hidroeléctricas tienen un desarrollo muy importante. Además de las ventajas económicas que reflejan estos resultados, debe hacerse notar que como el costo de operación de este tipo de planta es muy bajo, el costo del KWH generado resultará muy poco afectado por la inflación futura, al contrario de lo que ocurre en las plantas que utilizan combustibles fósiles y en las nucleoeeléctricas, en las que el costo del KWH puede incrementarse en forma importante por el aumento de los precios de los combustibles fósiles y del uranio.

Por otra parte debe tenerse en cuenta que el agua utilizada en las plantas hidroeléctricas es un recurso renovable y, en consecuencia, la generación de energía eléctrica en este tipo de plantas permite un ahorro en el consumo de recursos no renovables y consecuentemente contribuye a prolongar la disponibilidad de dichos recursos.

Adicionalmente, la C.F.E. ha desarrollado su propia ingeniería de diseño y construcción de plantas hidroeléctricas y se tienen proyectos muy avanzados para la fabricación en México de una parte importante de los bienes de capital necesarios para este tipo de instalaciones, lo que disminuye en su conjunto en forma importante, la necesidad de salida de divisas para llevar a cabo este tipo de obras.



DESARROLLO HIDROELECTRICO EN EL PERIODO 1975 - 2000

NUMERO	PLANTA	ESTADO	POTENCIA MW	PERIODO DE ENTRADA
1	AMPL. MALPASO	CHIAPAS	360	1975-1980
2	ANGOSTURA	CHIAPAS	540	1976
3	TECATE	B. C. N.	90	1975-1980
4	CHICOASEN	CHIAPAS	2400	1980
5	MIGUEL ALEMAN	MEX.		
6	PEÑITAS	CHIAPAS	400	1981-1985
7	CARACOL	GUERRERO	570	1981-1985
8	LA AMISTAD	COAHUILA	40	1981-1985
9	ITZANTUM	CHIAPAS	750	1981-1985
10	AGUAMILPA	NAYARIT	540	1981-1985
11	BACURATO	SINALOA	112	1981-1985
12	COMEDERO	SINALOA	86	1981-1985
13	TEMASCAL II	OAXACA	360	1981-1985
14	PICOS DE GUADALAJARA	JALISCO	390	1986-1990
15	TEPOA	GUERRERO	270	1986-1990
16	TRES NACIONES	CHIAPAS	300	1986-1990
17	ATEXCACO	PUEBLA	160	1986-1990
18	YESCA II	NAYARIT	270	1986-1990
19	HUITES	SINALOA	450	1986-1990
20	PEÑAS BLANCAS	VERACRUZ	200	1986-1990
21	COLORADO	CHIAPAS	450	1986-1990
22	LA CATARATA	CHIAPAS	350	1986-1990
23	PAROTA	GUERRERO	100	1986-1990
24	NOROESTE-REBOMBEO			
25	ZAPOTAL	CHIAPAS	200	1991-1995
26	MEANDROS	CHIAPAS	400	1991-1995
27	YAXILA	OAXACA	275	1991-1995
28	PUJAL	S. L. P.	30	1991-1995
29	LAS RAPIDAS	CHIAPAS	300	1991-1995
30	EL CHISME	OAXACA	200	1991-1995
31	SANTA ELENA	CHIAPAS	250	1991-1995
32	ROSARIO	CHIAPAS	250	1991-1995
33	SN. JUAN TETELCINGO	GUERRERO	450	1991-1995
34	TASAS	CHIAPAS	400	1991-1995
35	XUCHILES	VERACRUZ	200	1996-2000
36	CHAJUL	CHIAPAS	200	1996-2000
37	USUMACINTA	CHIAPAS	300	1996-2000
38	OSUMACIN	OAXACA	260	1996-2000
39	HUMAYA	SINALOA	90	1976
40	ALTAMIRANO II	CHIAPAS	200	1996-2000
41	AMP. ANGOSTURA	CHIAPAS	360	1975-1980
42	AMP. PICOS DE GUAD.	JALISCO	260	1996-2000

ENERGIA GEOTERMICA

El potencial geotermoeléctrico de México se ha estimado en unos 15 000 Mw. Sin embargo dado el estado actual de esta tecnología, que limita la profundidad a que se pueden perforar los pozos requieren la localización de reservorios geotérmicos con ciertas condiciones de temperatura y agua y en cierto tipo de estructuras geológicas que propician la acumulación de agua caliente, se considera que su desarrollo será lento en los próximos años y que de aquí a fin de siglo jugará un papel marginal.

México, con su planta geotermoeléctrica de 75 Mw. en Cerro Prieto (México Baja California Norte), ocupa actualmente el cuarto lugar en el mundo en capacidad instalada en plantas geotermoeléctricas, después de los Estados Unidos, Italia y Nueva Zelandia. La planta de Cerro Prieto está en proceso de ampliación con otras dos unidades de 37.5 Mw y posteriormente con una quinta unidad de 30 Mw, de baja presión. Se tiene en programa una segunda planta geotermoeléctrica en la misma zona, con cuatro unidades de 55 Mw cada una, que entrarán en servicio entre 1980 y 1983. Por otra parte en este año se perforarán los primeros pozos geotérmicos exploratorios en los azufres (Michoacán), ya que en esta zona del Eje Neovolcánico se tienen importantes manifestaciones geotérmicas y los estudios previos de geofísica han dado indicios favorables.

Se estima que para fin de siglo se podrá tener una capacidad instalada en plantas geotermoeléctricas de 1 000 a 1 500 Mw.

ENERGIA SOLAR

Se considera que en lo que queda del presente siglo la energía solar no aportará ninguna contribución significativa a la generación de energía eléctrica, dados los costos muy elevados que se tienen en el estado actual de esta tecnología. Por ejemplo en la planta experimental instalada en San Luis de la Paz (Guanajuato) con una capacidad útil de 25 Mw. instalado en una planta termoeléctrica convencional y el costo del Kwh. generado, considerando los costos de capital y de operación, resulta del orden de 8 pesos, que es también del orden de 40 veces superior al costo de Kwh. generado en una termoeléctrica convencional.

Las aplicaciones más prometedoras de la energía solar, a corto y a mediano plazo, corresponden aplicaciones para calentamiento de agua, calefacción y refrigeración.

La energía solar podría llegar a jugar un papel importante en el transcurso del próximo siglo y se recomienda que se fomente en México la investigación en este campo, como ya se hace en otros países.

GRAFICAS Y CUADROS ANALITICOS

GRAFICAS Y CUADROS ANALITICOS

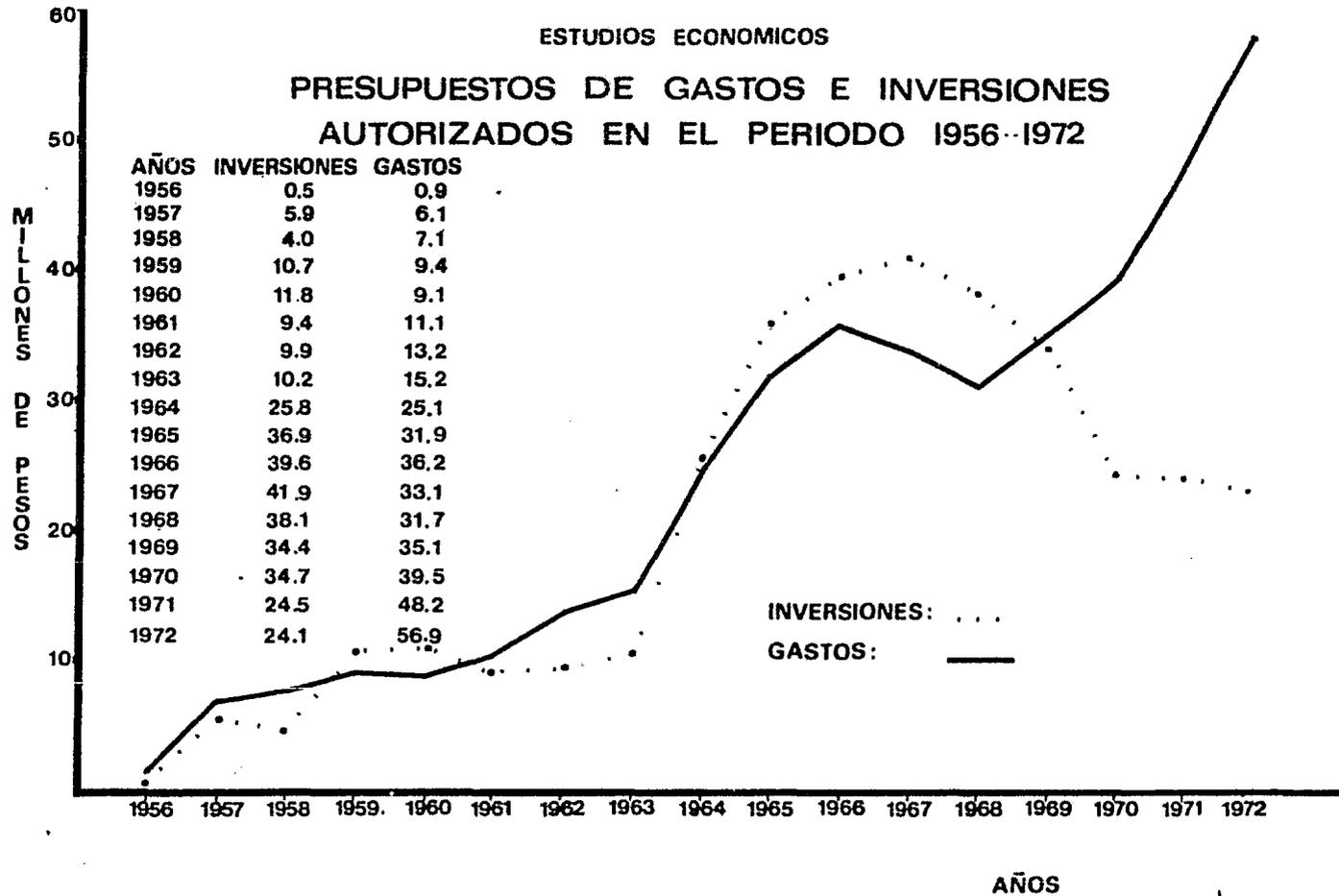
- 1.- Presupuestos de Gastos e Inversiones autorizadas en el período 1956-1972.
- 2.- Presupuesto total autorizado en el período 1956-1972
- 3.- Crecimiento anual del personal durante el período 1956-1971.
- 4.- Proyecto de Inversiones para 1972
- 5.- Zonas de exploración
- 6.- Plan de Inversiones en Exploraciones para el período - 1972-1976.
- 7.- Potencia nucleoelectrica proyectada para el mundo y -- los Estados Unidos.
- 8.- Proyección del consumo anual de electricidad en el mundo (energía no nuclear y energía nuclear)
- 9.- Calendario de Inversiones para producción de combustibles nucleares.
- 10.- Plan de Inversiones para producción de combustibles nucleares en el período 1972-1976.
- 11.- Análisis del Plan de Inversiones para producción de -- combustibles nucleares 1972-1976.

- 12.- Plan de Inversiones para reactores en el período - -
1972-1976.
- 13.- Programa de Reactores. Análisis del Plan de Inversio-
nes para el período 1972-1976.
- 14.- Proyecto de construcciones para 1972.
- 15.- Plan de Inversiones para el período 1972-1976.
- 16.- Tendencia de las Inversiones en el período 1972-1976
- 17.- Análisis del Plan de Inversiones para el período - -
1972-1976.
- 18.- Organigrama del I.N.E.N.

INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

ESTUDIOS ECONOMICOS

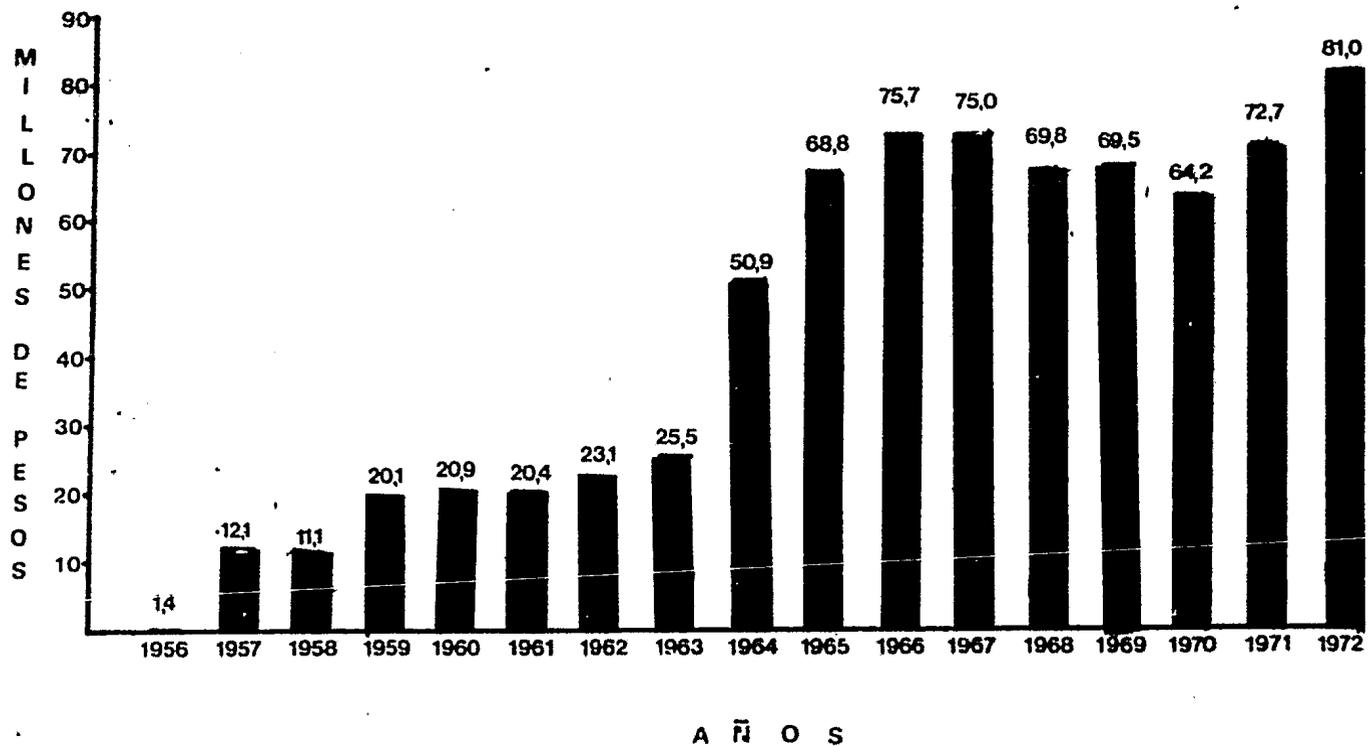
PRESUPUESTOS DE GASTOS E INVERSIONES AUTORIZADOS EN EL PERIODO 1956-1972



INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

ESTUDIOS ECONÓMICOS

PRESUPUESTO TOTAL AUTORIZADO
EN EL PERIODO 1956-1972

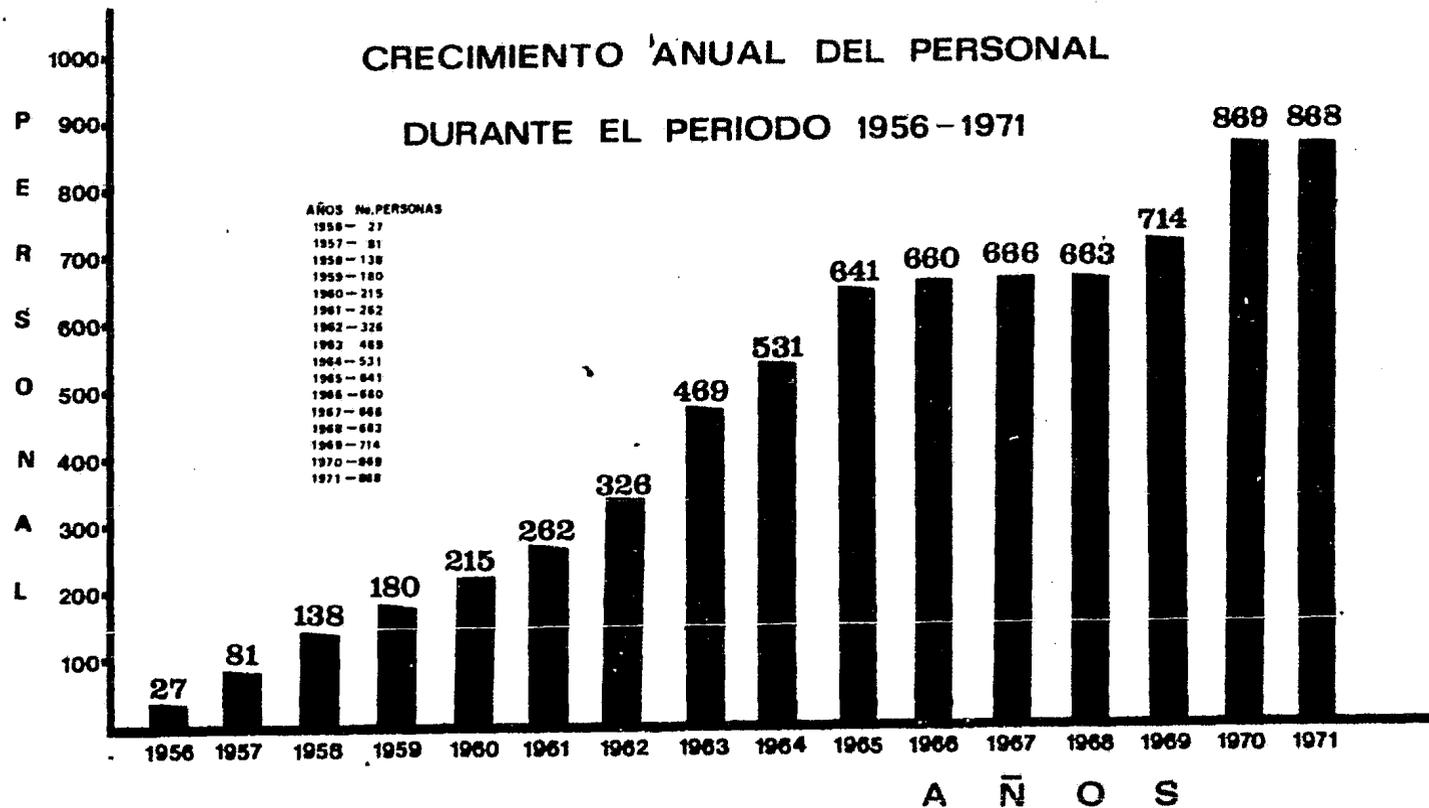


INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

ESTUDIOS ECONOMICOS

CRECIMIENTO ANUAL DEL PERSONAL

DURANTE EL PERIODO 1956-1971

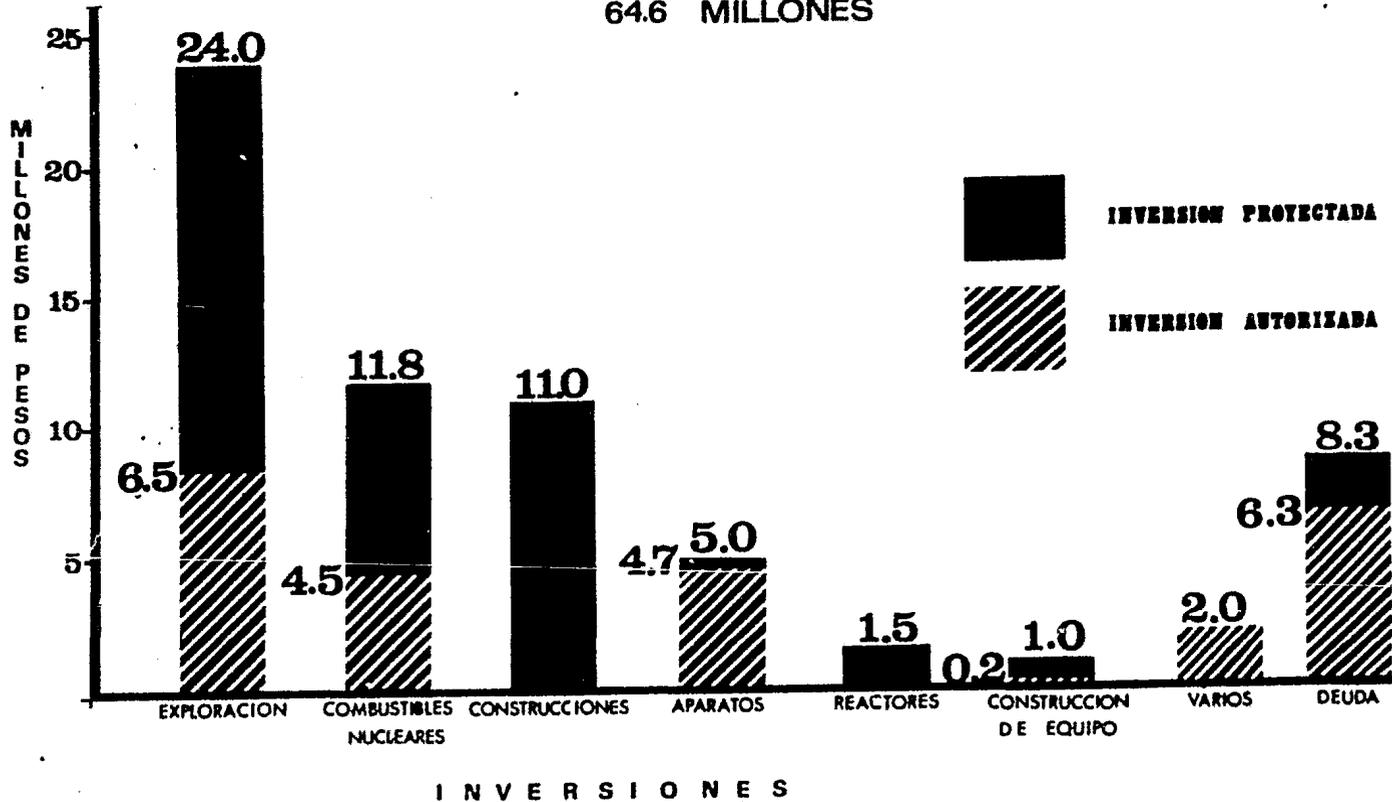


INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

ESTUDIOS ECONOMICOS

PROYECTO DE INVERSIONES PARA 1972

64.6 MILLONES



INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

ZONAS DE EXPLORACION - 1a ETAPA

(NUEVO LEON Y TAMAULIPAS-CHIHUAHUA)

AREAS

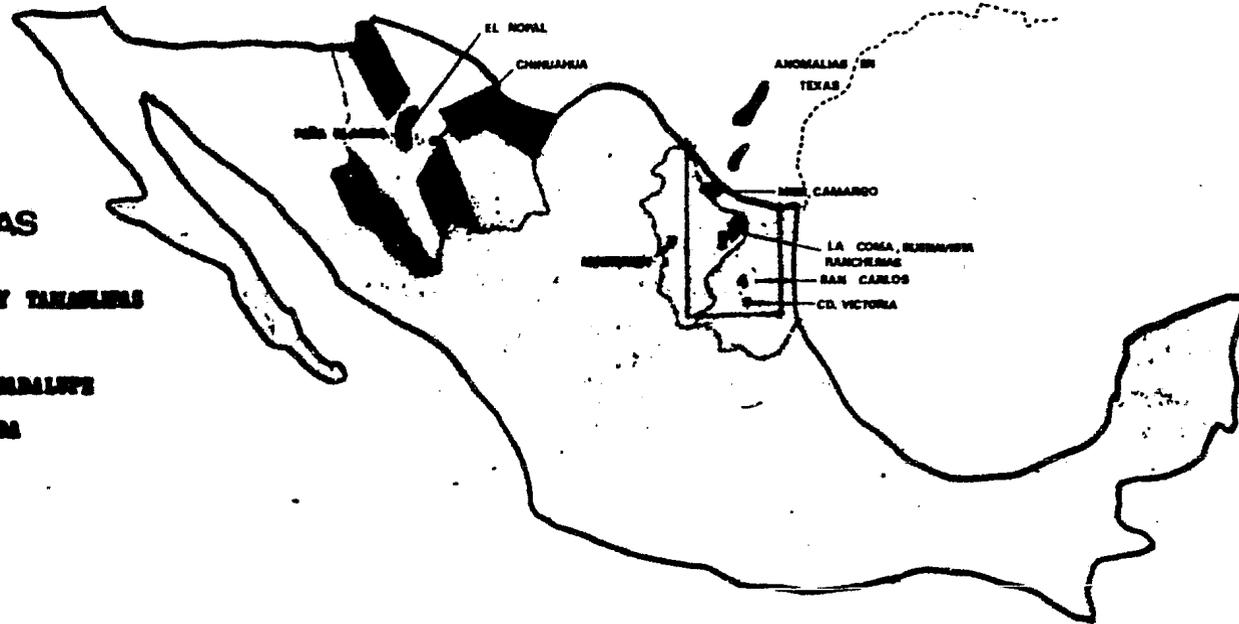
I NUEVO LEON Y TAMAULIPAS

II CHIHUAHUA

III PLAZA DE GUADALUPE

IV VILLA ANTONIA

V MATUPELLA



INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

ESTUDIOS ECONOMICOS

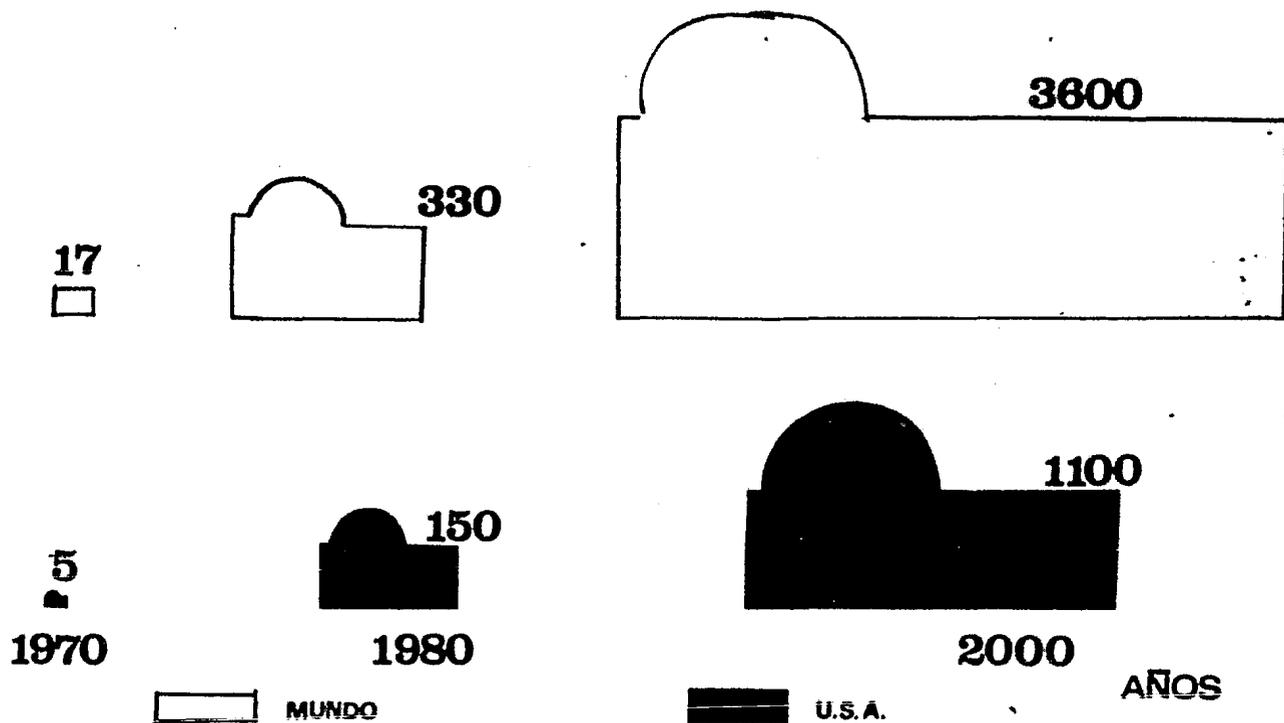
PLAN DE INVERSIONES EN EXPLORACIONES PARA EL PERIODO 1972-1976



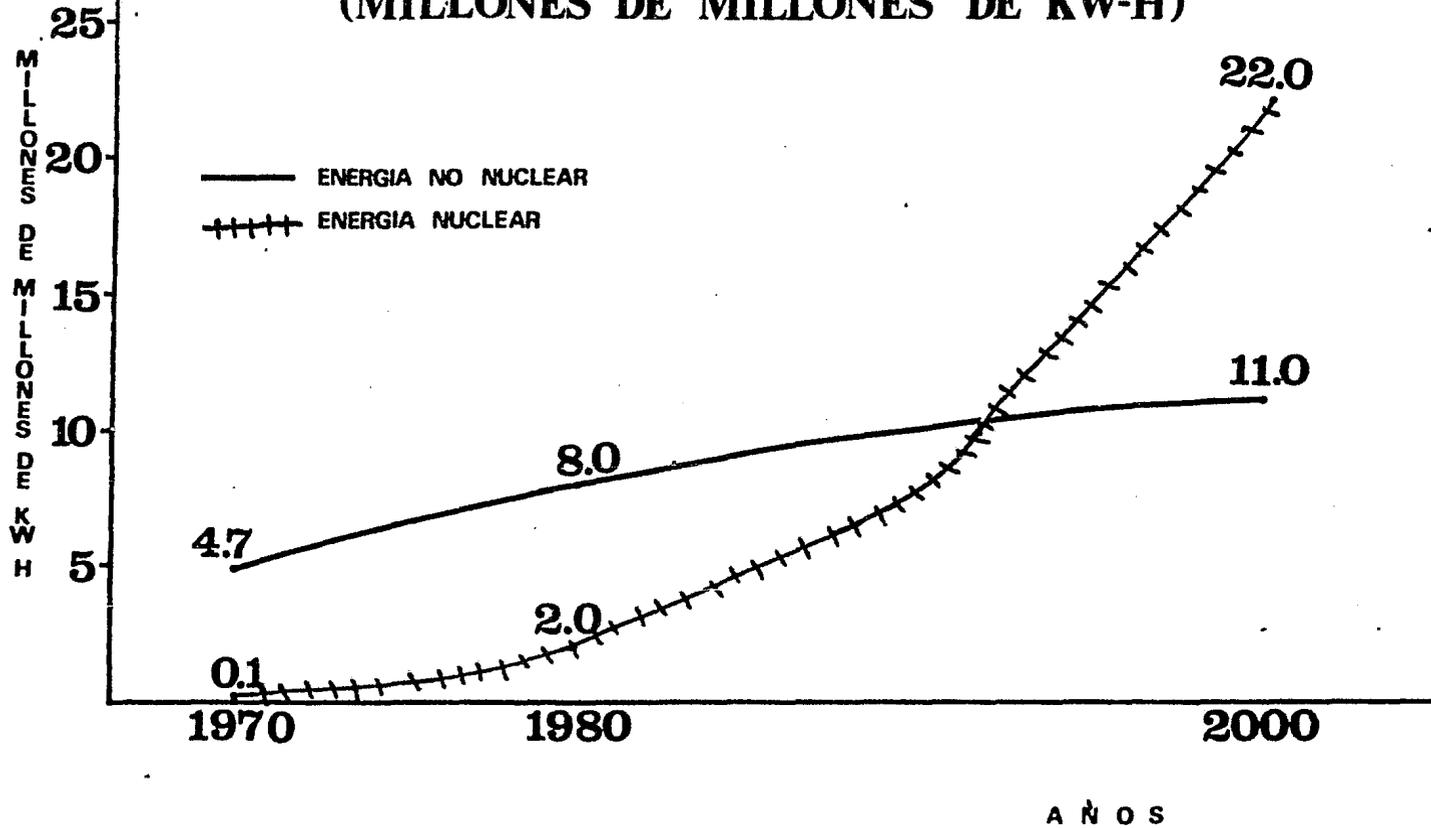
INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

POTENCIA NUCLEOELECTRICA PROYECTADA PARA U.S.A. Y EL MUNDO EN UNIDADES DE 1000 MEGAWATTS ELECTRICOS (APROXIMADAMENTE NUMERO DE REACTORES NUCLEARES DE POTENCIA QUE HABRA EN U.S.A. Y EL MUNDO).

UN REACTOR DE POTENCIA \approx 1000 MW.



INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR
PROYECCION DEL CONSUMO ANUAL DE ELECTRICIDAD
EN EL MUNDO
(MILLONES DE MILLONES DE KW-H)



INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

ESTUDIOS ECONOMICOS CALENDARIO DE INVERSIONES PARA PRODUCCION DE COMBUSTIBLES NUCLEARES 1972-1976

I PLANTAS PILOTO

- Diseño de tres plantas piloto
- Fabricación y adquisición de equipo
- Edificios y servicios
- Instalación de equipo
- Trabajo experimental de laboratorio y plantas piloto
- Otros conceptos

II FABRICAS

- Diseño de cuatro fábricas para diferentes procesos
- Fabricación y adquisición de equipo
- Edificios y servicios
- Instalación de equipo
- Otros conceptos

III ESTUDIOS

- Consejeros, expertos, consultores y becas

IV PERSONAL

- Sueldos a personal directivo y de operación

COMBUSTIBLES NUCLEARES

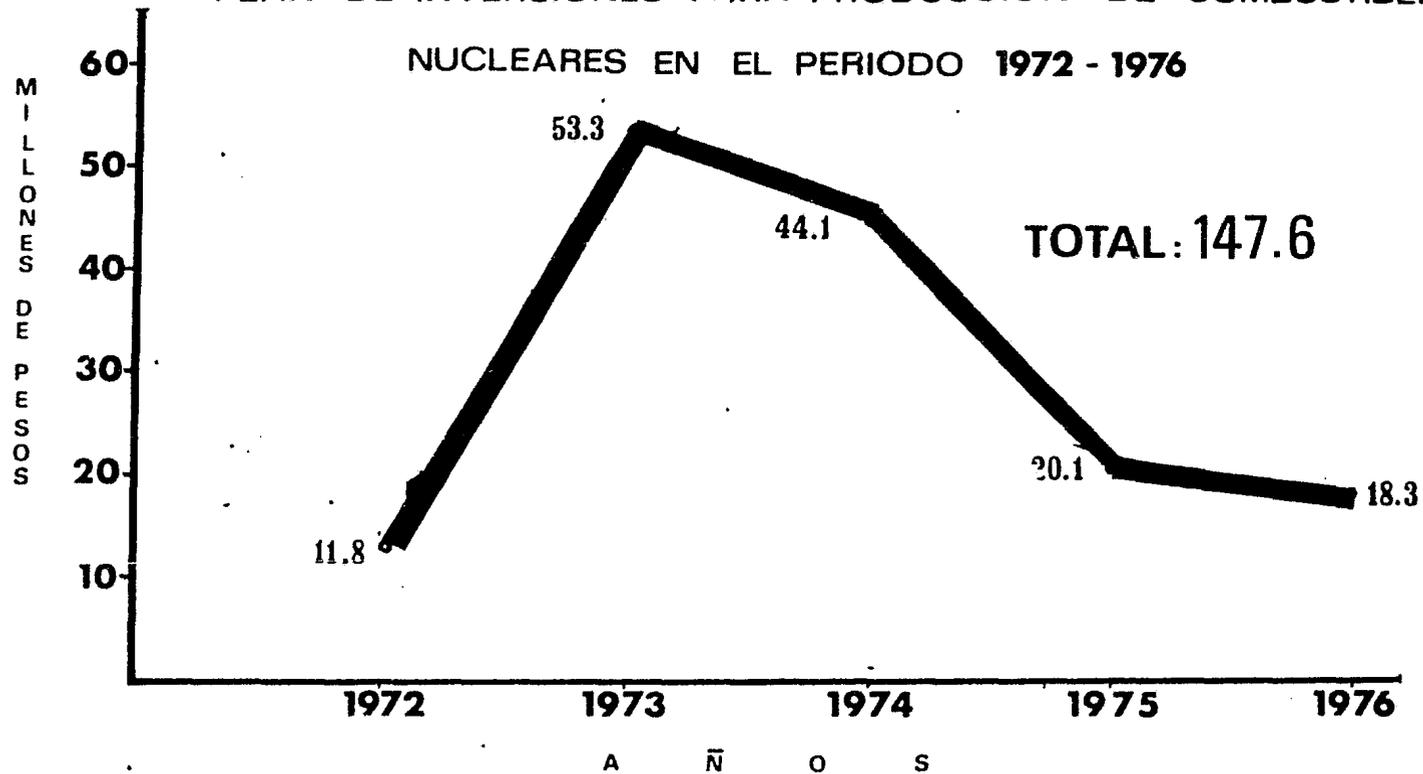
	1972	1973	1974	1975	1976	TOTAL
	11.8	53.3	44.1	20.1	18.3	147.6
						1.7
						6.6
						0.5
						0.5
						1.6
						0.5
						3.5
						36.1
						18.7
						7.3
						10.4
						15.3
						44.9

INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

ESTUDIOS ECONOMICOS

PLAN DE INVERSIONES PARA PRODUCCION DE COMBUSTIBLES

NUCLEARES EN EL PERIODO 1972 - 1976



INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR
PLAN DE INVERSIONES PARA PRODUCCION DE COMBUSTIBLES NUCLEARES

1972 - 1976

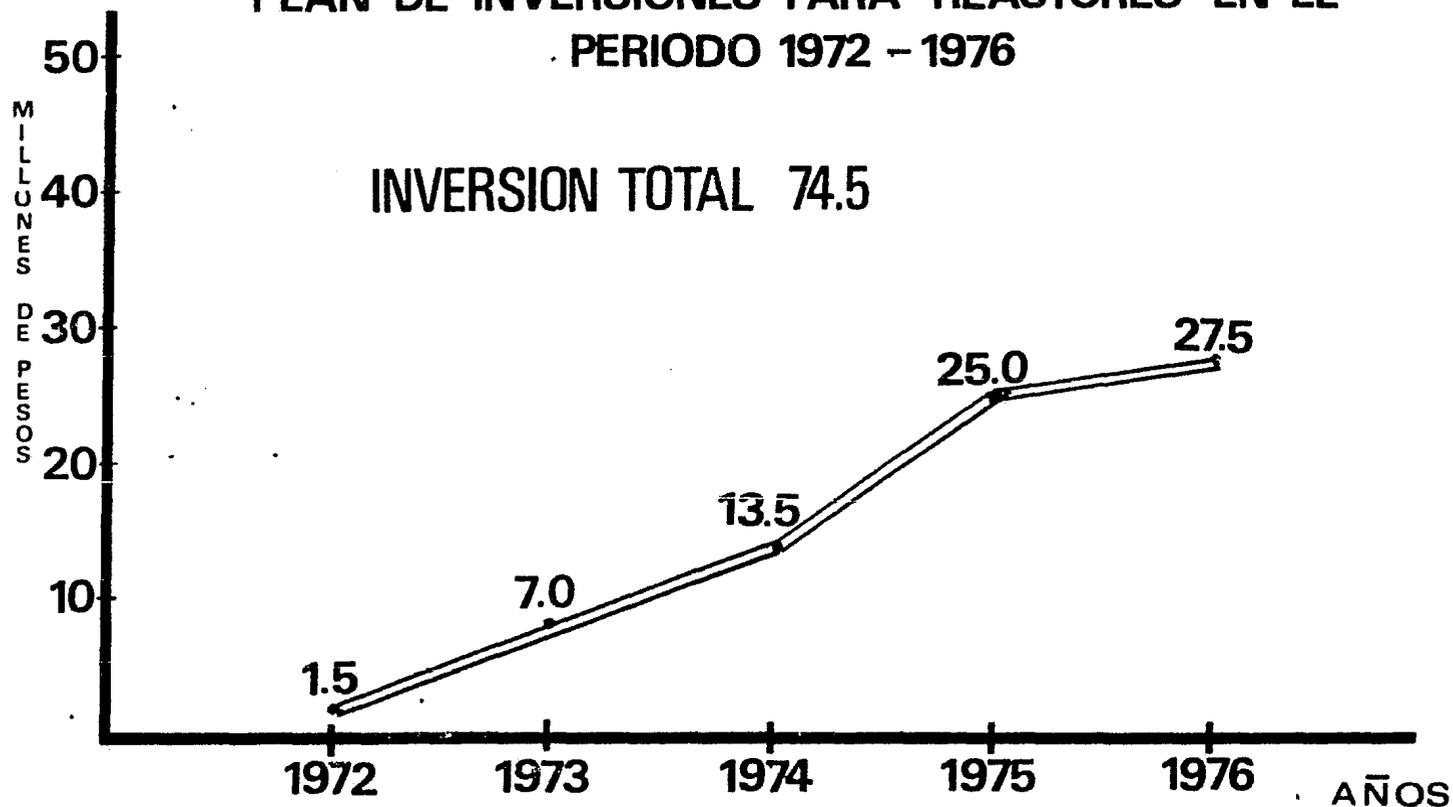
(MILLONES DE PESOS)

	<u>1972</u>	<u>1973</u>	<u>1974</u>	<u>1975</u>	<u>1976</u>	<u>INVERSION TOTAL EN EL PERIODO 1972 - 1976</u>
INVERSION TOTAL	<u>11.8</u>	<u>53.3</u>	<u>44.1</u>	<u>20.1</u>	<u>18.3</u>	<u>147.6</u>
I. PLANTAS PILOTO						
1. Diseño de 3 Plantas	1.7					1.7
2. Fabricación y Adquisición de Equipo	6.6					6.6
3. Edificios y Servicios	0.5					0.5
4. Instalaciones	0.5					0.5
5. Trabajo Experimental en Laboratorios y Plantas	1.0	0.4	0.2			1.6
6. Otros Conceptos	0.5					0.5
II. FABRICAS						
1. Diseño de 4 Fábricas	1.0	1.5	1.0			3.5
2. Fabricación y Adquisición de Equipo		21.3	14.8			36.1
3. Edificios y Servicios		12.8	5.9			18.7
4. Instalaciones			6.3	1.0		7.3
5. Otros Conceptos		3.4	3.5	3.5		10.4
III. ESTUDIOS TECNICOS						
1. Consejeros, Expertos, Consultores y Becas		6.6	3.6	3.3	1.8	15.3
IV. PERSONAL						
1. Sueldos al Personal Directivo y de Operación		7.3	8.8	12.3	16.5	44.9

INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

ESTUDIOS ECONOMICOS

PLAN DE INVERSIONES PARA REACTORES EN EL PERIODO 1972 - 1976



INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR
 PROGRAMA DE REACTORES
 PLAN DE INVERSIONES PARA EL PERIODO 1972 - 1976
 (MILLONES DE PESOS)

	1 9 7 2	1 9 7 3	1 9 7 4	1 9 7 5	1 9 7 6	INVERSION TOTAL 1972 - 1976
INVERSION TOTAL	<u>1.5</u>	<u>7.0</u>	<u>13.5</u>	<u>25.0</u>	<u>27.5</u>	<u>74.5</u>
Estudio de factibilidad de un reactor de - producción y pruebas	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5
Diseño y construcción del reactor de pro-- ducción y pruebas	0.0	5.0	10.0	20.0	20.0	55.0
Estudios de seguridad de reactores técni-- cos	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	5.0
Fomento de la participación de la Industria Nacional	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	2.0
Laboratorios para el estudio de materiales y componentes, para reactores rápidos	0.0	1.0	2.0	3.0	5.0	11.0

INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

PROYECTO DE
CONSTRUCCIONES EN 1972

TERRENOS DEL CENTRO NUCLEAR

O B R A	PROYECTO Y		VOL. OBRA	COSTO UNIT.	COSTO M \$
	PREPARACION	CONSTRUCCION			
1) Caminos y estacionamientos equivalente en longitud de camino de 8.5 m. de carpeta	1972	1972	2.46 Km.	\$ 442,000/Km.	1.09
2) Almacenes, mantenimiento	1972	1972	1,400 M2.	\$ 900/M2.	1.26
3) Comedor					
a) Conclusión de Obra	1972	1972			0.39
b) Muebles Cocina					0.20
c) Instalación Sanitaria					0.10
d) Instalación Eléctrica					0.05
e) Equipo Bombeo de Aguas Negras					0.02
f) Caldera					0.02
SUMA COMEDOR					<u>0.78</u>
4) Invernadero (Conclusión de Obra)	1972	1972			0.03
5) Elaboración de Proyectos Arquitectónicos	1972	1972			<u>0.25</u>
					<u>3.41</u>

México, D. F., Marzo de 1972.

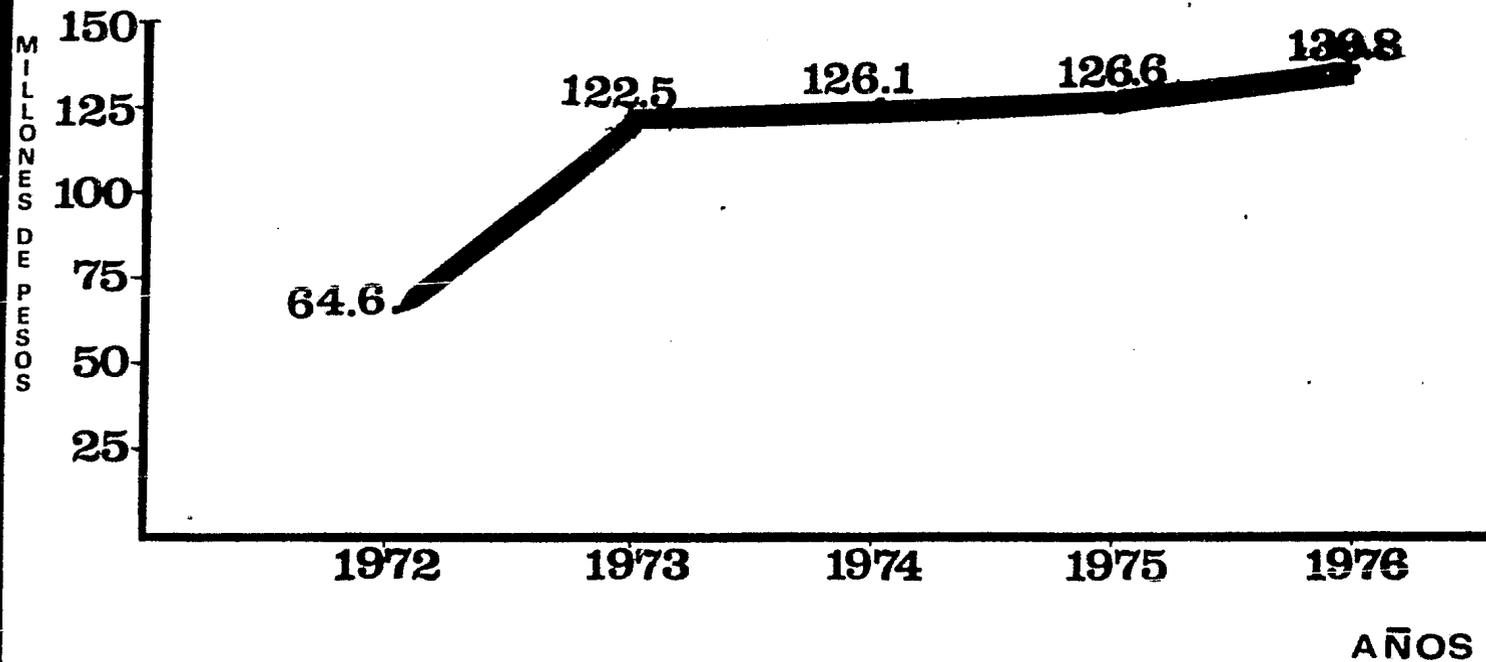
JRE/ps

INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

ESTUDIOS ECONOMICOS

PLAN DE INVERSIONES PARA EL PERIODO 1972-1976

INVERSION TOTAL 576.6

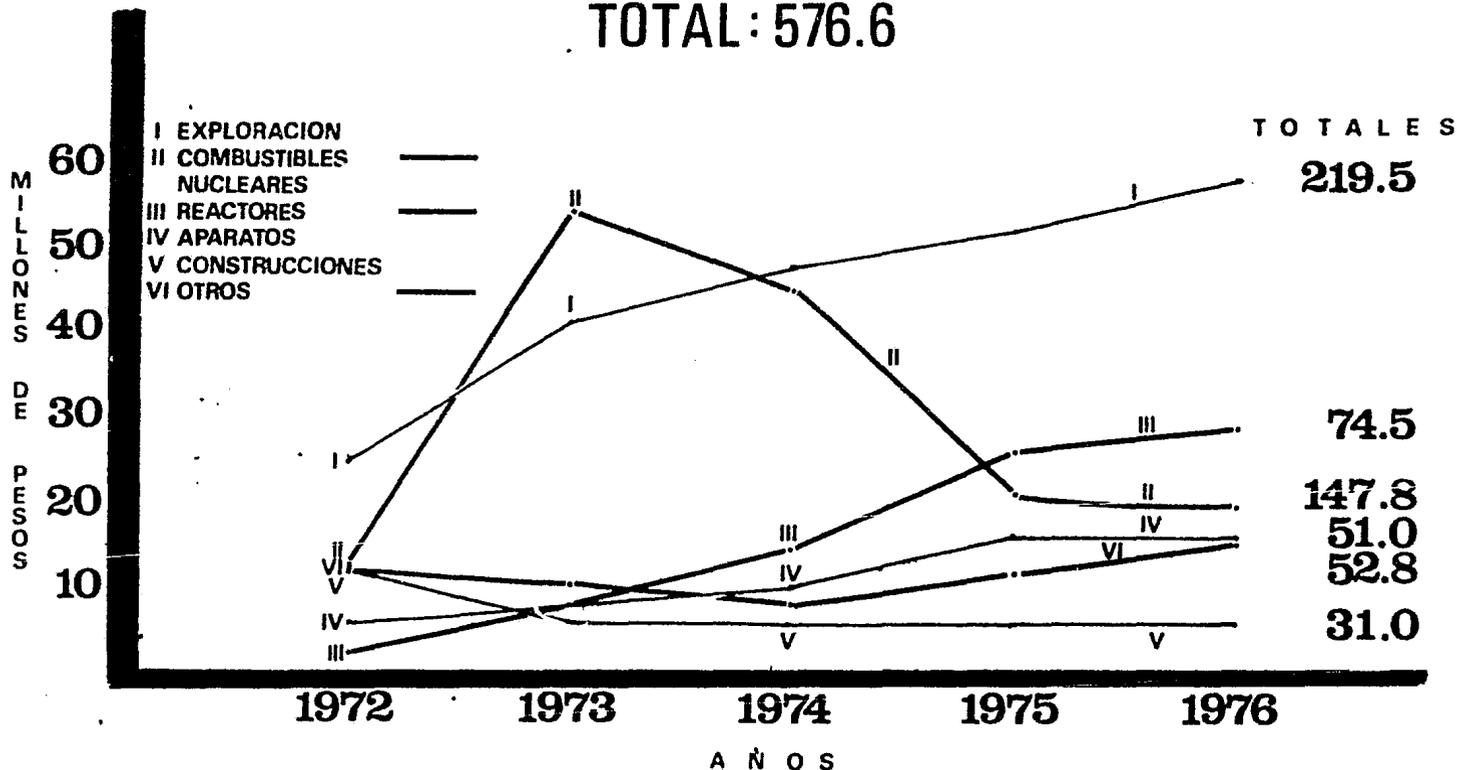


INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

ESTUDIOS ECONOMICOS

TENDENCIA DE LAS INVERSIONES EN EL PERIODO 1972-1976

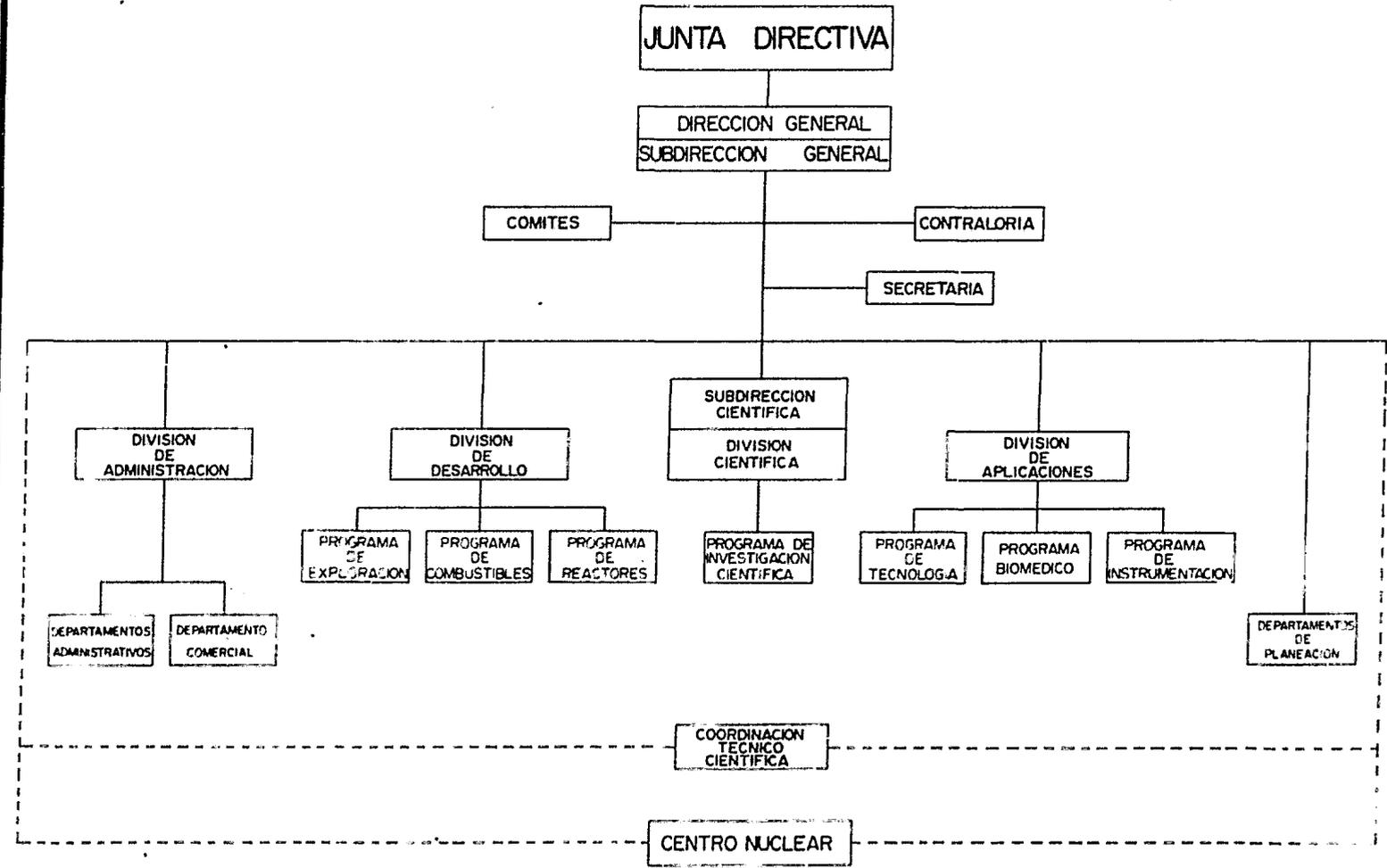
TOTAL: 576.6



INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR
 PLAN DE INVERSIONES PARA EL PERIODO 1972 - 1976
 (MILLONES DE PESOS)

	1 9 7 2	1 9 7 3	1 9 7 4	1 9 7 5	1 9 7 6	INVERSION PERIODO 1972 - 1976
INVERSION TOTAL	<u>64.6</u>	<u>122.5</u>	<u>126.1</u>	<u>126.6</u>	<u>136.8</u>	<u>576.6</u>
I. EXPLORACION Y EXPLOTACION						
a) Exploración	24.0	40.5	47.0	51.0	57.0	219.5
b) Explotación	0.0	0.0	1.5	2.0	2.0	5.5
II. ENERGETICA						
a) Combustibles Nucleares	11.8	53.5	44.1	20.1	18.3	147.8
b) Reactores	1.5	7.0	13.5	25.0	27.5	74.5
III. OTROS PROGRAMAS						
a) Construcciones para aplicaciones en - Medicina, Agricultura, Industria y - Oficinas Centrales	11.0	5.0	5.0	5.0	5.0	31.0
b) Aparatos	5.0	7.0	9.0	15.0	15.0	51.0
c) Construcción de Equipo	1.0	1.5	2.0	4.0	7.0	15.5
d) Adquisiciones	1.5	2.0	2.0	2.5	3.0	11.0
IV. MANTENIMIENTO	0.5	1.0	1.5	2.0	2.0	7.0
V. AMORTIZACION DE DEUDA	8.3	5.0	0.5	0.0	0.0	13.8

INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR



C A P I T U L O I I I

G E N E R A C I O N N U C L E A R

ANALISIS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE PLANTAS NUCLEOELECTRICAS

G E N E R A C I O N N U C L E A R

El impulso para el desarrollo de la energía nucleoelectrónica se origina en la investigación y el desarrollo realizados durante la segunda guerra mundial. El interés de las potencias aliadas para ganarle a Alemania la carrera de la bomba atómica dió lugar el proyecto MANHATAN, en que participaron fundamentalmente los Estados Unidos, Canadá, Francia e Inglaterra.

Los enormes recursos destinados a la empresa científico tecnológica-industrial más grande emprendida por la humanidad, culminaron en la fabricación de la bomba y con ello, el fin de la segunda guerra mundial. Los países participantes habían establecido centros de investigación nuclear, que dependían de sus comisiones de energía atómica; en paralelo con los trabajos bélicos y sobre todo al concluir la guerra, las investigaciones permitieron el desarrollo de numerosas aplicaciones de la radiación y los radioisótopos en campos tan diversos como la industria, la medicina y la agricultura.

Más importante a largo plazo ha resultado la investigación y el desarrollo de los reactores nucleares, que a partir de la primera reacción en cadena controlada, diciembre 2 de 1942, han logrado en el curso de unos 20 años, producir una nueva fuente comercial de energía. Ya antes, los reactores habían sido empleados como fuerza motriz, para la flota submarina de Estados Unidos y, poco después su aplicación en el campo naval se extendió a Francia, Gran Bretaña, la U.R.S.S., Japón y la República Federal Alemana.

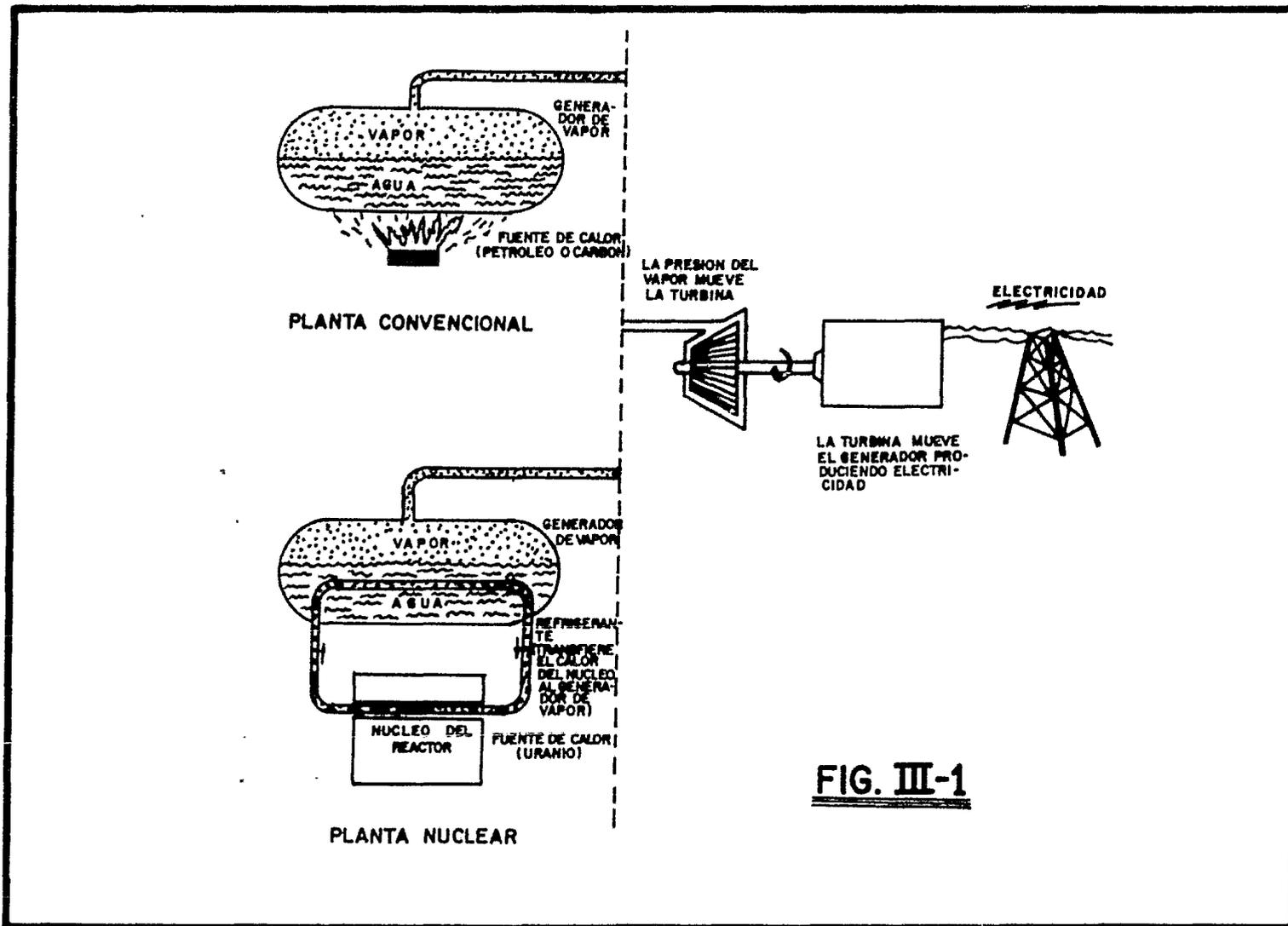
Actualmente, y con el apoyo de la infraestructura creada en los centros de investigación, el aprovechamiento -

de la energía nuclear en diversos campos, ha llegado a construir una industria madura. De interés especial, es la creciente participación de las centrales nucleoelectricas en la satisfacción de la demanda de energía eléctrica.

La mayoría de la energía eléctrica que se genera actualmente en el mundo, proviene de centrales termoeléctricas, en las cuales el calor de combustión convierte agua en vapor, que se convierte a su vez, en energía mecánica en la turbina. La turbina por su parte, impulsa al generador que produce la energía eléctrica. Lo más común actualmente, es que el calor requerido para generar el vapor, provenga de combustibles fósiles; carbón, petróleo y gas. En el caso de las plantas nucleoelectricas, la energía generada en la reacción nuclear de fisión, suministra el calor para producir el vapor. En estas plantas, el reactor nuclear sustituye a la caldera de una central termoeléctrica convencional, o con mayor precisión conceptual, al hogar de la caldera, ver figura III - 1.

La reacción de fisión consiste en que ciertos nucleos pesados, sobre todo el isótopo 235 del uranio (U-235), se parten en dos o más fragmentos, al absorber neutrones, liberando energía durante el proceso. Los fragmentos, denominados productos de fisión (PF), se disparan a gran velocidad y conforme van chocando con los núcleos circundantes, pierden su energía cinética, que se transforma en calor. Estos PF son inestables y por ello, radioactivos.

Al partirse o fisionarse cada núcleo, se liberan entre 2 y 3 neutrones, haciendo posible la reacción en cadena, en la cual un neutrón liberado en la fisión de un núcleo A, causa la fisión en el núcleo B, el cual a su vez emite neutrones que chocan con el núcleo C, etc. (la bomba atómica, -



es un dispositivo en el cual la reacción nuclear de fisión - en cadena se lleva a cabo en forma no controlada).

La eficacia de los neutrones para causar fisión, es mayor mientras menor sea su velocidad. En consecuencia, la mayoría de los reactores contienen un material ligero llamado moderador, cuya función es frenar a los neutrones. Ejemplos de moderadores son: el grafito, el agua ordinaria (H_2O), el agua pesada (D_2O) y el berilio. El primero y el último - se utilizan en forma de sólidos y los otros dos como líquidos, por lo cual éstos últimos sirven también para remover - el calor generado por la fisión. El hidrógeno absorbe neutrones en mayor proporción que su isótopo, el deuterio o que el grafito, y por eso, cuando la economía de neutrones es crítica, es necesario usar agua pesada o grafito como moderador.

La velocidad de fisión (y por consiguiente la de generación de calor) se regula controlando el número de neutrones libres en el núcleo del reactor, mediante la introducción o la extracción de sustancias absorbedoras de neutrones (barras de control). Dependiendo de la cantidad insertada, dichas sustancias pueden llegar incluso a apagar el reactor.

Otra reacción nuclear, con posibilidades muy interesantes para satisfacer en definitiva las necesidades energéticas del mundo, es la FUSION donde, en contraste con la FISSION, se unen dos núcleos para producir uno más pesado, liberando en el proceso grandes cantidades de energía. La bomba de hidrógeno, es un dispositivo donde se emplea la reacción de fusión en forma no controlada. Recientemente se han acelerado los trabajos de investigación para llegar a controlar la reacción de fusión. Sin embargo, los expertos esti--

man que deberán transcurrir varios años para lograr la factibilidad práctica del proceso y, por consiguiente, no consideraran que antes del año 2000 pueda tomarse en cuenta a la fusión como una tecnología capaz de suministrar cantidades masivas de energía.

Volviendo a las centrales nucleares actuales, el uranio es el combustible nuclear básico porque contiene $U-235$, prácticamente la única sustancia fisiónable por neutrones en la naturaleza. La concentración natural de $U-235$ en el uranio, es de 0.71 %, consistiendo el resto de $U-238$, material no fisiónable, sino fértil, que mediante la captura de neutrones, puede convertirse en plutonio 239 ($Pu-239$) que sí es fisiónable. Otro material fértil, es el torio que al capturar un neutrón, se convierte en uranio 233 ($U-233$), también fisiónable.

R E A C T O R N U C L E A R

El reactor nuclear es un aparato en el cual se controla una reacción en cadena de fisiones nucleares.

El papel que desempeña un reactor nuclear en una planta nucleoelectrónica, es el mismo que juega una caldera en una planta convencional, es decir, el de una fuente de calor.

Como se puede ver en forma simplificada en la figura III - 1, el calor generado por la combustión del petróleo, del carbón del gas o por la fisión del uranio se utiliza para calentar agua que produce vapor. Este vapor a su vez, mueve la turbina que hace girar un generador eléctrico que transforma ese movimiento en energía eléctrica. En esta fi-

gura se separaron en forma de opciones las dos formas de generar vapor; por un lado la convencional y por el otro la nuclear. En la parte derecha de la figura se muestra el equipo que es similar en los dos casos.

De lo anterior surge la pregunta: ¿ por qué utilizar un reactor nuclear en lugar de una caldera convencional? La respuesta a esta pregunta es doble, desde el punto de vista económico es muy obvio; si antes de la crisis energética de 1973 los reactores competían económicamente con las plantas termoeléctricas a base de hidrocarburos, después de la crisis, cuando los precios del petróleo se triplicaron, la balanza se inclinó fuertemente en favor de la energía producida por plantas nucleoelectricas. Desde el punto de vista político o estratégico es igualmente sencillo. Las reservas de petróleo no son infinitas, por lo que deben utilizarse en la forma más eficiente posible, y quemarlas en la forma más ineficiente y más irracional. Las reservas de petróleo deben utilizarse con miras a extenderlas por el mayor período de tiempo posible y además, usarlas en los campos más productivos, tal es el caso de la petroquímica.

Los reactores nucleares utilizan como combustible materiales fisionables tales como el uranio 235 (U-235) que a pesar de que no se conocen reservas mundiales para un período muy largo, si pueden servir para aliviar el problema energético en tanto se desarrollan otras fuentes que por ahora no son aprovechables.

Los componentes básicos de un reactor se ilustran en la figura III - 2 Son los siguientes:

Un "núcleo" de combustible (Núm. 5 en la figura III - 2).

Un "moderador" que reduce la velocidad de los neutrones y ayuda así al proceso de fisión (Núm. 6 en la figura III - 2).

Un medio de regular el número de neutrones libres y así regular la fisión (Núm. 1 en la figura III - 2).

Un medio de extraer el calor generado en el núcleo del reactor (en el reactor de la fig. III - 2 esto se logra con el agua refrigerante). (Núm. 6 en la fig. III - 2).

Un "blindaje" o protector contra radiaciones (Núms. 3 y 4 en la fig. III - 2).

Estos componentes se describen a continuación:

COMBUSTIBLE.- Es el material fisionable o una combinación de material fisionable con perfil, necesario para proporcionar neutrones y mantener la reacción en cadena.

El ingrediente esencial del combustible de un reactor ha de ser un material que sea fisionable, esto es, una sustancia que se fisione o desintegre fácilmente al ser bombardeada con neutrones. La única sustancia que en su estado natural es fácilmente fisionada o fracturada por neutrones lentos es el uranio 235. Este elemento es un isótopo de uranio y constituye menos del uno por ciento (actualmente -- 0.71 %) del elemento uranio tal como existe en su estado natural. Casi todo el resto del uranio natural consiste en -- uranio 238, el cual se conoce por "material fértil" pues puede transformarse en otra sustancia fisionable llamada plutonio. Esta transformación ocurre al irradiar el uranio 238 -- con neutrones.

REACTOR NUCLEAR

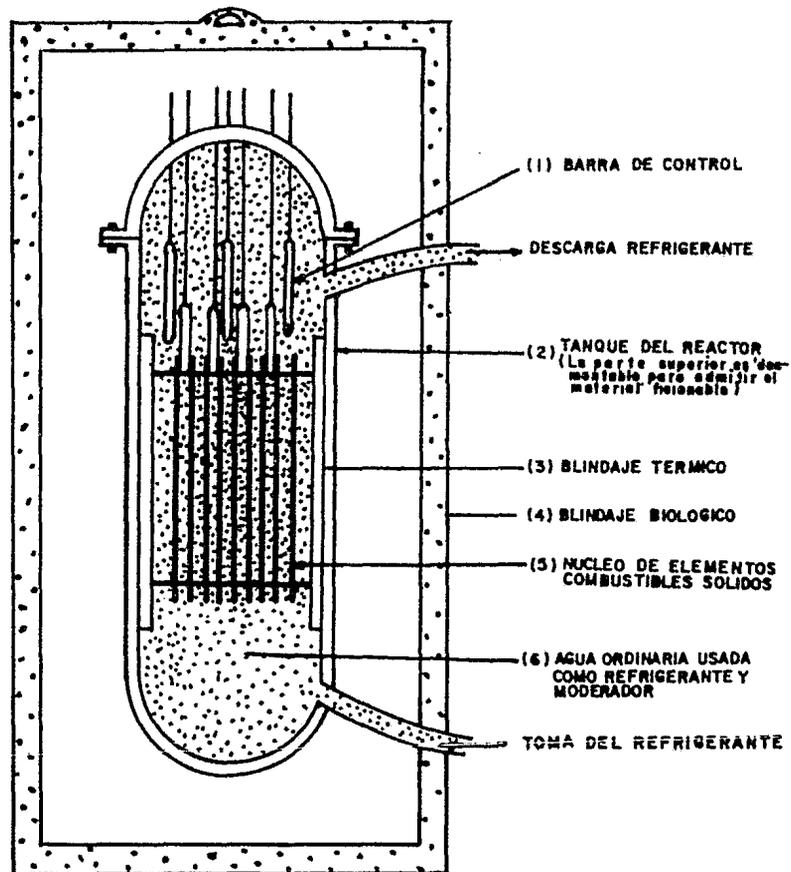


FIG. III-2

El combustible de un reactor consiste por lo regular en una mezcla de materiales fisiónables con materiales fértiles. Durante la operación del reactor, según se va irradiando el combustible, los átomos del material fisiónable se van consumiendo pero al mismo tiempo el material fértil va produciendo NUEVOS átomos fisiónables. La proporción de nuevos átomos fisiónables consumidos a la de nuevos átomos formados dependen del diseño del reactor. En el reactor "reproductor" es posible lograr una pequeña ganancia neta de material fisiónable; sin embargo, actualmente, casi todos los reactores funcionan con una pérdida neta de material fisiónable. Debe indicarse, no obstante, que aunque el reactor "reproductor" produce más material fisiónable que el que consume, no es por esto una "máquina mágica". El convertir material fértil en material fisiónable asegurando así el buen uso de nuestras fuentes de combustible nuclear.

El porcentaje de átomos fisiónables en la mezcla de combustible 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. Aunque hay limitaciones prácticas en este punto de diseño, no es necesario discutir las. Algunos reactores se abastecen con uranio natural que, como hemos indicado anteriormente, tiene una concentración de átomos fisiónables de menos de un uno por ciento. Otros se abastecen con uranio un poco más enriquecido; especialmente los que se usan para propulsión, donde el tamaño compacto es esencial, utilizan uranio bien enriquecido.

Otro aspecto importante del combustible para reactores es su forma física. Algunos reactores utilizan combustible fluido, como por ejemplo una solución líquida de uranio-

enriquecido. Generalmente, sin embargo, el combustible se usa casi siempre en estado sólido, bien sea uranio metálico, óxido de uranio o carburo de uranio. El combustible sólido se fabrica en varias formas, como pequeñas placas, bolines, clavillos, etc., los cuales se empaquetan en unidades compactas llamadas "elementos combustibles". El núcleo de un reactor contiene desde diez hasta cientos de estos elementos, sostenidos y geométricamente ordenados por emparrillados.

Casi todos los elementos combustibles sólidos van provistos de un revestimiento o camisilla que, además de servir como parte integral del elemento, impide el contacto directo entre el líquido refrigerante y el combustible en sí. Los materiales más comunes para revestimiento son el acero inoxidable y el circonio, para reactores de potencia, y el aluminio cuando se trata de reactores de investigación.

MODERADOR.- Es el material empleado en un reactor, esparcido con el combustible (puede ser el mismo refrigerante primario), para reducir (moderar) los neutrones rápidos del nivel elevado de energía cinética a que son expelidos durante la fisión a un nivel más bajo (neutrones térmicos) requeridos para la fisión del $U - 235$.

Los neutrones liberados en una reacción en cadena se muestran a grandes velocidades al principio, pero al chocar con el material componente del 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 puede frenar los neutrones rápidamente 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 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 birilio y algunos compuestos orgánicos.

El moderador debe estar bien distribuido en el envase o recipiente. En algunos reactores esto se logra mediante un arreglo simétrico del material moderador y en otros, -mezclando íntimamente el material moderador con el combustible.

Debe advertirse que los reactores en los cuales se utilizan elementos combustibles con alto enriquecimiento y -con montajes bien compactos, no necesitan moderador, pues -- pueden funcionar eficazmente con neutrones rápidos. Estos -reactores se conocen por reactores "rápidos".

REFRIGERANTE.- Es un medio termodinámico que puede ser simple (primario) o doble (primario y secundario) que transmite o remueve el calor de la fisión y/o el calor formado por las radiaciones en el núcleo del reactor, reflector y estructuras. El refrigerante evita daños a las estructuras y transfiera la energía hacia el convertidor para suministrar la -- energía deseada.

Cuando un átomo de carbón se combina con dos átomos

de oxígeno en la combustión del carbón o de otros combustibles fósiles, aproximadamente 4 electro-volts son producidos por molécula de dióxido de carbono. Cuando un átomo de U-235 es fusionado, 200 millones de electro-volts son producidos. De ahí que, la energía producida en la fisión de U-235 es mayor en 50 millones de veces en una molécula base, que la producida por la combustión de un combustible fósil. Expresado en otras palabras, la energía representada por una libra de U-235 es aproximadamente equivalente a 1 500 toneladas (3 millones de libras) de carbón. Aún más, como una tercera comparación un pie cúbico de U-235 contiene tanta energía como 32 billones de pies³ de gas, 7.2 billones de billones de lbs. de aceite y 1.7 millones de toneladas de carbón.

Aproximadamente toda la energía de la fisión aparece como calor en el núcleo del reactor. Sin embargo, solo es posible convertir una fracción de este calor en energía eléctrica. Todas las plantas actuales en operación utilizan en la actualidad un ciclo cerrado de refrigeración, para generar vapor, que es convertido en turboalternadores en electricidad además, el refrigerante es esencial, las estructuras, el reactor y partes auxiliares, así como el elemento combustible, contra torceduras, rupturas y hasta derretición debido a las altas temperaturas.

El tipo de refrigerante es el más importante factor en el diseño del reactor.

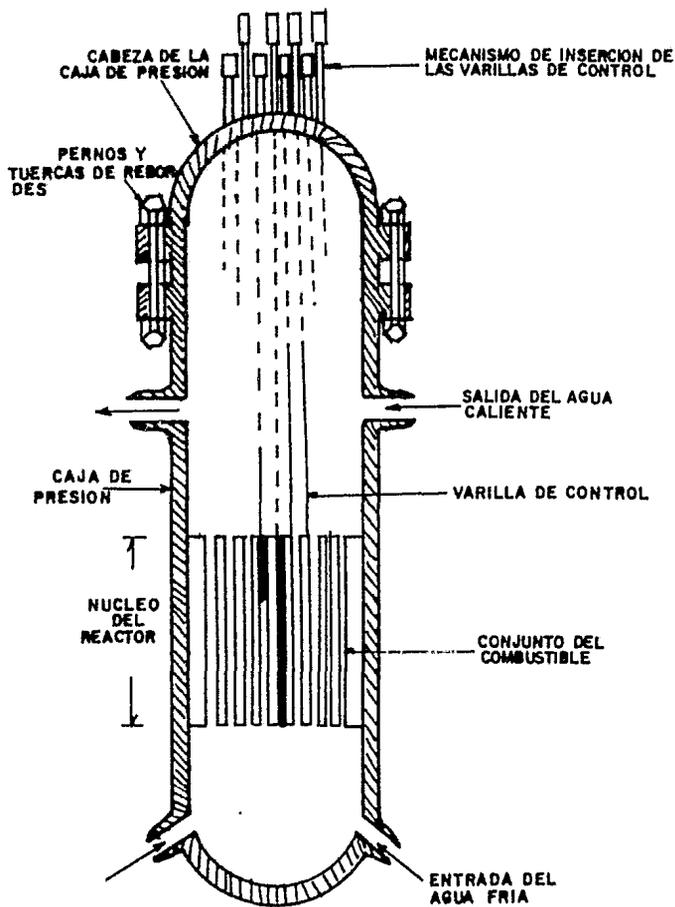
Los refrigerantes pueden ser separados dentro de 5 principales categorías: Agua, gases, metales, líquidos, fluidos orgánicos y fluidos inorgánicos.

En la siguiente tabla se ven las características de los principales refrigerantes:

CARACTERISTICAS DE LOS REFRIGERANTES DEL
REACTOR.

Fluido o gas.	Propieda- des Nu-- cleares.	Propieda- des Térmic- as.	Calor especí- fico volumé- trico (Btu/ft ³ °F).	Estabilidad (calor y ra- diación).	Manejo.
Agua ligera a presión..	Regular	Bueno	72	alguna di- sociación.	Sin problema
Sodio	Bueno	Excelente	17	Estable	reacción con agua.
Helio	Bueno	Regular	--	Estable	Bueno
Terphenyls	Bueno	Pobre	35	alguna di- sociación.	Sin problema
Agua pesada	Bueno	Bueno	82	alguna di- sociación.	Sin problema

BARRAS DE CONTROL.- Las barras de control tienen por objeto controlar el valor del flujo, esto se logra introduciendo o sacando las varillas de control del núcleo atómico donde se encuentra alojado el combustible. Estas barras o barillas están hechas de aleaciones de plata y cadmio o acero y boro, también algunas veces de metal Hafnio. Estas varillas rápidamente absorben neutrones y por lo tanto pueden retardar la fisión (reacción en cadena), proceso mediante el cual se produce calor. (Ver figura III - 3).



SECCION TRANSVERSAL VERTICAL DE LA CAJA
DE UN REACTOR DE AGUA
A SOBREPRESION

FIG. III-3

La caída de las varillas de control en el reactor - retardan el rompimiento atómico; y su retirada o subida (de las varillas) acelera la reacción.

Para cesar completamente el trabajo del reactor, se utiliza una solución del moderador la cual se inyecta directamente alrededor de las varillas de combustible.

En algunos reactores no existen barras de control, - pues éste se logra haciendo variar el nivel del líquido moderador.

REFLECTOR.- Es una capa o estructura de material que rodea - al núcleo de un reactor, para limitar el escape de neutrones desde el sistema.

El reflector debe ser un elemento de masa atómica - reducida, como el moderador, si se desea que los neutrones - termalizados regresen al núcleo del reactor. Si, por el contrario, se trata de un reactor de neutrones rápidos, el re-- flector debe ser un material de gran masa que permita devol-- ver hacia el núcleo los neutrones sin disminuir la energía.- El papel del reflector es pues disminuir las fugas (perdi-- das) de neutrones. Una coraza que rodea el núcleo del reac-- tor y contiene productos fértiles (th-232, U-238) permite a-- veces capturar los neutrones que huyen del núcleo y, al ab-- sorberlos, se producen en ella materiales fisionables (th-- 232 - U-233, U-238 Pu-239), para la parte de neutrones no-- capturados, la coraza actuará como reflector.

VASO DE PRESION.- Este recipiente es una estructura normal-- mente cilíndrica formada por placas de acero forjadas y car-- bón, las superficies inferiores están hechas de acero inoxi-- dable, la sección superior de este vaso tiene perforaciones-

para permitir la entrada de las barras de combustible y varillas de control. En esta estructura es donde se lleva a cabo la "fisión nuclear".

BLINDAJE.- El blindaje tiene por objeto absorber las radiaciones emitidas por la reacción atómica. Normalmente este blindaje es de concreto de varios metros de espesor, pues como se ha dicho anteriormente los neutrones y rayos gamma tienen gran poder de penetración.

La parte de energía que no se transforma instantáneamente en calor, se emite en forma de penetrantes radiaciones atómicas. Los reactores nucleares, por consiguiente, deben estar fuertemente blindados. A propósito, debe indicarse aquí la diferencia entre el "blindaje térmico" interno y el "blindaje biológico" externo. El primero se utiliza en los reactores de alta potencia para proteger el tanque principal contra radiaciones y el segundo, en el cual estamos más familiarizados, es el que protege al personal centro expuesto a radiaciones. El blindaje térmico interno consiste comúnmente en un revestimiento o forro de acero y el blindaje externo consiste casi siempre en una cubierta o armazón de hormigón de varios pies de espesor que cubre la instalación completa.

TIPOS DE REACTORES NUCLEARES

A lo largo de nuestro estudio, hemos podido apreciar cuántos y cuan diversos tipos de reactores nucleares pueden preverse. Para clasificar todos estos tipos, vamos a resumir todo lo dicho hasta ahora, poniendo orden en nuestra

explicación. Como criterios de clasificación adoptaremos -- los siguientes:

- a) por el tipo de combustible (uranio 233, plutonio, etc.)
- b) por el material fértil utilizado (torio, uranio-238, etc.)
- c) por el refrigerante (agua, agua pesada, metal líquido, etc.)
- d) por el moderador (agua, grafito, agua pesada, -- etc.)
- e) por la naturaleza del combustible (uranio 233, - plutonio, etc.)
- f) por la energía de los neutrones (reactores len--tos, reactores rápidos).
- g) por la finalidad (reactores simples, reproductores, etc...)

Casi todos los reactores existentes en la actuali--dad son reactores heterogéneos; en ellos, los elementos de - combustible están aislados entre sí. En los reactores homo--géneos, el combustible es una pasta de sulfato de uranilo, - óxido de uranio, aleación uranio-bismuto, etc., introducida en una caldera; esta pasta sirve a la vez, como combustible, como moderador y como refrigerante. Solamente puede utili--zarse combustible enriquecido. Estos reactores están actual--mente en estudio y solamente se han construido de pequeña po--tencia, con fines experimentales.

El conjunto de todos los criterios a seguir para -- una clasificación de los reactores nucleares queda expresado

en la siguiente tabla:

CRITERIOS DE CLASIFICACION DE LOS REACTORES NUCLEARES

1	1	1	1
1	COMBUSTIBLE.- Uranio 233.	1	MODERADOR.- Agua.- Agua pesa
1	Uranio 235.- Plutonio 239.	1	da.- Grafito.- Berilio.
1		1	1
1	MATERIAL FERTIL.- Torio	1	NATURALEZA DEL COMBUSTIBLE.-
1	232.- Uranio 238.	1	Homogéneos.- Heterogéneos.
1		1	1
1	REFRIGERANTE.- Anhídrido	1	ENERGIA DE LOS NEUTRONES.-
1	Carbónico.- Helio.- Agua.	1	lentos.- Rápidos.
1	Agua pesada.- Bencina di-	1	1
1	fenilo.- Bencina trifenilo	1	ENERGIA DE LOS NEUTRONES.-
1	Mercurio.- Sodio.- Potasio	1	Lentos.- Rápidos
1	Aleación sodio-potasio.-	1	1
1	Aleación plomo-bismuto.-	1	FINALIDAD.- Simples.- Conver
1	Litio.- Galio.	1	tidos.- Reproductores.
1		1	1

Si a partir del cuadro anterior, intentamos una clasificación, observaremos que el número teórico de reactores nucleares distintos que puede existir, es de

$$3 \times 2 \times 13 \times 4 \times 2 \times 2 \times 3 = 3\ 744$$

Ya hemos dicho que éste es un número teórico: en la realidad, y por diversas causas, muchos de estos tipos de -- reactores son irrealizables; por ejemplo, un reactor de neu-

trones rápidos no puede utilizar agua ordinaria como refrigerante, a partir del uranio 238 como material fértil, se obtiene siempre uranio 235 como combustible, etc...; además, - existen todavía dificultades técnicas que no permiten la realización de muchos tipos de reactores nucleares.

Por todo lo dicho en el párrafo anterior, vemos que en la práctica, el número de combinaciones posibles se reduce mucho; se calcula en unos 100, los reactores nucleares -- distintos que pueden realizarse con los medios técnicos actuales. Naturalmente, nosotros no podemos describir aquí todos estos reactores; describiremos sin embargo, los más importantes comercialmente.

- 1.- Reactor de agua en ebullición
- 2.- Reactor de agua a presión
- 3.- Reactor de uranio natural
- 4.- Reactor de sodio grafito
- 5.- Reactor enfriado con gas
- 6.- Reactores de crias
- 7.- Reactores de alta temperatura enfriado por gas
- 8.- Reactor homogéneo.

REACTOR DE AGUA EN EBULLICION

El nombre de este reactor lo dice todo. Como se -- muestra en la figura III-4, el agua entra en el reactor y se calienta conforme pasa entre los elementos del combustible - nuclear. El vapor comienza a reunirse en la parte superior-

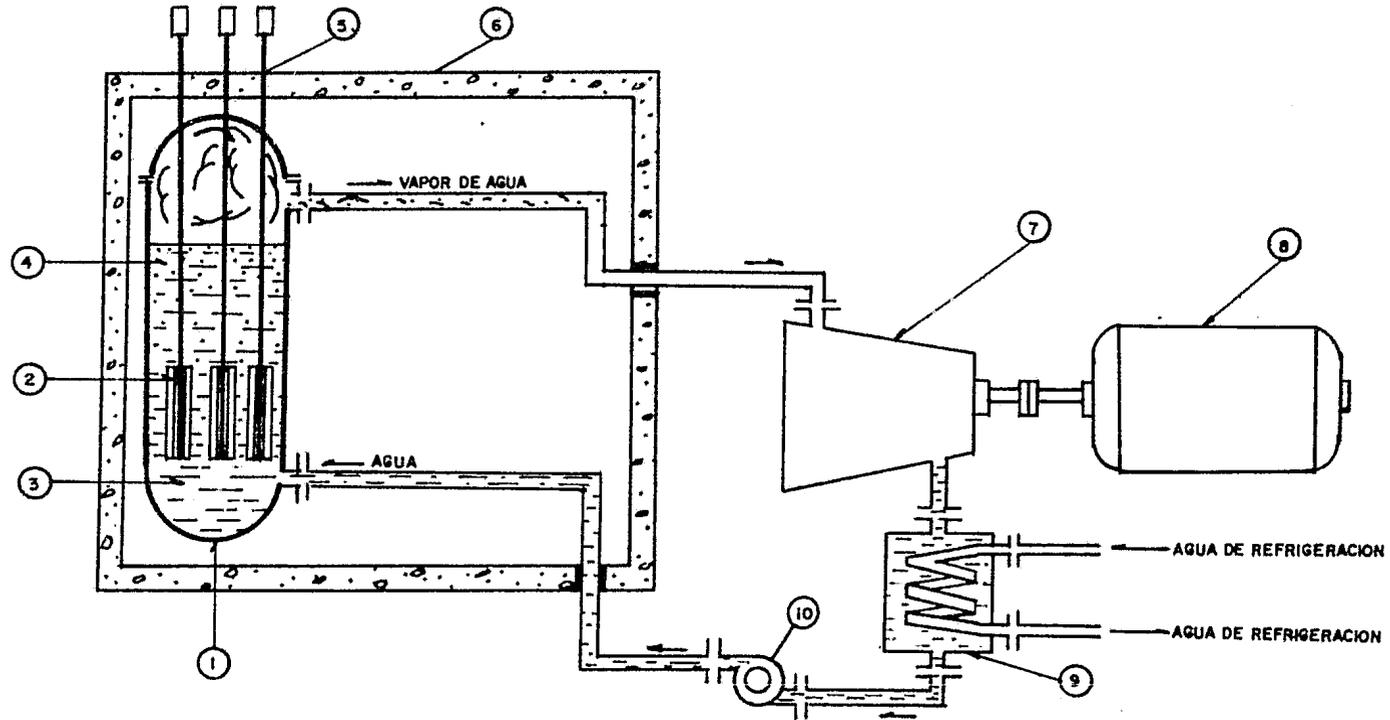
del reactor y sale por un tubo el cual es inyectado directamente en una turbina de vapor, que acciona un generador eléctrico. El vapor de salida de la turbina, pasa por un condensador, donde se transforma nuevamente en agua líquida, y se reinyecta después en el reactor nuclear, por medio de una -- bomba centrífuga.

El vapor, producido directamente en el reactor, es radioactivo; por lo tanto, la protección biológica a base de hormigones especiales y plomo, necesaria en todos los reactores nucleares, debe extenderse aquí a todo el circuito de -- agua, que comprende la turbina de vapor, el condensador, la bomba centrífuga y las tuberías correspondientes. Este es -- el mayor inconveniente de este reactor pues se hace difícil la revisión y reparación del circuito de agua.

El agua y el vapor en un típico reactor de agua en ebullición se mantiene a una presión de 70.3 kg. por cm^2 , -- presión equivalente a la que hay a cerca de 800 m. debajo de la superficie del mar. La presión eleva el punto de ebullición del agua del reactor a un valor alto, 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.

Como es bien sabido, el vapor procedente de una -- olla de agua que hierve en una hornilla tiene una temperatura de 100°C . El vapor a esta temperatura tiene un valor -- energético demasiado bajo para que pueda utilizarse en la -- turbina. Con el objeto de aumentar la energía, se debe elevar la temperatura del vapor. En un reactor esto se lleva -- a cabo haciéndolo circular a alta presión. El principio es similar al de las ollas de presión que cuecen los alimentos -- más rápidamente porque es mayor el calor. A la presión de --

REACTOR DE AGUA HIRVIENTE



1- CUERPO DEL REACTOR 2-COMBUSTIBLE (URANIO (ENRIQUECIDO) 3-MODERADOR (AGUA NATURAL)
4-REFRIGERANTE (AGUA NATURAL) 5-VARILLAS DE REGULACION 6-PROTECCION BIOLÓGICA
7-TURBINA DE VAPOR 8-GENERADOR ELECTRICO 9-CONDENSADOR 10-BOMBA CENTRI-
FUGA DE CIRCULACION DEL AGUA DE LA TURBINA

FIG. III-4

70.3 kg. por cm^2 , característica de un reactor de agua en -- ebullición, la temperatura del vapor es aproximadamente de -- 285°C .

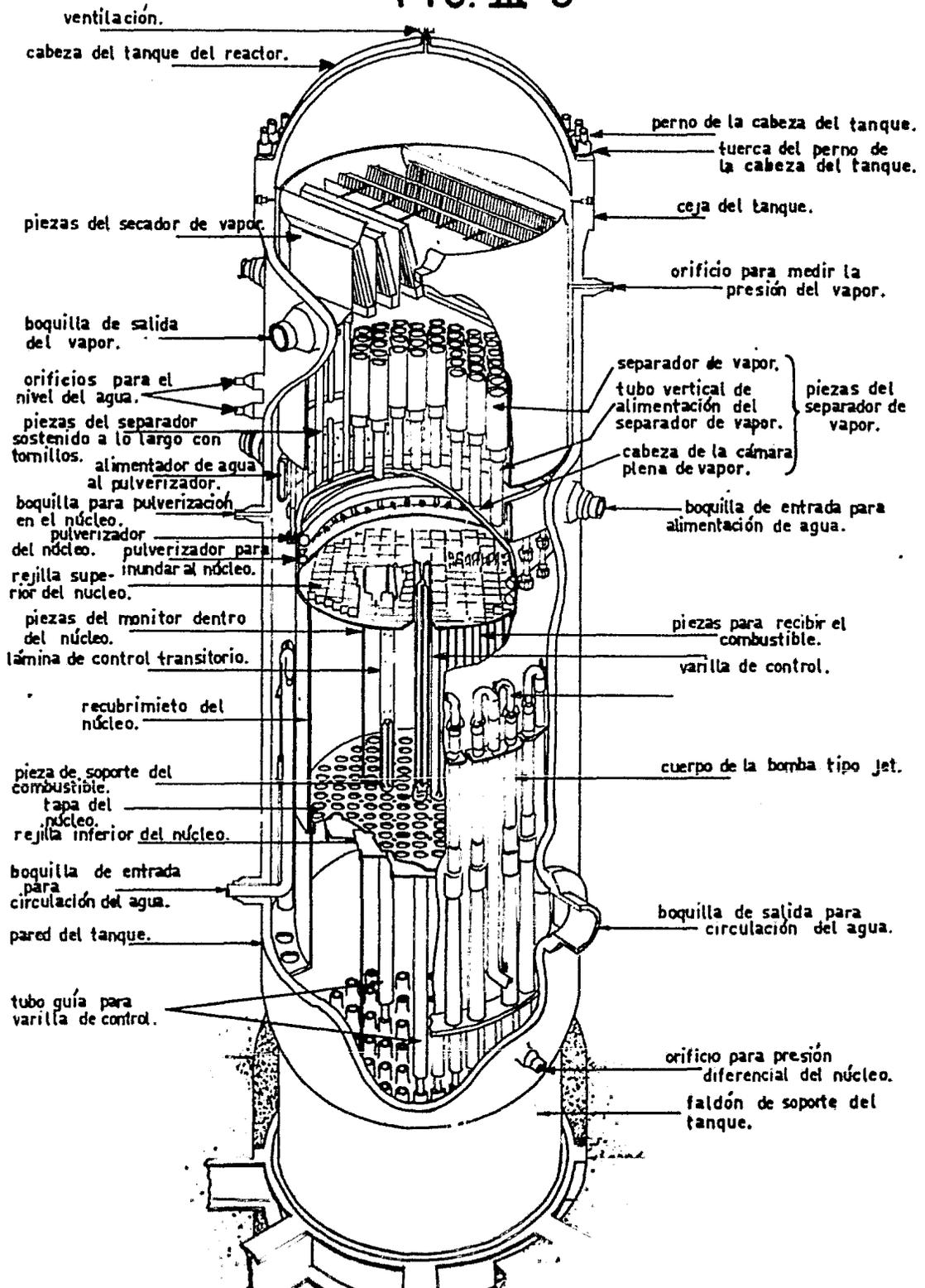
El sistema nuclear de abastecimiento de vapor que -- se basa en un reactor de agua en ebullición quizá parezca re-- lativamente simple si se le compara con algunos de los siste-- mas que se analizan y aparecen ilustrados en las páginas si-- guientes. El sistema de ebullición sólo consta de unos cuan-- tos componentes principales, pero éstos son mucho más gran-- des que los del sistema de agua a presión, por ejemplo. Una planta de energía nuclear con rendimiento eléctrico de -- -- 500 000 kilovatios requiere de un recipiente reactor de ebu-- llición (el que contiene el combustible nuclear) de unos 18- m. de altura y 5.8 m. de diámetro. Sin embargo, hay varios- componentes adicionales de gran tamaño en el sistema de agua a sobrepresión, a fin de que las cosas se compensen según el peso de los componentes de tan gran tamaño.

El reactor está compuesto principalmente por la cu- ba con el núcleo central y las barras de regulación, introdu- cidas por la parte inferior con un dispositivo de acciona- -- miento, así como por dos circuitos exteriores de recircula-- ción figura III-5.

Mencionemos también como auxiliares importantes, -- los sistemas directamente ligados al reactor: la instrumenta- ción normal del núcleo central, el sistema primario de puri- ficación del reactor, el sistema de refrigeración durante -- las paradas, la instalación de tratamiento para los subpro-- ductos radiactivos y el sistema de inyección de seguridad y- aspersion.

El combustible está constituido por pastillas de --

FIG. III-5



RECIPIENTE DEL REACTOR BWR

óxido de uranio ligeramente enriquecido, introducido en cubiertas de zircaloy.

La vasija de presión es un recipiente cilíndrico de acero con un revestimiento interior de acero inoxidable para darle resistencia necesaria a la corrosión, ya que el agua a temperaturas elevadas es bastante corrosiva.

La cubierta del material fusionable es una estructura de acero de forma cilíndrica que envuelve al núcleo; y constituye una barrera que separa el flujo ascendente, a través del núcleo, del descendente en forma anular entre la pared de la vasija de presión y la envolvente. Este flujo ascendente es, el resultado de las descargas de los separadores de vapor y de las bombas del agua de circulación.

El núcleo de un reactor de agua ligera en ebullición es un arreglo cilíndrico que tiene un gran número de barras de material fisiónable, localizado en la vasija de presión.

El reactor de agua en Ebullición ha evolucionado a través de una serie de modelos para superar un problema inherente en esta clase de reactores. Cuando el agua hirviente se halla en el centro del reactor, se crean burbujas que cambian las propiedades moderadoras y absorbentes de neutrones del refrigerante y moderador, afectando también la transformación de material fisiónable en calor. Para solucionar este problema la masa principal de agua es bombeada desde el centro y devuelta a un punto más bajo.

Como el refrigerante contiene más burbujas de vapor en la parte superior del núcleo, el flujo neutrónico tiende a formar picos en la parte inferior; esta distorsión de flujo se compensa parcialmente mediante barras de control situadas

en el fondo.

En los sistemas de ciclo directo el agua hierve en la vasija de presión del reactor, y el vapor pasa directamente a la turbina. El reactor en ciclo directo no sigue la demanda de la turbina. Al aumentar la demanda de vapor, disminuye el punto de ebullición del agua, con lo cual aumenta el flujo de neutrones.

El vapor admitido en la turbina es controlado por un regulador de presión, de tal forma que la presión del vapor a la entrada de la turbina permanece prácticamente constante.

La integración del regulador de presión de la turbina y los sistemas de control permite que la cantidad de vapor producido responda automáticamente a la demanda de la turbina. Este control automático de carga permite cambios de velocidad en el sistema turbogenerador originados por variaciones de carga demanda, al igual que cambios de la potencia del reactor por variaciones de flujo de vapor.

Así pues, todos los aumentos de demanda de vapor en la turbina ocasiona una disminución en la temperatura del agua, lo que trae como consecuencia un aumento en las reacciones de fisión.

Los principales lugares en los cuales existen este tipo de reactores son:

España, la central nuclear de Santa María de Garoña de 460 MVA.

Dresden en Illinois (EE.UU.) de una potencia de 180 MVA.

Villigen en Suiza, de una potencia de 20 MVA.

Oulianovsk en la URSS, de una potencia de 50 MVA.

REACTOR DE AGUA A PRESION (PWR)

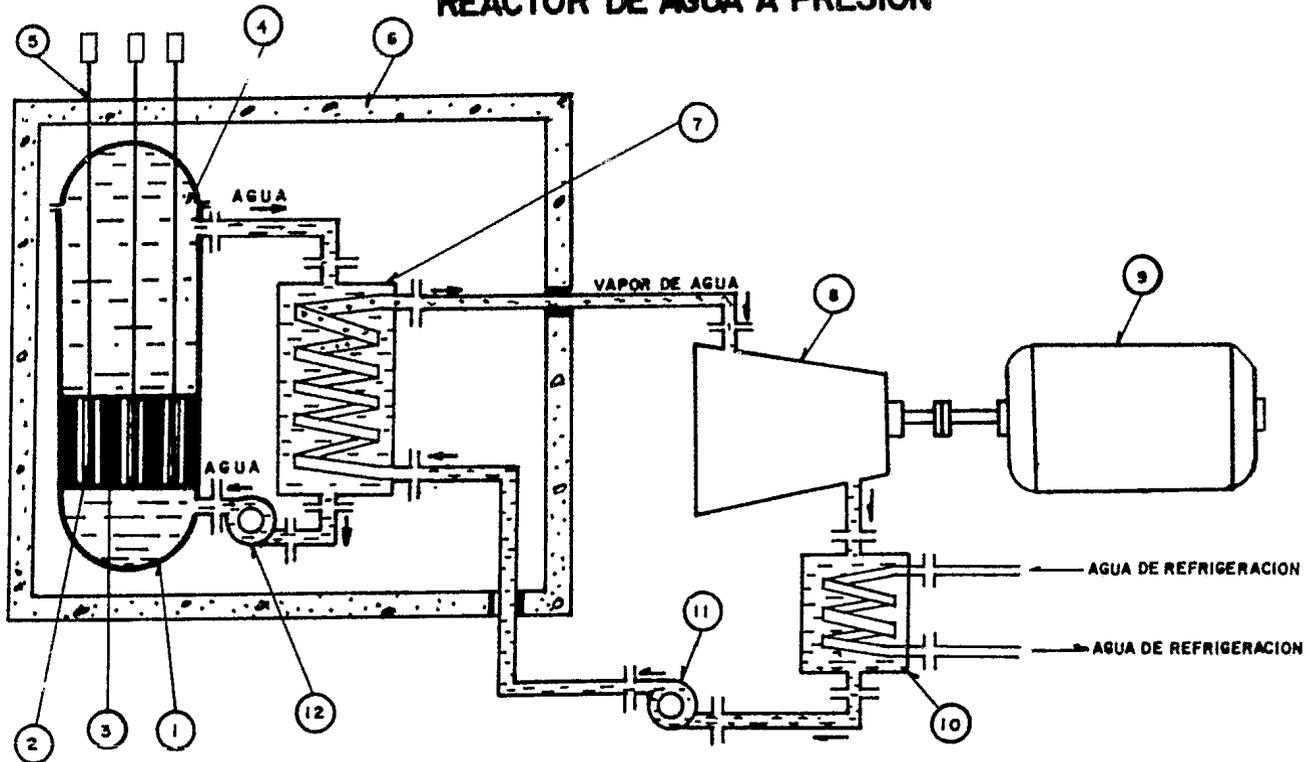
El mayor inconveniente del reactor de agua hirviente, es decir, la radiactividad del circuito de agua, queda solucionado en el reactor de agua a presión ver figura III-6. El refrigerante es agua a gran presión (por ejemplo, 40 atmósferas y más) y el moderador puede ser esta misma agua, o grafito; el combustible es uranio 238, enriquecido con uranio 235.

Ya sabemos que el agua sometida a grandes presiones puede llegar a evaporarse sin ebullición, y a temperaturas mayores de 100° C. En el reactor que estamos describiendo, se aprovecha esta circunstancia; el vapor producido, a unos 600° C, pasa por un cambiador de calor para volver, después de enfriado y condensado, al reactor nuclear. En el circuito secundario del cambiador de calor, se produce vapor de agua, que se inyecta en una turbina que, a su vez acciona un generador eléctrico.

Como los dos circuitos de agua son independientes, solamente el cambiador de calor ha de protegerse; la turbina de vapor queda libre de radioactividad y, por lo tanto, no es necesaria la protección biológica más que en el circuito del reactor.

El núcleo del reactor se halla contenido en una gran vasija denominada CUBA o VASIJA DE PRESION, la cual es un cilindro vertical. Para un reactor de 500 MWe la vasija de presión tiene un espesor no menor de 26 cm., un peso de unas 453 Ton., más una cantidad igual a la mitad de este peso cuando está llena de agua y se ha instalado el material fisiónable.

REACTOR DE AGUA A PRESION



1: CUERPO DEL REACTOR. 2: COMBUSTIBLE (URANO ENRIQUECIDO). 3: MODERADOR (GRAFITO).
4: REFRIGERANTE (AGUA A 42 ATMOSFERAS). 5: VARILLAS DE REGULACION. 6: PROTECCION
BIOLÓGICA. 7: CAMBIADOR DE CALOR. 8: TURBINA DE VAPOR. 9: GENERADOR. 10: CON-
DENSADOR. 11: BOMBA CENTRÍFUGA DE RECIRCULACION DE AGUA DE LA TURBINA. 12: BOM-
BA CENTRÍFUGA DE RECIRCULACION DEL REFRIGERANTE.

FIG. III-6

El material fisionable utilizado en este reactor es dióxido de uranio (UO_2) en forma de pastillas. El UO_2 se coloca dentro de tubos cerrados de acero inoxidable o de circonio, los cuales forman barras, de forma cuadrangular, que atraviesan el núcleo del reactor. Se emplean tubos de acero inoxidable o de circonio porque son muy resistentes a la erosión, ya que el agua a temperaturas muy altas es bastante corrosiva.

El conjunto de tubos que integra cada barra de material fisionable está muy cerca uno de otro, pero sin tocarse, se mantienen separados en una rejilla a fin de que circule el agua de enfriamiento entre ellos. En un reactor de 500 MVe cada barra de material fisionable mide de 20 a 23 cm. de lado y pesa unos 450 Kg. El núcleo del reactor contiene entre 150 y 160 barras de material fisionable de una longitud de 3 m. El moderador que emplea este tipo de reactor es el agua ordinaria. La utilización del moderador se debe a que en un reactor de este tipo el material fisionable es ligeramente enriquecido, por lo que, para que se realicen reacciones de fisión es necesario tener neutrones lentos.

El grado de generación de vapor se determina mediante las varillas móviles de control las cuales se pueden subir o bajar para retirarlas o meterlas en la región del conjunto del material fisionable. Estas varillas o barras de control son de cadmio o boro, los cuales poseen altos coeficientes de absorción neutronica.

El reactor consiste de un juego de barras de control o (barras reguladoras) para regulación rutinaria y un juego suplementario conocido como "barras de seguridad" las cuales se emplean para suspender las reacciones en cadena del reactor en caso de emergencia. Cuando el reactor se

abastece de material fisionable, las barras de control y de seguridad están completamente insertadas. Una vez abastecido, el reactor se pone en operación extrayendo por completo las barras de seguridad y parcialmente las barras de control. Lo anterior se hace en forma gradual y de acuerdo a las señales emitidas por instrumentos contadores de neutrones que supervisan la velocidad con las que se llevan a cabo las reacciones de fisión. Una vez que el reactor ha logrado autosostener la reacción en cadena, solo resta ajustar las barras de control para obtener las condiciones de operación deseada.

Un aspecto interesante del reactor PWR es el uso -- del ajuste químico. El cual es una forma de compensar los cambios de radioactividad a largo plazo del material fisionable y los productos de fisión. A medida que el material fisionable se consume, se van formando productos de fisión. Estas substancias absorben neutrones que al acumularse reducen la reactividad del material fisionable. Para compensar este efecto se sobrecarga con más material fisionable para preveer un exceso de reactividad que asegure la continuidad de la reacción. Esta se mantiene en balance por medio de -- contaminantes de control (generalmente ácido bórico) los cuales se mezclan con el refrigerante y a medida que la operación va en progreso deben retirarse.

Cuando se hace uso del ajuste químico se reduce el número de barras de control necesarias para la regulación -- del reactor. Para un reactor de 1 000 MWe se utilizan aproximadamente 60 barras de control en lugar de 150 cuando no se emplea el ajuste químico. Los reactores PWR disponen actualmente una tecnología bastante desarrollada basada en su experiencia de operación.

Como ejemplos de centrales nucleares con reactores--

de agua a presión, podemos citar la de Shippingport en Pennsylvania (EE. UU.), de 90 MVA, la de Vallegrande en Italia, de 160 MVA, la de Troitsk en la URSS, de 600 MVA, y en España la central de Zorita, de 153 MVA.

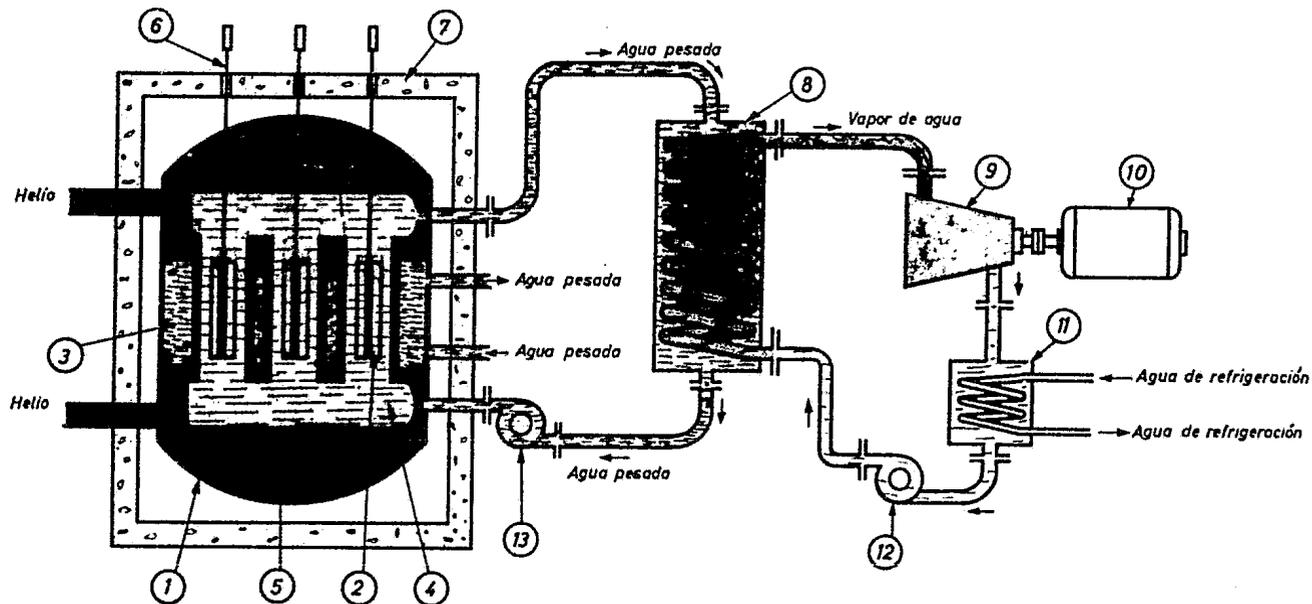
REACTOR DE URANIO NATURAL.

El único sistema comercial de este tipo en la actualidad es el CANDU (Canadian Deuterium Uranium), en el cual se utiliza agua pesada como moderador y refrigerante. El combustible mismo, se contiene en tubos por donde circula el refrigerante a alta presión. Estos sistemas requieren un cuidado extremo en la selección de materiales constitutivos del reactor, en virtud de que, por la baja concentración del U-235 es necesario evitar al máximo la presencia de materiales absorbentes de neutrones. En otras palabras la economía neutrónica es crítica en este diseño. Por la misma razón el combustible debe reponerse continuamente y en los CANDU, se tiene un sistema de hacerlo, sin apagar el reactor.

Las plantas nucleoelectricas que emplean este tipo de reactor son las siguientes: Perkering, Canadá, con cuatro reactores de 514 Mwe cada uno, Gentilly I, Canadá, con un reactor de 250 Mwe, Douglas Point, Canadá, con un reactor de 208 Mwe, Rapp I, en la India, con un reactor de 203 Mwe, Kanupp, Pakistán, con un reactor de 125 Mwe.

Este tipo de reactores tienen grandes ventajas como son: reducción de costos y diseños, reducción en los costos de ingeniería y maquinación relacionados con la manufacturación de componentes. La figura III-7 nos muestra un reactor de este tipo.

REACTOR DE AGUA PESADA.



Reactor de agua pesada: 1—Cuerpo del reactor. 2—Combustible (uranio natural). 3—Moderador (agua pesada). 4—Refrigerante (agua pesada). 5—Atmósfera de helio. 6—Varilla de regulación. 7—Protección biológica. 8—Cambiador de calor. 9—Turbina de vapor. 10—Generador eléctrico. 11—Condensador. 12—Bomba centrífuga de recirculación de agua de la turbina. 13—Bomba centrífuga de recirculación del refrigerante.

FIG. III-7

La circulación del refrigerante a través del material fisionable permite la extracción del calor generado por las reacciones de fisión. Este calor es transferido a los generadores de vapor, donde el agua ordinaria se transforma en vapor. La presión y temperatura del vapor son aproximadamente de 28 Kg/cm^2 y 267°C .

Las pastillas de UO_2 , tienen aproximadamente un diámetro de 2.38 cm. y una longitud de 2.11 cm. Estas se colocan una tras otra hasta integrar un elemento combustible. - La figura III-8 nos muestra un haz de elementos de material fisionable.

La potencia a la salida se asegura por medio de la variación de nivel del moderador y muy poco por el control de la temperatura.

Las operaciones de manipulación de material fisionable se efectúa por medio de dos máquinas de mando situadas a ambos lados del reactor. La máquina abastecedora introduce por un extremo del reactor, el canal de material fisionable gastado.

Los reactores de agua pesada comprenden diferentes ideas relativas al enfriamiento como: orgánico para plantas de doble propósito (HWOCR), con agua pesada a presión (HWPHW) y con agua ligera herviente (HWBLW) mismos que se están investigando en Canadá, Euratom, EE.UU., Gran Bretaña, Italia, Noruega y Suecia; cada uno tiene ciertas ventajas y están siendo revisadas las características técnicas y económicas para definir sus méritos relativos. En base a una aplicación comercial a gran escala, tanto el HWBLW como el HWOCR parecen ser los que cuentan con ventajas en el aspecto de costo, sobre los de agua ligera; los EE.UU. utilizan de manera efectiva

HAZ DE ELEMENTOS DE MATERIAL FISIONABLE.

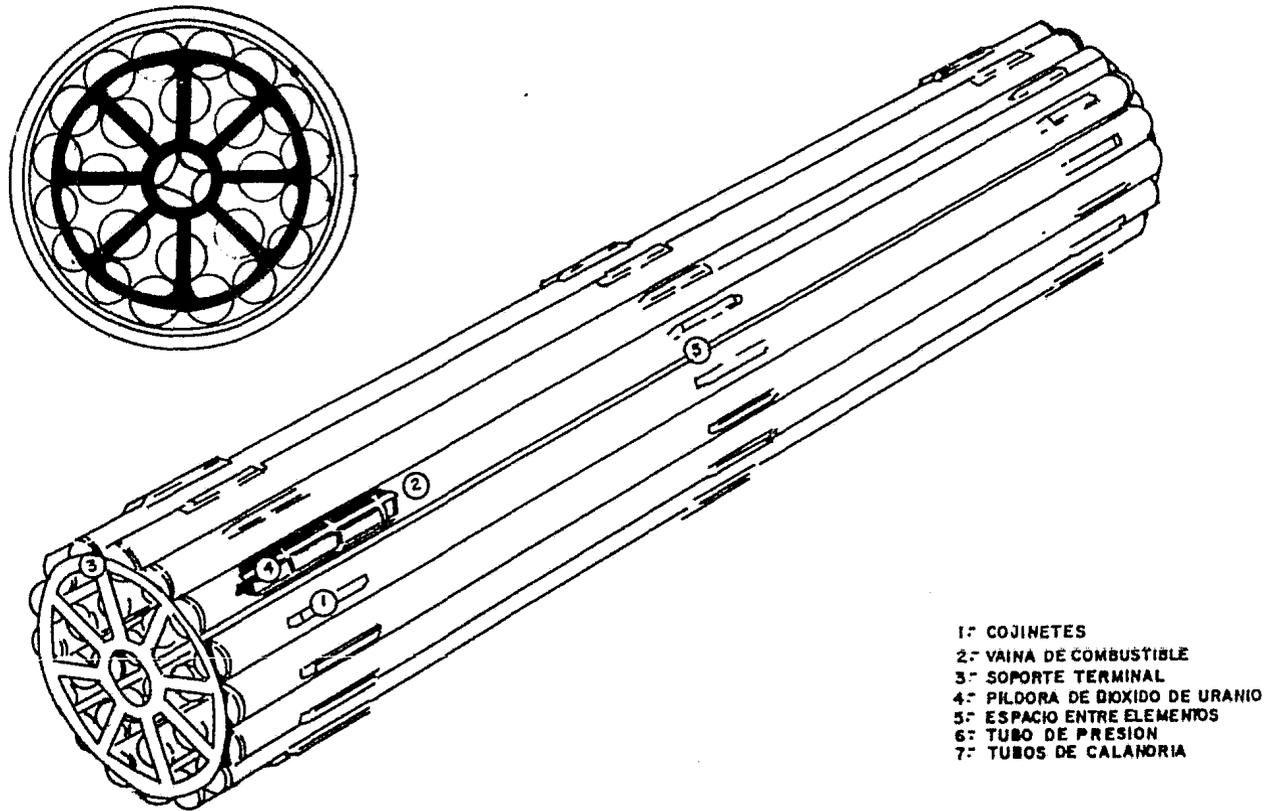


FIG. III-8

va y en alto grado la tecnología de los reactores de agua ligera en los sistemas HWBLW. Tomando en cuenta lo expuesto - anteriormente y en espera de los resultados que se obtengan de los convertidores avanzados, la USAEC decidió desarrollar el programa de reactores de agua pesada basándose en la tecnología de los de agua ligera y en los diseños y trabajos de ingeniería que ya están indicados en varios países a la vez que suspendió la construcción de la planta de demostración - con reactores HWOCR; sin embargo, como este último es representativo de los de agua pesada como clase, y como no se tiene actualmente más información, se ha empleado en este trabajo como referencia para estimar costos. Los datos se obtu--vieron a partir de un reactor de tubos a presión propuesto - por Atomic International y Combustion Engineering. Los tu--bos a presión envuelven las piezas del sistema de combusti--ble y el refrigerante orgánico y están montados dentro de un tanque a baja presión tipo calandria que contiene agua pesada haciendo las veces de moderador.

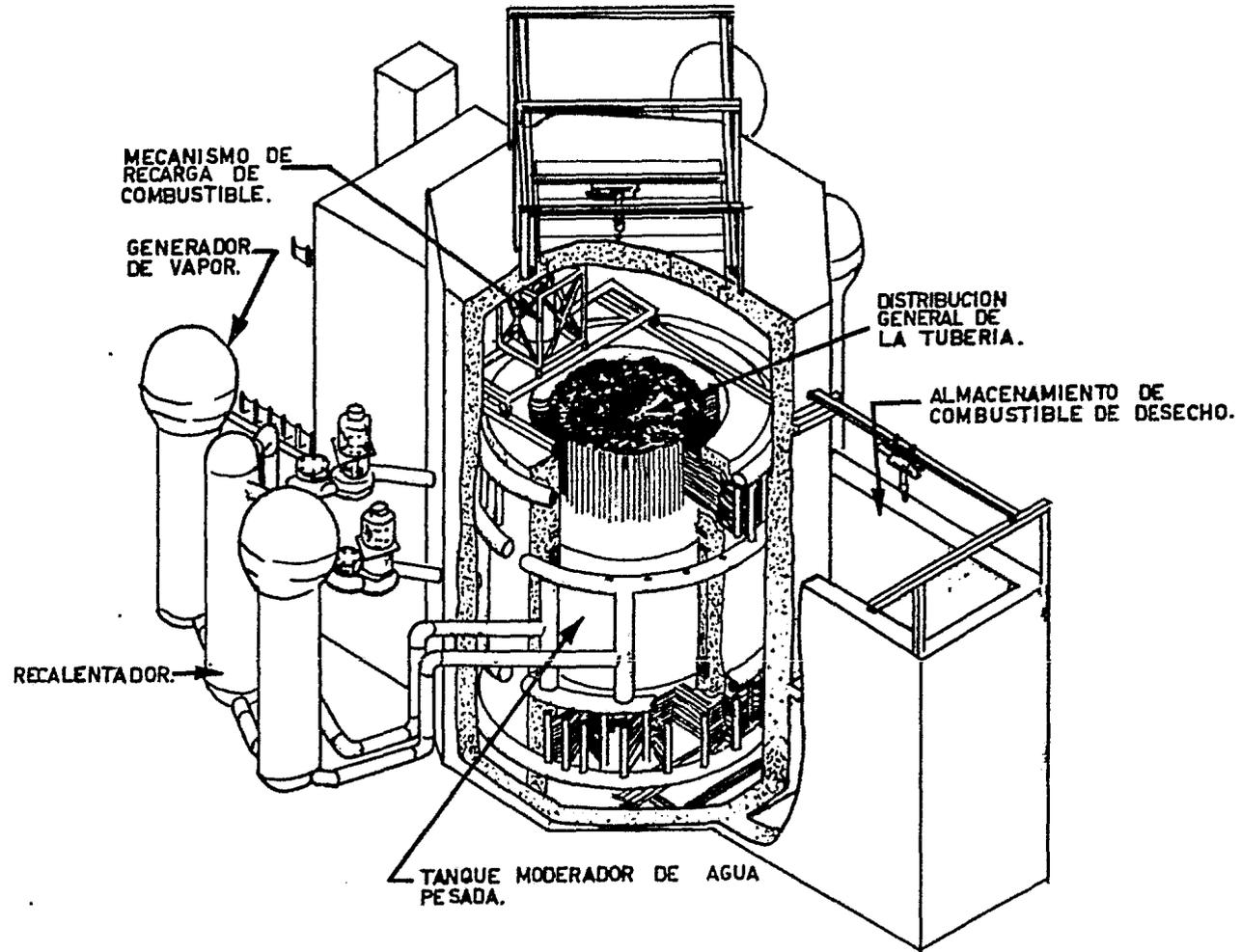
En la figura III-9 aparece un corte esquemático de este reactor, tiene un módulo básico de 13 tubos repetidos - varias veces hasta alcanzar la potencia deseada, en todos -- los casos el recipiente del reactor acusa forma rectangular- con extremos semicirculares.

El módulo básico puede considerarse en el diseño de futuras plantas de diversas capacidades incluso la considerada en estudios que alcanzan 10 000 Mwt.

Las más intensas extrapolaciones realizadas de pro- totipos, sin duda, son sobre el aspecto de sistemas de intercambio de calor, incluyendo que al utilizar bombas y genera- dores de calor de mayor tamaño, se llega a reducir, el núme- ro de pasos de intercambio hasta cuatro, alcanzando con esto,

REACTOR A PRESION

FIG. III-9



un buen logro económico, aunque empleando ocho pasos los -- equipos podrían tener un tamaño similar a los de las plantas de demostración. Se está investigando sobre reabastecimiento lo mismo que sobre su potencia; las máquinas de reabastecimiento son semejantes a las empleadas en los prototipos de 300 a 500 Mwe.

REACTOR DE SODIO GRAFITO

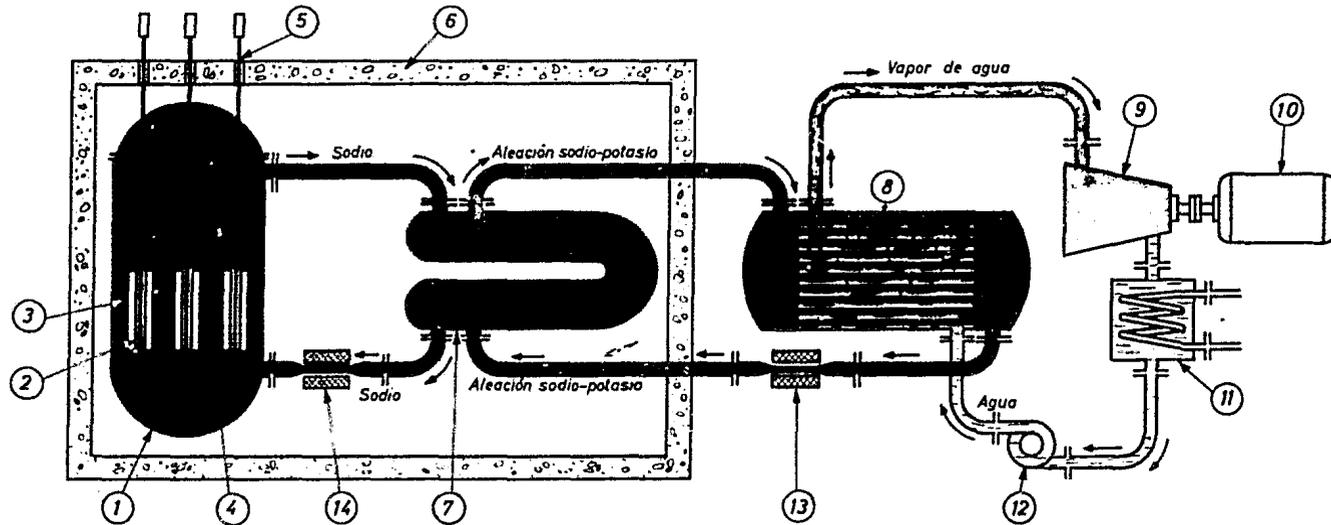
El reactor de sodio grafito figura III-10, utiliza sodio como refrigerante y el grafito como moderador: como -- combustible, se ha de emplear uranio enriquecido. Este reactor tiene mejor rendimiento que los explicados anteriormente.

El sodio es muy radioactivo y debe evitarse el contacto con el agua de la turbina de vapor; para ello, el sodio se hace pasar por un cambiador de calor intermedio, por cuyo circuito secundario pasa una aleación líquida de sodio y potasio, que actúa como agente transmisor de calor en el cambiador final de calor, cuyo circuito secundario es atravesado por el agua de la turbina.

El sodio y la aleación sodio-potasio no son líquidos fáciles de manejar. Para conseguir una circulación continua de los mismos, se emplean bombas electromagnéticas, cuyo fundamento es parecido al de los motores de inducción: solamente que aquí, se consigue un movimiento longitudinal del sodio líquido (o de aleación sodio-potasio) mediante la acción combinada de campos magnéticos intensos y corrientes inducidas.

Las desventajas actuales de este tipo de reactor -- son:

REACTOR DE SODIO GRAFITO



Reactor de sodio-grafito: 1—Cuerpo del reactor. 2—Combustible (uranio enriquecido). 3—Moderador (grafito). 4—Refrigerante (sodio). 5—Varillas de regulación. 6—Protección biológica. 7—Cambiador de calor intermedio. 8—Cambiador de calor final. 9—Turbina de vapor. 10—Generador eléctrico. 11—Condensador. 12—Bomba centrífuga de recirculación del agua de la turbina. 13—Bomba electromagnética para aleación sodio-potasio. 14—Bomba electromagnética para refrigerante (sodio).

FIG. III-10

- a) El alto costo de su circuito primario del sodio radioactivo que requiere bombas especiales, doble o triple tubería, etc.
- b) El costo de su combustible que es altamente elevado -- (U 235 y U 238) lo cual lo pone en condiciones desventajosas para competir con otros tipos de reactores.
- c) La estanqueidad debe ser muy perfecta, pues la reacción -- entre el sodio y el agua, en el caso de una fuga en el -- cambiador de calor del circuito sodio-agua es muy violenta.
- d) Se necesitan aparatos especiales para la telemanipulación para la carga y descarga de los combustibles y moderadores que se encuentran en el baño de sodio.

Las operaciones de este tipo de reactor según observaciones cuestan diez veces más que las manuales.

Los reactores de sodio-grafito están en un período-avanzado de estudio; aunque ya se han construido varios reactores de experimentación, hasta la fecha, solamente existen tres reactores industriales en todo el mundo: uno, de 75 MVA en Hallam (Nebraska EE. UU.), otro, de 90 MVA en Lagoona -- Beach (Michigan EE. UU.) y otro, de 50 MVA en Oulianovsk -- (URSS).

REACTORES ENFRIADOS POR GAS:

El diagrama del reactor enfriado por gas que se muestra en la figura III-11 tiene una gran semejanza con el de uno de agua a sobrepresión. El principio de funcionamiento es el mismo en ambos tipos: un fluido que lleva el calor del reactor al generador de vapor, donde el calor forma vapor para la turbina.

En un reactor enfriado por gas, el fluido es un gas, usualmente helio o anhídrido carbónico. El gas, a una presión de unos cuantos kilogramos por centímetro cuadrado, circula a través del reactor, la tubería y el generador de vapor por un soplador (ventilador). Dicho sea de paso, el soplador es una máquina impresionante. La energía que se necesita para mover los sopladores (deberá haber varios) del reactor de una planta de energía de 500,000 kilovatios haría funcionar 250,000 ventiladores de 50 cm. de diámetro cada uno, como los que se usan en las casas.

No se ha hablado antes del material identificado en la figura como "moderador". El moderador es una sustancia que se pone en el reactor para disminuir la velocidad de los neutrones y aumentar su eficacia al efectuar las fisiones. En los reactores enfriados por agua no es necesario agregar componentes moderadores sólidos porque el agua de enfriamiento sirve para este fin. Sin embargo, como el gas no es un buen moderador, en los reactores enfriados por gas se debe instalar un material especial, el cual, por lo general, es el grafito.

El grafito es la selección natural porque puede soportar las temperaturas extremadamente altas que hay en los reactores enfriados por gas (en algunos, el gas se calienta-

REACTOR REFRIGERADO POR GAS.

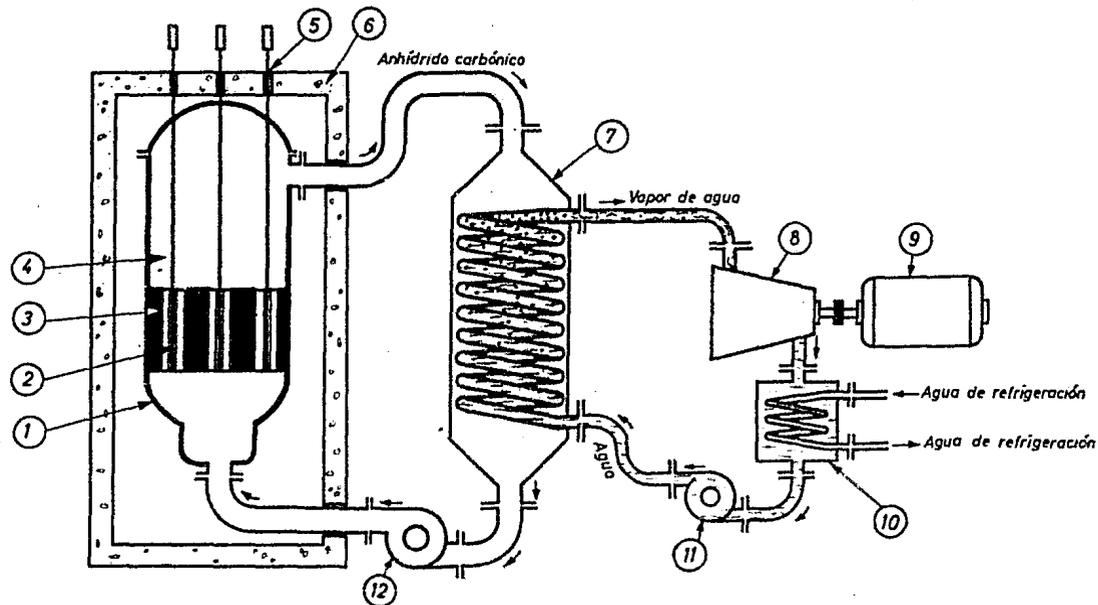


FIG. III-11

Reactor refrigerado por gas: 1—Cuerpo del reactor. 2—Combustible (uranio natural). 3—Moderador (grafito). 4—Refrigerante (anhídrido carbónico a 7 atmósferas). 5—Varillas de regulación. 6—Protección biológica. 7—Cambiadore de calor. 8—Turbina de vapor. 9—Generador eléctrico. 10—Condensador. 11—Bomba centrifuga de recirculación del agua de la turbina. 12—Impulsor centrifuga de gas refrigerante.

a casi 760°C). Se saca buen provecho de las altas temperaturas maniobrables. Se produce vapor a casi 540°C; a esta temperatura y la alta presión que lo acompaña, el vapor puede mover una turbina muy eficiente.

Además de su funcionamiento a alta temperatura, un reactor enfriado por gas tiene la envidiable característica de un bajo consumo neto de combustible. Los modelos más perfeccionados, de hecho, pueden producir más combustible del que consumen, pero desafortunadamente no todo es bueno. También existen desventajas. Entre las principales se cuentan el tamaño relativamente grande del reactor que se necesita para obtener un coeficiente determinado de generación de calor. El gas, desafortunadamente, no elimina muy bien el vapor. En consecuencia, el coeficiente de generación de vapor por unidad de volumen del reactor deberá ser totalmente bajo para que iguale la relativamente pobre capacidad eliminadora del calor que tiene el gas.

Véase en la figura III-12 la sección transversal, y en la figura III-13 la maqueta de uno de los reactores de la central nuclear de Hunterston, con indicación de las partes que constituyen este reactor.

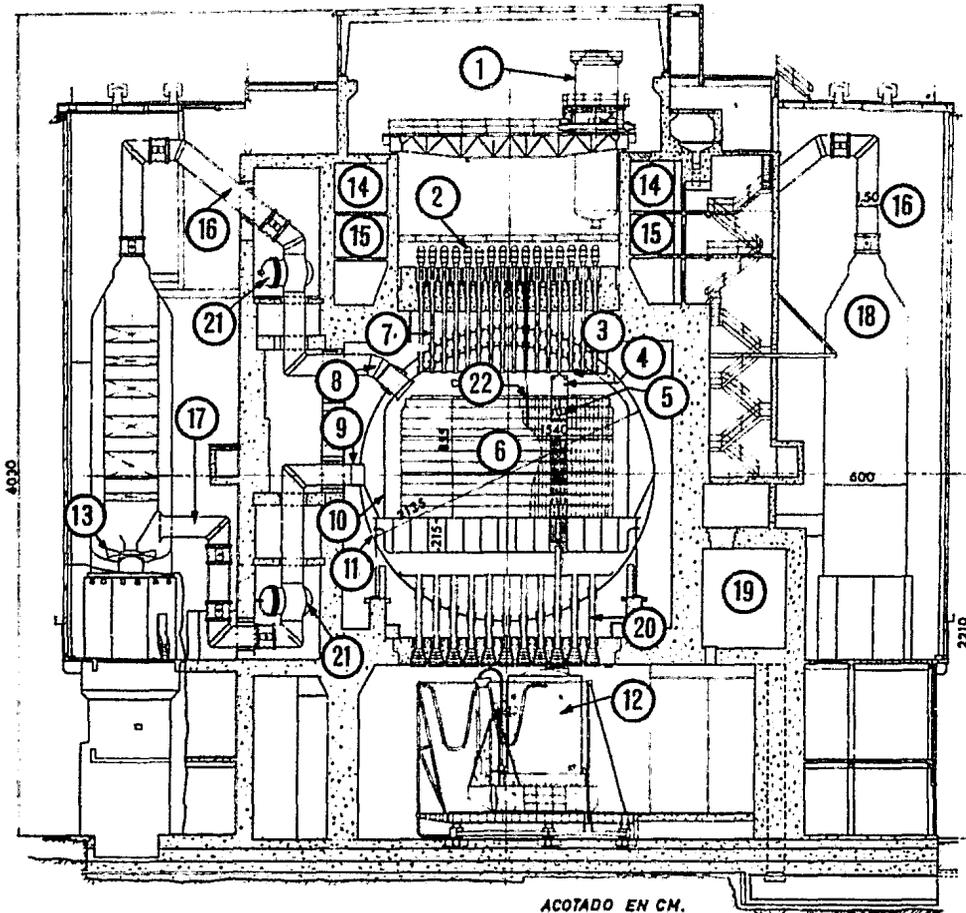
NUCLEO.— El núcleo del reactor tiene un diámetro de 15.4 m. y una altura de 8.55 m., está perforado por 3.288 canales para alojar los elementos de combustibles y por 208 canales para las varillas de control.

MODERADOR.— Está constituido por varias capas de ladrillos de grafito. El conjunto, se apoya sobre planchas de acero que, a su vez descansan sobre una pesada estructura alveolar (ver la figura III-14), de más de 2 m. de altura, la cual es soportada por una robus-

ta camisa de acero, soldada a presión al recipiente exterior.

RECIPIENTE DE PRESION.— El recipiente de presión es, en realidad, doble. La coraza exterior es una esfera de 21.35 m. de diámetro que descansa sobre una camisa cilíndrica y cuyo fondo está taladrado por 101 tubos para la carga y descarga del combustible (figura III-15); cada uno de estos tubos sirve a unos 32 canales de combustible. El espesor de esta coraza es de 73 mm. que aumenta a 76 mm. en la zona de la camisa que hace de soporte. Esta coraza está refrigerada por el gas que ha de atravesar el reactor -- por lo que no ha de soportar temperaturas superiores a los 250°C; para su construcción, se ha elegido el material denominado Coltuf 28, que es un acero especial, que posee buena soldabilidad y baja -- temperatura de transición de dúctil a quebradizo. -- La coraza interior es cilíndrica, con cubierta en forma de cúpula; la base de esta coraza es la placa alveolar, citada anteriormente, y sobre la que se -- apoya el núcleo del reactor. Tiene un espesor de -- 38 mm. y está construida de chapa de caldera; ha de soportar más elevadas temperaturas que la anterior. La razón de esta doble coraza está en la imposibilidad de encontrar un material que reuniera, a la vez, las propiedades de tener buena soldabilidad, gran -- ductilidad a la entrada y buena carga máxima de -- tracción a altas temperaturas. La coraza exterior reúne las dos primeras propiedades, y la coraza interior cumple satisfactoriamente la última.

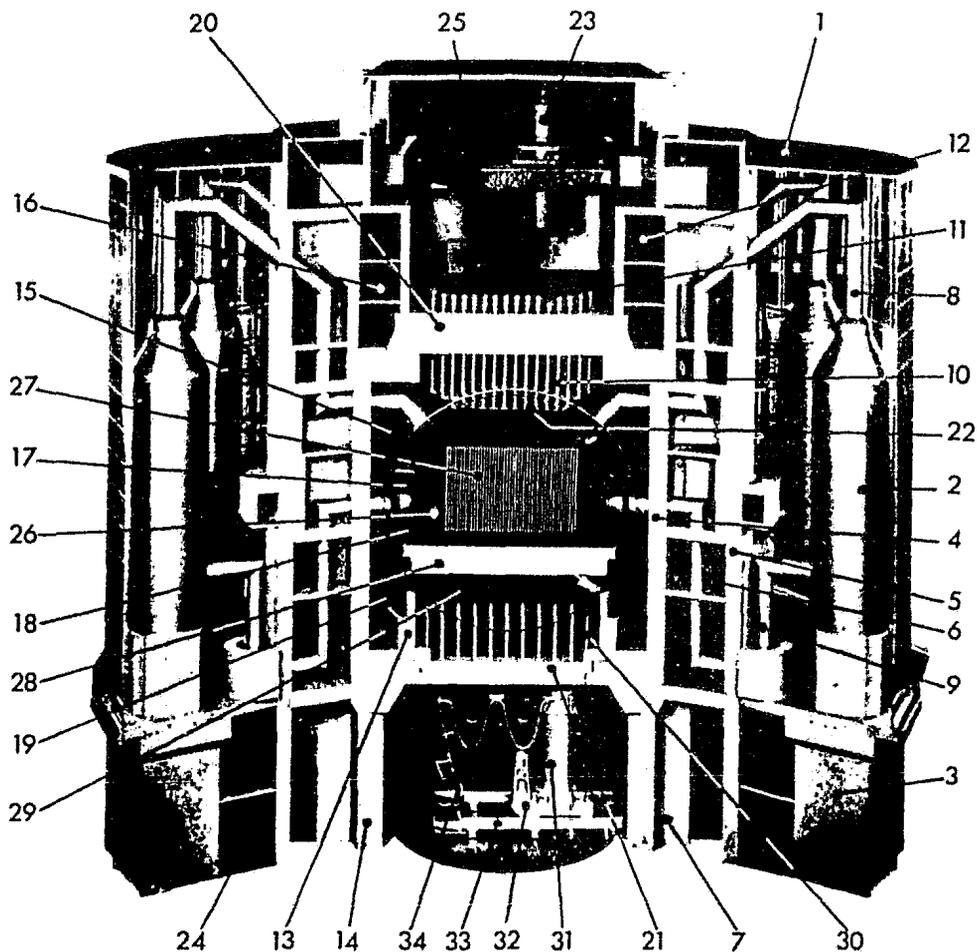
SECCION TRANSVERSAL DE UN REACTOR



Sección transversal de uno de los reactores de Hunterston: 1—Máquina de servicio. 2—Mecanismos de las varillas de control. 3—Plancha interior de protección. 4—Tobera de gas. 5—Elemento de combustible. 6—Moderador. 7—Tubos de las varillas de control. 8—Salida de gas caliente. 9—Entrada de gas frío. 10—Blindaje interior. 11—Recipiente de presión. 12—Máquina de carga y descarga. 13—Impulsor centrífugo de gas. 14—Precipitadores del detector de variación de flujo. 15—Refrigerador del detector de variación de flujo. 16—Conducto de gas caliente. 17—Conducto de gas frío. 18—Cambiador de calor. 19—Cámara de separación del combustible agotado. 20—Tubos de carga y descarga. 21—Válvulas del gas. 22—Varilla de control.

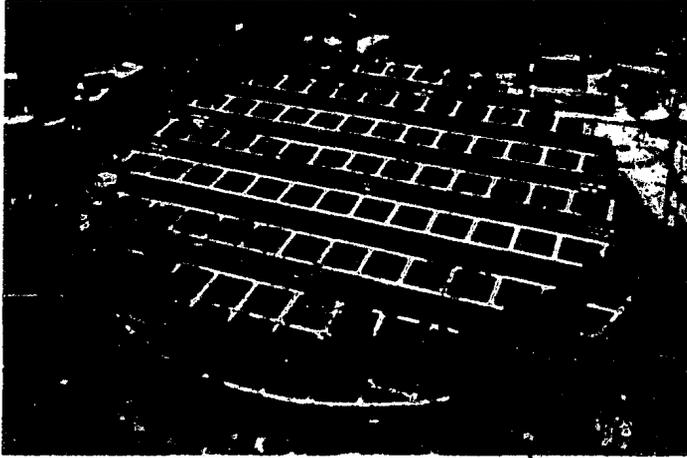
FIG. III-12

MAQUETA DE UN REACTOR HUNTERSTON



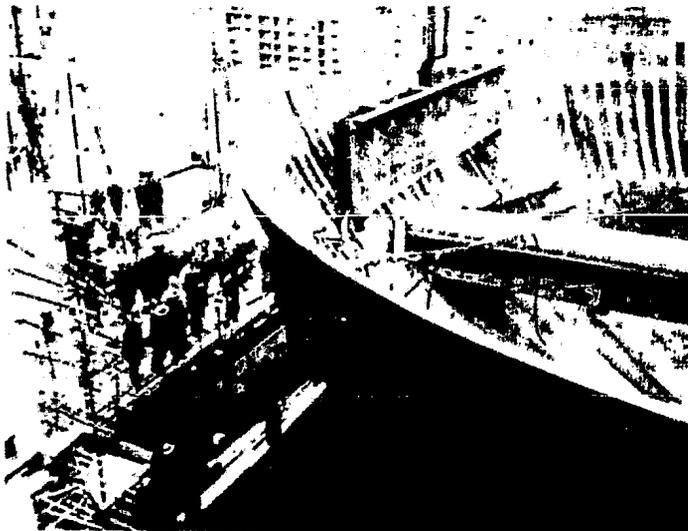
—Maqueta de uno de los reactores de Hunterston: 1—Edificio de 12 pisos del reactor. 2—Cambiadores de calor. 3—Subestructura del cambiador de calor. 4—Blindaje interior de hormigón. 5—Blindaje exterior de hormigón. 6—Cámara de los conductos de gas. 7—Sala de carga. 8—Conducto de gas caliente. 9—Conducto de gas frío. 10—Tubos de las varillas de control. 11—Mecanismos de las varillas de control. 12—Cámara de precipitación del detector de variación de flujo. 13—Soporte del recipiente de presión. 14—Soporte del reactor nuclear. 15—Recipiente esférico de presión. 16—Refrigerador del detector de variación de flujo. 17—Blindaje térmico. 18—Interior del recipiente de presión. 19—Faldón del soporte de acero. 20—Blindaje superior de hormigón. 21—Blindaje inferior de hormigón. 22—Plancha interior de protección. 23—Máquina de servicio. 24—Departamento de separación del combustible agotado. 25—Grúa-puente de servicio. 26—Núcleo del reactor. 27—Canales de combustible. 28—Placa alveolar. 29—Juntas conductoras. 30—Tubos montantes de carga y descarga. 31—Máquina de carga y descarga. 32—Transportador de carga y descarga. 33—Máquina giratoria de carga y descarga. 34—Alimentador de carga y descarga.

FIG. III-13



-La placa alveolar montada y preparada para la soldadura.

FIG. III-14



-Montaje del fondo abovedado del recipiente de presión de uno de los reactores de Hunterston.

FIG. III-15

ELEMENTO DE COMBUSTIBLE.- Los elementos de combustibles tienen una longitud de 610 mm., y van montados en manguitos individuales de grafito. Los manguitos no encajan exactamente en los canales del moderador, ya que queda un espacio libre de 4.7 mm., que permite refrigerar el moderador independientemente de los elementos de combustible, lo cual constituye una innegable ventaja. Las pilas de elementos y la estructura del grafito, van unidas por sus capas inferiores a las planchas de acero de soporte. Uniones especiales entre las sucesivas hileras de bloques de grafito, permiten a las columnas de este material, desplazarse con el acero al dilatarse éste por efecto de la temperatura, sin que pierda la configuración simétrica esencial del conjunto. El combustible propiamente dicho es, como sabemos, uranio natural; está rodeado por una cubierta de acero aluminio, provista de canales y de aletas de refrigeración. Más adelante, es posible que se sustituyan las cubiertas de berilio con lo que ya no habrá limitaciones de temperatura, por lo que al combustible se refiere.

VARILLAS DE CONTROL.- El reactor tiene 208 canales de control, 164 de ellos ocupados por varillas de boro, envasadas en planchas de acero inoxidable y alojados en tubos de acero inoxidable. La longitud de las varillas de control es de 6.4 m., su diámetro, de 500 mm. y su peso, de 31 750 Kg. El mecanismo de accionamiento de las varillas de control, consiste en un cable flexible de acero inoxidable, arrollado en un tambor cónico.

Para izar o bajar las varillas se utiliza un motor

cuyo estator se alimenta con corriente trifásica - de baja frecuencia. Los motores de las varillas - están dispuestos en cuatro grupos, y cada grupo está conectado al mismo generador de baja frecuencia. Para mover la varilla, se regula velocidad del motor, variando la frecuencia de la corriente suministrada. Los estatores de estos motores utilizan un segundo devanado de gran resistencia, para regular el descenso de las varillas cuando se desea detener la reacción en cadena. En caso de emergencia, se corta la corriente que alimenta los motores de accionamiento de las varillas. Esto provoca la desexcitación de todos, y las varillas caen con movimiento acelerado hacia el centro del núcleo donde quedan frenadas por la forma cónica del tambor de arrollamiento y por la impedancia del devanado del estator.

Un servosincronizador automático, o magslip, acoplado a cada tambor, indica, en todo momento, la posición de la correspondiente varilla. También se disponen indicadores para detectar el exceso o la falta de tensión mecánica en el cable.

MAQUINA DE SERVICIO.- La máquina de servicio está montada en la zona de control del reactor, es decir, en su parte superior, y en el mismo local que los cabezales de accionamiento de las varillas de control. Esta máquina dispone de una serie de instrumentos que permiten manipular e inspeccionar el interior del núcleo por telecontrol; el empleo de televisión en circuito cerrado facilita la detección de los defectos. La máquina de servicio desempeña varias utilísimas funciones: permite pasar instrumentos a tra--

vés del reactor hasta su parte interna y actuar con ellos sobre la máquina de carga; puede liberar los cartuchos de combustibles que hallan quedado agarrotados en ésta e impulsar hacia abajo, por medio de un pistón accionado por anhídrido carbónico, los cartuchos agarrotados en el interior de los tubos; facilita la unión de los pares termoeléctricos a elementos de combustible que pueden cargarse por la parte superior y descargarse por la inferior, etc..

Los engranajes de control de la máquina y el tablero de control se sitúan sobre el carro del puente grúa: el operador de la máquina está provisto de protección local contra las radiaciones.

Los principales lugares en los cuales existen este tipo de reactores son:

Inglaterra, la central nuclear de Calder Hall con 152 MVA de potencia, la central nuclear de Hunterston de 300 MVA de potencia, las centrales de Chapelcross 152 MVA, Bekeley 275 MVA, Bradwell 300 MVA y Hinkley Pont 500 MVA.

Francia, las centrales 6.2 y 6.3 de Marcoule de 500 MVA de potencia.

Italia, la central nuclear latina de 200 MVA de potencia.

Japón, la central de Tokai Mura de 150 MVA de potencia.

REACTORES "DE CRIA"

Varios reactores tienen un potencial de "cría" -es decir, producir más combustible nuclear del que consumen- debido a los materiales, o las combinaciones de éstos, que se emplean en su construcción.

¿Cómo funciona un reactor de "cría"? Como se recordará, un átomo de uranio-235 puede fisionarse cuando su núcleo absorbe un neutrón. La reacción de la fisión libera neutrones que pueden, a su vez, iniciar otras fisiones. Sin embargo, no todos los neutrones liberados son absorbidos necesariamente por el material fisionable; algunos se desperdician al ser absorbidos por el material estructural del reactor, los elementos moderadores o el refrigerante. El concepto de "cría" pone los neutrones desperdiciados a trabajar y explota las características de ciertos materiales fértiles. Cuando el núcleo de un átomo de material fértil absorbe un neutrón, el átomo fértil se puede transformar en un átomo de un material fisionable; una sustancia diferente, pero muy adecuada. Mediante la selección y disposición cuidadosas de los materiales en el reactor -incluyendo, claro está, los isótopos fisionables y fértiles- los neutrones que no se necesitan para mantener la reacción en cadena de la fisión pueden convertir de una manera bastante eficaz el material fértil en material fisionable. Se dice que el reactor está "criando" si por cada átomo que fisiona se convierte en material fisionable el material fértil de más de un átomo. Un material fértil es el uranio-238, el cual se encuentra naturalmente con el uranio-235 fisionable. Cuando los núcleos del uranio-238 absorben neutrones, se convierten en núcleos de plutonio-239 fisionable.

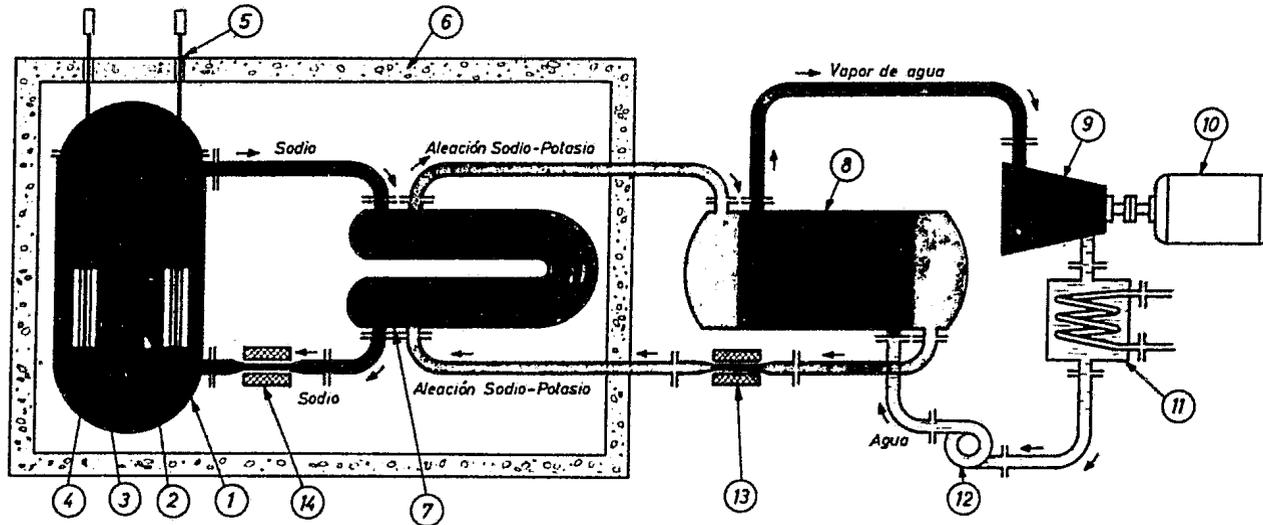
Algunos de los reactores que son posibles "criado--res" pueden no ser capaces de "criar" en la práctica, pero -- hay un tipo que ha funcionado con todo éxito en numerosas -- plantas. Se trata del reactor de "cría" enfriando por metal líquido y que se muestra en la figura III-16.

Este sistema tiene, obviamente, más componentes que los demás tipos de reactores. Una unidad que no hemos visto en los diagramas de los otros reactores es el serpentín in--termedio del permutador térmico colocado entre el sistema de enfriamiento del reactor y el sistema de agua-vapor de la -- turbina. El serpentín intermedio utiliza además metal líqui--do (al igual que el sistema de enfriamiento del reactor), -- porque tiene excelentes características de transmisión del -- calor. El metal es por lo general sodio o una combinación -- de sodio y potasio. La idea de un metal líquido, dicho sea--de paso, no debe asombrar, ya que el mercurio, un elemento -- conocido de todos, es un metal líquido.

El metal líquido del serpentín enfriador se calien--ta a unos 482°C y pasa al permutador térmico, donde cede su--calor al metal líquido del serpentín intermedio avanza al ge--nerador de vapor donde calienta el agua que producirá vapor--con una temperatura de unos 426°C .

Al igual que otros refrigerantes, el metal líquido--tiene algunas características buenas y otras malas. Se le -- considera bueno porque desempeña un trabajo eficiente para -- eliminar el calor y porque no se tiene que usar a una pre--sión alta para alcanzar altas temperaturas. El combustible--de un reactor de "cría" enfriado por metal líquido se puede--manejar a densidades de muy alto potencial gracias a que se--puede eliminar más o menos fácilmente el calor. Dicho de -- otra manera, el calor para una planta de energía de una capa

REACTOR DE CRIA



Reactor reproductor rápido: 1—Cuerpo del reactor. 2—Núcleo de combustible de uranio 235. 3—Capas exteriores de combustible, de uranio 238. 4—Refrigerante (sodio). 5—Varillas de regulación. 6—Protección biológica. 7—Cambiador de calor intermedio. 8—Cambiador de calor final. 9—Turbina de vapor. 10—Generador eléctrico. 11—Condensador. 12—Bomba centrífuga de recirculación del agua de la turbina. 13—Bomba electromagnética para aleación sodio-potasio. 14—Bomba electromagnética para refrigerante (sodio).

FIG. III-16

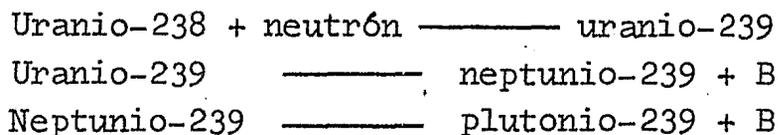
cidad dada se puede suministrar con un reactor de "cría" enfriado por metal, que es mucho más pequeño que cualquier - - otro reactor que puede desempeñar el mismo trabajo.

Una de las malas características del metal líquido es su tendencia a reaccionar químicamente. Por ejemplo, se presenta una fuerte reacción siempre que el metal líquido se pone en contacto con el agua o el vapor, y si ocurre alguna fuga en un generador de vapor que contenga metal líquido, inmediatamente ocurre una reacción violenta. Para aislar el sistema del reactor contra cualquier dificultad posible, los reactores enfriados por metal líquido cuentan con un serpentín intermedio de permutación térmica. Este serpentín adicional, claro está, hace aumentar el costo de la planta.

Entre los reactores más importantes comercialmente se encuentra el Phenix de 250 MW operando en Francia desde diciembre de 1973, el PFR también de 250 MW en operación en el Reino Unido desde octubre de 1973 y el BN-350 de la Unión Soviética que produce 150 MW así como vapor para desalinizar agua de mar y que entró en operación en junio de 1972. Existen otros prototipos en operación en Alemania, Japón y Estados Unidos.

Por considerar que Francia es el país con más adelantos tecnológicos en reactores rápidos de cría, a continuación se mencionan las características del reactor Phenix.

Este tipo de reactores utiliza como material fisiónable Pu-239 y como refrigerante sodio líquido. La producción de material fisiónable a partir de U-238 es la principal característica de este reactor. Debido a que carece de moderador, gran parte de los neutrones emitidos en las reacciones de fisión irradian núcleos de U-238 transformándolos en Pu-239, las reacciones que se llevan a cabo para este fin son:



De acuerdo con estas reacciones, el uranio-239 y el neptunio-239 ambos núcleos sumamente inestables, con un periodo de vida media relativamente corto (2.3 minutos y 2.3 días respectivamente), se forman como productos intermedios, este último emitiendo una partícula B y transformándose así en Pu-239.

La figura III-16 presenta en forma esquemática este tipo de reactor. En ella se observa que existen dos circuitos por los que fluye el sodio líquido. Un circuito primario mediante el cual se extrae el calor del núcleo del reactor y un circuito secundario utilizado ya para la generación de vapor.

En el circuito primario, el sodio líquido entra al núcleo del reactor a una temperatura de 400°C y sale a una temperatura de 56° C. aproximadamente. El sodio debe conservarse bastante puro para prevenir corrosión en las tuberías de acero y sobre todo debe aislarse del oxígeno con el cual reacciona violentamente.

En el circuito secundario fluye sodio líquido no radiactivo, el cual al pasar por el generador de vapor calienta el agua que produce vapor a una temperatura de 510°C. El generador de vapor está equipado con un sistema de detección de fugas, con el objeto de evitar aumento o disminución de presión ocasionado por algún accidente.

La energía térmica que se produce en el reactor - - (563 MWt) se convierte en energía eléctrica (250 MWe) por medio de un turbogenerador que es idéntico al empleado en plantas de energía eléctrica convencionales.

El material fisiónable se encuentra dispuesto en el

núcleo del reactor por medio de ensambles. Cada uno de estos ensambles está constituido por 217 barras, las cuales a su vez, consisten en un conjunto de pastillas cilíndricas de dióxido de plutonio (Pu-O_2), los ensambles están protegidos por una cubierta de acero inoxidable.

Para reemplazar el material fisiónable, después de suspender la operación del reactor, los ensambles se almacenan durante dos meses con el objeto de que se enfríen, ya que el calor residual de decaimiento de dichos ensambles perdura bastante tiempo aún después del corte de la reacción. Después de los dos meses de almacenamiento, se introducen en recipientes llenos de sodio y son trasladados a un almacén exterior; dos o tres meses después, los ensambles son llevados a celdas de desmantelamiento, donde son lavados y cortados en secciones. Posteriormente las tirillas seccionadas son trasladadas a industrias de reprocesamiento. Las operaciones mencionadas se realizan a control remoto.

El control del reactor se lleva a cabo desde una sala que se localiza en un edificio adyacente al edificio en el cual se localiza éste. Para llevar a cabo el control del reactor, se utilizan dos sistemas de procesamiento de datos: Uno de ellos controla exclusivamente la temperatura del sodio a la salida de los elementos de material fisiónable y es capaz de accionar el circuito de corte del reactor. El otro trabaja con los datos obtenidos de los demás puntos de la planta, para propósitos de anuncio de alarma exclusivamente.

Con cualquier mal funcionamiento tanto en el circuito primario, como secundario del sodio automáticamente se inicia el corte de reacción en el reactor.

De acuerdo con los proyectos franceses, se pueden construir reactores con potencias de 250 a 500 MWe y de más-

de 600 MWe, a los primeros se les ha denominado Phenix y a los segundos Superphenix.

Se considera que su introducción comercial será en la primera década del siguiente siglo. Y hará posible tener un mayor aprovechamiento de las reservas de uranio.

REACTORES DE ALTA TEMPERATURA ENFRIADOS POR GAS.

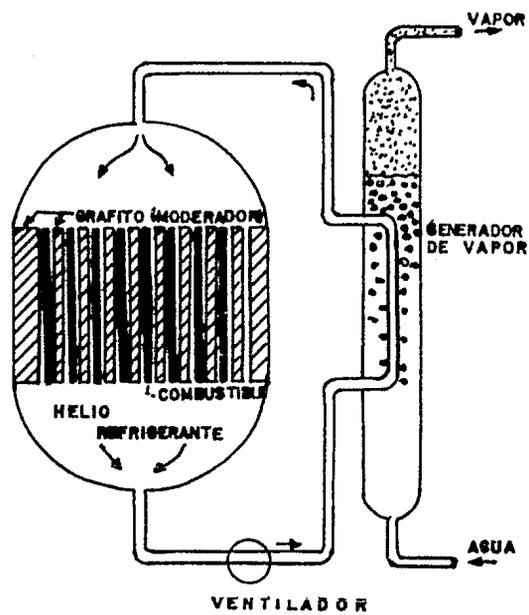
Los reactores de alta temperatura refrigerados por gas (HTGR), emplean helio como refrigerante, se moderan con grafito y tienen buen potencial para lograr energía a bajo costo y mayor relación de conversión que los reactores de agua ligera; en grandes plantas que emplearan reactores HTGR se usaría torio como combustible.

La presión en el núcleo del reactor y en el serpentín conectado a él es del orden de 21 a 28 kg/cm². El fluido entra al reactor con una temperatura de 345°C y sale del mismo con una temperatura aproximada de 750°C. El fluido calentado pasa al generador de vapor y produce vapor a una temperatura de 540°C y una presión de 98 kg/cm².

La figura III-17 presenta un esquema general de un reactor de este tipo.

Como el gas no es un buen moderador en los reactores enfriados por gas debe instalarse un material especial, el cual normalmente es grafito.

El grafito es la selección natural porque puede soportar temperaturas extremadamente altas que existen en este tipo de reactores. Debido a la temperatura y presión del vapor con que es alimentado el turbogenerador se tiene eficien

REACTOR DE ALTA TEMPERATURA ENFRIADO POR GAS**FIG. III-17**

cias comparables a la de las plantas térmicas convencionales, esto es el principal atractivo de estos reactores.

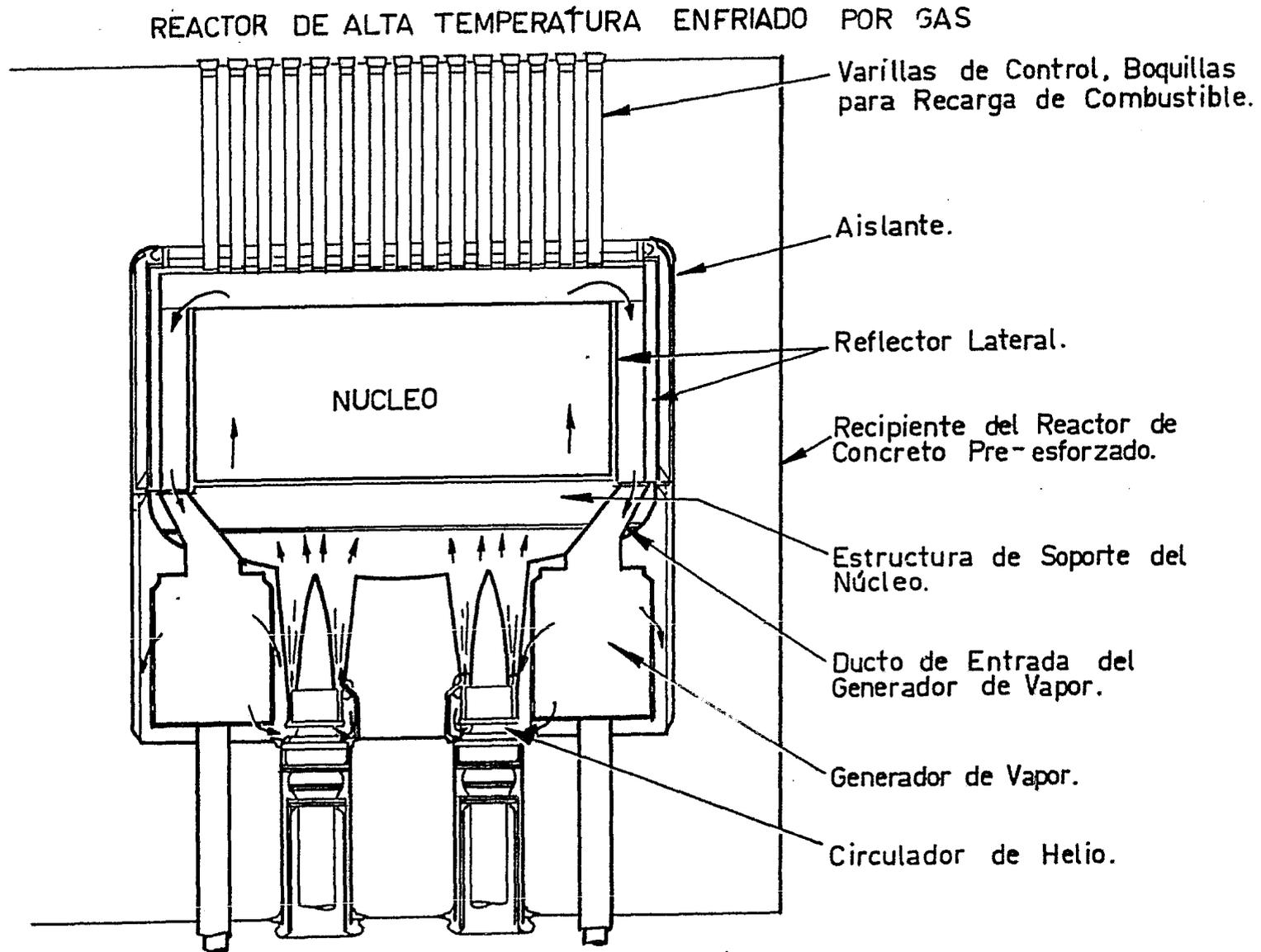
En grandes plantas que emplearán reactores HTGR se usaría torio como combustible usarán U-235 pero después de 7 años, las cargas del núcleo se harán fundamentalmente con U-233 reciclado más una pequeña cantidad de U-235.

Las características acerca de este tipo de reactor se basan en el diseño de uno de 10 000 Mwt preparado por la General Atomic, en el que el sistema principal se encuentra alojado en un recipiente de concreto preesforzado que a la vez funciona como confinamiento primario (ver figura III-18). El circulador de helio y el generador de vapor se monta bajo el núcleo proporcionando así una apariencia de sistema compacto que podría concordar con recipientes de reactores mucho más pequeños en potencia que el Wylfa, por ejemplo, de 2 000 Mwt que actualmente se construye en Gran Bretaña; la operación del reactor Peach Bottom de 40 Mwe y del Dragón de 20 Mwt, ambos HTGR construidos en Inglaterra, proporcionará suficiente información sobre este tipo de reactores.

El principal problema económico, al extrapolar los diseños actuales hasta llegar a una planta de 10 000 Mwt, -- consiste en las dimensiones críticas del núcleo, ya que como fue deseable eliminar las oscilaciones axiales de xenón con el fin de permitir emplear el mismo sistema de control que se utiliza en reactores pequeños, la altura del núcleo debe conservarse igual a la del prototipo (4.73 m). Consecuentemente, para obtener la potencia de 10 000 Mwt, el diámetro aumenta en forma considerable (20 m); si se mejoran los sistemas de control es posible diseñar un núcleo más económico para grandes reactores de potencia de tipo HTGR.

Al no existir experiencias comerciales sobre la ope

FIG. III-18



ración de este tipo de reactor, resulta difícil ponerlo en plano de comparación con otro tipo de reactores, sin embargo, se pueden hacer algunas consideraciones generales, tales como su bajo consumo neto de material fisiónable y sus posibilidades de operar como un reactor de cría son bastante buenas.

Existen problemas de índole tecnológico en estos reactores. Entre los principales se tiene el tamaño relativamente grande del reactor que se necesita para obtener un coeficiente determinado de generación de calor. El gas no elimina muy bien el calor extraído. En consecuencia, el coeficiente de generación de vapor por unidad de volumen del reactor deberá ser bajo para que iguale la relativa pobre capacidad eliminadora de calor que tiene el gas.

R E A C T O R H O M O G E N E O

Los reactores estudiados hasta ahora son heterogéneos.

El reactor homogéneo figura III-19 cae en la clasificación de reactores que utilizan agua pesada o H_2O como refrigerante y moderador. Pero en este caso el combustible nuclear está distribuido en el H_2O o en el D_2O . Se utilizan normalmente soluciones diluídas de U_{233} en D_2O . La parte más importante de calor se desprende en el núcleo, el agua es circulada a través de los cambiadores de calor y se introduce nuevamente en el núcleo formando un circuito cerrado, pero la reacción en cadena tiene lugar únicamente en el corazón del reactor, ya que de todo el circuito es el único sitio en el que existe el volumen crítico necesario para que -

REACTOR HOMOGENEO

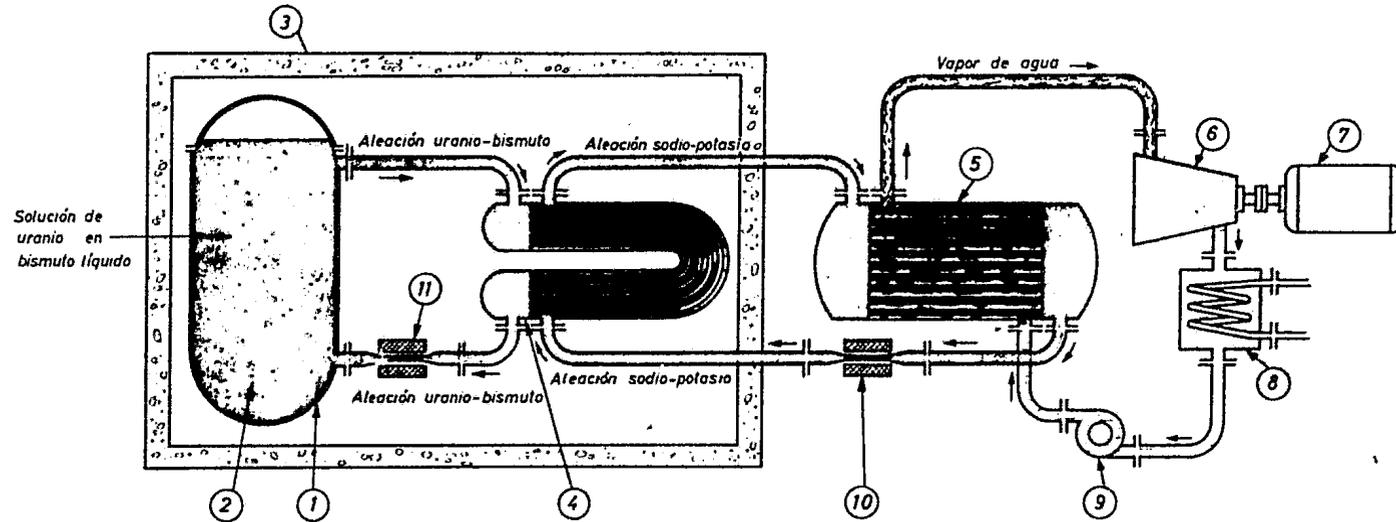


Fig. 498. — Reactor homogéneo: 1—Cuerpo del reactor. 2—Solución de uranio al 1% en bismuto líquido (combustible y refrigerante). 3—Protección biológica. 4—Cambiador de calor intermedio. 5—Cambiador de calor final. 6—Turbina de vapor. 7—Generador eléctrico. 8—Condensador. 9—Bomba de recirculación del agua de la turbina. 10—Bomba electromagnética para aleación sodio-potasio. 11—Bomba electromagnética para refrigerante (aleación uranio-bismuto).

FIG. III - 19

ésta se verifique.

Este tipo de reactor es de forma esférica y está se parada en dos regiones, cada una de las cuales está unida a su correspondiente circuito. El hogar está situado en la región interior en la cual está por consiguiente el combustible que consiste generalmente de sulfato de uranio disuelto en D_2O en la proporción de 8.6 gramos de uranio por Kg. de agua pesada.

En la región exterior concéntrica, el fluido esencial en suspensión de óxido de torio con la concentración de 1.13 grs. de torio 232 por Kg. de D_2O .

El arreglo anterior del reactor tiene la ventaja de obtener la regeneración del uranio 233 con neutrones térmicos, es decir obtener materias fértiles.

Las soluciones calientes del hogar o corazón y de la envoltura conteniendo materia fértil está en continua circulación pasando por cambiadores de calor donde se produce vapor con que se alimentan las turbinas.

Una de las importantes ventajas del uso del combustible líquido es el permitir un tratamiento químico continuo para el combustible usado y para el manto de materias fértiles, eliminando de él los productos de fisión con alta sección recta de captura, consiguiéndose un elevado grado de quemado de combustible al reducir el denominado envenamiento que estos productos ocasionan.

Sin embargo, se tiene un problema importante que es la producción de deuterio y oxígeno debido a la descomposición del D_2O . Se forma entonces una mezcla de D_2 y O_2 eventualmente explosiva que se debe de separar del sistema por medio de separadores de gas, debiendo ser luego recombinado:

e inyectado de nuevo al sistema.

Seguramente este tipo es uno de los más adelantados y los estudios económicos efectuados indican que este reactor permitirá obtener el KW-H a menor precio, esto depende de la explotación continua satisfactoria a escala industrial de un reactor de este tipo. Los principales problemas que quedan por resolver para la aplicación industrial se haga con éxito son:

1.- Determinar el efecto de las radiaciones sobre el grado de corrosión en el sistema y preveer los materiales más convenientes desde el punto de vista técnico y económico.

2.- Hacer la explotación más fácil para un funcionamiento ininterrumpido durante muchos años.

Los reactores homogéneos están actualmente en período de estudio; en el futuro, parece que sustituirán, a lo menos en parte, a los reactores actuales, aunque todavía pasarán algunos años antes de que puedan construirse reactores homogéneos de gran potencia.

PRINCIPALES VENTAJAS DE ALGUNOS REACTORES

Las comparaciones entre unos y otros reactores son muy relativas si no se encuadran en un contexto. En este caso nos interesa comparar los reactores para el caso de México en un programa de desarrollo nuclear y en las condiciones actuales. Aunque un estudio de este tipo resulta sumamente amplio y laborioso, nos vamos a concretar a señalar los aspectos más sobresalientes.

REACTORES DE AGUA LIGERA (LWR).-- Los reactores LWR (PWR y -- BWR) tienen la ventaja de su experiencia. Estos reactores -- son los que primero comenzaron a operar comercialmente y han sido los más aprobados en el mundo. Por otro lado, sin querer decir que sea accesible su tecnología, es de los que -- existe más información sobre cada una de sus componentes. -- Se dice generalmente que son los que generan más barata la -- electricidad, sin embargo esta idea es en general cada día -- más puesta en duda y de acuerdo con los estudios realizados -- por la Sección Central Nuclear del SUTERM, los costos de -- generación son cuando más iguales a los de otros sistemas, -- ya que depende de las premisas que se tomen para hacer los cálculos y tradicionalmente se ha partido de premisas falsas -- que han hecho aparecer más baratos los reactores de agua ligera.

REACTORES DE AGUA PESADA (CANDU).-- La gran diferencia del reactor CANDU es su ciclo de combustible, basado en uranio natural. Las ventajas que de esto se derivan son muchas. Vamos a enumerar las principales:

- a) El ciclo de combustible con uranio natural permite que -- eventualmente se realice completamente en el país, ya que ahorra pasos tecnológicamente inaccesibles como el enriquecimiento del combustible.
- b) El ciclo de uranio natural con moderador de agua pesada, -- es el más eficiente conocido hasta la fecha desde el punto de vista de la óptima utilización de recursos naturales, o sea, para generar el mismo número de kilowatts-hora, es el que menos uranio natural requiere.
- c) Los problemas de seguridad son mucho menores con el uranio natural que con el uranio enriquecido.

- d) El ciclo de uranio natural es más barato y el que menos - se ve afectado con las ya presentes alzas en el costo de la materia prima.

Otras diferencias no directamente relacionadas con el ciclo de uranio natural son las siguientes:

- e) Los tubos de presión evitan la necesidad de tener que - - construir las grandes vasijas de presión que son tecnológicamente difíciles. En otras palabras, sería mucho más rápido estar en condiciones de construir los tubos que la vasija.
- f) La utilización de los tubos de presión permite, a diferencia de los otros sistemas, la recarga de combustible sin apagar el reactor. Esto permite una mayor utilización -- del reactor.

La desventaja del CANDU es la necesidad del agua pesada, por dos razones; por su alto costo y por su tecnología que aunque no es inaccesible, sí es bastante difícil.

REACTORES DE ALTA TEMPERATURA ENFRIADOS POR GAS (HTGR).- Resulta difícil poner el HTGR en el plano de comparación, debido a que aún no hay ninguno operando comercialmente, sin embargo sí se pueden hacer algunas consideraciones generales:

- a) Sus posibilidades son bastante amplias, pues aunque aún - están en la etapa de proyecto, este reactor puede operar en ciclo directo, aumentando su eficiencia térmica muy -- por arriba de los otros.
- b) Sus posibilidades de operar como un reactor de cría son - también bastante buenas, aunque esto no ha sido aún probado.

- c) Su gran problema es el combustible que utiliza. Para un país como México, la posibilidad de fabricar combustible del HTGR está muy remota, no solo por su enriquecimiento al 93% sino también por la fabricación del elemento.

C A P I T U L O I V

ACTIVIDADES PRINCIPALES QUE DEBEN DESARROLLARSE PARA EL PROYECTO Y PUESTA EN SERVICIO DE UNA PLANTA NUCLEOELECTRICA.

- A) Especificaciones Generales.
- B) Localización y Ecología.
- C) Proyecto General.
- D) Especificación de Equipo Principal.
- E) Diseño Detallado.
- F) Especificaciones de equipo auxiliar.
- G) Establecimiento de la garantía y control de calidad.
- H) Supervisión de la fabricación.
- I) Transporte de Equipo.
- J) Instalaciones en el sitio de la obra.
- K) Organización del sistema de almacenes de aire acondicionado.
- L) Organización de la Construcción.
- M) Entrenamiento del Personal.
- N) Planeación, Programación y Control de la Obra.
- Ñ) Pruebas y Puesta en Servicio.
- O) Operación.
- P) Manejo de Combustibles Nucleares.

A) ESPECIFICACIONES GENERALES

Para elegir el emplazamiento de una central nuclear, hay que tener en cuenta los siguientes puntos de vista:

Presencia de grandes cantidades de agua para la refrigeración de los condensadores de los turbogrupos. El volumen necesario es más elevado en el caso de las turbinas de vapor saturante de las centrales nucleares de agua ligera, - que en los casos de centrales térmicas convencionales; esto, para la misma potencia.

Esta agua de refrigeración puede ser suministrada - por un río. En lo que sea posible, la central debe estar situada en el centro de gravedad de la región consumidora, o - muy cerca de él, con objeto de que el costo del transporte - de energía eléctrica y las pérdidas, sean pequeñas. Los sitios más favorables son los situados cerca de las líneas de transporte a los que pueda enviarse la energía.

Acceso fácil para el transporte de las partes pesadas y voluminosas.

Buenas condiciones del suelo y de los estratos freáticos.

Potencia ideal

Rentabilidad elevada a plena carga y a carga parcial.

La central debe seguir las variaciones diarias de la carga.

Un reactor que se haya utilizado ya industrialmente y una construcción de las turbinas y de los generadores ya - experimentada.

Seguridad máxima de la instalación completa en servicio.

Disponibilidad máxima. Por consiguiente, las partes vitales de la instalación han de preverse en varios ejemplares. Particularmente, la central debe equiparse con turbugrupos independientes. La eliminación de los residuos radioactivos gaseosos, líquidos y sólidos, debe hacerse sin perjudicar el funcionamiento normal de la instalación y sin obligar a una reducción de la carga.

Larga duración de vida. Las partes de la instalación que, por sus grandes dimensiones, por su construcción o porque son radioactivas, no pueden ser reemplazadas, deben preverse para una duración de vida de por lo menos 35 años.

Disposición amplia, superficies para el depósito de materiales y el montaje suficientemente dimensionadas y fácil acceso de todas las máquinas y aparatos para facilitar las revisiones y el mantenimiento.

Seguridad muy elevada de la instalación: doble sistema de supresión de la presión y dispositivos clásicos de seguridad.

Protección absoluta de los estratos freáticos contra la contaminación radioactiva. Transmisión al agua de refrigeración y a la atmósfera de una radioactividad mínima, inofensiva y que pueda controlarse con previsión.

Los servicios de ingeniería para una central nuclear, pueden ejemplificarse de la siguiente manera:

- 1) Selección del sitio.
- 2) Estudios de factibilidad.

- 3) Preparación de especificaciones para los componentes de la central como el Sistema Nuclear de Suministro de Vapor, turbogenerador, equipo de balance de la planta, etc.
- 4) Evaluación de ofertas o, en su caso, negociación de contratos para el suministro de los equipos.
- 5) Diseño conceptual de la central.
- 6) Preparación de los informes de seguridad para obtener permisos de construcción y posteriormente de operación.
- 7) Diseño detallado de la central.
- 8) Actividades de garantía de calidad, incluyendo supervisión de proveedores, preparación de procedimientos, revisión del diseño, etc.
- 9) Administración de los servicios de diseño y de construcción.
- 10) Pruebas preoperacionales y arranque inicial de la central.

Los requerimientos de servicios de ingeniería para un proyecto específico, dependen del sitio, del tipo de la planta, de la experiencia de la empresa, del número de unidades, etc. La capacidad misma de cada unidad no es muy significativa; de hecho, una de las economías de escala importantes corresponden a los servicios de ingeniería.

La estandarización es, desde luego, una importante fuente de ahorro, porque todo un programa puede ejecutarse prácticamente con un solo diseño, siempre y cuando todos los equipos sean idénticos en todas las unidades y a condición de que las diferencias entre los sitios no sean demasiado grandes.

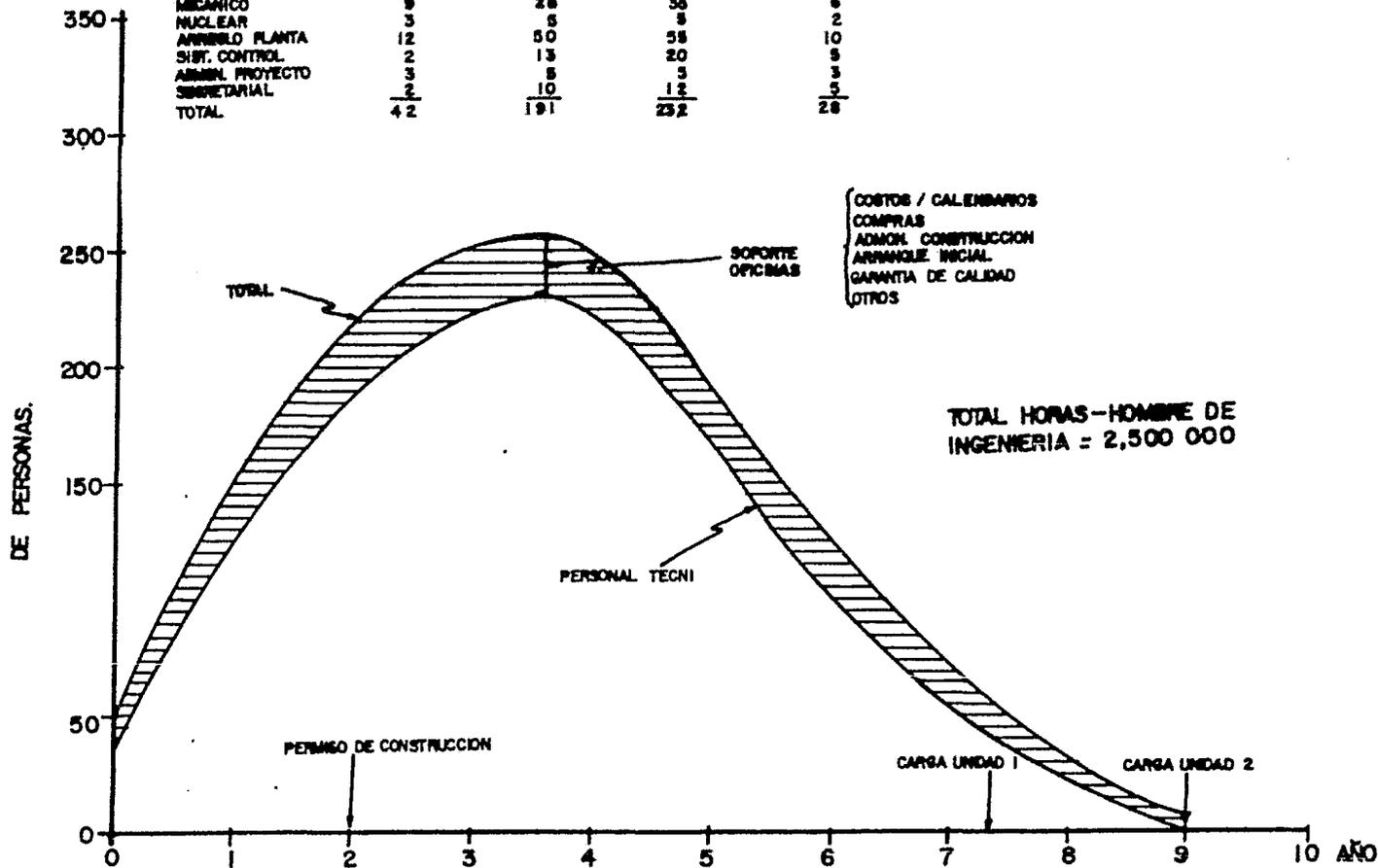
A reserva de que esta posibilidad se evalúe detalladamente en su oportunidad para efecto de este documento se considera un diseño estandar.

En la gráfica IV-A-I, se resumen los requerimientos típicos de personal técnico y de apoyo al diseño de una planta con dos unidades de 1200 MW, de acuerdo con la experiencia. Como se indica, el total llega a ser del orden de 2.5 millones de horas hombre. En la parte superior de esta gráfica IV-A-I, se muestra desglosado por especialidades, el número de personas requeridas en diversas etapas del proyecto de dos unidades, ocurre aproximadamente tres años y medio después de su inicio.

En forma similar en la gráfica IV-A-2 se muestra el esfuerzo humano requerido para llevar a cabo la construcción de una central nuclear. Estos datos muestran además los ahorros, tanto en el tiempo, como en gente, que se pueden obtener al planear más de una unidad en el mismo sitio. Cabe mencionar nuevamente que de acuerdo con la generalidad de las experiencias el esfuerzo humano requerido en la construcción depende muy poco del tamaño de la unidad.

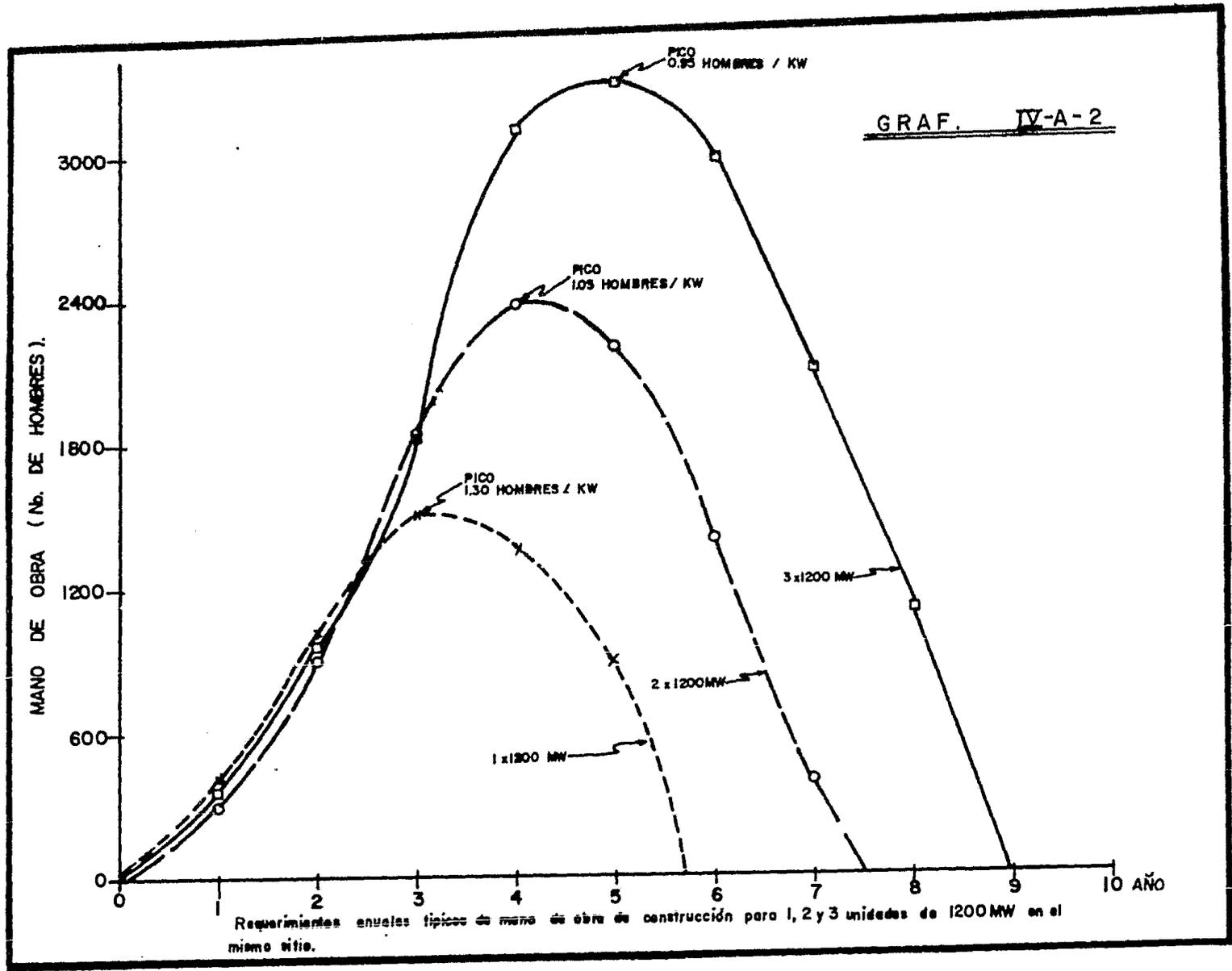
En la tabla IV-A-I, se muestra la distribución por especialidades de la mano de obra, para la construcción de una unidad típica de 1200 MW, llegando el total a unos 14 millones de horas-hombre. Cabe señalar la preponderancia de tuberos, operarios manuales, electricistas y paileros. La experiencia también ha mostrado que para construir dos unidades en el mismo sitio, se necesita entre 1.5 y 1.7 veces los recursos en horas-hombre para una sola unidad.

TIPOS	REQUERIMIENTOS DE PERSONAL TECNICO			
	INICIAL	PERM. CONST.	PICO	CARGA UNIDAD 1
CML/ESTRUC.	7	65	70	2
ELECTRICO	4	18	30	5
MECANICO	9	28	35	6
NUCLEAR	3	5	5	2
ARMANDO PLANTA	12	50	58	10
SIST. CONTROL	2	13	20	9
ADMIN. PROYECTO	3	5	3	3
SECRETARIAL	2	10	12	5
TOTAL	42	191	232	28



Requerimientos cruciales de personal tecnico y administrativo para desarrollar la Ingenieria de un proyecto tipico de 2 unidades de 1200 MW en un mismo sitio Ref. R. M. Butneri "Nuclear Power Plants"

GRAF. IV-A-1



DISTRIBUCION DEL EMPLEO DE MANO DE OBRA PARA LA
CONSTRUCCION DE UNA CENTRAL NUCLEAR TIPO AGUA -
ORDINARIA DE 1200 MW .

<u>ESPECIALIDAD</u>	<u>HORAS-HOMBRE</u>
Tuberos	3,600,000
Operarios	2,400,000
Electricistas	2,100,000
Paileros	2,300,000
Carpinteros	1,380,000
Maquinistas	1,200,000
Operadores de Maquina Herramienta	300,000
Pintores	180,000
Operadores de Equipo Móvil	360,000
Albañiles	280,000
Otros	<u>300,000</u>
<u>TOTAL:</u>	<u>14,400,000</u>

Valores recomendados para propósitos de planeación por:
R.M. Budwani, "Nuclear Power Plants: What it Takes to
Build Them", Power Engineering.

TABLA IV-A-1

Finalmente, es posible tener una idea de la magnitud de la labor de construcción involucrada, mediante los datos de la tabla IV-A-2, donde se muestran las necesidades típicas de materiales de construcción para una unidad nuclear de 1200 MW.

Las áreas de ingeniería de diseño y construcción son las más prometedoras, desde el punto de vista de participación nacional en un futuro cercano. La tecnología nacional en ingeniería civil y estructural, y la participación nacional en el diseño de proyectos grandes, de alta complejidad técnica (hidroeléctricas, refinerías, etc.), permiten cierto optimismo. Debe señalarse, sin embargo, que dadas las características especiales de las centrales nucleares, es necesario reclutar y preparar recursos humanos, una vez asegurados los económicos, para contar con la capacidad técnica y administrativa requerida por los proyectos nucleares.

REQUERIMIENTOS DE LOS PRINCIPALES MATERIALES DE CONSTRUCCION PARA
UNA UNIDAD NUCLEOELECTRICA TIPO AGUA LIGERA DE 1200 MW.

<u>MATERIALES</u>	<u>CANTIDAD</u>
Concreto	125 000 a 175,000 m ³
Varilla de Refuerzo	13,000 a 18 000 ton
Acero Estructural	5,000 a 8,000 ton
Recubrimiento de Acero del Contenedor	900 a 1,200 ton
Recubrimiento de Acero de la Alberca de Combustible	140 a 160 ton
Incrustaciones de Acero	1,000 a 1,200 ton
Cimbra	115,000 a 165,000 m ²
Chorolas para Cables	20,000 a 30,000 m
Conduit Metalico	100,000 a 168,000 m
Tubo de Condensador	1,000,000 a 1,068,000 m
Rieles	12,000 a 20,000 m
Tuberia Mayor de 2.5 Pulg.	2,850 a 3,350 ton
Pisos y Escaleras	225 a 350 ton
Cable de Potencia y de Control	1,000 000 a 1,500 000 m.

TABLA IV-A-2

B) LOCALIZACION Y ECOLOGIA

SELECCION DE SITIOS DE PLANTAS NUCLEOELECTRICAS

En el caso de centrales nucleares, existen tres consideraciones básicas en la evaluación de sitios, éstas son:

1. Las características del reactor.
2. Las características físicas del sitio.
3. La densidad de población.

Por lo que se refiere a las características físicas del sitio, los factores principales son los siguientes:

- a. Sistemas de enfriamiento.
- b. Cimentación de la planta.
- c. Accesibilidad al sitio y transmisión de la energía y preparación del sitio.

Además, se desearán conocer los detalles correspondientes sobre topografía, geología, niveles de inundación, -sismicidad, meteorología, tsunamis (en sitios costeros), sismología y riesgos aéreos o superficiales que puedan ser aplicables al diseño y construcción de la central.

Una central nuclear requiere normalmente entre 40 y 80 hectáreas de terreno, aunque los edificios mismos cubrieran un área del orden de 2.5 hectáreas.

Se sugiere para la construcción de centrales nucleares en México que se lleven a cabo en las costas, aún cuando es posible que las torres de enfriamiento o los estanques -- sean una solución más económica en combinación con la cercanía a los centros de carga.

METODOLOGIA PARA LA LOCALIZACION DE PLANTAS NUCLEOELECTRICAS

El estudio de localización de plantas nucleoelectricas de la región centro occidental de México representa un - proyecto en desarrollo, mediante el uso de técnicas de mapeo computarizado para el manejo de información geográfica. En - este proyecto en particular, la computadora fue utilizada para desarrollar un complejo estudio de selección de sitios para el montaje de plantas nucleoelectricas, el cual mediante-cambios en la lógica, puede utilizarse para seleccionar si--tios para el montaje de termoelétricas convencionales. La - computadora sirvió al grupo del proyecto como herramienta para procesar la información de cada pequeña porción de terre--no dentro del área de estudio, así como la lógica de decisiones que permitiera identificar los lugares más adecuados para el establecimiento de dichas plantas de generación.

Adicionalmente proporcionó la posibilidad de almacenar y disponer de la información geográfica y producir mapas derivados, los cuales muestran la importancia de los crite--rios establecidos por diferentes especialidades del grupo de trabajo, terminando con la integración de mapas compuestos - en los cuales se presentan los resultados finales, diferen--ciando en nueve niveles los grados de idoneidad de las dife--rentes celdas del área de estudio.

El uso del programa de computadora, dió al grupo de trabajo una serie de ventajas sobre los métodos manuales convencionales entre los cuales destacó la evaluación de dife--rentes alternativas, generando un gran volumen de informa--ción secundaria, asimismo mediante el uso de subrutinas especiales, se pudieron considerar una serie de criterios subje--tivos determinados por varios especialistas de diferentes -

disciplinas que participaron en la interpretación de un conjunto de evaluaciones con base a factores ingenieriles, ambientales y socio-económicos.

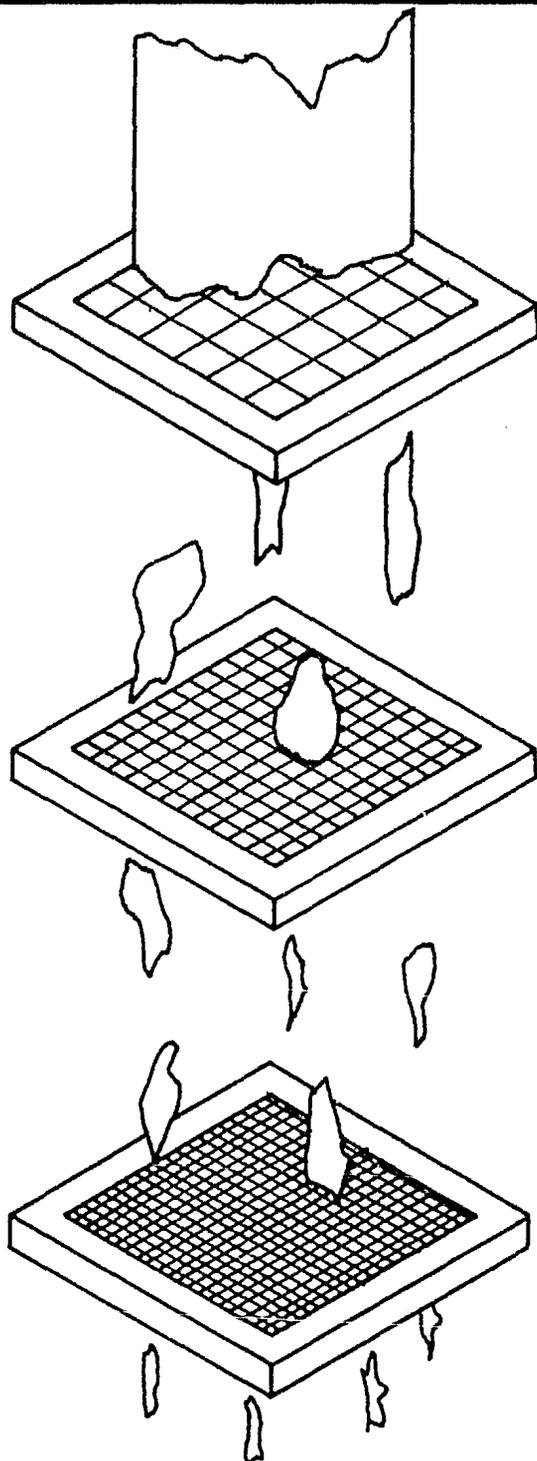
El procedimiento seguido consistió en un tamizado - (ver Figura IV-B-I) subsecuente que permitió ir afinando la información conforme la superficie de estudio iba siendo reducida hasta llegar a identificar 27 sitios candidato a los que una vez hecho un reconocimiento de campo se evaluó comparativamente para proponer nueve sitios probables, a dos de los cuales se le harán estudios detallados de campo, tales como sondeos geológicos, etc.

EL AREA DE ESTUDIO

(Ver Figuras IV-B-2 y IV-B-3).

La región seleccionada para el estudio, se precisa de acuerdo con las necesidades de instalación nucleoelectricas previstas para México, estudios previos en la región, contribuyeron con una cantidad importante de información la cual describe varias de las características físicas y ambientales del área.

Después de una primera etapa de regionalización, teniendo en cuenta los factores geosísmico, hidráulico y acceso, se determinaron zonas con condiciones muy desfavorables para el montaje de nucleoelectricas y tomando en consideración la limitación de recursos de tiempo, humanos y costos, se descartaron del área de estudio ciertas porciones, quedando básicamente, dos grandes zonas, la primera desde el Pacífico hasta el meridiano 122° oeste, y la segunda desde el meridiano 102° oeste, hasta el meridiano 97° 45' comprendidas-

FIG. IV-B-1

PROCESO DE TAMIZADO



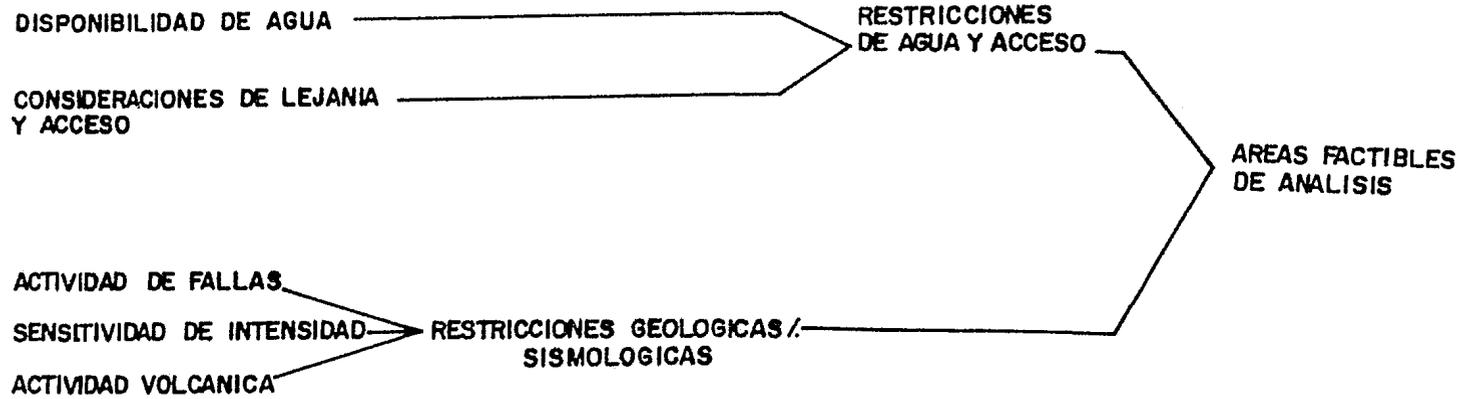


FIG. IV-B-3

entre los paralelos 18N y 22N. La primera de estas subregiones (occidente) una vez eliminadas del estudio las porciones restringidas por condiciones geosísmicas, hidrológicas o de acceso, altamente inadecuadas se limita a cuatro zonas:

I

- 1) La Región Pacífico en la porción de la desembocadura del Río Santiago.
- 2) La porción de la Cuenca del Río Colotlán, incluyendo la zona entre los Estados de Jalisco y Zacatecas.
- 3) La región Guadalajara que incluye parte de la Cuenca del Río Santiago y se extiende hacia el sur, hasta la zona de Cotija.
- 4) La Región Tepalcatepec y Cupatitzio que cubre una buena porción de las cuencas de estos Ríos, hasta la parte del embalse de la Presa de Infiernillo.

II

La segunda subregión (centro), se extiende desde el meridiano 102° oeste hasta el meridiano 97° 45', una vez eliminadas las porciones restringidas por condiciones geosísmicas, hidrológicas o de acceso altamente inadecuadas, se limita en seis porciones rectangulares:

- 1) Cuenca del Río Lerma, extendiéndose al oeste hasta la Cd. de Querétaro, hacia el Sur hasta la ciudad de Morelia y hacia el norte a Dolores, Hgo.
- 2) Parte de la Cuenca del Río Tepalcatepec, extendiéndose al Oriente hasta Ario de Rosales y hacia el sur la Región del embalse de Infiernillo.
- 3) Porción de la Cuenca del Balsas.

- 4) Porción de las Cuencas del Amacuzac, Cutzanala, Alto Lerma, Moctezuma y Río Verde.
- 5) Cuenca del Río Atoyac.
- 6) Sierra Oriental- incluye la Región de Pachuca a Villa Juárez.

MANEJO DE DATOS

Para el propósito de este estudio la información - consistió de tres tipos fundamentales:

- 1) Información Geográfica mapeable.
- 2) Lógica de decisiones mostrando la combinación de datos para producir información derivada.
- 3) Procedimientos analíticos, que incluyen: técnicas para el cálculo, evaluación y análisis particulares.

ASPECTOS DE IMPORTANCIA

El primer paso seguido en el establecimiento del -- programa de manejo de datos fue la identificación de los aspectos sobresalientes en la selección de sitios para plantas nucleoelectricas. Los aspectos que fueron considerados más - relevantes para la ubicación de plantas nucleoelectricas son los siguientes:

Seguridad Pública

Sensibilidad Socioeconómica

Consideración de Accesos

Riesgos Sismotectónicos
Riesgos Naturales
Mecánica de Suelos
Sensibilidad Ecológica
Sistemas de Enfriamiento y
Calidad de Agua

REQUERIMIENTOS DE INFORMACION

A partir de una revisión de cada uno de los aspectos, el grupo de trabajo identificó 32 diferentes juegos de datos base que permitirían estimar los efectos de cada aspecto en relación a la determinación de los mejores lugares para instalar plantas nucleoelectricas.

Estos datos fueron valuados en los mapas fuente, - mismos que varían en tipo y escala y fué requerido convertir la información disponible a información utilizable en el proyecto, habiendo sido necesario desarrollar un plan de trabajo que permitiera establecer un balance entre los diferentes tipos de información básica dentro de las limitaciones impuestas de tiempo y recursos.

ESTRUCTURA DE LA INFORMACION

Una vez definidos los requerimientos de información se elaboró un diagrama de estructuración de la misma en forma de diagrama de flujo a través del proyecto. Inicialmente cada disciplina elaboró su propio diagrama identificando la-

forma en que los mapas habrían de ser combinados y analizados; estos diagramas individuales fueron posteriormente integrados en un diagrama compuesto, tal como aparece en la figura IV-B-4. El objetivo del diagrama es mostrar la forma en que la información básica se interrelaciona para obtener mapas compuestos, así como la integración de éstos para producir los mapas finales, identificando todos los sitios candidatos para el establecimiento de plantas nucleoelectricas.

MAPAS BASE

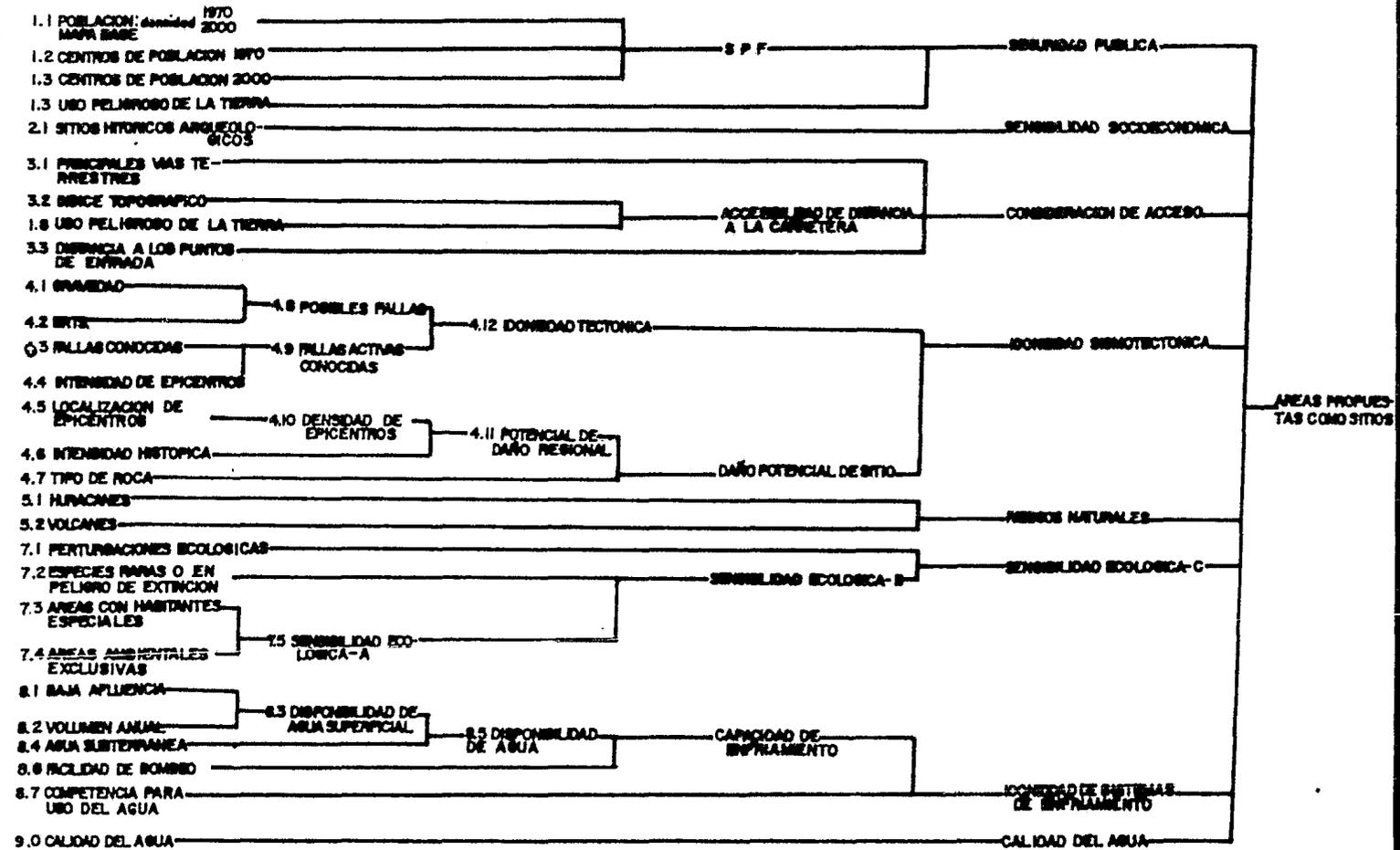
Para el desarrollo del estudio, consistente de dos etapas principales, la de las regiones y la más detallada de las áreas se prepararon suficientes copias de mapas con detalles cartográficos a las escalas de 1:1,000,000 y 1:500,000 respectivamente así como un conjunto de mapas retícula con celdas de 10 km x 10 km. Para la primera etapa del proyecto y de 2.5 x 2.5 km. para la segunda etapa.

Cada celda de estas retículas jugó el papel de casillero de la porción discreta del área de estudio y fué identificada por sus coordenadas cartesianas, permitiendo la computadora almacenar, disponer y analizar la información en ella contenida.

CODIFICACION

Con el objeto de que la información de los mapas sea accesible a la computadora, los mapas deben ser dispuestos en forma legible para la computadora lo que se logre mediante el progreso de codificación. Para ejecutar este proceso se coloca una retícula semitransparente sobre el mapa - -

FIG. IV-B-4



ESTRUCTURA DE LA INFORMACION

fuelle y de acuerdo con una determinada notación la información es transferida, posteriormente se perforan las tarjetas integrando un "paquete" de tarjetas para cada mapa base.

INFORMACION BASICA

A continuación se describe la información que se utilizó para el análisis de las áreas de estudio:

GEOLOGIA-SISMICIDAD

La información disponible de los sitios que indirectamente condujo al grupo de trabajo a identificar las características estructurales que pudieran conducir a estimar la idoneidad sismotectónica de las celdas del área de estudio es la siguiente:

Gradiente gravimétrico

Fracturamiento de imágenes del ERTS

Fallas conocidas

Intensidad de Epicentros

Localización de Epicentros

Intensidad histórica mercantil modificada

Tipos de Roca

SEGURIDAD PUBLICA

Con los mapas de población se hizo un cálculo del factor de población en el cual, con base en experiencias de meteorología de difusión, se da importancia a la posición re

lativa de la celda de interés y la distribución de población, y para esto se consideraron los siguientes parámetros:

Densidad de Población 1970

Centros de Población 1970

Densidad de Población 2000

Centros de Población 2000

Usos riesgosos de la tierra.

SENSIBILIDAD SOCIO-ECONOMICA

Sitios Arqueológicos

Reacción del Público

CONSIDERACIONES DE ACCESO

Mapa de Infraestructura (Vías férreas y carreteras)

Indice Topográfico

Zonas de influencia de vías terrestres

Distancia a Puntos de Entrada.

RIESGOS NATURALES

Volcanes

Inundaciones

Huracanes

SENSIBILIDAD ECONOMICA

Perturbación Ecológica
Especies raras o en peligro
Habitats especiales
Habitats raros

SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO

Corrientes superficiales
Gasto mínimo
Volumen medio anual
Agua Subterránea
Factibilidad de Bombeo
Competencia del Uso del Agua (año 2000)

CALIDAD DEL AGUA

Calidad Acuicultura
Calidad Agua Potable
Calidad Uso Agrícola
Calidad Uso Industrial

ANÁLISIS DE LA INFORMACION

Las técnicas utilizadas para la interpretación y -
análisis de la información fueron:

- 1.- Traducción para convertir un mapa base en mapa derivado- (fig. IV-B-5)
- 2.- Combinación de dos mapas entre sí para producir un tercer mapa derivado (fig. IV-B-6)
- 3.- Superposición para combinar dos o más mapas con el objeto de producir un mapa compuesto (fig. IV-B-7)
- 4.- Distancia para dar importancia a un área geográfica de un determinado punto, línea o área.

Mediante la técnica de traducción (fig. IV-B-5) se lleva a cabo la sustitución de los números de un mapa determinado por un nuevo juego de valores.

Esta técnica permite asignar el mismo número a más de uno de los números originales mostrando el resultado de una evaluación interpretativa.

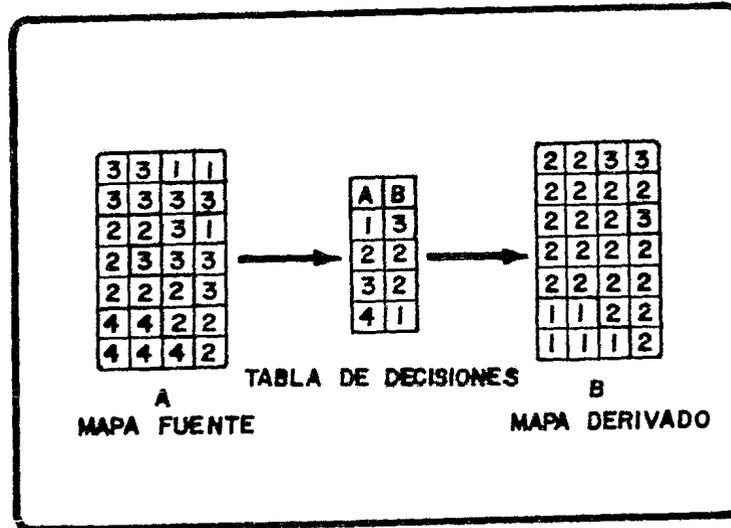
La técnica de combinación (fig. IV-B-6), permite hacer la intercomparación entre dos mapas para obtener un tercer mapa. Mediante una tabla de decisiones se precisan los nuevos valores.

La técnica de Superposición (fig. IV-B-7) se utiliza para producir mapas compuestos de una serie de mapas base, sea mediante simple combinación o aplicando factores de peso o importancia de acuerdo con lo establecido en las matrices de interés.

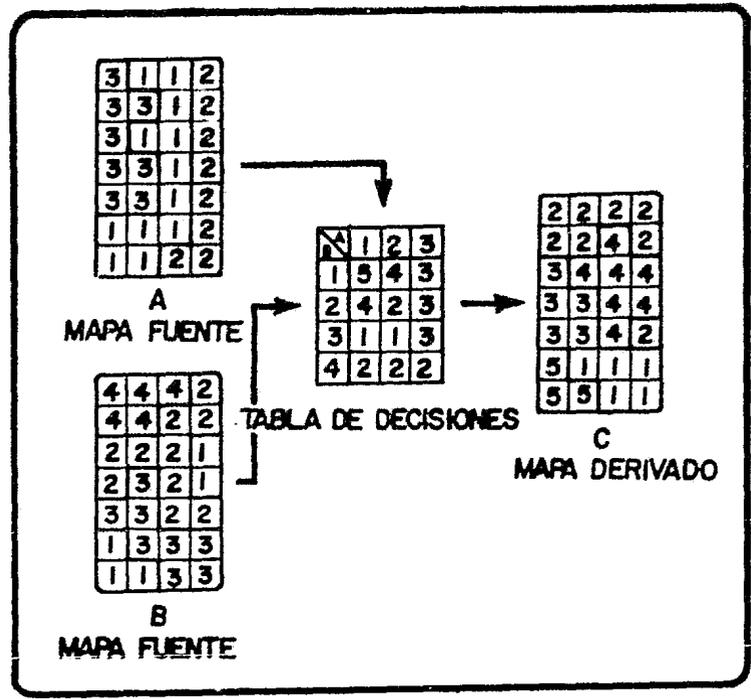
La técnica de distancia se utilizó en la determinación de los factores de población, así como en la elaboración de mapas de consideraciones de acceso.

Estas técnicas, si bien de tipo general fueron utilizadas por cada uno de los grupos de especialistas para al-

FIG. IV-B-5



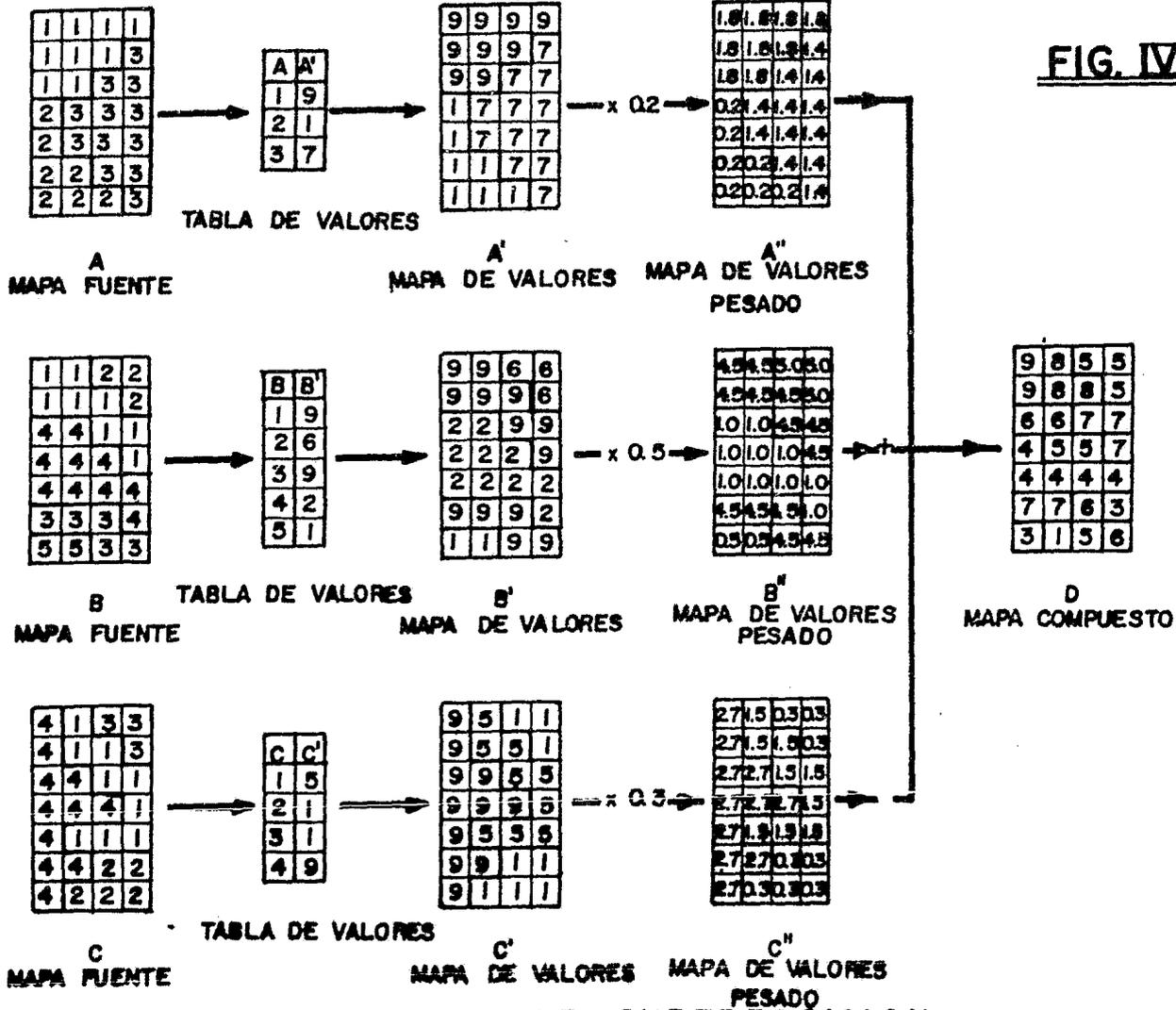
TECNICA DE TRADUCCION



TECNICA DE COMBINACION

FIG. IV-B-6

FIG. IV-B-7



TECNICAS DE SUPERPOSICION

canzar las necesidades individuales. Con excepción de los 28 mapas-base el resto de los mapas resultaron de la aplicación de las técnicas antes señaladas.

ASIGNACION DE VALORES

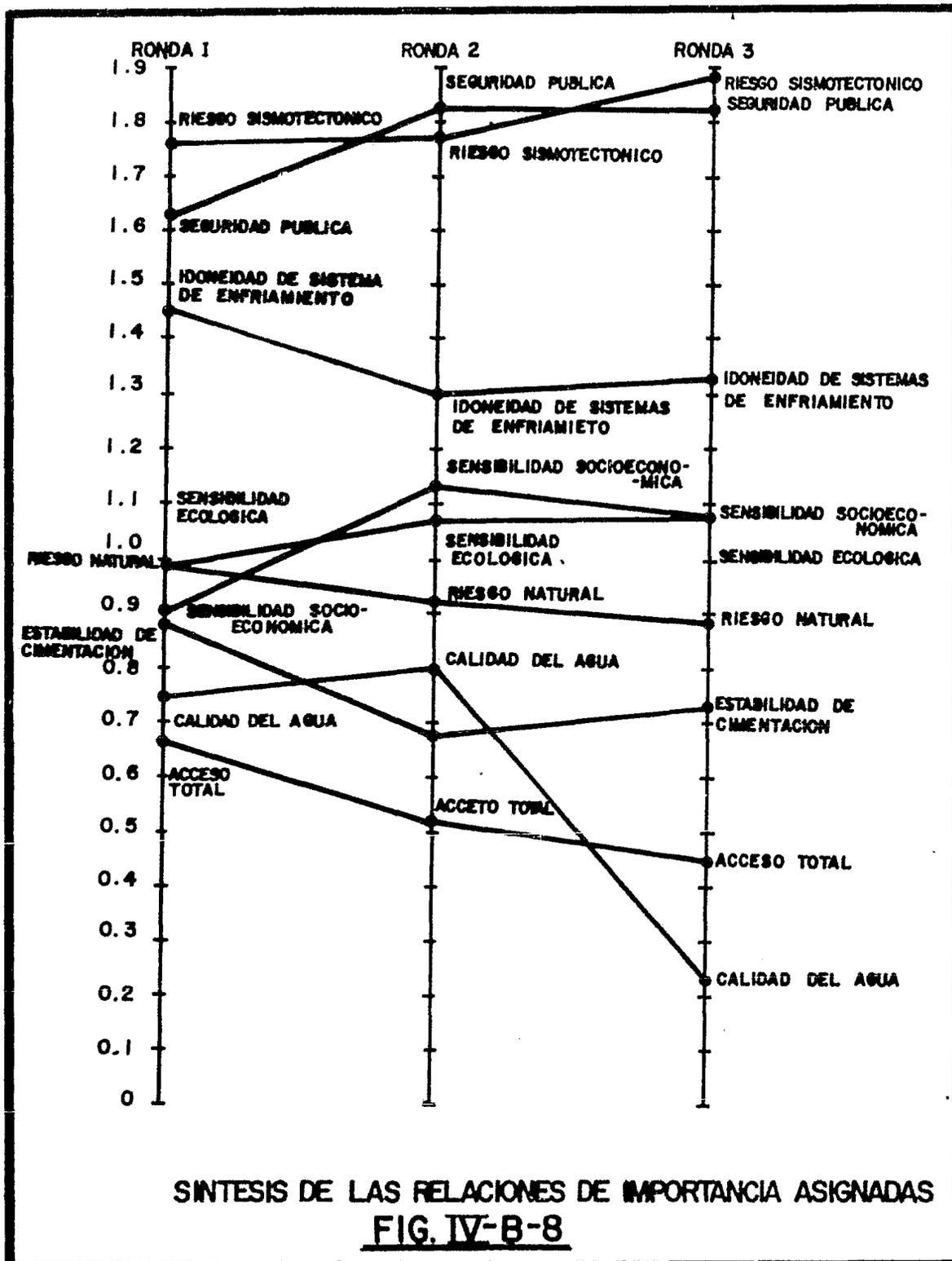
Con el objeto de establecer las bases de ponderación de aspectos tan diversos como los considerados dentro de estos estudios de localización de plantas nucleoelectricas, se utilizó el Método Delpi, en el cual se hizo participar a un grupo de 26 profesionales, compuestos a su vez por subgrupos de especialistas en los diferentes campos de interés.

En la (fig. IV-B-8) aparece la síntesis de las relaciones de importancia obtenida en tres rondas subsecuentes de asignación de valores, después de cada una se propició el máximo flujo de información.

RESULTADOS DEL PROCEDIMIENTO DE DATOS

Con base en los aspectos de Seguridad Pública, Sensibilidad Socioeconómica, Consideraciones de Acceso, Idoneidad Sismotectónica, Potencial de Riesgos Naturales, Sistemas de Enfriamiento, Sensibilidad Ecológica y Calidad del Agua; y de acuerdo con los factores de rango y peso asignados por el grupo de evaluación, la información mapeada en 28 diferentes planos dió como resultado una calificación numérica para cada celda de la región de 2.5 km por lado.

Con el objeto de concentrar la atención en la evaluación de campo a aquéllas celdas cuyas características -



las hicieron obtener altas calificaciones, se representó en una impresión de computadora el mapa de la región con nueve distintas tonalidades (ver fig. IV-B-9), diferenciando las celdas de acuerdo con la calificación obtenida, en ocho niveles de idoneidad, destacando especialmente aquellas cuya calificación correspondió al 25% más alto.

En función de la ubicación geográfica de las necesidades más próximas de energía nucleoelectrica del País, enfocando la atención a los conjuntos de celdas con más alta puntuación, se preseleccionaron 27 sitios candidato sujeto a un reconocimiento general de campo, previo a la selección de los 9 sitios candidato objeto primario del estudio.

Los estudios detallados de campo tales como son sondeos geológicos, estudios de mecánica de suelos, de meteorología de difusión, ecología, etc., se desarrollaron exclusivamente sobre los dos sitios que resultan ser los más adecuados del conjunto de 9 sitios candidato.

ESTUDIOS ECOLOGICOS DEL AREA DE UNA PLANTA NUCLEOELECTRICA

Los estudios a determinar en el área son:

1. Si existe alguna comunidad natural, especie animal o vegetal con gran interés científico o de otro tipo, cuya sobrevivencia pudiera ser puesta en peligro por la operación de la planta.
2. Estudiar en forma preoperacional cuáles serían los cambios introducidos en flora y fauna por el funcionamiento de la planta, o bien si ésta va a provocar cambios en las comunidades existentes en el área.

MAPA FUENTE

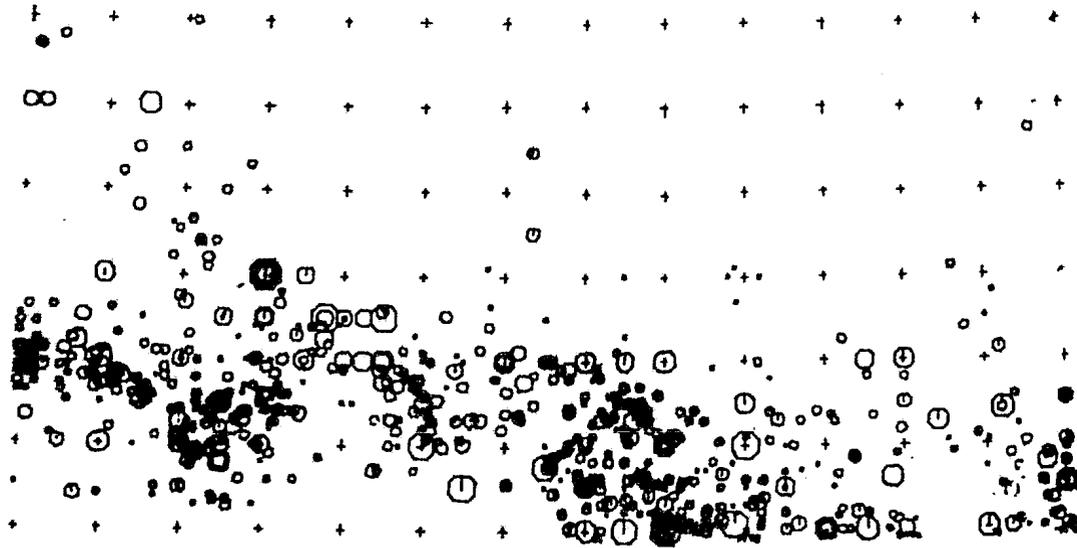


FIG. IV-B-9

3. Establecer los mecanismos biológicos de concentración de radionúclidos y su consumo potencial por el hombre, a través de productos vegetales o animales procedentes del área.
4. Proponer un sistema de monitoreo biológico que permita apreciar tanto daños por radioactividad como concentración de radionúclidos durante el tiempo de operación de la planta.

En países con larga tradición científica, los estudios ecológicos previos al funcionamiento de una planta nucleoelectrica han contado con una base de conocimientos biológicos, acumulados en 200 o más años, que permiten con un mínimo de trabajo de campo preliminar dar una relación muy completa de fauna y flora, así como establecer la estructura y funcionamiento de las comunidades existentes en el área.

Así, gracias a este conocimiento previo del material biológico con el que se va a trabajar después de un análisis preliminar puede pasarse en un lapso de tiempo y esfuerzo corto, a los estudios ecológicos específicos, como son determinación de los niveles de radiación preoperacionales, análisis de los radionúclidos críticos y sus mecanismos de concentración o acumulo de los mismos en distintos organismos y uso de éstos en la alimentación del hombre, relación entre la operación de la planta y cambios en las comunidades existentes en sus cercanías. En el caso de Laguna Verde, como en otros muchos casos de trabajos sobre contaminación que se están iniciando en México, estamos en condiciones totalmente distintas. Nuestro primer problema es conocer que plantas existen en el área donde la planta se va a construir, de que comunidades forman parte y como están estas estructuradas. Una vez obtenida esta información tratar-

de obtener un esquema del flujo energético y organización trófica dentro de cada comunidad.

Los conocimientos sobre flora y fauna del área de Laguna Verde eran, al iniciarse los trabajos muy pobres en general, aunque variaban según el grupo tomado en consideración. La información publicada sobre comunidades y su estructura prácticamente nula e inaplicable a las exigencias de un programa de investigación ecológica, como el que necesita una planta nuclear.

En primer término fue coleccionar e identificar qué animales y plantas existían, como estaban organizados en comunidades, cuál era el estado sucesional de estas comunidades y cuál el grado de perturbación introducido por el hombre.

Debido a la existencia de numerosos y complejos caminos por los cuales los radionúclidos pueden causar daños a las plantas, animales y al hombre, se deben realizar estudios preliminares, que serían los siguientes:

1. Recoger información extensiva y exacta sobre los niveles preoperacionales de radiación y radioactividad existentes en el medio ambiente.
2. Obtener información sobre los radionúclidos críticos, flujos tróficos críticos asociados con la incorporación de radioactividad en las cadenas alimenticias del hombre.
3. Desarrollar, probar y ejercitar los métodos y procedimientos que se usarán en muestreos postoperacionales.
4. Recoger datos sobre niveles de fondo de radioactividad, los cuales proveerán una base para comparar futuros niveles de radioactividad en el medio ambiente.

Como puede verse, este programa tiene que ser extensivo. Será un estudio desde el punto de vista de ecosistemas (comunidades) para determinar los efectos biológicos de la radioactividad descargada por la instalación nuclear, aún por pequeña que sea esta descarga.

Es una necesidad imperante que una instalación nuclear establezca la base del fondo radiológico antes de poner la planta en operación. Esto es importante ya que si en un futuro dado llega a dudarse de los niveles de radioactividad descargados por la planta, la instalación podría al menos establecer los niveles naturales de fondo.

Los objetivos que sirven para un censo ecológico - con fines de vigilancia radiológica pueden lograrse usando - los principios de análisis de sistemas ecológicos, análisis posible gracias al trabajo preliminar realizado en el área.- En este enfoque el ecosistema se divide en compartimientos y caminos definidos por los cuales fluye energía y circulan materiales.

C) PROYECTO GENERAL.

El alcance del proyecto comprenderá los siguientes servicios de Ingeniería, Diseño y Coordinación de construcción:

- 1.- Administración y Dirección completa así como la coordinación de todas las actividades de Ingeniería y Diseño.
- 2.- Coordinación de todos los requerimientos de interfase entre la supervisión, ingeniería, coordinación de construcción, pruebas, puesta en servicio, control de calidad, - fabricantes de equipos, etc.

- 3.- Preparación de todos los diagramas preliminares y estudios de optimización requeridos para el diseño y construcción de la planta.
- 4.- Preparación de todos los documentos de criterios técnicos estableciendo los criterios técnicos básicos para todas las fases de diseño de la planta.
- 5.- Preparación de especificaciones preliminares y finales de todos los equipos y materiales para concursos internacionales. Estas especificaciones incluirán todas las condiciones y términos estándares, requerimientos técnicos, requerimientos de garantía de calidad y un cuestionario separado para los vendedores de acuerdo con las prácticas normales.
- 6.- Preparación de las especificaciones preliminares y finales para todos los contratos de construcción de acuerdo con las prácticas normales.
- 7.- Preparación de los diagramas preliminares y finales del proyecto y construcción, lista de todos los materiales necesarios para la construcción completa y especificaciones para calificación de vendedores de equipos y contratistas.
- 8.- Envío al Organismo de Abastecimientos de las copias necesarias de todas las especificaciones para concursos internacionales.
- 9.- Evaluación de todas las ofertas recibidas y preparación de cuadros comparativos y reportes de evaluación y relaciones.
- 10.- Supervisión, revisión, aprobación o rechazo y manejo de todos los planos de fabricantes y proposiciones de alter

nativas de fabricantes que deben ser comentados o regresados a los fabricantes.

- 11.- Preparación de un reporte mensual de avance cubriendo - todas las actividades de Ingeniería y Diseño.
- 12.- Elaboración de todos los programas requeridos para el - proyecto usando diagramas de barras y métodos de ruta - crítica para todas las actividades de Ingeniería y Diseño, así como análisis conciso y actualización de todos- los pasos críticos en la forma necesaria.
- 13.- Elaboración de la parte técnica de todas las órdenes de compra de los vendedores y contratistas seleccionados.
- 14.- Elaboración de todas las estimaciones de costo para la- planta completa y actualización de estas estimaciones - en forma requerida.
- 15.- Mantenimiento de un archivo completo de especificacio-- nes criterios, planos preliminares, planos de construc- ción, listas de materiales, dibujos de vendedores, cál- culos, correspondencia externa e interna, así como cualquier otro material relacionado con la Ingeniería y Di- seño del Proyecto.
- 16.- Preparación de pruebas de equipos cuando es necesario - o requerido por las especificaciones del equipo.
- 17.- Observaciones de pruebas de equipo cuando es necesario- o requerido por las especificaciones del equipo.
- 18.- Control de los servicios de expeditación del equipo comprobado.
- 19.- Todos los servicios de administración, ingeniería, diseño, dibujo, especialidades técnicas, estimaciones, pro-

gramación, adquisiciones, expeditación, así como los - servicios secretariales necesarios para el desarrollo - normal del proyecto.

- 20.- Todos los servicios necesarios de impresión y copiado - requeridos para el desarrollo normal del proyecto.
- 21.- Preparación de todos los reportes técnicos necesarios - con el objeto de respaldar u optimizar las recomendaciones de Ingeniería y Diseño.
- 22.- Coordinación de todas las juntas técnicas entre los vendedores de equipos, contratistas, etc.
- 23.- Elaboración de minutas de todas las juntas.
- 24.- Servicios de consultoría técnica para la supervisión de construcción o coordinación y enlace entre la Ingenie--ría y construcción en la forma en que es requerida.
- 25.- Preparación del manual de operación y mantenimiento de la planta.
- 26.- Preparación del manual de información de Ingeniería de la planta.
- 27.- Preparación del manual de pruebas y puesta en servicio.
- 28.- Actualización de todos los planos producidos de Ingeniería con objeto de reflejar las condiciones en que fue - construida. Para este objeto el Supervisor de Construcción o Residente deberá proporcionar toda la informa- - ción necesaria para reflejar las condiciones de como - fue construida.
- 29.- Preparación de programas y entrenamiento de personal para futuros proyectos que deberá cubrir un porcentaje -

del personal como se fijará posteriormente.

- 30.- Supervisión para asegurarse que los contratos de construcción se ejecutan de acuerdo con la calidad y especificaciones establecidas en el diseño.
- 31.- Dirección técnica de construcción para asegurarse que los trabajos se ejecutan de acuerdo con los procedimientos estándares establecidos y ayudar a los contratistas con la solución de cualquier problema técnico que pueda surgir durante el desarrollo de sus actividades.
- 32.- Coordinación del trabajo ejecutado por los diferentes contratistas para evitar interferencias entre ellos y verificar que el trabajo se desarrolla bajo niveles de eficiencias normal y bajo condiciones adecuadas de higiene y seguridad.
- 33.- Supervisar y comprobar que los contratistas y el personal del proyecto desarrollan el trabajo de acuerdo con programas, así como lo que se refiere a equipos, materiales y la relación entre las diferentes fases de construcción.
- 34.- Verificación del volumen de trabajo ejecutado por los contratistas y aprobación de las correspondientes estimaciones. Dentro de estos servicios se incluyen el análisis de precios unitarios.
- 35.- Comprobación de que la descarga, manejo y almacenamiento de todos los materiales y equipos en el sitio se efectúan adecuadamente, así como comprobación de la cantidad de los materiales mencionados y el cumplimiento de lo establecido en las especificaciones y orden de compra.

- 36.- Establecimiento de un sistema y procedimiento de contabilidad y control de costos comprobando el cumplimiento de éstos y su actualización, analizando las desviaciones para tomar las medidas correctivas del caso.
- 37.- Verificación de la operación apropiada de los equipos, obtención de datos de pruebas con ajustes y recopilación y evaluación de datos para las pruebas de adaptación del reporte final.
- 38.- Comprobación de que todos los contratistas cumplan con las leyes aplicables de seguridad e higiene.
- 39.- Elaboración de reportes de avance de trabajo, indicando el avance como estimaciones, pagos a contratistas incluyendo cambios hechos a cualquier otro, informando lo que se considere de utilidad.
- 40.- Proporcionar personal en la planta para auxiliar en las pruebas y puesta en servicio.

D) ESPECIFICACION DE EQUIPO PRINCIPAL.

Las especificaciones de equipo principal de una planta nucleoelectrica, que a continuación describimos, corresponde a una central nuclear, cuyo reactor utiliza agua en ebullición como refrigerante y como moderador, y uranio enriquecido como combustible (central nuclear de Mühleberg en Suiza)

Potencia eléctrica útil de la central,
referidas a las barras tensión de los
transformadores 306.2 Mw

Número de reactores	1
Número de grupos turbogeneradores	2
Rendimiento global, referido a la potencia neta a plena carga	32.2%
Peso de una carga de combustible	44.4 Ton. de U.
Combustible utilizado por año con 7000 horas de plena carga:	
Primer núcleo	14 Ton. de Uranio
Segundo núcleo	10.5 Ton. de Uranio
Caudal máximo necesario de agua de refrigeración.....	11.7 m ³ /seg.

REACTOR.

Sistema:

Reactor de agua en ebullición de uranio ligeramente enriquecido, con agua ligera como moderador y agente de refrigeración.

Potencia térmica del reactor947.4 Mw.

Combustible:

Tipo de combustible: pastillas de - óxido de uranio (UO₂).

Enriquecimiento del núcleo 1 2.26% de U 235

Enriquecimiento del núcleo 2 2.71% de U 235

Montajes de las barras de combustible:

Cubierta	Zircaloy 2
Número de barras de combustible en un montaje	49
Número de montajes	228
Número total de barras de combustible	11 172

Regulación:

Número de barras de regulación	57
--------------------------------------	----

Tanque del reactor:

Diámetro exterior	4.21 m.
Altura	17 m.
Espesor de pared	10.2 cm.
Peso en vacío con la cubierta	224 Tm.
Presión de servicio	71.7 bars.

Bombas de circulación:

Bombas centrífugas de eje vertical.

Número de bombas	2
Potencia absorbida	1 050 Kw.
Caudal	4 130 m ³ /h.

Grupos Turbogeneradores:

Grupos de una línea de ejes y a condensación.

Número	2
Velocidad	3 000 r.p.m.

Turbinas:

Potencia máxima permanente en los - bornes, bruta	161.8 Mw.
Presión del vapor vivo	66.2 bars.
Grado de humedad del vapor vivo	0.2 %
Presión del vapor a la salida del cuerpo de baja presión	0.052 bar
Temperatura del agua de refrigera- ción	15 °C
Temperatura final del agua de ali- mentación después del recalenta- - miento	193 °C
Caudal de vapor vivo	243.4 Kg/seg.

E) DISEÑO DETALLADO

BASES DE DISEÑO

Son la descripción de las funciones de las estructuras, sistemas o componentes y los valores específicos o rangos de valores elegidos como límites para el diseño.

Las especificaciones de diseño

Incluyen las bases de diseño y cualquier otra información que colectivamente proporcione una base completa para el desarrollo de documentos de diseño; la información típica que incluyen especificaciones de diseño son las siguientes:

- a.- Funciones límites y clasificación de la estructura, sistema o componente.
- b.- Condiciones de operación normales y anormales.
- c.- Condiciones ambientales asociadas con condiciones de operación normales y anormales.
- d.- Relaciones funcionales y físicas con otras estructuras, sistemas o componentes.
- e.- Cargas mecánicas, presiones, temperatura de diseño.
- f.- Códigos, estándares y regulaciones aplicables.
- g.- Información sobre materiales tales como límites de prueba y servicio, criterios de esfuerzo y fatiga, restricciones para selección y requerimientos especiales para manejo, procesamiento o conservación.
- h.- Requerimientos de revisión procesos de fabricación.
- i.- Requerimientos de prueba.

Documentos de diseño.- Son los planos, especificaciones, procedimientos, análisis e instrucciones derivadas de las especificaciones de diseño que describan al diseño para la fabricación, construcción e instalación y respaldan al diseño, los documentos de diseño proporcionan una base completa para la planeación de fabricación e instalación.

Componente.- Es una parte manufacturada de suficiente complejidad o importancia funcional que amerita un documento de especificación de diseño por separado.

Construcción.- Se usa un término colectivo que incluye adquisición, fabricación, instalación y pruebas de facilidades - nuevas o modificaciones; el proyecto de la planta consiste - de actividades de diseño y construcción.

Contrato.- Incluye a todos los contratos por servicios, órdenes de compra. El contratista reporta a la Residencia de - Construcción en el sitio bajo contrato, todas las organizaciones que desarrollan trabajo o ejercicios en el sitio se - denominan contratistas.

Documento.- Son los requerimientos de calidad que incluyen - documentos de diseño, documentos de adquisiciones y documentos de planeación para sistemas o componentes.

Estructura.- Es un edificio, torre, cubierta o soporte montado en el sitio de la planta.

Sistema.- Es un grupo de partes que funcionan como una unidad, como el sistema de agua de alimentación. La planta consiste de estructuras y sistemas.

Vendedor.- Es el representante o fabricante que suministrará equipos o materiales, reporta a Ingeniería de Diseño y se encuentra bajo contrato. Todas las organizaciones que desarrollan trabajos o servicios fuera del sitio del trabajo se denominan vendedores.

Documentos de Adquisiciones.- Son colectivamente todos los -

documentos usados (incluyendo los documentos de diseño) para especificar y describir los requerimientos en el contrato - propuesto o adjudicado.

Paquete de compra. - Es un grupo de documentos de adquisición entregado a los vendedores potenciales con solicitud de cotización o proposición.

Materiales. - Es un término que incluye todas las partes físicas como componentes, equipos, partes, materiales y suministros.

F) ESPECIFICACIONES DE EQUIPO AUXILIAR.

Las especificaciones de equipo auxiliar de una planta nucleoelectrónica, que a continuación describimos, corresponde a una central nuclear, cuyo reactor utiliza agua en ebullición como refrigerante y como moderador, y uranio enriquecido como combustible (central nuclear de Muhleberg en Suiza).

Generadores trifásicos:

Potencia máxima permanente.....	.190 MVA.
Factor de potencia ($\cos \phi$)	0.85
Frecuencia	50 Hz.
Tensión	15.5 KV \pm 7.5 %

Bombas de alimentación:

Número	3
--------------	---

Accionamiento	Motores eléctricos
Caudal	1 170 Tm/h.
Presión de impulsión	88.7 bars
Temperatura de agua de alimenta- ción	142 °C
Potencia de accionamiento	3 300 Kw.
Bombas para el agua de refrigeración:	
Número	3
Caudal	19 000 m ³ /h.
Altura de impulsión	7.6 m. de agua
Potencia absorbida	540 Kw.
Transformación y transporte de la energía eléctrica:	
Número de grupos de transformadores	2
Potencia de un transformador	181 MVA.
Relación de transformación (en va- cío)	15.5/248 KV.

La energía se transporta por cables con aislamiento de aceite, hasta la estación a 220 KV de Muhleberg-West, situada a unos 300 m. de la central.

G) ESTABLECIMIENTO DE LA GARANTIA DE CALIDAD Y DEL CONTROL DE CALIDAD.

Lineamientos y Requerimientos Regulados.

A continuación se establecen los requerimientos de la garantía de calidad.

Todo solicitante para construir una planta nuclear eléctrica es requerido que cumpla los lineamientos del apéndice B. que incluye un reporte preliminar de análisis de seguridad y una descripción del programa de garantía de calidad aplicada al diseño, construcción, pruebas de estructuras, sistemas y componentes.

Todo solicitante para que adquiriera una licencia de operación, es requerido que incluya un reporte de análisis de seguridad final, información que se le entregará al director. El control administrativo será usado a asegurar la operación de la planta.

Las plantas de energía nuclear y las plantas de procesamiento de combustible incluyen estructuras, sistemas y componentes que previenen o mitigan las consecuencias de accidentes de empleados que pueden causar un indebido riesgo a la salud y seguridad del público.

Este apéndice establece requerimientos de garantía de calidad para el diseño, construcción y operación de estas estructuras, sistemas y componentes.

Los requerimientos pertinentes de este apéndice son aplicados a todas las actividades que afectan las funciones de relación -seguridad de estas estructuras, sistemas y componentes, estas actividades incluyen diseño, compras, fabri-

cación, manejos, embarques, almacenamientos, limpieza, instalación, inspección, pruebas, operación, mantenimiento, reparación, reprocesamiento de combustible y modificaciones.

Como uso en este apéndice de garantía de calidad, - comprende todos estos planes y acciones sistemáticas necesarias que proveen una confianza adecuada a estructuras, sistemas o componentes que funcionarán satisfactoriamente en servicio.

La garantía de calidad incluye control de calidad, - lo cual comprende estas reglas de garantía de calidad que relacionan las características físicas de material, estructura, componentes o sistemas que proveen un medio de garantía de - calidad de material, estructura, componentes y requerimientos de sistemas predeterminados.

APENDICE B.

Requerimientos para el programa de garantía de calidad para una planta de energía Nuclear.

Establecimiento del programa de garantía de calidad.

Para las actividades de relación y seguridad el - - cual son iniciados por el solicitante previo a la aplicación para un permiso de construcción, los requerimientos y lineamientos se establecerán más adelante en los 18 criterios de garantía de calidad.

Los procedimientos pueden ser aprovechables para implementar la aplicación del programa de garantía de calidad - previo al inicio de actividades. Una lista de todas las funciones de relación seguridad de las actividades de una planta de energía nuclear serán llevadas a cabo por cada organi-

zación con los procedimientos requeridos, instrucciones para implementar el correspondiente programa de garantía de calidad, para que toda actividad pueda ser preparada (puesta al día periódicamente en el estado indicado), para asegurar el oportuno desarrollo, aprobación e implementación de estos procedimientos de garantía de calidad.

Entrenamiento de Personal.

Todo personal responsable para llevar a cabo las actividades de calidad puede recibir instrucción suficiente para asegurar la actividad que será llevada a cabo directamente. Esta instrucción puede aplicarse a todas las áreas de diseño.

Los procedimientos de entrenamiento pueden ser establecidos, los cuales describen el material de garantía de calidad y el método de presentación del tema en las secciones de entrenamiento e identificación individual por descripción de empleo o título o grupos requeridos para atender las sesiones.

Los criterios de garantía de calidad son 18 y a continuación se describen:

1. ORGANIZACION

El solicitante será responsable para el establecimiento y ejecución del programa de garantía de calidad.

El solicitante puede nombrar a otros, tal como contratistas, consultantes, para el trabajo de establecimiento y ejecución del programa de garantía de calidad.

La autoridad y obligación de personas y la organiza

ción que llevan a cabo las actividades que afectan las funciones de relación-seguridad de estructuras, sistemas y componentes estará claramente establecido y delineado por escrito. Estas actividades incluyen ambas las funciones a ejecutar, de lograr los objetivos de calidad y las funciones de garantía de calidad.

Las funciones de garantía de calidad son éstas:

- a) Asegurando el programa de garantía de calidad apropiado, es establecido y ejecutado efectivamente.
- b) Verificando, comprobando, interviniendo, inspeccionando, éstas actividades afectan las funciones de relación-seguridad que serán correctamente ejecutadas.

Las personas que llevan a cabo la organización de las funciones de garantía de calidad tienen suficiente autoridad y libertad de organización para identificar problemas de calidad, iniciar, recomendar, proveer soluciones y a verificar la implementación de soluciones. Las personas que llevan a cabo la organización de garantía de calidad, reportan a la gerencia el nivel a que es requerido la autoridad y libertad de organización, incluyendo suficiente independencia de costos y listas cuando se oponen consideraciones de seguridad que son previstos. Porque de las muchas variables implicadas tales como el número de personal, el tipo de actividad que se llevarán a cabo y el sitio o sitios de actividades que se llevarán a cabo, la estructura de la organización para la ejecución del programa de garantía de calidad puede tomar varias formas que provean a las personas y a la asignación de la organización de las funciones de garantía de calidad que requieran de autoridad y libertad de organización.

2. PROGRAMA DE GARANTIA DE CALIDAD.

El solicitante establecerá el tiempo recomendable - consistente con la lista para completar las actividades del programa de garantía de calidad, el cual cumpla con los requerimientos del apéndice mencionado anteriormente.

Este programa será documentado y vigilado por escrito con procedimientos o instrucciones y será guardado en la planta para toda la vida, en acuerdo con estas políticas, - procedimientos o instrucciones.

El programa de garantía de calidad proveerá control sobre actividades que afectan la calidad de la identificación de estructuras, sistemas y componentes.

Las de mando incluyen el uso adecuado de equipos, - propios de las condiciones del medio ambiente para cumplir - las actividades y el control de todos los prerrequisitos para la actividad dada que serán satisfechos.

El programa tomará en cuenta la necesidad de controles especiales, procesos, pruebas de equipo, herramientas y habilidad al lograr la calidad requerida y la necesidad para la verificación de calidad por inspección y prueba.

El programa proveerá adocctrinación y entrenamiento de personal, ejecutando las actividades que afectan la calidad necesaria para asegurar la destreza propia, son llevados a cabo y mantenidos. El solicitante regularmente repasará el estado adecuado del programa de garantía de calidad.

La dirección de la organización participante en el programa de garantía de calidad regularmente repasará el estado adecuado de esa parte del programa de garantía de calidad el cual será ejecutado.

3. CONTROL DE DISEÑO

La medida será establecida a asegurar los requerimientos de regulación aplicables a las bases de diseño, como se definen en el apéndice B y como se especifican en la aplicación de licencias, para las estructuras, sistemas el cual este apéndice aplica, está correctamente aplicado dentro de las especificaciones, dibujos, procedimientos, instrucciones, etc.

Estas medidas incluirán provisiones para asegurar la calidad de normas apropiadas, que serán especificadas e incluidas en documentos de diseño.

Las medidas serán establecidas para la selección y revisión propia de materiales, partes, equipos y procesos que son esenciales a la función de relación-seguridad de las estructuras, sistemas y componentes. La medida será establecida para la identificación y control de interfases de diseño y para la coordinación entre los participantes de diseño y organización.

La verificación de procesos de prueba serán llevados a cabo por individuos o grupos que llevaron a cabo el diseño original, quienes son de la misma organización.

Las medidas de control de diseño serán aplicables en detalle como indican las siguientes características físicas:

Reactor físico, esfuerzos térmicos, hidráulicos y análisis de accidentes, compatibilidad de materiales, accesibilidad para la inspección de servicio, mantenimiento, reparación, delineamientos de criterio de aceptación para pruebas e inspección.

4. SOLICITUD DE DOCUMENTOS DE CONTROL

Las medidas serán establecidas a asegurar que los - requerimientos de regulación aplicables a bases de diseño y - otros requerimientos los cuales son necesarios para asegurar la calidad adecuada serán incluidos o referidos en los documentos para el registro de materiales, equipos y servicios

La extensión necesaria de documentos registrados re quiere de contratistas o subcontratistas que proveen un programa de garantía de calidad consistente con las provisiones pertinentes de este apéndice.

5. INSTRUCCIONES, PROCEDIMIENTOS Y DIBUJOS

Las actividades que afectan la calidad serán pres-- critas por documentos e instrucciones, procedimientos, dibujos y de un tipo apropiado a las circunstancias y serán realizadas en acuerdo con las instrucciones, procedimientos o - dibujos. Las instrucciones, procedimientos o dibujos inclu rán cualidades apropiadas o criterios de aceptación cualitativa para determinar las actividades importantes que habrán-- de ser satisfactoriamente cumplidas.

6. DOCUMENTOS DE CONTROL

Las medidas establecidas para el control de la im-- presión de documentos, tal como instrucciones, procedimien-- tos y dibujos el cual prescriben todas las actividades que - afectan la calidad. Estas medidas que aseguran los documen-- tos, incluyendo cambios, son revisados para una adecuada - - aprobación para el personal autorizado y son distribuidos y-

usados a la localización donde la actividad de prescripción es llevada a cabo. Los cambios de documentos serán revisados y aprobados por la misma organización que llevaron a cabo la revisión original de la aprobación, a menos que el solicitante designe a otra organización responsable.

7. CONTROL DE MATERIALES COMPRADOS, EQUIPOS Y SERVICIOS

Las medidas serán establecidas a asegurar los materiales comprados, equipos y servicios, si se compra directamente o a través de contratistas o subcontratistas conforme a los documentos requeridos. Estas medidas incluyen provisiones apropiadas para la evaluación y selección de fuentes, evidencia de objetivos de calidad por los contratistas o subcontratistas, inspección de fuentes de contratistas o subcontratistas y examinación de productos de entrega.

Los documentos de prueba de materiales y equipos - conforme los requerimientos, serán disponibles en el sitio de la planta de energía nuclear.

Los documentos de prueba serán archivados en el sitio de la planta de energía nuclear que serán suficientes para identificar los requerimientos específicos, tal como códigos, normas o especificaciones, conocidos por la compra de material y equipo.

8. IDENTIFICACION Y CONTROL DE MATERIALES, PARTES Y COMPONENTES

La medida será establecida para la identificación y control de materiales, partes y componentes incluyendo la fa

bricación parcial de ensamblas.

Estas medidas aseguran la identificación de las partes y componentes, número de partes, número seriado u otros medios apropiados sobre las partes y componentes, o sobre una señal de registro de las partes y componentes, que son requeridos para toda la fabricación, erección, instalación, etc.

Esta identificación y control de medios será designado a prevenir el uso incorrecto de materiales defectuosos, partes y componentes.

9. CONTROL DE PROCESOS ESPECIALES

Las medidas serán establecidas para asegurar que los procesos especiales, incluyendo soldaduras, tratamiento de calor y pruebas no destructivas, son controladas y realizadas por personal calificado, usando procedimientos calificados en acuerdo con códigos aplicables, normas, especificaciones, criterios y otros requerimientos especiales.

10. INSPECCION

Un programa para la inspección de actividades que afectan la calidad será establecido y realizado por la organización que llevó a cabo actividad para verificar conforme a las instrucciones de los documentos, procedimientos y dibujos para realizar la actividad. Exámenes, mediciones, pruebas de materiales a productos procesados, serán realizados para cada trabajo de operación, donde sea necesario asegurar la calidad.

11. CONTROL DE PRUEBAS

Un programa de pruebas será establecida para asegurar todas las pruebas requeridas a demostrar el cual se llevarán a cabo satisfactoriamente en servicio, el cual incorpora los requerimientos y acepta límites contenidos en documentos de diseño. El programa de pruebas incluirá, comprobación de pruebas previas a la instalación, pruebas preoperacionales, pruebas de operación en la planta de energía nuclear y en la operación de planta en el reprocesamiento de combustible, de estructuras, sistemas y componentes. Procedimientos de pruebas serán incluidos provisionalmente para asegurar todos los prerrequisitos para las pruebas dadas, pruebas adecuadas de instrumentación son disponibles y usados y las pruebas son ejecutadas bajo condiciones de medio ambiente adecuadas.

Los resultados de las pruebas serán documentadas y evaluadas para asegurar los requerimientos de pruebas que han sido satisfechas.

12. CONTROL DE MEDIDAS Y EQUIPOS DE PRUEBA

Las medidas serán establecidas para asegurar las herramientas, instrumentos de medición y otras pruebas y artificios usados en actividades que afectan la calidad propiamente controladas, calibradas y ajustadas a períodos específicos a mantener la precisión dentro de los límites necesarios.

13. EMBARQUES Y MANEJO DE DESPERDICIOS

Las medidas serán establecidas al control de desperdicios, embarques, limpieza y conservación de materiales y -

equipos en acuerdo con el trabajo de inspección, instrucciones que previenen el daño o deterioro.

Cuando es necesario para productos particulares, la protección del medio ambiente tales como, gases inertes en la atmósfera, niveles que contienen humedad específica y niveles de temperatura serán especificadas y llevadas a cabo.

14. INSPECCION, PRUEBAS Y ESTADO DE OPERACION.

Las medidas que se establecen por el uso de señales, tal como sellos, etiquetas, rótulos, tarjetas marcadas u -- otros medios adecuados, el estado de inspecciones y pruebas-- ejecutadas en informes individuales de la planta de energía nuclear y la planta de reprocesamiento de combustible.

Estas medidas proveerán para la identificación de -- detalles, el cual llenan satisfactoriamente los requerimientos de inspección y pruebas.

Las medidas también serán establecidas para indicar el estado de operación de estructuras, sistemas y componen-- tes de una planta de energía nuclear y una planta de reproce-- samiento de combustible, tal como etiquetas de switches y -- válvulas para prevenir una operación inadecuada.

15. COMPONENTES O PARTES DE MATERIALES NO CONFORMABLES.

Las medidas serán establecidas al control de mate-- riales, partes o componentes el cual no conforman los requere-- rimientos a prevenir la inadvertencia o uso de la instala-- ción.

Estas medidas serán incluidas, como apropiadas, pro

cedimientos para identificación, documentación, segregación, disposición y notificación de las organizaciones afectadas.

Las partes no conformables serán revisadas y aceptadas, rechazadas, reparadas o retrabajadas en acuerdo con los procedimientos de los documentos.

16. FUNCIONAMIENTO CORRECTIVO.

Las medidas serán establecidas a asegurar las condiciones adversas a la calidad como, fracasos, funcionamiento malo, deficiencias, desviaciones, material y equipo defectuosos no conformables son prontamente identificados y corregidos.

En el caso de condiciones adversas significantes a la calidad, las medidas aseguran el caso de la condición a determinar y corregir la acción tomada a impedir la repetición.

La identificación de las condiciones significantes-adversas a la calidad, la causa de la condición y la acción-correctiva tomada será documentada y reportada a niveles - - apropiados de la dirección.

17. REGISTROS DE GARANTIA DE CALIDAD.

Registros suficientes serán mantenidos a proveer - evidencias de actividades que afecten la calidad.

Los registros incluirán como mínimo lo siguiente: - corte de operación y revisión de resultados, inspección, - - pruebas, audiciones, trabajos ejecutados en pantalla y análisis de materiales.

Los registros también incluirán datos de relaciones tales como calificaciones del personal, procedimientos y - - equipo. Inspección y registros de prueba como mínimo, identificación de la inspección o registros de datos, el tipo de observación, los resultados de la aceptabilidad y la acción - llevada en conexión con algunas notas deficientes.

Los registros serán identificados y revisados.

Considerando los requerimientos de regulación aplicables, la aplicación establecerá requerimientos concernientes con la retención de registros, tal como, duración, situación y responsabilidad asignada.

18. AUDICION.

Un sistema comprensivo de planes y audiciones periódicas serán llevados para la verificación de conformidad con todos los aspectos del programa de garantía de calidad para determinar la efectividad del programa.

Las audiciones serán llevadas a cabo en acuerdo con los procedimientos escritos o lista de cheques, por conveniencia de personal no entrenado, teniendo responsabilidad - directa en las áreas de audición existentes. Los resultados de audición serán documentados y revisados por el director - habiendo responsabilidad en las áreas de audición.

H) SUPERVISION DE LA FABRICACION

La supervisión de la fabricación la realiza un grupo de ingenieros que tiene como función el vigilar y supervisar la ingeniería en alto nivel realizando las actividades -

de ingeniería conceptual para el grupo de ingeniería de diseño, así como promover el desarrollo de especialistas altamente calificados en ingeniería de arreglos de plantas, Ingeniería Mecánica, Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Civil y Estructural, Ingeniería de Sistemas de Control e Ingeniería Nuclear y Química.

La supervisión de alto nivel de todas las actividades nucleares desarrollando y capacitándose en tecnología de reactores, de economía nuclear, de análisis de núcleos, de licenciamiento y seguridad, así como de localización de sitios y contaminación ambiental y nuclear.

El grupo de ingeniería de diseño tiene como función el dirigir, coordinar y realizar todas las actividades de Ingeniería de Diseño necesarias para las adquisiciones de equipos y materiales y para la elaboración de los planos de construcción de la planta, supervisando todas las actividades de dibujo y producción de especificaciones. Además debe promover el entrenamiento de personal para la realización del proyecto. El grupo de Residencia de Construcción tiene como función la dirección y supervisión de la Planta, incluyendo el control de calidad, la ingeniería de construcción en el campo, el control y registro de costos, planeación y programación, control y manejo de equipos y materiales y la administración de toda la construcción, además de promover el entrenamiento y desarrollo del personal para los trabajos mencionados.

Supervisar la aplicación y cumplimiento de procedimientos administrativos para asegurar que se cumplen los requerimientos de calidad que se establezcan, promoviendo el desarrollo de ingenieros y especialistas en verificación de Seguridad de Calidad y control de calidad.

La planeación y programación general y supervisión de la planeación detallada de actividades en ingeniería, adquisiciones, construcción y pruebas y puesta en servicio, su supervisión de elaboración de presupuestos.

Coordinación y supervisión de procedimientos de control de obras y de costos, reportes de avances de obra, retrasos e irregularidades en programas de obras y presupuestos.

Supervisión de la aplicación correcta de contratos y ofertas, verificación de cotizaciones, estimaciones y facturas de contratistas y de adquisiciones. Registro de costos y estadística de los mismos.

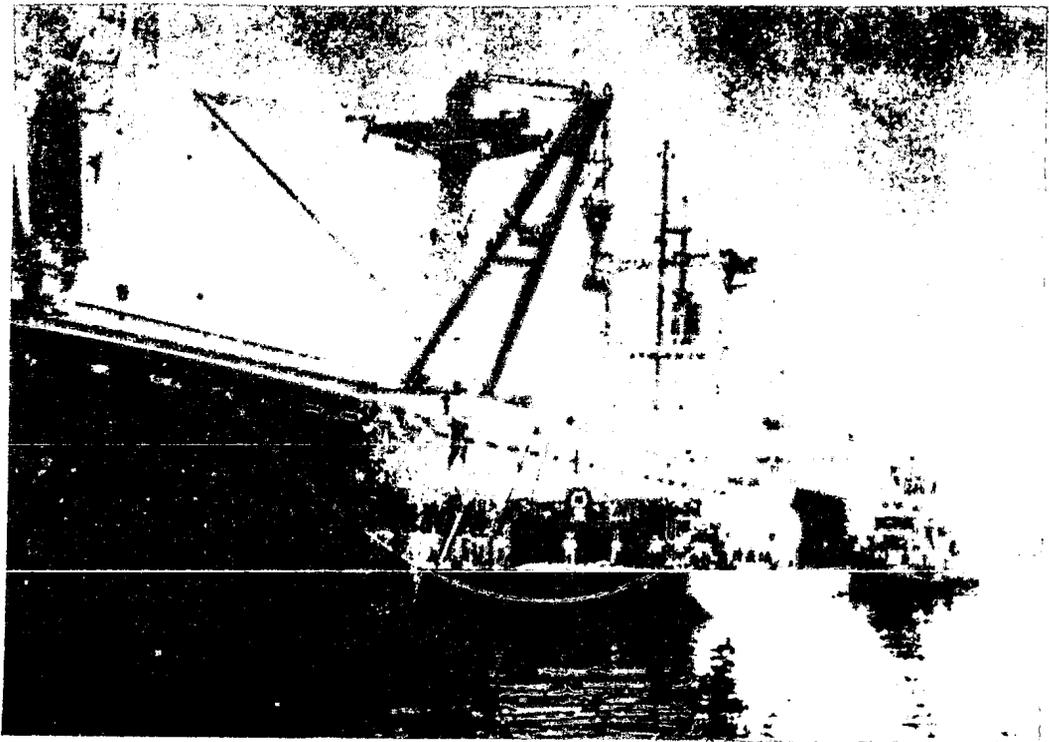
Supervisión del control de actividades de abastecimientos, activación de las etapas de abastecimientos y su registro, coordinación de las actividades de inspección, fabricación y entrega de materiales y equipo. Control del personal, asistencia, actividades y evaluación del mismo.

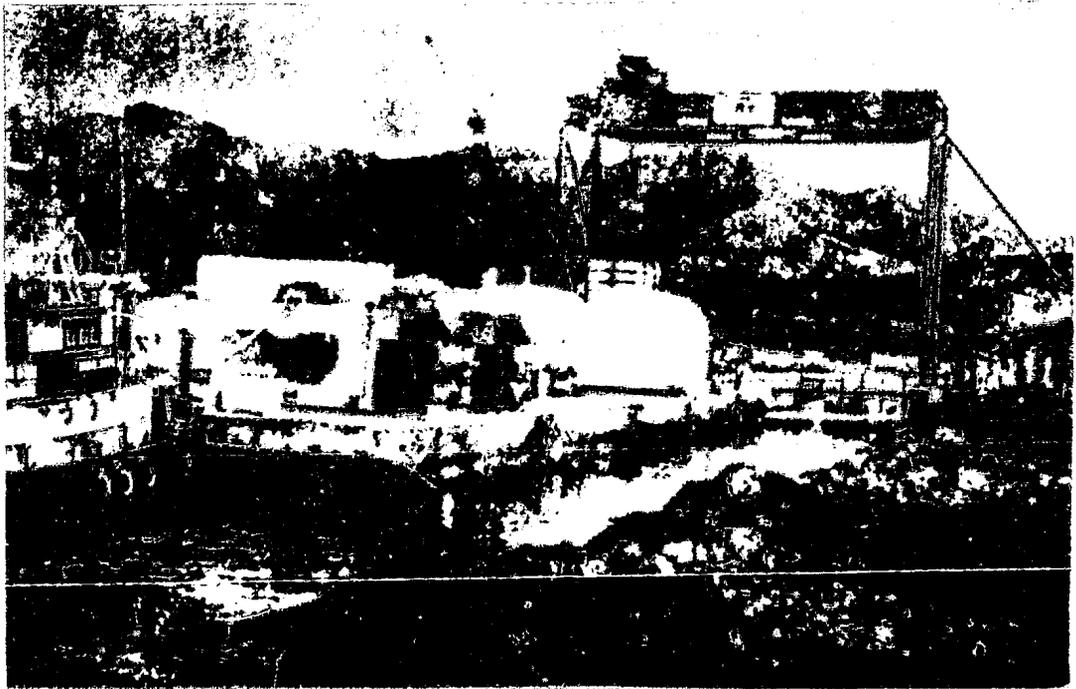
Supervisión del archivo y correspondencia, servicios administrativos diversos, mobiliario, papelería, contratos de personal, control de vehículos, relaciones contractuales y sin dicales, servicios de copiado y adquisiciones inmediatas.

I) TRANSPORTE DEL EQUIPO

El transporte de equipo para una central nuclear, - se lleva a cabo como lo muestran las siguientes fotografías - que nos muestran como fueron transportados el reactor y el - turbogenerador que son una de las partes principales en la - construcción de una central nuclear.

Estas fotografías se tomaron en el momento en que - se bajaban del barco que los transportó; y como fueron puestos sobre el lanchón que los conducirá hasta un lugar cercano de la construcción de la central.







J) INSTALACIONES EN EL SITIO DE LA OBRA

Disposición de las Instalaciones.

Reunión de todas las partes nucleares donde solamente un personal autorizado pueda penetrar (zona controlada).- Paso a través del edificio de servicio que, a su vez, está dividido en dos partes, una de acceso autorizado para todos, otra, perteneciente a la zona controlada, que está equipada con paso a la zona controlada, vestuarios, duchas e instalaciones de control.

Instalación separada de los auxiliares no nucleares.

Emplazamiento separado para los servicios auxiliares no pertenecientes a la central propiamente dicha.

Caminos cortos y claros para el personal entre la entrada del terreno de la central, la cantina y los puestos de trabajo.

Caminos sin cruces, para el transporte de los residuos radioactivos al depósito y para el transporte del combustible y de las piezas pesadas.

Para la transmisión de energía, un camino reactor--sala de máquinas--transformadores--parque de distribución, directo y lo más corto posible.

Entre el edificio del reactor y los demás edificios, caminos cortos y separados para el personal, los conductos, los cables, el combustible y el material.

Las instalaciones que se llevan a cabo en el sitio de la obra son:

Instalación del reactor.

Instalación de la turbina.

Instalación del generador.

Instalación de bombas.

Instalación de transformadores.

Instalación del combustible nuclear.

Instalación de agua de alimentación, de refrigeración y de -
recalentamiento.

Instalación de calderas auxiliares.

Instalación del grupo diesel de socorro.

Instalación del sistema de evacuación de gases.

Instalación de la estación de tratamiento de efluentes radio-
activos líquidos.

Instalación del sistema principal de refrigeración.

Instalación del sistema de agua de refrigeración auxiliar.

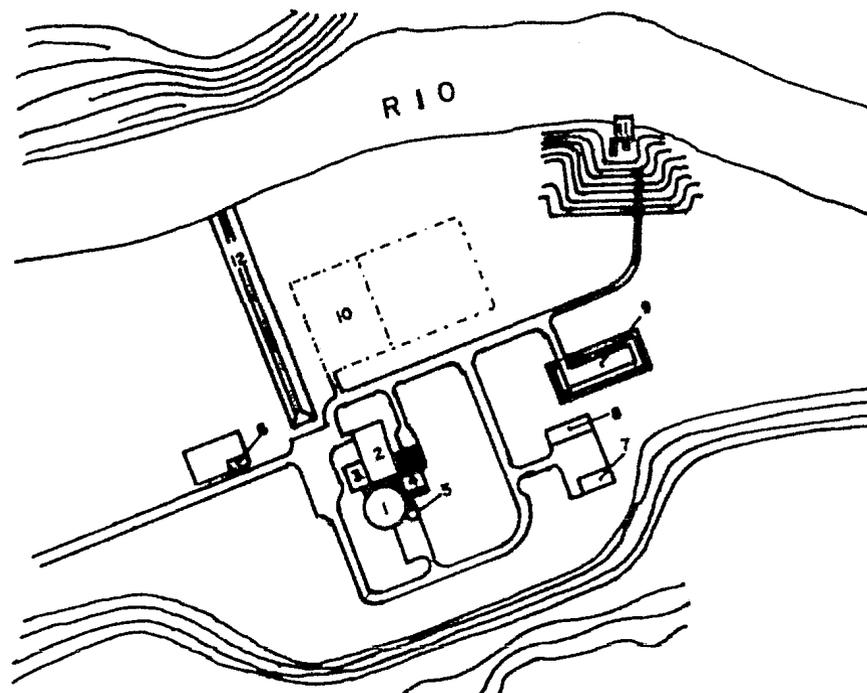
Instalación del sistema intermedio de refrigeración de agua.

Instalación de desmineralización completa.

La figura IV-J-1, muestra una vista general de la central nu-
clear.

La figura IV-J-2, muestra la disposición de las componentes-
principales de una planta de agua a sobrepresión.

PLANTA GENERAL DE LA CENTRAL



1- EDIFICIO DEL REACTOR 2- EDIFICIO DE LA TURBINA 3- EDIFICIO DE OFICINAS
4- EDIFICIO AUXILIAR 5- CHIMENEA 6- ESTACION DEPURADORA DE AGUA
7- ALMACEN 8- GARAJE 9- RESIDUOS RADIACTIVOS 10- PARQUE DE DISTRIBUCION A LA INTERPERIE
11- TOMA DE AGUA 12- CANAL DE DESCARGA.

FIG. IV-J-1

COMPONENTES PRINCIPALES EN UNA PLANTA DE AGUA A SOBREPRESION

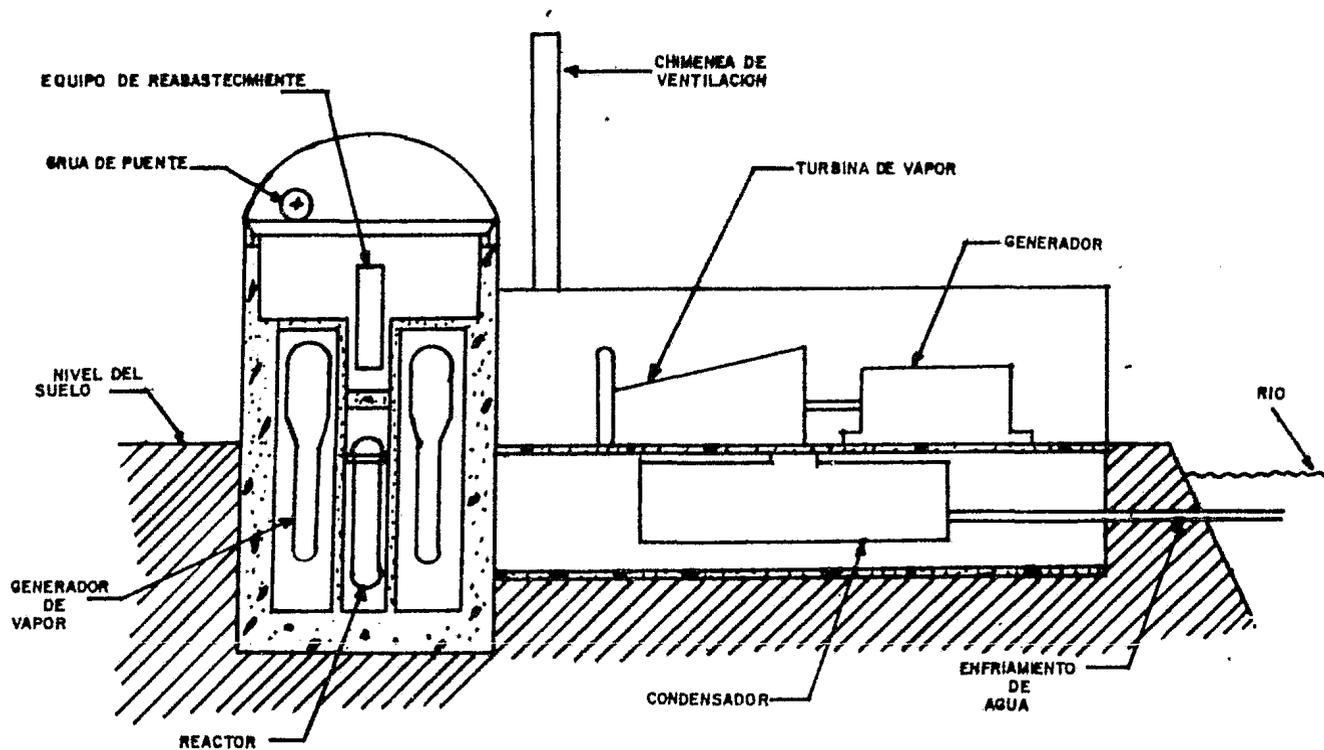


FIG. IV-J-2

K) ORGANIZACION DEL SISTEMA DE ALMACENES DE AIRE ACONDICIONADO.

Para la construcción de las Plantas Nucleoeléctricas es necesario el almacenamiento de Equipos, Materiales y Herramientas con garantía de calidad o sin garantía de calidad según el uso que se le vaya a dar dentro de la planta.

En lo que respecta a todos los materiales, herramientas y equipo en general es necesario llevar el control y las recomendaciones de los mismos, que en muchos casos recomendarán almacenamiento con atmósfera, temperatura y/o humedad controladas, almacenamiento interior sin aire acondicionado o almacenamiento intemperie.

En todos los casos deberán seguirse las recomendaciones y las normas de Garantía de Calidad para la protección contra la corrosión, deformación, la humedad y el daño físico.

Las reglamentaciones de Garantía de Calidad y buena coordinación del movimiento de los materiales y equipos requieren un almacenamiento interior o intemperie, debidamente planeada y programada que tiene por objeto facilitar las pruebas y los procesos de construcción.

El control se lleva a cabo con etiquetas de diferentes colores, materiales y códigos que facilitan la localización e identificación de los materiales o herramientas y equipos ya citados y hacen referencia a los archivos donde se lleva la historia completa de acuerdo con la Garantía de Calidad, de cada una de las partes.

L) ORGANIZACION DE LA CONSTRUCCION

Se considera que la organización adecuada debe ser del tipo del control integral del Proyecto, contando con un jefe de Proyecto responsable.

La organización está concebida en tal forma que puede desarrollarse en el futuro con la aplicación a otros proyectos de plantas nucleoelectricas sin necesidad de reestructurarlo en lo fundamental, sino con pequeños ajustes que implicarán la creación de unidades de control integral de proyecto para cada futuro proyecto, exclusivamente en la parte técnica administrativa de Ingeniería de Diseño y en la Residencia de la Construcción, la asignación de personal para -- las diversas actividades de control y administración, adquisiciones, programas, costos, abastecimientos y activación; -- pero conservando los grupos de apoyo de especialistas nucleares y especialistas de Ingeniería, Ingeniería de Construcción y Auditoría de Calidad e Ingeniería de costos y contratos para todos los proyectos, es decir a partir de la organización inicial se podrá modificar la organización desarrollando y capacitando al personal que se considere necesario para cumplir con los objetivos delineados.

De acuerdo con lo anteriormente indicado se tienen los grupos principales en la siguiente forma:

Ingeniería de Diseño

Residencia de Construcción

Y como grupos de apoyo que posteriormente deberán -- dar servicio técnico a otros Proyectos, estaría el grupo de Especialistas Nucleares, Especialistas de Ingeniería y Auditoría de Calidad. Adicionalmente se deberán tener subgrupos

para Ingeniería de Costos y Contratos, Programación y Control de Obras y Costos, Ingeniería de Construcción, Activación de Abastecimientos e Inspección y un grupo Administrativo y de servicios para todo el personal y grupos de la organización.

El Núcleo del Proyecto está constituido por dos grupos principales:

I) Ingeniería de Diseño.

II) Residencia de Construcción

Con los subgrupos de apoyo:

Auditoría de Calidad.

Control y Activación de Abastecimientos e Inspección.

Programación y Control de Obras.

Ingeniería de Costos y Contratos.

Ingeniería de Construcción.

El Núcleo de Especialistas está constituido por dos grupos principales:

Especialistas de Ingeniería

Especialistas Nucleares

Adicionalmente se tiene para todos los Grupos el Grupo Administrativo y de Servicios.

I) Ingeniería de Diseño.

Tiene como función principal el manejo técnico y administrativo de la Ingeniería de Diseño del Proyecto aplican

do los criterios de Diseño y directrices de alto nivel técnico fijadas por los Especialistas de Ingeniería y Nucleares, - supervisando, coordinando y activando los trabajos del consultor realizando la Ingeniería, activando, vigilando y controlando el cumplimiento de programas de Especificaciones, - Planos y actividades de Ingeniería del Proyecto, vigilando y controlando la asignación de personal y costos de Ingeniería así como participando en los detalles de Ingeniería de Diseño.

Estará dividido en los siguientes subgrupos a la vez subdivididos en:

	Arreglos de Plantas
Arreglos y Diseño	Análisis y flexibilidad de tuberías
	Metalurgia
	Códigos
	Aplicaciones de computadoras.
	Ciclos Termodinámicos y procesos
Ingeniería Mecánica	Equipo de Balance de Planta
	Sistemas Nucleares
	Ventilación y Acondicionamiento de aire
	Equipos
Ingeniería Eléctrica	Controles
	Diseños en detalle y alumbrado.

Ingeniería Civil	Edificio Tubogenerador y cimentación
	Edificio Reactor y Análisis
	Edificios misceláneos y Estructuras
	Arreglos arquitectónicos y acabados
Ingeniería Nuclear	Sistemas Nucleares de derechos y combustibles
	Protección radiológica y blindajes
	Tratamiento de Agua.
Ingeniería de Control de Instrumentación	Instrumentación Nuclear
	Sistema Nuclear de suministro de vapor
	Instrumentación Diversa y balance de - planta.

II.- Residencia de Construcción.

Tiene como función principal el manejo técnico y administrativo de la Construcción de la Planta aplicando los Diseños elaborados por la Ingeniería de Diseño y los criterios técnicos de alto nivel de Ingeniería de Construcción, activando, vigilando y controlando el cumplimiento de programas de construcción, verificación, y puesta en servicio, vigilando y controlando los costos de la construcción y participando en los detalles de la construcción de la planta.

Estará dividido en los siguientes Subgrupos a la vez subdivididos en:

Jefes de Ingenieros Civiles	Ingenieros Civiles
	Topógrafos
	Técnicos en construcción civil
Jefe de Ingenieros Electricistas	Ingenieros Electricistas o Mecánicos
	Electricistas
	Técnicos Electricistas
Jefe de Ingenieros Mecánicos	Ingenieros Mecánicos o Mecánicos
	Electricistas
	Especialistas en Soldadura
	Técnicos Mecánicos
Jefe de Ingenieros de Instrumentación	Ingenieros en Control e Instrumentación
	Técnicos en Instrumentación
Ingenieros de Diseño de Apoyo en el Sitio	Ingenieros Civiles
	Ingenieros Mecánicos
	Ingenieros de Control e Instrumentación.

Servicios Dibujo
 Archivo

Encargado de Costos Contabilidad
 Pagaduría

Administrador y de Servicios Compra locales
 Recepción equipo y materiales
 Control de Almacenes
 Control de Abastecimientos

Servicios Generales Control de Personal
 Vigilancia
 Servicios Médicos
 Archivo y Correspondencia

Planeación, Programación y control de Obras y Costos Programas
 Ingeniería de Costos
 Estimadores

	Ingeniería Civil
Auditoría de Calidad (en el sitio)	Ingeniería Mecánica Ingeniería Eléctrica Instrumentación
Pruebas y Puesta en Servicio	Ingeniería Mecánica Ingeniería Eléctrica y de Instrumentación Ingeniería Nuclear y Química.

Se deberán tener asesores de Construcción para apoyar la Residencia y los grupos de supervisión de Construcción, principalmente en la parte de Ingeniería de Construcción encargada de la supervisión, vigilancia y control de contratistas, y en los grupos de apoyo de Ingeniería en el sitio, grupo de Planeación y Programación, Auditoría de Calidad y pruebas y puesta en servicio.

III. Especialistas de Ingeniería.

Tiene como función principal la supervisión en alto nivel técnico, fijando directrices, criterios de diseño, normas y códigos y vigilando la Ingeniería conceptual, así como la calidad técnica del Diseño, promover el desarrollo de Especialistas altamente capacitados en las diversas especialidades y capaces de desarrollar tecnología propia para supervisar y realizar diseños de Plantas Nucleoeléctricas.

Estará dividida en los siguientes subgrupos:

Códigos

Arreglo y Diseño
General de la
Planta

Aplicaciones de Computadora

Análisis de Tuberías

Metalurgia

Sistemas Nucleares

Ciclos Termodinámicos y procesos

Ingeniería Mecánica

Equipo de balance de planta

Calentamiento, ventilación y --
acondicionamiento de aire

Equipos

Análisis de sistemas eléctricos

Ingeniería Eléctrica

Control

Protección y comunicación

Efectos de proyectiles

Mecánica de Suelos

Tecnología de concreto

Ingeniería Civil

Obras de toma y sistemas de
agua de circulación

Análisis dinámico y sismos

	Lógica de Control
Ingeniería de	Autorización y aplicación de com
Control e Instru-	putadoras
mentación	Instrumentación Nuclear
	Instrumentación miscelánea

IV.- Especialistas Nucleares

Tiene como función principal la supervisión técnica fijando directrices, criterios de diseño, Normas y Códigos - aplicables en relación con los aspectos nucleares del proyecto. Los trabajos específicos consistirán en vigilar la Ingeniería conceptual desde el punto de vista Nuclear, desarrollar tecnología para la aplicación de Reactores Nucleares y administración de combustibles, realizar las actividades de licenciamiento y seguridad, ejecutar los estudios de contaminación ambiental y localización de sitios, y colaborar en la coordinación y entrenamiento de personal para la Operación, - Puesta en marcha y arranque de la planta, así como en el entrenamiento del personal de Ingeniería del Proyecto Nucleo--eléctrico.

El grupo de especialistas nucleares estará subdividido en los subgrupos que se indican a continuación:

	Blindajes y Protección Radiológica
	Radio Química
Tecnología Nuclear	Reactores (snsv)
	Desechos Radioactivos

Licencias de Seguridad	Informes de Seguridad Legales y Jurídicos Seguridad de Sistemas Nucleares
Análisis Económicos y Planeación Nuclear	Evaluaciones de Plantas Nucleares Contratos de ciclos de combustible
Análisis de Reactores	Física de Reactores Análisis Termo-Hidráulicos
Ingeniería de Sitios e Ingeniería Ambiental	Localización de Sitios Estudios Ambientales Oceanografía e Hidrología
Coordinación de Entrenamiento	Pruebas y Puesta en Servicio, Operación Ingeniería de Diseño y Construcción

Grupos de Apoyo

1.- Auditoría de Calidad

Tiene como función principal la coordinación y participación en la elaboración de un plan de Garantía de Calidad, así como de los Manuales de Procedimiento requeridos para el control del diseño, abastecimiento, construcción, pruebas y puesta en servicio y operación.

Coordinación y realización de auditoría y verificaciones de que las diferentes áreas cumplan con el plan de garantía de calidad y los procedimientos aprobados establecidos, así como la documentación que certifique dicho cumplimiento, con el objeto de asegurar que la calidad del diseño, abastecimientos y construcción cumplirá los requerimientos - mínimos establecidos.

Estará subdividido en los siguientes subgrupos:

Ingeniería Civil

Ingeniería de Diseño
y Fabricación de Equipo.

Ingeniería Mecánica

Ingeniería Eléctrica e Instrumentación

Ingeniería Civil

Ingeniería Mecánica-Soldadura

Ingeniería Eléctrica

Construcción

Ingeniería de Control e Instrumentación

2.- Ingeniería de Construcción.

Apoyo de Ingeniería de Construcción a la Jefatura - del Proyecto para Supervisión y Coordinación de la Residencia de Construcción, elaboración y coordinación de especificaciones de facilidades temporales, construcción civil y - - electromecánica, manejo y montaje de equipo pesados, elaboración, coordinación y vigilancia de procedimiento de construcción coordinación vigilancia de programas de construcción.

Coordinación y enlace de la Residencia de Construcción con Ingeniería de Diseño para solución de problemas especiales de construcción relacionados con el diseño.

Supervisión y apoyo de alto nivel a la Residencia - de Construcción para problemas especiales de construcción, - vigilancia y supervisión de contratistas, planeación y programación de actividades y recursos, vigilancia del control de calidad de la Residencia de la Construcción y de los Contratistas de Construcción, enlace de la Residencia para problemas contractuales y financieros, asignación de recursos - humanos y económicos.

Estará subdividida en los siguientes subgrupos:

Maniobras de Equipo pesado

Ingeniería Civil

Ingeniería Mecánica y Soldadura

Ingeniería Eléctrica e Instrumentación.

3.- Ingeniería de Costos y Contratos.

Supervisión y control de contratos y ofertas, verificación de cotizaciones, análisis de precios unitarios, es-

timaciones y facturas de los contratistas y proveedores de - servicios, equipos y materiales.

Supervisión y verificación de correcta aplicación - de procedimientos administrativos y gubernamentales en con-- tratos, presupuestos y obras por administración, pagos a con-- tratistas y proveedores.

Revisión administrativa de reportes de costos de la Residencia de la Construcción, supervisión y verificación de correcta aplicación de financiamiento y contratos, de las - partidas presupuestales.

Registros de costos y estadísticas de los mismos.

Reportes de pagos y facturas así como del estado de los mismos.

Estará subdividida en los siguientes subgrupos:

Contratos y Financiamientos.

Civil

Ingeniería de Costos Mecánica

Eléctrica

4.- Activación de Abastecimientos e Inspección.

Supervisión y control de las actividades de abaste- cimientos, activación de las etapas para la oportuna emisión de especificaciones, celebración de concursos, evaluación de ofertas, colocación de órdenes, fabricación, transporte y en- trega en el sitio.

Verificación de las listas maestras de abastecimienu

tos y aplicación de sistemas de control de las actividades - y de los abastecimientos, asignación oportuna de los Inspectores para vigilancia de fabricación y control de calidad, - coordinación de los reportes y de la fabricación para asegurar la oportuna entrega de equipos.

Reportes sobre los estados de abastecimientos y fabricación, así como relación de actividades fuera de programas afectando la terminación del proyecto.

Estará subdividida en los siguientes subgrupos:

Control y activación de Abastecimientos

Inspección de Fabricación

5.- Grupo de Programación y Control de Obras y Costos.

Elaborar o supervisar la planeación y programación general del proyecto, realización de programas generales de obras, programas de Ingeniería, programas de construcción, - programas de pruebas y puestas en servicio, programas de especificaciones, adquisiciones y dibujos.

Elaborar o supervisar la realización de presupuestos generales y detallados, erogaciones y estimaciones de - costos.

Supervisión y realización de sistemas de control - del proyecto y de todos los programas en realización, sistemas de control y corrección de presupuestos, así como la supervisión y elaboración de listas de pendientes importantes y de actividades fuera de programa afectando la terminación del proyecto en tiempos y costos.

Supervisión y realización de reportes generales de-

avance y de actividades.

Estará subdividida en los siguientes subgrupos:

Programación y Control - Reportes

Presupuestos

6.- Administración y Servicios.

Control del personal en el aspecto administrativo, - de asistencia, vacaciones, coordinación de actividades y evaluación del mismo.

Supervisión y control de la correspondencia y archivo, servicios de mensajería y reproducción, servicios de información técnica.

Administración y control de mobiliario, equipos y - bienes, papelería, material de consumo, caja chica y adquisiciones inmediatas, control de vehículos.

Asistencia a la Jefatura del Proyecto en la elaboración y coordinación de procedimientos administrativos y de - control de costos de personal, presupuestos administrativos - y relaciones contractuales y sindicales.

Estará subdividida en los siguientes subgrupos:

Personal y Servicios

Archivo y Correspondencia e Información Técnica

Gastos y Bienes.

M) ENTRENAMIENTO DEL PERSONAL

El entrenamiento del personal de una central nucleo eléctrica se lleva a cabo, con el siguiente personal:

Ingenieros de la planta, Supervisores de operación, Operadores, Auxiliares de operación, Técnicos y personal de mantenimiento.

Se establecen ciertos requisitos para el adiestramiento del personal que son los siguientes eventos:

1. Se establece plan de adiestramiento
2. Pruebas de selección (grupo de operación)
3. Pruebas de selección (operadores auxiliares y mantenimiento)
4. Exámenes de prelicenciamiento.
5. Examen escrito.
6. Examen oral.
7. Carga de combustible y examen de operación.

Se capacita al personal en las siguientes áreas: ACTIVIDADES:

- A. Curso de Tecnología Nuclear para Ingenieros de Planta.
- B. Curso sobre Fundamentos Mecánicos y Termodinámicos de Centrales Nucleares.
- C. Observación de la Operación de una Central Nuclear.
- D. Curso de Adiestramiento sobre la Especialidad Nuclear que va a desempeñar.

- E. Curso de Actualización Académica.
- F. Programa Académico para el personal de la Central.
- G. Programas de Laboratorio para el personal de la Central.
- H. Serie de conferencias sobre Diseño de Sistemas para Centrales Nucleares.
- I. Adiestramiento en el Simulador de Centrales Nucleares.
- J. Adiestramiento con los sistemas de la central (en el sitio).

Todas las actividades y eventos anteriores se muestran - en el siguiente calendario de adiestramiento de personal de la central que se muestra en la figura IV.M.1.

N) PLANEACION, PROGRAMACION Y CONTROL DE LA OBRA

PLANEACION

La planeación es la determinación de las necesidades de recursos del proyecto y su orden necesario de aplicación, en las diversas actividades que deben realizarse, para lograr los objetivos del proyecto.

PROGRAMACION

Con los factores ya establecidos en la Planeación - se procederá a realizar el programa detallado de cada una de las actividades que se van a realizar, que quedaran finalmente establecidas con fechas de calendario claramente determinadas.

CALENDARIO Y PROGRAMA DE ADIESTRAMAMIENTO DE UNA CENTRAL NUCLEOELECTRICA

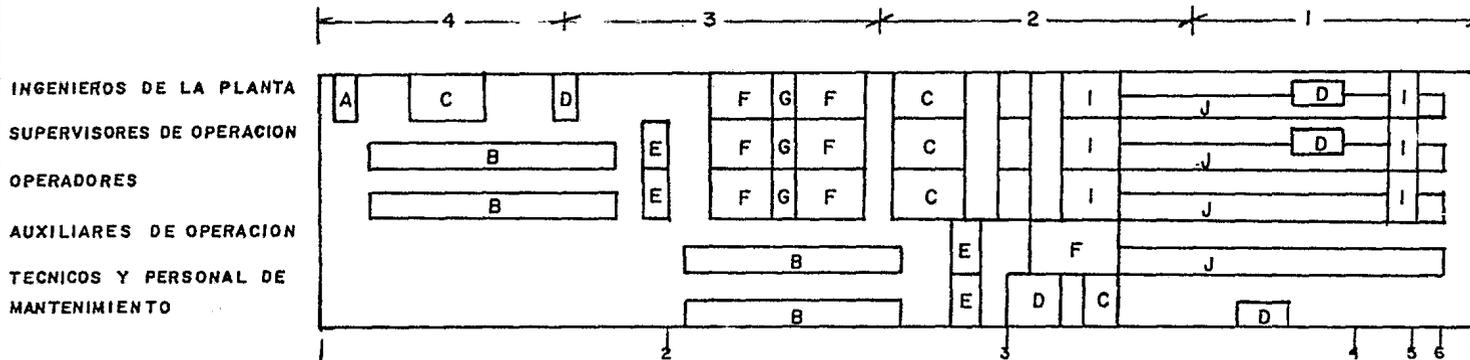


FIG. IV-M-1

Es importante tener en cuenta al realizar los dos procedimientos anteriores que una obra puede terminarse en tiempos muy disímiles dependiendo de la forma y cantidad en que se utilicen los recursos disponibles. Al hacer un programa para realizar un proyecto el objetivo fundamental que se persigue es el de terminarlo con la mejor Calidad y con el tiempo más adecuado y con el menor costo posible.

La planeación y Programación de la obra que incluye coordinación y asistencia en la preparación y mantenimiento de los programas de todo el proyecto, mostrando los conceptos críticos de Ingeniería, abastecimientos, construcción y pruebas pre-operacionales, así como la puesta en servicio. Estos trabajos también incluyen la coordinación, la asistencia y la preparación y mantenimiento de los planes detallados del proyecto y programación para cada elemento importante de la obra. Nunca debe olvidarse que los proyectos son dinámicos y que cualquier sistema de Planeación y Programación de los mismos tiene que serlo también.

La periodicidad de revisión de los programas detallados del Proyecto dependen básicamente del tipo de éste y de las restricciones internas y externas del mismo y en forma muy especial de la variabilidad con el tiempo de dichas restricciones y de la incertidumbre de su ocurrencia.

Haciendo un resumen muy conciso de los diferentes métodos utilizados para el control de proyectos, podemos clasificarlos esquemáticamente de la siguiente manera:

- 1.- Experiencia, Intuición, Memoria
- 2.- Diagramas de Barras.
- 3.- Diagramas de Flechas, Ruta Crítica.

- 4.- Combinación de Diagramas de Flechas y Estadística.
- 5.- Planeación Conjunta de Diseños, Entregas de materiales y equipo y construcciones.
- 6.- Aplicación de Ingeniería de Sistemas.

Todos estos caminos llevan a un solo resultado: PREVISION Y CONTROL, tenerlos nos permiten conocer en cualquier proyecto y en cualquier momento, lo siguiente:

- a) Qué es lo que hay que hacer.
- b) Cuándo va a realizarse y cuánto se va a tardar en hacerlo.
- c) Qué ha sido ya hecho.
- d) Qué se está haciendo.
- e) Qué falta por hacer.
- f) Cuál es el costo de lo realizado hasta la fecha y cuánto se estima que costará ejecutar lo que falta por hacer.

Para lograr estos controles que son totalmente indispensables para el buen manejo de los proyectos, el empleo de computadoras electrónicas representa un poderoso auxiliar que hace posible en la actualidad tener los controles citados en forma adecuada, por grande que sea el proyecto que se trate de controlar.

Cuando se pone un proyecto en nuestras manos para su realización debemos estudiarlo con todo detalle, para conocer perfectamente qué vamos a hacer, donde lo vamos a hacer y cuándo se requiere que lo hagamos y cuáles son sus restricciones.

Los pasos para Planear y Programar un proyecto son los siguientes:

- 1.- Hacer una relación cuidadosa del trabajo a efectuar, a partir de los planes, especificaciones, memorias y condiciones del proyecto.
- 2.- Separar el trabajo en sus partes principales, analizando que CALIDAD se requiere en cada una de ellas.
- 3.- Hacer el estudio de Métodos, Tiempos y Movimientos de cada una de las actividades a realizar, para encontrar el procedimiento más adecuado para llevar a cabo cada actividad y conocer la suma de recursos que se van a necesitar para su ejecución, asignando TIEMPOS a cada actividad finalmente.
- 4.- Establecer la secuencia lógica necesaria entre las diferentes actividades.
- 5.- Asignar los RECURSOS disponibles a las diferentes actividades.
- 6.- Calcular las fechas límites de inicio y terminación de todas y cada una de las actividades del proyecto.
- 7.- PROGRAMACION de las fechas de inicio y terminación de cada una de las actividades, dentro de sus límites de tiempo y de acuerdo con los RECURSOS disponibles.
- 8.- Analizar el tiempo total resultante para la terminación del proyecto o de una de sus partes, si así se requiere para ver si es mayor, igual o menor que el requerido. En caso de que el resultado no sea satisfactorio hacer una nueva Planeación y Programación.
- 9.- Calcular los costos Directos e Indirectos del Proyecto.- En caso de que el costo no se considere adecuado, hacer una nueva planeación y programación o llegar a la conclusión de que el proyecto no es factible.

Ñ) PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO

LOCAL DE SERVICIOS DE INGENIERIA

La dirección de operación y puesta en servicio, es supervisada por un jefe de Ingenieros y tres Ingenieros adicionales de operación como lo muestra la figura IV-Ñ-1. Operación Química, Ingeniería e Instrumentación y Ingeniería de Control son también asignados a asistir a el sitio durante la puesta en servicio.

Puesta en Servicio

La operación de la planta y el mejoramiento de la coordinación operacional de la planta sirve a la puesta en servicio de actividades con el personal de operación, actividades de construcción personal de servicio de los fabricantes. La operación de la planta conduce a un sitio de adiestramiento del cuerpo de operación y participación en la operación inicial de equipos y sistemas. Estas sesiones incluyen la cobertura y descripción de sistemas y equipo, operación y funcionamiento. Estos procedimientos son arreglados a la operación del programa dentro de la actual puesta en servicio.

Esta operación de la planta provee a la dirección sobre la puesta en servicio y pruebas de esfuerzo incluyen:

A. PUESTA EN SERVICIO Y OPERACION

1. Programa de prueba hidrostática
2. Sistemas de diseño de programas
3. Programas de prueba hidrostática y de audición

ASIGNACION DE ESPECIALISTAS PARA LA PUESTA DE LA PLANTA EN SERVICIO

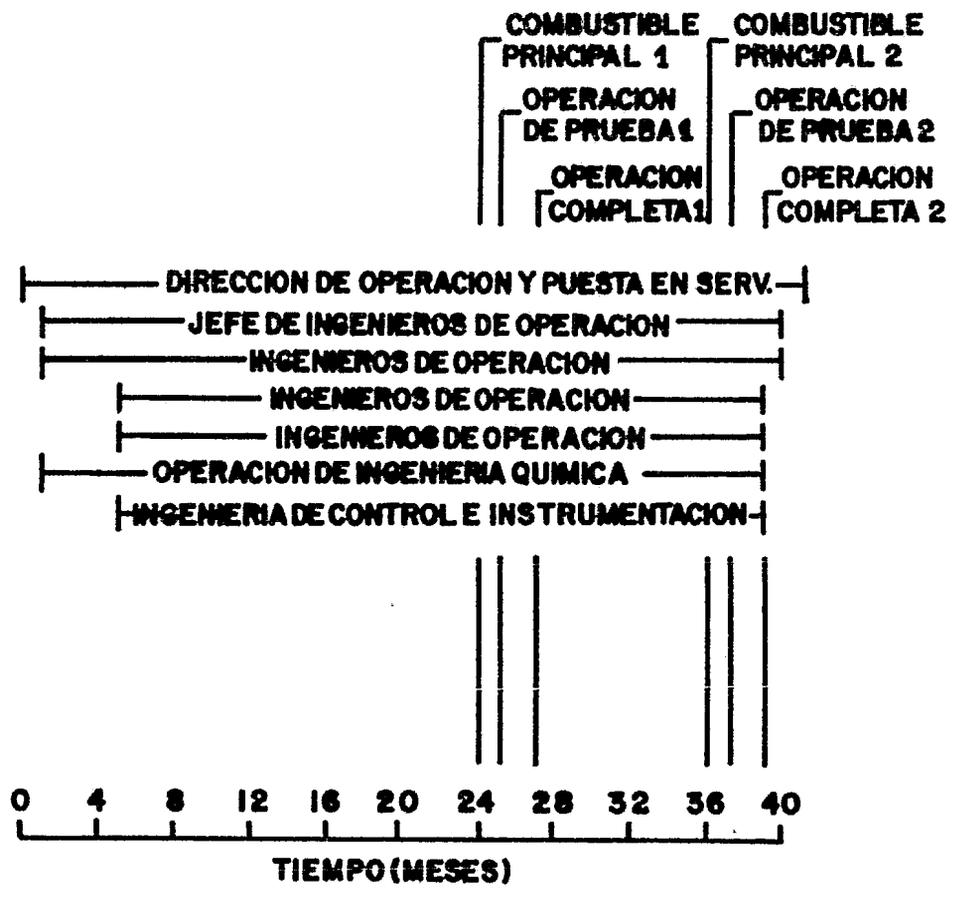


FIG. IV-N-1

4. Requerimientos de operación de sistemas
5. Diseño de parámetros
6. Programas de pruebas preoperacionales

B. FUNCIONAMIENTO QUIMICO

1. Procedimiento de flujo
2. Puesta en servicio y pruebas directas de fábrica, tratamiento de agua en la planta, condensación, filtros limpios, filtros de combustible y filtros de desecho.

Pruebas de frecuencia y análisis y puesta en operación de la planta como requerimiento del asistente químico.

C. CONTROL E INSTRUMENTACION

1. Esfuerzo continuo del control de la obra
2. Resolver problemas de control
3. Abastecer, imponer un cambio del control de diagramas de alambres y comprar aparatos de campo.

D. PROCEDIMIENTO Y PRUEBAS PREOPERACIONALES

Sistemas de gas y condensación

Sistemas de refrigeración de agua y condensación

Sistemas de transferencia de agua desmineralizadora y condensación

Sistema de circulación de agua

Sistemas de alimentación de agua

a) RHR

b) Auxiliares

Sistema desmineralizador condensado

Sistema de agua fría y edificio de la turbina

Sistema de agua fría y edificio del reactor

Sistema de aire de servicio e instrumentación

Sistema de protección contra incendio

Sistemas de prueba

Sistema de switcheo

Sistema de generadores diesel

Sistema secundario de contaminación

Sistema de la turbina

Sistema de área de desecho

Sistema de enfriamiento seco

Tratamiento del sistema de gas

Sistema de cuarto de control

Comprobación secundaria de prueba

Sistemas de equipos de tierra

125/250 volts de corriente directa, 120/240 volts ininterrumpibles de corriente alterna, instalación corriente alterna.

Protección de reactores y \pm 24 volts corriente directa

4160 volts sistema eléctrico

480 volts sistema eléctrico

Generadores diesel de emergencia

Sistemas de comunicación

Sistemas de protección catódica

E. Operación manual.

0) OPERACION

La operación de centrales nucleares requiere, además del personal involucrado directamente en el manejo de las plantas, del soporte técnico y administrativo de la institución responsable de las centrales. Las principales actividades de apoyo son: la gestión de los combustibles, la adquisición de los servicios, materiales y equipos requeridos para la explotación, el mantenimiento, la inspección en servicio; el adiestramiento de personal; las actividades de garantía de calidad y las de seguridad nuclear y protección radiológica.

La tabla IV-0-1 muestra en forma desglosada, las necesidades de personal tanto para una planta con tres unidades tipo RAO de 1200 MW cada una, como para todo el programa nucleoelectrico.

La información equivalente para centrales tipo CANDU, se muestra en la tabla IV-0-2. En ambos casos, como se indica en la figura IV-0-1, el adiestramiento del personal de operación, debe iniciarse unos cuatro años antes de la fecha programada para la operación comercial.

TABLA IV-0-1

PERSONAL TECNICO DE OPERACION REQUERIDO PARA EL PROGRAMA NUCLEOELECTRICO CON
BASE EN CENTRALES

<u>TIPO AGUA PESADA.</u>	<u>1 Planta*</u>	<u>Todo el Programa</u>
<u>Directivo</u>		
Superintendente	1	4
Asistente	1	4
<u>Operación</u>		
Jefes de Operación (Lic. Operador Senior)	5	20
Jefes de Turno (Lic. Operador Senior)	30	120
Operadores (Lic. Operador)	60	240
Auxiliares de Operador	60	240
<u>Ingeniería</u>		
Supervisor de Ingeniería (Lic. Operador Senior)	1	4
Ingeniería de Proceso	6	24
Ingeniero de Control e Instrumentación	6	24
Ingeniero Nuclear	6	24
Ingeniero Mecánico	6	24
Ingeniero de Cómputo	6	24
Ingeniero Electricista	6	24
Ingeniero de Manejo de Combustible	6	24
Ingeniero de Pruebas y Análisis	6	24
<u>Protección Radiológica</u>		
Ingeniero en Protección Radiológica	6	24
Técnicos de Protección Radiológica	30	120
<u>Mantenimiento</u>		
Supervisor	6	24
Ingenieros Mecánicos	6	24
Ingenieros Electricistas	6	24
Técnicos en Mecánica	24	96
Ayudantes de Técnicos en Mecánica	24	96
Mecánicos Soldador	6	24
Mecánicos de Banco	12	48
Electricistas	12	48
Ayudantes de Electricistas	12	48
<u>Total en Plantas:</u>	<u>350</u>	<u>1,400</u>
<u>Soporte Técnico en Oficinas</u>		
Profesionales		95
Subprofesionales		50

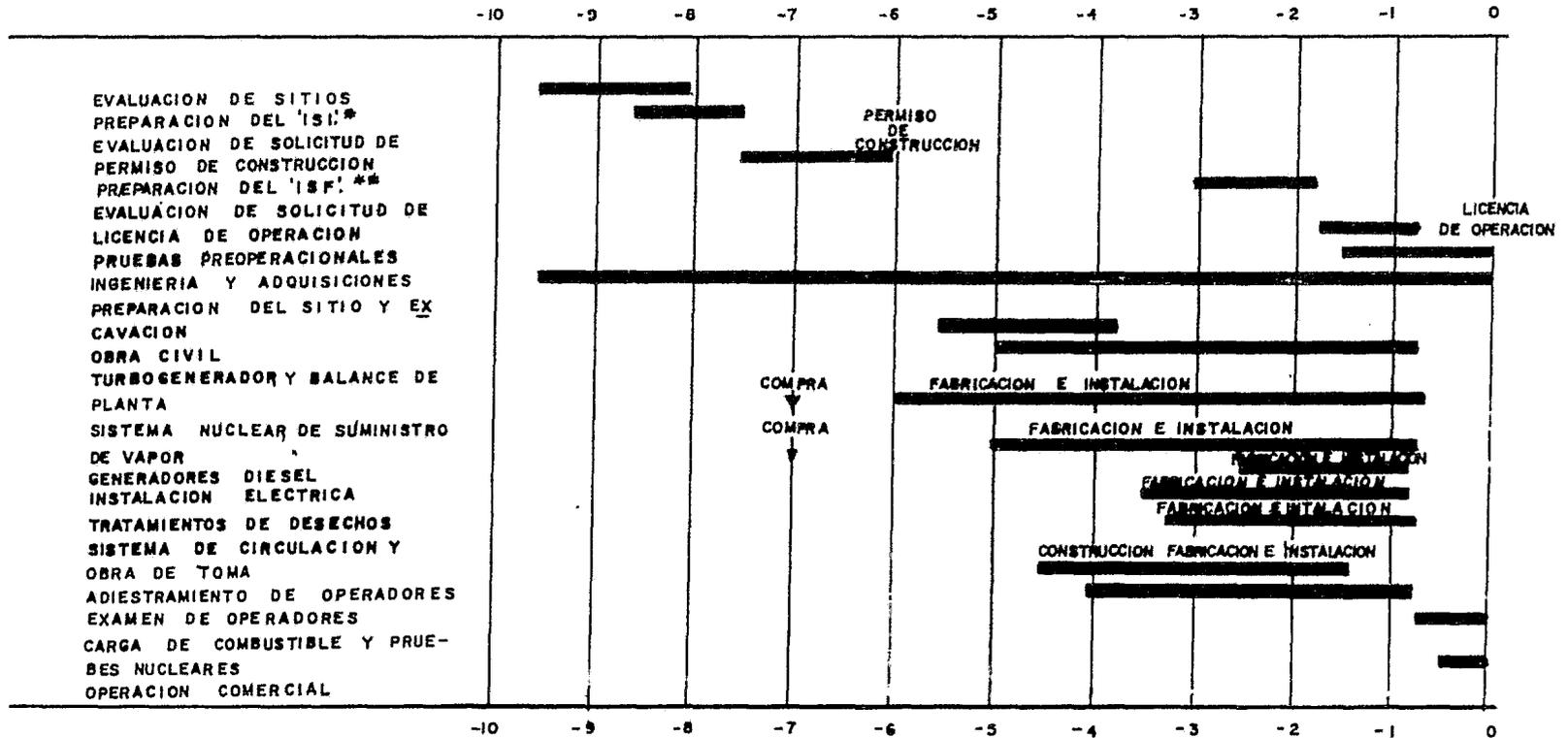
* Una planta representa una capacidad de 36000 MW en un mismo sitio y consiste de 6 x 600 MW.

TABLA IV-0-2

PERSONAL TECNICO DE OPERACION REQUERIDO PARA EL PROGRAMA NUCLEOELECTRICO CON
BASE EN CENTRALES.

<u>TIPO AGUA ORDINARIA.</u>	<u>1 Planta*</u>	<u>Todo el Programa</u>
<u>Directivo</u>		
Superintendente	1	4
Asistente	1	4
<u>Operación</u>		
Jefe de Operación (Lic. Operador Senior)	5	20
Jefe de Turno (Lic. Operador Senior)	15	60
Operadores (Lic. Operador)	30	120
Auxiliares de Operador	30	120
<u>Ingeniería</u>		
Supervisor de Ingeniería (Lic. Operador Senior)	1	4
Ingenieros Nucleares (Lic. Operador Senior)	3	12
Ingenieros de Pruebas y Análisis	3	12
Ingeniero Químico	3	12
Ingeniero de Instrumentación	3	12
Técnicos de Instrumentación y Laboratorio	15	60
<u>Protección Radiológica</u>		
Ingeniero de Protección Radiológica	3	12
Técnicos de Protección Radiológica	15	60
<u>Mantenimiento</u>		
Supervisor	3	12
Ingeniero Mecánico	3	12
Ingeniero Electricista	3	12
Técnicos en Mecánica	12	48
Ayudantes de Técnicos en Mecánica	12	48
Mecánico Soldador	3	12
Mecánico de Banco	6	24
Electricista	6	24
Ayudante de Electricista	6	24
<u>T o t a l e n P l a n t a s :</u>	<u>182</u>	<u>728</u>
<u>Soporte Técnico en Oficinas</u>		
Profesionales		72
Subprofesionales		40

* Una Planta representa una capacidad de 3600 MW instalados en un mismo sitio,
i.e., 3 x 1200 MW



* ISI = INFORME DE SEGURIDAD INICIAL
 ** ISF = INFORME DE SEGURIDAD FINAL

CALENDARIO TIPO DE ACTIVIDADES PARA DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA CENTRAL NUCLEOELECTRICA.

FIG. IV-0-1

Siendo la operación de las centrales nucleares diferente de las plantas convencionales, el personal de operación de una central nuclear debe someterse a un intenso proceso de adiestramiento, tanto por los aspectos especiales de la planta, como por los requisitos adicionales de seguridad nuclear y protección radiológica.

En la fig. IV-M-2 se muestra un programa de entrenamiento para el personal de operación de una central nuclear. Conviene señalar que la experiencia en países que inician sus actividades en el campo nuclear, muestra la necesidad de adiestrar 2 ó 3 veces más personal que el mostrado en las tablas IV-0-1 y IV-0-2.

Aunque los requerimientos legales varían según el país, en general se requiere que el personal supervisor de la operación obtenga una licencia, que en las tablas IV-0-1 y IV-0-2 se ha denominado de "operador senior", mientras que se exigen licencias de "operador", a las personas directamente a cargo de los controles.

Usualmente este personal se somete a examen médico y de conocimientos técnicos sobre la planta, como requisito para obtener una licencia.

Corresponderá a las autoridades en seguridad nuclear, establecer el régimen normativo para el licenciamiento de operadores y supervisores.

P) MANEJO DE COMBUSTIBLES NUCLEARES

Cuando el combustible nuclear de un reactor es gastado dejará de producir energía, restos de uranio radioactivo y productos secundarios son producidos en el proceso de fisión, como es el caso del plutonio.

El combustible gastado debe ser removido desde el reactor y enviado a ser reprocesado en la planta donde el uranio y el plutonio serán separados de los productos de los desechos radioactivos para refabricación del nuevo combustible para la planta nuclear.

La administración, investigación y desarrollo de la energía puede y debe seleccionar un método específico, no obstante que sea costoso, que muestre en detalles que es satisfactorio. Si el costo es aceptable, entonces podemos proceder a construir el almacenamiento de los desechos radioactivos y tenerlos aparte, construir un bloque como lo muestra la figura IV-P-1.

Se considera una solución ideal para proteger al público no para un corto tiempo sino para miles de años.

El primer paso será reducir de tamaño el lugar donde se depositan los desechos radioactivos.

Una forma de depositar los desechos radioactivos, es metiéndolos en un cilindro sólido, el cual debe ser capaz de estar frío por circulación de aire natural o radiación de calor.

Este cilindro debe entonces estar colocado dentro de otro recipiente de metales conocidos que son más resistentes a la corrosión (titanio y oro con posibilidades iguales) y entonces meterlo otra vez a un recipiente exterior de gran resistencia mecánica (acero inoxidable o concreto reforzado). El cilindro será por sí mismo protegido, así se reduce la radiación hacia el nivel considerado de seguridad.

El cilindro será entonces un depósito en un área conocida que tiene que ser geológicamente estable para un ciento de millones de años y predicablemente estable para millones de años por llegar.

CICLO DE COMBUSTIBLE NUCLEAR

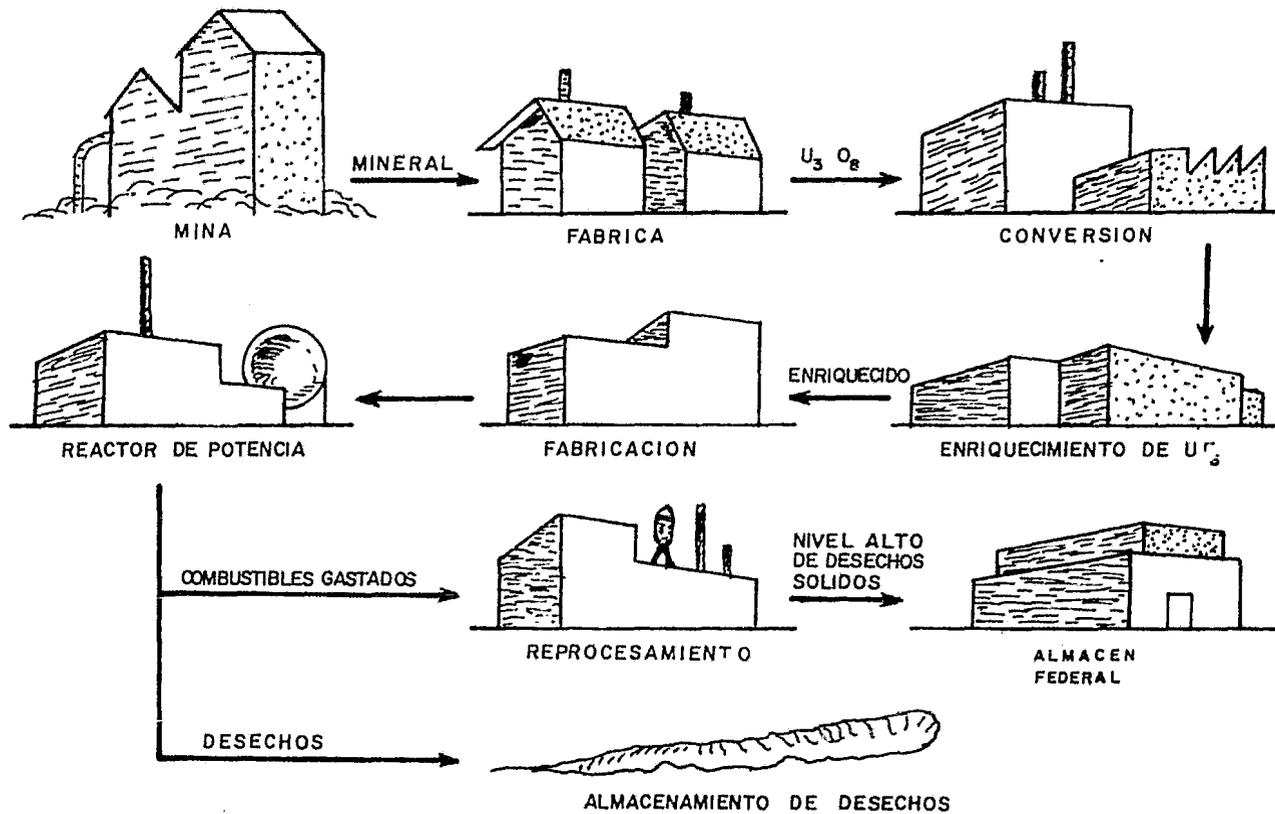


FIG. IV-P-1

Si puede ser depositado en un área en la cual no hay existencia de agua para millones de años, allí la posibilidad de agua jamás llegará, es casi inexistente.

En una área geológica estable puede aparecer la probabilidad cerca de cero de un terremoto o de algún otro disturbio que pueda dañar al cilindro. Si un disturbio hace daño, la radioactividad no puede escapar hacia el medio ambiente, porque el material radioactivo es depositado en forma sólida.

La probabilidad calculada por la Comisión de Energía Atómica de que el flujo de agua a través de un semejante sitio de almacenamiento en unos miles de años es desde uno en un millón a uno en un billón. Si el agua puede alcanzar el sitio de almacenamiento entonces la corriente a través de la tierra a el área poblada la radioactividad probable puede ser menos de 0.01 por ciento.

El costo del procesamiento de los desechos es estimado a ser menos que 0.05 millones por KW/HR, o menos que la mitad de uno por ciento del costo de generación de energía.

Si esta estimación es bajo por varios factores, la energía nuclear es preferentemente económica.

El material fisiónable usado en el presente y futuros reactores es uranio y plutonio. El presente triunfo de reactores de agua a presión y de reactores de agua en ebullición empleando uranio que es ligeramente enriquecido (concentrado) en uranio fisiónable (U235) y también en los reactores de cría comúnmente desarrollados.

El uranio como combustible usado en los reactores presentes no tiene las propiedades requeridas para una explosión nuclear, como es sólo radioactivo, no es muy tóxico y -

puede no ser una arma radiológica efectiva para propósitos de terror o intimidación.

La construcción de una arma nuclear explosiva de plutonio en forma ilícita requiere no menos que 25 libras de combustible de óxido de plutonio.

La composición de plutonio producido en los reactores de potencia es tal que el diseño más complejo debe ser usado para producir una explosión. Esto requiere técnicos expertos, instrumentación adecuada y facilidades especiales y mucho personal calificado. Adicionalmente el manejo de reactores requiere un grado de protección radiológica de alto orden.

Examinando el ciclo del combustible nuclear figura IV-P-1. muestra que sólo pocos puntos son vulnerables a la desviación. La transportación del combustible es reconocido como el punto más vulnerable, pero no toda la transportación de enlace es fácil de desviarla.

El combustible gastado es altamente radioactivo y tiene que ser embarcado lentamente en recipientes fríos, usualmente se transporta por ferrocarril, el recipiente pesa como 100 toneladas, una vez separado el plutonio del combustible gastado será embarcado hacia un sitio de fabricación, y ya manufacturado será enviado hacia el montaje de combustible nuevo. El nuevo montaje será embarcado a la planta de generación de energía nuclear.

Estos dos transportes enlazan el embarque de plutonio puro y es sobre estos enlaces el ciclo de combustible.

Hoy en día la desviación de plutonio y otros materiales nucleares son prevenidos ampliamente y custodiados estrictamente para salvaguardarlos.

Las condiciones de seguridad son las siguientes:

- a) Barreras físicas con monitores, detección y sistemas de alarma.
- b) Accesos controlados.
- c) Guardias equipados con comunicación especial.
- d) Control de material avanzado y precisión de sistemas.

El salvaguardia durante el transporte es designado a prevenir el accidente o robo requiere:

- e) En casos de envase aquél es roto.
- f) Un sistema de seguridad con dos conductores, todos los camiones escoltados por un vehículo separado transportando guardias armados, los conductores llevan una protección especial en la cara. El camión está en contacto directo con una estación de comunicación.

Además bajo consideraciones en el concepto de estacionamiento del ciclo del combustible en el cual la fabricación y reprocesamiento será terminado en un solo sitio, así se reducirá el peligro de desviación asociada con la transportación.

La existencia y propuesta de salvaguardias resultará con algún aumento del costo. Porque muchos de los requerimientos propuestos no son necesarios es difícil estimar exactamente cuánto costará. Sin embargo un análisis preliminar del capital de la empresa y el costo de operación de un sistema de salvaguardias efectivo en la cual la industria de la energía nuclear es encargada de indicar que los costos no excederán más que un bajo porcentaje de los costos de generación de la energía.

C A P I T U L O V

ANALISIS DE LOS FACTORES FUNDAMENTALES QUE DEBEN
TOMARSE EN CUENTA PARA LA SELECCION DEL TIPO O -
TIPOS DE PLANTAS NUCLEOELECTRICAS QUE SEAN MAS-
ADECUADAS PARA EL PAIS.

ANALISIS DE LOS FACTORES FUNDAMENTALES QUE DEBEN TOMARSE EN CUENTA PARA LA SELECCION DEL TIPO O - TIPOS DE PLANTAS NUCLEOELECTRICAS QUE SEAN MAS - ADECUADAS PARA EL PAIS.

La selección de una o más plantas nucleares requiere del análisis de muchos factores que deben ponderarse en atención a los criterios generales imperantes en el medio donde se debe decidir. La ponderación varía con el tiempo y no existen reglas rígidas ni formulas sencillas, ni procedimientos rápidos para determinar de antemano su importancia relativa.

La política nuclear del país debe orientarse de tal manera que ésta responda a los objetivos globales; es vital pues contar con la capacidad autónoma para evaluar la importancia relativa de los diversos factores y seleccionar la o las plantas que más convengan en un momento dado.

Se consideró que el estudio comparativo de los diferentes tipos de plantas nucleoelectricas, podía centrarse principalmente a los siguientes tipos de reactores y fundamentalmente en aquellos que son importantes comercialmente.

- 1.- Reactores de uranio enriquecido y agua ligera a presión (PWR o RAP).
- 2.- Reactores de uranio enriquecido y agua ligera hirviente (BWR o RAE).
- 3.- Reactores de uranio natural y agua pesada a presión (CANDU).

En este estudio comparativo preliminar de sistemas de reactores y ciclo de combustible asociados, se ha intentado una metodología para detectar diferencias significativas-

entre los diferentes tipos de reactores estudiados. Estas diferencias se han basado en los siguientes aspectos fundamentales:

- a.- Económico
- b.- Operacional
- c.- Ciclo de combustible
- d.- Participación local en la fabricación de sistemas, componentes y estructurales.
- e.- Agua pesada.

ASPECTO ECONOMICO

El estudio económico de los sistemas de uranio enriquecido BWR y PWR son muy parecidos por lo que en nuestro estudio haremos una comparación del sistema BWR con el sistema CANDU representativo del ciclo de uranio natural.

El estudio se lleva a cabo desde dos puntos de vista.

- i).- Comparación económica de un solo reactor de 650 Mw(e).
- ii).- Comparación económica de un paquete de 27 reactores de 650 Mw(e).

Las conclusiones de ambos estudios variaron de acuerdo al enfoque adoptado, pero en términos generales se concluyó que con las bases económicas consideradas, el factor económico no resultó determinante para la definición de un programa nucleoelectrico nacional y que deben considerarse otros aspectos en esta decisión.

Se pudieron identificar únicamente variaciones de \pm 4.5% en el costo para tasas de descuento efectivas del 4 al-18%. Sin embargo esta conclusión solo podrá ser confirmada - mediante la obtención de ofertas firmes de los fabricantes - de los sistemas considerados.

La clave en esta evaluación fué el costo del agua - pesada para el reactor CANDU y el costo del enriquecimiento- de uranio para los reactores de agua ligera. En las evalua-- ciones efectuadas se encontró un rango desde 16% a favor del CANDU hasta 11.3% a favor del BWR.

ASPECTOS OPERACIONALES

Se hicieron notar ciertas ventajas del reactor CAN- DU como son la de que no necesite parar el reactor para cam- biar su combustible o para extraer elementos de combustible- dañados.

La conclusión fué que el aspecto operacional no pue- de considerarse definitivo en ninguno de los sistemas de - - reactores examinados, dado que el mantenimiento que se debe- dar a la parte convencional de la planta es semejante y este tiempo es generalmente mayor que el tiempo estimado de recam- bio de los reactores BWR, por lo que generalmente en estos - reactores el mantenimiento general se programa al mismo tiem- po que el recambio de combustible.

CICLOS DE COMBUSTIBLE

Desde el punto de vista del ciclo de combustible el principal problema identificado fué el de la dependencia de- materiales y servicios.

En este aspecto el ciclo de uranio enriquecido se -

encuentra en desventaja, pues su dependencia de los servicios de enriquecimiento lo hace sumamente vulnerable. Por otro lado el costo de desarrollar este ciclo en el país es más elevado y presenta más dificultades tecnológicas que el ciclo natural.

El ciclo de uranio natural implica una fuerte dependencia de materiales como: Agua pesada o zircaloy, se ve menos crítica que la del enriquecimiento desde el punto de vista económico, de transferencia de tecnología y de participación nacional.

Para hacer una comparación justa de los dos sistemas es preciso pesar estas ventajas del ciclo del combustible de uranio natural contra la desventaja de tener que usar agua pesada como moderador en el reactor.

ASPECTOS DE SEGURIDAD

Aunque la evaluación de seguridad de los diferentes tipos de reactores pueden ser sumamente compleja, en términos generales se ha encontrado que los sistemas examinados - cumplen con los requisitos básicos de seguridad nuclear.

Sin embargo, si se intentara integrar el ciclo de combustible asociado, se deberá hacer otra evaluación de seguridad en este aspecto.

PARTICIPACION LOCAL EN LA FABRICACION DE SISTEMAS, COMPONENTES Y ESTRUCTURAS.

En este aspecto se encontró que la fracción que podría ser desarrollada localmente y que depende de cada tipo de reactor es baja, del orden de 12% y en realidad el monto fuerte de la inversión está asignada al balance de planta y-

otros componentes electromecánicos auxiliares incluyendo el turbogenerador que no se fabrica en el país.

El mayor beneficio de establecer una línea standard de reactores, como base a un programa nucleoelectrico nacional es que este programa actúe como un estímulo para que la industria nacional participe en este desarrollo.

AGUA PESADA

En este aspecto se recomienda que se prosiga la evaluación de una planta, basándose en un anteproyecto definido, con objeto de comparar los costos finales del agua pesada, - ya sea importándola o suponiendo su fabricación nacional.

Los criterios fundamentales que se consideraron para evaluar los distintos tipos de plantas nucleoelectricas y sus ciclos de combustible fueron:

- a) Máxima independencia energética nacional
- b) Alternativa más económica
- c) Menos impacto en la balanza de pagos
- d) Utilización máxima de los recursos del país, naturales tecnológicos y humanos.
- e) Posibilidades de fabricación nacional.
- f) Perspectivas de desarrollo de los diferentes tipos de reactores y compatibilidad con los sistemas futuros.
- g) Problemas de montaje y organización para la ingeniería y la construcción.

MAXIMA INDEPENDENCIA ENERGETICA NACIONAL.

Este criterio se refiere principalmente a evitar la dependencia de suministros monopolizados, tanto de los compo-nentes de las plantas nucleares y sus refacciones como de los combustibles.

Refiriéndose a los componentes de las plantas nucleares se puede señalar que el reactor nuclear presenta del orden del 12% de la inversión total de la planta; el resto de los componentes, o sea, el llamado balance de la planta, es similar para todos los tipos de reactores y constituye una tecnología convencional. En la tabla V.1 se observa el desglose porcentual del costo de una planta nucleoelectrica.

Los reactores se pueden conseguir comercialmente en los siguientes países:

Reactores de agua ligera (PWR y BWR): Estados Unidos, Alemania Federal, Francia, Japón y Suecia.

Reactores de agua pesada (CANDU): Canadá.

Si la política que se adopte en nuestro país consistiera en comprar todo el equipo en el extranjero, mediante concursos internacionales, la variedad de proveedores constituye una ventaja para los reactores de agua ligera, aunque debe señalarse que la mayor parte de los fabricantes de este tipo de reactores trabajan bajo licencia de la Westinghouse o la General Electric de los Estados Unidos.

Si por el contrario se decide integrar una industria nuclear nacional, el reactor de agua pesada CANDU presenta cierta ventaja con respecto a los de agua ligera, por la relativa facilidad que representa construir los tubos de presión que utiliza el reactor CANDU comparado con las vasi-

DESGLOSE PORCENTUAL DEL COSTO DE UNA PLANTA NUCLEOELECTRICA

Concepto	% del Total
1. Sistema Nuclear de Suministro de Vapor y Sistemas Auxiliares	16
2. Turbogenerador y Sistemas Auxiliares	13
3. Sistemas del resto de la Planta	15
4. Servicios de Ingenieria de Diseño y Administracion de Construccion	14
5. Obra Civil incluyendo mano de obra y materiales	13
6. Montaje Electromecanico	10
7. Costos de campo , instalaciones y equipo para la construccion	9
8. Contingencias	10

Tomado de un estudio efectuado por la Compañia Brasileira de Tecnologia Nuclear

TABLA V-1

jas de los reactores PWR y BWR.

Por lo que se refiere al combustible nuclear puede señalarse, en primer lugar, que el reactor de uranio natural y agua pesada tipo CANDU consume el 40% menos uranio que los reactores de uranio enriquecido y agua ligera, sin reciclado de plutonio. En caso de que se compruebe que es económico el reciclado del plutonio, los reactores de agua ligera consumirán aproximadamente la misma cantidad de uranio que el CANDU.

La refinación de uranio y la fabricación de los elementos combustibles de uranio natural para el CANDU, que representa aproximadamente la mitad de su costo de combustible, se ofrecen comercialmente en Canada, por ser más sencilla su fabricación que la correspondiente al combustible de los reactores de agua ligera, los fabricantes independientes de elementos combustibles para este tipo de reactores también podrían fabricar combustible para el CANDU.

Por otra parte por no requerir enriquecimiento, se considera que en un plazo relativamente corto se fabrique en un 90% el combustible de uranio natural en nuestro país.

Los reactores de agua ligera usan combustible de uranio enriquecido, por lo cual requieren de la conversión del uranio a hexafluoruro de uranio y del enriquecimiento del mismo antes de proceder a la fabricación de los elementos combustibles que se introducen al reactor.

El enriquecimiento (que representa alrededor del 30% del costo del combustible de los reactores de agua ligera), se ofrece en forma comercial actualmente en los Estados Unidos y la Unión Soviética. Están en construcción en Europa una fábrica que utilizará el método de enriquecimiento por difusión, perteneciente al consorcio EURODIF en el que parti

cipan Francia, Italia, Bélgica, y España, y dos fábricas que utilizan el método de enriquecimiento por centrifugación, - pertenecientes al consorcio URENCO en el que participan Holanda, Inglaterra y Alemania Occidental.

Tomando en cuenta las instalaciones para el enriquecimiento existentes y en construcción, hay actualmente incertidumbre sobre las disponibilidades de suficientes facilidades de enriquecimiento en un futuro próximo.

Parece difícil que pueda realizarse en México el enriquecimiento en un plazo razonablemente corto, debido a las grandes inversiones que esto requeriría y a la dificultad de contar con una tecnología probada para este proceso. Desde este punto de vista los reactores de uranio natural presentan una menor dependencia con respecto al extranjero que los de uranio enriquecido.

Un material utilizado en los reactores de agua ligera como en los de agua pesada es el zircaloy, que solamente es producido por unos pocos países en el mundo.

El principal componente del reactor tipo CANDU es - el agua pesada, cuyo principal productor es Canadá. En el - pasado se han tenido problemas de suministros por no existir suficiente capacidad de producción, sin embargo, Canadá se - ha comprometido a asegurar su suministro futuro. Se considera conveniente analizar la posibilidad de instalar una planta para la producción de agua pesada en México, con el objeto de poder evaluar qué grado de independencia podría alcanzarse a ese respecto.

ALTERNATIVA MAS ECONOMICA.

Este aspecto se analizó para los reactores de agua ligera (BWR) y (PWR) y de agua pesada (CANDU).

Partiendo de los gastos disponibles se concluyó que el costo de ambos tipos de reactores era del mismo orden, - con diferencias de $\pm 4.5\%$, para tasas de descuento efectivas del 4 al 18%.

El reactor tipo CANDU requiere de una mayor inver-- sión inicial que el reactor de agua ligera, principalmente - por el costo de la carga inicial del agua pesada, pero su -- costo de combustible es de la mitad del correspondiente a - los reactores de agua ligera. Por lo tanto el CANDU se ve fa vorecido por tasas de descuento bajas y perjudicando con ta- sas altas. Así, con los datos usados, el CANDU resultó más - barato para tasas menores al 10% aproximadamente y más caro- para tasas mayores.

MENOS IMPACTO EN LA BALANZA DE PAGOS

Observamos que en la actualidad en México, existe - muy poca tecnología en lo que se refiere a plantas nucleares, y en consecuencia toda la producción de esta índole que se - quiera realizar dentro del país se tendrá que llevar a cabo- en base a tecnologías importadas. Es obvio que nos encontra- mos en los inicios en cuanto a la producción de energía eléc trica mediante liberación de energía atómica, pero, con un - esfuerzo de nuestros técnicos podríamos adaptar este tipo de industria nucleoelectrica a los recursos y necesidades exis- tentes y futuros de nuestro país claro está, en principio es to se traduciría en una erogación nacional considerable pero al fin y al cabo amortizable y que además traería a nuestra- nación un gran beneficio social a largo plazo.

Hasta la actualidad no se ha llevado a cabo un estu- dio detallado sobre la fabricación de combustibles y compo-- nentes de plantas nucleoelectricas, pero se han realizado in

vestigaciones por el personal de Comisión Federal de Electricidad (CFE) y el Instituto Nacional de Energía Nuclear - - (INEN), llegándose a las siguientes conclusiones:

Que al observar la gráfica de integración nacional de los componentes y materiales de plantas nucleoelectricas contra el tiempo, observamos un comportamiento creciente con respecto al tiempo, esto es una recta ascendente, la cual es la misma para los reactores de agua pesada y agua ligera en los primeros 30 años a partir de esta fecha. Aunque es de hacer notar que en este intervalo de tiempo los reactores de agua pesada (CANDU) toman delantera sobre los de agua ligera debido a la sencillez de la fabricación de las calandrias de aluminio que integran a estos reactores mientras que los - - reactores de agua ligera llevan vasijas de presión de acero que son más elaborados y por ende más costosos.

En lo que se refiere a la fabricación de combustibles para plantas nucleoelectricas, el desarrollo tecnológico mundial en esta materia no hace posible todavía que México pueda elaborar con un proceso completo los combustibles necesarios. En especial, con los procedimientos actuales de enriquecimiento no se justifica la construcción de una planta que realice este proceso y solo será justificable técnica y económicamente cuando México haya desarrollado la construcción de plantas atomoelétricas hasta un nivel de alrededor de 15,000 Mw de capacidad instalada.

Sin embargo nos encontramos actualmente en condiciones de construir una planta de agua pesada que sería complementaria a la instalación de una planta nucleoelectrica del tipo CANDU de agua pesada, habiendo propuestas concretas de asesoría por parte de Canadá para su realización.

En conclusión podemos decir que si se elige una -- planta de agua ligera se tendrá un ahorro inicial en el pago de divisas ya que no será necesario construir una fábrica de agua pesada, pero posteriormente habrá que hacer pago de divisas para pagar los gastos de enriquecimiento de combustible. En el caso de una planta de tipo CANDU el costo inicial sería mayor, ahorrándose el pago de divisas posteriormente.

UTILIZACION MAXIMA DE LOS RECURSOS DEL PAIS, NATURALES TECNOLOGICOS Y HUMANOS.

El reactor tipo CANDU requiere, alrededor del 40% -- menos uranio en 30 años de operación que el reactor de agua ligera sin recirculación del plutonio generado, ni del uranio residual. Si se recirculan ambos, el consumo de uranio resulta del orden de 5% menor en el reactor de agua ligera, -- nuevamente en 30 años de operación.

Por otro lado, el CANDU produce en total del orden -- del doble de plutonio que el reactor de agua ligera, aunque por unidad de masa de combustible es del orden de la mitad. -- La recuperación y el valor de este plutonio producido dependen, a largo plazo, del éxito de los reactores rápidos que -- lo usan como combustible del costo de su almacenamiento (ya sea separado o dentro del combustible irradiado) del costo -- de su recuperación (reprocesamiento del combustible irradiado) y de la disponibilidad y costo mundial del plutonio, -- principalmente. En el corto plazo, el valor del plutonio está dado por el valor del uranio (enriquecido o no) que susti -- tuirá como energético, del costo de su recuperación, del cos -- to de su utilización y del costo de su almacenamiento dentro del combustible irradiado.

Se considera que se podría aprovechar mejor la re--

serva de uranio con la utilización del reactor tipo CANDU, - debido a que el material fusionable requerido por este reactor puede producirse en México en su totalidad; además al - usar uranio natural se aprovecha en forma más eficiente el - uranio por unidad de masa.

POSIBILIDADES DE FABRICACION NACIONAL

En este estudio nos basamos principalmente en la - aparente sencillez o complejidad de cada proceso en algunos- casos y adaptando estudios hechos en otros países a las con- diciones nacionales.

Así, la variación en la integración nacional de com ponentes y materiales de las plantas fué representada por - una recta ascendente en el tiempo, que es la mista para los- reactores tipo CANDU y de agua ligera en los primeros 30 - - años a partir de esta fecha. A los 30 años el CANDU parece - adquirir una ligera ventaja sobre los reactores de agua lige- ra, basándose en que parece ser más sencillo fabricar las ca landrias de aluminio de los reactores CANDU que las vasijas- de presión de acero de los reactores de agua ligera.

Respecto a esperar 30 años para fabricar calandrias de aluminio, se comentó que se podía hacer un esfuerzo serio y empezar a fabricarlas lo antes posible; las vasijas de pre sión igualmente. En este sentido no se evaluó la factibili- dad de fabricar nacionalmente cualquiera de las dos, el cos- to del esfuerzo necesario, ni los beneficios marginales que- podría acarrear al país dicho esfuerzo, además de la fabrica ción en sí de las calandrias o los recipientes de presión.

En lo que se refiere al combustible, parece ser más fácil de integrar nacionalmente la fabricación de combusti-

ble tipo CANDU, aunque se acepta que como se tendría que comprar la tecnología, lo mismo podría hacerse para el combustible de los reactores de agua ligera.

Los Canadienses han ofrecido proporcionar su tecnología de combustibles, pero sin mencionar las condiciones. - Por otro lado, se tuvieron ofertas firmas de licenciamiento-de fabricación de combustibles tipo agua ligera, pero no fueron evaluadas.

La conversión a hexafluoruro de uranio se vé difícil de realizar completa en el país, aunque los primeros pasos - si se podrían realizar.

Al hablar de enriquecimiento se piensa inmediatamente en el método de difusión que para resultar económico re-- quiere de la instalación de plantas gigantes con un costo - enorme y un gran consumo de energía que sería difícil justificar y financiar; la tecnología tampoco parece alcanzable - en un futuro próximo. Los nuevos procesos de enriquecimiento, como el de ultracentrifugación que usará URENCO, requieren de menor inversión, menor energía y la capacidad se instala en base a módulos pequeños. No se estudió la factibilidad ni el costo de adquirir estas tecnologías.

En consecuencia, conviene evaluar las posibilidades de que México cuente con su propia planta de enriquecimiento, o bien, que participe en algún proyecto regional. Se sugiere adoptar el siguiente procedimiento, tomando en cuenta la-situación actual:

1) Contratar, ya sea con proveedores existentes -- (EUA y URSS) o bien con los que se vayan concretando en los-próximos años (URENCO y EURODIF II), los servicios para la - década 1980, 1990.

2) Durante el plazo obtenido con el paso anterior - habrá tiempo para definir las características económicas y - tecnológicas asociadas a las alternativas actualmente en desarrollo (e.g. centrífugas). Eso permitirá analizar y evaluar los desarrollos y adoptar las medidas a seguir hacia - principios de los 80's. Por el momento, parece atractivo con - siderar la utilización de una planta a base de centrífugas, - desde las etapas más inmediatas del programa nucleoelectrico. Por sus características modulares y sus requerimientos rela- - tivamente bajos de energía eléctrica, las centrífugas po- - drían ser competitivas, aún con capacidades del orden de -- 6000,000 UTS.

3) Investigar a fondo las posibilidades de que Méxi - co participe con otros países, probablemente de Latinoaméri- - ca (e.g., Venezuela y Brasil), en alguna planta multinacio- - nal de servicios de enriquecimiento.

Los métodos de producción de agua pesada se conocen desde hace bastante tiempo, por lo que parece posible su pro - ducción en el País. Sin embargo, la tecnología a escala in- - dustrial no es simple como parece, y se ha dado el caso de - tener que volver a diseñar y construir una planta de produc- - ción de agua pesada ya construida pero inoperante. Entonces - la tecnología tendría que comprarse. De esto se efectuó un - estudio preliminar de factibilidad y costo, pero sus conclu- - siones fueron de tipo general y muy preliminares y solamente vale la pena mencionar que parece factible la instalación en el país de una planta de producción de 800 toneladas al año - de agua pesada, capacidad suficiente para las cargas inicia- - les y los repuestos necesarios para un programa de entrada - de operación de reactores de 650 MW a un ritmo de uno por -- año

Estudio realizado por el INEN de fábricas para el ciclo de combustible.

En la siguiente exposición no se consideran las labores de prospección y localización de yacimientos, las actividades del ciclo de combustible son las siguientes:

- 1.- Beneficio del mineral hasta la obtención de un concentrado con pureza del orden de 70%.
- 2.- Refinación hasta obtener uranio de pureza nuclear.
- 3.- Conversión a UF_6 o UO_2 , según se adopte una línea RAO o CANDU, respectivamente.
- 4.- Reconversión de UF_6 o UO_2 enriquecido.
- 5.- Producción de pastillas de UO_2 .
- 6.- Producción de elementos combustibles de uranio.
- 7.- Producción de óxido de circonio.
- 8.- Producción de zircaloy.
- 9.- Producción de tubo de zircaloy.
- 10.- Reprocesamiento
- 11.- Almacenamiento y disposición de desechos radioactivos de alto nivel.

Aparte de estas actividades debe considerarse que de acuerdo con el programa requerirá la localización y explotación del orden de 110 000 Ton de U_3O_8 , lo cual significa que el esfuerzo que el país se propone realizar en esta área deberá incrementarse notablemente.

La República Mexicana ha sido explorada solo en una fracción muy pequeña de su territorio y aunque en la opinión de expertos, el país tiene características geológicas que sugieren reservas cuantiosas, es urgente localizarlas y eva-luarlas así como planear su explotación. Nuevamente se seña-la que los requerimientos de las plantas nucleoeeléctricas para entrar en operación después de 1990 no se han considerado.

En la tabla V-2 se presenta un calendario tentativo para la instalación de las fábricas, considerando tiempos mínimos entre la decisión de proceder y la entrada de la operación, de acuerdo a lo siguiente:

1.- Se considera que el tiempo mínimo entre la iniciación de los estudios geológicos y la producción del concentrado de uranio es del orden de 8 años.

2.- El lapso entre la decisión y la producción de UF₆, es del orden de 3 años.

3.- Se requieren unos 3 años para llevar una planta de fabricación de combustible a la producción comercial.

4.- El tiempo mínimo para llevar una planta de procesamiento a su operación comercial es del orden de 8 años.

5.- En el caso de las fábricas asociadas a la producción de la tubería de zircaloy, se considera que la tecnología es lo suficientemente compleja para no considerar su viabilidad en México antes de 1990.

Cabe señalar con respecto a los datos de la Tabla V-2 que se supone un factor de capacidad de 0.8, además un sobrante de capacidad para permitir desviaciones.

Para concluir esta sección, debe mencionarse que el

REQUERIMIENTOS DE FABRICAS DE CICLO
COMBUSTIBLE PARA EL PROGRAMA NUCLEOELECTRICO

Tipo de Fabrica	Linea RAF o RAP			Linea CANDU			
	Capacidad Tons. U/año	Inicio de Produccion	Fin de Operacion	Capacidad Tons. U/año	Inicio de Produccion	Fin de Operacion	
Beneficio	1	300	1980	1986	300	1981	1987
	2	500	1983	1989	500	1985	1991
	3	1000	1985	1991	1000	1988	1994
	4	1000	1987	1993	300	1992	1993
	5	1400	1993	1999	1000	1995	2001
	6	2000	2000	2006	2000	2001	2007
	7	2000	2007	2013	1700	2008	2014
Refinacion	1	2800	1986	2001	2300	1981	2000
	2	1700	2002	2017	1700	2001	2017
Conversion A. UF ₆ o UO ₂	1	2800	1986	1998	2300	1981	2000
	2	2200	1999	2011	1700	2001	2017
	3	1800	2012	2017			
Reconversion	1	3000	1984	1996			
	2	2400	1997	2000			
	3	400	2010	2017			
Produccion de Combustible	1	600	1982	2001	2300	1982	2001
	2	400	2002	2018	1100	2002	2018
Fabricacion de Elementos	1	600	1982	2001	2300	1982	2001
	2	400	2002	2018	1100	2002	2018
Produccion de Oxido de Zirconio	1	240(ton Zr)	1990	2004	360(ton Zr)	1990	2001
	2	240(ton Zr)	2005	2017	360(ton Zr)	2005	2017
Produccion de metal de Zirconio	1	200(ton Zr)	1990	1998	300(ton Zr)	1990	1998
	2	200(ton Zr)	1999	2007	300(ton Zr)	1999	2007
	3	200(ton Zr)	2006	2017	300(ton Zr)	2006	2017
Produccion de Tubo de Zirconio	1	150(ton Zr)	1990	2001	220(ton Zr)	1990	2004
	2	150(ton Zr)	2005	2017	220(ton Zr)	2005	2017
Almacenamiento de Combustible Irradiado	1	1000	1984	1989	5000	1984	1989
Reprocesamiento	1	800	1990	2005	3500	1990	2005
	2	800	2006	2022	2500	2006	2022
Almacenamiento y Deposicion de Desechos	1	700	1990	Permanente	2300	1990	Permanente
Tecnologia de plutonio	1	5.5(ton Pu)	1990	2005	10(ton Pu)	1990	2005
	2	4.5(ton Pu)	2006	2022	8.5(ton Pu)	2006	2022
Produccion de Combustible de Pu	1	230(ton Pu/U)	1990	2005	600	1990	2005
	2	200(ton Pu/U)	2000	2018	600	2000	2018
Fabricacion de Elementos de Pu	1	230(ton Pu/U)	1990	2005	600	1990	2005
	2	200(ton Pu/U)	2006	2018	600	2006	2018

TABLA V-2

problema de preparar los directores, gerentes, ingenieros, científicos, técnicos y operadores para las fábricas de la tabla V-2, es muy importante y debe abordarse de inmediato.

PERSPECTIVAS DE DESARROLLO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE REACTORES Y COMPATIBILIDAD CON LOS SISTEMAS FUTUROS

Puede partirse del hecho de que actualmente existen dos tipos de reactores cuya disponibilidad desde un punto de vista comercial y experiencia de operación industrial están bien establecidas.

Estos dos tipos son los reactores de uranio enriquecido y agua ligera (PWR y BWR) y los de uranio natural y agua pesada (CANDU).

Desde el punto de vista comercial y de experiencia de operación, los reactores de agua ligera presentan la ventaja de que su uso se ha generalizado en Estados Unidos, Europa y el Japón.

Existen prototipos de reactores de agua pesada en varios países, pero el único que se ha desarrollado comercialmente es el reactor Canadiense CANDU, del que existen varias instalaciones funcionando en Canadá, una en la India, otra en Pakistán y una planta en proyecto en Argentina.

Sin embargo las perspectivas futuras de los reactores de agua pesada se han ampliado al haber adoptado el Gobierno Británico el reactor de uranio enriquecido moderado con agua pesada y enfriado con agua ligera (SGHWR) para su desarrollo nucleoelectrico futuro.

En cuanto otro tipo de reactores, existen dos cuyo desarrollo está suficientemente adelantado para poder consi-

derar que podrán utilizarse en un futuro no muy lejano.

Uno de ellos es el reactor de alta temperatura que utiliza uranio enriquecido, moderado con grafito y enfriado con gas (HTGR). Este reactor, que permitiría alcanzar eficiencias del orden del 40%, podría competir en el futuro con los reactores de agua ligera.

El otro tipo de reactor es el reactor de cría de neutrones rápidos (breeder), del cual existe en Francia un prototipo industrial enfriado con sodio líquido, que funciona desde hace tres años con éxito. Existen prototipos semejantes en Inglaterra y la Unión Soviética.

El interés de los reactores de cría que emplean plutonio y uranio como combustible, es que permitirían un aprovechamiento mucho mayor de las reservas de uranio. Si los prototipos existentes y en construcción comprueban que este tipo de reactor resulta económico, podría empezar a utilizar se comercialmente en la década de los años ochenta, utilizando el plutonio producido en los reactores térmicos. Desde este punto de vista, los reactores del tipo CANDU presentan la ventaja de producir más plutonio que los de agua ligera.

Si se desarrollara un programa nucleoelectrico basado en el tipo de reactor CANDU se tendría un mejor aprovechamiento de las reservas de uranio así como el de la produc-ción de plutonio, el cual se aprovechará cuando los reactores de cría hiciera su aparición en forma comercial.

Debido a lo anterior es necesario negociar ofertas para la fabricación del agua pesada, material fisionable y el procesamiento del mismo.

PROBLEMAS DE MONTAJE Y ORGANIZACION PARA
LA INGENIERIA Y LA CONSTRUCCION

Dado que los proyectos nucleares en todo el mundo - revisten un grado de dificultad tal que el estado de desarrollo de la tecnología y las ciencias de la administración apenas son capaces de resolver, un proyecto como éste en un - - país cuyo desarrollo tecnológico y capacidades administrativas no están en los niveles de países altamente desarrolladas, resulta especialmente complicado. El problema más difícil e inmediato por resolver es la organización apropiada para que el proyecto pueda ser realizado.

Dentro de esta organización es fundamental definir la participación que las compañías extranjeras tendrán en -- las diferentes actividades del proyecto y complementar los - recursos que se hayan contratado de las mismas con los recursos más adecuados y calificados de la institución.

Se requiere resolver con prontitud los problemas financieros que una planta de este tipo genera, dado que el retraso al que pueda dar lugar el no contar con recursos financieros oportunos, representa una inversión muy importante. - Por último, es difícil resolver el problema de lograr el - - adoctrinamiento y comprensión necesarios de las distintas - áreas que interaccionan con el proyecto, puesto que por ser el primero en su tipo en México no ha habido ocasión de que dichas áreas se familiaricen con las particularidades del - mismo; resulta una labor muy amplia el lograr ese convencimiento en los distintos niveles de interacción.

El desarrollo tecnológico del país que hasta la fecha nos ha permitido diseñar y construir plantas hidráulicas e iniciarnos en el diseño y ejecutar la construcción de plan

tas térmicas convencionales, arroja las bases tecnológicas - necesarias para diseñar y construir plantas nucleares, pero, para que esto sea posible, el número de gentes preparadas en las diversas disciplinas tiene que incrementarse notoriamente y adicionalmente elevar el nivel tecnológico de las personas que participen en las diferentes disciplinas para que - les sea posible integrarse a una organización mucho más compleja y restrictiva.

Una vez que tengamos el número suficiente de técnicos y seamos capaces de organizarlos para un proyecto complejo como estos, será necesario preparar una serie de especialistas capaces de resolver problemas específicos que estas - plantas tienen. Actualmente se cuenta con algunos especialistas, pero su utilización es muy limitada mientras no se puedan organizar las estructuras que hagan posible conducir un- proyecto.

C O N C L U S I O N E S

- 1.- Los datos que se pudieron obtener son lo suficientemente inciertos como para no poder llegar a conclusiones-definitivas.
- 2.- Desde el punto de vista de seguridad al público y disponibilidad para operación, todos los reactores estudiados son comparables.
- 3.- Si la tasa efectiva de descuento que se debe usar en una evaluación de este tipo es alta (arriba del 10%), el reactor CANDU resultará más costoso que los reactores de agua ligera.
- 4.- Si la tasa fuera baja, el CANDU resultaría más económico.
- 5.- La participación nacional de las plantas con cualquier tipo de reactor es, actualmente, sumamente baja, del orden del 20%, aún en la parte convencional de las plantas.
- 6.- A menos que se compren las tecnologías y se realice un esfuerzo serio, la incorporación a la industria nacional será lenta y se limitará en los próximos 30 años a la parte convencional de las plantas, que es independiente del tipo de reactor.
- 7.- La asimilación nacional de las tecnologías de los reactores y sus ciclos de combustible, requiere del desarrollo de la infraestructura industrial complementaria.

En este sentido, el reactor tipo CANDU parece tener - ventajas sobre los reactores de agua ligera.

- 8.- La incorporación de una tecnología debe, sin embargo, - evaluarse dentro del marco de los planes nacionales de desarrollo industrial y, considerar no solo los aspectos de costo y facilidad de asimilación, sino también - los beneficios marginales que puede acarrear dicha tecnología.
- 9.- El proceso de asimilación de una tecnología nueva y para la cual no se cuenta con la infraestructura básica - es, por necesidad, largo y lento y, durante el tiempo - que dura, se depende del proveedor de la tecnología - más fuertemente que si solo se le comprara el producto a fabricarse. Los reactores de agua ligera se producen por varias compañías en los Estados Unidos, Europa, y Japón, los reactores HGTR y CANDU son producidos cada uno, por una sola compañía, de Estados Unidos y Canadá, respectivamente. Además, las componentes del - CANDU son producidas, en su mayoría por, filiales canadienses de compañías estadounidenses.
- 10.- Es imprescindible conocer la disponibilidad nacional - de uranio, zirconio y de otros elementos y materiales - necesarios para la industria nuclear.

R E C O M E N D A C I O N E S

- 1.- Obtener ofertas contractuales de un número grande de reactores, con objeto de disponer de datos básicos, tanto técnicos como económicos, lo más reales posible y poder determinar seguridad, la diferencia en costo de los distintos tipos de plantas nucleares.
- 2.- Realizar un estudio de la industria nacional, con miras a determinar su potencial, actual y futuro para la producción nacional de materiales, componentes, equipos y sistemas de las plantas nucleares y sus ciclos de combustibles asociados.
- 3.- Determinar la factibilidad, el costo y los beneficios asociados con la incorporación de las tecnologías relacionadas con cada reactor.
- 4.- Intensificar la exploración nacional del uranio y otros elementos que, como el zirconio, son fundamentales para la industria nuclear.

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

- IMPLICACIONES DEL PROGRAMA NUCLEOELECTRICO MEXICANO 1975. -
Comisión de Energéticos.
- POLITICA DE ENERGETICOS EN LA COMISION FEDERAL DE ELECTRICI-
DAD.
Ing. Odón de Buen Lozano.
- EL CARBON MINERAL 1975.
Comisión de Energéticos.
- ANUARIO ESTADISTICO 1976.
Petróleos Mexicanos PEMEX.
- CRISIS ENERGETICA Y RECURSOS NATURALES.
Biblioteca SALVAT tomo 45.
- PRIMER INFORME A LA H. JUNTA DIRECTIVA; Programa de trabajo-
1972, proyecto de inversiones 1972-1976.
INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (INEN).
- CENTRALES NUCLEARES.
José Ramírez Vázquez. Ediciones CEAC, S.A. 1974
- LOS REACTORES DE POTENCIA.
SUTERNM sección centro nuclear febrero de 1975.
- ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE PLANTAS NU- -
CLEOELECTRICAS Y LOS CICLOS DE COMBUSTIBLE CORRESPONDIENTES.
Gerencia General de Planeación y Programa
Gerencia General de Estudios Económicos y Organiza-
ción.
Gerencia General de Construcción (Subgerencia Nuc--
cleoeléctrica)

Gerencia General de Operación

INEN: División de Desarrollo

SUTERM sección del Instituto Nacional de Energía Nuclear. 22 de mayo de 1975.

PLANTAS ELECTRICAS (apuntes).

Ing. Raul González Aploaza. Editorial Trillas 1974.

BOLETIN IIE (Instituto de Investigaciones Eléctricas)

Volumen 1, Número 7. Noviembre de 1977.

BOLETIN IIE.

Volumen 2, Número 6. Junio de 1978.

PLANTAS NUCLEARES PRODUCTORAS DE ENERGIA ELECTRICA Y AGUA DE SALADA PARA EL NOROESTE DE MEXICO Y EL SUROESTE DE LOS ESTADOS UNIDOS.

Organismo internacional de energía atómica México-- Estados Unidos. Septiembre de 1978.

PLANTAS DE ENERGIA NUCLEAR.

Comisión Norteamericana de Energía Atómica de los EE.UU. Departamento de Información Técnica.

REACTORES NUCLEARES DE LOS EE.UU.

Comisión Norteamericana de Energía Atómica de los EE.UU. Departamento de Información Técnica.

METODOLOGIA PARA LA LOCALIZACION DE PLANTAS NUCLEOELECTRICAS.

M. en C. José Luis Ruiz Mijares (CFE).

Fis. Miguel Angel Valdovinos (CFE).

A DANDY REFERENCE TO NUCLEAR QUALITY ASSURANCE 10 CFR 50, - APPENDIX B.

Prepared by Quality Assurance Department NPGD
Babcock & Wilcox

Power Generation Group Nuclear Power Generation Division. P.O. BOX 1260
LYNCHBURG, VIRGINIA 24505. Septiembre 1975.

LAGUNA VERDE NUCLEAR POWER STATION UNITS 1 y 2

PRELIMINARY SAFETY ANALYSIS REPORT

VOLUMEN I

Comisión Federal de Electricidad.
México city 1973.

AMERICAN NUCLEAR SOCIETY WINTER MEETING

ATOMIC INDUSTRIAL FORUM ANUAL CONFERENCE

Washington, D.C.
October 29, 1974.

QUALITY ASSURANCE IN DESIGN AND CONSTRUCTION: A REGULATOR'S VIEWPOINT.

By
James G. Keppler.
Regional Director, Region III
Directorate of Regulatory Operations
U.S. Atomic Energy Commission.

QUALITY ASSURANCE IN THE DESIGN OF NUCLEAR POWER PLANTS AS -
BEEN BY AN ARCHITECT-ENGINEER.

ABOIDING GOING BACK TO THE OLD DRAWING BOARD UNNECESSARILY.
AN ADDRESS BY.

William M. Laughton.
Stone & Webster Engineering Corp.
Delivered at the Winter Meeting
American Nuclear SOCIETY
Washington, D.C.
October 29, 1974.

NUCLEAR ENERGY AND THE FUTURE

By.

John W. Simpson.

PLANTAS NUCLEOELECTRICAS

PLAN DE ORGANIZACION, OBJETIVOS Y ACTIVIDADES.

Preparado por el Ing. Isidro Becerril Salinas.

Comisión Federal de Electricidad.

PLANEACION Y PROGRAMACION DE OBRAS.

Ing. Odón de Buen Lozano.

Subdirector General

Comisión Federal de Electricidad.

México, D.F., 1975.

LA HUMANIDAD EN LA ENCRUCIJADA (segundo informe del Club de-
ROMA)

M Mesavoyie

E. Pestel

LOS LIMITES DEL CRECIMIENTO

Donella H Meadows.

Dennis L Meadows.

Jorge Randers

Willian W. Behrens III