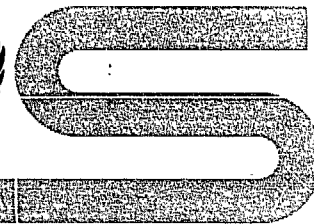


**CONFERENCIA INTERNACIONAL
SOBRE LA ENERGIA NUCLEOELECTRICA
Y SU CICLO DEL COMBUSTIBLE**
SALZBURGO (AUSTRIA) • 2 A 13 DE MAYO DE 1977



ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

IAEA-CN-36/540

LA FABRICACION DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES NUCLEARES EN MEXICO

H. L. GUERRERO MORILLO
INSTITUTO NACIONAL DE
ENERGIA NUCLEAR
MEXICO 18, D.F. MEXICO

INTRODUCCION

A finales de 1976 la situación de la nucleoelectricidad en México no es lo suficientemente precisa para definir programas a largo plazo en algunas de las actividades del Ciclo de Combustible.

La situación económica del país y la autosuficiencia nacional en materia de hidrocarburos, hacen prever un nuevo retraso en la implantación de un Programa Nacional Nucleoeléctrico.

Sin embargo, México ha entrado ya a la nucleoelectricidad mediante la compra de dos reactores tipo BWR de aproximadamente - 650 MW(e) cada uno, los que han de constituir la Central Nuclear de Laguna Verde. Hay fundadas razones para suponer que la primera unidad entrará en operación durante 1981 y la segunda aproximadamente un año después.

A finales de 1976 la capacidad eléctrica instalada en el país alcanza un total de casi 12,000 MW(e) de los cuales un 50% es a base de plantas termoeléctricas convencionales. El crecimiento anual de la capacidad instalada en los últimos años ha sostenido un ritmo de aproximadamente 12%, que le es indispensable sostener al país para hacer frente a la industrialización que demanda su acelerado crecimiento demográfico. Esta circunstancia, unida al descubrimiento de varios yacimientos de uranio cuyo potencial es altamente estimulante, forzarán al gobierno mexicano a voltear los ojos hacia las plantas nucleares.

En los últimos años diversas estimaciones sobre la magnitud del Programa Nucleoeléctrico de México han sido mencionadas dentro y fuera del país. La Comisión Federal de Electricidad esti

maba en 1975 que México habrá de contar con un mínimo de 40,000 - MW(e) instalados en 1990, de los cuales entre 8,300 y 15,600 MW - (e) corresponderían a plantas nucleares. En 1973 y 1974 el Orga-- nismo Internacional de Energía Atómica pronosticaba para México - unos 15,000 MW(e) nucleares en 1990. En 1972 la USAEC suponía al país un potencial de 13,000 MW(e) para 1990. Finalmente son de - destacarse las estimaciones del Dr. Carlos Vélez, experto mexica-- no en la materia, que en noviembre de 1972 daba una expansión en la generación nucleoelectrónica con las siguientes características.

1979 ----	1,300 MW(e)
1986 ----	4,300 MW(e)
1993 ----	11,400 MW(e)
2000 ----	29,200 MW(e)

Con base en todas las consideraciones y predicciones antes señaladas y para los motivos de este estudio, el autor ha elabora-- do un calendario de plantas nucleoelectrificadas, Fig. 1, que a fina-- les de 1976 puede considerarse como "posible y realista".

NECESIDADES DE FABRICACION

Para poder establecer un plan de acción relativo a la fa-- bricación de elementos combustibles, así como para otros materia-- les y servicios asociados con los posibles Ciclos de Combustible que el calendario considerado demanda, es indispensable conocer - anticipadamente, o al menos suponer, el tipo o tipos de reactores nucleares que habrán de instalarse. Hasta finales de 1976 ésto no ha sido determinado. Sin embargo, se da por seguro que los reacto-- res serán del tipo UO₂/Zircaloy y refrigerados por agua ligera o pesada. En otras palabras, que serán de alguno o algunos de los - conocidos como BWR, PWR y PHWR. Aun así, para determinar las nece-- sidades del Ciclo o Ciclos de Combustible que habría que conside-- rar, es necesario ser más preciso sobre los reactores futuros.

En cualquiera de los dos Ciclos de Combustible probables, el de reactores LWR y el de los PHWR, representados estos últimos únicamente por los reactores CANDU, la participación nacional a - corto plazo quedaría reducida al suministro de los concentrados - de uranio necesarios y a la fabricación de los elementos combusti-- bles correspondientes. El resto de las actividades del Ciclo o - Ciclos, serían realizadas fuera del país por algún tiempo debido en algunos casos a los volúmenes reducidos y en otros a los enor-- mes requerimientos de capital.

Queda entonces por establecer las necesidades de fabrica-- ción de elementos combustibles. Pero, como lo muestra en cifras - la Tabla I, esta actividad es fuertemente dependiente del tipo de reactor que se considere, siendo notable la diferencia que hay en las necesidades de combustiblè de las plantas CANDU y las LWR.

La Tabla II muestra las necesidades totales de elementos combustibles para la próxima década, estando incluidos los requerimientos de los reactores de Laguna Verde. Las 3 columnas finales de la Tabla II indican las cantidades que habría que enfrentar dadas las alternativas consideradas y las cuales van desde un mínimo de aproximadamente 1340 t de UO₂ para el caso de que los reactores que entraran en operación entre 1986 y 1990 fuesen del tipo PWR, hasta un máximo de aproximadamente 3450 t de UO₂ para el caso de que los nuevos reactores fuesen del tipo CANDU.

No se ha considerado, por suponérsele escasas probabilidades de que ocurra, la alternativa consistente en que las adiciones al Programa Nucleoeléctrico fuesen hechas a base de un programa mixto de reactores. Pero en cualquiera de los casos a que daría lugar esta alternativa se llegaría a la necesidad de fabricar una cantidad de elementos combustibles intermedia entre los dos extremos antes mencionados.

CONSIDERACIONES SOBRE EL PROGRAMA DE FABRICACION

Para establecer un programa de fabricación habría que considerar una serie de factores, algunos ya definidos y otros solamente supuestos. Los factores que podemos considerar ya definidos son:

- 1.- La Unidad I de Laguna Verde entrará en operación a mediados de 1981 y un año después lo hará la Unidad II.
- 2.- Se fabricarán elementos combustibles localmente empezando con la primera recarga de la Unidad I de Laguna Verde, consistente en aproximadamente 22.7 t de UO₂ contenido en los elementos tipo BWR y la cual será necesaria a finales de 1982.
- 3.- A finales de 1983 se requerirá también la primera recarga para la Unidad II, por lo cual a partir de ese año y en los sucesivos, los reactores de Laguna Verde requerirán de aproximadamente 45.4 t de UO₂ por año en forma de elementos combustibles tipo BWR.

Pero hay un factor, de gran importancia por el peso que representa en el programa de fabricación, que debe ser supuesto: el tipo de reactores que empezarán a operar en el período 1986-1990. El programa de fabricación de elementos combustibles no es muy sensible a la decisión entre reactores del tipo BWR o PWR, pues como se puede determinar de la Tabla II un plan de crecimiento a base de reactores BWR requeriría de una producción de elementos combustibles 38% mayor que si el plan se basara en reactores tipo PWR. Pero si consideramos el caso de que el plan sea a base de reactores CANDU, las necesidades de fabricación serían de un 157% mayores. La suposición que habrá que tomar estará entonces entre el caso general de que los nuevos reactores serían refrigerados por agua ligera y el caso de que lo fuesen por agua pesada.

Un análisis somero de ambas alternativas favorecería posiblemente a los reactores enfriados por agua ligera, debido a los siguientes factores:

- a) El país ha dado ya un primer paso favorable a los LWR - al adquirir los dos reactores refrigerados por agua ligera en ebullición de Laguna Verde.
- b) Los LWR son en general los que mayor proliferación han tenido en el mundo, existiendo numerosas empresas proveedoras de tecnología y componentes, con una gran capacidad acumulada de manejo de proyectos. Existe además una fuerte y benéfica competencia entre ellas, lo que asegura un mayor desarrollo técnico para este tipo de unidades.
- c) Los 7,200 MW(e) que tendrían que ponerse en operación - entre 1986 y 1990 parecen ser una cantidad excesiva para programarse únicamente con reactores CANDU, debido a que solo hay un posible proveedor en el mundo y a que su capacidad de suministros y de manejo de proyectos ya está fuertemente comprometida en su propio país.

En conclusión, para los fines de este trabajo se supondrá que los reactores que entrarán en operación entre 1986 y 1990 serán a base de uranio enriquecido y refrigerado por agua ligera.

A los reactores tipo BWR corresponde el mismo Ciclo de Combustible que a los del tipo PWR. La fabricación de sus respectivos elementos combustibles requiere de los mismos pasos, desde la producción del polvo de UO_2 a partir de UF_6 hasta el ensamblado de los elementos. Solo existen algunas diferencias menores de diseño que se relacionan principalmente con el ensamblado de los elementos combustibles y con la fabricación de algunos componentes de los mismos. Por ello no puede dejarse de considerar que la decisión óptima, desde el punto de vista de la fabricación de elementos combustibles en México, sería que los nuevos reactores fueran del tipo BWR, pues se trabajaría con un solo diseño, necesitando adquirir únicamente una licencia de fabricación, pues si bien el Instituto Nacional de Energía Nuclear de México (INEN) cuenta con un grupo de trabajo en el área del desarrollo de elementos combustibles, éste no cuenta con los medios ni el tiempo necesarios para generar total e independientemente la tecnología necesaria para fabricar la cantidad de elementos combustibles que habrán de requerirse de acuerdo con este Programa.

Por los motivos antes indicados el INEN ya ha empezado a consultar a los principales fabricantes de elementos combustibles en el mundo, al menos a aquellos que cuentan con tecnología para producir parcial o totalmente elementos tipo BWR. De acuerdo al programa establecido en este trabajo pronto habría que seleccionar a uno de ellos, o a varios si la tecnología se adquiriese en partes, tal como se muestra en la Fig. 2, que describe un calendario típico para la puesta en operación de una fábrica de elementos combustibles, en este caso adaptado a las condiciones específicas del programa mexicano aquí establecido.

Los suministros y la asistencia que se requerirían de la o las empresas que sean contratadas son los siguientes:

- Licencia de diseño de los elementos combustibles, lo cual incluye las especificaciones y planos de los mismos y todos sus componentes, hasta en su más mínimo detalle.
- Una o varias licencias de manufactura, ya que ésto puede dividirse en partes y obtenerse de diferentes proveedores (por ejemplo, la tecnología para producir el polvo de UO₂ y las pastillas puede tener un origen diferente que la tecnología necesaria para envainar y ensamblar los elementos), cabiendo incluso la posibilidad de que en algunas operaciones se usase tecnología propia.
- Asistencia en la erección y puesta en operación de la fábrica, lo que incluiría desde la planeación y diseño de la misma hasta su licenciamiento, pasando por la especificación y selección de la maquinaria y equipos, su compra o construcción y su instalación.
- Asistencia en la operación inicial de la planta, lo que incluye un programa de selección y entrenamiento de personal, la adopción de una organización adecuada y la generación de los manuales de manufactura y garantía de calidad.

CARACTERISTICAS DE LA FABRICA DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES

Las características del programa de fabricación, es decir, la forma en que se incrementan las necesidades, requiere que la fábrica sea planeada de una manera flexible, tanto en lo que respecta a la capacidad de producción como a las actividades que incluya y que irían entrando en operación al alcanzar los volúmenes mínimos que las justificaran económicamente.

La Tabla III muestra un plan de expansión en 3 etapas, el cual puede servir igualmente para los casos I + II y I + III de la Tabla II. El plan muestra las actividades por etapa, las inversiones aproximadas en equipos y maquinaria instalados, así como para edificios y terreno, ambas en valores monetarios actuales, además de las correspondientes estimaciones de superficie construida y personal necesario.

En la Etapa I se ha tomado en consideración que, a pesar de que la capacidad instalada nominal fuese de 100 t/año, el primer año solo se produciría la mitad, pues ésta es la experiencia de la mayor parte de los fabricantes. En esta etapa se contaría con las siguientes actividades:

- I.1 Una línea de fabricación de pastillas que incluiría: accesorios para la recepción, muestreo y almacenamiento de polvo de UO_2 , mezcladores, equipos y accesorios para la granulación del polvo (en caso de que sea necesario), prensas de compactación, horno de sinterización, rectificadora de pastillas y equipo para procesar y reciclar los residuos y rechazos de la propia fábrica.
- I.2 Una línea de envainado formada a su vez por:
 - 1.2.1 Una línea de inspección y preparación de tubos y accesorios, consistente básicamente de: equipo de ultrasonido para detección de fallas y medición del espesor de pared, -- equipo para medición e inspección superficial, máquina cortadora de tubos, línea de limpieza, autoclave (en caso de ser necesaria) y soldadora del primer tapón.
 - 1.2.2 Una línea de fabricación de barras combustibles formada por: estación de cargado de pastillas, horno de desgasado (en caso de ser necesario) soldadora de segundo tapón y diversos equipos para comprobar la calidad de las barras combustibles.
- I.3 Una línea de ensamblado de elementos combustibles.

En la Etapa II, además de duplicar la capacidad instalada de las actividades ya iniciadas en la etapa anterior, se añadirían las siguientes

- II.1 Ensamblado de espaciadores para elementos combustibles, debiendo adquirirse del exterior las partes que los forman.
- II.2 Maquinado de las placas soportantes de los elementos combustibles, que deben ser adquiridas como piezas fundidas.

En la Etapa III, además de volver a duplicar la capacidad instalada y llegar así a 400 t/año, se adicionarían las siguientes actividades:

- III.1 Conversión de UF_6 a UO_2 , empleando el mismo proceso que fué usado para producir el polvo de UO_2 adquirido para las dos primeras etapas.
- III.2 Fabricación de las partes que constituyen los espaciadores de elementos combustibles y que se habían estado comprando a algun proveedor.

III.3 Maquinado de los tapones de las barras combustibles.

Como puede observarse, algunas actividades tales como la conversión de UF_6 a UO_2 y la producción de algunos componentes de barras y elementos, son considerados hasta la Etapa III, pues hasta entonces se alcanzaría un volumen de producción justificable.

Aquellas actividades que no hayan sido aún incluidas en alguna etapa serían suplidas, mientras tanto, por un abastecimiento externo, posiblemente de los mismos suministradores de la licencia de manufactura.

Algunos componentes, como las vainas de zircaloy, no parecen justificarse dentro de los límites de este programa.

El plan no establece sus propios límites, pues la expansión continuaría de acuerdo a los incrementos futuros del programa nuclear nacional.

La expansión por etapas requiere de previsiones amplias de terreno y de un diseño arquitectónico inteligente para realizar las adiciones de líneas de fabricación sin afectar mayormente a la producción. Existen diversas experiencias en el mundo que aseguran la posibilidad de esta consideración.

CONCLUSIONES

Con base en algunos datos conocidos y otros supuestos se puede elaborar un programa de fabricación de elementos combustibles nucleares para un período relativamente amplio. Debido a la incertidumbre que necesariamente involucra tal programa el plan general debe ser lo suficientemente flexible para absorber cualquier modificación en el calendario de necesidades, así como la posibilidad de que se tenga que abastecer una línea de reactores diferente a la que fue supuesta al elaborar el programa.

TABLA I

REQUERIMIENTOS DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES PARA EL PROGRAMA NUCLEOELECTRICO
POSTERIOR A LAGUNA VERDE I Y II

AÑO	POTENCIA INSTALADA MW (e)	POTENCIA ACUMULADA MW (e)	CARGAS INICIALES (t UO ₂)			RECARGAS ANUALES (t UO ₂)			TOTALES		
			BWR	PWR	CANDU	BWR	PWR	CANDU	BWR	PWR	CANDU
1986	1,200	1,200	174.52	100.74	194.54	---	---	---	174.52	100.74	194.54
1987	1,200	2,400	174.52	100.74	194.54	41.65	34.85	189.64	216.17	135.59	384.18
1988	1,200	3,600	174.52	100.74	194.54	83.30	69.70	479.28	257.82	170.44	573.82
1989	1,200	4,800	174.52	100.74	194.54	124.95	104.55	568.92	299.47	205.29	763.46
1990	2,400	7,200	349.04	201.48	389.08	166.60	139.40	758.56	515.64	340.82	1147.64
TOTALES 1986-1990		7,200	1047.12	604.44	1167.24	416.50	348.50	1896.40	1463.62	952.94	3063.64

CONDICIONES BASICAS PARA LA TABLA I

CARACTERISTICA	TIPO DE REACTOR		
	BWR	PWR	CANDU
- CAPACIDAD INSTALADA, MW (e)	1,200	1,200	2 X 600
- QUEMADO (Burn up) MAXIMO, MWD/tUe	27,500	33,000	7,500
- CARGA INICIAL: t UO ₂	174.52	100.74	194.54
Enriquecimiento, %	1.9	2.6	0.71
- RECARGA ANUAL: t UO ₂	41.65	34.85	189.64
Enriquecimiento, %	2.69	3.34	0.71
- SUPOSICIONES GENERALES:			
a) Factor de Capacidad,	80%		
b) Pérdidas en fabricación,	2.5%		
c) Recargas anuales uniformes			

TABLA II
NECESIDADES DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES (t UO₂)
DIFERENTES ALTERNATIVAS

AÑO	CENTRAL LAGUNA VERDE I	NUEVOS REACTORES			NECESIDADES TOTALES		
		BWR II	PWR III	CANDU IV	I + II	I + III	I + IV
1982	22.7	-----	-----	-----	22.7	22.7	22.7
1983	45.4	-----	-----	-----	45.4	45.4	45.4
1984	45.4	-----	-----	-----	45.4	45.4	45.4
1985	45.4	-----	-----	-----	45.4	45.4	45.4
1986	45.4	174.52	100.54	194.54	219.92	146.14	239.94
1987	45.4	216.17	135.59	384.18	261.57	180.99	429.58
1988	45.4	257.82	170.44	573.82	303.22	215.84	619.22
1989	45.4	299.47	205.29	763.46	344.87	250.69	808.86
1990	45.4	515.64	304.88	1147.64	561.04	386.28	1193.04
1982-90	385.9	1463.62	952.94	3063.64	1849.52	1338.84	3449.54

TABLA III

PLAN DE EXPANSION DE LA FABRICA DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES

Etapa	Capacidad Instalada (t UO ₂ /Año)	Producción Acumulada (t UO ₂)	Actividades Principales Adicionadas por Etapa.	Inversión Acumulada en equipos instalados (\$*)	Costo Acumulado de Edificios y terreno (\$*)	Area Necesaria (m ²)	Personal Necesario Acumulado (personas)
I (1982-1984)	100	250	- Empastillado - Envainado - Ensamblado de Elementos Combustibles.	3,000,000	500,000	3,000	80
10 II (1985-1987)	200	850	- Ensamblado de espaciadores. - Maquinado de placas.	6,000,000	1,000,000	6,000	150
III (1988-1990)	400	2,050	- Conversión de UF ₆ a UO ₂ - Fabricación de espaciadores. - Maquinado de tapones de barras combustibles.	20,000.000	1,750,000	10,000	240

* 1976 US Dlls.

FIGURA No. 1
CALENDARIO DE PLANTAS NUCLEOELECTRICAS

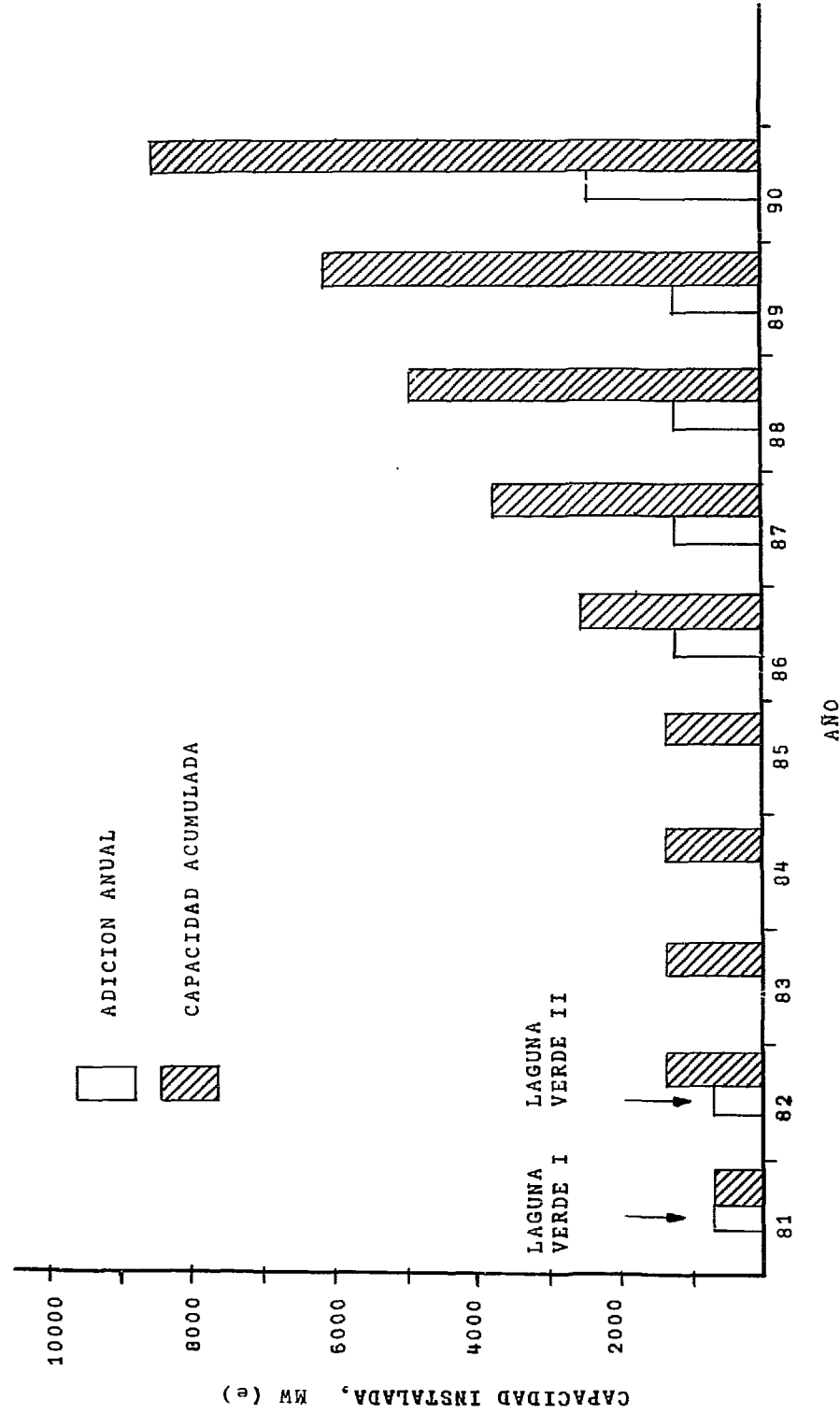


FIG. 2

FABRICA DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES.- CALENDARIO DE ACTIVIDADES

ACTIVIDAD \ AÑO	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
- Planeación General	-----												
- Selección de Sitio. Compra de Terreno		-----											
- Especificación de Equipos.		-----											
- Especificación y Diseño de Edificio		-----											
- Adquisición de Equipos.			-----										
- Construcción de Edificio.			-----										
- Instalación de Equipos.				-----									
- Entrenamiento de Especialistas y Supervisores.			-----										
- Entrenamiento de Operarios. Prueba de Equipo.					-----								
- Pruebas de Calificación.					-----								
- Producción.						-----							
- ETAPA II					-----								
- ETAPA III								-----					