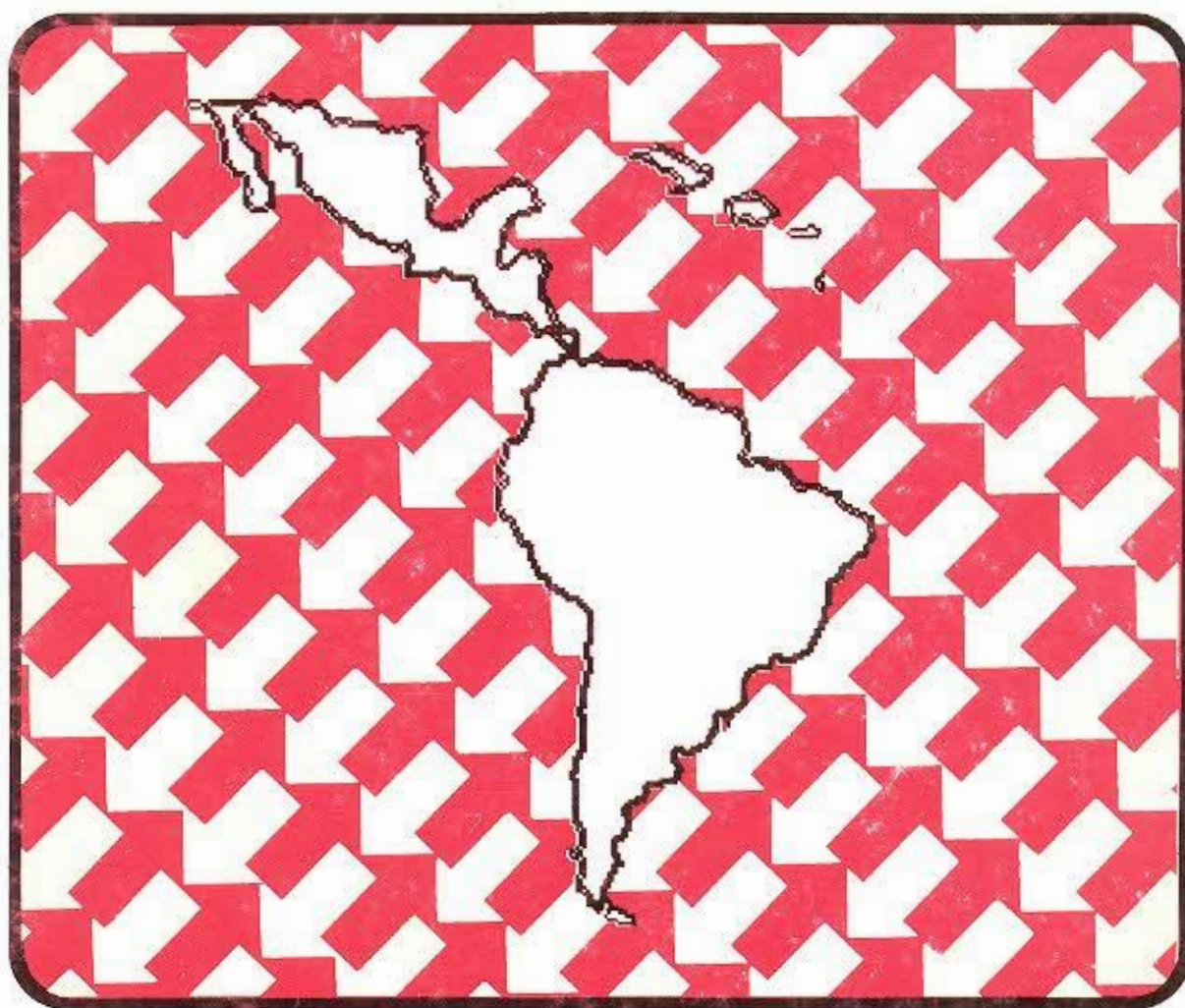

Revista Energética



Energy Magazine

Año 17
número 2
mayo-agosto 1993

Year 17
number 2
May-August 1993



Tema: La Energía Nuclear en América Latina y
El Caribe

Topic: Nuclear Energy in Latin America
and the Caribbean



Presente y Futuro de la Generación Nucleoeléctrica en México

Central Laguna Verde, Comisión Federal de Electricidad de México

1. ANTECEDENTES

Evolución del Sector Eléctrico Nacional

Hacia fines del siglo XIX y principios del siglo XX, se establecieron en México varias compañías extranjeras que prestaban el servicio de energía eléctrica. En este período, existían alrededor de 177 plantas generadoras, propiedad de diversas compañías generalmente extranjeras, que proporcionaban servicio a algunas de las principales ciudades del país.

En la década de los treinta, las compañías que controlaban la generación de energía eléctrica y la prestación del servicio eran la Mexican Light and Power Company Ltd. (50%), la American and Foreign Power Company (40%) y la Compañía Eléctrica de Chapala (10%). La capacidad instalada ascendía a 629 MW, de los cuales 372 MW se generaban con plantas hidroeléctricas y 257 MW con termoeléctricas.

Las concesiones otorgadas por el Gobierno Federal y el crecimiento demográfico en el país obligaron a las compañías a aumentar su capacidad instalada, lo cual no se hizo con la celeridad requerida. Para esa época, solamente entre 2% y 3% de la población contaba con servicio eléctrico, lo que provocó una serie de protestas públicas que motivaron la intervención del Estado para normalizar la situación.

La intervención tuvo un carácter doble: por una parte, se dictaron normas y medidas administrativas para obligar a las empresas a mejorar su servicio y, por otra parte, se creó un organismo que diera a la electrificación un sentido social más moderno y más justo.

El 14 de agosto de 1937, el Presidente Lázaro Cárdenas promulgó la Ley que creó la Comisión Federal de Electricidad (CFE), cuyos objetivos originales fueron los de "organizar y dirigir un sistema nacional de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, basado en principios técnicos y económicos, sin propósitos de lucro y con la finalidad de obtener un costo mínimo, el mejor rendimiento posible en beneficio de los intereses generales".

La CFE inició de inmediato su operación, aún cuando contaba con muy pocos recursos. Sin embargo, para el 31 de diciembre de 1938, se promulgó la Ley del Impuesto sobre Consumos de Energía Eléctrica, que dispuso un cobro adicional del 19% sobre el importe del consumo, que estaría destinado a estimular la capacidad de inversión de la empresa y a incrementar el uso del servicio en los sectores doméstico, industrial y agrícola.

Los cambios que condujeron a la creación de la CFE favorecieron el crecimiento de la capacidad instalada; en el período 1937-1960, ésta pasó de 629 MW a 3.021 MW, de los cuales la CFE



contribuyó 1.256 MW (41,6%) y las compañías extranjeras 1.136 MW (37,6%).

En septiembre de 1960, el Presidente Adolfo López Mateos anunció la nacionalización de la industria eléctrica. Esta se dio a través de reformas a la Constitución, en la que quedó plasmado que la Nación es la única propietaria de una fuente de energía indispensable para su desarrollo, así como de la realización de negociaciones con las empresas extranjeras para la compra de sus acciones.

El Gobierno adquirió el 100% de las acciones de la American and Foreign Power Company, el 90% de la Mexican Light and Power Company Ltd. y se comprometió a saldar los pasivos de esta última. El 10% restante quedó en proceso de liquidación (al menos 1% de las acciones permanece todavía en manos extranjeras), dando lugar a la formación de una nueva empresa que aún subsiste: la Compañía de Luz y Fuerza del Centro.

La industria eléctrica nacional quedó constituida, en ese momento, por la Compañía Mexicana de Luz y Fuerza Motriz, por las empresas eléctricas de NAFINSA y por la CFE.

La evolución durante el período 1960-1990 presentó las siguientes características: mientras que en 1960 el 56% de la capacidad instalada estaba constituida por hidroeléctricas y el 44% por termoeléctricas operadas a base de hidrocarburos, la relación fue invirtiéndose a través del tiempo; en 1975, el 40,8% estaba constituido por hidroeléctricas y el 59% por termoeléctricas.

En sus 55 años de existencia, la CFE ha extendido los servicios de electricidad a través del territorio nacional, de tal forma que en 1970 atendía al 54% de la población total mientras que en 1988 servía al 86%. En las áreas urbanas, la cobertura es del 94%, mientras que en las rurales es del 67%. En 1990, el consumo

per cápita de electricidad fue de 1.284 kWh contra 447 kWh en 1970.

En el período 1980-1990, la capacidad instalada aumentó de 14.625 MW a 25.298 MW, con una tasa media anual de crecimiento de 5,6%.

La última fuente que se incorporó fue el uranio utilizado en la primera unidad de Laguna Verde (675 MW). Su participación resultó ser del 4% respecto al total.

En cuanto a generación de electricidad, durante el período 1980-1990, hubo un incremento de 52.381 GWh. Los hidrocarburos representaron el mayor porcentaje al final del período, con 64%, no obstante la entrada de fuentes como el carbón mineral con 5%, la geotermia con 3% y el uranio con 2,7%. La participación relativa de la hidroelectricidad disminuyó de 27% a 20,4% a fines del período, a pesar de haberse incrementado en 6,599 GWh.

Para el año 2000, se espera un incremento global de 112,3 TWh, 98% de la generación actual, lo que significa que se tendrá que realizar un esfuerzo semejante al efectuado durante toda la historia del sistema eléctrico nacional.

Evolución de la Energía Nuclear en el Mundo

El aprovechamiento de la energía nuclear para producir electricidad dio comienzo en 1951 en un reactor experimental de Cría en Idaho, Estados Unidos, que tenía una capacidad de 100 KW. La primera central que entró en operación comercial fue Calder Hall, en Inglaterra, inaugurada el 17 de octubre de 1956, con una capacidad de 45 MWe. Actualmente, son 413 centrales nucleoelectricas en operación, repartidas en 26 países, 15 de ellos en Europa, 5 en América, 5 en Asia y 1 en África.

En 1990, el 17% de la electricidad en el mundo fue generada por plantas

nucleoelectricas, destacándose en este aspecto países como Francia, en el que más del 70% de la electricidad se genera por medio de 53 centrales nucleoelectricas y cuenta con un programa coherente, en el que la estandarización ha sido un factor fundamental, que le ha permitido no sólo hacer de la nucleoelectricidad la principal fuente de energía eléctrica para el país, sino exportar grandes bloques de energía eléctrica a otros países. Asimismo cabe mencionar a países como Bélgica, que por medios nucleares genera el 66% de su electricidad, Corea del Sur el 53%, Taiwan el 49% y Suecia el 45%.

Hoy en día, la opción nuclear es la más benigna para el ambiente, ya que las centrales nucleoelectricas, a diferencia de las que queman combustibles fósiles, no contribuyen al efecto invernadero ni a la lluvia ácida. Sólo en 1990, la producción de electricidad por medios nucleares redujo la emisión de bióxido de carbono en 1,8 mil millones de toneladas, equivalente al 9% de la producción mundial en ese mismo período. Los residuos que producen las plantas nucleares son de volúmenes comparativamente muy reducidos y fácilmente confiables.

De acuerdo con datos del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), se hubiera requerido quemar del orden de 5,61 mil millones de toneladas de carbón ó 24,5 mil millones de barriles de petróleo para generar la electricidad producida en centrales nucleoelectricas hasta la fecha.

Los principales tipos de reactores utilizados en la actualidad son: reactor de agua a presión (PWR) utilizado por Francia, Estados Unidos, la ex Unión Soviética, Japón, España, Bélgica y Corea del Sur, entre otros países; el reactor de agua hirviente (BWR) usado en Estados Unidos, Alemania, Suecia, Japón, España y México; y el reactor de agua pesada (PHWR) usado en Canadá, Argentina y la India.

La Nucleoelectricidad en México

En nuestro país, contamos con una unidad en operación comercial del tipo BWR de 675 MW de capacidad de placa y una similar en etapa de pruebas genéricas y preoperacionales, ambas en Laguna Verde, Veracruz. Este artículo hace referencia a la Unidad Uno, que se encuentra en operación comercial en su tercer ciclo.

2. RESEÑA CRONOLOGICA DE LA UNIDAD UNO

Etapa de Pruebas

- La construcción de la Unidad Uno se inició en 1976, con el primer colado de los cimientos del edificio del reactor.
- En 1979, se instaló la vasija del reactor.
- En 1980, se inició el montaje de tuberías, equipos mecánicos, charolas para cables, ductos y soportes del sistema de aire acondicionado.
- En 1984, se inició el montaje de conduit y líneas de instrumentación.
- Los años 1984 y 1985 fueron los de mayor avance en el montaje electromecánico.
- A principios de 1984, se inició la etapa de pruebas a los primeros sistemas, esto es la puesta en servicio.
- En 1986, se iniciaron las pruebas de los sistemas de suministro de vapor (NSSS), con el lavado integrado de tuberías.
- En 1987, se realizaron la prueba hidrostática de la vasija del reactor y las siguientes pruebas:
 - Integridad estructural del contenedor primario.
 - Prueba de razón de fugas a válvulas y penetraciones del contenedor primario.
 - Prueba de estanqueidad del contenedor secundario.
 - Prueba integrada de los sistemas de enfriamiento de emergencia del núcleo (ECCS).

- Hasta antes de la carga inicial de combustible nuclear, se efectuaron un total de 35.000 pruebas genéricas y 210 pruebas preoperacionales.
- El 14 de octubre de 1988, la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS) autorizó la carga de combustible.
- Durante 1989, se realizaron pruebas de arranque en las siguientes etapas:
 - El 13 de marzo de 1989, se finalizaron las pruebas a vasija abierta y calentamiento nuclear.
 - El 28 de abril de 1989, se finalizaron las pruebas al 20% de potencia.
 - El 4 de octubre de 1989, se finalizaron las pruebas al 50% de potencia.
 - El 25 de diciembre de 1989, se finalizaron las pruebas al 75% de potencia.
 - El 14 de julio de 1990, se finalizaron las pruebas a 100% de potencia.
- El 29 de julio de 1990, la Unidad Uno inició sus actividades de operación comercial, autorizada por la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal de México (SEMIP).

3. OPERACION COMERCIAL

Con el inicio de su operación comercial, la central se integró a los sistemas internacionales de estadísticas de plantas nucleares, lo cual permite comparar esta unidad con otras similares a nivel mundial. También pasamos a formar parte del programa de productividad de 1989-1994 del Gobierno Federal, en lo referente al sistema nacional de producción de energía eléctrica.

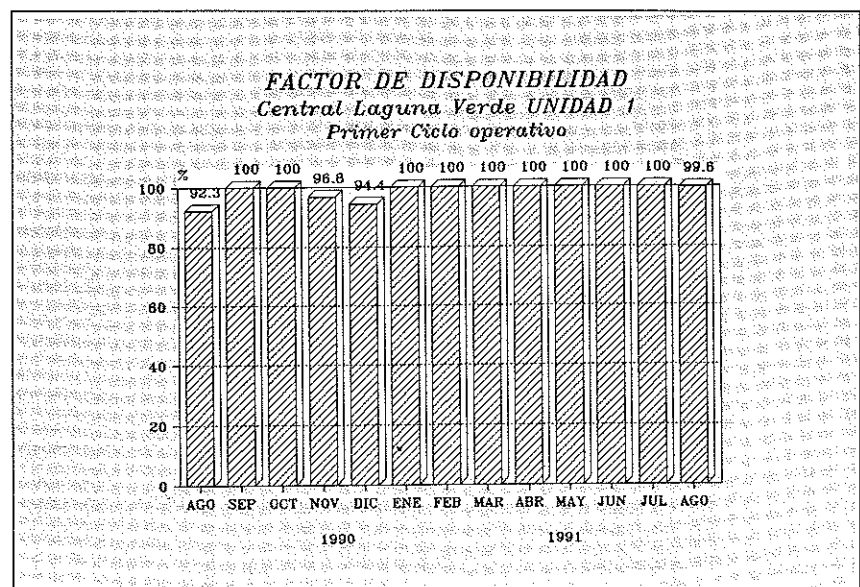
Misión de la Central Laguna Verde

La Organización de Operación a cargo de la Superintendencia General, en conjunto con sus superintendentes y supervisores, estableció la Misión de la Central Laguna Verde (CLV), que es:

“Producir los máximos megavatios, continuos, seguros y eficientes, optimizando los costos de producción y minimizando las dosis al personal.”

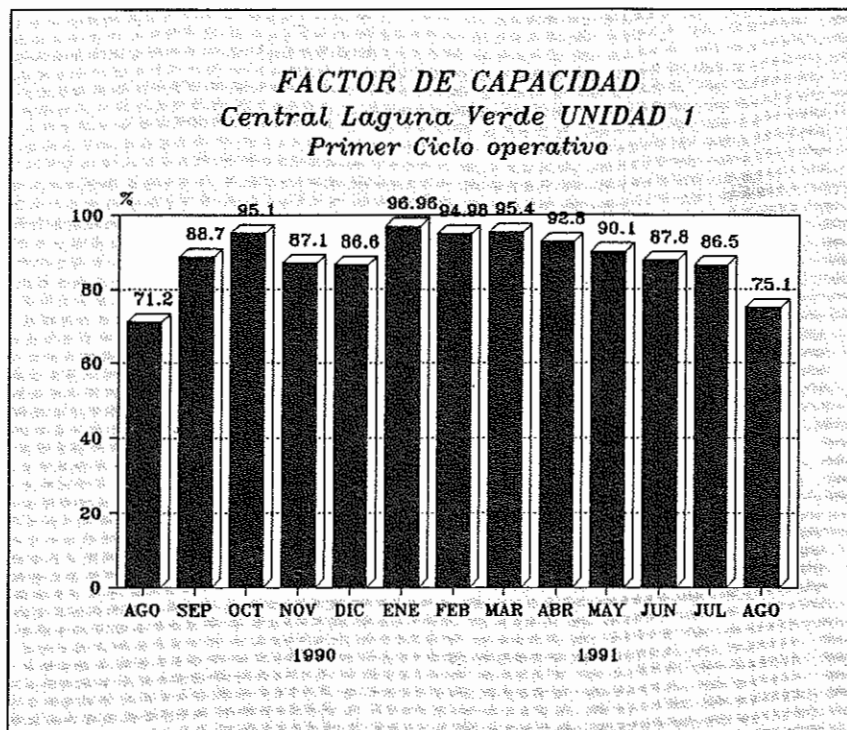
Primer Ciclo Operativo

La primera unidad inició su operación comercial en julio de 1990 y fue detenida para recarga de combustible y mantenimiento el 1ro de septiembre de 1991.



El desempeño obtenido en este primer ciclo de operación fue muy bueno, ya que la unidad operó sin problemas mayores, con un factor de disponibilidad (tiempo que la unidad está conectada a la red) de 98% y un factor de carga (promedio de la potencia a la que trabajó) de casi 90%, ambos por encima del promedio mundial; durante este período, se superó también la marca mundial de operación continua para unidades de este tipo en su primer ciclo. La generación de Laguna Verde presentó alrededor de 4% de la generada en el país en ese período y el 70% de la consumida en Veracruz.

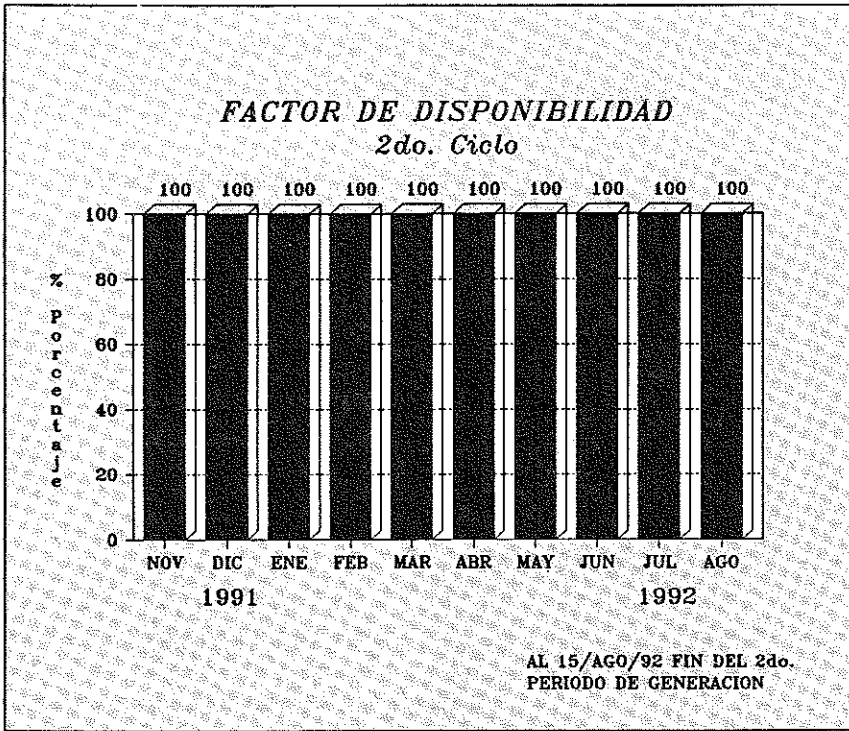
Durante la primera recarga de combustible, se dio mantenimiento general a la central y se realizaron mejoras en algunos sistemas que permitieron mantener los niveles de calidad en la operación que se obtuvieron en el primer ciclo. Esta



**Días Continuos de Operación
en el Primer Ciclo**

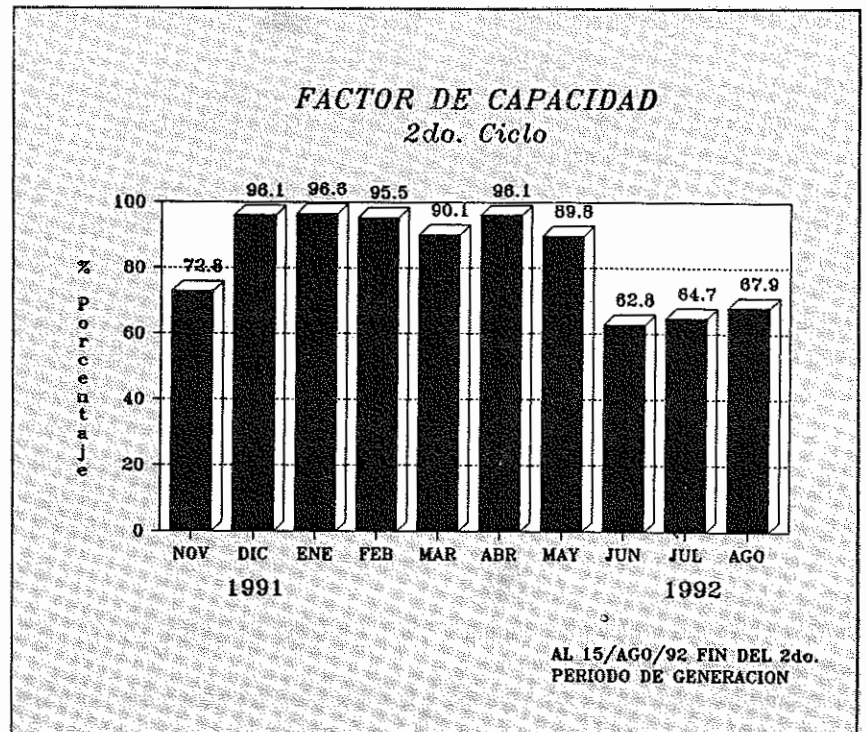
Nombre de Planta	Días	Nombre de Planta	Días
1. Laguna Verde	250	27. Fukushima	82
2. Limerick 1	198	28. Cofrentes	78
3. Oyster Creek	197	29. Perry	76
4. Fukushima 6	183	30. Nucleonor	74
5. Fermi 2	168,4	31. Fukushima 2	72
6. Millstone	159	32. Pilgrim	71
7. River Bend	151	33. Browns Ferry 1	71
8. Hope Creek	151	34. Caorso	71
9. La Salle 2	144	35. Quinshan 2	70
10. KKM	144	36. Peach Bottom	69
11. Nine Mile Pt 2	135	37. Dresden 3	69
12. Leibstadt	134	38. Hatch 2	69
13. Susquehanna 2	122	39. Browns Ferry 3	66
14. Clinton	121	40. Browns Ferry 2	64
15. Kuosheng 1	120	41. Duane Arnold	63
16. Cooper	116	42. Nine Mile Point 1	62
17. Tokai 2	111	43. Quad Cities 2	60
18. Grand Gulf	104,2	44. Kuosheng 2	55
19. Hanford 2	101	45. Brunswick 1	54
20. Vermont Yankee	96	46. Fitzpatrick	50
21. Peach Bottom	95	47. Brunswick 2	40
22. Tsuruga 1	90	48. Quad Cities 1	35
23. Limerick 2	89	49. Quinshan 1	32
24. La Salle 1	88	50. Hatch 1	30
25. Susquehanna 1	86	51. Dresden 2	20
26. Monticello	83		

Factor de Disponibilidad de Plantas Tipo BWR en el Primer Ciclo		Factor de Capacidad de Plantas Tipo BWR en el Primer Ciclo	
Planta	Factor de Disponibilidad (sin recarga)	Planta	Factor de Capacidad (sin recarga)
Leibstadt KKL	99,60	Fukushima 6	91,90
Laguna Verde I	98,70	Laguna Verde I	87,80
Fukushima 6	95,40	Oyster Creek	86,20
Quinshan 2	93,50	Limerick 1	82,60
Cofrentes 2	92,90	Cofrentes	82,00
Kuosheng 2	91,00	Susquehanna 2	81,80
Browns Ferry 3	89,20	KKM	79,80
Caorso	88,80	Quinshan 2	79,80
Susquehanna 2	87,40	Millstone 1	79,10
Pilgrim	87,40	Caorso	78,40
KKM	87,00	Hope Creek	78,40
Limerick 1	86,70	Leibstadt KKL	77,50
Quinshan 1	86,50	Kuosheng 2	75,70
Hope Creek	85,80	Browns Ferry 3	75,50
Fukushima 1	85,70	Fukushima 1	74,40
Quad Cities 1	85,60	Quad Cities 1	73,70
Oyster Creek	85,10	Pilgrim	73,40
Clinton	84,20	Monticello	73,30
Dresden 3	83,70	Dresden 3	72,20
Cooper	83,20	Clinton	71,60
Peach Bottom 2	83,10	Perry 1	71,50
Peach Bottom 3	82,80	Tsuruga 1	70,90
Millstone 1	81,80	Fukushima 2	70,70
Hatch 1	81,00	River Bend	68,90
Duane Arnold	80,30	Quad Cities 2	67,80
Fukushima 2	79,60	Susquehanna 1	67,80
Quad Cities 2	79,20	Hatch 2	67,50
Tsuruga 1	78,80	Tokai 2	67,00
Perry 1	78,20	Peach Bottom 2	66,30
Nucleonor (Garofía)	77,40	Quinshan 1	64,70
Grand Gulf 1	77,20	Peach Bottom 3	62,00
Tokai 2	76,90	Hatch 1	60,30
Fitzpatrick	76,80	Nucleonor (Garofía)	60,30
River Bend	75,80	Brunswick 1	60,00
Hatch 2	75,70	Fitzpatrick	59,60
Monticello	75,30	Fermi 2	58,80
Susquehanna 1	75,10	La Salle 1	58,60
La Salle 1	74,20	Kuosheng 1	57,60
Brunswick 1	74,00	Cooper	57,30
Vermont Yankee	73,40	La Salle 2	56,20
Kuosheng 1	71,40	Duane Arnold	52,90
Fermi 2	70,60	Vermont Yankee	52,80
Brunswick 2	68,30	Grand Gulf 1	52,90
La Salle 2	61,00	Nine Mile Point 1	49,30
Dresden 2	59,80	Brunswick 2	42,50
Nine Mile Point 1	57,50	Dresden 2	39,40
Browns Ferry 1	46,20	Browns Ferry 1	36,10
Browns Ferry 2	43,80	Browns Ferry 2	34,70
Big Rock Point 1	42,20		



Récords de Generación Continua de Plantas BWR en su Segundo Ciclo
(actualizada el 30 de septiembre de 1992)

Nombre de Planta	Días	Nombre de Planta	Días
1. Limerick 2	483	27. Clinton	97
2. Susquehanna	314	28. Brunswick	93
3. Laguna Verde	276	29. Monticello	90
4. Limerick 1	265	30. La Salle 1	88
5. La Salle 2	257	31. WNP 2 (Hanford 2)	87
6. Perry	232,1	32. Hatch	84
7. River Bend	184	33. Fukushima 1	84
8. Hope Creek	176	34. Millstone 1	83
9. Grand Gulf	171	35. Kuosheng 1	82
10. Kuosheng 2	157	36. Fukushima 2	81
11. KKL (Leibstadt)	154	37. Peach Bottom 3	80
12. Cofrentes	151	38. Cooper	79
13. Susquehanna	138	39. Browns Ferry	76
14. Dresden 2	137	40. Oyster Creek	73
15. Fukushima 6	136	41. Pilgrim	69
16. Browns Ferry	134	42. Vermont Yankee	67
17. KKM	129	43. Nine Mile Point 1	66
18. Quad Cities 1	128	44. Nucleonor (Garofía)	63
19. Browns Ferry 3	126	45. Quad Cities 2	61
20. Tokai 2	123	46. Quinshan 1	61
21. Nine Mile Point 2	122	47. Quinshan 2	61
22. Tsuruga 1	111	48. Brunswick 2	59
23. Duane Arnold	108	49. Dresden 3	48
24. Fermi 2	107,7	50. Hatch 1	37
25. Caorso	107	51. Peach Bottom 2	36
26. Fitzpatrick	104		



primera recarga de combustible tuvo una duración de 72,4 días, ejecutándose 7.198 actividades y 81 paquetes de modificaciones a los sistemas de la central, con una dosis radiológica de 394 rem-hombre.

Se establecieron los indicadores que proveen la medición del funcionamiento de la Unidad, en las áreas de seguridad, rendimiento de planta y seguridad al personal.

Segundo Ciclo Operativo

Después de la primera recarga de combustible, la Unidad regresó a servicio el 12 de noviembre de 1991.

Las gráficas muestran los principales indicadores del comportamiento de la Unidad, con los resultados mensualmente obtenidos.

La segunda recarga de combustible tuvo una duración de 56.4 días, ejecutándose 5.323 actividades y 73 paquetes de modificaciones a los sistemas

de la central, con una dosis radiológica de 330 rem-hombre.

Tercer Ciclo Operativo

Es el ciclo operativo que actualmente se encuentra en proceso. Se inició al término de la segunda recarga de combustible el 10 de octubre de 1992 con la sincronización de la Unidad.

4. FUTURO DE LA NUCLEOELECTRICIDAD EN MEXICO

El plan nacional de modernización energética, elaborado por el Gobierno Federal, considera la opción nucleoelectrica como válida para satisfacer la creciente demanda de energía eléctrica y contempla un aumento de la capacidad instalada de centrales nucleoelectrica para el año 2010. Este aumento está definido en dos diferentes escenarios: uno, el más optimista, plantea que, en el año 2010 se tenga 6.900 MW instalados en centrales nucleoelectricas, lo que significa 10 unidades de

capacidad similar a las de Laguna Verde, y el otro considera 3.000 MW para ese mismo año, o sea 5 unidades.

La instalación de nuevas centrales estará condicionada además a la aceptación pública, al buen desempeño de las unidades de Laguna Verde y a las condiciones existentes en el mercado en cuanto a costos de inversión, disponibilidad de combustibles y tiempo de construcción de los nuevos modelos. ...

Respecto a la aceptación pública de las centrales nucleoelectricas, es importante mencionar que los sondeos realizados recientemente en los Estados Unidos y otros países muestran que la gran mayoría de la gente consideran la opción nuclear como la más importante para satisfacer la demanda de energía eléctrica en el futuro.

Con el fin de mantenernos actualizados y cumpliendo también con lo indicado por el plan de modernización energética, que indica que, para fines del

sexenio, deberemos contar con la ingeniería básica de los reactores que permita la estandarización en los años 2000, la CFE ha iniciado su participación con los grupos, empresas e instituciones de varios países que están trabajando en la ingeniería básica de los nuevos modelos de centrales. De esta manera, esperamos en un plazo no mayor de dos años contar con varias opciones, en caso de que se considere conveniente expandir la generación nucleoelectrica en México.

La experiencia operacional, aunada a la preparación por contar con plantas más sencillas, económicas y seguras, ha motivado el desarrollo de nuevos tipos de reactores, en donde se están aplicando las nuevas tecnologías en electrónica digital y computadoras y en donde también se está combinando el diseño de los sistemas de enfriamiento de respaldo para que, en lugar de depender de bombas y motores para actuar, se utilicen leyes naturales como la convección y la gravedad. Además, en general, se están haciendo modificaciones para simplificar los sistemas de operación. Lo anterior permite prescindir de un porcentaje de equipos y componen-

tes con lo que los costos de inversión se reducen hasta un 40% y los tiempos de construcción para estas nuevas centrales serán no mayores a cuatro años.

Entre los nuevos modelos de reactores se destacan: el reactor de agua hirviendo avanzado (ABWR), del cual se están construyendo dos unidades en Japón y cuyo reactor fue desarrollado por General Electric, Toshiba e Hitachi; y el reactor simplificado de agua hirviendo (SBWR) y el reactor de agua a presión avanzado (AP-600) que están siendo diseñados por General Electric y Westinghouse, respectivamente, con un grupo internacional de empresas e instituciones.

5. CONCLUSIONES

1. Los logros obtenidos son producto del esfuerzo de los distintos niveles de trabajo de la organización integrados en equipo, combinando la planeación y ejecución de actividades. Continuamos estimulando el aprovechamiento óptimo de los recursos humanos y materiales, manteniéndose nuestros estándares de calidad.

2. Destacamos que, en la actualidad, coinciden diversos factores de suma importancia, tales como:

- El desarrollo vigente a corto plazo de nuevos reactores más simples.
- El aumento progresivo en la demanda de electricidad.
- La voluntad de preservar las reservas nacionales de hidrocarburos.
- La operación altamente satisfactoria de la primera unidad de Laguna Verde.
- El grado de avance en la construcción y la etapa de pruebas genéricas y preoperacionales de la segunda unidad.
- La excelente infraestructura (instalaciones, personal calificado, etc.) con que cuenta la CFE y las demás empresas que han colaborado en Laguna Verde.

Lo anterior permite pronosticar, con óptimas posibilidades de acierto, que México se encuentra en un buen momento para continuar la expansión del programa de construcción de nuevas centrales nucleares. ☉

Nuclear Power Generation in Mexico: Present and Future

Laguna Verde Power Station, Federal Electricity Commission of Mexico

1. BACKGROUND

Evolution of the National Electric Power Sector

At the turn of the century, various foreign utilities were installed in Mexico to provide electric power services. During this period, there were about 177 power generation plants, owned by various utilities that were, as a rule, foreign and which provided service to some of the country's major cities.

In the thirties, the utilities that controlled electric power generation and electricity service delivery were the Mexican Light and Power Company Ltd. (50%), the American and Foreign Power Company (40%), and the Electric Power Utility of Chapala (10%). Installed capacity amounted to 629 MW, of which 372 MW were generated by hydropower stations and 257 MW by thermoelectric plants.

The concessions granted by the Federal Government and the country's demographic growth rate obliged the utilities to increase their installed capacity. These new requirements were not met sufficiently quickly. At that time, only between 2% and 3% of the population was covered by electric power service. This led to a series of public protests, which eventually motivated the State to resolve the situation.

The State's intervention was dual in nature: on the one hand, standards and administrative measures were decreed forcing utilities to improve their service; on the other hand, an agency was set up to provide electrification with a more modern and equitable social approach.

On August 14, 1937, President Lázaro Cárdenas enacted a law creating the Federal Electricity Commission of Mexico (CFE), whose original objectives were "to organize and direct a nonprofit national electric power generation, transmission, and distribution system, based on technical and economic principles, aimed at achieving minimum costs and the highest possible yield for the benefit of the public good."

The CFE immediately launched its operations, although it still had very little resources available. Nevertheless, by December 31, 1938, the Law for Taxation on Electric Power Consumption was passed. It provided for an additional 19% tax on power consumption, which would be geared to stimulating the utility's investment capacity and increasing the use of electricity in households, industry, and the agricultural sector.

The changes that led to the creation of the CFE favored the growth of installed capacity. From 1937 to 1960, it grew from 629 MW to 3,021 MW, of which the CFE contributed 1,256 MW



(41.6%) and foreign utilities 1,136 MW (37.6%).

In September 1960, President Adolfo López-Mateos announced the nationalization of the electric power industry. This was done through reforms to the Constitution, which declared that the Nation was the sole owner of an energy resource that was indispensable for its development, as well as the sole entity in charge of negotiating with foreign utilities for purchasing their shares.

The Government bought 100% of the shares of the American and Foreign Power Company and 90% of the shares of the Mexican Light and Power Company Ltd., and made a commitment to assume payment for the liabilities of the latter utility. The remaining 10% was the object of a settlement (at least 1% of these shares still remain in foreign hands), which led to the creation of a new utility that still exists: the *Compañía de Luz y Fuerza del Centro* (the Central Light and Power Utility).

The country's electric power industry was therefore concentrated at this time in the *Compañía Mexicana de Luz y Fuerza Motriz* (Mexican Light and Motor Power Utility), and the power utilities NAFINSA and CFE.

The sector's evolution during 1960-1990 was characterized as follows: whereas in 1960, 56% of installed capacity came from hydropower and 44% from thermoelectric plants fired by hydrocarbons, this ratio was gradually inverted so that, by 1975, 40.8% of capacity came from hydropower stations and 59% from thermoelectric plants.

During its 55 years of existence, the CFE has extended electricity coverage throughout the national territory, so that by 1970 it met 54% of the total population's needs whereas by 1988 it

was meeting 86% of these needs. In the urban areas, coverage amounts to 94%, whereas in the rural sector it amounts to 67%. In 1990, per capita electricity consumption was 1,284 kWh compared to 447 kWh in 1970.

During 1980-1990, installed capacity increased from 14,625 MW to 25,298 MW, with an annual average growth rate of 5.6%.

The last source of energy that was incorporated into the system was uranium used by the first nuclear power unit of Laguna Verde (675 MW). Its share of total generation amounted to 4%.

As for electric power generation, during the 1980-1990 period, there was an increase of 52,381 GWh. Hydrocarbons accounted for the largest percentage at the end of the period (64%), despite the penetration of energy sources such as coal (5%), geothermal energy (3%), and uranium (2.7%). The relative share of hydropower declined from 27% to 20.4% by the end of the period, despite an increase of 6,599 GWh.

An overall increase of 112.3 TWh, 98% of current power generation, is expected by the year 2000. This means that an effort similar to the one made during the country's entire electric power system history would have to be made.

Evolution of Nuclear Power in the World

The development of nuclear energy for producing electric power began in 1951 in an experimental reactor in Cria, Idaho, United States, which had a capacity of 100 KW. The first station that was commissioned for commercial operation was Calder Hall, in England, which was inaugurated on October 17, 1956 with a capacity of 45 MWe. At present, there are 413 nuclear power stations operating in

the world, distributed in 26 different countries: 15 in Europe, 5 in the Western Hemisphere, 5 in Asia, and 1 in Africa.

In 1990, 17% of the world's electricity was generated by nuclear power stations. Noteworthy among the countries is France, which generates more than 70% of its electricity by means of 53 nuclear power plants and relies on a coherent plan in which standardization has been a crucial factor, enabling it not only to promote nuclear power as the country's main source of electricity but also to export large blocks of power to other countries. Likewise, countries such as Belgium which generates 66% of its power through nuclear energy, South Korea which generates 53%, Taiwan 49%, and Sweden 45% should be mentioned.

Today, the nuclear option is the most environmentally sound option, since nuclear power stations, compared to those that are fired by fossil fuels, do not contribute to the greenhouse effect or to acid rain. Only in 1990, electric power production by nuclear means reduced the emission of carbon dioxide by 1.8 billion tons, equivalent to 9% of world CO₂ production during this same period. The wastes produced by nuclear plants are comparatively small in terms of volume and are easy to manage.

According to data from the International Atomic Energy Agency (IAEA), on the order of 5.61 billion tons of coal or 24.5 billion barrels of oil would have had to be burnt to generate the electricity produced in the nuclear power plants to date.

The main types of reactors used at present are pressurized water reactors (PWR) used by France, the United States, the former Soviet Union, Japan, Spain, Belgium, and South Korea, among other countries; boiling water reactors (BWR) used in the United States, Germany, Swe-

den, Japan, Spain, and Mexico; and pressurized heavy water reactors (PHWR) used in Canada, Argentina, and India.

Nuclear Power in Mexico

In our country, we have a BWR-type unit commercially operating with a rating capacity of 675 MW and a similar one in the stage of generic and preoperational testing, both of which are located in Laguna Verde, Mexico. This article refers to Unit One, which is commercially operating in its third cycle.

2. CHRONOLOGICAL ACCOUNT OF UNIT ONE

Testing Stage

- Construction of Unit One started in 1976, with the first casting of the foundations of the reactor's building.
- In 1979, the reactor's containment vessel was installed.
- In 1980, assembly of the pipes, mechanical equipment, cable trays, ducts, and air-conditioning system supports was initiated.
- In 1984, work began on assembling the instrumentation tubes and lines.
- In 1984 and 1985, major progress was achieved in electromechanical assembly.
- At the beginning of 1984, the testing of the first systems began, that is the entry into service.
- In 1986, the nuclear steam supply system (NSSS) tests were begun with the integral scrubbing of the pipes.
- In 1987, the hydrostatic testing of the reactor's container and the following tests were conducted:
 - Structural integrity of the first container.
 - Ratio testing of valve leaks and penetrations in the primary container.
 - Testing of the secondary container's tightness.
 - Integrated testing of the emer-

gency core cooling system (ECCS).

- Up until before the initial loading of the nuclear fuel, a total of 35,000 generic tests and 210 preoperational tests were conducted.
- On October 14, 1988, the National Nuclear Safety and Safeguards Commission (CNSNS) authorized fuel loading.
- During 1989, start-up testing of the following phases was carried out:
 - On March 13, 1989, the testing of the open containment vessel and nuclear heating was finalized.
 - On April 28, 1989, testing at 20% of capacity was finalized.
 - On October 4, 1989, testing at 50% of capacity was finalized.
 - On December 25, 1989, testing at 75% of capacity was finalized.
 - On July 14, 1990, testing at 100% capacity was finalized.
- On July 29, 1990, Unit One started its commercial operating activities, as authorized by the Secretariat of Energy, Mines, and Semi-public Industry of Mexico (SEMIP).

3. COMMERCIAL OPERATION

With the beginning of commercial operation, the station was integrated

into the international statistical systems for nuclear power stations, thus facilitating comparison of this unit with other similar ones throughout the world. Likewise, the station became part of the Federal Government's 1989-1994 productivity program for the national electric power production system.

Purpose of the Laguna Verde Station

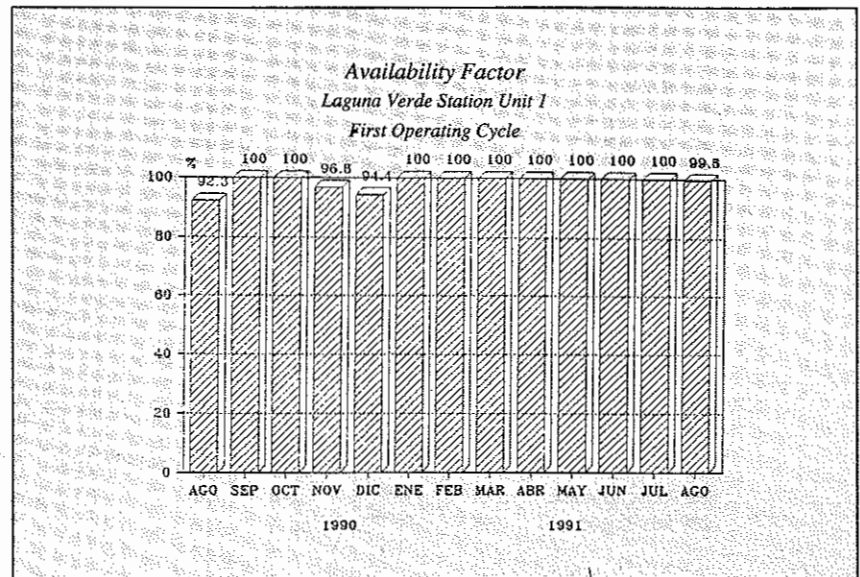
The Operating Agency in charge of General Supervision, along with its superintendents and supervisors, set forth the purpose of the Laguna Verde Station:

"Produce the maximum amount of continuous, safe, and efficient megawatts, optimizing at the same time production costs and minimizing the doses affecting personnel involved."

First Operational Cycle

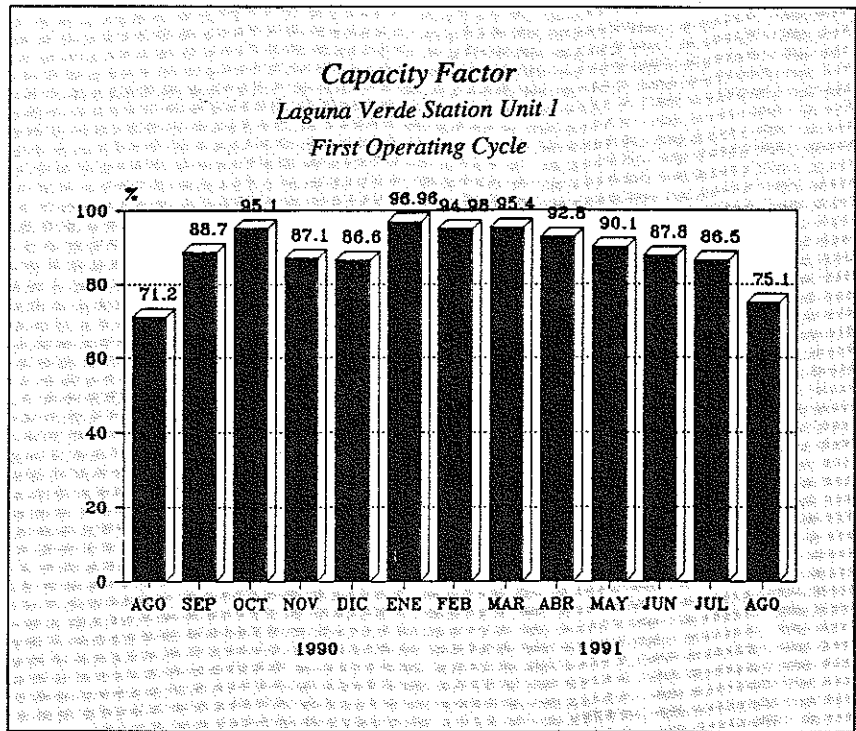
The first unit began its commercial operation in July 1990 and was shut down for fuel reloading and maintenance on September 1, 1991.

The results achieved during this first operating cycle was very good, as the



unit operated without any major problems, with an availability factor (the time the unit is connected to the grid) of 98% and a load factor (average capacity at which it operates) of almost 90%, levels that are above the world average. During this period, the station was able to beat the world's operating record for this type of unit in its first cycle. The Laguna Verde generation accounted for about 4% of the country's whole generation in this period and about 70% of consumption in Veracruz.

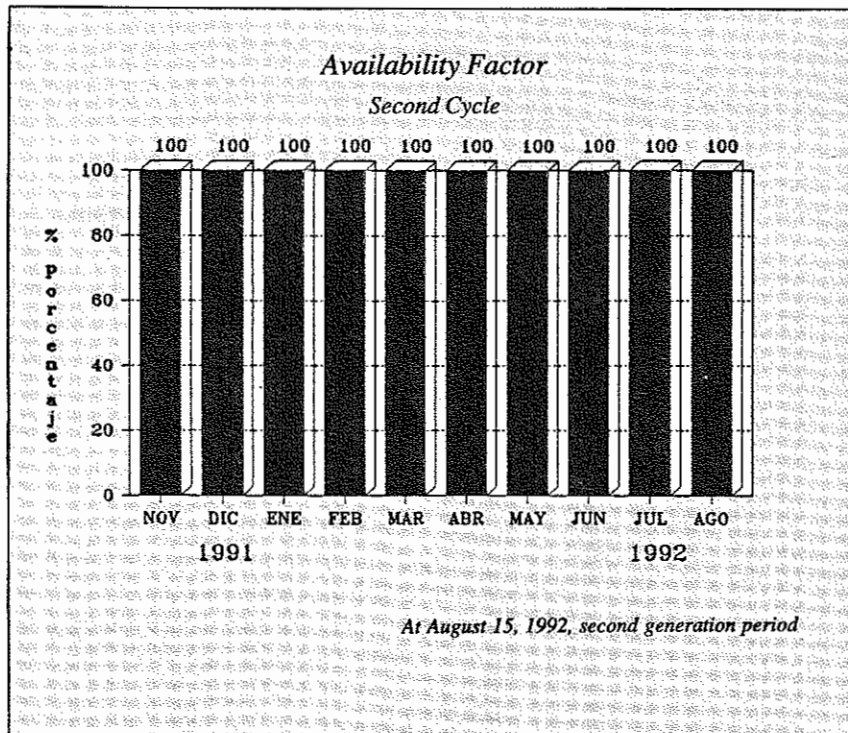
During the first fuel reloading, general maintenance was carried out on the station, and improvements were made in some systems that helped to maintain the operating quality that was achieved during the first cycle. This first fuel reloading lasted 72.4 days, with 7,198 activities and 81 modification packages for



**Continuous Days of Operation
in the First Cycle**

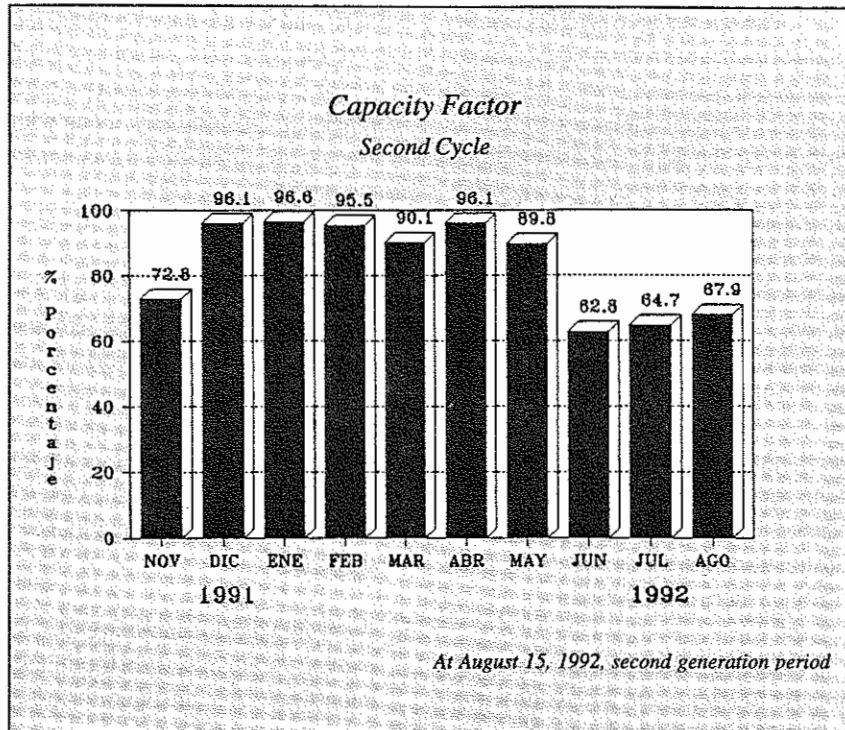
Name of Plant	Days	Name of Plant	Days
1. Laguna Verde	250	27. Fukushima	82
2. Limerick 1	198	28. Cofrentes	78
3. Oyster Creek	197	29. Perry	76
4. Fukushima 6	183	30. Nucleonor	74
5. Fermi 2	168,4	31. Fukushima 2	72
6. Millstone	159	32. Pilgrim	71
7. River Bend	151	33. Browns Ferry 1	71
8. Hope Creek	151	34. Caorso	71
9. La Salle 2	144	35. Quinshan 2	70
10. KKM	144	36. Peach Bottom	69
11. Nine Mile Pt 2	135	37. Dresden 3	69
12. Leibstadt	134	38. Hatch 2	69
13. Susquehanna 2	122	39. Browns Ferry 3	66
14. Clinton	121	40. Browns Ferry 2	64
15. Kuosheng 1	120	41. Duane Arnold	63
16. Cooper	116	42. Nine Mile Point 1	62
17. Tokai 2	111	43. Quad Cities 2	60
18. Grand Gulf	104,2	44. Kuosheng 2	55
19. Hanford 2	101	45. Brunswick 1	54
20. Vermont Yankee	96	46. Fitzpatrick	50
21. Peach Bottom	95	47. Brunswick 2	40
22. Tsuruga 1	90	48. Quad Cities 1	35
23. Limerick 2	89	49. Quinshan 1	32
24. La Salle 1	88	50. Hatch 1	30
25. Susquehanna 1	86	51. Dresden 2	20
26. Monticello	83		

Availability Factor of BWR-Type Plants in the First Cycle		Capacity Factor of BWR-Type Plants in the First Cycle	
Plant	Availability Factor (without reloading)	Plant	Capacity Factor (without reloading)
Leibstadt KKL	99,60	Fukushima 6	91,90
Laguna Verde I	98,70	Laguna Verde I	87,80
Fukushima 6	95,40	Oyster Creek	86,20
Quinshan 2	93,50	Limerick 1	82,60
Cofrentes 2	92,90	Cofrentes	82,00
Kuosheng 2	91,00	Susquehanna 2	81,80
Browns Ferry 3	89,20	KKM	79,80
Caorso	88,80	Quinshan 2	79,80
Susquehanna 2	87,40	Millstone 1	79,10
Pilgrim	87,40	Caorso	78,40
KKM	87,00	Hope Creek	78,40
Limerick 1	86,70	Leibstadt KKL	77,50
Quinshan 1	86,50	Kuosheng 2	75,70
Hope Creek	85,80	Browns Ferry 3	75,50
Fukushima 1	85,70	Fukushima 1	74,40
Quad Cities 1	85,60	Quad Cities 1	73,70
Oyster Creek	85,10	Pilgrim	73,40
Clinton	84,20	Monticello	73,30
Dresden 3	83,70	Dresden 3	72,20
Cooper	83,20	Clinton	71,60
Peach Bottom 2	83,10	Perry 1	71,50
Peach Bottom 3	82,80	Tsuruga 1	70,90
Millstone 1	81,80	Fukushima 2	70,70
Hatch 1	81,00	River Bend	68,90
Duane Arnold	80,30	Quad Cities 2	67,80
Fukushima 2	79,60	Susquehanna 1	67,80
Quad Cities 2	79,20	Hatch 2	67,50
Tsuruga 1	78,80	Tokai 2	67,00
Perry 1	78,20	Peach Bottom 2	66,30
Nucleonor (Garofa)	77,40	Quinshan 1	64,70
Grand Gulf 1	77,20	Peach Bottom 3	62,00
Tokai 2	76,90	Hatch 1	60,30
Fitzpatrick	76,80	Nucleonor (Garofa)	60,30
River Bend	75,80	Brunswick 1	60,00
Hatch 2	75,70	Fitzpatrick	59,60
Monticello	75,30	Fermi 2	58,80
Susquehanna 1	75,10	La Salle 1	58,60
La Salle 1	74,20	Kuosheng 1	57,60
Brunswick 1	74,00	Cooper	57,30
Vermont Yankee	73,40	La Salle 2	56,20
Kuosheng 1	71,40	Duane Arnold	52,90
Fermi 2	70,60	Vermont Yankee	52,80
Brunswick 2	68,30	Grand Gulf 1	52,60
La Salle 2	61,00	Nine Mile Point 1	49,30
Dresden 2	59,80	Brunswick 2	42,50
Nine Mile Point 1	57,50	Dresden 2	39,40
Browns Ferry 1	46,20	Browns Ferry 1	36,10
Browns Ferry 2	43,80	Browns Ferry 2	34,70
Big Rock Point 1	42,20		



Records of Continuous Generation of BWR Plants in their Second Cycle
(updated to September 30, 1992)

Name of Plant	Days	Name of Plant	Days
1. Limerick 2	483	27. Clinton	97
2. Susquehanna	314	28. Brunswick	93
3. Laguna Verde	276	29. Monticello	90
4. Limerick 1	265	30. La Salle 1	88
5. La Salle 2	257	31. WNP 2 (Hanford 2)	87
6. Perry	232.1	32. Hatch	84
7. River Bend	184	33. Fukushima 1	84
8. Hope Creek	176	34. Millstone 1	83
9. Grand Gulf	171	35. Kuosheng 1	82
10. Kuosheng 2	157	36. Fukushima 2	81
11. KKL (Leibstadt)	154	37. Peach Bottom 3	80
12. Cofrentes	151	38. Cooper	79
13. Susquehanna	138	39. Browns Ferry	76
14. Dresden 2	137	40. Oyster Creek	73
15. Fukushima 6	136	41. Pilgrim	69
16. Browns Ferry	134	42. Vermont Yankee	67
17. KKM	129	43. Nine Mile Point 1	66
18. Quad Cities 1	128	44. Nucleonor (Garofa)	63
19. Browns Ferry 3	126	45. Quad Cities 2	61
20. Tokai 2	123	46. Quinshan 1	61
21. Nine Mile Point 2	122	47. Quinshan 2	61
22. Tsuruga 1	111	48. Brunswick 2	59
23. Duane Arnold	108	49. Dresden 3	48
24. Fermi 2	107.7	50. Hatch 1	37
25. Caorso	107	51. Peach Bottom 2	36
26. Fitzpatrick	104		



the station's system, with a radiology dose of 394 rem-man.

The indicators that measure the Unit's operation in the areas of safety, plant performance, and personnel safety were established.

Second Operating Cycle

After the first fuel reloading, the Unit was started up on November 12, 1991.

The charts show the main performance indicators for the Unit, with monthly results.

The second fuel reloading lasted 56.4 days, with 5,323 activities and 73 modification packages for the station's systems, with a radiological dose of 330 rem-man.

Third Operating Cycle

This is the operating cycle that is currently on-line. It began after the end of

the second fuel reloading on October 10, 1992 with the synchronization of the Unit.

4. FUTURE OF NUCLEAR POWER IN MEXICO

The national energy modernization plan, prepared by the Federal Government, considers that the nuclear option is valid to meet the growing demand for electric power and envisages an increase in the installed capacity of nuclear power stations for the year 2010. This increase is defined in two different scenarios: one, the most optimistic, proposes that by the year 2010 nuclear stations will account for 6,900 MW of installed capacity, which would mean 10 units similar in capacity to those of Laguna Verde; the other considers that 3,000 MW will be installed by 2010, that is 5 units.

The installation of new stations would be conditioned in addition by public acceptance, the satisfactory performance of the Laguna Verde units, and the conditions on the market in terms of in-

vestment costs, fuel availability, and lead time for building the new models.

Concerning public acceptance of nuclear power stations, it is important to mention that surveys recently conducted in the United States and in other countries indicate that most people consider the nuclear option as the most important to meet future electric power demand.

In order to keep up-to-date and also to implement the energy modernization plan, which indicates that, by the end of the six-year period, we should have available the basic engineering for reactors that would enable us to standardize the nuclear industry by the first decade of the 21st century, the CFE has initiated its participation with groups, companies, and institutions of various countries that are working on the basic engineering of new models for stations. Thus, we hope that, within a term of no longer than two years, we can rely on various options, in case it is considered advisable to expand nuclear power generation in Mexico.

The operating experience, along with the readiness to rely on simpler, more economical, and safer plants, has led to the development of new types of reactors, where new technologies (digital electronics and computers) are being applied and where also the design of back-up cooling systems is being combined so that, instead of depending on pumps and engines, natural laws such as convection and gravity are being used. In addition, as a rule, modifications are being implemented to simplify operating systems. The above permits avoiding the cost of a proportion of the equipment and components, thus reducing investment costs by 40%, and construction time for these new stations will be no more than four years.

Among the new models of reactors, the following are noteworthy: the advanced boiling water reactor (ABWR), two units of which are being built in Japan and whose reactor was developed by General Electric, Toshiba, and Hitachi; and the simplified boiling water reactor

(SBWR) and the advanced pressurized water reactor (AP-600), which are being designed by General Electric and Westinghouse, respectively, along with an international group of companies and institutions.

5. CONCLUSIONS

1. These achievements are the outcome of various levels of teamwork efforts by the organization, combining planning and implementation of activities. We continue to encourage the optimal development of human resources and materials, maintaining our quality standards.
2. We would like to emphasize that, at present, various factors of the utmost importance have emerged to foster nuclear power, such as:
 - The current short-term development of new and simpler reactors.

- The gradual increase in electricity demand.
- The willingness to preserve the national reserves of hydrocarbons.
- The highly satisfactory operation of the First Unit of Laguna Verde.
- The degree of progress in the construction and generic and preoperational testing of the Second Unit.
- The excellent infrastructure (installations, qualified staff, etc.) that the CFE and other utilities collaborating in Laguna Verde have available.

The above enables us to predict, with a high probability of accuracy, that the time is ripe for Mexico to continue expanding its nuclear power station construction program. ☉