

La decisión de erigir centrales nucleares del tipo

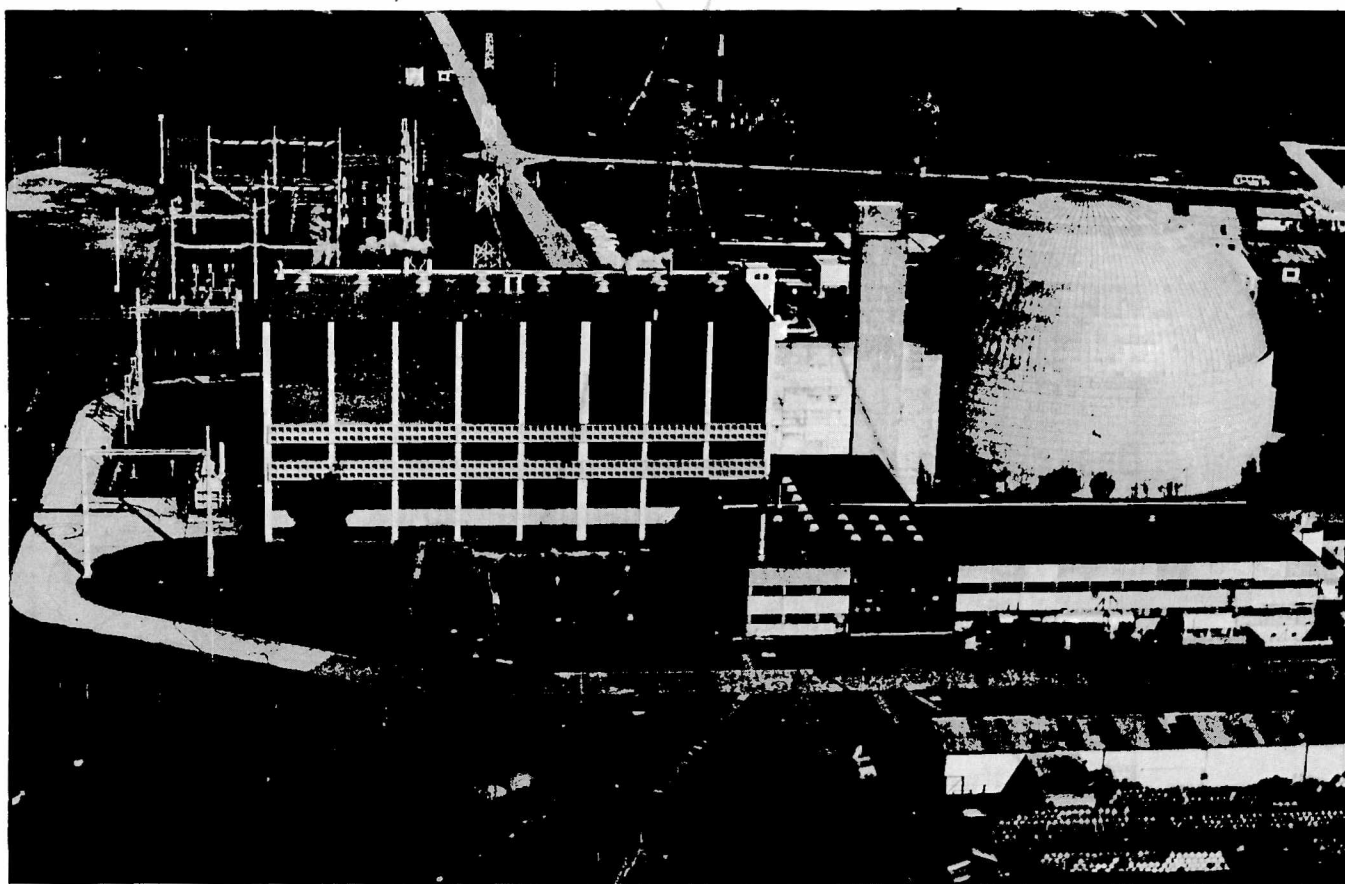
uranio natural y agua pesada

condicionó positivamente el desarrollo del

Plan Nuclear Argentino.

CENTRALES NUCLEARES, DESARROLLO CIENTIFICO Y AVANCE TECNOLÓGICO

*por Jorge O. Cosentino**



Central nuclear de Atucha I, la primera en entrar en operaciones en América Latina. Es considerada una de las usinas nucleoelectricas más eficientes del mundo.

Por primera vez desde que la Argentina inició su camino nuclear independiente, el Foro de la Industria Atómica del Japón cursó una invitación a la Comisión Nacional de Energía Atómica para participar en su Conferencia Anual. Durante la realización del XV encuentro, que congregó a especialistas en energía nuclear de las grandes potencias, el vicealmirante Carlos Castro Madero se refirió a la estrategia de desarrollo de la energía nuclear en la Argentina y el ingeniero Jorge O. Cosentino, asesor del Presidente de la CNEA, describió la experiencia argentina en la construcción y operación de centrales nucleares, trabajo que Quid publica en su totalidad.

En 1965, se completó un primer período de integración de la infraestructura nuclear del país. En ese momento, la Comisión Nacional de Energía Atómica consideró que se podían encarar los planes para la instalación de una primera central nuclear de potencia.

En consecuencia, la CNEA llevó a cabo un estudio de factibilidad que, tras consultas con la Secretaría de Energía, determinó la factibilidad técnica para la instalación de una central nuclear de aproximadamente 300 MWe, que se vincularía al sistema eléctrico nacional. Aunque la CNEA ya era consciente de las ventajas ofrecidas por las centrales de uranio natural (desde el punto de vista de la autosuficiencia del ciclo de combustible), la falta de propuestas concretas que permitiesen tomar una decisión global determinó que se abriesen licitaciones para ambos tipos de planta: uranio natural y enriquecido.

Los costos de generación de las centrales de uranio natural eran ligeramente mayores que los de las otras. Sin embargo, evaluaciones más ajustadas de las propuestas demostraron que los costos del uranio enriquecido eran inciertos; en particular, si se tomaba en cuenta la evolución eventual de varios parámetros del ciclo de combustión. Además, sería difícil para el país lograr un dominio completo del ciclo de combustible enriquecido.

Tales consideraciones orientaron la decisión a favor del tipo de reactor de uranio natural y agua pesada. Entre ellos, se eligió finalmente una pro-

puesta hecha por Siemens para construir una central de 340 MWe con un reactor de recipiente de presión.

CENTRAL NUCLEAR DE ATUCHA

A fines de mayo de 1968 se firmó el contrato llave en mano, el cual incluía varias cláusulas que aseguraban la participación de empresas locales, en especial, constructoras e industriales. En el contrato se fijaba la fecha de entrada en operaciones de la central en junio de 1972.

Además de su papel normal como "propietario" en un contrato de este tipo, la CNEA tomó a su cargo las responsabilidades adicionales siguientes: 1) proporcionar la infraestructura para la instalación; 2) dar forma a un plan para promover la participación de la industria local; 3) obtener el agua pesada necesaria; 4) seleccionar y preparar al equipo de operación y 5) como autoridad reguladora nacional, dar la licencia a la central.

La construcción se inició de inmediato después de la firma del contrato y durante la primera etapa el proyecto avanzó de acuerdo con lo programado. Sin embargo, surgieron inconvenientes en la fabricación del recipiente de presión y en el comportamiento de los elementos combustibles. Estas dificultades obligaron a postergar la puesta en funcionamiento de la central hasta junio de 1974.

Excepto esos dos problemas, no hubo otras dificultades técnicas durante la construcción, caracterizada por el manejo eficiente de la empresa proveedora. Eficiencia que fue favorecida por el tipo de contrato, que dejaba al proveedor la mayor responsabilidad, lo cual eliminó interferencias y retrasos. De todas maneras, el personal de la CNEA participó del proyecto y fue preparado para la operación futura de la central.

La participación de la industria local excedió lo esperado y alcanzó a un 38% del total contratado. Sin embargo, en su mayoría se trató de obras civiles y provisión de elementos electromecánicos, con inclusión de una mínima participación de empresas de ingeniería.

Aunque el decreto gubernamental que autorizó la construcción de la central dio a la CNEA la responsabilidad inicial para dar forma al proyecto, no especificaba qué organismo sería el encargado de operar la planta. Varios hechos llevaron progresivamente a la idea de que la CNEA no sólo debía ser la encargada de completar la construcción sino que también debería estar a cargo de su operación. En consecuencia, desde la sincronización de Atucha I con la red eléctrica en marzo de 1974, ha sido manejada por la CNEA como una central de base, con un elevado factor de disponibilidad.

La operación de una primera central nuclear de potencia en un país con las características de la Argentina, habitualmente requiere la solución de varias dificultades iniciales. Ellas eran relativas a la planta tanto como a la organización operativa y al personal. Sin embargo, la central no mostró mayores dificultades sistemáticas que pudiesen afectar su funcionamiento; por lo contrario, los márgenes de reserva, característicos de este diseño original, permitieron aumentar la capacidad de generación en aproximadamente un 8% desde comienzos de 1977. El proveedor ha brindado siempre un apoyo eficiente que contribuyó al éxito en la operación de la central. Exito que también fue consecuencia del apoyo otorgado por los diferentes grupos de investigación y desarrollo de la CNEA en la resolución de problemas.

Por ejemplo, podemos mencionar la capacidad desarrollada por la CNEA para diseñar y fabricar sus propios elementos combustibles. Sobre esa base fue puesta en funciones recientemente una moderna planta de fabricación de elementos combustibles, administrada por una empresa mayoritariamente privada, en la cual la CNEA posee parte del capital.

Atucha I proporciona energía eléctrica a la red nacional interconectada, con una contribución que representa entre el 8 y el 10% de la totalidad de la energía generada por el sistema, en relación a la demanda.

Asimismo, Atucha I es un destacado centro de formación y adiestramiento

* El ingeniero Jorge O. Cosentino, asesor del Presidente de la Comisión Nacional de Energía Atómica, es académico de número de la Academia Nacional de Ciencias y de la Academia de Ingeniería de Buenos Aires. Hasta 1981 fue Director de Centrales Nucleares de la CNEA y se desempeñó como Presidente de la Empresa Nuclear Argentina de Centrales Eléctricas (ENACE). Fue presidente de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear y el primer ingeniero argentino que obtuvo la licencia de Director de Centrales Nucleares.

para el personal que eventualmente estará a cargo de las otras centrales del Plan Nuclear Argentino. Los cursos en el centro de adiestramiento de Atucha I reciben a personal de la CNEA, de las empresas privadas que participan en el Plan Nuclear y de profesionales de otros países.

CENTRAL NUCLEAR EMBALSE (CNE)

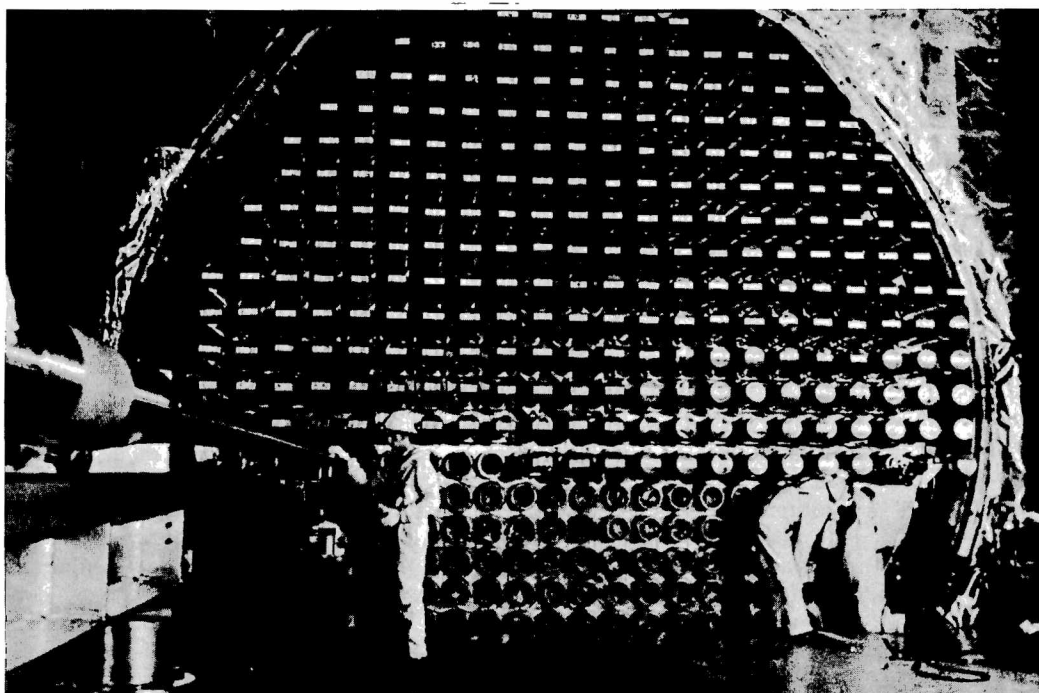
Hacia fines de la década del sesenta, la CNEA llevó a cabo estudios de factibilidad para una central nuclear que se instalaría en la provincia de Córdoba. Como hacia esa fecha no se había decidido la interconexión con la red eléctrica nacional, cuando se llegó a esa decisión fue necesario

la participación local hubiesen brindado sólo beneficios aleatorios.

Al igual que en el caso de Atucha I, las consideraciones económicas mostraron que la alternativa uranio natural-agua pesada era casi equivalente a la que implicaba uranio enriquecido. Estas consideraciones se aplicaban particularmente a las propuestas del consorcio Atomic Energy of Canada Ltd.-Italmimpianti (AECL-IT) para construir una central con un reactor del tipo tubos de presión, ya que el costo de propuestas alternativas correspondientes al tipo recipiente de presión reflejaba las en ese entonces importantes dificultades técnicas del diseño con un recipiente único.

La oferta de AECL incluía asimismo un Acuerdo de Transferencia de Tec-

El contrato entró en vigencia en abril de 1974 pero, muy poco después, la situación mundial impulsó al gobierno canadiense a modificar sus requerimientos de salvaguardias. Asimismo, a mediados de 1975 y como consecuencia de la distorsión económica causada por la crisis del petróleo, el contratista solicitó una renegociación que fue aceptada y completada un año más tarde. Ambas circunstancias afectaron seriamente el proyecto en sus primeros años, razón por la cual la pared perimetral del reactor recién fue terminada en julio de 1976. La implementación del ATT también fue postergada por las mismas razones. En tales condiciones, completamente distintas de las previstas en el contrato, fue que se iniciaron las obras,



La Comisión Nacional de Energía Atómica, como consecuencia de un acuerdo firmado con AECL del Canadá, se hizo cargo del montaje de Embalse. Un equipo técnico en plena tarea.

ajustar los estudios para hacerla compatible. Se precisó que la mayor capacidad de potencia sería de 600 MWe y hacia 1972 la CNEA llamó a licitación, nuevamente sin preseleccionar el tipo de combustible que se usaría. Tomando en cuenta la limitada transferencia de know-how en ingeniería básica y de detalle que se había obtenido de Atucha I, la CNEA acentuó sus requerimientos en este campo, sin olvidar la participación de la industria local. La experiencia previa había mostrado la necesidad de establecer capacidades de ingeniería locales a fin de asegurar la continuidad y la proyección de la participación argentina. De otra manera, los esfuerzos económicos y técnicos puestos en marcha para asegurar la parti-

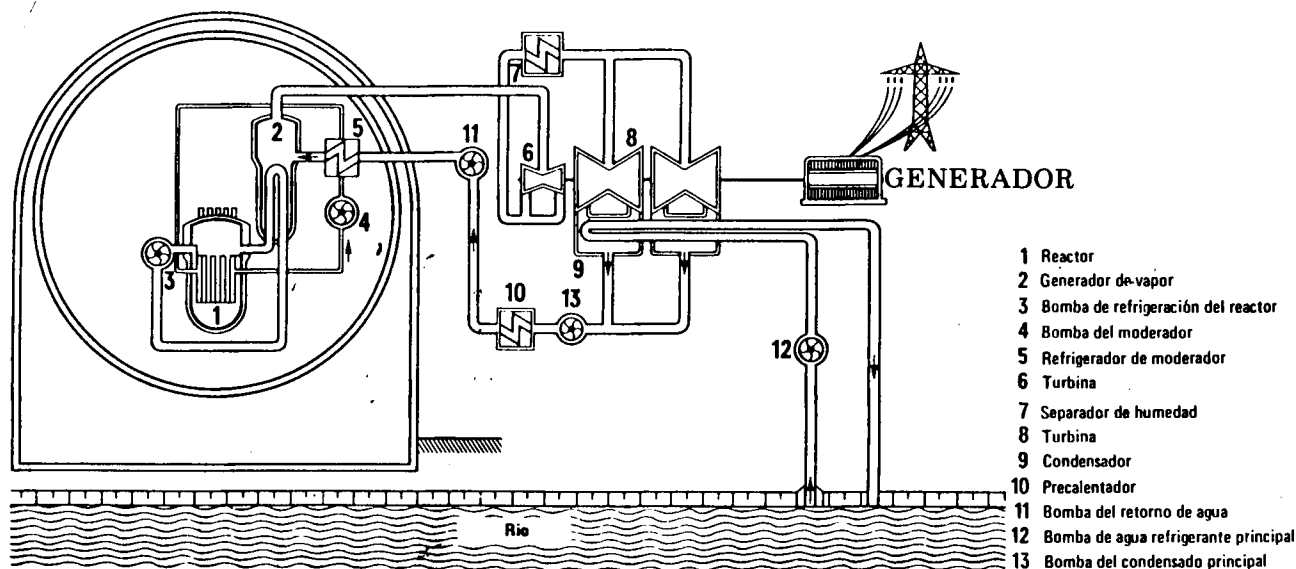
nicipación local hubiesen brindado sólo beneficios aleatorios. Al igual que en el caso de Atucha I, las consideraciones económicas mostraron que la alternativa uranio natural-agua pesada era casi equivalente a la que implicaba uranio enriquecido. Estas consideraciones se aplicaban particularmente a las propuestas del consorcio Atomic Energy of Canada Ltd.-Italmimpianti (AECL-IT) para construir una central con un reactor del tipo tubos de presión, ya que el costo de propuestas alternativas correspondientes al tipo recipiente de presión reflejaba las en ese entonces importantes dificultades técnicas del diseño con un recipiente único.

La oferta de AECL incluía asimismo un Acuerdo de Transferencia de Tecnología (ATT), por el cual la empresa se comprometía a transferir toda la información de su propiedad acerca de este tipo de centrales y a otorgar las licencias correspondientes para su uso por la CNEA en la construcción de centrales similares en la Argentina. Además, el consorcio se comprometía a realizar una parte importante del trabajo de ingeniería de detalle en el país. Todos estos factores volcaron la decisión a favor de la oferta de AECL-IT. El contrato —llave en mano— se firmó en diciembre de 1970 y se estableció el 1 de enero de 1980 como fecha de entrada en funcionamiento de la central. Se esperaba que la participación local en la construcción fuese de un cincuenta por ciento.

limitadas a la parte civil y a las construcciones auxiliares realizadas aquí. Durante la segunda mitad de 1977 llegaron al país los primeros componentes nucleares pesados, aunque surgieron una serie de discusiones acerca de las cláusulas contractuales que se referían a la instalación de aquéllos. Estas nuevas negociaciones llevaron parte de 1978. En tales circunstancias, y sin liberar a AECL de su responsabilidad final, la CNEA tomó a su cargo las tareas de construcción del sector nuclear, las más críticas de acuerdo con la programación. Una vez que hubo acuerdo sobre los puntos del contrato, las cuestiones técnicas se resolvieron sin mayores problemas y con gran participación local, aún en trabajos delicados como

DIAGRAMA DEL REACTOR DE AGUA PESADA A PRESION

Central nuclear con reactor de agua pesada a presión
Diagrama simplificado



el montaje de las tuberías de combustible. Posteriormente, cuando llegó el momento de instalar tuberías, conductos de ventilación, cables, etcétera, los contratistas estuvieron dispuestos a derivarlo hacia empresas de plaza. A diferencia de Atucha I, las firmas locales tuvieron la oportunidad de participar en la etapa de construcción, lo cual requirió nuevos acuerdos entre las partes. Se estableció, entonces, un mecanismo por el cual la CNEA actuaría como coordinador general para los trabajos de construcción y erección del sector nuclear. En este marco, se produjo una cooperación cada vez mayor entre la CNEA, la AECL y los proveedores locales. A partir de entonces, el progreso en la construcción fue constante. Actualmente, se ha completado la construcción en un 98 por ciento. Pero es preciso mencionar que se detectaron defectos significativos en los tubos de los generadores de vapor después de que éstos habían sido instalados en su ubicación definitiva en el edificio del reactor. Dado que retirarlos para su reparación en el Canadá hubiese significado un retraso muy importante en el programa, AECL decidió repararlos "in situ". Esta difícil tarea fue completada con éxito y permitió continuar con el resto de las actividades en el edificio del reactor, excepto en las áreas directamente vinculadas con las reparaciones.

Ya han comenzado las pruebas de la central. En el sector convencional, que siempre permaneció bajo la respon-

sabilidad de Italimpianti, el generador alcanzó su velocidad nominal con vapor auxiliar y, además, fue sincronizado experimentalmente con la red por primera vez el 14 de enero de 1982. En lo que hace al sector nuclear, se espera que estará en punto crítico a fines de este año y la operación comercial empezará hacia abril de 1983. En esta etapa del proyecto, AECL reasumió la coordinación general, la cual, como se mencionó, había sido transferida a la CNEA durante la construcción.

Aunque hubo retrasos significativos en relación con el programa inicial del proyecto, estuvieron vinculados —excepto el caso del generador de vapor— con problemas contractuales y de organización antes que técnicos. En compensación, esto dio la oportunidad para una importante participación local en las etapas de construcción e ingeniería de detalle.

CENTRAL NUCLEAR ATUCHA II

A finales de 1974, la CNEA inició negociaciones con AECL con vistas a la construcción de una segunda central en Atucha, bajo el marco del ATT. Sin embargo, las dificultades para implementar el acuerdo de Embalse llevaron a un punto muerto. Por otra parte, tomando en consideración los resultados positivos brindados por Atucha I la CNEA exploró la posibilidad de construir una nueva planta

de este tipo; pero los primeros resultados no fueron alentadores. En 1976 se hizo un tercer intento: se buscó combinar un reactor de tipo canadiense con equipos convencionales y asistencia de proyectos alemanes, aunque tampoco se pudieron obtener resultados concretos. Finalmente, en 1977, la CNEA ordenó la realización de un estudio de factibilidad con KWU a fin de establecer si: 1) las dificultades tecnológicas que predominaron en el momento de la decisión acerca de Embalse habían desaparecido, y 2) si sobre la base del concepto de Atucha I se podría obtener una potencia de alrededor de 600 MWe, cumpliéndose con las normas de seguridad vigentes. En vistas de los resultados positivos de este estudio y del renovado interés de AECL por participar en el proyecto, se llamó a licitación, ya no como un hecho aislado sino dentro del marco de un programa a largo plazo.

Se había advertido que mientras Atucha I y Embalse habían permitido un desarrollo inicial de la participación local se hacía necesario formular un programa de largo plazo que justificara las inversiones necesarias y permitiría materializar los mecanismos previstos para la transferencia de tecnología.

De esa forma, a principios de 1979 el gobierno nacional aprobó el programa nuclear que incluye la construcción de cuatro centrales nucleares de 600 MWe del tipo uranio natural y agua pesada. El inicio de las opera-

ciones comerciales fue fijado para 1987, 1991, 1994/5 y 1997, respectivamente.

Se realizó un nuevo llamado a licitación, pero esta vez limitado a centrales del tipo mencionado y con abandono del concepto llave en mano; se proponían ofertas separadas para el sector nuclear y el generador. También se solicitaron propuestas para asistir a la CNEA en la organización del equipo necesario para llevar adelante el proyecto y en la promoción de la capacidad de ingeniería local en esta área.

Después de analizar las propuestas recibidas, se dirigió una carta de intención a la KWU a finales de 1979 y los contratos se firmaron en mayo de 1980. En ese momento se constituyó la Empresa Nuclear Argentina de Centrales Eléctricas (ENACE) con el objetivo de promover y coordinar las capacidades locales en el manejo de centrales nucleares. El 75% del capital inicial de la compañía pertenece a la CNEA y el 25% a la KWU, cuya participación decrecerá gradualmente a medida que se reemplace su capital por el de empresas de ingeniería nacionales.

En el caso particular de Atucha II, la responsabilidad de la ENACE incluye el manejo de los suministros y los servicios locales y la administración, en nombre de la CNEA, de los contratos firmados entre la CNEA y la KWU referidos a los suministros y servicios importados.

La forja de las piezas de acero para los componentes nucleares pesados y la preparación del proyecto de ingeniería se iniciaron de inmediato en Alemania apenas se conoció la carta de intención. En la Argentina, la construcción de la planta comenzó oficialmente el 15 de julio de 1981, con la primera colada de cemento en la base del edificio del reactor.

El trabajo en este proyecto avanza sin mayores dificultades técnicas y se ha podido encargar la fabricación de componentes importantes a empresas de plaza. Por ejemplo, la fabricación de los generadores de vapor, el presurizador, los intercambiadores de calor del moderador, el conformado y el montaje de la esfera de contención.

Entretanto, la ENACE empezó a formar su propio personal. Se espera que durante este año Alemania trans-

ferirá a la Argentina parte o trabajo de ingeniería.

Por otra parte, como resultado de la acción de promoción de la ENACE, las empresas argentinas de ingeniería están participando en la ingeniería de la obra civil, los sistemas de tuberías nuclear y convencional, los sistemas de ventilación, etcétera.

La CNEA firmó los acuerdos necesarios de asistencia y licenciamiento con empresas extranjeras calificadas para su uso por los fabricantes locales, a quienes se les está proporcionando la información correspondiente.

Aunque en esta etapa temprana del proyecto es difícil sacar conclusiones acerca de la estructura organizativa puesta en marcha, los resultados obtenidos parecen indicar que se repetirá la eficiente experiencia de manejo de Atucha I y que la participación local aumentará en comparación con Embalse.

Simultáneamente con Atucha II, la CNEA llamó a licitación para la construcción de una planta industrial de agua pesada que proveerá 250 toneladas anuales, contratada con la empresa Sulzer.

Sobre la base de la capacidad desarrollada por la CNEA durante la construcción de Atucha I en la producción de elementos combustibles para este tipo de reactores, actualmente se trabaja en conjunto con KWU en un programa de combustible destinado a obtener menores costos de generación en Atucha II.

OPERACION DE LA CENTRAL NUCLEAR ATUCHA I

ITEM	AÑO							
	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
Generación neta (kwh x 10 ⁶)	743	2.358	2.409	1.537	2.712	2.504	2.182	2.648
Factor de carga (%)	60.7	85.6	87.2	55.9	92.4	85.3	74.1	90.2
Horas en servicio (hs)	3.080	7.725	7.808	4.652	8.025	7.552	6.950	8.124
Factor de operación (%)	67.2	88.2	88.9	53.1	91.6	86.2	79.1	92.7
Factor acumulativo de carga (%)	60.7	77.9	81.7	74.2	78.5	79.8	78.9	80.5
Consumo de elementos combustibles	82	377	388	280	462	413	358	444
Quemado promedio (Mwd/tU)	4.660	5.740	5.930	5.370	5.470	5.600	5.870	5.680
Elementos combustibles nacionales	—	—	—	1	1	7	56	172
Pérdidas de agua pesada (kg)	744	956	1.442	2.664	2.090	1.874	1.708	1.689
Salidas de servicio	18	6	12	9	5	9	2	8
Paradas de mantenimiento	5	1	—	1	—	—	1	—

LA CUARTA CENTRAL NUCLEAR

De acuerdo con el cronograma del Plan Nuclear Argentino, la cuarta central debería estar en operaciones en 1991. En principio, habrá de ser del tipo tubos de presión. Sobre la base de la experiencia de las centrales anteriores, así como del tiempo transcurrido entre el inicio y la puesta en funcionamiento (10 años para atucha I, 13 para Embalse y 13 para Atucha II), la CNEA decidió instalar a mediados de 1981 la elaboración necesaria para tomar una decisión que no debe sobrepasar finales de 1983.

La disyuntiva uranio natural-uranio enriquecido ha desaparecido en la actualidad y la fecha de puesta en marcha de la central ya está establecida en el Plan Nuclear. De manera que las fechas para las decisiones se



Aspecto general del Centro Atómico Ezeiza, cuyas instalaciones contribuyen a colocar a la Argentina en el máximo nivel científico y tecnológico de la América Latina.

acercarán en comparación con las experiencias anteriores. Sin embargo, no se pueden subestimar las dificultades que surgirán en la elección del tipo de reactor para esta central. La decisión de principio de que el reactor debería ser del tipo de tubos de presión refleja la opinión —prevaleciente entre muchos de quienes están vinculados al Plan Nuclear— de que este concepto es más ventajoso desde varios puntos de vista, como la integración nacional y el costo de generación.

Esta decisión probablemente afectará no sólo la cuarta central sino también a las centrales posteriores del Plan, por lo cual requiere un análisis muy cuidadoso. Por tal razón, la CNEA decidió empezar a tratar el tema sin demora. Los resultados que se obtengan de las etapas aún pendientes en Embalse, incluyendo la ejecución del ATT, los progresos en el proyecto de Atucha II y la experiencia obtenida por la ENACE serán tenidas sin duda en cuenta en el momento de tomar las decisiones. 

Desde que se inició su operación, Atucha I tuvo un desempeño muy eficiente, que la coloca entre las primeras centrales nucleares del mundo. Los datos del cuadro así lo muestran (debe tomarse en cuenta que la operación empezó a mediados de 1974). El primer ítem, *generación neta* indica que, sobre una previsión de $2.200 \text{ kwh} \times 10^6$, la central sobrepasó la cifra (excepto en 1977 y 1980, cuando se realizaron paradas de mantenimiento). El segundo ítem, *factor de carga*, muestra que, en todos los casos, la relación entre la energía eléctrica producida en el período y la energía máxima que la central habría producido si se hubiese operado a la máxima potencia fue muy alta (el promedio mundial oscila alrededor del 60%). El tercer punto, *horas en servicio*, señala un marcado progreso, con oscilaciones debidas a disminución de la demanda o capacidad de la red eléctrica. El ítem *factor de operación* muestra el elevado porcentaje de funcionamiento de la central sobre el total de 8760 horas del año.

El punto siguiente, *factor acumulativo de carga*, destaca un porcentaje muy elevado (80,5%) para el total de años de vida de la central. El *consumo de elementos combustibles* está directamente relacionado con la generación de energía, mientras que el ítem *quemado promedio* indica la eficiencia en el manejo de los elementos combustibles de la central y los programas de recambio de éstos con la central en funcionamiento.

El octavo ítem subraya el progreso realizado por la CNEA en el campo de la producción de *elementos combustibles*. Los usados hasta 1981 provinieron de la planta piloto, mientras que en 1982 Atucha I utilizará solamente *elementos combustibles nacionales* producidos en la fábrica inaugurada el 2 de abril de este año.

El punto *pérdidas de agua pesada* muestra que sobre un valor de pérdida normal evaluado en 2.700 kg por año sobre 300 toneladas existentes en el sistema de la central, Atucha I se mantiene por debajo de esa cifra. El ítem siguiente registra las *salidas de servicio* intempestivas, por inconvenientes en el sistema y el último, cuáles fueron las *paradas de mantenimiento*, programadas cada dos o tres años para revisión y reparaciones.