

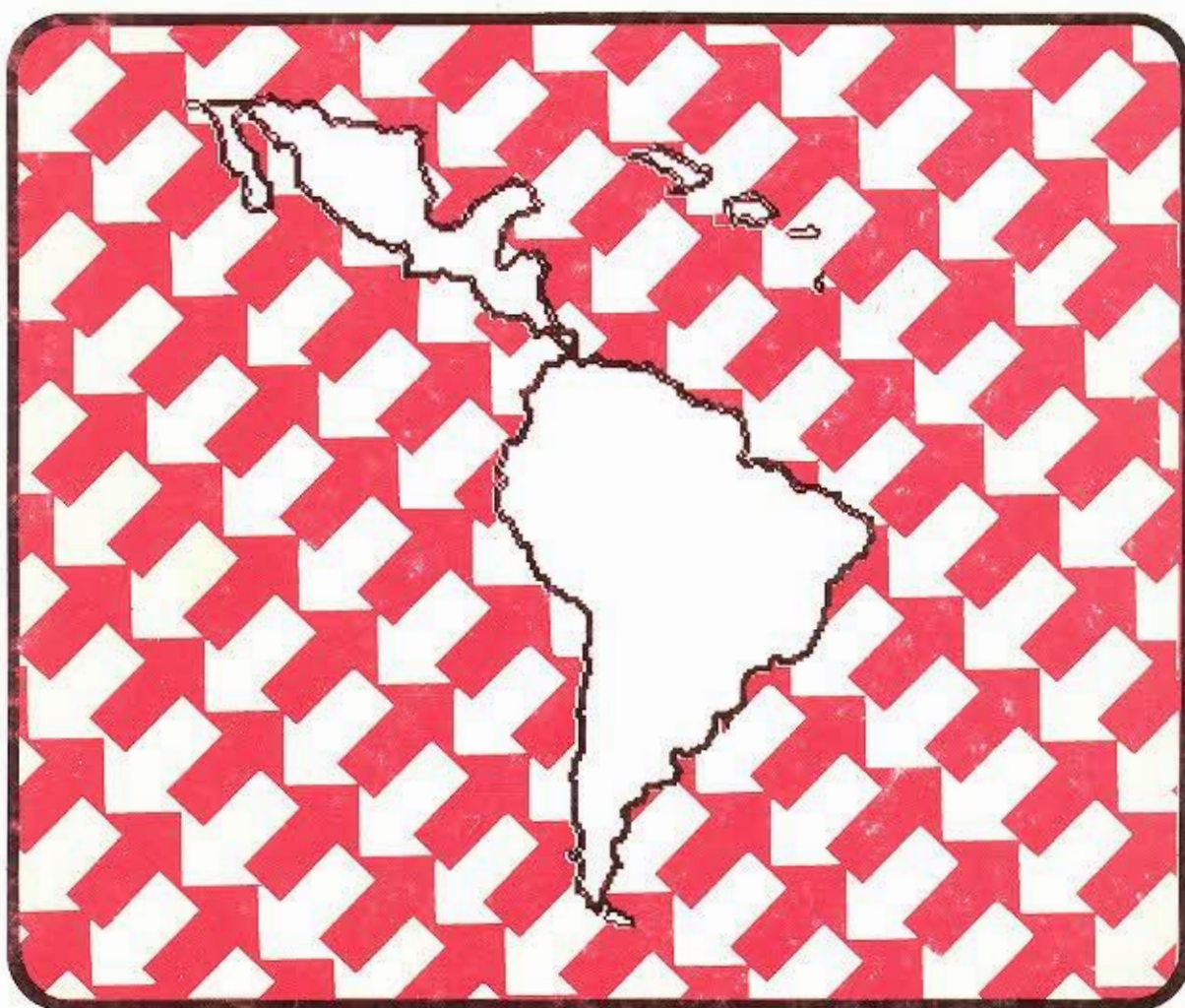
Revista Energética



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



Desarrollo Nucleoeléctrico en Argentina

Comisión Nacional de Energía Atómica de Argentina

1. INTRODUCCION

El desarrollo nucleoelectrico en la República Argentina tiene una importancia notoria en lo que constituye su fuente de abastecimiento electro-energético.

Las centrales nucleoelectricas en operación, una en construcción, una planta de agua pesada próxima a inaugurarse y la concreción del ciclo de combustible, son elementos que indican el grado de desarrollo alcanzado.

2. ANTECEDENTES

La Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) realizó desde su creación una acción que le permitió contar en 1964 con una infraestructura apta para acometer una obra de la magnitud de una central nuclear.

A través de las sucesivas actividades vinculadas a los reactores de experimentación, la CNEA obtuvo una gran experiencia en el manejo de las instalaciones nucleares.

Posteriormente y ante las necesidades energéticas del país, en la CNEA, se iniciaron los estudios orientados a la instalación de centrales nucleares en el país.

En la actualidad, es decir el año 1993, la CNEA opera dos centrales

nucleares y tiene una en construcción, cuyo arquitecto industrial es la Empresa Nuclear Argentina Centrales Eléctricas S.A., integrada por la CNEA con el 75% de las acciones y la Empresa Siemens S.A. con el 25% del paquete accionario. Por otra parte, contribuyó a la creación e integra una empresa mixta de construcción de elementos combustibles y próximamente inaugurará una planta industrial de producción de agua pesada.

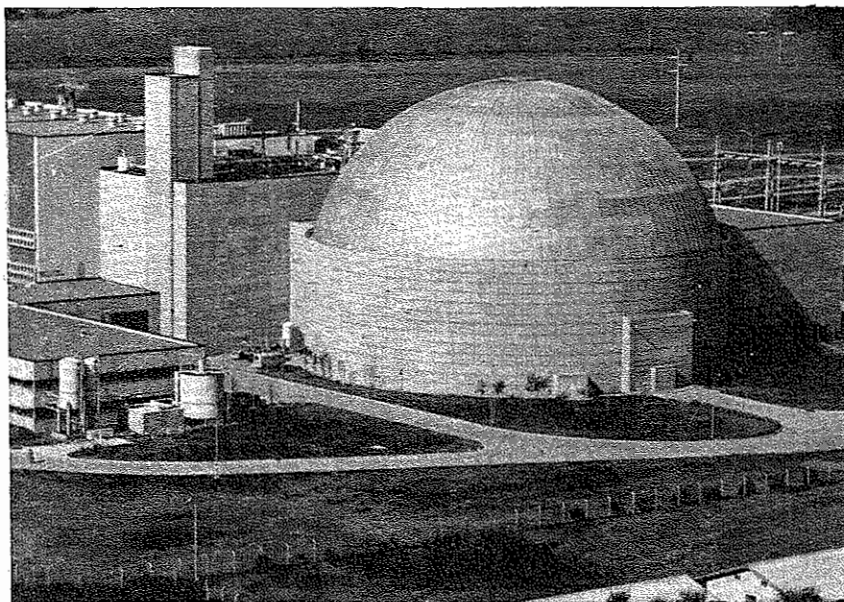
3. CENTRAL NUCLEAR ATUCHA I

A unos 100 kilómetros al noroeste de la Capital Federal, en el pueblo de Lima, cerca de la localidad de Atucha (partido de Zárate), se levantó la primera central nuclear de la República Argentina.

Tiene una potencia de 335 MW eléctricos netos, que se agregan al sistema interconectado nacional.

Esta central nuclear marca el comienzo de una nueva etapa en la evolución electroenergética nacional. Incorpora el uranio a los recursos energéticos aprovechados del país, con la consiguiente economía de petróleo y gas natural.

A fin de lograr el máximo grado de participación de la industria argentina en el proyecto, la CNEA llevó a cabo, primero, un amplio estudio de la capacidad industrial del país y ejerció luego una acción de



Vista de la Central Nuclear de Atucha I

esclarecimiento y estímulo, a fin de concientizar a los empresarios acerca de los requerimientos de la tecnología involucrada.

Esta participación ha sido importante, ya que su volumen alcanzó al 40% del costo total del proyecto. Con respecto a las obras civiles, la contribución de la industria argentina representó el 90% de las mismas.

Los profesionales y técnicos que operan la central han recibido, primero, cursos especiales en centrales nucleares de Alemania, en la firma proveedora y en la CNEA.

El 13 de enero de 1974, el reactor de la central nuclear entró en un estado crítico. Esto significa que se inició el proceso de fisión destinado a producir la energía que, por medios adecuados, se transforma en electricidad.

La potencia instalada significa actualmente el 3% de la potencia total. Desde su entrada en servicio (junio de 1974) hasta fines del año 1992, tiene un factor de disponibilidad acumulado del

73,7% y de carga 66,6%. Hasta esa fecha, la generación bruta de la CNA I fue de 38.241.000 GWh.

Para 1992, el factor de carga resultó 76% y el de disponibilidad el mismo valor.

4. CENTRAL NUCLEAR EMBALSE

La Central Nuclear Embalse, situada en la provincia de Córdoba, posee una potencia neta de diseño de 600 MW eléctricos. Fue construida por un consorcio italo-canadiense, integrado por las empresas Atomic Energy of Canada Ltd. (AECL) e Italmipianti S.p.A. (IT). En la obra participaron la propia CNEA y empresas argentinas del sector privado. La construcción comenzó en 1974, completándose en 1983.

Su reactor es del tipo de tubos de presión CANDU. Utiliza uranio natural como combustible y agua pesada como moderador y refrigerante. Concebida como central de base, con un factor de carga del 85%, puede suministrar a la red

4.470.000 MWeh por año. El turbogruppo de la central es la unidad de generación eléctrica de mayor potencia de la Argentina.

En 1983, con la incorporación de Embalse, la participación del sector nuclear en la potencia instalada se incrementó hasta el 7%, aún si se toma en cuenta la entrada en servicio de diversas centrales hidroeléctricas y térmicas convencionales. Se iniciaron los estudios de factibilidad para la instalación de la Central Nuclear en Embalse en 1967, a requerimiento de la provincia de Córdoba.

En 1971, luego de analizarse las diversas posibilidades de módulo y localización, se llamó a concurso de ofertas.

A mediados del año siguiente, se produjo su recepción, registrándose ocho propuestas, realizadas por seis empresas de cinco países diferentes. Las ofertas contemplaban alternativas de uranio natural y uranio enriquecido.

De la evaluación, surgió la decisión de confirmar la línea de uranio natural y agua pesada, adoptada ya en Atucha I, y la adjudicación de la Central Nuclear Embalse se efectuó al consorcio Atomic Energy of Canada Ltd.-Italmipianti.

La firma del contrato se realizó el 20 de diciembre de 1973 y los trabajos en el terreno fueron iniciados el 7 de mayo de 1974.

En febrero de 1977, se iniciaron las actividades de montaje electromecánico de la central. Para ello, la CNEA creó una organización especial de montaje, que encaró en forma directa la prefabricación e instalación de las cañerías empotradas del edificio de servicio. Ese mismo año, también se concretó el montaje de la calandria del reactor. La instalación de los generadores de vapor y del presuri-

zador se cumplió en 1978, así como la del puente grúa del edificio de turbinas, cuya capacidad de izaje es de 380 toneladas.

La instalación de los canales de combustible del reactor, también con la participación de la CNEA, se concretó en 1979, ampliándose la organización establecida por esta última para las tareas de montaje, cubriendo así una mayor gama de servicios. Ese mismo año, comenzó el montaje de las calderas auxiliares y de la instrumentación del área convencional.

Otro evento clave en la evolución de la obra consistió en la decisión de la CNEA de asumir el papel de subcontratista principal de construcción del área nuclear, ante Atomic Energy of Canada Ltd., lo que permitió facilitar el avance de la obra, a la vez que contribuyó a incrementar la transferencia de tecnología de Canadá.

La importancia y complejidad de la obra se reflejan en los hitos técnicos del año 1980. Ese año, se instaló la computadora de procesos. Comenzó el montaje de la casa de bombas. Finalizó el montaje de los mecanismos de reactividad. Fueron montadas las bombas principales del circuito primario. Se inició la instrumentación del área nuclear. Fue puesta en marcha la planta de tratamiento de agua y se finalizó la instalación del turbogruppo.

Ensayos y pruebas previos a la puesta en marcha, incluida la prueba de presión del edificio del reactor y la puesta en marcha del turbogruppo, con vapor proveniente de calderas auxiliares, se concretaron en 1981. A partir de diciembre de ese año se iniciaron las tareas de puesta en marcha del reactor y sus auxiliares, con el cual el proyecto ingresó en su fase decisiva.

En enero de 1982, se concretó la primera sincronización de prueba a la red

de 132 kilovoltios, a la par que se completaron las últimas etapas de montaje.

En diciembre de 1982, se inició la carga de agua pesada en el reactor y, en ese mismo mes, se completó en tiempo récord la carga manual de los 4.560 elementos combustibles que constituyen el núcleo.

Un reactor nuclear se pone crítico en el punto en que la reacción de fisión se torna autosostenida. En 13 de marzo de 1983, a las 15:54 horas, el reactor alcanzó ese estado. El 25 de abril a las 10:14 horas, la Central Nuclear Embalse fue sincronizada a la red del sistema interconectado nacional, suministrando energía eléctrica generada con vapor nuclear.

Un comentario final sobre la obra civil permitirá percibir las dimensiones de la obra y de la participación nacional. La obra civil, como se dijo anteriormente, fue un 100% de provisión local. Requirió 700 mil metros cúbicos de movimiento de tierra, 80 mil metros cúbicos de hormigón y 8 mil toneladas de hierro estructural. Para el hormigonado del edificio del reactor, cuya pared mide 110 centímetros de espesor, se utilizó un encofrado deslizante que ascendió hasta 42 metros de altura.

Ubicación Geográfica

La Central Nuclear Embalse se encuentra a 110 kilómetros al sudoeste de la ciudad de Córdoba.

Sus instalaciones se hallan en la costa sur del embalse del río Tercero en una pequeña península conocida con el nombre de Península de Almafuerte, a 665 metros sobre el nivel del mar.

La potencia bruta instalada significa actualmente el 4,8% del total. Desde su entrada en servicio (el 20 de enero de 1984) hasta fines de 1992, tiene un factor de disponibilidad acumulado de

84,81% y de carga acumulado de 78,62%; hasta esa fecha la generación bruta de la Central Nuclear Embalse fue de 40.203.900 MWh. Para el año 1992, el factor de carga resultó 82,55% y el de disponibilidad 84,24%.

5. CENTRAL NUCLEAR ATUCHA II

Actualmente, se halla en construcción la tercera central nuclear argentina, Atucha II (CNA II). Se levanta a escasos metros de la primera, a poco más de 100 kilómetros al noroeste de la Capital Federal, en la margen derecha del río Paraná y próxima a la localidad de Lima, partida de Zárate, provincia de Buenos Aires.

La República Argentina adoptó para sus centrales la línea de reactores de uranio natural, porque en comparación con la línea de uranio enriquecido permite alcanzar el dominio total del ciclo del combustible en el país, ofreciendo al mismo tiempo la posibilidad de una mayor participación de la industria nacional en la fabricación de los distintos componentes.

Al igual que Atucha I, se trata de una central del tipo PHWR, es decir, con un reactor del tipo de recipiente de presión, en cuyo interior se colocan los elementos combustibles que forman el núcleo.

El combustible a utilizar es uranio natural, el que al fisionar produce alta temperatura, la que es extraída por un medio refrigerante, agua pesada, que circulando por dos circuitos similares entrega ese calor por medio de intercambiadores (generadores de vapor) al agua desmineralizada: ésta, transformándose en vapor, se dirige a la turbina que está acoplada al generador eléctrico produciendo finalmente la energía que se entrega a la red que conforma el sistema nacional.

De esta forma, la potencia bruta producida será del orden de 745 MW, de los cuales 692 serán entregados al sistema interconectado nacional. La diferencia será utilizada para los sistemas auxiliares de la central. Las características técnicas de Atucha II se indican al final.

El reactor, con los sistemas de seguridad, equipos, máquina de recambio de elementos combustibles, tanques, etc., se encuentra dentro de un recinto que es protegido por una esfera de contención de metal de 56 metros de diámetro, que en su parte externa está cubierta, a su vez, por un armazón de hormigón. Así, frente a cualquier problema, la parte activa o radioactiva queda encerrada dentro de esa esfera.

Atucha II será la máquina térmica (nuclear o convencional) de mayor potencia de la Argentina. Las construcciones ocupan una superficie de más de 6 hectáreas; el terreno está a 25,6 metros por encima del nivel normal de agua del Paraná. El edificio del reactor tiene una esfera interior de contención, de acero, de 56 metros de diámetro y las láminas que la conforman son de un espesor de 30 mm. La nave que albergará el turbogruppo medirá 72 metros de largo por 50 de alto.

En las obras civiles, se utilizarán más de 118 mil metros cúbicos de hormigón. Los edificios están diseñados de forma que la instalación pueda resistir también las grandes solicitaciones debidas a sismos, ciclones, inundaciones, ondas de presión originadas por explosiones e impactos de aeronaves.

Tras un detenido análisis de las diferentes alternativas posibles, en mayo de 1980 se firmaron los contratos correspondientes para la construcción de la central, que fueron ratificados en julio de 1980 por el poder ejecutivo nacional, el que por el mismo acto aprobó también la creación de la Empresa Nuclear Argentina de Centrales Eléctricas S.A. (ENACE)

Los suministros y servicios importados para la central fueron adjudicados a la empresa alemana Kraftwerk Union AG (KWU). ENACE, como empresa de ingeniería, es el arquitecto industrial y el receptor de la tecnología extranjera que será transferida a nuestro país.

6. CICLO DE COMBUSTIBLE

La Argentina es uno de los pocos países situados fuera del mundo industrializado que posee la capacidad de diseñar y producir combustibles nucleares a escala industrial y también de proyectar y construir las instalaciones fabriles necesarias.

Este ha sido uno de los objetivos básicos del Plan Nuclear Argentino, ya que sin tal capacidad el país dependería de las importaciones para obtener su abastecimiento de combustible nuclear. La dependencia energética es actualmente una seria debilidad estratégica, que afecta a la soberanía nacional.

La autosuficiencia nacional en materia de combustibles nucleares es resultado de tres décadas de trabajo, no sólo en el perfeccionamiento de la tecnología industrial sino en la física básica, la metalúrgica y la exploración y explotación de yacimientos de uranio.

Los primeros elementos combustibles nucleares fabricados en nuestro país fueron utilizados en el Reactor RA-1, un pequeño reactor de experimentación y entrenamiento que entró en operación en el año 1958 y fue construido por profesionales y técnicos de la CNEA.

Un paso decisivo se concretó a comienzos de la década de los sesenta, cuando se encaró el diseño y la construcción de los elementos combustibles para el reactor RA-3, que está en operación desde 1965. Tiene una potencia de 5 megavatios

térmicos y es utilizado en el Centro Atómico Ezeiza, principalmente para la producción de radioisótopos.

Cuando en 1967 se firmó el contrato para la instalación de la Central Nuclear Atucha I, la Argentina poseía ya una importante experiencia acumulada en materia de fabricación de combustible nuclear, apoyada por una sólida base en metalurgia.

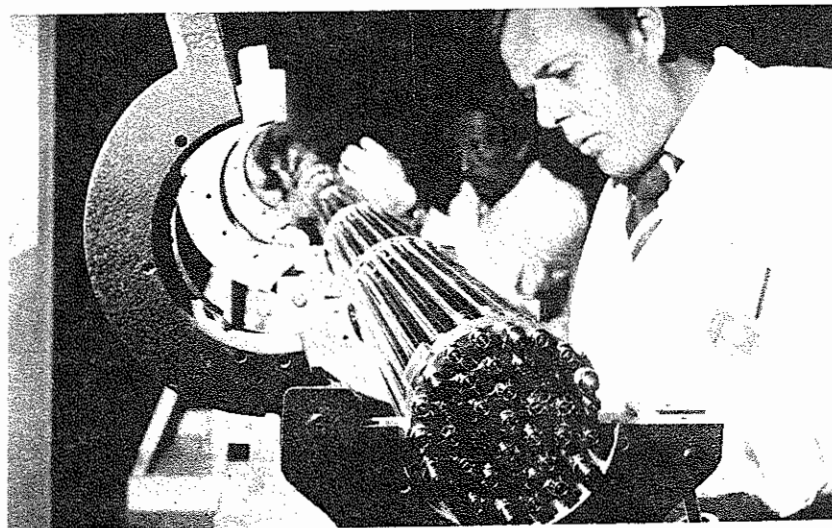
Todo ello permitió que, si bien el diseño original de combustible de Atucha I y su fabricación fueran realizados en Alemania, especialistas de la CNEA participaron desde el comienzo en ese programa. La Central entró en operación en 1974 y dos años después se iniciaron los proyectos de la Planta Piloto y de la Fábrica de Elementos Combustibles Nucleares (FECN).

En 1970, se había construido en el país el primer prototipo de elemento combustible nuclear tipo Atucha I, con la participación de la CNEA y empresas del sector privado. El resultado fue altamente satisfactorio.

Toda esta experiencia permitió que, en 1976, se pudiera iniciar en la Planta Piloto del Centro Atómico Constituyentes el desarrollo de una tecnología argentina de fabricación de combustible nuclear sin recurrir a la ayuda externa. Este desarrollo se cumplió en dos etapas. En la primera, se fabricaron 25 elementos combustibles en tres series sucesivas a través de las cuales el grado de integración nacional aumentó progresivamente. Además, se fueron perfeccionando, en forma unitaria, las diferentes operaciones de fabricación. Esta etapa culminó con una serie de 12 elementos combustibles "de demostración".

Dominada esta tecnología, se inició la segunda etapa, que consistió en la fabricación de 218 elementos combustibles,

pero que luego procuraba alcanzar, como resultado final, un ritmo de producción análogo al de una planta industrial. El programa culminó con éxito a mediados del año 1981, cuando la Planta Piloto alcanzó un ritmo de producción de 1,5 elementos combustibles por día de trabajo. Los elementos producidos en esta serie "de inicio de operación" se utilizaron en la Central Nuclear Atucha I, demostrando un excelente comportamiento. La tecnología de fabricación desarrollada por la Planta Piloto, junto con importantes equipos y recursos humanos de alto grado de capacitación, ha sido incorporada a la Fábrica de Elementos Combustibles Nucleares.



El núcleo de un reactor está formado por los llamados elementos combustibles y se mantiene sumergido en agua a presión, la que tiene dos funciones: extraer el calor que genera el núcleo y reducir la energía de los neutrones para asegurar que la reacción en cadena no se extinga.

El núcleo de la Central Nuclear Atucha I contiene 253 elementos combustibles. Cada uno de ellos consiste en un manojo de 36 barras de combustible y una barra de soporte. Las barras de combustible son tubos de aleación especial denominada zircaloy, herméticamente cerrados, que contienen el uranio bajo la forma de pastillas de dióxido. Las barras de combustible miden 5,5 metros de largo y tienen un diámetro de un centímetro, aproximadamente. Cada elemento combustible pesa 210 kilogramos, de los cuales 173 corresponden al dióxido de uranio y el resto al zircaloy y aceros especiales que se utilizan en las partes estructurales del elemento.

El uranio es cerrado en forma hermética en las barras de zircaloy para impedir que los productos de la fisión nuclear contaminen el agua del reactor y evitar, también, que ésta reaccione químicamente con el uranio.

Cada elemento combustible está formado en los reactores de potencia por un

número de barras y elementos estructurales. Las barras -herméticamente cerradas- y los elementos estructurales se construyen con una aleación de circonio y otros metales, que no impiden el flujo de neutrones dentro del núcleo y contribuyen a sostener la reacción en cadena.

El uranio contenido dentro de estas barras es químicamente un dióxido y está sintetizado en pastillas de alrededor de un centímetro de diámetro por uno de alto.

El combustible de un reactor tipo Atucha I —que tiene 253 elementos— está compuesto de 36 barras de combustible y una de soporte. Las barras tienen aproximadamente un centímetro de diámetro y 5,5 metros de largo.

En un reactor tipo Embalse, en cambio, los elementos combustibles miden apenas 50 centímetros de largo, aunque en los demás aspectos tienen características muy similares a los de Atucha.

Fabricación

La Fábrica de Elementos Combustibles Nucleares recibe, en un extremo del proceso, tubos y piezas estructurales de zircaloy y aceros especiales, y dióxido de uranio en polvo. Por

el otro extremo, surgen los elementos combustibles terminados.

El proceso de fabricación se integra en dos grandes ramales convergentes. Uno corresponde a la producción de las pastillas de combustible. El uranio llega a la planta bajo la forma de un polvo de pureza nuclear y de propiedades físicas que lo hacen comportarse como un fluido.

Este polvo es compactado en una prensa pastilladora, con una capacidad de producción de 5.000 pastillas por hora. Estas pastillas, que tienen un diámetro de un centímetro y un centímetro de alto, son luego sometidas a un proceso térmico en un horno continuo a 1.750 grados de temperatura y atmósfera de hidrógeno.

Las pastillas así conocidas son pulidas en una rectificadora sin centro, que les da la dimensión exacta que el diseño del combustible exige y que debe ser respetada con extrema precisión.

En paralelo con estas operaciones se realiza el maquinado de las vainas de zircaloy y las demás partes estructurales, proceso también en el que la precisión de las operaciones es sumamente alta y el control de calidad requiere aún más esfuerzo que la fabricación misma de las piezas.

Las rigurosas exigencias que se imponen en la fabricación de combustible, tanto en lo referente a la garantía de calidad como a las consideraciones de seguridad en que se debe llevar a cabo, hacen que el proyecto, construcción y puesta en marcha de una planta semejante resulten un verdadero desafío

Tras una serie de operaciones de acondicionamiento y la soldadura del primer tapón, se procede al llenado de las vainas de combustible con las pastillas de dióxido, para formar las barras.

Completada esta operación y soldado el segundo tapón, se produce el montaje de los elementos, con separadores intermedios, pieza de acople en la parte superior y separador elástico en la inferior.

Finalmente, el elemento combustible terminado es embalado en un tubo de acero y despachada a la central nuclear que ha de utilizarlo.

La Fábrica de Elementos Combustibles Nucleares ha sido proyectada por la CNEA sobre la base del proceso de producción y la ingeniería desarrollados por ella. Las rigurosas exigencias que se imponen en la fabricación de combustible, tanto en lo referente a la garantía de calidad como a las consideraciones de seguridad en que se debe llevar a cabo, hacen que el proyecto, construcción y puesta en marcha de una planta semejante resulten un verdadero desafío.

Por una parte, las exigencias de limpieza en el proceso son altísimas. Por otra, el uso de materiales tóxicos o radioactivos (como el berilio, utilizado en procesos de soldadura, o el uranio) requieren la instalación en determinados sectores de sistemas de filtrado de aire de alta eficiencia, recintos de atmósfera en depresión para

evitar escapes fuera del edificio, pisos descontaminables de material époxi, etc.

La Fábrica de Elementos Combustibles Nucleares (FECN) está situada en el Centro Atómico Ezeiza de la CNEA. Posee una superficie cubierta de 11.600 metros cuadrados. Está preparada para producir el combustible que utilizan las centrales nucleares argentinas, actuales y futuras. Tomando en cuenta Atucha I, Embalse y Atucha II, su producción de combustible nuclear permite generar 11,5 mil millones de kilovatios-hora de energía eléctrica neta por año.

Para ello, la Fábrica requiere 320 toneladas anuales de uranio y 55 de zircaloy, el material estructural de los elementos combustibles.

La Fábrica, primera en su tipo en América Latina, ha sido diseñada y construida por argentinos y utiliza un proceso de producción desarrollado en el país. Es operada por CONUAR S.A., una sociedad mixta de mayoría privada, bajo contrato de la CNEA. Hasta el presente (febrero de 1993) la empresa ha fabricado más de 2.000 elementos combustibles para la Central Nuclear Atucha I y más de 6.000 para la Central Nuclear Embalse.

7. PLANTA INDUSTRIAL DE PRODUCCIÓN DE AGUA PESADA

Los neutrones provenientes de la fisión tienen velocidad excesiva para

inducir nuevas fisiones y poder obtener la reacción en cadena, cuando se trata de uranio natural. Entonces hay que conseguir la reducción en cadena, cuando se trata de uranio natural.

Entonces hay que conseguir la reducción de esa velocidad por medio de choques inelásticos con los núcleos atómicos de alguna sustancia (moderador) capaz de sustraerles energía sin absorberlos. Esta función de moderador es realizada por el agua común. El otro uso del agua pesada es como refrigerante y transmisor de calor generado en la fisión.

Hacer el agua pesada constituye un desafío a la tecnología. El agua común contiene un sólo átomo de deuterio por cada 7.000 átomos de hidrógeno, lo que obliga a tratar en grandes y costosas instalaciones aproximadamente 20.000 litros de agua común por cada litro de agua pesada producido.

Para utilizarla en los reactores de uranio natural, es necesario obtener agua pesada con un nivel de pureza (grado reactor) del 99,8%. Las moléculas de agua común están formadas por un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno (H_2O). Las de agua pesada, en cambio, tienen un átomo de oxígeno unido a dos átomos de deuterio (D_2O).

El agua pesada es más eficaz que el agua común para frenar (moderar) a los neutrones desprendidos de los núcleos de las reacciones nucleares (fisión) en cadena. Un litro de agua pesada pesa 1.105 gramos, mientras que un litro de agua común pesa 1.000 gramos.

La CNEA ha encarado la producción de agua pesada mediante la instalación de una planta industrial con una capacidad nominal de producción de 250 toneladas por año, ubicada en Arroyito, en la provincia de Neuquén. Su inauguración es inminente. 

Nuclear Power Development in Argentina

National Atomic Energy Commission of Argentina

1. INTRODUCTION

Nuclear power development in the Republic of Argentina plays a major role in supplying the country with electric power.

The two nuclear power stations in operation, one under construction, one heavy-water plant soon to be commissioned, and materialization of the fuel cycle are evidence of the level of development achieved in Argentina.

2. BACKGROUND

The National Atomic Energy Commission (CNEA) since its creation has been carrying out actions that enabled the country to have available, by 1964, a suitable infrastructure for undertaking a project of the magnitude required for a nuclear power station.

As a result of a series of activities involving experimental reactors, the CNEA has acquired over the years a great deal of experience in managing nuclear installations.

Later, in view of the country's energy needs, studies were started in the CNEA to promote the installation of nuclear power stations in the country.

At present, that is, the year 1993, the CNEA is operating two nuclear power stations and has one under construction.

The industrial architect for the latter nuclear plant is the Argentinean Nuclear Power Station Company (Empresa Nuclear Argentina Centrales Eléctricas S.A.), comprised of the CNEA which holds 75% of the shares and Siemens, which holds 25% of the shares. In addition, it has contributed to the creation and is part of a mixed enterprise for producing fuel elements and soon will open an industrial plant for producing heavy water.

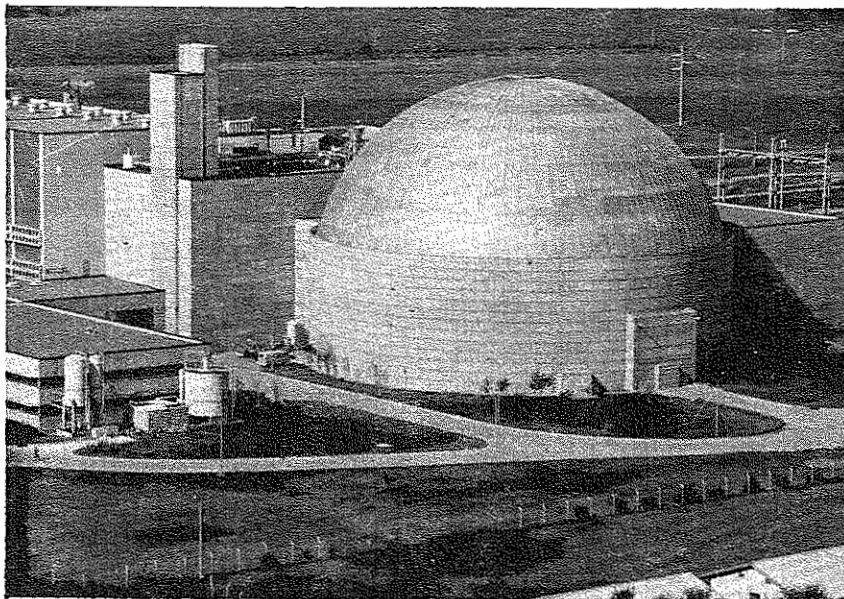
3. ATUCHA I NUCLEAR POWER STATION

At about 100 kilometers toward the northeast from the Federal Capital, in the town of Lima, near the locality of Atucha (Zárate district), the first nuclear power station of the Republic of Argentina was erected.

It has a net electric power capacity of 335 MW, which has been added to the national interconnected system.

This nuclear power station marks the beginning of a new phase in the country's electric power evolution. It incorporates uranium into the country's developed energy resources, with the consequent savings in oil and natural gas.

In order to achieve the broadest participation of Argentinean industry in the project, the CNEA conducted first a wide-ranging study of the country's in-



View of Atucha I Nuclear Power Station

dustrial capacity and then implemented activities aimed at clarifying and promoting the project in order to raise the awareness of entrepreneurs about the requirements of the technology involved.

This involvement has been important, as its volume accounted for 40% of the project's total cost. The contribution of Argentinean industry accounted for 90% of the plant's civil works.

The professionals and technical experts who operate the station have received, first, special courses in nuclear plants in Germany, in the supplier company, and in the CNEA.

On January 13, 1974, the reactor of the nuclear plant entered its critical phase. This means that it began the fission process aimed at producing energy which in turn, using the appropriate means, is transformed into electricity.

At present, installed capacity accounts for 3% of total capacity. From the time it was commissioned (June 1974) until the end of 1992, it had an accumulated availability factor of 73.7% and a

load factor of 66.6%. To date, gross generation of CNA I amounted to 38,241,000 GWh.

For 1992, the load factor turned out to be 76%, and the availability factor was identical.

4. EMBALSE NUCLEAR POWER STATION

The Embalse Nuclear Station, located in the Province of Córdoba, has a net design capacity of 600 MWe. It was built by an Italian-Canadian consortium, made up of the companies Atomic Energy of Canada Ltd. (AECL) and Italmimpianti S.p.A. (IT). The project also included the participation of the CNEA itself and Argentinean private-sector enterprises. Construction began in 1974 and was completed in 1983.

The plant used a CANDU (Canadian Deuterium, Uranium) pressure-pipe type of design for its reactor. It used natural uranium as fuel and heavy water as a moderator and coolant. Conceived as a base power station, with a load factor

of 85%, it can supply 4,470,000 MWeh per year to the grid. The station's turbogroup is the electric power generation unit with the largest capacity in Argentina.

In 1983, with the incorporation of Embalse, the nuclear subsector's share of total installed capacity rose to 7%, even taking into account the commissioning of various conventional hydropower stations and thermoelectric plants. Feasibility studies for installing the Embalse Nuclear Power Station were initiated in 1967, at the request of the province of Córdoba.

In 1971, after reviewing the various module and siting possibilities, a bidding process was launched.

By the middle of the following year, eight bids from six companies of five different countries had been received. The bids proposed natural uranium and enriched uranium alternatives.

After these bids had been reviewed, a decision was made to ratify the natural uranium and heavy water scheme already adopted for Atucha I. The Embalse Nuclear Power Station was awarded to the consortium Atomic Energy of Canada Ltd.-Italmimpianti.

The contract was signed on December 20, 1973 and field work began on May 7, 1974.

The station's electromechanical erection began in February 1977. For this purpose, the CNEA created a special assembly organization, which directly tackled the prefabrication and installation of the built-in piping for the service building. During that same year, the reactor's calandria was installed. Installation of the steam generators and the pressurizer, as well as the bridge crane of the turbine building with a hoisting capacity of 380 tons, took place in 1978.

Installation of the reactor's fuel lines, also done with the participation of CNEA, took place in 1979, thus broadening the organization established by the CNEA to work on assembly tasks, therefore covering a wider range of services. Likewise in 1979, the auxiliary boilers and instrumentation of the conventional area were installed.

Another key event in the project's evolution consisted of CNEA's decision to act as main building subcontractor for the nuclear area, with Atomic Energy of Canada Ltd., which facilitated the project's progress and also contributed to increasing the transfer of technology from Canada.

The project's complexity and importance are reflected in the technical landmarks of 1980. In that year, the process computer was installed. The pump facilities started to be erected. Installation of the reactivity mechanisms was finalized. The main pumps of the primary circuit were mounted. Instrumentation of the nuclear area was begun. The water treatment plant was commissioned and the turbogroup installation was finalized.

In 1981, trials and testing prior to commissioning, including the pressure testing of the reactor's building and the start-up of the turbogroup, were conducted. Starting in December, the task of commissioning the reactor and its auxiliary elements was carried out; thus, the project entered into its decisive phase.

In January 1982, the first trial synchronization with the grid at 132 kilovolts was conducted; at the same time, the last phases of deployment were completed.

In December 1982, the heavy water was loaded in the reactor. In that same month, the manual loading of 4,560 fuel elements comprising the core was completed.

A nuclear reactor becomes critical when the fission reaction becomes self-sustained. On March 13, 1983, at 15:54, the reactor reached this state. On April 25, at 10:14, the Embalse Nuclear Power Station was synchronized with the national interconnected system and was supplying electric power generated by nuclear steam.

A final remark on this project will provide us with an overall idea of the station's size and national involvement. The civil work, as indicated above, was 100% from local supplies. It required the removal of 700,000 cubic meters of earth, as well as the deployment of 80,000 cubic meters of concrete and 8,000 tons of structural iron. For casting the concrete of the reactor's building, which has a wall thickness of 100 centimeters, a slip formwork that rose up to a height of 42 meters was used.

Geographical Location

The Embalse Nuclear Power Station is located at 100 kilometers to the southwest of the city of Córdoba.

Its installations are on the southern coast of the River Tercero Reservoir on a small peninsula known as the Almafuerte Peninsula, at 665 meters above sea level.

Gross installed capacity currently accounts for 4.8% of total capacity. Since its commissioning (January 20, 1984) until the end of 1992, it had a cumulative availability factor of 84.81% and a cumulative load factor of 78.62%. Until this date, gross generation of the Embalse Nuclear Power Station was 40,203,900 MWh. For 1992, the load factor turned out to be 82.55% and the availability factor 84.24%.

5. ATUCHA II NUCLEAR POWER STATION

At present, the third Argentinean power station, Atucha II (CNA II), is

under construction. It is being erected a few meters away from the first, at a bit over 100 kilometers to the northwest of the Federal Capital, on the right bank of the Parana River and close to the locality of Lima, district of Zárate, Province of Buenos Aires.

The Republic of Argentina adopted for its stations the natural uranium reactor series, because compared to the enriched uranium series this scheme enables total mastery of the fuel cycle in the country and, at the same time, allows national industries to participate in the manufacturing of various components.

Similar to Atucha I, the station has a PHWR-type reactor, that is, a reactor with a pressurized vessel, inside which the fuel elements that comprise the core are inserted.

The fuel to be used is natural uranium. At the moment of fission, the uranium produces a high temperature which is extracted using a coolant, heavy water. The heavy water circulates through two similar loops and delivers this heat by means of exchangers (steam generators) to the demineralized water. This water, when it is converted into steam, goes to the turbine connected to the power generator, thus finally producing the energy that is delivered to the national system's grid.

Thus, gross capacity produced will be on the order of 745 MW, of which 692 MW will be delivered to the national interconnected system. The difference will be used for the station's auxiliary systems. The technical characteristics of Atucha II are indicated at the end of the article.

The reactor, with its safety systems, equipment, machine for replacing the fuel elements, tanks, etc., is located within an enclosure that is protected by a

metal containment sphere with a diameter of 56 meters, which in turn is covered by an outer concrete shield. Therefore, in case of any problem, the active or radioactive part remains enclosed within this sphere.

Atucha II will be the thermal unit (either nuclear or conventional) with the highest capacity in Argentina. The buildings occupy a surface area of more than 6 hectares. The site is 25.6 meters above the normal water level of the Paraná River. The reactor's building has an inner steel containment sphere with a diameter of 56 meters and the container's laminated plates have a thickness of 30 mm. The vessel that contains the turbogroup will measure 72 meters long by 50 meters high.

In the civil works, more than 118,000 cubic meters of concrete were used. The buildings are designed to withstand major impacts stemming from earthquakes, cyclones, flooding, pressure from explosions, and airplane collisions.

After a close review of the different possible alternatives, in May 1980, contracts were signed for building the station. These were ratified in July 1980 by the country's executive branch, which by the same decree also approved the creation of the Argentinean Nuclear Power Station Company (ENACE).

Imported supplies and services for the station were awarded to the German company Kraftwerk Union AG (KWU). ENACE, as the engineering firm, is the industrial architect and the recipient of the foreign technology that will be transferred to our country.

6. FUEL CYCLE

Argentina is one of the few countries outside the industrialized world that has the capacity to design and produce

nuclear fuels on an industrial scale and also to plan and build the necessary manufacturing facilities for these fuels.

This has been one of the basic objectives of Argentina's Nuclear Plan, since without this capacity the country would have to depend on imports to obtain its supply of nuclear fuel. Energy dependence is, in the twentieth century, a serious strategic liability, affecting national sovereignty.

National self-reliance in terms of nuclear fuels is the outcome of three decades of work, not only the improvement of industrial technology but also basic physics, metallurgy, and the exploration and development of uranium deposits.

The first nuclear fuel elements manufactured in Argentina were used in Reactor RA-1, a small experimental and training reactor, which was commissioned in 1958 and built by CNEA professionals and technical experts.

A crucial step was taken in the early sixties when design and construction of the fuel elements for Reactor RA-3 were tackled. This reactor has been operating since 1965. It has a capacity of 5 thermal megawatts and is used in the Ezeiza Atomic Center, mainly for the production of radioisotopes.

When in 1967 the contract was signed for installing the Atucha I Nuclear Power Station, Argentina already had a wide range of accumulated experience in manufacturing nuclear fuel, supported by a solid background in metallurgy.

Although the original fuel design of Atucha I and its manufacturing were done in Germany, the above-mentioned national counterpart involvement enabled CNEA specialists to participate in this program from its very inception. The station was commissioned in 1974,

and two years later the pilot plant project and the nuclear fuel element fabrication project started up.

In 1970, the first prototype of the nuclear fuel element of the Atucha I type was built with the participation of the CNEA and private sector enterprises. The result was highly satisfactory.

This experience enabled Argentina to begin developing, in 1976, national technology for manufacturing nuclear fuel in the Pilot Plant of the Constituyentes Atomic Center without resorting to external assistance. This development took place in two stages. In the first stage, 25 fuel elements were fabricated in three successive series whereby national integration progressively increased. In addition, the different manufacturing operations were gradually perfected. This stage culminated with a series of 12 "demonstration" fuel elements.

Once this technology was mastered, the second stage began. It consisted of manufacturing 218 fuel elements, but was aimed at achieving, as an end result, a production pace analogous to that of an industrial plant. The program successfully culminated in the middle of 1981, when the Pilot Plant attained a production pace of 1.5 fuel elements per working day. The elements produced in this "operation start-up" series were used in the Atucha I Nuclear Power Station and performed superlatively. The manufacturing technology developed by the Pilot Plant, along with the important teams and human resources with a high level of training, has been incorporated into the manufacturing of nuclear fuel elements.

The core of a reactor is made up of the so-called fuel elements and is kept immersed in pressurized water which fulfills two functions: that of extracting the heat generated by the core and reducing the energy of the neutrons to en-

sure that the chain reaction is not extinguished.

The core of the Atucha I Nuclear Power Station contains 253 fuel elements. Each one of these elements consists of a bundle of 36 fuel rods and a support rod. The fuel rods are tubes made of a special alloy called zircalloy. The rods are hermetically sealed and contain uranium in the shape of dioxide pellets. The fuel rods are 5.5 meters long and have a diameter of about one centimeter. Each fuel element weighs 210 kilograms: uranium dioxide accounts for 173 kg and the rest corresponds to zircalloy and special steels that are used in the structural parts of the element.

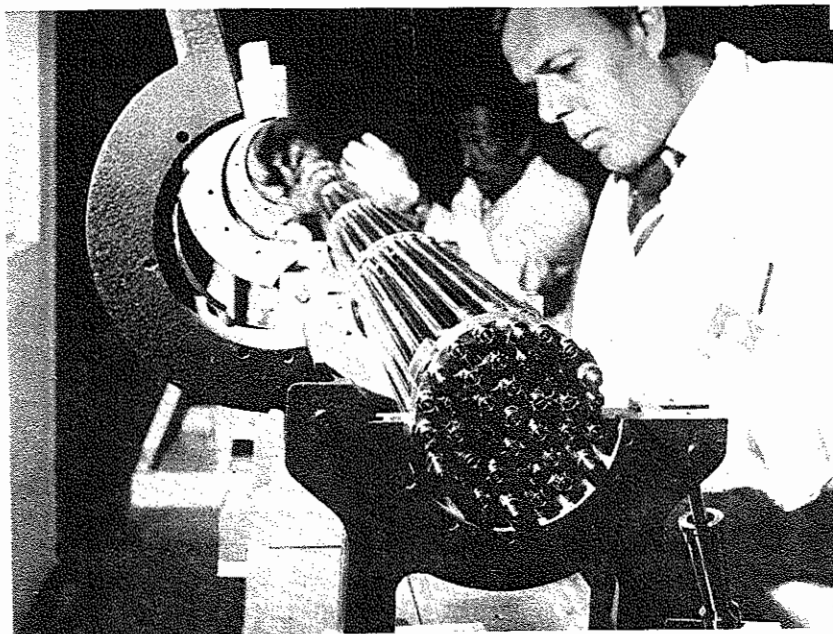
The uranium is hermetically encapsulated in the zircalloy rods in order to prevent the products of nuclear fission from contaminating the reactor's water and also to prevent the water from chemically reacting with the uranium.

Each fuel element in the power reactors is made up of a number of rods and structural elements. The hermetically sealed rods and the structural elements are built with a zirconium alloy and other metals, which do not impede the flow of neutrons within the core and contribute to sustaining the chain reaction.

The uranium within these rods is chemically a dioxide and is synthesized in pellets of about one centimeter in diameter by one centimeter in height.

The fuel of the Atucha I type reactor, which has 253 elements, is made up of 36 fuel rods and one support rod. The rods have a diameter of about one centimeter and are 5.5 meters long.

In an Embalse type reactor, however, the fuel elements are hardly 50 centimeters long, although their other features are quite similar to those of Atucha.



Manufacturing

The manufacturing of nuclear fuel elements receives, at one end of the process, structural tubes and parts made of zircalloy and special steels, and uranium dioxide powder. At the other end, there are the finished fuel elements.

The manufacturing process is made up of two major converging branches. One is the production of fuel pellets. The uranium reaches the plant in the shape of a powder with a nuclear purity and physical properties that make it behave as a fluid.

This powder is compacted by a pellet press, which has a production capacity of 5,000 pellets per hour. These pellets, which have a diameter of one centimeter and a height of one centimeter, afterwards undergo a thermal process (sintering) in a continuous furnace at 1,750 degrees of temperature and hydrogen atmosphere.

These so-called pellets are polished in a centerless grinder, which provides the pellets with the exact dimension required by the fuel design, which has to be complied with at extremely high levels of precision.

Alongside these operations, there is the machining of the zircalloy cladding sheaths and the other structural parts, a process in which the precision of the operations is extremely demanding and where quality control requires even greater efforts than the manufacturing itself of the parts.

After a series of treatments and the welding of the first plug, the fuel sheaths are filled with the dioxide pellets to form the rods.

Once this operation has been completed and the second plug has been welded, the elements are assembled with intermediate separators, a coupling piece in the upper part and an elastic separator in the lower part.

The rigorous demands required for the manufacturing of nuclear fuel in terms of both quality assurance and safety considerations convert the planning, construction, and commissioning of this type of plant into a veritable challenge

Finally, the finished fuel element is wrapped in a steel tube and dispatched to the nuclear power station that will be using it.

The manufacturing of nuclear fuel elements has been planned by the CNEA on the basis of production and engineering processes developed by itself.

The rigorous demands required for the manufacturing of nuclear fuel in terms of both quality assurance and safety considerations convert the planning, construction, and commissioning of this type of plant into a veritable challenge.

On the one hand, the cleanup requirements during the process are extremely demanding. On the other hand, the use of toxic or radioactive materials (such as beryllium used for welding or uranium) requires the deployment, in certain sectors, of high-efficiency air-filtering systems, depressed atmosphere enclosures in order to avoid releases outside the building, epoxy floors easy to decontaminate, etc.

The Nuclear Fuel Element Plant (FECN) is located in CNEA's Ezeiza Atomic Center. It has a covered surface area of 11,600 square meters.

It is prepared to produce the fuel used by the current and future Argentinean power stations. Taking into account Atucha I, Embalse, and Atucha II, its nuclear fuel

production capacity enables the generation of 11.5 billion kilowatt-hours of net electric power per year.

To achieve this, the plant annually requires 320 tons of uranium and 55 tons of zircalloy, the structural material for the fuel elements.

The plant, the first of its kind in Latin America, has been designed and built by Argentines and uses a production process developed in the country. It is operated by CONUAR S.A., a mixed enterprise with the majority shareholding in the hands of the private sector, under contract with the CNEA. To date (February 1993), the company has manufactured more than 2,000 fuel elements for the Atucha I Nuclear Power Station and more than 6,000 for the Embalse Nuclear Power Station.

7. HEAVY-WATER PRODUCTION PLANT

Neutrons stemming from natural uranium fission are too fast-moving to induce new fissions and ensure a sustainable chain reaction. When dealing with natural uranium, the speed of the chain has to be reduced.

Therefore, this speed has to be slowed down (moderated) by means of inelastic impacts with the atomic nuclei of some moderating substance capable

of extracting energy without absorbing them. This moderator role is being performed by regular water. The other use of heavy water is as a coolant and a transmitter of the heat generated in the fission.

Producing heavy water is a technological challenge. Regular (light) water has only one atom of deuterium for each 7,000 atoms of hydrogen, which requires the treatment of about 20,000 liters of ordinary water for each liter of heavy water produced in huge and costly facilities.

In order to use this heavy water in natural uranium reactors, it has to have a purity of 99.8% (reactor rating).

Regular water molecules are made up of one atom of oxygen and two atoms of hydrogen (H_2O). Heavy water molecules, however, have one atom of oxygen linked to two atoms of deuterium (D_2O).

Heavy water is more effective than ordinary water to slow down (moderate) fast-moving neutrons released from uranium nuclei in chain reaction fissions. One liter of heavy water weighs 1,105 grams, whereas one liter of regular (light) water weighs 1,000 grams.

The CNEA has tackled the problem of heavy water production by installing an industrial plant with a nominal production capacity of 250 tons per year. It is located in Arroyito in the Province of Neuquén. It will be commissioned shortly. 