

El programa de energía atómica de la India – Pasado y futuro

por el Dr. H.N. Sethna*

La India ya había comprendido las posibilidades de la utilización de la energía atómica con fines pacíficos en un momento en que las primeras actividades en esta esfera se consagraban ante todo a fines militares. Más de un año antes de la demostración traumática de la fuerza destructiva del átomo en Hiroshima, el Dr. Homi Bhabha, arquitecto del programa nuclear de la India, había declarado que "cuando la energía nuclear se haya empleado con éxito para producir electricidad, digamos, dentro de un par de decenios, la India no tendrá que recurrir al extranjero para sus expertos, sino que los hallará en el propio país". Esta declaración resume la esencia de los trabajos realizados por la India durante más de tres decenios para la utilización de la energía atómica con fines pacíficos, a saber: el desarrollo de una capacidad científica y tecnológica nacional para concebir y ejecutar proyectos, desde la etapa de laboratorio hasta la industrial, basándose en gran parte en sus propios esfuerzos.

La India ha evitado deliberadamente las soluciones más fáciles y elegido el camino más lento y escarpado que conduce a la independencia y que, a la larga, ha pagado sustanciales dividendos. Hoy día la India es uno de los siete u ocho países del mundo — y el único país en desarrollo — que dispone de un ciclo completo de combustible, que empieza en la exploración, minería, extracción y transformación del uranio, pasando por la fabricación de combustible, producción de agua pesada y reactores, y terminando en la reelaboración y gestión de desechos. La India ha alcanzado también una etapa en la que los conocimientos prácticos conseguidos pueden respaldar todas las actividades requeridas relacionadas con los estudios de viabilidad, selección de emplazamientos, diseño detallado de los proyectos, construcción, entrada en servicio y explotación de cualquier planta del ciclo entero de combustible. Ha necesitado casi tres decenios de esfuerzos para alcanzar esta etapa de desarrollo. Los innumerables obstáculos que hubo que superar durante esta marcha han aportado a nuestros científicos e ingenieros la confianza de que será posible sortear los otros con que se tropiece en lo sucesivo.

EL PRIMER PROGRAMA

El primer programa de la India cuenta con una rica tradición de actividades de investigación fundamental en diversas esferas y puede vanagloriarse de poseer eminentes hombres de ciencia tales como Sir C.V. Raman, S.N. Bose, K.S. Krishnan, Sir J.C. Ray y H.N. Saha. Sin embargo, las investigaciones organizadas en las ciencias nucleares no empezaron hasta 1945 con el establecimiento en Bombay del Instituto Tata de Investigaciones Fundamentales. La Ley de Energía Atómica fue aprobada por el Parlamento en 1948, poco después de adquirir el país la independencia; en esa Ley se enunció el propósito de la India desarrollar y utilizar la energía atómica exclusivamente con fines pacíficos. No obstante, no fue hasta 1954 cuando el Gobierno creó un Departamento de Energía Atómica al que se le asignó la responsabilidad exclusiva de todas las actividades nucleares del país. Hasta esa fecha la labor de la Comisión de Energía Atómica se había circunscrito al estudio de los minerales radiactivos, instalación de plantas para el tratamiento de la monazita y realización de limitadas

* El Dr. Sethna es Presidente de la Comisión de Energía Atómica de la India.

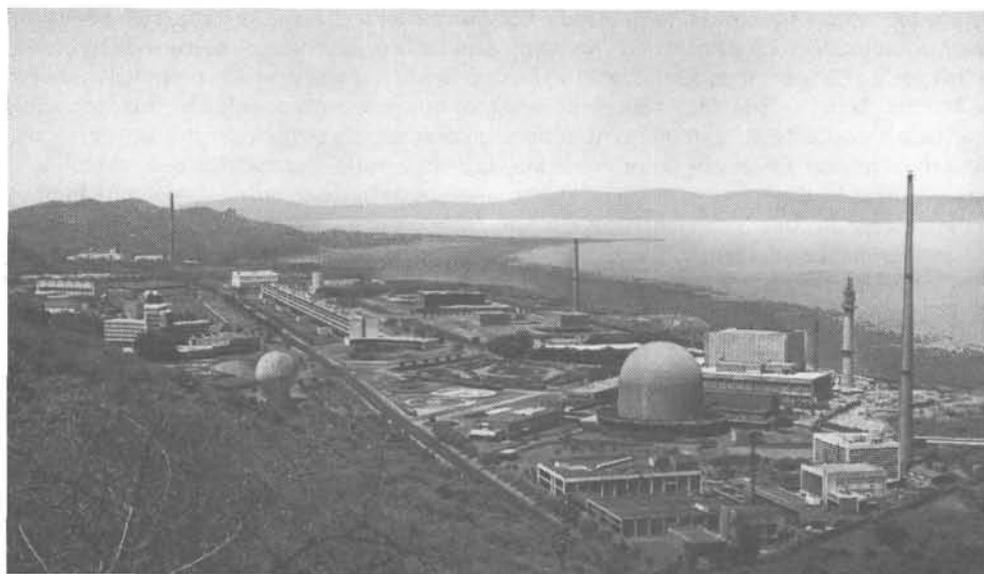


Foto 1:

Vista del Centro Bhabha de Investigaciones Atómicas, Trombay, cercanías de Bombay.

actividades de investigación en electrónica, métodos de análisis químico de minerales y recuperación de elementos valiosos de los minerales disponibles.

En 1954 se creó en Trombay, cercanías de Bombay, un centro pluridisciplinario para la investigación y el desarrollo, conocido hoy día con el nombre de Centro Bhabha de investigaciones Atómicas. El propósito fundamental en la aprobación de este centro nacional fue el que la institución debería ir creciendo a medida que los distintos grupos desarrollasen los conocimientos prácticos y fuesen capaces de ampliar su labor de un modo útil y combinado. Los comienzos fueron modestos. El Centro disponía al principio de una reducida plantilla formada por 130 científicos y técnicos aproximadamente. El Centro Bhabha ha crecido a lo largo de los años hasta llegar a ser la principal institución de la ciencia y tecnología del país, contando hoy con una plantilla de unas 10 000 personas, de las que 3000 son científicos, en su mayoría graduados de la Escuela de Capacitación creada en 1957 en el Centro.

Un problema común de los países en desarrollo ha sido el que la tecnología importada de países industrializados se adapta a menudo difícilmente a las condiciones socioeconómicas locales. Estas transferencias de tecnología pueden incluso a veces obstaculizar las innovaciones científicas y las iniciativas del ingenio nacional, lo que resulta en repetidas importaciones de tecnología. Muchos países en desarrollo no disponen de cuadros de personal científico y técnico capaces de asesorar a las autoridades nacionales sobre la estrategia a seguir para la introducción de una tecnología complicada, tal como la de la energía nuclear, adaptada a las condiciones locales. La mayoría de esos países no poseen adecuados recursos financieros para sus propios trabajos de investigación y desarrollo. Los pocos países en desarrollo que disponen de recursos financieros carecen, en general, de personal y de una infraestructura docente adecuada. Otro obstáculo con el que todos estos países han tenido que enfrentarse es la inexistencia de una base industrial diversificada. En los países industrializados, las aplicaciones avanzadas de la tecnología nuclear significaron esencialmente sólo una ampliación

de una tecnología tradicional ya avanzada. Por otra parte, incluso en la India, la era de la energía nucleoelectrónica coincide con los comienzos de la producción de acero en gran escala, la instalación de plantas de fertilizantes y de otras industrias tradicionales montadas a base de tecnología importada. Muy bien comprendimos que la superimposición de una tecnología avanzada procedente del extranjero no supone un progreso en términos reales: solo crea la ilusión del mismo. En una de las primeras etapas de desarrollo reconocimos que, debido a este y a otros factores, lo esencial para la introducción de la tecnología nuclear en la India era establecer un cuadro de científicos e ingenieros y generar una interacción entre las varias disciplinas científicas y, en un momento apropiado, plasmar esta interacción en proyectos concretos.

Con este espíritu se inició el primer proyecto importante del Centro, a saber, la construcción de un reactor de tipo piscina. Este reactor, denominado APSARA, alcanzó criticidad en 1956, dos años después de haberse adoptado la decisión de instalarlo. En aquel tiempo era el único reactor en Asia, aparte de la Unión Soviética. En lugar de encargar este reactor a los países adelantados, nos pusimos a trabajar nosotros mismos. Excepto los elementos combustibles, importados del Reino Unido, el reactor y todo su equipo fueron concebidos y construidos con nuestro personal dentro del país. No era tarea fácil. Por ejemplo, a mediados de los años 50 la India no poseía experiencia sobre la soldadura de planchas de aluminio de acuerdo con los requisitos de calidad que exigía el reactor. Nuestros ingenieros encargados de esta tarea tuvieron que crear los procedimientos de soldadura y capacitar a los propios soldadores. Algunas de las primeras aplicaciones de la soldadura (en arco de argón) del aluminio y el acero inoxidable se hicieron por primera vez en este proyecto y en otros del Centro. Todo el sistema de instrumental y control del reactor fue concebido y construido localmente. El grupo de científicos que participó en esta labor aprovechó su precedente experiencia en el diseño de instrumental para experimentos con rayos cósmicos. Menciono con cierto detalle estas primeras experiencias pues demuestran que, con la interacción pluridisciplinaria que supuso la instalación de este primer reactor, la adquisición de conocimientos empezó mucho antes de que el reactor alcanzase criticidad y pudiese emplearse para trabajos experimentales y producción de isótopos.

Aproximadamente en el mismo año de 1956, decidimos construir, con la colaboración del Canadá **CIRUS**, un reactor de investigación de uranio natural moderado por agua pesada de 40 MW. Nuestros científicos trabajaron con los canadienses en todas las etapas de este proyecto cooperativo. Simultáneamente iniciamos la instalación de plantas en el Centro, basadas por completo en nuestra propia tecnología, para producir uranio metálico de pureza nuclear y elementos combustibles para este reactor tipo NRX. Terminamos este trabajo con tiempo suficiente para suministrar la mitad de la carga inicial de combustible de este reactor, que alcanzó criticidad a mediados de 1960. El reactor **CIRUS** continúa en servicio hoy día, utilizando el combustible fabricado en la planta de Trombay y el agua pesada de la instalación montada en Nangal (India septentrional).

En el decenio 1956-1966 emprendimos gran variedad de actividades tecnológicas, tales como purificación y extracción de uranio, fabricación de combustible, instrumentación y control de reactores, construcción de reactores de investigación, separación radioisotópica, radio-medicina y tecnología del vacío. Prácticamente todas estas actividades eran de tipo avanzado, incluso en comparación con el progreso tecnológico de aquella época en todo el mundo. Todas estas instalaciones tuvieron comienzos modestos y crecieron paralelamente con el aumento de la experiencia obtenida en nuestros establecimientos.

En 1961 empezamos los trabajos para establecer en el Centro, mediante nuestros propios esfuerzos y sin ninguna colaboración del exterior, una planta de reelaboración. La planta entró en servicio en 1964, con lo que India fue el quinto país del mundo con instalaciones de reelaboración. Dicho sea de paso, el costo de esta planta fue menos de la mitad del costo

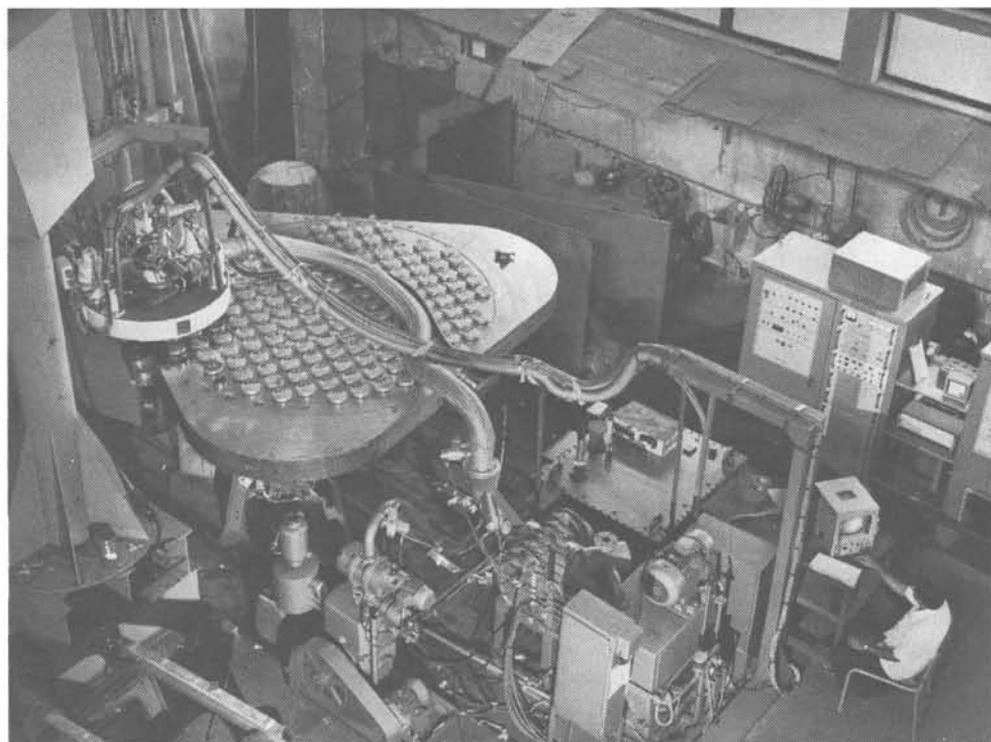


Foto 2:

Soldadura de chapa para tuberías de la calandria del reactor de investigación R-5 en los talleres B: Centro Bhabha.

estimado para una planta de capacidad similar en construcción en aquel tiempo en otro país. Nuestra experiencia subsiguiente en la instalación de una planta de reelaboración para un reactor de potencia ha confirmado nuestra capacidad de montar y explotar pequeñas plantas de este tipo a un costo de reelaboración menor que en otras partes del mundo.

APLICACIONES DE LA ENERGIA NUCLEOELECTRICA INDUSTRIAL

El decenio 1966—1976 contempló la introducción de la energía nucleoelectrónica en la India. Cuando se efectuaron los primeros estudios de viabilidad de este tipo de energía, a fines de los años 50 y a principios de los años 60, se llegó a la conclusión de que las condiciones iniciales para la introducción de la energía nucleoelectrónica sobre una base económica existían en las regiones occidental, septentrional y meridional del país. Se eligieron estas regiones debido a su distancia de los campos carboníferos, concentrados en su mayoría en el este y centro del país. El transporte del carbón a largas distancias hasta las centrales térmicas significa una carga excesiva para nuestro sistema de transporte, y la interrupción de los suministros ha producido a menudo una interrupción de la generación eléctrica. En algunas centrales, en particular en la región meridional del país, donde la mayor parte de la electricidad la producían tradicionalmente centrales hidráulicas, las excesivas interrupciones de electricidad se han convertido en un fenómeno común debido a insuficientes lluvias durante sucesivos monzones. En la India nunca se consideró seriamente la producción de electricidad a partir del petróleo o del gas, ya que tenemos que cubrir una proporción

sustancial de nuestras necesidades de esos productos mediante importaciones. Con el encarecimiento del petróleo, la producción de electricidad a partir de este material ha dejado de ser practicable. Por tanto, ha reconocido que la generación de electricidad en la India tendrá que continuar basándose en el carbón y en la energía hidráulica y, de modo creciente a lo largo de los años, en el átomo.

Al formular la estrategia del desarrollo nucleoelectrico de la India hemos debido tener en cuenta que si bien nuestras reservas de uranio son bastante modestas (53 000 toneladas de las que 30 000 son razonablemente seguras), poseemos una de las más grandes reservas mundiales de torio. Por consiguiente, hemos concebido una estrategia del ciclo de combustible nuclear en tres etapas, consistente la primera en la instalación de reactores de uranio natural, seguida por una segunda de utilización de reactores reproductores rápidos a base del plutonio de los reactores de la primera generación, con uranio-238 o torio en la zona fértil, y terminando eventualmente con reactores basados en el ciclo autosustentador de torio-uranio-233.

La India es uno de los pocos países que actualmente prosigue el desarrollo de reactores alimentados con uranio natural. La principal razón es nuestra preferencia por un sistema de reactores que pueda funcionar con recursos nacionales. Este sistema posee además la ventaja de un grado de quemado eficaz, produciéndose cantidades significativas de plutonio para su empleo en reactores rápidos.

La primera central de la India, situada en Tarapur, en las cercanías de Bombay, consistía, sin embargo, en dos reactores de agua hirviendo H, (BWR), cada uno de ellos de una capacidad de unos 200 MW(e), que entró en servicio en 1969. La decisión de adoptar un sistema de BWR H para nuestra primera central nuclear fue motivada por el deseo de demostrar lo antes posible la viabilidad económica de la energía nucleoelectrica en el país utilizando un sistema probado. Esta central era un proyecto llave en mano contratado con la General Electric (Estados Unidos) tras un concurso mundial. Nuestros científicos e ingenieros se encargaron de todos los trabajos preliminares, tales como la selección del emplazamiento y la preparación y evaluación de las ofertas y participaron también en la medida de lo posible en la revisión de diseños detallados, la construcción, la inspección y ensayo de equipo y las actividades de puesta en servicio. Desde 1975, los elementos combustibles de uranio enriquecido para esta central se fabrican en la India, en el Complejo de Combustibles Nucleares de Hyderabad, a partir de hexafluoruro de uranio importado de los Estados Unidos. No hemos tratado de desarrollar una capacidad nacional de enriquecimiento, debido sobre todo a que una planta de enriquecimiento en escala comercial no sería económicamente factible para una sola central nuclear para la que, en todo caso, hemos concertado un acuerdo de suministro durante la vida útil de la central.

Casi simultáneamente, cuando se decidió construir la central de Tarapur decidimos también instalar una central nuclear de agua pesada en Kota, Estado de Rajasthan, formada por dos reactores de 220 MW(e). Se trataba en este caso de una empresa en colaboración con el Canadá. La India conservaba la responsabilidad de las actividades de construcción e instalación, mientras que el Canadá se comprometió a facilitar el diseño y el equipo principal. Asumimos los riesgos inherentes, no solo en lo que atañe al costo y plazos que suponía este procedimiento, sino también en las inversiones de capital para un sistema que se encontraba en las etapas iniciales de desarrollo. Si bien se importó el equipo principal para la primera unidad de esta central, se fabricó en la India parte de algunos de los principales componentes. Hemos fabricado también muchos elementos del equipo auxiliar y la mitad de la primera carga inicial de combustible para la primera unidad. Los esfuerzos por aprovechar los recursos nacionales se intensificaron durante la instalación de la segunda unidad de esta central, fabricándose en el país los componentes principales tales como la calandria, los blindajes de los extremos, los generadores de vapor y máquinas de recarga. La primera unidad de la

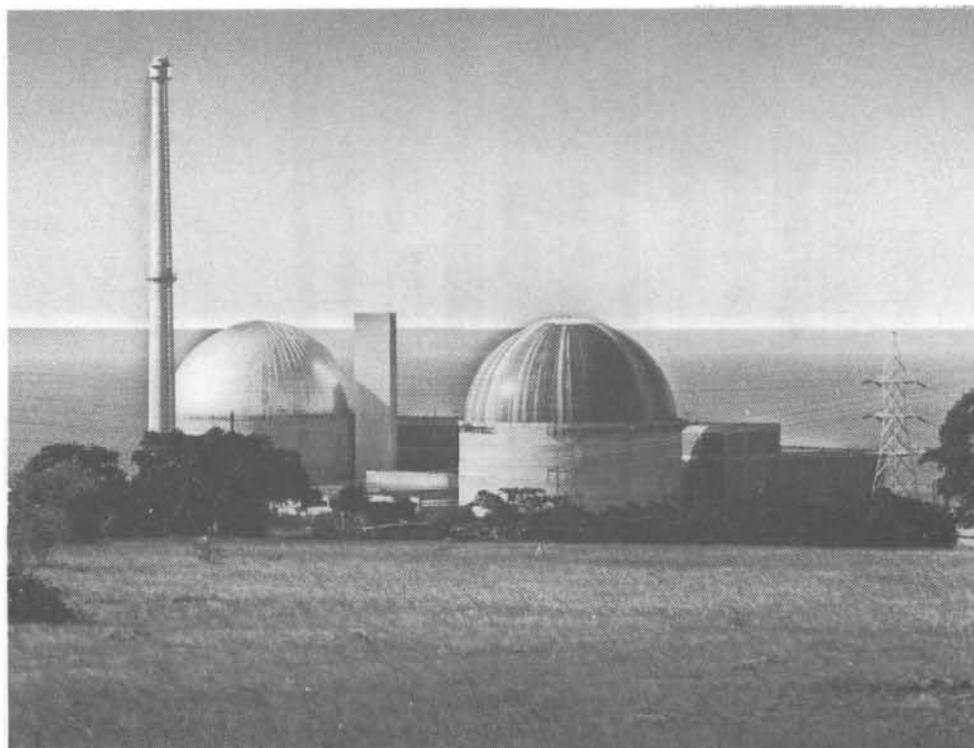


Foto 3:
Central Nuclear de Rajasthan, en Kota.

Central de Rajasthan funciona desde 1975 y la segunda está en una etapa avanzada de entrada en servicio.

Nuestra tercera central nuclear, se halla en construcción en las cercanías de Madrás, India septentrional, y está constituida por dos reactores de agua pesada de 235 MW(e), de los cuales el primero alcanzará probablemente criticidad el año próximo. De la ejecución de este proyecto están encargados totalmente nuestros ingenieros y científicos. Se han introducido varias modificaciones y perfeccionamientos en el diseño de esta central por razones de economía y para tener en cuenta las condiciones locales. La cuarta central, en construcción en Narora, Estado de Uttar Pradesh (India septentrional) consiste también de dos reactores de agua pesada de 235 MW(e). Estos reactores presentan varias nuevas características de concepción, en particular un diseño sísmico de los edificios y componentes del reactor. Entre las nuevas características de los reactores de Narora figuran un conjunto integrado calandria-blindaje de las extremidades, dos sistemas independientes rápidos de parada en aras de la seguridad y fiabilidad, y una cámara simplificada llena de agua para la calandria. Hemos estandarizado el diseño de Narora y nos proponemos repetirlo en dos nuevos proyectos antes de pasar a la construcción de reactores de 500 MW(e) concebidos por nosotros. Para ciertos componentes, tales como las bombas del refrigerante del reactor y los generadores de vapor, hemos decidido su estandarización para tener en cuenta no solo la actual capacidad del reactor en construcción, a saber, 235 MW(e), sino además la de los próximos reactores de 500 MW(e). Con esa finalidad, utilizamos doble número de



Foto 4:

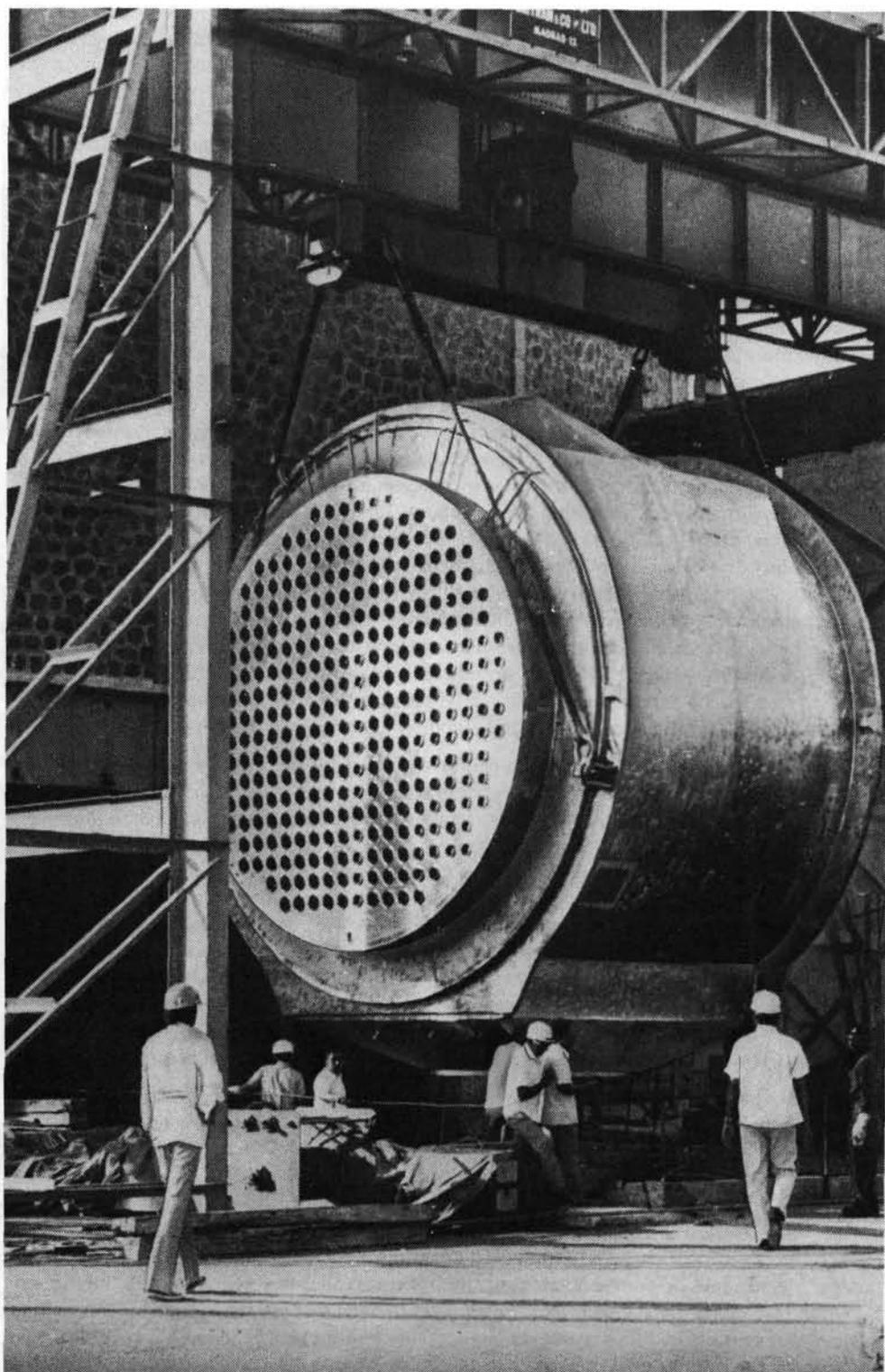
Central de agua pesada en la que se utiliza tecnología creada en la India, en su fase final de construcción en Kota.

componentes para los reactores más grandes y aplazamos para más adelante la necesaria escalación de nuestra industria.

Como resultado de una utilización más intensiva de nuestros propios recursos hemos reducido progresivamente la importación de componentes para nuestros proyectos nucleares. La proporción de importaciones para la primera unidad de la Central de Rajasthan fue de 45%, que se ha reducido en el caso de la segunda unidad a 30%. Esa proporción ha disminuido todavía más hasta un 12%, en el caso de la Central de Madrás y es de solo un 9% aproximadamente en la de Narora. Incluso esta proporción marginal se eliminará una vez que hayan entrado en servicio las nuevas plantas de fabricación actualmente en construcción

Foto 5:

Calandria de fabricación india en curso de instalación en la Central Nuclear de Madrás. ▶



en el país. La creación de una capacidad de diseño y de fabricación nos ha ayudado también a disminuir los costos indirectos de ingeniería, de gestión directa y de entrada en servicio, que suelen constituir una parte importante de un proyecto llave en mano. Por ejemplo, hemos podido reducir el costo de ingeniería calculado como porcentaje del costo por kilovatio instalado desde aproximadamente el 15% para la primera unidad de la Central de Rajasthan a menos de 6% para la de Narora. Esta reducción se ha logrado a pesar de las extensas modificaciones introducidas en el diseño para tener en cuenta las condiciones sísmicas y los nuevos conceptos utilizados en esta última central.

REPERCUSIONES DEL PROGRAMA NUCLEAR DE LA INDIA

Para conseguir nuestro actual grado de autosuficiencia, el Departamento de Energía Atómica efectuó trabajos no intentados probablemente por ninguna organización similar en otras partes del mundo. Esto refleja a la vez nuestra debilidad y nuestra fuerza inherentes. Tuvimos que hallar fabricantes nacionales y convencerles de desplegar un esfuerzo para producir componentes de precisión, pesados y ligeros, por primera vez en el país. El propio Departamento de Energía Atómica tuvo que elaborar procedimientos de fabricación, control de calidad, técnicas de inspección, etc. A menudo hemos pasado momentos difíciles para encontrar un fabricante dotado de todas las instalaciones necesarias para efectuar una tarea determinada, y nos hemos visto obligados a subcontratar este trabajo entre varios fabricantes. El resultado de tal método ha sido problemas especiales ocasionados por la necesidad de coordinación entre distintos talleres, la secuencia de las operaciones, las medidas correctoras para las desviaciones, etc.; finalmente, también tuvimos que montar los componentes. En algunos casos, por ejemplo el de ciertos componentes del canal de refrigerante, como no pudimos hallar ningún fabricante dispuesto a consagrar tiempo y fondos para estos trabajos de alta precisión muy bien hubiéramos podido recurrir al método más cómodo de importarlos, pero, habiendo decidido agarrar el toro por los cuernos y resolver el problema nosotros mismos, terminamos realizando la labor en el seno de la organización.

En la India la energía nucleoelectrónica ha demostrado no solo ser rentable y segura sino que además ha desempeñado la inestimable función de catalizador del progreso científico, técnico e industrial del país en su conjunto. El Departamento de Energía Atómica realizó los trabajos exploratorios en la esfera de procesos y diseño del equipo para diversas operaciones químicas o actividades metalúrgicas. El éxito de nuestras actividades ha dado a nuestra industria, tanto del sector privado como del público, conciencia de su potencial de perfeccionamiento. Ha aumentado de modo significativo la conciencia profesional con respecto a la calidad y se han mejorado las prácticas de taller de casi todos los fabricantes asociados a nuestro programa. Aunque el mejoramiento resultante de la base tecnológica fue al principio una tarea difícil y costosa, ha dado con frecuencia a nuestra industria la confianza y la capacidad de competir en el mercado internacional, incluso en la manufactura de equipo tradicional destinado a fábricas de azúcar, cemento, centrales eléctricas, etc.

El trabajo en la esfera de los materiales y combustibles nucleares ha originado también una demanda interna de materiales avanzados de construcción y de medios para producirlos. Por ejemplo, las técnicas elaboradas para la extrusión de Zircaloy se han aplicado a la extrusión de tubos de aleaciones de acero destinados a nuestra industria petrolera. La experiencia adquirida en la operación de plantas altamente instrumentalizadas en la industria nuclear ha permitido el diseño nacional de varias plantas químicas. Nuestros conocimientos técnicos en la vanofusión y en la fundición de uranio podrían ser útiles para producir metales y aleaciones de composición controlada y desarrollar la pulvimetalurgia. Incluso en el campo tradicional de la construcción civil, la experiencia obtenida con nuestros proyectos nucleares ha permitido dominar nuevas técnicas, como por ejemplo la del hormigón pretensado. Los edificios del reactor de la central de Madrás están construidos por completo

con hormigón pretensado proyectado para una contención de una presión interna de más de una atmósfera. Podría citarse un gran número de ejemplos análogos de los resultados positivos para el progreso industrial del país del programa de energía atómica.

EL FUTURO

Nuestros reactores en servicio y en construcción representan actualmente alrededor de 1300 MW(e) de capacidad instalada. La estimación "alta" para nuestra capacidad proyectada al terminar este siglo es relativamente modesta, de 10 000 MW(e), de los cuales 3000 procederán probablemente de reactores reproductores rápidos. No será una tarea fácil. Aunque podamos construir centrales nucleares con gastos de inversión más bajos que en otras partes del mundo, la inversión inicial requerida y los períodos de gestación necesarios son todavía más largos que para las centrales alimentadas con carbón. Por consiguiente, la disponibilidad de suficientes capitales constituirá una limitación en el futuro inmediato. A la larga, las inversiones en la industria nucleoelectrónica aumentarán probablemente a medida que la minería y el transporte del carbón en los próximos decenios pasen a ser de mayor densidad de capital. Tendremos también que proseguir nuestros esfuerzos para mejorar la industria nacional a fin de hacer frente a las nuevas necesidades de nuestro programa.

La filosofía del crecimiento cero y la reducción del consumo energético, propugnada por buenas razones en algunos países avanzados, es totalmente ajena a nuestras condiciones socioeconómicas. Nuestro consumo per cápita de electricidad es muy bajo, siendo los mayores consumidores la industria y la agricultura. El consumo de electricidad en los hogares representa apenas el 10%. Una parte significativa del insumo energético de la India procede de las denominadas fuentes no comerciales, tales como la leña, causa de deforestación en gran escala. Por tanto, los factores económicos y ambientales aconsejan un aumento del consumo de energía eléctrica. Tal vez por estas razones no nos hemos enfrentado en la India con los problemas de aceptación pública de la energía nucleoelectrónica. Sin embargo, esto no nos ha llevado en absoluto a despreciar al importante problema de la seguridad nuclear. Nuestros físicos sanitarios y los grupos de protección radiológica han establecido rigurosas normas, y estamos en activa cooperación con los esfuerzos internacionales para reforzar y normalizar los métodos de vigilancia y de evaluación de la seguridad.

El programa de la India de utilización de la energía atómica con fines pacíficos se ha visto afectado hasta cierto punto por prácticas comerciales restrictivas y embargos unilaterales sobre suministros nucleares practicados por ciertos países. Se trata de hechos lamentables puesto que se basan esencialmente en una discriminación y una desconfianza política. En el caso de la India estas medidas ocasionarán retrasos temporales y un incremento de los costos en los proyectos en el futuro próximo. A largo plazo servirán solo para reforzar y acelerar el programa de la India encaminado a conseguir su autosuficiencia en la esfera nuclear.