

3 a 6

**La ingeniería nuclear
en España**

12 a 14

**La propulsión
naval nuclear**

20

Noticias de actualidad

23

Estadísticas

24

Direcciones “web”

Editorial

Actualmente estamos asistiendo a una fase de relanzamiento de las centrales nucleares. La actual crisis ha de tener, sin duda, un cierto efecto en los planes nucleares, tanto por las dificultades financieras como por la desaceleración de la demanda, pero en los muy largos plazos para los que ha de planificarse la estrategia energética mundial, las crisis económicas son (así cabe esperar) episodios puntuales que no deben cambiar las tendencias ni las medidas que hay que tomar para afrontar las tareas asociadas a un nuevo despliegue nuclear, con su demanda de bienes y servicios a escala mundial.

Al gran número de científicos e ingenieros que actúan en el campo nuclear, habrá que sumar nuevos profesionales bien formados, que trabajen en las nuevas construcciones. Estos técnicos, y también los que han de sustituir a las generaciones actuales, deben ser formados en las técnicas modernas con la antelación suficiente.

Este número presenta una panorámica de las entidades donde trabajan los técnicos nucleares que operan las centrales nucleares y prestan los servicios necesarios a estas y a las entidades que los necesitan, así como participan en labores de todo tipo para la exportación. Las necesidades de personal para las importantes labores que se avecinan no pueden subestimarse no solo desde el punto de vista del esfuerzo de educación que van a necesitar, sino también de la necesidad de actividades de apoyo que van a constituir una importante aportación a la economía de amplias zonas del país.

El gran número de científicos e ingenieros que actúan en el campo nuclear ha de suplementarse con nuevos efectivos, bien formados en las técnicas modernas

Por otra parte, **el núcleo** trata de un tema poco conocido en España, como es la propulsión naval nuclear. La actividad en este campo ha sido hasta ahora principalmente militar, pero tiene un posible interés a largo plazo en vista del incremento del transporte marítimo en un mercado globalizado y las posibles dificultades en el abastecimiento de hidrocarburos. ■



La moratoria nuclear terminó en España con la Ley del sector eléctrico 54/1997, por la que se liberalizó la generación eléctrica

La ingeniería para las instalaciones nucleares

La implantación de cualquier instalación industrial requiere la ejecución de múltiples labores por parte del titular, la Administración y muchas entidades que forman parte de la infraestructura industrial y financiera del país. La participación de empresas extranjeras siempre ha sido importante y lo es más hoy día, en un mercado globalizado.

Cuando la instalación entra en la fase de explotación, después de la fase de puesta en marcha, las actividades principales de operación, gestión de suministros de materias primas, comercialización del producto y gestión de efluentes y de residuos comprenden también el mantenimiento y la mejora de las instalaciones.

Al final de la vida productiva de la instalación, el titular es también responsable de la clausura y desmantelamiento de la misma y de la restauración del emplazamiento para hacerlo apto para otros usos.

De una manera general, cuando una empresa decide iniciar el proceso de instalar una planta industrial, el propietario establece las bases comerciales, financieras y técnicas sobre las que va a operar, elige la tecnología, obtiene las autorizaciones administrativas necesarias, adquiere los terrenos y contrata los suministros, la obra civil y el montaje de los equipos, terminando con la puesta en servicio y la entrada en operación. Para todo ello ha de disponer de la capacidad organizativa y técnica necesaria, propia o contratada, para llevar a cabo todas estas tareas de forma eficaz y segura.

En España se utiliza ampliamente la práctica americana, por la que la empresa propietaria elige el suministrador de la tecnología básica y utiliza los servicios de empresas de ingeniería (los llamados arquitectos-ingenieros), que disponen de la experiencia y la capacidad en las distintas especialidades (mecánica, eléctrica, instrumentación y control, obra civil, etc.) para desarrollar los proyectos desde la especificación básica hasta la ingeniería de detalle, utilizando los códigos y normas industriales aplicables, y apoyar al propietario en la gestión de las adquisiciones y la construcción de la instalación y montaje de los equipos. El reparto de las tareas entre los servi-

cios de ingeniería del propietario y el arquitecto-ingeniero depende del tamaño de los primeros y de la carga de trabajo que puedan asumir durante la realización del proyecto.

Los proyectos de las centrales nucleares son particularmente complejos, por la necesidad de garantizar en todo momento la protección de los trabajadores, el público en general y el medio ambiente contra los riesgos provenientes de la posible liberación de radiactividad. No es exagerado decir que el número de horas-hombre necesario para la ingeniería de una central nuclear de 1.000 MW es de 10 a 15 veces superior al que requieren dos unidades fósiles de 500 MW.



“Llave en mano”

Las primeras centrales nucleares, especialmente en países que iniciaban sus programas nucleares, fueron contratadas por el procedimiento denominado de “llave en mano”, mediante el cual el proveedor principal asume toda la responsabilidad del suministro, incluidas las contrataciones locales y la construcción, montaje y puesta en servicio de la central. A medida que las empresas locales adquirían la necesaria experiencia se fue pasando a un régimen de contratación por sistemas parciales, entre los cuales sobresalían siempre el sistema nuclear de generación de vapor y el turboalternador, suministrados siempre por las empresas propietarias de la tecnología básica. Para el resto de la central que, junto con la construcción y el montaje, representa la gran mayoría del volumen de trabajo, las empresas locales fueron asumiendo la dirección, el proyecto y la ejecución de los trabajos. Es la llamada “contratación por componentes”.

La modalidad “llave en mano” ha sido en muchos casos abandonada, al tiempo que las empresas propietarias han incrementado sus capacidades de ingeniería y gestión. Hay que tener en cuenta que, incluso en las contrataciones “llave en mano” el propietario tiene que examinar y aprobar multitud de documentos para asegurar ante las autoridades reguladoras que se están respetando las normas vigentes. Esto puede dar lugar, en caso de insuficiente entendimiento entre las partes, a discrepancias, retrasos y encarecimientos no deseables para una industria que está en vísperas de un relanzamiento importante. No obstante lo anterior, los países que inician su andadura nuclear necesitarán suministros “llave en mano”, al menos de conjuntos parciales de actividad y suministro.

En todo caso, las empresas de ingeniería llevan a cabo actividades que van más allá del proyecto y gestión de centrales nucleares nuevas y del apoyo a la explotación de las existentes. También prestan múltiples servicios de estudio, proyecto y gestión de instalaciones y actividades para instituciones y empresas del ciclo de combustible, tanto nuevo como irradiado, ayuda para estudios de organismos reguladores, desarrollo de normas y procedimientos, y un largo etcétera que incluye, desde luego, la intervención en los mercados internacionales, con especial atención a los países emergentes que necesitan establecer infraestructuras básicas. ■

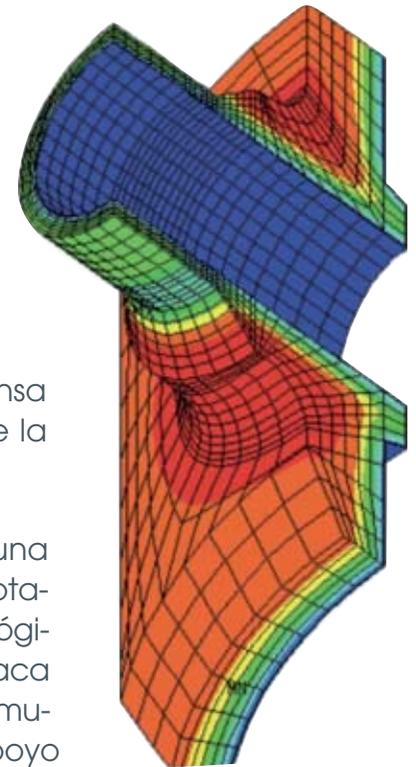
*En la actualidad,
30.000 personas
trabajan de forma
directa e indirecta
en el sector
nuclear español*

La ingeniería nuclear en España

El nivel alcanzado por el sector nuclear en España es muy importante. En todas las actividades nucleares trabajan técnicos y científicos con gran experiencia en el campo nuclear. Deben citarse, sin pretender ser exhaustivos, los siguientes campos, donde las entidades responsables utilizan efectivos propios y contratan a otras empresas cuando las tareas específicas exceden su capacidad. Los ingenieros y científicos nucleares actúan en todos estos sectores:

- El organismo regulador, **Consejo de Seguridad Nuclear**, encargado de garantizar la seguridad de las instalaciones nucleares y radiactivas y de emitir los informes vinculantes necesarios para las autorizaciones.
- Las **empresas eléctricas**, responsables en su día de la planificación, especificaciones, adjudicación de contratos, construcción de las centrales y después de la operación de las mismas. Para las centrales existentes desarrollan actividades de optimización del funcionamiento, mantenimiento, gestión del ciclo del combustible y participación en el desarrollo de nuevos reactores. Son también responsables de la elaboración de los estudios de seguridad, ambientales, etc. y de la relación con el organismo regulador. Para todas estas tareas las empresas disponen de un amplio cuadro de técnicos, y han creado empresas adjuntas de ingeniería para sus propias necesidades y para trabajos en el exterior.
- Los **proveedores de sistemas nucleares**, presentes en España mediante delegaciones de los principales diseñadores de reactores. Además de su misión de suministrar los sistemas nucleares de generación de vapor, prestan servicios de consulta, de apoyo en la operación y de mantenimiento.
- Los **proveedores de combustible**. En España, la actividad de suministro en el ciclo del combustible está a cargo de la empresa pública ENUSA Industrias Avanzadas, responsable, en régimen de competencia internacional, de las fases de diseño del núcleo, adquisición del uranio, servicios de conversión y enriquecimiento, así como de la fabricación de los elementos combustibles, transportes nucleares y otras actividades.

- Las **empresas de ingeniería**. Participaron en el proyecto y la construcción de las centrales y disponen de una importante capacidad de proyecto y gestión de todo tipo de instalaciones industriales, incluida la construcción de centrales nuevas, la ayuda para el mantenimiento y modificaciones de las centrales en funcionamiento y la ejecución de proyectos para otras instalaciones del ciclo del combustible, tanto de combustibles nuevos como usados, así como de residuos y tareas de desmantelamiento. Las ingenierías españolas están también presentes en los concursos internacionales abiertos, ofertando los aumentos de potencia, la gestión de la operación a largo plazo, la renovación de los equipos principales, así como los estudios para la implantación de mejoras en la seguridad en las centrales del este europeo con la incorporación de los criterios occidentales.
- Los **proveedores de equipo**. Además de las técnicas de fabricación, las empresas que actúan en este sector llevan a cabo tareas de proyecto de nuevos componentes y análisis estructural avanzado, sometido todo ello a estrictos sistemas de garantía de la calidad. En los años posteriores a la moratoria nuclear impuesta en nuestro país desarrollaron una importante labor de exportación a otros países.
- Las empresas de **construcción y montaje**, de actividad muy intensa durante la construcción de centrales nuevas, ocupadas durante la explotación en servicios de apoyo.
- Las empresas de **servicios especializados**, que han adquirido una gran experiencia en múltiples campos relacionados con la explotación, la ejecución de tareas auxiliares con el debido control radiológico, acondicionamiento de residuos, descontaminación, etc. Destaca la empresa Tecnatom, encargada del proyecto y suministro de simuladores, la inspección en servicio y el desarrollo de sistemas de apoyo y mejora en la explotación, así como de la formación de técnicos especialistas en la operación de las centrales.



Análisis estructural de pared/tobera (ENSA)

- La **Empresa Nacional de Residuos Radiactivos** (Enresa), encargada de la gestión de los residuos radiactivos y combustibles gastados, así como del desmantelamiento de las instalaciones retiradas del servicio, y que especifica y contrata el proyecto y construcción de las instalaciones necesarias.

Este entramado cuenta para la prestación de sus servicios, directos e indirectos, con cerca de 30.000 personas, incluyendo más de 3.000 titulados superiores. Solamente la operación de cada reactor emplea directamente unas 500 personas (de varias generaciones, puesto que la operación de las centrales va más allá de los 40 años), más el concurso de muchas más contratadas para diversos servicios, incluyendo las recargas, mantenimiento, modificaciones, etc.

La construcción de nuevas centrales

La capacidad técnica de las empresas que actúan en el campo nuclear es fundamental para el lanzamiento de la construcción de nuevas unidades nucleares, que requerirán en su momento capacidades adicionales sustanciales.

Las tres primeras centrales nucleares españolas fueron contratadas “llave en mano” por los propietarios al proveedor principal, que asumía toda la responsabilidad del suministro, incluidas las contrataciones locales y la construcción, montaje y puesta en servicio de la central. Las dos primeras centrales fueron las pioneras en la organización de la infraestructura nuclear del país. Para ello, los propietarios eligieron proveedores americanos, con lo que se adoptaron en España las prácticas y normas americanas, incluso por la incipiente estructura reguladora y normativa. La central de Vandellós-I, contratada un poco después con un consorcio francés, constituyó una excepción.

La actividad de subcontratación en el país, siguiendo en lo posible las directrices de protección a la industria nacional entonces imperantes, se llevó a cabo por los contratistas principales con empresas locales. La magnitud del trabajo asumido aconsejaba, como era la práctica normal en Estados Unidos, contar con empresas de ingeniería que se encargaran de la reali-

La estructura nuclear industrial en España comenzó a crearse en los años 60 como consecuencia de la decisión de construir las centrales nucleares de José Cabrera, Santa María de Garoña y Vandellós-I

zación del proyecto detallado de la central conforme a la especificación del equipo principal y las normas vigentes, así como de las labores de subcontratación, dirección de la obra y del montaje. Entre ellas figuraron, al lado de otras americanas, empresas de ingeniería españolas, que habían adquirido experiencia en las técnicas modernas desde la época de la construcción de las bases americanas en los años 50, pasando por las centrales térmicas y diversas instalaciones industriales. Esta experiencia fue fundamental para su asunción de mucha mayor responsabilidad en las centrales de las siguientes etapas, que fueron contratadas por componentes, con un reparto lógico de cometidos entre los participantes.

En la contratación por componentes que se adoptó para las siguientes centrales, Almaraz, Lemóniz y Ascó, y poco después Cofrentes, con sistemas nucleares de Westinghouse y General Electric, las empresas de ingeniería, ya contratadas directamente por los propietarios, cooperaron con estos en la coordinación de todo el proyecto y la realización de los cálculos, diseños, gestión de compras, aplicación de códigos y normas, etc. y la resolución de las interferencias que pudieran surgir en las áreas de interfaz con el suministrador principal y con el resto de sistemas, es decir, en la coordinación de datos, parámetros y condiciones asociadas, así como la obra civil relacionada con la implantación de los equipos y sistemas, apoyando al mismo tiempo al propietario en sus relaciones con el organismo regulador, que fue creado por entonces.

En estas tareas actuaron empresas como Empresarios Agrupados (creada por la americana Gibbs and Hill y las españolas EPTISA y Técnicas Reunidas), INITEC (apoyada inicialmente por la americana Bechtel) y SENER. Estas compañías ya habían participado individualmente en anteriores trabajos nucleares. En los sucesivos proyectos nucleares continuó este modelo de gestión con la participación de otras empresas de menor dimensión. Las centrales siguientes, Vandellós-II y Trillo-I, han seguido la misma pauta, con las mismas empresas participantes. Es de notar que para la central de Trillo-I, de tecnología alemana (Siemens-KWU), la empresa de ingeniería actuante, los subcontratistas y el organismo regulador se adaptaron sin dificultad a las normas y a los procedimientos alemanes.

La mayor parte de estas empresas han diversificado su actuación en otros campos de la ingeniería, aplicando la experiencia y excelencia técnica adquiridas durante su actuación en el área nuclear. Sin embargo, tras diversas vicisitudes, conservan sus capacidades nucleares y están preparadas para aportar sus servicios cuando llegue la gran demanda durante el lanzamiento y ejecución de los trabajos de implantación de nuevas centrales. Otras empresas del sector han dedicado una parte importante de su actividad a la exportación y han intervenido en estudios y proyectos, suministros de componentes y de otros servicios para centrales extranjeras en construcción en otros países, con lo que su actuación en un futuro programa de centrales nucleares en el país será posible sin mayores dificultades.

El gran esfuerzo de ingeniería que requiere una central nuclear nueva puede verse en las tablas adjuntas, que revelan el volumen de documentación de la ingeniería de una central nuclear de 1.000 MW, comparado con una central fósil de dos grupos con la misma potencia agregada, y los recursos, expresados en horas-hombre de ingeniería y construcción implicadas durante el lanzamiento y construcción de la central, en el curso de unos seis años.

Documentación	Central térmica	Central nuclear
Flujo correspondencia	30.000	250.000
Planos	1.200	40.000
Esquemas eléctricos	4.000	20.000
Criterios, estudios y cálculos	100	1.000
Planos soportes	650	40.000
Planos fabricantes	8.000	40.000

Horas-hombre	Central térmica	Central nuclear
Ingeniería y diseño	350.000	5.700.000
Compras	65.000	400.000
Dirección de construcción	300.000	2.500.000
Construcción	8.000.000	30.000.000
Puesta en marcha	350.000	1.800.000

Fuente: Estas tablas están tomadas de la memoria "NPP Management Overview", presentada por A. García Rodríguez en un seminario en China en 1986 y después incorporadas en la publicación "La Ingeniería Nuclear en España. Pasado, Presente y Futuro", del Instituto de la Ingeniería de España, octubre de 1998 y actualizada en 2002.

El sector nuclear español, experto y competitivo, participa en el desarrollo nuclear mundial y está preparado para afrontar la construcción de nuevos reactores en España

Hay que tener en cuenta que los equipos principales importados suponen solo un 20% de la inversión total; el 80% restante consiste en componentes menores y servicios, con una gran tarea de diseño, integración y montaje. Hoy día puede esperarse una reducción del esfuerzo necesario, gracias a la normalización y la modularización, así como a las técnicas informáticas disponibles.

Cada central nuclear nueva necesitará de todas maneras para su proyecto, instalación y puesta en marcha no menos de 2.000 personas durante más de seis años, con puntas superiores a 4.000 personas. Durante este tiempo, la actividad principal estará a cargo de las empresas de ingeniería y de construcción y montaje. Un informe reciente de Foro Nuclear estima que un plan de construcción de 11.000 MW nucleares en el horizonte 2030, necesitará una inversión de unos 33.000 millones de euros y proporcionará un empleo equivalente a 145.000 hombres-año. Parte de esta actividad, en el mercado globalizado, podrá proceder del exterior, pero la gran mayoría estará a cargo de la industria española, que está preparada para este reto, si bien es preciso programar las actividades con antelación suficiente para permitir la formación e incorporación del personal necesario. ■



Aplicación de la energía nuclear en la técnica naval

Los primeros reactores de los años 40, comenzando con el CP-1 de Fermi situado en Chicago, utilizaban necesariamente uranio natural y moderadores (y después, refrigerantes) poco absorbentes de neutrones, con lo que los reactores eran grandes, con densidades de potencia reducida. Estos reactores se usaron pronto en los programas militares durante la II Guerra Mundial, para producir plutonio para armas nucleares en reactores de uranio natural metálico, moderados por grafito y refrigerados por gas. Pronto se agregaron a éstos otros reactores de uranio natural más pequeños, con un moderador no absorbente y más eficaz: el agua pesada.

En todo caso, era evidente que la gran densidad de potencia posible con la fisión nuclear proporcionaba la oportunidad de generar grandes cantidades de energía con muy pequeño consumo de material fisionable. La fisión completa de un gramo de uranio-235 (contenido en el uranio natural en un 0,711%) produce 24.000 kWh, lo mismo que la combustión de 860 kg de carbón. Esto motivaría más adelante, en el campo civil, el desarrollo de las centrales nucleares para la producción de electricidad.

El interés por la energía nuclear se centró en aplicaciones militares como la propulsión de submarinos con una fuente de energía compacta que no necesitara aportaciones exteriores (como oxígeno), ni operaciones frecuentes de reabastecimiento que mermaran su autonomía. Para ello era necesario reducir mucho el tamaño de los reactores, mediante el uso del mejor moderador existente, el agua natural o ligera, lo que requería, sin embargo, enriquecer el uranio en su componente fisionable, el uranio-235, para compensar las importantes absorciones de neutrones en el hidrógeno del agua ligera. Este fue el origen de los reactores de agua ligera y uranio enriquecido que equipan la mayor parte de los submarinos nucleares y que darían lugar después a los modernos reactores para uso civil de generación de energía eléctrica en centrales nucleares. Para los buques de superficie también es interesante el empleo de reactores nucleares para obtener la deseada autonomía en el campo militar y en el civil, como en el caso de los rompehielos.

La gran densidad de potencia que proporciona la energía nuclear ha motivado también el interés por su utilización para aplicaciones espaciales. En las misiones espaciales alejadas del sol, que no puedan obtener suficiente energía con paneles solares, se utilizan generadores isotópicos para producir electricidad que alimente los servicios de a bordo. Por otra parte, para misiones en el espacio profundo en las que sea necesario acelerar las naves para lograr tiempos razonables de viaje habrá en su día que contar con motores compactos de propulsión nuclear. ■



**Actualmente
hay operativos
140 submarinos
nucleares
en Estados Unidos,
Rusia, Reino Unido,
Francia y China**

La propulsión naval nuclear

Las ventajas de la energía nuclear en cuanto a su elevada potencia específica y la posibilidad de que los reactores nucleares funcionen durante largos períodos de tiempo sin necesidad de reabastecer su combustible determinó desde el principio el interés por su utilización como motores para la propulsión naval, particularmente de submarinos. El primer submarino de ataque, el *SSN Nautilus*, puesto en servicio en 1954, utilizaba un reactor de tipo PWR muy compacto, con combustible muy enriquecido. Desde entonces se han construido en varios países (Estados Unidos, Reino Unido, Rusia, Francia y China) numerosos submarinos, portaaviones y fragatas para uso militar, y un número limitado de buques mercantes y rompehielos para uso civil. Todos ellos comparten el interés por disponer de potencias elevadas sin ocupar espacio útil con el combustible de propulsión, y asegurar largas singladuras sin otras limitaciones que las impuestas por la resistencia de las tripulaciones.

Submarinos nucleares

Los submarinos nucleares recorren sumergidos trayectos de decenas de miles de kilómetros e incluso han atravesado el Ártico por debajo de su casquete polar. Los últimos submarinos nucleares puestos en servicio están dotados con reactores con una carga de combustible que dura toda su vida operativa, sin necesidad de recarga. Los submarinos nucleares pueden llevar tubos lanzatorpedos o lanzadores de misiles crucero (SSN), o misiles con cabeza nuclear (SSBN), pero la denominación "nuclear" se refiere siempre al tipo de propulsión, no a la posible carga armamentística.

Aunque se han construido en total 437 submarinos militares de propulsión nuclear, hoy quedan operativos 140 que se reparten entre Estados Unidos (69), Rusia (39), Reino Unido (16), Francia (10) y China (6).

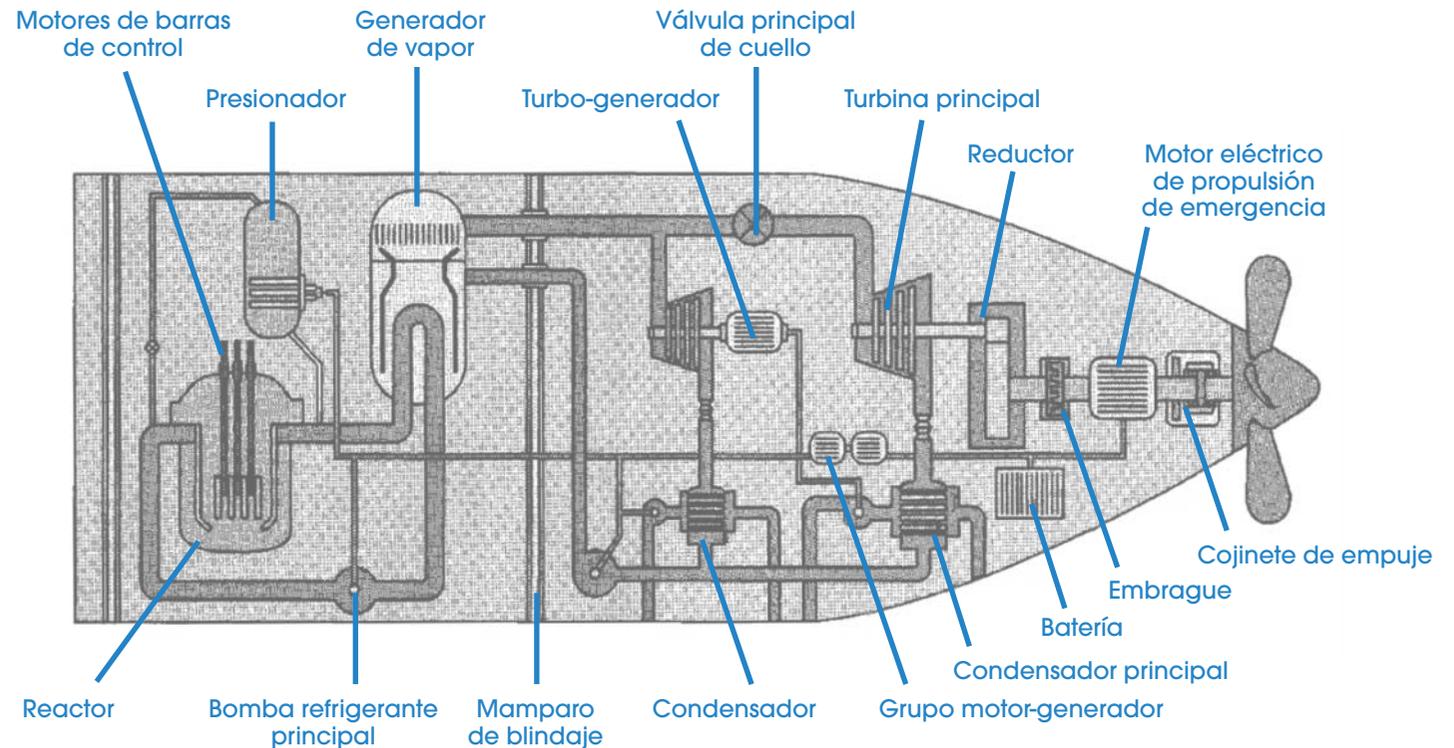
Los submarinos nucleares tienen dimensiones mucho mayores que los convencionales, con desplazamientos de hasta 20.000 toneladas, esloras de 100 metros (los SSN) a 170 metros (los

SSBN) y velocidades de 25 nudos (los SSBN) a 40 nudos (los SSN). La potencia en los ejes va de 15.000 a 40.000 caballos (los SSN), y hasta los 60.000 caballos (los SSBN).

Los reactores empleados, aunque ha habido algunos refrigerados por metales líquidos, son hoy PWR de diseño compacto, con combustible de uranio metálico altamente enriquecido aleado con circonio o aluminio, con potencias que van de 50 a 200 MWt, según los tipos. El vapor producido en los generadores de vapor va a las turbinas de propulsión, que accionan las hélices a través de reductores mecánicos de velocidad. Otras turbinas más pequeñas se encargan de producir la energía eléctrica necesaria. Los submarinos franceses y chinos, por el contrario, utilizan generadores eléctricos y motores que accionan las hélices. Los reactores son de diseño enormemente estable, con respuesta muy rápida de su potencia a las necesidades de las maniobras de la nave sin apenas intervenir los sistemas de control.



En la figura adjunta puede verse un esquema de la disposición de los equipos propulsores.



Los reactores están colocados en compartimentos estancos, blindados y separados del resto de los compartimentos del submarino. Tanto en la construcción como en el desguace final, este compartimento actúa como un módulo independiente.

El riesgo principal de los submarinos nucleares es el de cualquier otro submarino, incluyendo colisiones, abordajes o naufragios, más los procedentes de su actividad militar en caso de contienda, lo que no ha ocurrido nunca. El reactor y su compartimento están colocados lo más lejos posible del casco y en los lugares, entre el centro y la popa, donde las aceleracio-

nes son menores. Están diseñados con los más estrictos requisitos de seguridad y, desde luego, su contención asegura que cualquier escape de radiactividad quede contenido en cualquier clase de accidente.

Buques de superficie

Las mismas consideraciones de elevada potencia específica de los reactores y su posibilidad de funcionar sin recargas durante largo tiempo impulsaron la construcción de barcos de superficie con propulsión nuclear.

En el campo militar destacan los grandes portaaviones, buques de gran velocidad de cruce-ro que pueden desempeñar sus misiones en escenarios alejados de sus bases sin necesidad de buques de apoyo logístico. Después del portaaviones *Enterprise* (ver en foto adjunta), de 93.000 toneladas de desplazamiento, construido en 1961 en Estados Unidos y equipado con ocho reactores PWR que proporcionan una potencia en el eje de 280.000 caballos, se han construido otros portaaviones y varios cruceros y fragatas, y existe alguno más en construcción. Hoy permanecen operativos 10 portaaviones en Estados Unidos (entre ellos el veterano *Enterprise*), uno en Francia y otro en Rusia. En Estados Unidos ya no se construirán otros tipos de buques nucleares, salvo los portaaviones que serán to-



dos nucleares según se decidió en 1974, pero aún permanecen operativos cuatro cruceros nucleares en Rusia.

En el campo civil, las ventajas de la propulsión nuclear son las mismas de autonomía y mayor velocidad, y la posibilidad de transportar cargas de mayor peso y volumen en trayectos largos, ya que no tienen que reservar el espacio y el peso necesarios para el combustible convencional.

El desarrollo del transporte entre ciertos países, explotando los recursos minerales del Ártico, no es posible sin un transporte principal eficiente; esto es solo realizable con buques de carga y rompehielos potentes propulsados por energía nuclear como los disponibles en Rusia. La utilización de las plantas de propulsión nuclear para estos buques permite una alta autonomía en la navegación. Rusia dispone de rompehielos nucleares desde el año 1959, en que el rompehielos *Lenin* fue puesto en servicio, seguido después por otras ocho unidades más, que están operativas como barcos de escolta en las rutas del mar del Norte, y en las de los barcos de transporte de hidrocarburos desde el mar del Norte.



Desde los años 50 se consideró la conveniencia de disponer de reactores de propulsión naval para aplicación civil, siendo autorizada en el año 1956 la construcción de un buque civil de carga y pasajeros, de peso muerto 9.990 toneladas y 20.000 caballos, el *NS Savannah* (ver en foto adjunta); después se emprendió la construcción de los buques de propulsión nuclear *Otto Hahn*, y *Mutsu*, en Japón.

- El *Savannah*, construido en Estados Unidos, con un reactor de 75 MW, navegó desde 1962 a 1972 y visitó, entre otros, puertos españoles. Hoy está conservado como museo.

- El *Otto Hahn*, construido en Alemania, con un reactor de 35 MW, funcionó solo cuatro años y fue después reconvertido a propulsión convencional.
- El *Mutsu*, construido en Japón, con un reactor de 36 MW, experimentó múltiples problemas en su puesta en marcha y nunca llegó a funcionar comercialmente. Hoy, desprovisto de su reactor, está convertido en buque de observación.
- El *Sevmorput*, construido en Rusia, con un reactor de 135 MW, funciona todavía hoy. Está equipado con una proa rompehielos y se encuentra en proceso de conversión para servicio en proyectos de exploración petrolífera.

Durante las crisis del petróleo se estudió la posibilidad de construir superpetroleros con propulsión nuclear a fin de recorrer la ruta del Cabo de Buena Esperanza en tiempos mínimos, con el consiguiente ahorro en intereses por la valiosa carga. Ni este proyecto ni otros se llevaron a efecto, en medio de la contestación social que dificultaba la utilización de puertos comerciales e incluso bases técnicas para el mantenimiento de la maquinaria.

En España se estudió por parte de equipos de técnicos la posibilidad de construir buques de propulsión nuclear, incluso con licencias extranjeras, pero estos proyectos no recibieron los apoyos necesarios y se abandonaron tras unos años. ■



Noticias de actualidad

Operación a largo plazo del parque nuclear de Estados Unidos

La Comisión Reguladora Nuclear de Estados Unidos (NRC) ha concedido ya autorizaciones de explotación a largo plazo a 51 reactores nucleares en funcionamiento en 30 emplazamientos distintos. A diferencia de lo que ocurre en España, donde las autorizaciones de explotación se renuevan cada 10 años, en Estados Unidos se concedieron licencias de funcionamiento de 40 años de duración desde el inicio de la operación de las centrales. Con los programas de gestión de activos llevados a cabo, las autorizaciones se han renovado por 20 años adicionales, con lo que estos 51 reactores operarán, al menos, durante 60 años. Otros 19 reactores más han solicitado la autorización para su operación a largo plazo, y se espera la presentación de otras 20 solicitudes en los próximos 5 años. De esta forma, el 90% del parque nuclear de Estados Unidos, 104 unidades en 65 emplazamientos, va a operar a largo plazo en el país, garantizando el suministro eléctrico de forma competitiva y siendo la mayor fuente de producción de electricidad libre de emisiones contaminantes.

Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero

De acuerdo con el informe de la Agencia Europea del Medio Ambiente "*Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2008*" las emisiones de gases de efecto invernadero en el conjunto de la Unión Europea de los 27 han descendido un 7,7% en el año 2006 respecto de los niveles de 1990, año de referencia para los compromisos establecidos en el Protocolo de Kioto. Sin embargo, en el caso de España las emisiones han crecido un 50,6% en el mismo período, es decir, más de 35 puntos porcentuales respecto a lo que permite el citado Protocolo (en el reparto de las emisiones entre los países de la Unión Europea, a España se le permite un aumento del 15%); se ha pasado de emitir 289 millones de toneladas de CO₂, equivalente en el año 1990, a emitir más de 435 millones de toneladas en el año 2006. En este sentido, el funcionamiento de los ocho reactores nucleares españoles evita la emisión cada año de unos

40 millones de toneladas de CO₂, por lo que renunciar a la producción eléctrica nuclear en nuestro país supondría empeorar nuestra situación respecto al cumplimiento del Protocolo de Kioto en casi un 14% adicional.

Nuevos programas nucleares en Italia y Suecia

Durante el mes de febrero, Italia y Suecia han anunciado el desarrollo de nuevos programas nucleares. Tras dos décadas de parón nuclear, en 1987 se decidió por referéndum popular el cierre de las cuatro centrales en funcionamiento en Italia. Este país considera de nuevo la energía nuclear en su planificación energética para garantizar su suministro e incrementar la competitividad de su industria. Los altos precios de la electricidad y su gran dependencia del suministro exterior son razones poderosas para que el gobierno italiano haya impulsado la firma de un acuerdo entre la empresa pública ENEL y la empresa pública francesa EDF, con el objeto de construir cuatro nuevas centrales nucleares que entren en operación a principio de la década de los 2020.

En Suecia, el gobierno de coalición (formado por el Partido Conservador, el Partido Liberal, el Partido Demócrata Cristiano y el Partido del Centro) ha confirmado su intención de anular la prohibición de construcción y permitir que se pongan en marcha nuevos reactores nucleares. Este compromiso se enmarca dentro de la nueva política energética del país, que será presentada por el Gobierno sueco al Parlamento para su votación antes del verano de 2009. La propuesta limita la construcción de nuevas unidades solo para el reemplazo de las 10 centrales actualmente en funcionamiento que producen el 46% de la electricidad consumida en el país, pero no indica nada acerca de la potencia instalada de las nuevas centrales. En un referéndum popular impulsado por los Partidos Demócrata Cristiano y del Centro, y celebrado en marzo de 1980, se acordó el cierre inmediato de las centrales nucleares suecas. Sin embargo, a finales de ese mismo año el Parlamento aprobó que el cierre de las centrales se produjese en el año 2010. Por su parte, el Partido Social Demócrata, principal partido de la oposición, ha declarado que no puede aceptar la construcción de nuevas centrales nucleares, aunque se encuentra dividido por su afiliación con los sindicatos. Los líderes de las federaciones sindicales, con miembros en las industrias suecas con gran consumo de electricidad (principalmente la mi-

nería y la fabricación de acero y de papel) han intentado repetidamente conseguir un cambio en la actitud del Partido Social Demócrata hacia la energía nuclear. De hecho, estas federaciones han estado cooperando en una campaña pronuclear desde el otoño de 2008.

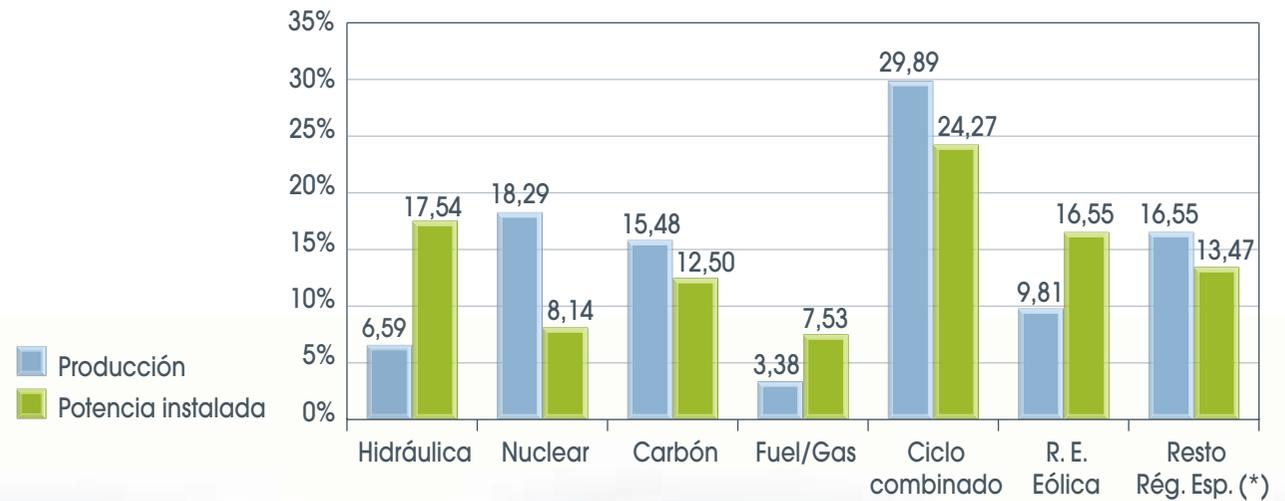
Desmantelamiento de la central nuclear José Cabrera

La central nuclear de José Cabrera en Almonacid de Zorita, Guadalajara, un PWR de 150 MW, fue parada en abril de 2006 tras 38 años de funcionamiento. La primera fase del proceso de clausura es el desmantelamiento de la central, que se inició el día 18 de enero con la retirada del combustible gastado y su traslado al Almacén Temporal Individualizado (ATI). El proceso ha de evitar que el personal reciba dosis de radiación superiores a las permitidas, por lo que todas las operaciones se hacen bajo agua. Se introduce en la piscina una cápsula metálica que puede albergar 32 elementos combustibles y que se cierra mediante una tapa que se suelda a la cápsula. Para el traslado, la cápsula se extrae de la piscina y se coloca en un contenedor de acero revestido de más de un metro de hormigón. Estos contenedores, en número de 12, se llevan al ATI, consistente en una losa de hormigón de un metro de espesor, situada a unos 200 metros del edificio de contención de la central. Un doble vallado protege del acceso del personal no autorizado. Para el traslado del contenedor se emplea un vehículo oruga con un pórtico del que pende el contenedor. Una vez realizadas estas operaciones, Unión Fenosa, propietaria de la central, la transferirá a la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (Enresa), que llevará a cabo el resto del desmantelamiento, proceso con una duración estimada de seis años y en el que se originarán unas 100.000 toneladas de residuos, de los que unas 100 serán de alta actividad. Una vez terminado el desmantelamiento, la propiedad de las 65 hectáreas del emplazamiento de la central volverá a ser de Unión Fenosa. ■



Estadísticas

Sistema Eléctrico en España en 2008



(*) Cogeneración, minihidráulica, biomasa, residuos.

Fuente: elaboración propia con datos de UNESA - Avance Estadístico de la Industria Eléctrica 2008 y REE - El Sistema Eléctrico Español - Avance del Informe 2008.

SOCIOS DE FORO NUCLEAR

- AMPHOS XXI
- APPLUS/NOVOTEC
- AREVA NP ESPAÑA
- CENTRAL NUCLEAR ALMARAZ
- CENTRAL NUCLEAR ASCÓ
- CENTRAL NUCLEAR COFRENTES
- CENTRAL NUCLEAR JOSÉ CABRERA
- CENTRAL NUCLEAR TRILLO I
- CENTRAL NUCLEAR VANDELLÓS II
- COAPSA CONTROL, S.L.
- EMPRESARIOS AGRUPADOS, A.I.E.
- ENDESA
- ENSA
- ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS, S.A.
- GENERAL ELECTRIC INTERNATIONAL, INC.
- GHESA, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA, S.A.
- GRUPO DOMINGUIS
- HC ENERGÍA
- IBERDROLA, S.A.
- INGENIERÍA IDOM INTERNACIONAL, S.A.
- INITEC
- MINERA DE RÍO ALAGÓN, S.L.
- NUCLENOR, S.A.
- PROINSA
- SIEMSA, S.A.
- TAMOIN POWER SERVICES - TPS
- TECNATOM, S.A.
- TÉCNICAS REUNIDAS S.A.
- UNESA, ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE LA INDUSTRIA ELÉCTRICA
- UNIÓN FENOSA, S.A.
- WESTINGHOUSE TECHNOLOGY SERVICES, S.A.

SOCIOS ADHERIDOS

- ANCI, ASOCIACIÓN NACIONAL DE CONSTRUCTORES INDEPENDIENTES
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CALIDAD
- AGRUPACIÓN DE MUNICIPIOS EN ÁREAS CON CENTRALES NUCLEARES
- CÁMARA OFICIAL DE COMERCIO INDUSTRIA Y NAVEGACIÓN DE BARCELONA
- CLUB ESPAÑOL DEL MEDIO AMBIENTE
- CONSEJO SUPERIOR DE COLEGIOS DE INGENIEROS DE MINAS DE ESPAÑA
- ETS INGENIEROS DE CAMINOS DE MADRID
- ETS INGENIEROS DE MINAS DE MADRID
- ETS INGENIEROS INDUSTRIALES DE BARCELONA
- ETS INGENIEROS INDUSTRIALES DE BILBAO
- ETS INGENIEROS INDUSTRIALES DE MADRID
- ETS INGENIEROS INDUSTRIALES DE VALENCIA
- INSTITUTO DE INGENIERÍA DE ESPAÑA
- SEOPAN
- SERCOBE
- TECNIBERIA, ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE EMPRESAS DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA Y SERVICIOS

Direcciones “web” recomendadas

Catálogo de la industria nuclear española
http://www.foronuclear.org/pdf/ine_esp.pdf

Análisis Económico de un Proyecto de Ampliación de la Producción Eléctrica Nuclear en España
http://www.foronuclear.org/pdf/Analisis_economico_proyecto_construccion_nuevas_centrales_nucleares.pdf

Consejo de Seguridad Nuclear
www.csn.es

Enusa Industrias Avanzadas
www.enusa.es

Empresa Nacional de Residuos Radiactivos
www.enresa.es

Equipos Nucleares
www.ensa.es

Tecnatom
www.tecnatom.es

Última hora

Italia se sube al tren nuclear y firma un acuerdo con Francia para la construcción de reactores nucleares en los próximos años

• • •

Francia construirá un nuevo reactor en 2012

• • •

El Gobierno sueco plantea la necesidad de impulsar la energía nuclear