

PROGRAMAS PARA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA NUCLEAR

Adriano P. FIORETTI

TRANSFERENCIA
DE TECNOLOGIA

Durante los últimos veinte años, General Electric ha llevado a cabo la transferencia de su tecnología nuclear de reactores de agua en ebullición a sus asociados técnicos en todo el mundo. Hoy día mantiene acuerdos de intercambio y desarrollo de tecnología con 19 empresas en nueve países, incluyendo acuerdos de fabricación de combustible nuclear en España con la Empresa Nacional del Uranio, S. A. (ENUSA).

La gama de tecnología nuclear ofrecida incluye casi todo el ciclo del combustible, desde la conversión del uranio hasta la gestión y transporte de residuos. El ámbito de la tecnología abarca desde los fundamentos de los procesos de ingeniería de diseño y fabricación nuclear, hasta la formación de operarios y técnicos. Debido a la gama de experiencia acumulada, los programas de transferencia de tecnología se pueden adaptar para cubrir los objetivos a corto y largo plazo de cada compañía o nación. En este artículo se discuten los métodos de transferencia de tecnología utilizados, y se resume su aplicación en España, incluyendo los acuerdos relativos a la empresa ENUSA.



Adriano P. FIORETTI obtuvo su título en ingeniería mecánica en la Universidad de Santa Clara en 1951. Ha ocupado una amplia gama de cargos técnicos y directivos en los campos de ingeniería aeronáutica,

tica, aeroespacial y producción de energía, dentro de la Compañía General Electric. Ha sido Ingeniero proyectista de motores de reacción, especialista en motores de aviación con International General Electric Company en Europa, y después fue Director de la División de Programas Aeroespaciales en San Francisco. Destinado a Tokyo, Japón, fue nombrado Vicepresidente de la División del Pacífico de General Electric Technical Services Company, y también fue Director de Toshiba Electronic Systems Company y Yakult-General Housing Company.

En 1973 fue adscrito a la División de programas nucleares de General Electric en San José, California, en la que ha prestado sus servicios como Director de Análisis y Apoyo del Mercado Internacional, así como Director de Marketing Internacional. Fue nombrado para su cargo actual de Director de la División de Desarrollo de Mercados Internacionales, en junio de 1979. Es responsable de la negociación y administración de las licencias y patentes de General Electric en el campo de la tecnología nuclear, administración de compañías extranjeras mixtas y desarrollo de nuevas actividades fuera de EE. UU.

Los programas de transferencia de tecnología de energía nuclear de General Electric (GE) comenzaron a principios de los años sesenta, cuando las compañías eléctricas europeas cursaron pedidos por varios reactores de agua en ebullición (BWR). Estos programas han evolucionado y progresado, llegando a incluir un amplio espectro de tecnología nuclear, desde los fundamentos de la ingeniería nuclear hasta la administración de proyectos nucleares, y desde la fabricación de combustible nuclear al mantenimiento y servicio necesario para una planta en funcionamiento. Dichos programas están concebidos para permitir que sus usuarios alcancen la independencia en el diseño nuclear, suministro nuclear y servicio de planta, en un grado adecuado a las necesidades y deseos de su país.

El éxito del proceso continuo de transferencia de tecnología BWR se manifiesta por el hecho de que hoy en día, GE mantiene acuerdos de intercambios de tecnología con 19 empresas en nueve países. Estos incluyen acuerdos de intercambio de tecnología de diseño y fabricación del sistema nuclear de generación de vapor (NSSS), así como acuerdos de desarrollo conjunto de tecnología, con empresas de tanto renombre internacional como Ansaldo Impianti y Agip (Italia), Hitachi y Toshiba (Japón), Kraftwerk Union AG (Alemania Occidental), Asea-Atom (Suecia) y ENUSA (España). Los acuerdos actuales de tecnología nuclear de General Electric se relacionan en la tabla I.

La ilustración (figura 1) representa el alcance total de la tecnología BWR disponible de General Electric. Aunque todos los segmentos de la tecnología están relacionados entre sí, se pueden elegir una o más porciones para completar un programa que se adapte mejor a una necesidad específica. Los programas pueden abarcar desde una familiarización previa al proyecto para el personal directivo de las empresas eléctricas, hasta un programa completo que dé lugar a la transferencia de todo el cuerpo de conocimientos BWR representados en la ilustración. Este artículo examina los mecanismos de transferencia de tecnología utilizados por General Electric, y explora los resultados de estas actividades en el programa nuclear de España.

MECANISMOS PARA LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA

Desde un punto de vista amplio hay cuatro mecanismos para la transferencia de tecnología. Estos son: 1) programas de formación; 2) transferencia de

transportamos energía a cualquier punto...

Canalizaciones eléctricas prefabricadas CIAMA, para transporte y distribución de energía eléctrica

En el uso doméstico, en el complejo industrial más sofisticado o en las centrales productoras de energía, las canalizaciones CIAMA llegan más lejos en ventajas.

EXPERIENCIA, avalada por 25 años de presencia en el mercado nacional y extranjero.

ECONOMIA, con ahorro de tiempo en el montaje; ahorro de espacio en el emplazamiento; ahorro de energía en caídas de tensión.

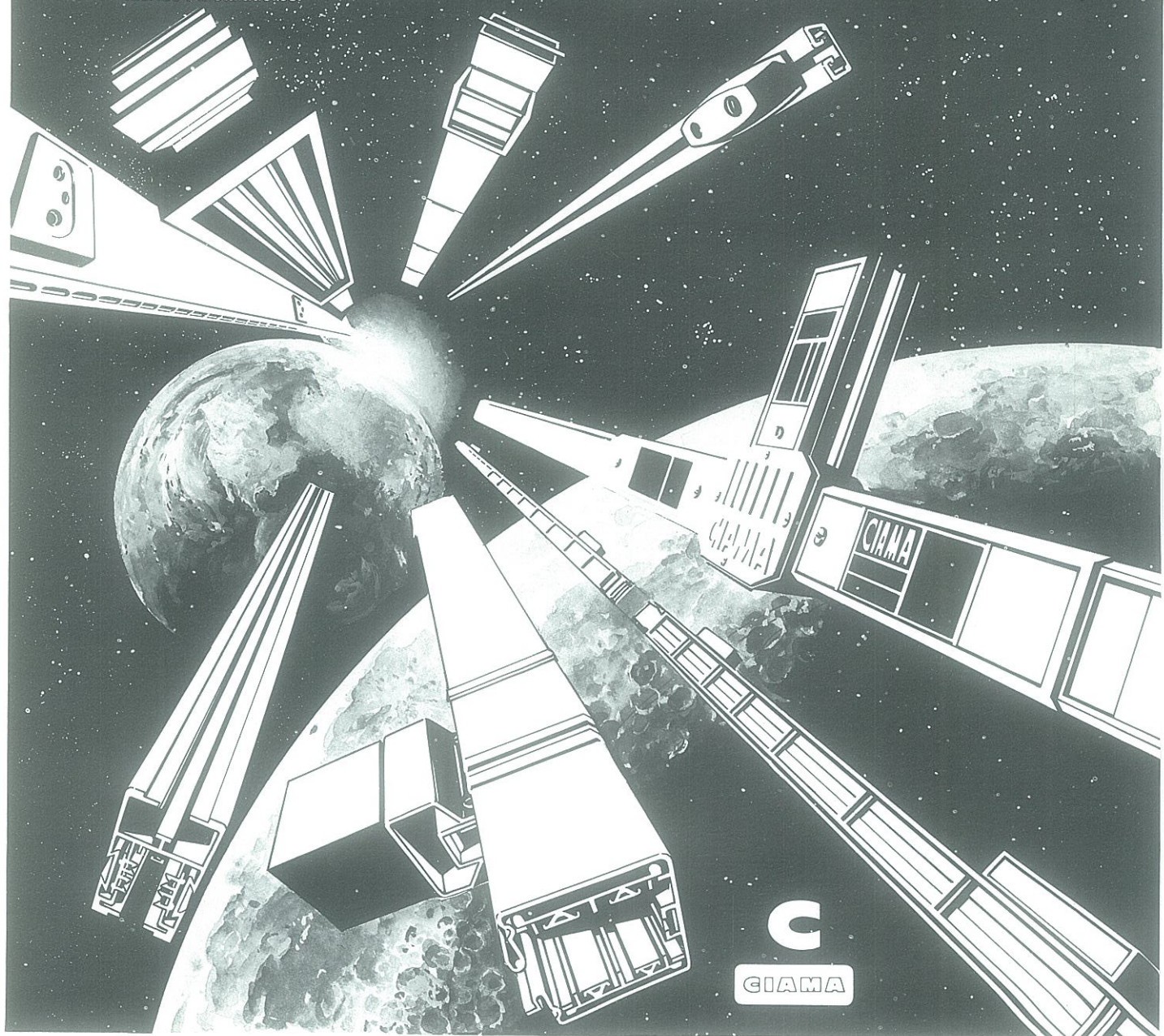
GAMA, la más amplia del mercado, cubriendo cualquier necesidad y ganando diariamente la confianza de Ingenieros e Instaladores.

SEGURIDAD, cumpliendo las normas exigidas y los reglamentos electrotécnicos.

FUNCIONALIDAD, con múltiples conexiones allí donde se precisen, sin cortes de fluido eléctrico.

PREVISION DE FUTURO, gracias a su recuperabilidad, la ampliación o el traslado son sumamente sencillos.

Para mayor información dirijase a nuestro Servicio de Asistencia Técnica, Apartado 10 Sant Cugat del Vallès (Barcelona), Tel. (93) 674 35 00.



C
CIAMA

documentación; 3) consultas, y 4) interacciones entre la empresa eléctrica, el arquitecto-ingeniero, la comunidad industrial y el suministrador nuclear. En los siguientes apartados se presenta una discusión de cada uno de estos mecanismos.

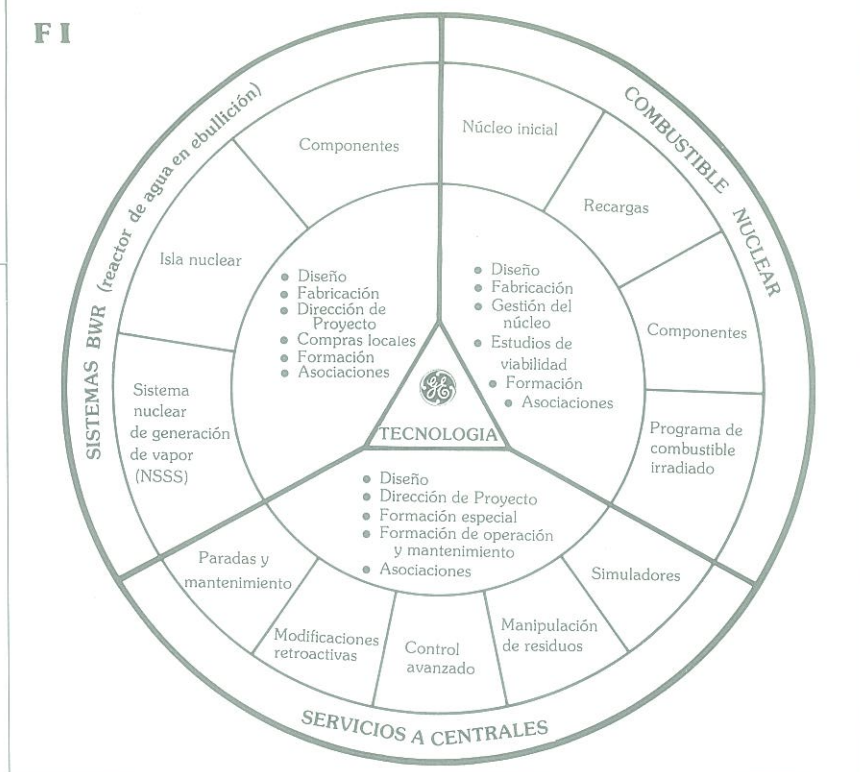
PROGRAMAS DE FORMACION

Los programas de formación ofrecidos por General Electric incluyen enseñanza formal en las aulas y formación práctica en una amplia gama de materias relacionadas con la tecnología nuclear, en general, y el BWR, en particular. Muchas de las materias enseñadas en el aula se pueden enseñar asimismo en la Central Nuclear, o en otros lugares, según se acuerde entre la empresa eléctrica y General Electric. Pueden utilizarse para tal fin las instalaciones de formación de GE en San José, California, incluyendo el centro de formación de personal de mantenimiento (figura 2), que es una instalación única en su clase, proyectada para permitir una formación práctica en condiciones simuladas pero a escala real de una Central BWR. Los cursos de formación disponibles en la actualidad comprenden más de 200 materias que abarcan temas de ingeniería, instrumentación y control, formación de personal de mantenimiento y formación de personal de operación. Se desarrollan acuerdos de programas de formación especial para cumplir necesidades específicas, incluyendo cursos dados en centros y universidades locales.

Al final del año 1983 se habían completado más de 175 hombres/año de formación técnica a través de los programas de formación práctica de GE. El personal asignado a esos programas participa como miembros activos de los equipos técnicos de fabricación de General Electric. Estos cursos tienen lugar en la mayoría de los casos en San José, California, o Wilmington, Carolina del Norte, y asocian estrechamente a la persona que los toma con un experimentado ingeniero o especialista en fabricación.

TRANSFERENCIA DE DOCUMENTACION

El segundo mecanismo de transferencia, la transferencia de documentación, incluye todos los planos, especificaciones, informes técnicos, programas de ordenador relevantes y demás medios de información utilizados para el proyecto,



FI

La transferencia de tecnología total de General Electric para el BWR ofrece una gama completa de tecnología, desde la conversión del uranio a la gestión y transporte de residuos.

fabricación y autorización de los sistemas y combustible del BWR. Mediante un proceso continuo de distribución de información, los asociados técnicos pueden elegir el recibir automáticamente los más recientes documentos actualizados, para mantener al día sus bibliotecas de tecnología BWR. Típicamente, un paquete completo asociado a un acuerdo de intercambio de tecnología de sistemas puede comprender más de 100.000 páginas al año.

CONSULTAS

Las consultas, que son el tercer me-

dio de intercambio de tecnología, son un programa abierto que pone a disposición especialistas en ingeniería, fabricación y otros en las instalaciones de GE o en las del licenciario, o en ambas si se precisa, para consultas sobre cualquier aspecto de la tecnología. Por ejemplo, los consultores ayudarán al personal del licenciario para que entienda no solamente el contenido de los documentos técnicos facilitados dentro del acuerdo, sino también la filosofía de diseño que constituye la base de los mismos. Hay consultores con los que existe la posibilidad de acuerdo tanto de corto como de largo plazo.

TI PRINCIPALES ACUERDOS DE TECNOLOGIA BWR DE GENERAL ELECTRIC

PAIS	Organización	Tecnología de diseño	Tecnología de fabricación	Desarrollo conjunto de tecnología
Japón	Toshiba	X	X	X
	Hitachi	X	X	X
	JNF		X	
	Kobe		X	X
JCO	JAPC	X		X
	NFI	X		
Suecia	ASEA-ATOM	X	X	X
Alemania	KWU	X	X	X
Italia	AI	X	X	X
	AGIP	X	X	X
	FN		X	
España	ENUSA	X	X	
	GEE	X	X	
	JEN			X
Holanda	NUCON	X		
China	INER			X
Canadá	CGE	X	X	
Suiza				X

OTROS MEDIOS DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA

Siempre que una persona enseñe a otra cómo ha de realizarse una tarea, se produce una transferencia de información. La participación en los proyectos de centrales BWR incluye transferencia de tecnología, aunque no exista un acuerdo formal de transferencia de tecnología. Las actividades mutuas en que interviene la compañía eléctrica, el arquitecto-ingeniero y el personal de proyectos, así como las actividades de acopio de equipos por parte de GE, constituyen el cuarto mecanismo de intercambio de tecnología.

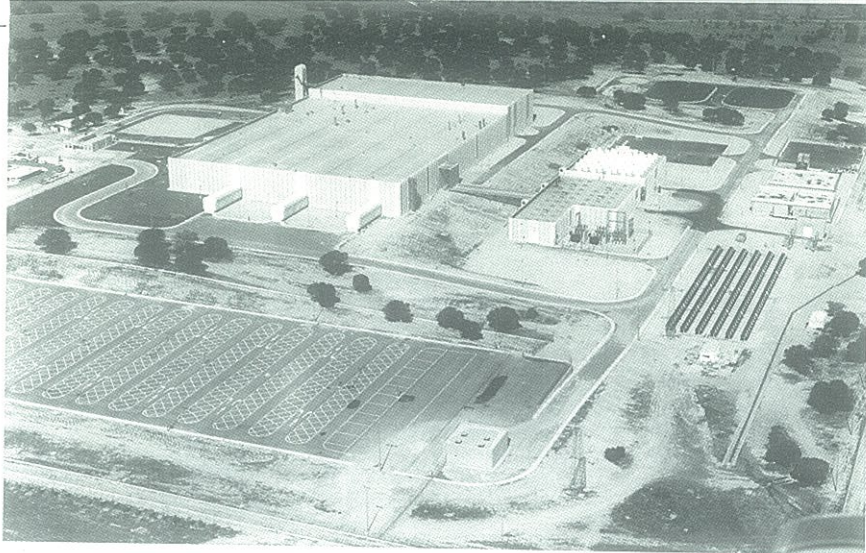
ACTIVIDADES DE LA OFICINA LOCAL

Para facilitar la actividad del proyecto, generalmente GE establece una empresa independiente, autorizada para tener actividades comerciales en el país huésped. Las compañías de servicio técnico de General Electric (GETSCO) han tenido éxito para simplificar los esfuerzos de coordinación del proyecto, aumentar al máximo la participación local en el suministro de equipos y materiales, y proporcionar una multitud de otros servicios de utilidad para el proyecto.

La oficina local típica estará equipada con 20 ó 25 profesionales, incluyendo ingenieros, especialistas en garantía de calidad, especialistas en acopios, así como personal administrativo según se indica en la figura 3. El personal de GE se incrementa contratando personal profesional local para cargos de oficina y para llevar a cabo inspecciones en el emplazamiento de la Central y en las industrias locales, donde se están fabricando componentes y equipos para la Central. El personal local también interviene en la selección de industrias locales para la fabricación de componentes de la Central.

IDENTIFICACION Y DESARROLLO DE FUENTES LOCALES DE SUMINISTRO

Desde los comienzos de la transferencia de tecnología nuclear por parte de GE en los años sesenta, su política ha sido la de fomentar y ayudar a la comunidad industrial del país huésped, para la fabricación de componentes o sistemas completos para la Central BWR. Esas actividades se facilitan mediante la cooperación del personal de ingeniería, acopios y garantía de calidad de la oficina local de GE. La elección de las fuentes locales de suministro supone extensas investigaciones de la capacidad industrial, revisión y selección de posibles fuentes de suministro y aprobación de esta selección por parte de la compañía eléctrica, así como, generalmente, por parte de uno o más organismos gubernamentales. Durante las actividades



F II

Las instalaciones para formación de personal en la División Nuclear de General Electric en San José de California incluyen las instalaciones de formación de personal de mantenimiento, donde puede utilizarse la simulación de carga de combustible a escala real así como otras posibilidades de formación de personal de servicio, sin necesidad de exponer al citado personal a la radiación. La instalación puede utilizarse también para simulación de modificaciones, reduciendo notablemente los problemas de instalación en el campo. Esta instalación de formación es la única de su tipo en el mundo.

de fabricación, las funciones de acopios, garantías de calidad e ingeniería de la oficina de GE asisten a los fabricantes locales en la interpretación de planos y especificaciones, en la resolución de problemas durante la fabricación y en la cualificación de fuentes de suministro para producir equipos con calidad nuclear.

Como consecuencia de estas actividades y de las posibilidades inherentes de la industria local, tiene lugar otra transferencia de tecnología, a veces cubriendo una amplia gama de tecnologías no sólo específicas de la fabricación nuclear, sino también de carácter general.

LA EXPERIENCIA DEL BWR EN ESPAÑA

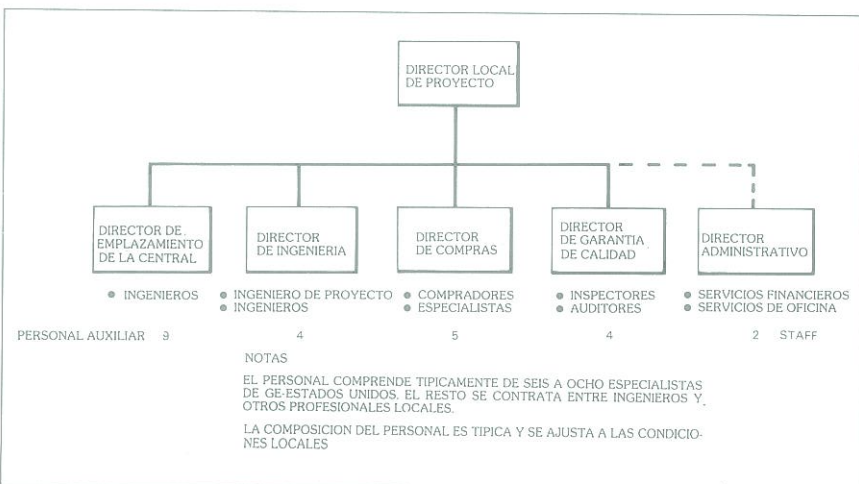
Desde que NUCLENOR cursó en 1965 el pedido del primer BWR de España, la Central Nuclear de Santa Ma-

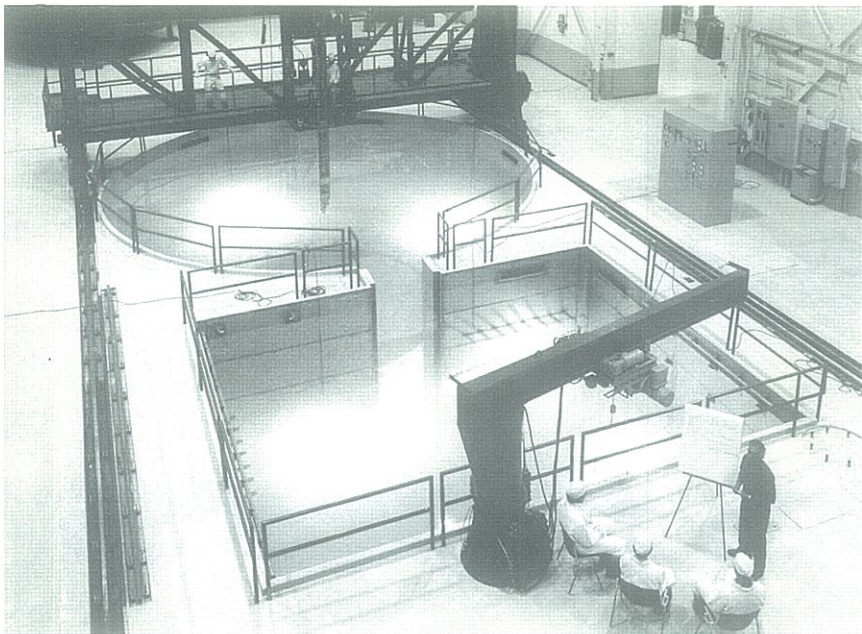
ría de Garoña, General Electric ha gozado de excelentes relaciones con las compañías eléctricas españolas, grupos industriales, arquitectos-ingenieros y organismos gubernamentales. Hasta la fecha, GE ha participado en los proyectos de las centrales nucleares de Santa María de Garoña, Cofrentes y Valdecaballeros, así como el de la fábrica de combustible nuclear de ENUSA.

Las actividades de transferencia de tecnología de centrales, que se han llevado a cabo dentro del marco de los contratos de sistemas de suministro de vapor nuclear (NSSS), más bien que dentro de acuerdos de transferencia de tecnología independientes, han incluido toda la documentación necesaria para apoyar las actividades de obtención de las autorizaciones administrativas de cada central, su explotación y mantenimiento así como una amplia serie de actividades orientada a la formación del

F III

Plantilla típica de una oficina local de General Electric para un proyecto BWR tal como la central de Cofrentes. La oficina local generalmente se establece en una fase precoz del proyecto, aumentándose la plantilla para cubrir las necesidades del proyecto. La oficina local de General Electric puede incluir personal para más de un proyecto.





F IV

La fábrica de combustible nuclear de ENUSA. Esta fábrica está terminada, y su puesta en servicio está programada para 1984. Las instalaciones para fabricación de combustible BWR están basadas en tecnología de General Electric.

personal, entre las que cabe citar unas 64.000 horas-alumno de formación que incluye 2.700 horas de operación simulada del BWR. Este programa de formación no solamente benefició al personal de las compañías de energía eléctrica sino que también contribuyó al desarrollo de **TECNATOM**, que es la organización establecida por las compañías eléctricas para proporcionar servicios de entrenamiento en simuladores de Centrales BWR y PWR así como otros programas de formación.

Además de la transferencia directa de tecnología por parte de General Electric, las empresas de arquitectos-ingenieros que trabajan con ella en estos proyectos intervinieron en el éxito de los esfuerzos de transferencia de tecnología. La estrecha asociación de **Empresarios Agrupados, Gibbs & Hill y Sener** con el personal de las compañías eléctricas y de GE en estos proyectos proporcionó unas oportunidades sustanciales de experiencia práctica en el diseño y selección de equipos.

La historia del BWR en España muestra una gran contribución de suministros, componentes y equipos procedentes de fuentes nacionales. Para el proyecto de Santa María de Garoña más del 50 por ciento del coste representó contenido nacional, a pesar de que la mayoría de los elementos importantes del sistema nuclear y el turbogenerador fueron suministrados por GE. En el proyecto de Cofrentes y Valdecaballeros, el contenido nacional estará entre el 85 y 90 %.

Este incremento puede atribuirse de forma directa al desarrollo de la capacidad de producción con calidad nuclear de la comunidad industrial española. España no solamente ha desarrollado las posibilidades de fabricar los grandes componentes de acero del BWR, tales

como las vasijas de presión del reactor, suministradas por Equipos Nucleares, S.A. sino que ha desarrollado también la base industrial capaz de suministrar con calidad nuclear una amplia variedad de componentes, que incluyen válvulas, intercambiadores de calor, electrónica, tuberías y esencialmente todos los demás componentes de la central nuclear. Por ejemplo, durante el proyecto de la Central de Cofrentes, más de 3.600 de estos componentes fueron de origen nacional. Las actividades de la oficina GETSCO en Madrid, al trabajar con la comunidad industrial española, condujeron a la transferencia de la experiencia de fabricación especializada y tecnología de garantía de calidad necesarias para cubrir las exigencias de calidad de grado nuclear.

FABRICA DE COMBUSTIBLE DE ENUSA

En 1974, General Electric firmó un acuerdo de intercambio técnico y licencia de quince años, con la Empresa Nacional de Uranio S.A. (**ENUSA**), que abarcaba la transferencia de tecnología en los sectores de diseño y fabricación del combustible y gestión del núcleo. En 1981, este acuerdo se prorrogó hasta 1994. Este intercambio técnico comenzó con un extenso programa de formación práctica de los ingenieros de **ENUSA** en las instalaciones de GE de San José, California, y de Wilmington, Carolina del Norte. Desde que se firmó el acuerdo, veinte ingenieros de **ENUSA** se han formado y trabajado junto con ingenieros de GE, en una amplia gama de diseños de combustible para Centrales BWR.

Como consecuencia del éxito del programa de transferencia de tecnología, la cualificación de **ENUSA** en el sector del combustible nuclear ha crecido notablemente. En 1980, General Electric y **ENUSA** constituyeron una Agrupación temporal con la finalidad de diseñar y fabricar combustible para las recargas de la Central Nuclear de Santa María de Garoña, propiedad de **NUCLEONOR**. Esta empresa mixta ha llevado a cabo tanto diseños de núcleo como análisis de transitorios, además de fabricación y transporte de combustible de recarga para la citada Central, fabricado en las instalaciones de Wilmington, pero diseñado por **ENUSA**.

De los trabajos realizados hasta la fecha por la citada Agrupación Temporal, **ENUSA** ha sido responsable de las auditorías de garantía de calidad durante la fabricación de los elementos combustibles y del diseño del núcleo de recarga y análisis de transitorios para los Ciclos 10B-11 y 12 de la Central de Santa María de Garoña. **ENUSA** también es responsable del diseño del núcleo de recarga y del análisis de transitorios para el Ciclo 13 de dicha Central. Otra Agrupación Temporal similar fue formada en 1981 entre General Electric y **ENUSA**, con el fin de diseñar y fabricar combustible de recarga para otra de las unidades BWR en España, la Central de Cofrentes.

Se espera que tras recibir las oportunas autorizaciones administrativas, el primer envío de uranio enriquecido a las instalaciones de **ENUSA** y el comienzo de la fabricación de combustible en las mismas, tengan lugar en el curso del año 1984.

Conclusión

La tecnología del reactor de agua en ebullición (BWR) es hoy día una tecnología a nivel mundial, gracias a los programas llevados a cabo por GE para transferir a los demás usuarios sus conocimientos sobre energía nuclear. Esos programas han sido flexibles, proporcionando el nivel de formación, documentación, consultas y experiencia de fabricación mejor adaptado a las necesidades de cada programa nacional.

En España, la transferencia de tecnología de centrales BWR ha incluido la explotación y mantenimiento de la central nuclear, así como ingeniería del combustible y tecnología de fabricación. Hoy día, todos los indicadores señalan que estos programas han tenido éxito.

Un aspecto significativo del éxito de la transferencia de tecnología nuclear en España ha sido la sólida base de capacidad de fabricación con calidad nuclear que ha desarrollado el sector industrial español, tipificado por **ENSA, ENUSA, Dragados y Construcciones, INOXA** y otros muchos. General Electric está orgullosa de haber contribuido a este desarrollo industrial y a la creación de la industria nuclear española.