

Programa de fusión. Interés para la industria

M^a Teresa Domínguez Bautista

El día 21 de noviembre de 2006 los ministros representantes de todas las partes participantes en ITER (UE, China, India, Japón, Rusia, USA y la República de Corea) firmaron el denominado "ITER Agreement", con el que se consolidaba la decisión de construir este experimento de demostración de la energía de fusión. Desde ese momento, cada una de las partes participantes prepara sus Agencias Locales (Domestic Agencies) que gestionarán su aportación. Europa tendrá un papel relevante en esta instalación, Cadarache será su emplazamiento y contribuirá con un 50% a su inversión. Este protagonismo de Europa es la continuación de una trayectoria de apoyo decidido al programa de fusión. En los sucesivos Programas Marco de EURATOM, la fusión se ha dotado con recursos y se ha instrumentado la ejecución de los proyectos con organizaciones específicas para su coordinación (EFDA). Una de las decisiones más significativas para lograr esta coordinación fue involucrar a la industria; en 1994 se firmó el contrato "ITER EDA Framework Contract" para desarrollo de la ingeniería de ITER. Desde entonces el grupo EFET formado por siete ingenierías europeas en el que participa Empresarios Agrupados y Sener, ha desarrollado trabajos de diseño para ITER. Junto a estas actividades de ingeniería, también se cualificaron ingenierías y fabricantes para el desarrollo de prototipos dentro del programa denominado de las 17 tecnologías. Estas decisiones han permitido aportar a ITER la experiencia de la industria en la ejecución de grandes proyectos y a la industria conocer las características de esta instalación. Ahora llega el momento de la ejecución del proyecto y el reto está en saber aprovechar la experiencia adquirida por Europa en él. En este artículo se desarrollan en más detalle las áreas en las que la industria europea ha contribuido y las condiciones de contorno que son previsibles para esta participación.

On November 21, 2006, the ministers representing all the parties taking part in ITER (EU, China, India, Japan, Russia, USA and South Korea) signed the so-called "ITER Agreement", thereby affirming the decision to build this fusion energy demonstration experiment. As of that moment, each partner has been preparing its Domestic Agency that will manage its contribution. Europe will play a relevant role in this facility, the site of which is located in Cadarache, and will provide 50% of its investment. This leading role of Europe is the continuation of years of decisive support for the fusion program. In successive Framework Programs of EURATOM, resources have been allotted to fusion and projects have been executed with specific organizations to coordinate them (EFDA). One of the most significant decisions to accomplish this coordination was to involve the industry; in 1994, the "ITER EDA Framework Contract" was signed to develop the ITER engineering. Since then the EFET group, formed by seven European engineering firms including Empresarios Agrupados and Sener, has developed design work for ITER. Together with these engineering activities, engineering firms and manufacturers were qualified to develop prototypes as part of the so-called 17-technology program. These decisions have made it possible to provide ITER with the industry's experience in the execution of large projects and have provided industry with a knowledge of this facility's features. Now the time has come to execute the project, and the challenge will be to know how to take advantage of the experience gained by Europe. This article discusses in greater detail the areas to which the European industry has contributed and the expected conditions for this participation.

INTRODUCCIÓN

Sin ninguna duda, el 21 de noviembre de 2006 será un día histórico. En él, los ministros representantes de las siete partes participantes en el ITER (International Termonuclear Experimental Reactor) firmaron el denominado "ITER Agreement". En este documento, la Unión Europea, China, India, Japón, Rusia, Estados Unidos y la República de Corea pasaron a constituir el ITER Council, cuya primera reunión se celebró el mismo día, y constituye el inicio del camino hacia la construcción de ITER, instalación cuyos objetivos y características se indican en las figuras 1 y 2.

ITER - the AIMS

- Produce and study inductively-driven, burning plasma at $Q \geq 10$ (400-500 MW).
- Aim at producing and studying "steady-state", burning plasma with non inductive drive $Q_r \geq 5$.
- Demonstrate the availability and integration of essential fusion reactor technologies.
- Test components for a future reactor including tritium breeding module concepts (neutron power load $> 0.5 \text{ MW m}^2$, fluence $> 0.3 \text{ MW year m}^2$).

Fig. 1. Objetivos para ITER.

ITER Parameters

Minor Radius (m)	2.0	Installed H&CD Power (MW)	73
Major Radius (m)	6.2	Plasma Pulse Length-inductive driven (s)	400
Plasma Elongation	1.85	Peak Fusion Power (MW)	500
Toroidal Magnetic Field @ Plasma Axis (T)	5.3	Power Amplification *	≥ 10
Nominal Plasma Current (MA)	15		



Fig. 2 Parámetros básicos de ITER

Fusion Roadmap

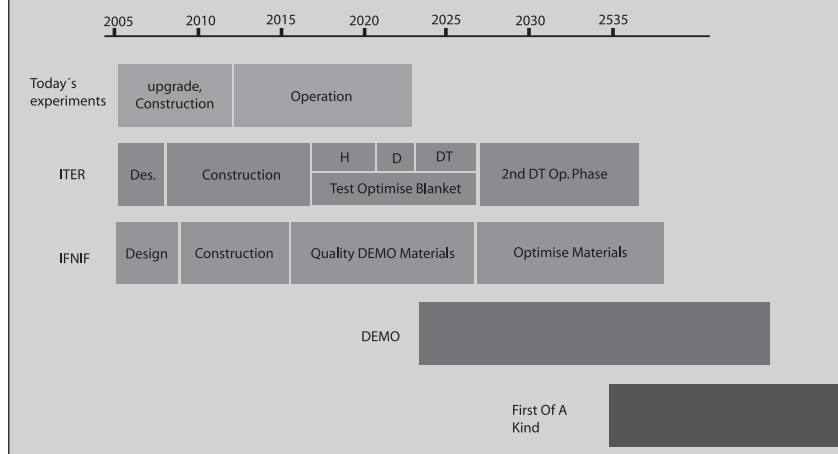


fig. 3 Roadmap de ITER

ITER Schedule



Fig. 4 Programa de ITER

Esta primera reunión del ITER Council se iniciaba con estas palabras: "We are able to embark on our mission as a worldwide international cooperation to help create a new source of energy for humankind."

Además de la organización del ITER Council, todos los participantes preparan sus Agencias Locales, que serán las responsables de gestionar la aportación in kind de cada una de las partes. Como una de ellas, Europa prepara su propia organización, el pasado 27 de octubre de 2006, el Steering Committee de EFDA discutía la revisión del denominado "EFDA Agreement" vigente desde 1999. Esta revisión constituirá un nuevo marco europeo "Join Undertaken" para el programa de fusión. Una parte de él se refiere al régimen interno de la Agencia Local Europea que, con sede en Barcelona, será la organización encargada de la gestión de los suministros de Europa a ITER. El pasado 19 de marzo, el Consejo de Ministros de la Unión Europea aprobó este nuevo marco y con él, la Constitución de la Agencia Europea; en los próximos días, se nombrará su director y en los próximos meses, se seleccionará su cuerpo técnico.

El acuerdo de construcción y la selección del emplazamiento de Cadarache fue solo posible cuando se estableció un programa completo de fusión denominado Broader-Approach, que contempla otras instalaciones de apoyo a ITER como es la IFMIF para ensayo de materiales, la DEMO, para comprobar la capacidad de generación de energía eléctrica, y otros experimentos de fusión. Todo ello sin olvidar los experimentos en JET que, tras modificaciones importantes, sobre todo la incorporación de divertores, permitirán hacer experimentos de gran valor para ITER. En este Broader-Approach participarán en Europa únicamente, Italia, Francia, Alemania y España. La figura 3 muestra el "Roadmap" establecido para este desarrollo.

Junto a esta labor de las partes participantes de preparación de las organizaciones responsables de la construcción de ITER, hay otras actividades en paralelo por parte de Asociaciones e Industria para prepararse a los posibles suministros, participación en la construcción y hacer posible el primer experimento de plasma previsto de acuerdo con el proyecto adjunto para el 2016 (figura 4).

PARTICIPACIÓN EN LA INDUSTRIA

Durante la fase de negociación de la construcción y selección del emplazamiento, el ITER se dividió en 21 paquetes, cada uno de los cuales fue objeto de selección para contribución “*in-kind*” por las partes participantes de acuerdo a sus capacidades, tanto en institutos de investigación, Asociaciones, como en la industria, hasta llegar a un reparto de cada uno de los participantes en función de su contribución al proyecto.

Fusion in the EU 6th Framework Programme (FP6)

- The community share of the budget for fusion R&D in FP6 is €750M (including up to €200M for ITER).
- The overall annual expenditure is ~450 million euro (so the community share is ~30-35%).
- Professional staffing: 2000 scientists and engineers (including about 260 PhD students).
- A significant training and education effort is developed, in particular by the Associations.
- A particular feature of the programme is the high mobility rate of researchers among all Associations and JET. Support schemes are facilitating such exchanges.

Fig. 5 EU – 6º Programa Marco (Programa de fusión).

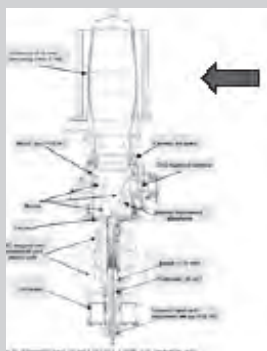
European Fusion Development Agreement (EFDA)

- EFDA established in 1999 as a framework contract between EURATOM and its partners in the field of controlled fusion (the Associates).
- EFDA covers all European activities in fusion research by magnetic confinement and incorporates:
 - technology activities by Associations and EU industry
 - collective use of JET beyond 1999;
 - European contributions to international collaborations (e.g. ITER)
- EFDA strengthens the co-ordination of work among the Associates.

Fig. 6 Acuerdo EFDA para desarrollo del programa de fusión en Europa.

H&CD Power Sources (Gyrotrons)

The high power mm-wave is generated by a gyrotron (reference design 1 MW in steady state). 24 1MW-tubes for 170 GHz are needed to inject 20 MW in the plasma.



Europe has launched and is carrying out the development of a coaxial cavity 2 MW, 170 GHz gyrotron which will yield some cost reductions in the overall system. The first prototype will be delivered in June 2006.



Diamond window

Fig. 7

Dichos paquetes incluyen diseño, fabricación, suministro, montaje y puesta en marcha de los diferentes componentes y subcomponentes que constituyen dicho paquete.

En todos y cada uno de estos paquetes coexisten lo que podríamos denominar

estructuras, sistemas y componentes convencionales de fabricación concurrente, y estructuras, sistemas y componentes complejos para los cuales se requiere desarrollo de prototipos. Estas áreas singulares están sobre todo en los paquetes que constituyen los componentes de confina-

miento del plasma, como por ejemplo, la selección del material de la primera pared (posiblemente de berilio), o el de los divertores (posiblemente de tungsteno), métodos de soldadura y fabricación de la Vacuum Vessel (VV), etc. Estos elementos dan una complejidad a la instalación, que deberá afrontarse si quiere construirse con éxito el experimento.

Hasta el momento de la decisión de construir ITER, el programa europeo ha sido el más dotado en el desarrollo de fusión, sobre todo en los últimos diez años. En la figura 5 puede verse el alcance del EU 6 FWP. Esto y la elección de Cadarache como emplazamiento ha llevado a que Europa sea la mayor contribuyente de ITER, hasta un 50% del total de su inversión.

El programa europeo se instrumentó desde el principio con una relevante participación de la industria. El consorcio EFET, en el cual participan Empresarios Agrupados Internacional, S.A. y Sener a través de IBERTEF, fue el ejecutor en la última década de todas las actividades de ingeniería de ITER mediante contratos con la Unión Europea, que ascienden aproximadamente a 55M€ a lo largo de 10 años. En el marco de estos contratos se han desarrollado actividades de ingeniería en el Diseño de Edificios, Sistema Eléctrico, Sistemas de Refrigeración, Manejo Remoto, Calentamiento del Plasma, Seguridad, Protección Radiológica, Residuos, Diseño de la Vasija de Vacío, Diseño de Divertores, Diseño de Soporte de componente de la primera pared a la Vasija, etc.

A lo largo de esta actividad de EFET en coordinación con las Asociaciones, ha sido posible comprobar la necesidad de aunar la participación de ambas, ya que las Asociaciones aportan el conocimiento sobre la física del plasma y algunos equipos de ITER singulares desarrollados en sus programas de I+D, y la Industria su experiencia en fabricación, gestión de grandes proyectos, ingeniería de integración, y supervisión de la construcción, necesarias en una instalación que ha sido desarrollado por diferentes organizaciones.

Sin embargo, esta participación de la industria, no será fácil; hay algunos elementos de riesgo y retos a afrontar que deberán considerarse a la hora de decidir involucrarse en él. Entre ellos, tendrán relevancia el carácter internacional de la instalación y el tamaño de los paquetes, requiriéndose posiblemente la organización de consorcios para ofertar paquetes completos o parte de ellos. Otro elemento de riesgo es la existencia de un número relevante de componentes prototipo y tecnologías no probadas

RH – Hot Cell Works

ITER Hot Cell Design



Divertor Refurbishment Platform

Fig. 8

Remote Maintenance Activities

ITER remote maintenance is based on the removal of relatively large modular systems followed by refurbishment in a hot-cell

The man in-vessel sub-systems comprise:

- Blanket modules
- Divertor cassettes
- Port plugs (containing diagnostics and heating systems)

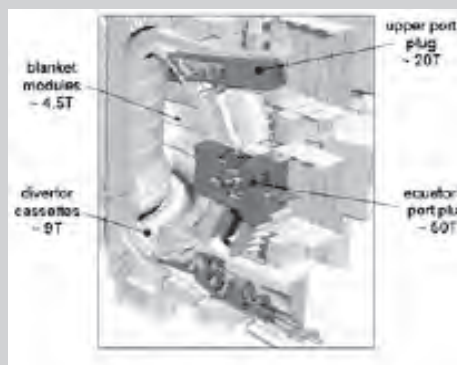


Fig. 9

que requerirán desarrollos específicos. Quiere esto decir que la industria deberá afrontar unas condiciones de contorno complejas, que podrían repercutir en los costes y/o plazos de suministros y en la fabricación.

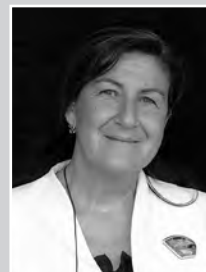
Esto hace que la experiencia y conocimiento del proyecto tengan un gran valor a la hora de participar en las próximas etapas del mismo. Y este es el caso de la industria europea, que ha participado en las etapas previas de ITER.

Como ya se ha indicado, en 1999 se firmó el European Fusion Development Agreement (EFDA) con los objetivos de la figura 6. De entre ellos destaca la intención de aunar los esfuerzos de las Asociaciones y la Industria trabajando coordinadamente. Esto ha llevado al conocimiento y la adquisición de experiencia en la participación en los siguientes programas, cuya ingeniería ha sido desarrollada básicamente por EFET:

- "Plasma Facing Components"
- "Plasma Edge Studies – ELM Loads"
- "W erosion driven by melting of macrobrush edges – CFC erosion driven by preferential erosion of PAN fibres"
- "Plasma Diagnostics"
- "Location of ITER Diagnostics"
- "Heating and Current Drive Systems"
- "Neutral Beam H&CD System"
- "Neutral Beam: Test Facility"
- "Electron Cyclotron H&CD"
- "H&CD Power Sources (Gyrotrons)"
- "Electron Cyclotron Test Facility"
- "Ion Cyclotron H&CD"
- "Vacuum Vessel Design"
- "Divertor Components Design"
- "Prototype Full-Scale Vertical Target"
- "Full-Scale Divertor Integration Prototypes"
- "Shield Blanket Module"
- "Remote Maintenance Activities"
- "Divertor RH Test Platforms"
- "RH – Hot Cell Works"
- "Magnets – Toroidal Field Model Coil"
- "Activities in the Safety & Environment"

- "Breeding Blanket Design"
- "System Design"
- "Building and Hot Cell Design"

Estos programas han permitido dotar a la industria europea de capacidades de ingeniería y fabricación relacionadas con las estructuras, sistemas, equipos y componentes constituyentes de ITER y otras instalaciones de fusión. El reto ahora es cómo conseguir que estas capacidades se aprovechen en la ejecución del proyecto y otras instalaciones previstas en el programa de fusión.



M^a Teresa Domínguez es Licenciada en Ciencias Físicas por la Universidad Complutense de Madrid desde 1973; cursando en ella también los estudios de Grado, título que obtuvo en 1994.

Desde 1974 está desarrollando su actividad profesional en EMPRESARIOS AGRUPADOS en la que inició su actividad en la especialidad de Seguridad Nuclear en los proyectos de Almaraz, Cofrentes y Trillo, en éste último como Jefe de Proyecto.

En 1992 fue nombrada Responsable de Licencia para las actividades que la UTE INITEC/Empresarios Agrupados realizó en el proyecto de Centrales Avanzadas.

En 1994 fue nombrada Subdirectora del Dpto. de Seguridad y Jefe de Proyecto del Programa de Reactores Avanzados y nuevos desarrollos tecnológicos. Como tal ha participado en los proyectos de reactores SBWR, AP-600, EPP, ESBWR.

Desde 1997 es Directora de IBERTEF compañía formada al 50% por SENER y EMPRESARIOS AGRUPADOS desde donde ha realizado los trabajos para el proyecto ITER y otras instalaciones de fusión.

En 2005 fue nombrada Directora de Reactores Avanzados para la gestión de todos los proyectos de desarrollos nucleares contemplados en los Programas Marco de la Unión Europea, y los de Estados Unidos dentro del programa 2010 y Generación IV.

Desde 1980 es miembro de la SNE, sociedad de la que ha sido presidenta durante el periodo 2004-2006.

Tiene en su haber numerosas publicaciones y ha participado como ponente en multitud de Congresos de ámbito internacional.