



fusión

EL PROYECTO DE FUSIÓN NUCLEAR POR CONFINAMIENTO MAGNÉTICO: ITER

www.luispastor.es

El proyecto de fusión nuclear por confinamiento magnético: ITER



El proyecto más avanzado en Fusión nuclear por Confinamiento Magnético es el ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor, en español Reactor Termonuclear Experimental Internacional), prototipo basado en el concepto Tokamak, y en el que se espera alcanzar la ignición (la energía liberada en estas reacciones calentará el combustible colindante a

temperaturas similares, induciendo también su fusión). Ante los buenos resultados obtenidos en el JET, en 1990 se decidió continuar el programa de fusión con una instalación mayor en la que además del reactor, pudieran probarse sus sistemas auxiliares sin generar aún electricidad. El objetivo es determinar la viabilidad técnica y económica de la fusión



nuclear por confinamiento magnético para la generación de energía eléctrica, como fase previa a la construcción de una instalación de demostración comercial.

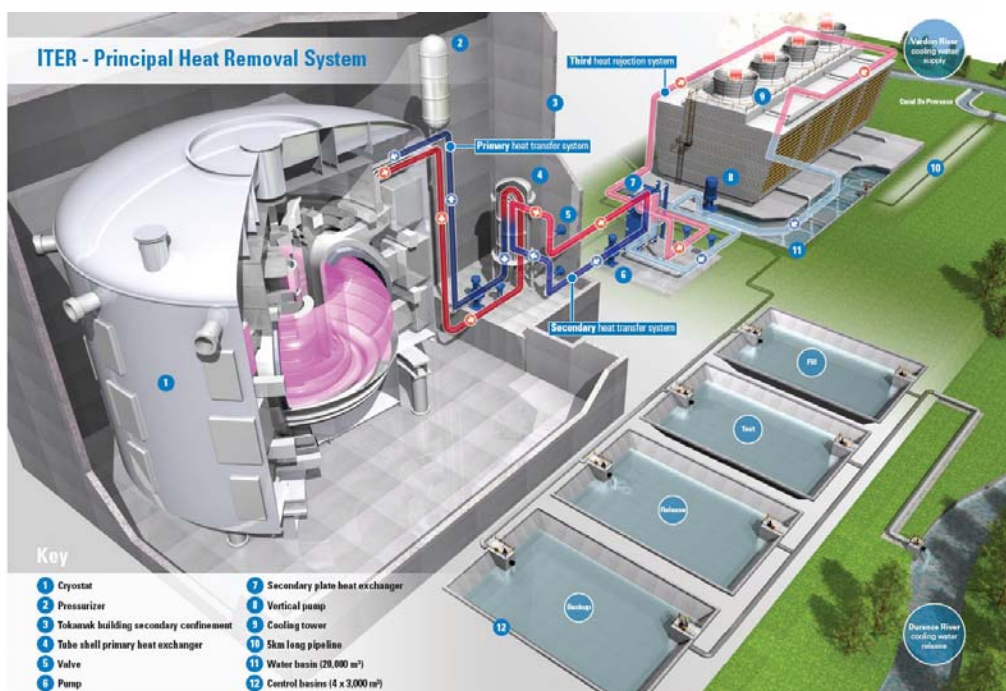
Uno de los aportes de ITER consiste en reunir en una sola máquina las tecnologías de sus “hermanos mayores”. La comunidad científica internacional ha considerado que hacía falta para las investigaciones sobre tal o cual parámetro de la fusión con dispositivos especializados y empezar a reunir todas las limitaciones en una sola máquina. ITER es el paso necesario para franquear esta etapa en un mínimo periodo de tiempo y preparar la continuación, es decir, ya no sería una herramienta científica sino una herramienta industrial.

ITER es un proyecto tecnológico cuya construcción se estima necesitará 10 años y al menos 20 de investigación. Se prevé una sucesión de experimentos en diferentes condiciones de funcionamiento, que pueden implicar reformas estructurales. Entre las tecnologías empleadas para su construcción y posterior

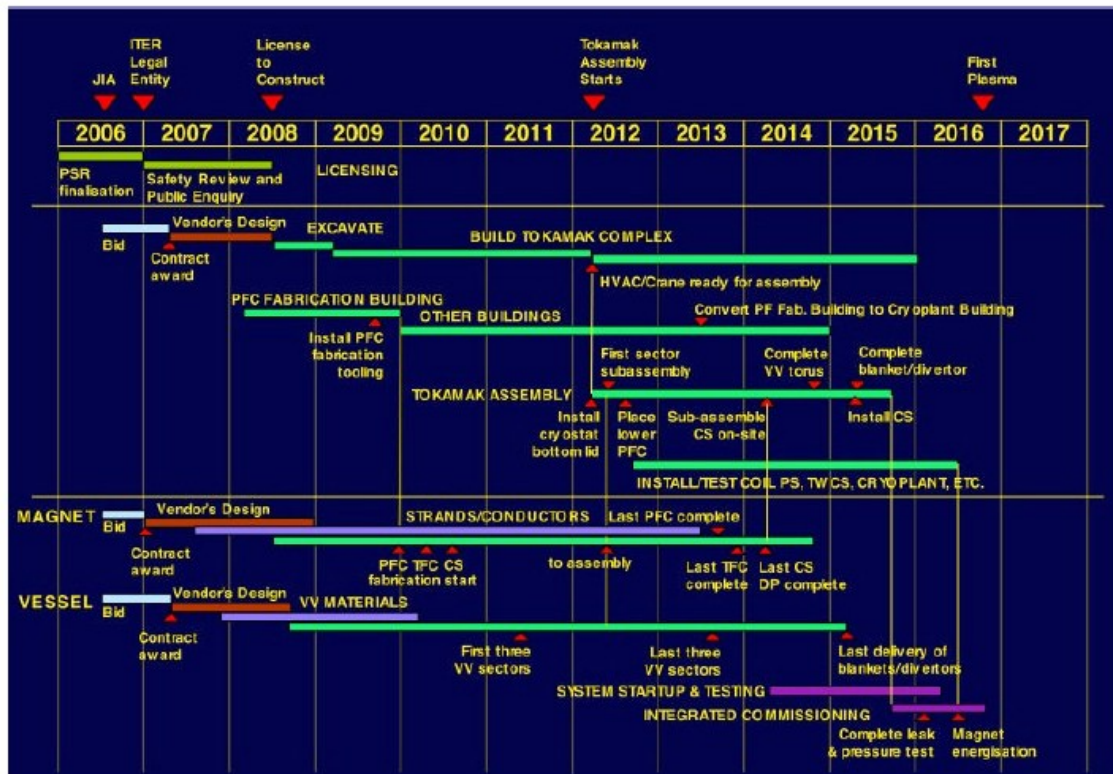
funcionamiento y mantenimiento destacan la robótica, superconductividad, microondas, aceleradores y los sistemas de control.

En la máquina ITER no se producirá energía eléctrica, se probarán las soluciones a los problemas que necesitan ser resueltos para hacer viables los futuros reactores de fusión nuclear. El ITER debería generar su primer plasma hacia el año 2016 y estar plenamente operativo en el 2022, este ambicioso proyecto de investigación dará sus primeros resultados a partir de 2040. Si se confirmasen las expectativas, viabilidad técnica de los reactores de fusión con confinamiento magnético, se construirá un nuevo reactor, denominado DEMO donde ya se le acoplaría una turbina comercial para generar energía eléctrica, con una potencia del orden de los 4.000MW, que descontando la energía necesaria para inducir la fusión, la potencia real, conectada a la red, sería de 1.300MW.

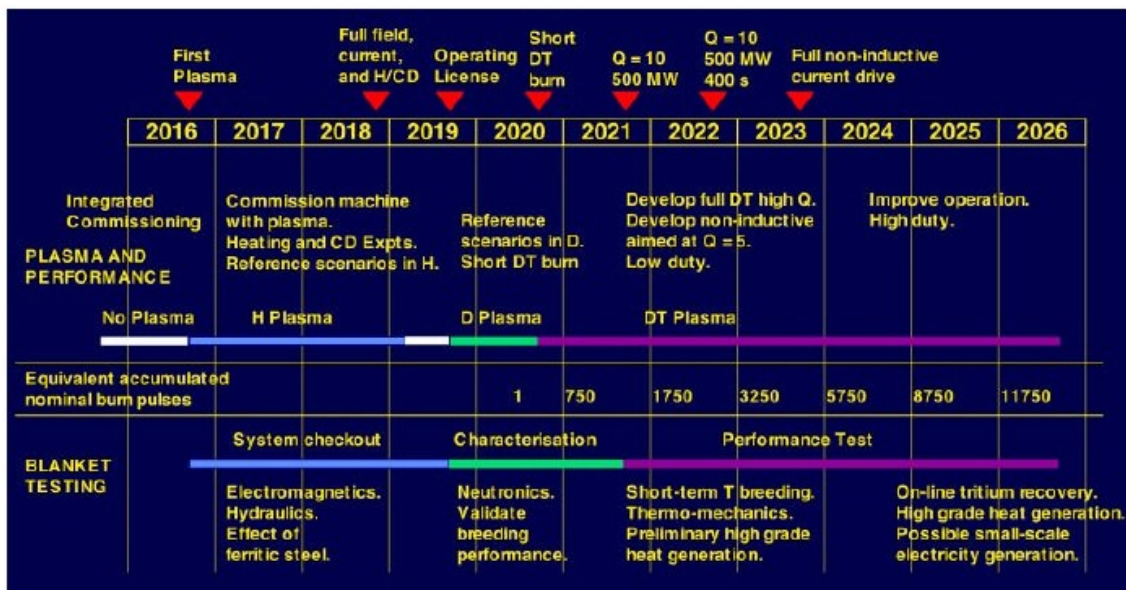
ITER is the Next Step Toward a Solution based on Tokamaks



El itinerario para la construcción del reactor ITER, se extiende entre el año 2008 y 2016, año en que se espera obtener el primer plasma. El detalle se muestra en el cuadro siguiente:



De acuerdo al itinerario planteado, se espera un período nominal de operación de alrededor de 21 años, dividido en cinco etapas, a partir de mediados de la década del 20, tal como se muestra en el esquema a continuación:



Las etapas señaladas en el esquema anterior se desglosan como sigue:

✚ Montaje integrado (2016)

Esta fase, completa la construcción de ITER asegurando que todos los sistemas operan juntos e incluye la preparación de la máquina para obtener el primer plasma de Hidrógeno.

✚ Fase Hidrógeno (2017-2018)

Esta fase permite el montaje completo del sistema Tokamak en un ambiente no nuclear sin depender de un completo control remoto. Comprobación del sistema operando en un plasma de Hidrógeno.

✚ Fase Deuterio (2019-2020)

En esta fase se producirán neutrones y Tritio a partir de la reacción D-D. Parte de este Tritio será consumido en reacciones D-T. La potencia de fusión será baja y, a pesar de que el Tritio ya existe en el plasma, cantidades pequeñas le serán suministradas a partir de fuentes externas. Esta etapa culminará el montaje nuclear con una cantidad limitada de Tritio.

✚ Fase D-T de baja exigencia (~2020-)

Durante esta fase la potencia de fusión será gradualmente incrementada hasta que el objetivo operacional inductivo sea alcanzado.

✚ Fase D-T de alta exigencia (~2024-)

Esta fase tratará de mejorar el funcionamiento, enfatizando en las pruebas de componentes y materiales con fluencias más grandes de neutrones.

En la fase final, se espera tener un reactor de fusión con una potencia de 1 GW cuyo consumo será de alrededor de 1 Kg. de Deuterio y Tritio diario.

Desmantelamiento:

Se tiene contemplado un desmantelamiento del ITER en tres fases:

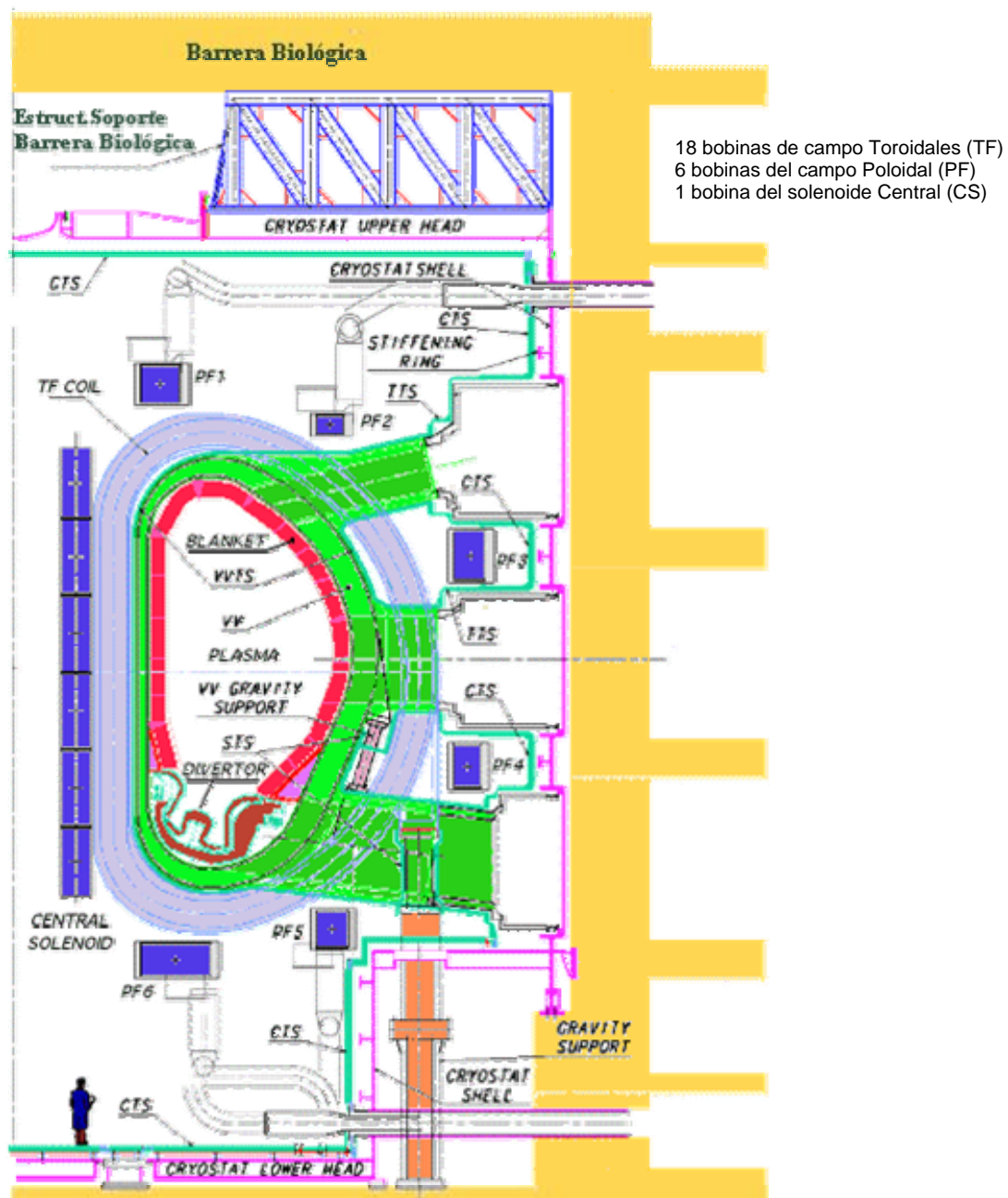
- ✚ Desactivación, remoción de Tritio y polvo, y remoción y desactivación de sistemas refrigerantes; clasificación y empaquetamiento de material tóxico, contaminado y activo (alrededor de 5 años).
- ✚ Período de decaimiento radiactivo, el recipiente de vacío se deja decaer en radiactividad hasta niveles que permitan la extracción de los módulos del mismo (algunas décadas).
- ✚ Desmantelamiento final, remoción de los sectores del recipiente y su reducción de tamaño; clasificación y empaquetamiento de material tóxico, contaminado y activo (alrededor de 6 años).

Las inversiones realizadas para su construcción se estiman en cerca de 5.000 millones de euros. Los costes de funcionamiento alcanzarán los 5.300 millones de euros y los de desmantelamiento ascienden a 430 millones de euros, e involucrará a varios miles de ingenieros y físicos, convirtiéndolo en el tercer proyecto más caro de la historia, después de la Estación Espacial Internacional y del Proyecto Manhattan. El país donde se instale (Francia) deberá correr con los costes de preparación del terreno y de construcción del edificio.

ITER, además, significa *el camino* en latín, y este doble sentido refleja el papel de ITER en el perfeccionamiento de la fusión nuclear como una fuente de energía para usos pacíficos.

Diseño

ITER se basa en el concepto "tokamak" de confinamiento magnético, en la que se contiene el plasma en una cámara de vacío con forma toroidal. El combustible - una mezcla de deuterio y tritio - se calienta a temperaturas superiores a los 150 millones °C, formando un plasma caliente. Los fuertes campos magnéticos se utilizan para mantener el plasma lejos de las paredes, los cuales son producidos por bobinas superconductoras que rodean al contenedor, y por una corriente eléctrica impulsada a través del plasma. El problema reside en la enorme dificultad que tenemos para comprimir el hidrógeno de un modo uniforme. En las estrellas la gravedad comprime el hidrógeno en una esfera perfecta de modo que el gas se calienta uniforme y limpiamente. En las condiciones del diseño del reactor esta uniformidad es muy difícil de alcanzar.



neutrones, encontrándose aún en discusión el sistema a emplear. La potencia a suministrar por la red durante esa aceleración alcanza los 400 MW, durante décimas de segundo.

La bobina del solenoide central (CS) pesa cerca de 840 Tn, y tiene 12m. de alto y 4m. de diámetro. Consiste en un apilado de 6 módulos eléctricos independientes que permiten el adecuado control de la forma interior del plasma. El apilado está comprimido para mantener su integridad bajo todas las condiciones de funcionamiento.

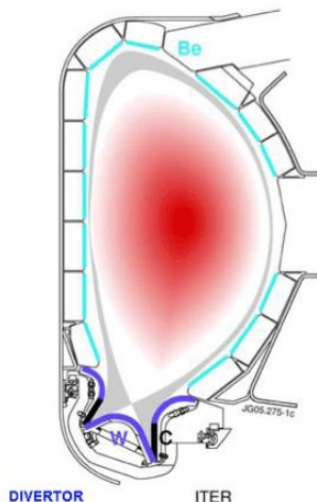
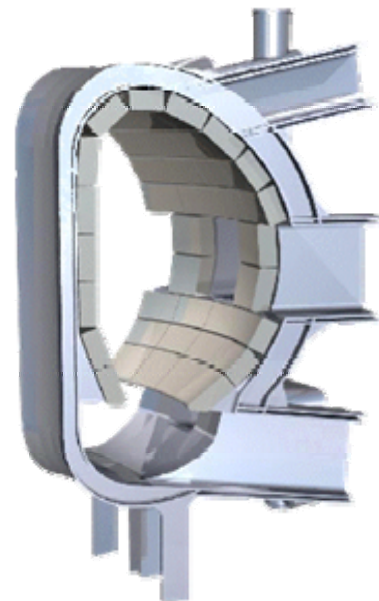
En torno al toro se sitúan 18 bobinas superconductoras, cada una de 290Tn, 14 m. de alto y 9 de ancho, que suministran el campo magnético toroidal, en la parte posterior se sitúa otra bobina (campo poloidal) de 840Tn y 12m, de altura. Para facilitar la superconductividad de las bobinas se dispone de un criostato y un depósito térmicamente aislado, que encierra la vasija y las bobinas, a una temperatura de -276°C . Esta planta funciona con Helio, con una potencia de refrigeración de 660kW.

Para evitar cualquier impureza de la cámara de fusión, que provoca una disminución de la reacción de fusión, hay que producir el vacío en su interior.

La pared interior de la cámara de fusión tiene una estructura de mosaico o escamas, encargada de absorber los impactos de las partículas de alta energía que escapan del confinamiento magnético. Está formada por 421 módulos, fácilmente reemplazables cuando sean deteriorados.

El recipiente principal y sus componentes internos tienen como funciones principales las de:

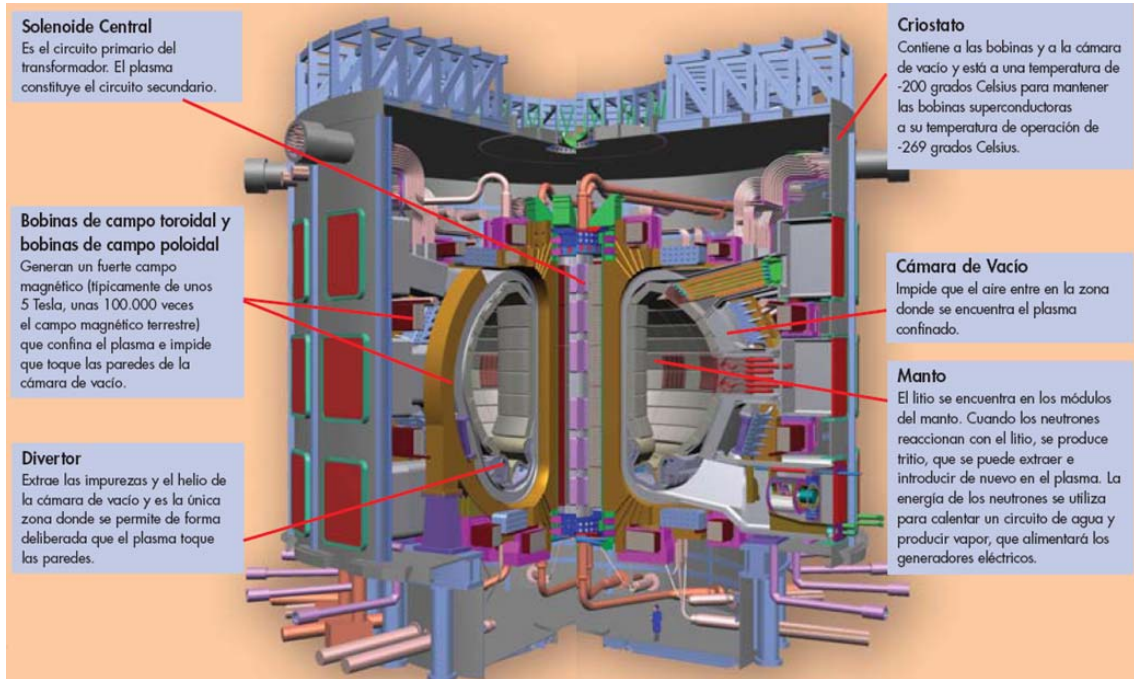
- Atenuar y absorber energía neutrónica y el flujo del plasma a niveles tolerables para las bobinas magnéticas y los equipos circundantes, de modo que permita al personal acceder a la zona de trabajo por periodos cortos de tiempo.
- Proporcionar un alto vacío con la calidad suficiente que permita la operación adecuada del plasma.
- Desviar el helio resultante de la fusión con las impurezas adquiridas en el medio para que pueda ser descargado y bombeado para su posterior purificación y uso.



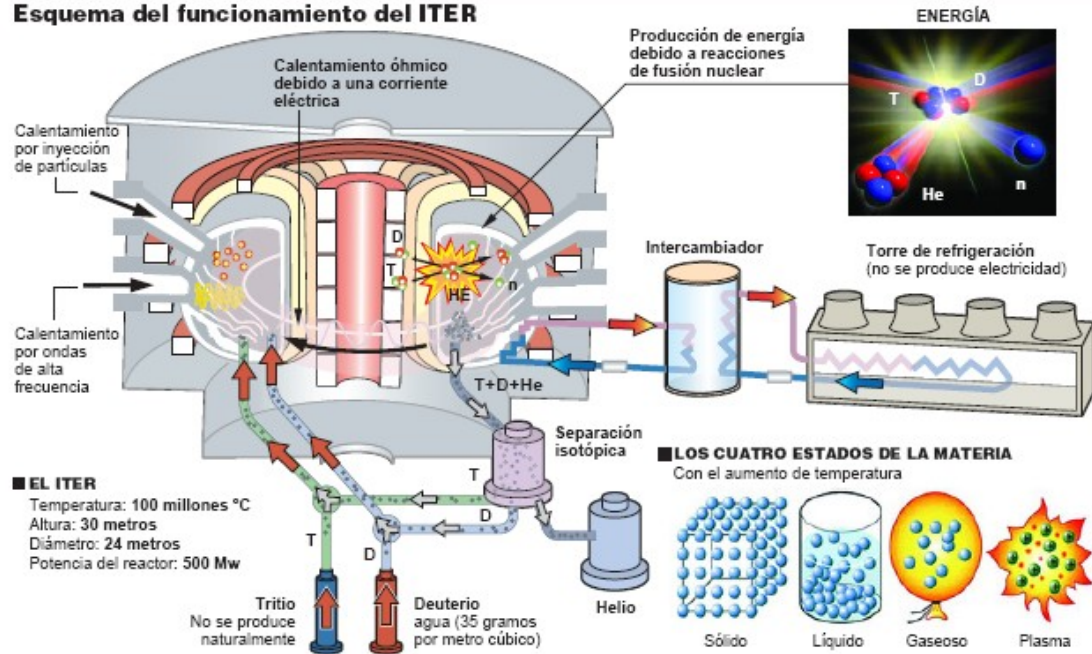
- Permitir el calentamiento del plasma y adición del mismo así como permitir acciones de diagnosis y pruebas con materiales diversos.
- Actuar como primera barrera para confinar cualquier fuga de refrigerante fuera de la planta.

El helio generado durante la fusión nuclear es extraído del toro por medio del “desviador” (en inglés, *divertor*; to divert = desviar), integrado por 54 módulos con un peso total de 12Tn.

Finalmente, todo el reactor está rodeado por una estructura de acero y otra de hormigón armado que protege a los operarios de las radiaciones.



Esquema del funcionamiento del ITER



Emplazamiento del ITER

En un principio, los tres emplazamientos que se disputaban el proyecto eran: Europa (Francia y España), Canadá y Japón.

El Gobierno Canadiense mostró interés por albergar el proyecto en Darlington cerca de Toronto, Japón presentó su candidatura en Rokkashomura, Francia ofreció su centro nuclear de Cadarache y España propuso su emplazamiento en Vandellós I

Durante el proceso para definir emplazamiento del centro de investigación y del futuro reactor de fusión se presentaron varios inconvenientes. Durante el mes de Noviembre de 2003 existe una pugna entre Francia y España por la obtención de la candidatura de la UE para situar el ITER. La opción española tras descartar algunas fue Vandellós I, después del positivo estudio de

viabilidad coordinado por el CIEMAT y realizado por diferentes institutos de investigación e industrias, entre las que destaca IBERTEF (consorcio formado por Empresarios Agrupados y SENER).



Después de un complejo proceso de evaluación tecnológica, a finales de 2003 la Comisión Europea decidió presentar como candidatura europea la francesa de Cadarache frente a la española de Vandellós I. Así, Francia representará a la Unión Europea ante las otras dos candidaturas internacionales: Canadá y Japón.

En diciembre de 2003 los seis miembros no pudieron decidirse entre situarlo en Francia o en Japón. Al parecer, por motivos políticos los Estados Unidos estuvieron en contra de la candidatura de Francia (se presume que se debió a su negativa a apoyar la invasión de Irak de 2003), lo cual dificultó la decisión definitiva.

Se llegó a plantear la posibilidad de que la UE siguiese adelante con el proyecto sin Japón y Estados Unidos. Esto fue sugerido por la Comisión Europea y por Francia, que contaban con que la aportación de estos dos países podría sustituirse con la entrada de nuevos socios y con aumentos de los países de la UE. Se había anunciado que India, Suiza y Brasil estarían dispuestos a participar en el proyecto europeo.

Los sitios candidatos fueron:

- Cadarache (cerca de Marsella), contaba con el apoyo de la UE, Rusia y China.
- Rokkashomura (Japón), contaba con el apoyo de Estado Unidos, Japón y Corea del Sur.

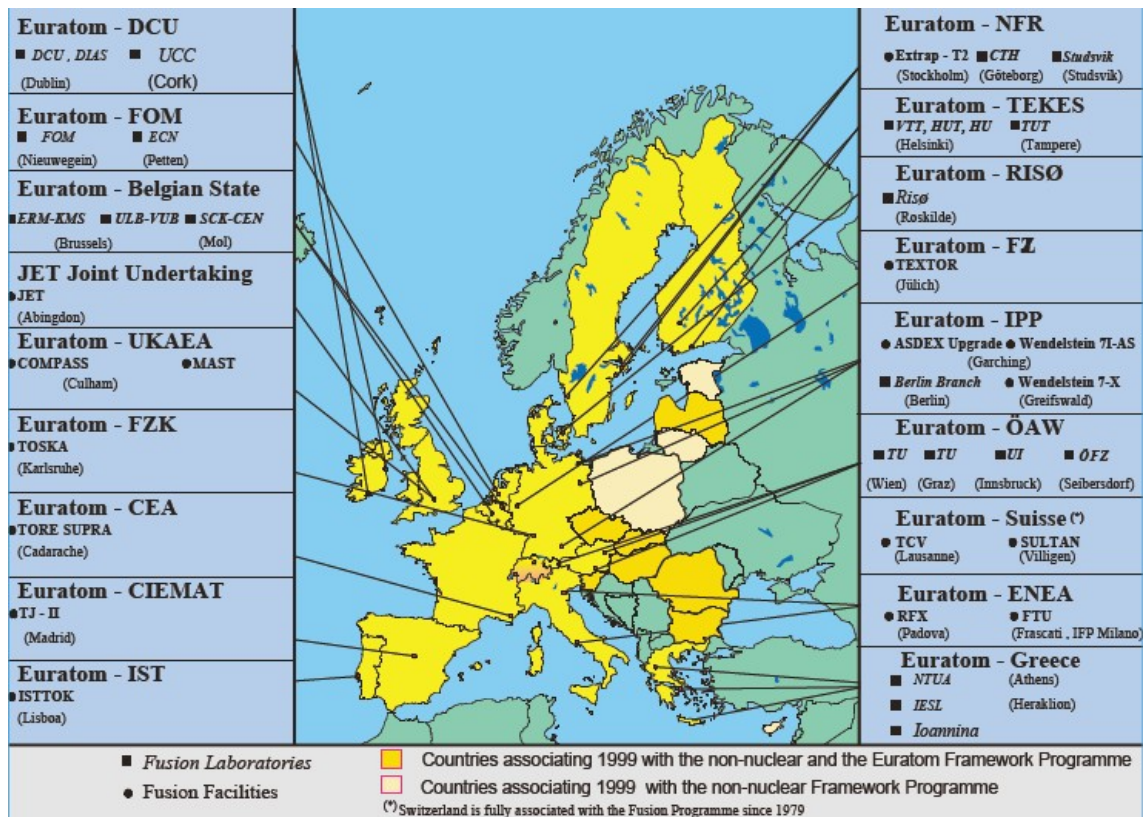
El 28 de junio de 2005 en Moscú, se llegó finalmente a un acuerdo sobre la localización del reactor, que será ubicado en Cadarache.

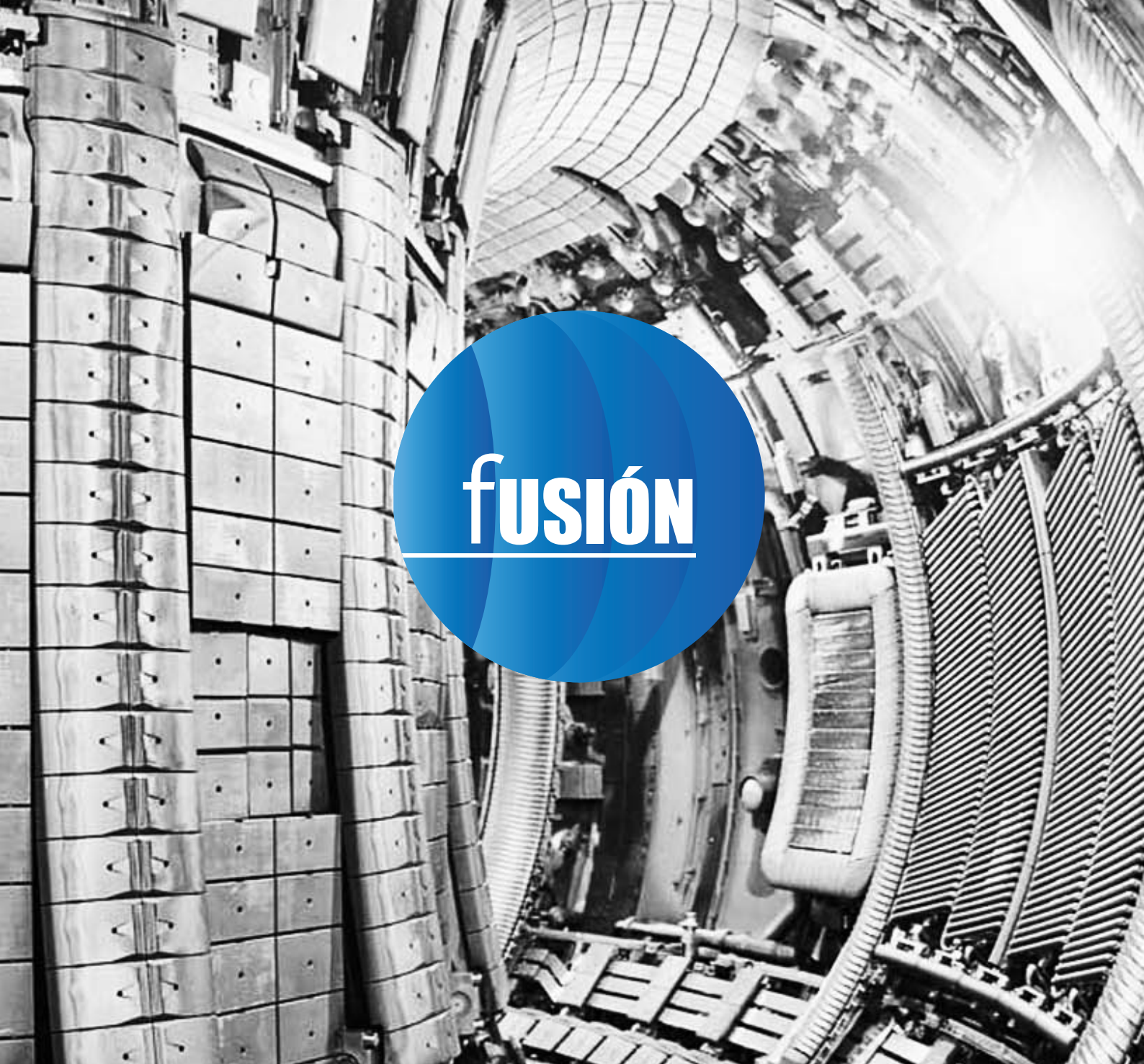
La UE asumirá el 40% de los costos de construcción, Francia costeará un 10% adicional mientras que los socios restantes sufragarán el resto en dinero y/o equipos.

El Primer ministro de Francia en ese momento, Dominique de Villepin, consideró que el ITER conllevaría la creación de 4.000 puestos de trabajo en su país.

El proyecto ITER demostrará que el método de fusión es viable científica y técnicamente. El ITER tendrá que ser capaz de generar 500 megavatios de energía durante cierto tiempo. El proyecto tendrá una función experimental para probar tecnologías imprescindibles para crear multitud de centrales de fusión industrial en todo el mundo. Para 2040 se estima que estará terminado todo el proyecto de investigación. El ITER producirá diez veces más que la energía que se consume y se espera que para mediados de siglo las nuevas generaciones puedan disfrutar de una energía que no embargue el futuro de la humanidad.

Los socios del proyecto ITER, liderados por la Unión Europea son: Estados Unidos, China, India, Rusia, Japón y Corea del Sur.





fusión

EL PROYECTO DE FUSIÓN NUCLEAR POR CONFINAMIENTO MAGNÉTICO: ITER

www.luispastor.es