

EL PROYECTO EUROPEO PDS XADS: ESTUDIOS PRELIMINARES DE DISEÑO DE UN SISTEMA ACCIONADO POR ACELERADOR (ADS)

X. JARDÍ - B. CARLUEC

Para demostrar que la transmutación es factible a escala industrial, resulta imprescindible la operación a escala europea de un ADS experimental (XADS) que sirva como prueba del acoplamiento del acelerador, el blanco de espalación de neutrones y el núcleo subcrítico.

Además de demostrar los fenómenos básicos que intervienen en las tecnologías del ADS, también es necesario llevar a cabo los diseños preliminares de diseño de ingeniería del XADS para así poder seleccionar los conceptos tecnológicos más prometedores, tratar los puntos críticos de todo el sistema, identificar la investigación y desarrollo (I+D) de soporte, definir los temas de seguridad y licencia, evaluar de manera preliminar el coste de la instalación y, por último, consolidar la hoja de ruta del desarrollo del XADS. La evaluación y los estudios comparativos de los distintos diseños conceptuales de los principales sistemas permitirán identificar las soluciones más prometedoras, que podrían ser estudiadas con más detalle en las siguientes fases para llegar, finalmente, al momento de su realización.

En este artículo se presenta el proyecto PDS-XADS.

"La información contenida en este documento se proporciona tal cual, sin garantía de ningún tipo de que la información sea propia de un uso determinado. Por ello, el usuario dispondrá de la información bajo su riesgo y responsabilidad"

The demonstration of the practicability of transmutation on an industrial scale requires to operate at a European level, an experimental ADS (XADS) which will demonstrate the coupling of the accelerator, the neutron spallation target and the subcritical core.

Complementary to the demonstration of the basic phenomena involved in the ADS technologies, the preliminary engineering design studies of the XADS have to be performed in order to select the most promising technical concepts, to address the critical points of the whole system, to identify the research & development (R&D) in support, to define the safety and licensing issues, to preliminary assess the cost of the installation, and, then, to consolidate the roadmap of the XADS development. The assessment and comparison studies of the different conceptual designs of the main systems will allow to identify the most promising solutions which could be studied in detail in the next phases, and eventually realised.

The PDS-XADS project is presented in this article.

INTRODUCCIÓN

El siglo XXI trae consigo nuevos retos para el desarrollo sostenible. En concreto, el uso de combustibles fósiles para atender la creciente demanda de energía, como sucede en la actualidad, tiene un futuro limitado si consideramos la gestión de recursos y la preocupación por el riesgo del cambio climático.

El Libro Verde de la Comisión Europea "Por una estrategia europea para la seguridad del suministro de energía" (Referencia 1) señala con claridad la importancia de considerar todos los recursos de posible explotación en Europa. Dentro de ellos, la energía nuclear de fisión merece una atención especial, siempre que se logren resolver los problemas de gestión y almacenamiento de residuos nucleares.

La estrategia relacionada con el cierre del ciclo de combustible depende de las políticas nucleares adoptadas por cada Estado miembro de la Unión Europea. En cualquier caso, la transmutación de la mayor parte de los residuos radiactivos de vida larga es una solución prometedora que podría desempeñar un papel primordial.

Tanto los reactores críticos como los subcríticos son candidatos potenciales para sistemas de transmutación. Sin embargo, los reactores críticos cargados de combustible con gran cantidad de actínidos menores (americio y curio) suponen problemas de seguridad causados por coeficientes de reactividad poco favorables y una pequeña fracción de neutrones diferidos. Con respecto a este problema, el empleo de sistemas subcríticos es especialmente favorable permitiendo una tasa de transmutación máxima con una operación segura.

Los reactores subcríticos son sistemas impulsados por acelerador (ADS) constituidos por el acoplamiento de un acelerador de protones, un blanco de espalación y el núcleo subcrítico.

Las actividades de la Unión Europea y los Estados miembros dentro del marco de la transmutación de residuos nucleares se han centrado en los aspectos siguientes:

- En primer lugar, coordinación de actividades mediante el establecimiento de un grupo de trabajo técnico europeo (ETWG) bajo la presidencia del Prof. Carlo Rubbia, que ha editado una

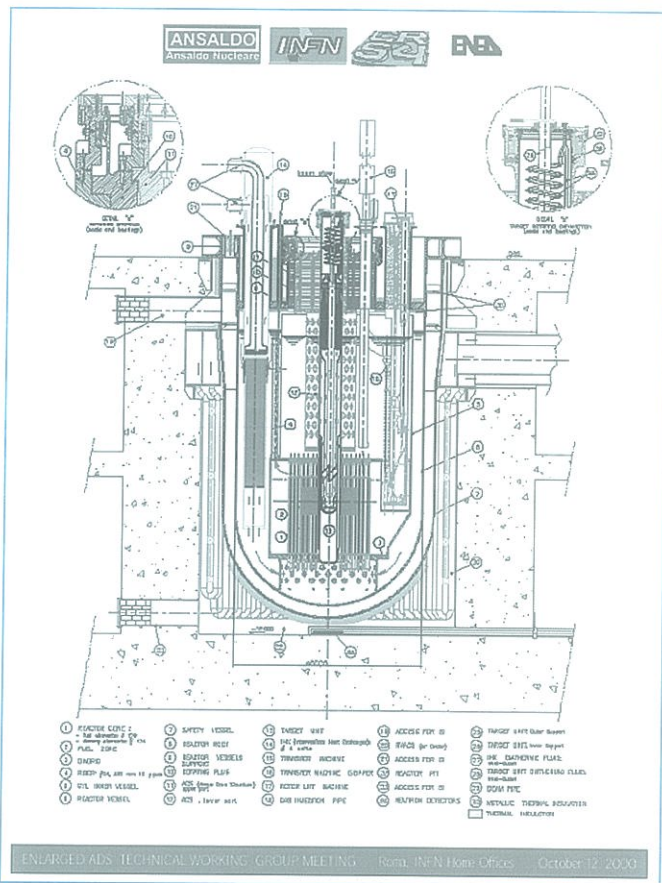


Figura 1. XADS - Concepto de instalación refrigerada por LBE.

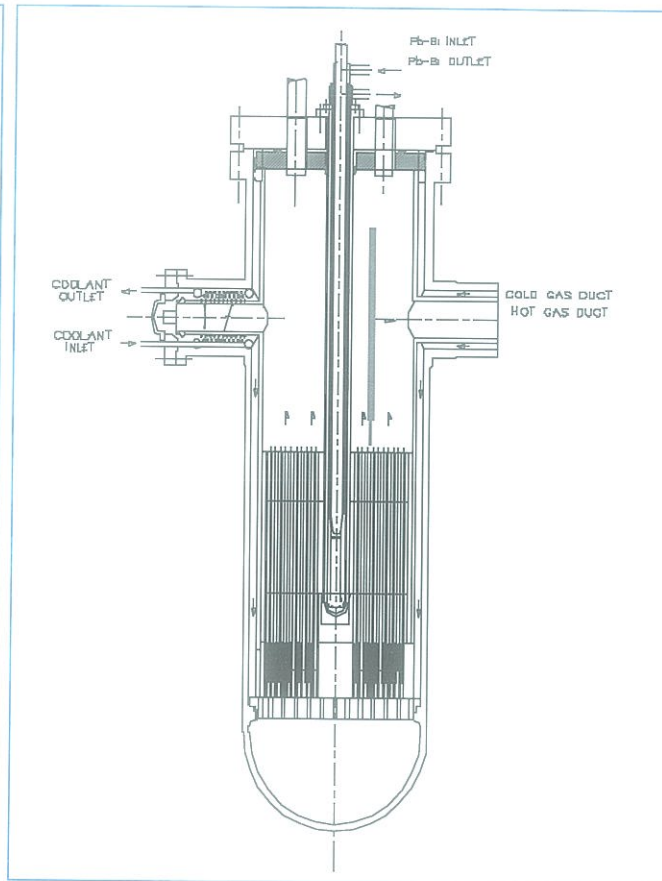


Figura 2. XADS - Concepto de instalación refrigerada por gas.

hoja de ruta (Referencia 2) para preparar un programa de demostración. Las recomendaciones del grupo de trabajo técnico se centran en la necesidad de diseñar y operar, en aproximadamente una década, un ADS experimental a una escala que le permita convertirse en el precursor del transmutador a escala práctica industrial. Esta instalación, para la que se necesitaría un esfuerzo común en el ámbito europeo, se considera como la forma más rápida y eficaz de evaluar de manera concluyente el potencial y la viabilidad de un programa industrial a gran escala basado en el ADS; también se estima que, dentro de esta perspectiva, es sumamente recomendable crear una plataforma industrial.

- A partir de las recomendaciones del ETWG, mediante la puesta en marcha de estudios dedicados a la separación y transmutación de residuos nucleares, patrocinados por la Comisión Europea. Entre estos estudios, el proyecto PDS-XADS se dedica a los estudios de diseño preliminar de un ADS experimental. Incluye los estudios de diseño de los principales componentes de un ADS: el acelerador, el blanco de espalación y el reactor.

EL PROYECTO PDS-XADS

La demostración de la factibilidad de la transmutación a escala industrial requiere una operación en el ámbito europeo, un ADS experimental (XADS) que demostrará el acoplamiento del acelerador, del blanco de espalación y del núcleo subcrítico. De forma complementaria a la demostración de los fenómenos básicos relacionados con las tecnologías ADS, deben realizarse estudios preliminares de diseño e ingeniería del XADS, de forma que se seleccionen los conceptos técnicos más prometedores, se traten los puntos críticos de todo el sistema, se identifique la investigación y desarrollo (I+D) adicional requerida, se definan los temas de seguridad y licencia, se evalúe de forma preliminar el coste de la instalación y, por último, se consolide la hoja de ruta para el desarrollo del XADS. Los estudios de evaluación y comparación de los distintos diseños conceptuales de los principales sistemas permitirán identificar las soluciones más prometedoras, que se podrían estudiar en detalle en fases siguientes para su posterior realización.

Ya se han llevado a cabo en Europa gran cantidad de I+D y de actividades de ingeniería para demostrar aspectos básicos individuales del concepto ADS y para definir configuraciones de referencia conceptuales de la instalación. Se han considerado varias opciones de diseño y tecnológicas que ahora se estudian en más detalle.

Si se tiene en cuenta que el espectro de neutrones rápidos es la solución a priori para la transmutación, los esfuerzos de I+D se centran en ADS enfriado por metal líquido y en ADS enfriado por gas. Los estudios preliminares de diseño se concentran principalmente en tres conceptos de la parte del reactor nuclear:

- Un concepto de instalación grande enfriada por un eutéctico de plomo bismuto (LBE) desarrollado inicialmente por Ansaldo (unos 80 MW – ver Figura 1).
- Un concepto de instalación grande enfriada por gas desarrollado inicialmente por Framatome (unos 80 MW térmicos – ver figura 2).
- Un concepto de instalación menor enfriada por LBE (unos 80/50 MW térmicos); este concepto es el concepto

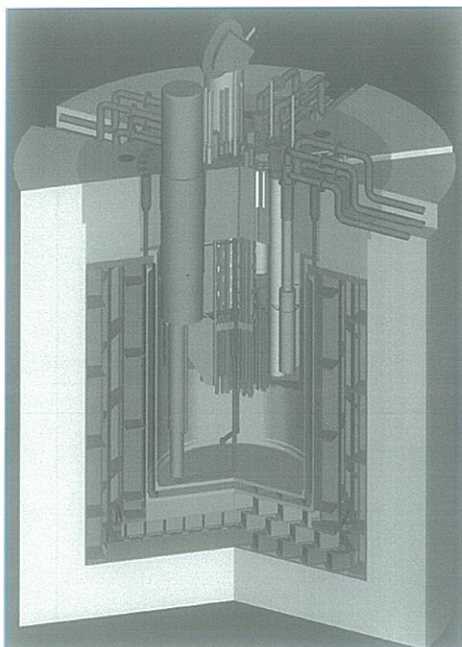


Figura 3. XADS - Concepto MYRRHA.

MYRRHA, desarrollado inicialmente por organizaciones belgas (ver figura 3).

Otro candidato alternativo sería el concepto de instalación enfriada por sodio, pero a causa de los considerables conocimientos y validación ya existentes sobre la tecnología de sodio, los estudios de diseño preliminar similares tienen una menor urgencia en comparación con los otros conceptos, más innovadores. Por consiguiente, los estudios de un concepto de instalación enfriada por sodio no están incluidos en el proyecto PDS-XADS.

Es preferible que el blanco de espalación sea un metal pesado líquido. Con este propósito se ha seleccionado el LBE. Se prevén dos conceptos principales: metal pesado líquido separado o no del acelerador por una pared (llamada ventana) en contacto con el metal pesado.

Para el acelerador, los dos tipos de máquina previstos son el ciclotrón y el acelerador lineal.

• El objetivo del proyecto PDS-XADS es desarrollar estas configuraciones hasta un nivel suficiente para definir de manera precisa las necesidades de soporte de I+D, realizar comparaciones objetivas y recomendar las soluciones de ingeniería de detalle a realizar.

LAS ESPECIFICACIONES DEL XADS EUROPEO

Las principales misiones del XADS son, en primer lugar, demostrar la ope-

ratividad del concepto ADS a un nivel de potencia suficiente; en segundo, conseguir la demostración de las tecnologías ADS; y, por último, emplear el XADS como herramienta de irradiación.

Por lo tanto, el uso del XADS debería realizarse en dos fases:

- Fase 1, que emplea la tecnología de combustible disponible y se centra en demostrar el concepto del ADS y los temas relacionados con la irradiación, en concreto con los combustibles dedicados a la transmutación. (El proyecto actual, descrito en este artículo se corresponde con la Fase 1 exclusivamente).

- Fase 2, que se centra en la demostración de la transmutación con un gran número de elementos de combustible menores basados en actínidos. Durante esta fase, el XADS se usará cada vez más como demostración de un transmutador.

Para poder alcanzar estos objetivos, los requisitos clave del XADS se centran en un núcleo subcrítico que opera con un espectro de neutrones rápidos y un flujo de neutrones alto.

Además, el XADS debe tener una gran flexibilidad en lo que respecta a la subcriticidad y a la tecnología del combustible, y debe ser sólido y basarse en una tecnología fiable y segura.

El XADS debe tener un nivel de potencia mínimo para demostrar la viabilidad del ADS a una escala industrial.

La demostración de operatividad debe centrarse en el control del acelerador y del núcleo subcrítico, en el comportamiento del sistema durante los transitorios y en la fiabilidad del sistema, especialmente de sus componentes.

ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO PDS-XADS

Dentro del 5º Programa Marco de I&D de la EC se encuentra el Proyecto "European Project PDS XADS-- Accelerator Driven System (ADS) Engineering Activities" (Contrato nº FIKW-CT-2001-00179) adjudicado en 2001 a un consorcio europeo. Veinticinco organizaciones europeas de diez países miembros de la UE y dos países asociados, además de un Centro de Investigación Conjunta Europea, son miembros del Consorcio del proyecto PDS-XADS (Tabla 1). Los miembros del consorcio representan a las principales organizaciones europeas en el campo del diseño de centrales nucleares (compañías industriales), en el de la

Tabla 1
Organizaciones que participan en el proyecto PDS-XADS

	Organizaciones	
1	Framatome-ANP SAS	F
2	Ansaldo	I
3	Tractebel SA	B
4	Empresarios Agrupados	E
5	NNC Ltd	UK
6	Framatome-ANP GmbH	D
7	BNFL	UK
8	CEA	F
9	CIEMAT	E
10	CNRS IN2P3	F
11	University of Frankfurt	D
12	EC-JRC-Petten	
13	ENEA	I
14	FZK	D
15	INFN	I
16	University of Mining and Metallurgy	PL
17	Paul Scherrer Institute	CH
18	Nuclear Research & consultancy Group	NL
19	Kungl Tekniska Högskolan	S
20	SCK•CEN	B
21	Universidad Politécnica de Madrid	E
22	CRS4	I
23	Instituto Tecnológico e Nuclear	PT
24	Ion Beam Application	B
25	FZJ	D

I+D de soporte para el desarrollo de centrales nucleares (centros de investigación nacional, laboratorios y universidades) y en el del diseño y desarrollo de aceleradores (compañías industriales, centros y universidades de investigación). Tres Organizaciones españolas forman parte del Consorcio: Empresarios Agrupados, CIEMAT y la Universidad Politécnica de Madrid (ETSIM) con actividades que representan el 10% del presupuesto global..

El proyecto PDS-XADS se ha organizado de forma tal que permita integrar en las primeras etapas del diseño conceptual cualquier restricción o necesidad de los tres componentes principales del ADS, el acelerador, la unidad del blanco de espalación y el reactor. A tal fin, el proyecto se ha estructurado en 11 paquetes de trabajo (Work Package). En la figura 4 se indican estos WP y las Organizaciones responsables de los mismos.

En cada paquete de trabajo se ha definido un líder. Un Equipo de Gestión de Proyecto (PMT), presidido por el coordinador, se encarga de gestionar el conjunto del proyecto. El coordinador

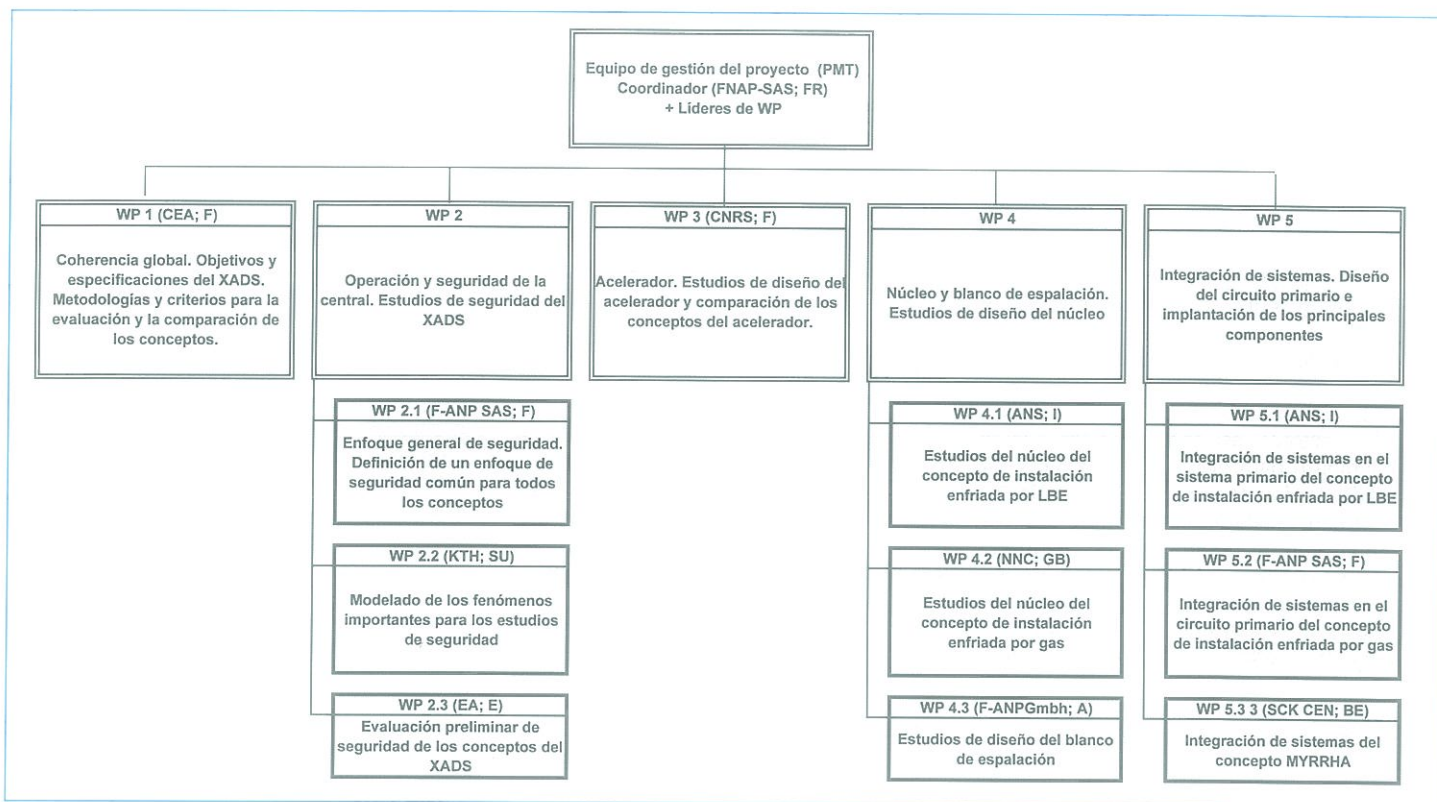


Figura 4. Organización del proyecto.

y los líderes de los paquetes de trabajo son los miembros del PMT. El PMT elaboró, al inicio del proyecto, las reglas de gestión comunes para la edición y verificación de los documentos, para elaborar las principales especificaciones del XADS y para definir las reglas comunes de seguridad y diseño, de forma que se desarrollen conceptos equivalentes.

PLANIFICACIÓN

Los estudios del proyecto PDS-XADS comenzaron en noviembre de 2001 y tienen una duración de tres años.

El proyecto se ha dividido en tres fases principales:

- La primera fase, con una duración de unos seis meses, dedicada a la definición de las principales especificaciones técnicas del XADS.
- La segunda fase consiste en los estudios preliminares de diseño de ingeniería de los diferentes conceptos. La duración es de unos dos años.
- La tercera fase es la de evaluación y comparación de los distintos conceptos del XADS. Se elaborarán recomendaciones para la implantación en la hoja de ruta europea del XADS.

ACTIVIDADES DEL PROYECTO

Se describen a continuación las principales actividades de ingeniería del proyecto PDS-XADS:

Definición de los objetivos y especificaciones generales del XADS

El primer paquete de trabajo (WP1) está dedicado a la definición de los objetivos del XADS y, posteriormente, a la definición de sus especificaciones generales. Esto se establece de forma coherente con las conclusiones de la hoja de ruta europea y las recomendaciones del ETWG, en las que se tendrán en cuenta las distintas políticas sobre residuos radiactivos de los Estados miembros de la Unión Europea.

El WP1 se encarga de plasmar la definición de las misiones del XADS. También está a cargo de la definición de las metodologías y criterios para la comparación de los conceptos a examen y, al final del proyecto, propondrá recomendaciones para un futuro desarrollo, así como las necesidades de I+D. Las recomendaciones para la selección de los conceptos de referencia se basarán en los estudios sobre los conceptos de las instalaciones enfriadas por LBE y gas, incluyendo también un concepto enfriado por sodio extra-

polado de los estudios disponibles acerca de los reactores avanzados de neutrones rápidos de este tipo. Los estudios sobre los reactores avanzados enfriados por sodio se consideran lo bastante desarrollados como para evitar la realización de estudios de diseño específicos para el XADS, al contrario de lo que ocurre con los conceptos enfriados por LBE y gas.

Enfoque de seguridad para el XADS

Se propondrá un enfoque de seguridad para el XADS basado en los requisitos de licencia europeos para instalaciones nucleares comparables. Reglas comunes definirán las condiciones de base de diseño (DBC) y las condiciones ampliadas de diseño (DEC).

Se han definido las herramientas de cálculo y las necesidades de I+D y se están realizando los cálculos de los principales transitorios necesarios para el diseño del XADS.

El paquete de trabajo WP2 se encarga de proponer un enfoque de seguridad para el XADS basado en los requisitos de licencia europeos para futuras instalaciones nucleares. Tiene que establecer reglas comunes para definir los sucesos a considerar en el diseño. Después, debe desarrollar las herramientas de cálculo, para identificar las

necesidades de seguridad de I+D y llevar a cabo la evaluación preliminar de seguridad de los conceptos del XADS.

Objetivos, bases y criterios de aceptación de seguridad

Se está desarrollando un enfoque de seguridad común integrado que identifique los objetivos, las bases y los criterios de aceptación para la seguridad de los diseños del XADS basados tanto en LBE como en gas.

El enfoque de seguridad desarrollado es coherente con los realizados con anterioridad para los distintos sistemas de reactores, así como con los que se siguieron para el reactor avanzado basado en las nuevas tendencias de las normativas. Para evaluar sobre una base común el rendimiento de seguridad de los diseños del XADS enfriados por LBE y gas, de modo que se pueda llevar a cabo una comparación objetiva, se han desarrollado principios de seguridad, criterios de aceptación y reglas comunes para el análisis de seguridad.

Un objetivo del proyecto consiste en identificar y examinar los temas de seguridad para realizar la investigación de la fenomenología y para desarrollar una metodología validada para el análisis, evaluación y gestión de seguridad de los diseños de XADS enfriados por LBE y gas.

La identificación y el examen de los temas de seguridad se basa en los conocimientos de fenomenología acumulados durante los estudios de sistemas de reactores previos, es decir, LWR, LMFBF, GCRF, HTR, etc. y en los fenómenos que puedan ser específicos del XADS enfriado por LBE y gas. Los principales asuntos de seguridad analizados en las condiciones de operación normal y de accidentes son:

- Reactividad y criticidad
- Rotura de tuberías
- Corrosión
- Entrada de agua
- Pérdida de sumidero de calor
- Control de potencia de acelerador y núcleo, y sistemas de parada, pertinentes a ambos sistemas
- Interacción de fusión de núcleo con el refrigerante y las estructuras; criticidad de la fusión del núcleo
- Liberación y transporte de productos de fisión y espalación

La metodología sigue las investigaciones fenomenológicas. El objetivo es identificar los fenómenos específicos del ADS y desarrollar modelos y códigos preliminares del detalle necesario para su posible uso en la realización

del análisis y la evaluación preliminares de los escenarios DBC y del análisis, evaluación y diseño del alcance de los escenarios DEC. El análisis de contención es necesario. Los códigos se validarán en lo posible comparándolos con los datos experimentales. Se identificarán experimentos adicionales o áreas de investigación relacionadas con los mencionados temas de seguridad.

Análisis y evaluación preliminares de seguridad del diseño de la planta del XADS

Tanto el sistema enfriado por LBE como el enfriado por gas se analizarán y evaluarán de forma preliminar y, en caso necesario, se harán propuestas para mejorar su seguridad. Además, se realizará un análisis de alcance para la gestión de escenarios de accidente que lleven a las DEC. El trabajo emplea la metodología desarrollada para el análisis preliminar de los escenarios identificados, que engloban los asuntos de seguridad identificados anteriormente. Los resultados del trabajo deberían centrarse en la evaluación de las características de diseño y sistemas de seguridad propuestos para la prevención y mitigación de los escenarios seleccionados.

La clasificación de seguridad de los sistemas se determina siguiendo el concepto tradicional de defensa en profundidad conjuntamente con el de líneas de defensa, así como los criterios deterministas y probabilistas del enfoque de seguridad seleccionado. El objetivo es la mitigación de las consecuencias de los fallos de los sistemas de seguridad. Se establecerá una clasificación preliminar de seguridad para los sistemas, basada en los criterios de aceptación. La función de contención se basará en la definición de barreras y su efectividad, frente a las liberaciones al medio ambiente.

Especial atención merecerá la especificación de los valores de consigna o límites operacionales, por ejemplo el valor máximo de k_{eff} , el mayor valor de la velocidad de flujo durante las condiciones normales y de parada, etc. Además, considerando las incertidumbres, se analizarán sus márgenes, de forma que los valores de consigna y los límites operacionales puedan especificarse.

Acelerador

El proyecto proporcionará el marco y los requisitos esenciales para un esfuerzo europeo concertado, a partir del cual diseñar e instalar un XADS impulsado por protones de alta densidad,

que determine críticamente el rendimiento general del sistema. El propósito del proyecto es examinar los aspectos relevantes relacionados con este acelerador. Por lo tanto, la tarea planeada consiste en definir un acelerador y una línea de transporte del haz hasta el blanco de espalación. Se han investigado los aceleradores de tipo lineal y ciclotrón, poniendo especial énfasis en los requisitos específicos del XADS:

- Características de acelerador clase ADS, tales como fiabilidad, disponibilidad, estabilidad y reproducibilidad del control de potencia, incluyendo limitación de parada y potencia, y mantenibilidad.

- La I+D necesaria para la optimización de rendimiento y costes de los componentes del acelerador críticos para las características de la clase ADS.

- La elección de un acelerador de referencia y el transporte de haces hasta el blanco de espalación, incluyendo la extrapolación a medio y largo plazo desde una máquina experimental a una industrial.

- La hoja de ruta para el punto anterior.

El inventario de las especificaciones, generado junto con otros paquetes de trabajo, incluye las siguientes características, tanto para el acelerador lineal como para el ciclotrón y en relación con el blanco de espalación y el núcleo subcrítico: corriente y energía de haz máximas, rango de estos parámetros, precisión de la corriente y control de energía, constante de tiempo asociada, rendimiento del sistema de parada de haz, fiabilidad y disponibilidad, procedimiento de rearmado, control de rastro del haz en el blanco; pérdidas del haz a lo largo de la línea y blindaje y tiempo para el acceso asociados.

La tecnología del acelerador de alta intensidad progresa en la actualidad gracias a las actividades de I+D experimentales y teóricas realizadas en varios laboratorios que participan en el proyecto PDS-XADS. Los resultados de estos importantes programas nacionales se utilizan como base para la definición de futuras necesidades de I+D a realizar para el ADS.

El trabajo inicial se concentra en el análisis de fiabilidad y costes, y pretende identificar los componentes en los que estos dos aspectos se verían optimizados gracias a un futuro programa de I+D.

Una tarea adicional sería establecer vínculos entre los estudios específicos del acelerador, los estudios específicos del blanco de espalación y los estudios

específicos del reactor. En concreto, es necesario examinar de forma conjunta e integrar en el proceso de diseño los requisitos y restricciones de estos componentes, relacionados con la disponibilidad, las variaciones de potencia, el arranque y la parada, el proceso de reparación y manipulación, y la coherencia geométrica.

Por consiguiente, aunque la solución del acelerador lineal superconductor se considera como la opción de referencia, también se han evaluado ciertos aspectos de la tecnología del ciclotrón.

Estudios del núcleo y del blanco de espalación

Los objetivos del proyecto son desarrollar un diseño conceptual del núcleo para el XADS, dentro del contexto de las especificaciones generales del XADS y teniendo en cuenta el trabajo ya realizado sobre los conceptos de instalación enfriada por LBE y por gas. Esto requiere abordar las disciplinas clásicas del diseño de núcleos, es decir, el diseño neutrónico, termohidráulico y termomecánico.

El diseño del primer núcleo se basará en la explotación de combustible MOX muy enriquecido de LMFBFR.

El XADS debe estar diseñado para soportar núcleos flexibles y convertibles. Las especificaciones generales del XADS indicarán la flexibilidad requerida permisible. Los requisitos correspondientes se considerarán como condiciones límite para el diseño del núcleo.

Se evaluará la capacidad para quemar y transmutar MA y LLFP en conjuntos especiales, ubicados en regiones del núcleo exterior con un flujo de neutrones adecuado.

Se establecerán las necesidades, consecuencias y opciones plausibles para la implantación de barras absorbentes. Los requisitos para los conjuntos simulados (estructuras de conductos vacíos) o las posiciones del núcleo reservadas para los conjuntos de prueba, serán tenidas en cuenta para el diseño del núcleo.

Podría considerarse la posibilidad de incluir materiales reflejados y moderadores para mejorar el quemado y reducir el daño de los neutrones rápidos a las estructuras relevantes, cumpliendo a su vez los requisitos del espectro de neutrones.

El diseño conceptual del blanco se basa en una optimización equilibrada entre la eficacia neutrónica, las propiedades físicas y químicas de los materiales y los rendimientos termohidráulicos bajo las condiciones impuestas por la seguridad y la fiabilidad, incluida la vi-

da útil. Se investigarán distintos conceptos de blanco:

- El diseño de una configuración de ventana de blanco con un blanco líquido (LBE), en el que la ventana separa la cavidad del haz de protones de la unidad del blanco, de forma que se cumplan las cargas de presión y las cargas térmicas pesadas. Se prevén fuertes vínculos con el proyecto MEGAPIE.

- Una configuración de blanco sin ventana con un blanco líquido (LBE), en el que el haz de protones incide directamente sobre la superficie de metal líquido. Se prestará especial atención a los aspectos termohidráulicos de la estabilidad de la superficie libre. Se prevén fuertes vínculos con el proyecto MYRRHA.

- También se dedicará cierto tiempo de evaluación a un concepto de blanco sólido.

Se han evaluado los pros y contras de diferentes penetraciones de haz de protones en la vasija (por ejemplo horizontal frente a vertical desde arriba o vertical desde abajo) y la solución preferible identificada para cada concepto. En la actualidad se prevé una unidad de blanco vertical con penetración del haz de protones en la vasija desde arriba.

Integración del sistema primario

Se está desarrollando un diseño coherente del principal equipo funcional y mecánico que constituye el sistema primario, siguiendo los requisitos principales del XADS (es decir, el nivel de potencia del reactor, el nivel de subcriticidad, la energía y la intensidad del haz de protones, capacidades de irradiación y ubicación).

El concepto de conjunto del reactor del XADS incluye los siguientes componentes principales: vasijas principal y de seguridad junto con sus sistemas de soporte, intercambiadores de calor intermedios, reactor, cubierta del reactor, estructura por encima del reactor e instrumentos de vigilancia del núcleo.

Se pondrá especial énfasis en la flexibilidad del diseño del XADS. Este enfoque está motivado por la necesidad de comparar en esta fase del proyecto las distintas tecnologías y opciones de diseño.

Concepto a pequeña escala: integración del sistema

El XADS a pequeña escala es una fuente de neutrones de múltiple finalidad para aplicaciones de I+D. Podría ser una de las primeras demostraciones de los principios del ADS en un paso

hacia delante modesto con un riesgo de desarrollo limitado. Los objetivos del proyecto serían la evaluación de la integración de los distintos componentes del XADS a pequeña escala en este diseño de ingeniería; estos componentes son el ciclotrón, el módulo de espalación LBE sin ventana y el núcleo subcrítico con combustible tipo MOX de reactor rápido enfriado por LBE. Se realizará una evaluación realista del coste de la inversión en la que las incertidumbres causadas por los aspectos innovadores sean limitadas o se evalúen a través de un programa de I+D intensivo asociado. Esto puede suponer una ventaja para facilitar el proceso de licencia de un concepto innovador como el ADS.

RESULTADOS

Los resultados de las actividades del proyecto abarcarán desde el acelerador hasta las tecnologías de materiales y combustible nuclear. Otros sectores industriales, aparte del nuclear, podrían beneficiarse de los resultados finales del trabajo de alta tecnología en desarrollo y, en concreto, el campo de los materiales innovadores con alta resistencia a la corrosión y a la temperatura proporcionará una información muy positiva.

El Proyecto incluye un total de 86 documentos contractuales (*"Deliverables"*), que estará disponible al finalizar los Estudios de Diseño Preliminares propuestos para el XADS. Entre otros aspectos, estos documentos incluirán la descripción técnica de las dos alternativas desarrolladas (XADS enfriado por gas y LBE), la descripción técnica de un XADS a pequeña escala, las descripciones técnicas de los tipos de acelerador clase ADS, los criterios de seguridad aplicables al proyecto, los estudios y análisis de seguridad preliminares. (Operación normal y accidente) así como las confirmaciones que apoyen las necesidades de I+D experimental. La comparación final de las distintas alternativas sobre la base de reglas y criterios objetivos proporcionará datos de partida fundamentales para la selección de la mejor solución a desarrollar en detalle dentro del Sexto Programa Marco de EC para su posterior construcción.

De hecho, el paquete de documentación completo proporcionará un conjunto de información coherente a partir del que la asociación industrial europea, las universidades, las organizaciones de I+D y las autoridades de seguridad podrán realizar otros análisis y actividades. De esta forma, los

esfuerzos podrán centrarse en problemas reales y se igualará el diseño con las actividades experimentales de la forma más eficaz y adecuada, empleando fondos suministrados tanto en el ámbito nacional como europeo.

REFERENCIAS

1. Commission of the European Communities; Green Paper: Towards a European strategy for the security of energy supply (COM 2000 769).

2. An European Roadmap for Developing Accelerator Driven Systems (ADS) for Nuclear Waste Incineration. The European Technical Working Group on ADS – April 2001.

3. NEA 3rd Workshop on HPPA, Santa Fe, USA, 12-16 May 2002: The European Program. Bernard CARLUEC; Hamid AIT AB-DEDAHIM; Alex C. MUELLER.

4. ICAAP'03, Córdoba, 6 Mayo 2003: European Project PDS XADS-- Accelerator Driven System (ADS) Engineering Activities. Bernard CARLUEC; Xavier JARDÍ.



Xavier JARDÍ es ingeniero industrial, especializado en Técnicas Energéticas, por la Universidad Politécnica de Barcelona, 1969, e ingeniero nuclear por el Instituto de Estudios Nucleares (JEN), Madrid, 1971. Cuenta con más de 30 años de experiencia en el campo de la gestión y el desarrollo de proyectos de seguridad para centrales e instalaciones nucleares nacionales e internacionales. También ha actuado como experto del OIEA y la CE en diversas misiones en países de la Europa del Este. Es miembro de la Sociedad Nuclear Española y la Sociedad Nuclear Americana (y antiguo miembro de la Junta Directiva de la SNE), ASME, IEEE, etc.
Xavier Jardí es el director del Departamento de Seguridad de Empresarios Agrupados y, en la actualidad, trabaja como director del Proyecto PDS-XADS en esta compañía.



Bernard CARLUEC, Graduado por la École Centrale de Lyon, Bernard CARLUEC ha trabajado como ingeniero para Framatome-ANP desde 1979. Ha pasado toda su carrera hasta la fecha en el departamento de seguridad de la unidad Novatome, lo que le ha permitido adquirir una amplia experiencia en todos los asuntos relacionados con seguridad nuclear. Ha desarrollado estas actividades en el marco de instalaciones nucleares, en especial para reactores de neutrones rápidos, pero también en reactores PWR y otras instalaciones.
Bernard Carluec es consultor de ingeniería de Framatome-ANP para asuntos de seguridad nuclear y el subdirector del departamento de Ingeniería Nuclear y de Seguridad.
En este momento está aplicando su experiencia para desarrollar nuevos conceptos de reactores nucleares: reactores refrigerados por gas, sistemas accionados por acelerador, etc. Actualmente es el encargado en Framatome-ANP de las actividades relacionadas con transmutación de residuos y es el coordinador del proyecto europeo PDS-XADS.



• Jóvenes profesionales dedicados a temas Nucleares, buscan otros jóvenes del mismo campo o estudiantes interesados en el uso pacífico de la energía nuclear para:

- ➡ Puesta en común de información y experiencia
- ➡ Divulgación de conocimientos sobre energía nuclear

Interesados, dirigirse a:

jovenes-nucleares@sne.es

