

LA I + D EN EL DEPARTAMENTO DE FISIÓN NUCLEAR DEL CIEMAT

J.L. DÍAZ - P. DÍAZ - D. GÓMEZ - A. GONZÁLEZ - E. GONZÁLEZ -
L.E. HERRANZ - R. SOLÁ

Las actividades de I+D en el Departamento de Fisión Nuclear del CIEMAT se desarrollan con el objetivo de entender y conocer los fenómenos que potencialmente originen un detrimento en la seguridad y disponibilidad de las plantas nucleares, con la finalidad de proponer soluciones viables; además trata de los problemas técnicos originados como consecuencia de la gestión de los residuos radiactivos. La participación en la investigación de los conceptos avanzados que permitan encontrar fórmulas para mejorar la seguridad de las plantas nucleares y la gestión de sus residuos, es otro de los objetivos de estas actividades. Por otro lado, se investigan los aspectos relacionados con los factores organizativos y su influencia en la seguridad de las plantas nucleares, así como la percepción del riesgo inducido por la operación de las mismas.

Estas actividades se desarrollan en colaboración con el CSN, ENRESA, la Unión Europea, las Centrales Nucleares españolas, DTN y otros organismos nacionales e internacionales.

The technologically developed countries count on nuclear fission as a durable energy resource to produce electricity, facing the future by establishing research programmes to enhance the safety and extend the lifetime of the current power plants and to achieve the adequate management of radioactive waste. At the same time, the progress in the development of a new generation of reactors based in innovative safety concepts.

The Nuclear Fission Department has the ultimate objective of providing technical support to the Spanish nuclear reactors through applied research and development focused on improving the safety and performance of the operating power plants, and cooperating in the activities related to radioactive waste. In this context, the Department has been organised in four R&D project covering the areas of Safety, Materials, Radiative Waste and Transmutation of Long Lived Radioactive Isotopes.

Los países tecnológicamente avanzados cuentan con energía nuclear de fisión como fuente importante de producción de energía eléctrica, planteándose, en la actualidad, la extensión de vida de las plantas nucleares, su disponibilidad y los estudios de seguridad necesarios como objetivos inmediatos para demostrar la

fiabilidad de las plantas en operación. Además, estos países llevan a cabo proyectos de I+D orientados a la resolución de los problemas técnicos que plantea la gestión de los residuos radiactivos, incluyendo estudios relacionados con la opinión pública, en estos temas, y en último término con la transmutación de dichos residuos.

En el Departamento de Fisión Nuclear (DFN) del CIEMAT existen seis grupos de investigación que estudian, con distinta profundidad, y en función de los recursos disponibles, las áreas más relevantes relacionadas con los temas anteriores. Estos proyectos son: Tecnología de Seguridad Nuclear, Seguridad de Sistemas Complejos de Generación de Energía, Materiales Estructurales de Plantas Energéticas, Residuos de Radiactividad Alta, Tecnología de Residuos Radiactivos y Fisión Asistida por Acelerador y Transmutación de Isótopos (FACET).

A continuación describiremos, someramente, el contenido y el alcance de cada uno de estos proyectos.

- El objetivo general de la investigación sobre seguridad nuclear es contribuir al desarrollo y optimización de la tecnología a ella asociada en centrales nucleares de producción de energía eléctrica, tanto actuales como futuras.

La extraordinaria amplitud del campo y los recursos disponibles, han obligado a concretar las actividades en tres grandes líneas de trabajo: término fuente, fenómenos energéticos y com-

bustible de alto quemado. Las dos primeras se enmarcan, fundamentalmente, en la contención en condiciones simuladas de accidente. En término fuente se abordan estudios sobre los cambios físico-químicos que gobiernan la evolución temporal de la radiactividad, mientras que en fenómenos energéticos se centra la atención en sucesos capaces de menoscabar la integridad estructural del recinto. Por último, en la tercera, se analizan aquellos procesos determinantes del comportamiento del combustible nuclear altamente irradiado y de su envuelta.

Los proyectos específicos tienen en todos los casos un doble carácter teórico-experimental. En la vertiente teórica, se desarrollan modelos de simulación y se valida la metodología de cálculo para la cuantificación del riesgo. En la experimental, se dispone del denominado Laboratorio de Análisis de Sistemas de Seguridad (LASS), donde se llevan a cabo programas a pequeña y mediana escala sobre retención de aerosoles en lechos acuosos (PECA), recombinadores de hidrógeno (RECA) y eliminación de yodo gaseoso por rociadores (GIRS).

La propia naturaleza de la seguridad nuclear, así como la dimensión del esfuerzo teórico y experimental requerido en este tipo de investigación, promueve el establecimiento de acuerdos y proyectos internacionales que permiten extender de un modo notable las capacidades de las organizaciones individuales. En la TABLA 1 se observa

Tabla I
Principales proyectos en ejecución o previstos sobre Seguridad Nuclear

ÁREA	PROYECTO	MARCO	CÓDIGOS DE CALCULO	INSTALACIÓN	COLABORACIÓN
Término Fuente	PHEBEN-2	Euratom 1998-2002	CONTAIN 2.0 IODE 4.0 MELCOR	PHEBUS-FP	AEAT, JRC,CEA, ENEA, Demokritos, FZK, GRS, IPSN, NRG, PSI, UPM, U. Pisa
	SGTR	Euratom 1998-2002	Modelo ⁽²⁾	PECA (LASS) ARTIST (PSI)	VTT, PSI, FORTEN, NURI, NRG
	ISP-KAEVER	CSNI	CONTAIN 2.0	KAEVER	JSI, PSI, NRI, NIIAR, IPSN, SKI, VEIKI, KAERI, BIG, GRS, IfE, JRC, U. Bochum, U. Cheju
	AASC ⁽¹⁾	CSN	CONTAIN 2.0 SPARC-90 IODE 4.0 MELCOR	PECA (LASS)	CSN
Fenómenos Energéticos	THINCAT	Euratom 1998-2002	Modelo ⁽²⁾	RECA (LASS)	BIG, FZJ, KAEFER, SWEPO, EASA
Combustible de Alto Quemado	HALDEN	RHP	FRAPCON-3	RHP	Consorcio HALDEN-España, SCK/CEN, IfE, RISO, EDF, ENEA, JAERI, KAERI, NPI, PSI, KEMA, VUJE, Kurchatov, EPRI, ...
	CABRI	IPSN (CSNI)	SCANAIR Modelo ⁽²⁾	CABRI	IPSN, CSN

(1) El proyecto AASC contempla aspectos relativos a término fuente y en fenómenos energéticos

(2) La palabra modelo significa desarrollo propio de modelo o correlación

un buen número de proyectos que se encuentran en ejecución o previstos a corto plazo en el CIEMAT.

Los proyectos en el área del término fuente se caracterizan por disponer de un marcado acento internacional. En PHEBEN-2 se pretende colaborar en la interpretación y preparación de los futuros ensayos PHEBUS-FP, además de validar los códigos CONTAIN (termohidráulica y aerosoles en contención), IODE (química del yodo en contención) y MELCOR (exclusivamente los módulos referidos a contención) contra una de las bases de datos más representativas de accidentes severos. A diferencia de los anteriores, en SGTR se obtendrá una base de datos sobre la retención en el secundario de un generador de vapor durante una secuencia con rotura de tubos, a partir de los cuales se desarrollará un modelo de fácil implementación en la herramientas de cálculo al uso.

El estudio de accidentes severos en contención (AASC) tiene como objetivo primordial examinar la bondad de las incertidumbres asociadas al código MAAP, de acuerdo con el estado del arte de las diversas materias en las que se tiene experiencia. Para ello se elaboran comparaciones cruzadas de modelos, programas experimentales reducidos, análisis de secuencias en plantas españolas y estudios bibliográficos. Estas comparaciones se centran en as-

pectos relativos a la producción de aerosoles y yodo y su retención en piscinas y a la combustión del hidrógeno. Un nuevo proyecto que se desarrolla, con la participación de distintos países, en la Unión Europea (UE), el proyecto THYNCAT tiene por objetivo medir la eficacia de un sistema innovador de recombinación catalítica de hidrógeno y su deterioro en presencia de aerosoles, con la finalidad de optimizar el diseño del sistema.

En el área del combustible de alto quemado el CIEMAT participa en dos proyectos: HALDEN y CABRI que son complementarios, en los que se estudia la evolución de distintos combustibles en condiciones estacionarias o suavemente transitorias, en el primer proyecto; mientras que el segundo lo hace en inserciones bruscas de reactividad y pérdidas rápidas de refrigeración. La meta final de ambos proyectos es disponer de la tecnología básica que permita evaluar desde el punto de vista de la seguridad el comportamiento del combustible altamente irradiado.

- La experiencia obtenida a partir de la explotación comercial de las centrales nucleares, fundamentalmente a través de la investigación del accidente de Harrisburg, y posteriormente del de Chernobyl, han revelado la complejidad inherente a estas instalaciones y se ha demostrado que su seguridad hay

que analizarla como una propiedad emergente de un sistema complejo. Con la aplicación de este enfoque sistémico se anula el concepto de "seguridad por partes" y se potencia el de "seguridad integral" que en un Análisis de Seguridad obliga a considerar las partes y sus interacciones. El análisis de la experiencia operativa a lo largo de los últimos veinte años demuestra que la interacción hombre-instalación es, con mucho, la que con más frecuencia es responsable de la ocurrencia de situaciones de "riesgo indebido" en la operación de las plantas. Poder predecir el comportamiento humano en las distintas situaciones de operación de una planta es un tema complejo por la enorme cantidad de variables que intervienen. Por ello, el operador no puede ser considerado como un elemento aislado de la organización, sino que es toda ella la que determina el nivel de seguridad de la operación, el CSNI ha acuñado la denominación de "Factores Humanos y Organización".

La determinación de la contribución humana al riesgo de la operación de las centrales nucleares es un tema de investigación que está presente en todos los programas internacionales vigentes de I+D. La finalidad de estas investigaciones es disponer de métodos y herramientas para facilitar a los explotadores el ejercicio de su responsabilidad, que exige ofrecer las debidas garantías de

buen funcionamiento de las plantas a un público cada vez más exigente.

La forma óptima de abordar este tipo de investigaciones de aplicación inmediata es aunar voluntades de los explotadores, de los organismos reguladores y de los investigadores. En estos momentos nuestro país goza de un reconocimiento internacional, y nuestra manera de abordar estas investigaciones han resultado ser pioneras dentro de la UE.

El DFN del CIEMAT desarrolla un proyecto de investigación denominado "Seguridad de Sistemas Complejos de Generación de Energía" que, de forma integrada, aborda el tema de la contribución humana al riesgo en distintas áreas específicas de actividad, como son: la interacción del hombre con la instalación, de la organización, la percepción humana del riesgo, así como el estudio de las medidas indirectas de la seguridad por medio de "indicadores" y la transferencia de conocimientos a otros sistemas complejos.

Este grupo de investigación aborda el "Análisis y modelización de errores humanos de comisión en los Análisis Probabilistas de Seguridad", que tiene por objeto desarrollar una metodología para identificar y modelar de forma sistemática los errores humanos de comisión en los APSs españoles, en cualquier modo de operación y ante cualquier tipo de suceso. Adicionalmente se desarrolla una base de conocimiento sobre los errores humanos de comisión que está fundamentada en el análisis de incidentes operativos en la Central Nuclear de Sta. Mª de Garoña.

Como complemento a los estudios anteriores se participa actualmente en el diseño, desarrollo y evaluación de sistemas computerizados de alarmas para reactores tipos PWR y BWR, que incluye la evaluación de los factores humanos de ambos sistemas computerizados, tanto en el proceso de validación, como en el proceso de verificación. Este estudio se realiza con la participación del personal de operación de las plantas e instructores, en simuladores de alcance real.

El "Impacto de la Organización en la Seguridad" se estudia mediante el desarrollo de métodos de evaluación y modelado del impacto de la organización en la seguridad de las Centrales Nucleares. Este método diseñado por el CSN, UNESA y el CIEMAT y con una duración de cinco años, tiene por objetivo desarrollar metodologías preventivas y correctivas que permitan conocer y analizar la influencia de la organización en la seguridad de las centrales nucleares españolas y europeas.

En aplicación de estas materias el CIEMAT colabora con el CSN en la "Experiencia Operativa", concretamente en las actividades relacionadas con los indicadores de funcionamiento, iniciándose desarrollos para la extrapolación del concepto de "Indicadores de Funcionamiento" a otros sectores industriales.

En el campo de la Percepción y Comunicación del Riesgo se realizan actividades de I+D en el área del riesgo radiológico y convencional, elaborando metodologías de análisis de estrategias de comunicación institucional, análisis de contenido en medios de comunicación escritos, diseño y aplicación de cuestionarios y entrevistas e informes clave. Estas investigaciones se realizan sobre la estructura de la percepción en muestras de público y expertos.

- Las actividades de investigación en el área de Materiales Estructurales de Plantas Energéticas cubren el estudio tanto de los procesos de envejecimiento de los materiales utilizados en los reactores nucleares en operación como el comportamiento de los materiales considerados para los reactores de fusión y para los nuevos sistemas híbridos concebidos para la eliminación de los residuos de radiactividad alta.

La degradación de los materiales por irradiación, las tensiones elevadas y la exposición a ambientes agresivos incrementa significativamente los costes de operación y condiciona la renovación de permisos de explotación y una posible extensión de vida de la planta. La evaluación fiable del estado de los componentes afectados por procesos de degradación descansa en el conocimiento de los mecanismos de degradación de los materiales. En la actualidad, sin duda, los componentes más críticos para la viabilidad de las plantas en operación son la vasija del reactor y los componentes internos del núcleo.

En relación con la fragilización por irradiación de la vasija del reactor. Se ha finalizado en diciembre de 1999 el desarrollo del proyecto "Aseguramiento de la Integridad Estructural de la Vasija de Presión de los Reactores tipo BWR y PWR" que conforma la participación

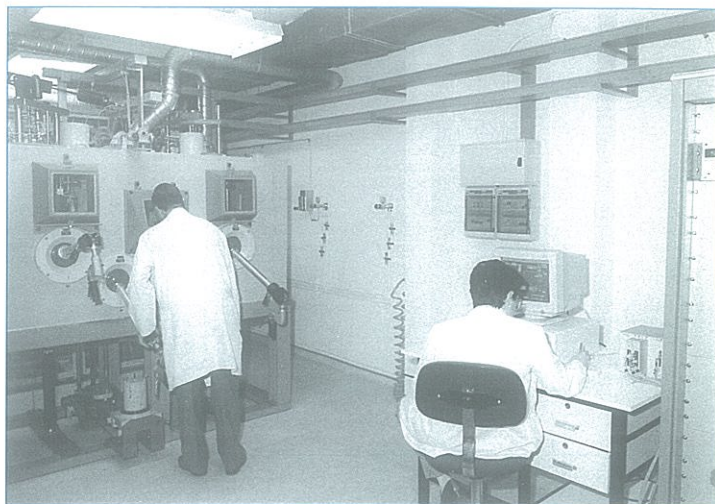


Figura 1.-

española en el proyecto coordinado por el OIEA "Assuring structural integrity of reactor pressure vessels". Esta actividad tendrá continuidad durante los próximos años ya que el DFN del CIEMAT participará en el nuevo proyecto coordinado por el OIEA "Aplicación de los programas de Vigilancia a la Evaluación de la Integridad Estructural de la Vasija", en el que se espera contar con la colaboración del CSN y UNESA.

Con el objetivo de mejorar el entendimiento del efecto de la irradiación neutrónica, no solo sobre los aceros ferríticos utilizados para la fabricación de vasijas a presión, sino también sobre los aceros inoxidables austeníticos, empleados en los componentes internos del núcleo, se está participando en el proyecto VENUS en colaboración con el DENIM. Asimismo, se mantienen programas internos para el desarrollo de nuevos métodos de análisis e interpretación de resultados, obtención de la tenacidad de fractura a partir de la curva tensión-tiempo del Charpy instrumentado, y de nuevos métodos de ensayo con probetas de pequeño tamaño que permitan optimizar el uso del material irradiado disponible o el manejo de materiales altamente irradiados.

En la actualidad, el DFN del CIEMAT dispone de experiencia en corrosión bajo tensión, por un lado, y en el efecto de la irradiación sobre los materiales, por otro, para abordar el estudio de los complejos procesos de corrosión bajo tensión asistida por irradiación, que permiten atribuir a estos procesos las grietas susceptibles de aparecer en los internos del núcleo de las plantas en operación. De hecho se está llevando a cabo un programa experimental, conjuntamente con CRIEPI, que pretende colaborar al entendimiento de los mecanismos que justifiquen

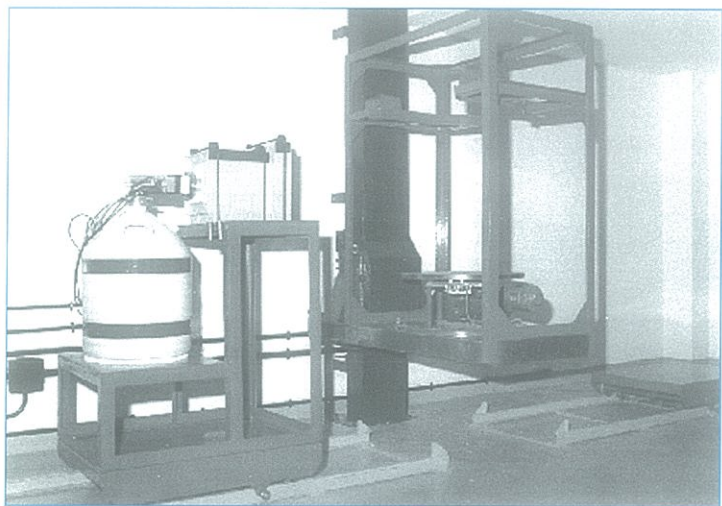


Figura 2.- Prototipo para la caracterización radiológica de bultos.

los procesos mencionados. Para ello, se cuenta con una instalación capaz de simular las condiciones de operación de los reactores de agua ligera en la que es posible llevar a cabo distintos tipos de ensayos de corrosión bajo tensión, FIGURA 1. En esta misma línea se mantiene un Acuerdo con el Proyecto Internacional Halden de la OCDE para irradiar aceros inoxidables austeníticos en su reactor en condiciones de un reactor tipo BWR.

Asimismo, el CIEMAT representa a las plantas españolas en el Comité de Dirección del Programa CIR (Cooperative Irradiation Assisted Stress Corrosion Cracking Research), coordinado por EPRI, asumiendo la asimilación de la información y su transferencia a las plantas nucleares.

El proyecto de investigación en materiales estructurales abarca también la selección de los materiales más adecuados para los reactores de fusión y para los futuros sistemas híbridos dedicados a la transmutación de residuos radiactivos. En ambos casos, los materiales van a estar expuestos a condiciones de irradiación más severas que las existentes en los reactores comerciales, por lo que el conocimiento del comportamiento bajo irradiación de los materiales candidatos a la primera pared en los reactores de fusión o al blanco de espalación en los sistemas híbridos, es determinante para la selección de estos materiales.

Por otra parte, en el caso de los sistemas híbridos la compatibilidad del eutéctico plomo-bismuto, utilizado como refrigerante, condiciona la viabilidad de estos sistemas. En este sentido, el DFN del CIEMAT ha iniciado un proyecto para el estudio de la corrosión en plomo-bismuto en las condiciones de operación estimadas para los sistemas híbridos, que incluye la cons-

trucción de una nueva instalación experimental adecuada para la simulación de las condiciones de operación de estos sistemas.

- Desde hace algo más de una década en el DFN del CIEMAT se viene desarrollando la investigación sobre residuos radiactivos, fundamentalmente, en el marco de los

acuerdos de colaboración establecidos con ENRESA y mediante la participación en los Programas Marco de la UE. Desde el 2º Programa Marco de la UE el CIEMAT ha llevado a cabo, en colaboración con Universidades, Centros de Investigación extranjeros y otras organizaciones de diversos países europeos un buen número de proyectos de I+D en estos temas.

En relación con los residuos de baja y media actividad las principales actividades realizadas se han centrado en desarrollar procedimientos de caracterización radiológica y físico-química de este tipo de residuos y en procesos para su acondicionamiento, que han sido implantados, tanto en los laboratorios del CIEMAT, como en el Laboratorio de Verificación de la Calidad de "El Cabril". Mención especial merecen los desarrollos conseguidos en caracterización radiológica por métodos no destructivos. A partir del prototipo desarrollado por el CIEMAT se han construido los equipos que dan servicio a las propias instalaciones del CIEMAT, a las de El Cabril y a las Centrales Nucleares de Sta.Mª de Garoña y Ascó, FIGURA 2.

Actualmente, la labor investigadora, en este campo, prosigue hacia la mejora de algunos de los procedimientos existentes y hacia la implantación de nuevos procesos de caracterización.

- La investigación en residuos de radiactividad alta (RRA) tiene como objetivo general el desarrollo de actividades de I+D, en un marco internacional, que permita evaluar las diversas opciones para la gestión de los combustibles nucleares irradiados una vez finalizada su vida útil.

En este campo se plantean, a nivel internacional, dos opciones; los países que se han decidido por el ciclo abier-

to del combustible, enfocando sus planes de I+D a la determinación de la viabilidad de un Almacén Geológico Profundo (AGP), y por tanto al estudio de todos aquellos aspectos necesarios para la realización de los ejercicios de evaluación del comportamiento de los combustibles irradiados en las condiciones físico-químicas esperadas en un AGP. Si la opción considerada es el ciclo cerrado del combustible, los planes de I+D se enfocan al estudio del comportamiento de los denominados vidrios de reproceso en las condiciones de un AGP y al desarrollo del reproceso avanzado por vía húmeda con la finalidad de separar los actínidos minoritarios.

Desde 1989 hasta 1998 la actividad investigadora del DFN del CIEMAT, en este campo (RRA), se centró principalmente en el estudio del comportamiento de los combustibles nucleares irradiados en las condiciones esperadas de un almacén geológico profundo, efectuando, no obstante, un seguimiento bibliográfico de otras opciones seguidas en el contexto internacional, tales como: el reproceso y el reproceso avanzado. Simultáneamente, se participa en proyectos de la UE, con la colaboración de ENRESA, en el 4º y 5º Programa Marco. Los conocimientos y experiencia adquiridos en este campo han permitido la participación del CIEMAT en el proyecto del OIEA "Chemical durability and performance assessment of spent fuel and high level waste forms under simulated repository conditions". El objetivo de estos proyectos de investigación es profundizar en el entendimiento de las características químico-físicas del combustible irradiado con el fin de predecir de una forma más realista su evolución y comportamiento a largo plazo, fundamentalmente en lo que se refiere a la durabilidad química, la influencia de la radiación y su cuantificación, a las restricciones cinéticas y termodinámicas sobre las tasas de disolución de la matriz del combustible nuclear irradiado. La metodología de trabajo para alcanzar el objetivo propuesto se resume en el diagrama de flujo de la FIGURA 3.

Esta metodología conlleva la integración de los resultados obtenidos a partir de la experimentación específica con análogos naturales al combustible irradiado en presencia de fuentes internas y externas de radiación, y aquellos otros resultados con combustible nuclear irradiado procedentes de un programa experimental, a nivel internacional, desarrollado en el FzK y el JRC-ITU (Alemania) dentro del acuerdo de colaboración CIEMAT-ENRESA. La conjunción de estos resultados permitirán

predecir de forma más realista el comportamiento a largo plazo del combustible nuclear irradiado.

- A partir de 1998, y como consecuencia del aumento de interés a escala internacional de la utilización de los reactores incineradores (ADS), diseñados para efectuar la transmutación de actínidos, con la consiguiente reducción de volumen de residuos de radiactividad alta a almacenar en un AGP, se diversificaron las líneas de investigación en RRA, partiendo de un estudio del estado del arte de las distintas opciones de separación de radionucléidos de vida larga, tanto por vía acuosa, como por vía seca, lo que permitió definir las líneas de investigación en este tema en el CIEMAT; por ello, en 1999 se inició una línea de investigación, en colaboración con ENRESA, con una duración de cuatro años, sobre "Separación de Radionucléidos de Vida Larga mediante procesos Hidrometalúrgicos y Pirometalúrgicos", en el marco de una colaboración con centros de investigación extranjeros plasmada en una propuesta conjunta al 5º Programa Marco de la UE.

Los procesos de reelaboración del combustible nuclear irradiado por vía hidrometalúrgica parten de compuestos orgánicos sintetizados que mediante procesos de extracción líquido-líquido permiten la separación sistemática de los lantánidos y actínidos existentes en las corrientes líquidas de alta radiactividad originadas en la reelaboración de las combustibles gastados de los reactores de agua ligera, utilizando como agentes complejantes, malonamidas y tiomalonamidas ancladas, en diferentes posiciones, a plataformas aromáticas sencillas y a compuestos orgánicos de la familia de los calixarenos. Los compuestos seleccionados como más eficaces para la extracción y separación mutua de los lantánidos y actínidos serán evaluados desde el punto de vista de su adecuada resistencia frente a las radiaciones, condición que deben cumplir para su posible aplicación en los procesos reales.

En paralelo se ha iniciado un estudio del comportamiento del selenio, estaño, circonio y paladio en las distintas fases del proyecto PUREX. Este conocimiento puede contribuir al diseño de procesos de separación del Se-79, Zr-93, Pd-107 y Sn-126, isótopos emisores beta con períodos de semidesintegración de $6.5E+4$, $1.0E+6$, $7.0E+7$ y $2.0E+5$ años, respectivamente, que contribuyen significativamente a aumentar la peligrosidad potencial a largo plazo de los residuos de radiactividad alta.

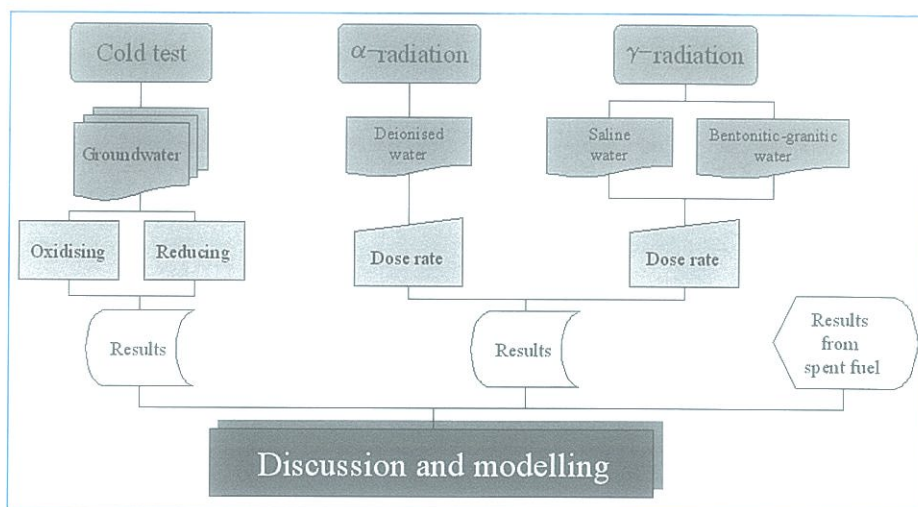
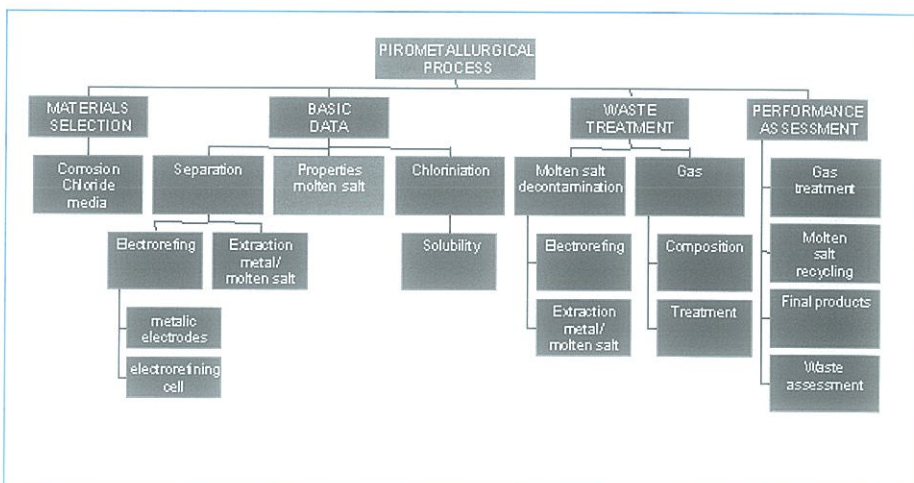


Figura 3.- Diagrama de flujo de la metodología de trabajo utilizada en el proyecto de RRA sobre caracterización y comportamiento del combustible irradiado, estudio de actínidos y productos de fisión.

Figura 4.- Diagrama de flujo de las actividades a desarrollar en el CIEMAT, proyecto de RRA, sobre separación de radionucléidos de vida larga mediante procesos pirometalúrgicos.



- La separación de radionucléidos de vida larga mediante procesos pirometalúrgicos tiene por objeto generar suficientes datos experimentales sobre los procesos químicos básicos que constituyen las etapas de la separación por vía seca; con el fin de evaluar los diversos diagramas de flujo de los posibles procesos propuestos. Las actividades que se desarrollarán en el CIEMAT se resumen en el diagrama de flujo de la FIGURA 4, donde se especifica qué actividades del proyecto están propuestas para ser realizadas en el contexto del 5º Programa Marco de la UE. Actualmente se encuentra en fase de proyecto un laboratorio específico para el estudio de sales fundidas en diversas aplicaciones a este campo. Estas actividades se desarrollan en colaboración con la Universidad de Valladolid y de ENRESA.

- Los proyectos de I+D relacionados con el desmantelamiento y la descontaminación de instalaciones y equipo

han tenido como principal objetivo su aplicación a la clausura del Reactor Experimental JEN-I, cuyos principales componentes fueron construidos en aluminio. Los trabajos realizados han permitido poner a punto técnicas de corte bajo agua por plasma, electrodo consumible, arco de contacto y sierra neumática alternativa, con una adecuada protección de los operarios frente a la radiación y sin liberar a la atmósfera aerosoles.

Los trabajos en corte bajo agua se han complementado con los realizados sobre fundición en horno de inducción para reducir el volumen, homogeneizar e inmovilizar los contaminantes radiactivos existentes originalmente en las piezas metálicas troceadas, así como los realizados en descontaminación con técnicas de ultrasonidos y de electropulido.

- La gestión de los residuos radiactivos es sin duda uno de los aspectos más problemáticos de la producción

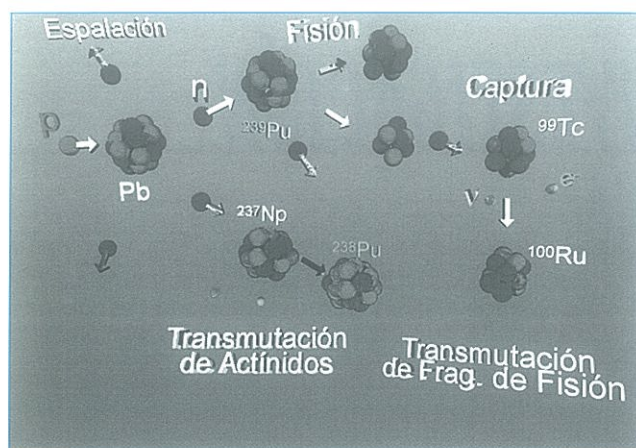


Figura 5.- Proyecto FACET - CIEMAT

de energía eléctrica de origen nuclear. La opción más extendida, como se ha mencionado anteriormente, para esta gestión, es el almacenamiento geológico profundo de estos residuos. En los últimos años se ha retomado un viejo ideal como es la transmutación de los mismos. Este nuevo proceso permite convertir elementos radiactivos de vida media larga y elevado riesgo, en otros cuya vida media y peligrosidad sea significativamente menor, véase en la FIGURA 5 ejemplos de la transmutación del Pu-239 y del Tc-99 que se transforman en otros elementos de vida más corta o en elementos estables.

El enorme progreso en las tecnologías de aceleradores ha permitido desarrollar un concepto que podría conseguir convertir el objetivo de la transmutación de residuos radiactivos en una realidad económicamente viable. El concepto es el internacionalmente conocido como ADS que consiste en un conjunto nuclear subcrítico acoplado a un acelerador de protones a través de lo que se conoce como un blanco de espalación. Este sistema podría utilizar, los actínidos contenidos en el combustible irradiado de las actuales centrales nucleares, como combustible del conjunto subcrítico, transmutándolos a fragmentos de fisión. Además, en este proceso se podrían producir neutrones suficientes para transmutar los fragmentos de fisión de vida larga a elementos estables.

La introducción de la transmutación en la gestión de residuos, aunque no elimina la necesidad de un almacenamiento final, podría reducir en factores próximos a 100, la radiotoxicidad de los residuos finalmente almacenados. Esta posibilidad ha despertado un enorme interés promoviendo amplios programas de investigación en todos los países con producción de energía eléctrica de origen nuclear. Los primeros pasos en los últimos años se dieron en EEUU y se siguieron en Japón, sin em-

bargo fue la iniciativa europea, con punto de partida en el CERN, la que lanzó la posibilidad de la transmutación y la opción de los ADS a su actual dimensión mundial. Francia, España e Italia han sido desde el principio los motores de este interés en Europa.

La UE ha incluido dentro del 5º Programa Marco de I+D un capítulo con varias líneas de investigación relacionadas con la Separación, la Transmutación y el estudio de los ADS. Las propuestas para este programa han permitido construir colaboraciones de los mayores centros de investigación europeos en este campo de la ciencia y la tecnología. El DFN del CIEMAT participa en la mayoría de las propuestas enviadas al 5º Programa Marco de la UE.

El proyecto de investigación del CIEMAT sobre Fisión Asistida por Acelerador y Transmutación de Isótopos (FACET), que cuenta con el apoyo de ENRESA, participa en dos grandes experimentos internacionales (MUSE y N-TOF) que son objeto de sendas propuestas a este 5º Programa de la UE.

El experimento MUSE, que tendrá lugar en Cadrache (Francia), utilizará un conjunto subcrítico basado en combustible MOX, con alto contenido en plutonio acoplado a un generador de neutrones de deuterio-tritio pulsado. El experimento permitirá reproducir y estudiar los principales fenómenos que tienen lugar en un ADS. Pero a potencia cero (pocos kW).

El experimento N-TOF se desarrolla en el organismo internacional CERN (Suiza) tiene por objeto la construcción y explotación de una instalación de medida de secciones eficaces nucleares. Entre los objetivos más importantes se encuentran las medidas de las secciones eficaces de captura y de fisión de los actínidos menos estudiados (algunos isótopos del Pu, U, Th, Np, Am, Cm) y las de captura de los fragmentos de fisión de vida larga.

El CIEMAT ha participado en otros experimentos, TARC y FEAT, con el apoyo de ENRESA. En los que se demostró por primera vez el acoplamiento acelerador-blanco de espalación-conjunto subcrítico, y la transmutación del Tc-99 a Ru-100, respectivamente.

Junto con la participación en experimentos internacionales, el proyecto FACET del CIEMAT mantiene una importante actividad en la simulación por

ordenador de sistemas ADS y estudia las posibles estrategias de su aplicación a la gestión de residuos. Los cálculos realizados se centran en los aspectos neutrónicos y de evolución del combustible. Los sistemas de simulación que se han desarrollado están basados en códigos de cálculo muy potentes, simulando geometrías detalladas en 3D y validando los cálculos con los escasos datos experimentales de que se dispone en la actualidad y mediante la intercomparación en ejercicios internacionales.

En la actualidad las investigaciones se centran en sistemas ADS rápidos, refrigerados por aleaciones de plomo o plomo-bismuto en forma líquida, con combustibles de transuránidos en matrices fértiles (Torio) o inertes y en forma de óxidos o de nitruros.

La actividad científica que se desarrolla en el Departamento de Fisión Nuclear del CIEMAT está orientada esencialmente a la investigación aplicada, sin dejar de profundizar en las distintas áreas, para disponer de los fundamentos científicos esenciales que permitan entender los procesos que intervienen en cada línea de investigación.



"El Grupo Investigador tiene una experiencia acreditada que oscila entre 15 y 20 años y ha participado en el desarrollo de proyectos internacionales de investigación junto a otros grupos de Francia (CEA), Alemania (JRC-ITU), Suiza (PSI), Noruega (OCDE-HALDEN), EEUU (NRC, LANL), Japón (JAERI), Bélgica (MOL); así como, ha formado parte de grupos de investigación de la Unión Europea en los distintos Programas Marco. Al mismo tiempo, ha actuado como soporte científico y tecnológico de organismos nacionales como el CSN, ENRESA, ENUSA y el MINER y colabora con las Centrales Nucleares españolas en varios proyectos como consultor técnico en distintas áreas. El Departamento de Fisión Nuclear del CIEMAT cuenta con 70 técnicos superiores y 80 auxiliares de laboratorios y administrativos, además de disponer de la infraestructura de laboratorios necesaria para el desempeño de sus actividades."