



RESIDUOS RADIATIVOS

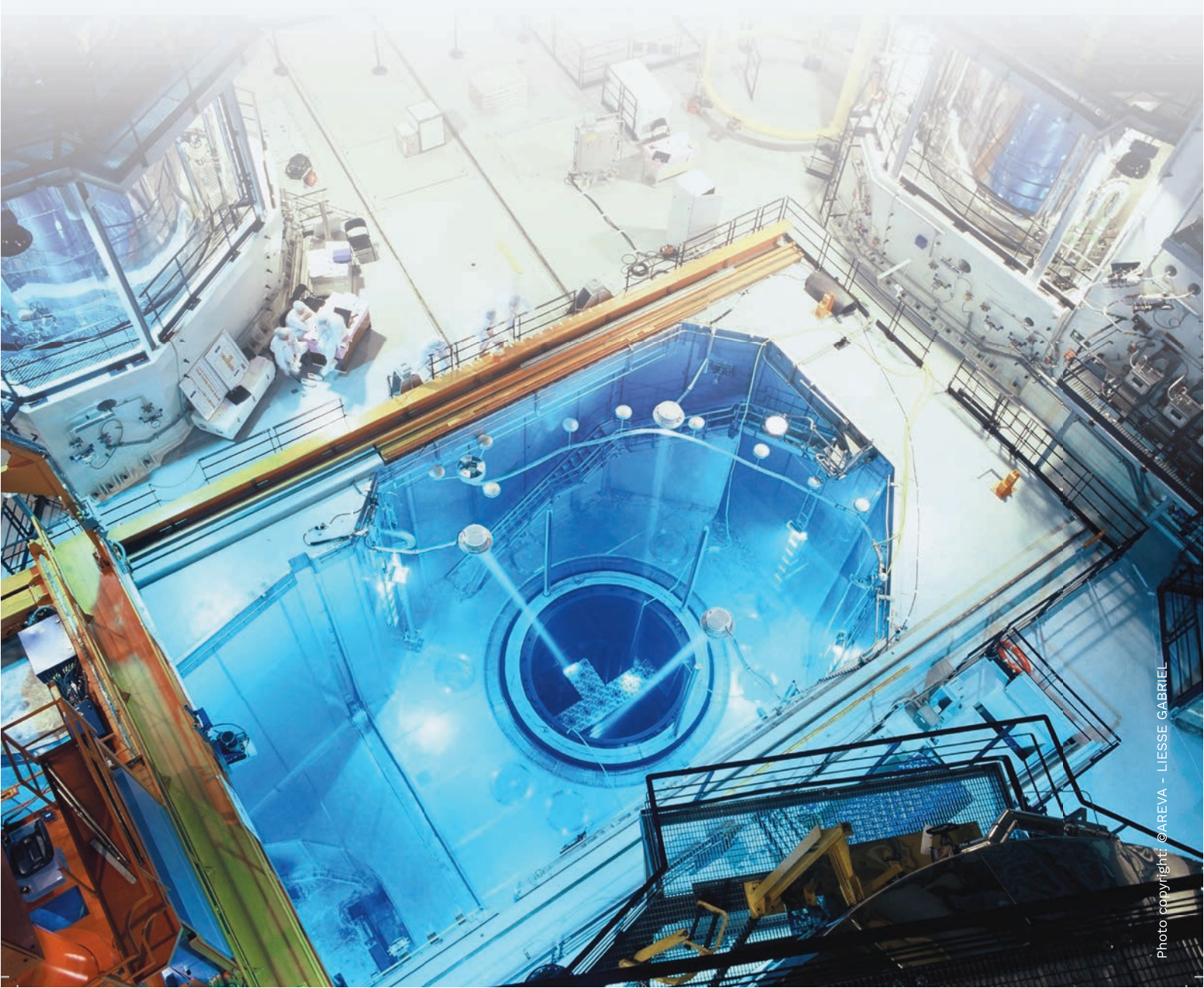
framatome

Framatome is a major international player in the nuclear energy market recognized for its innovative solutions and value-added technologies for designing, building, maintaining, and advancing the global nuclear fleet. The company designs, manufactures, and installs components and fuel for nuclear power plants and offers a full range of reactor services.

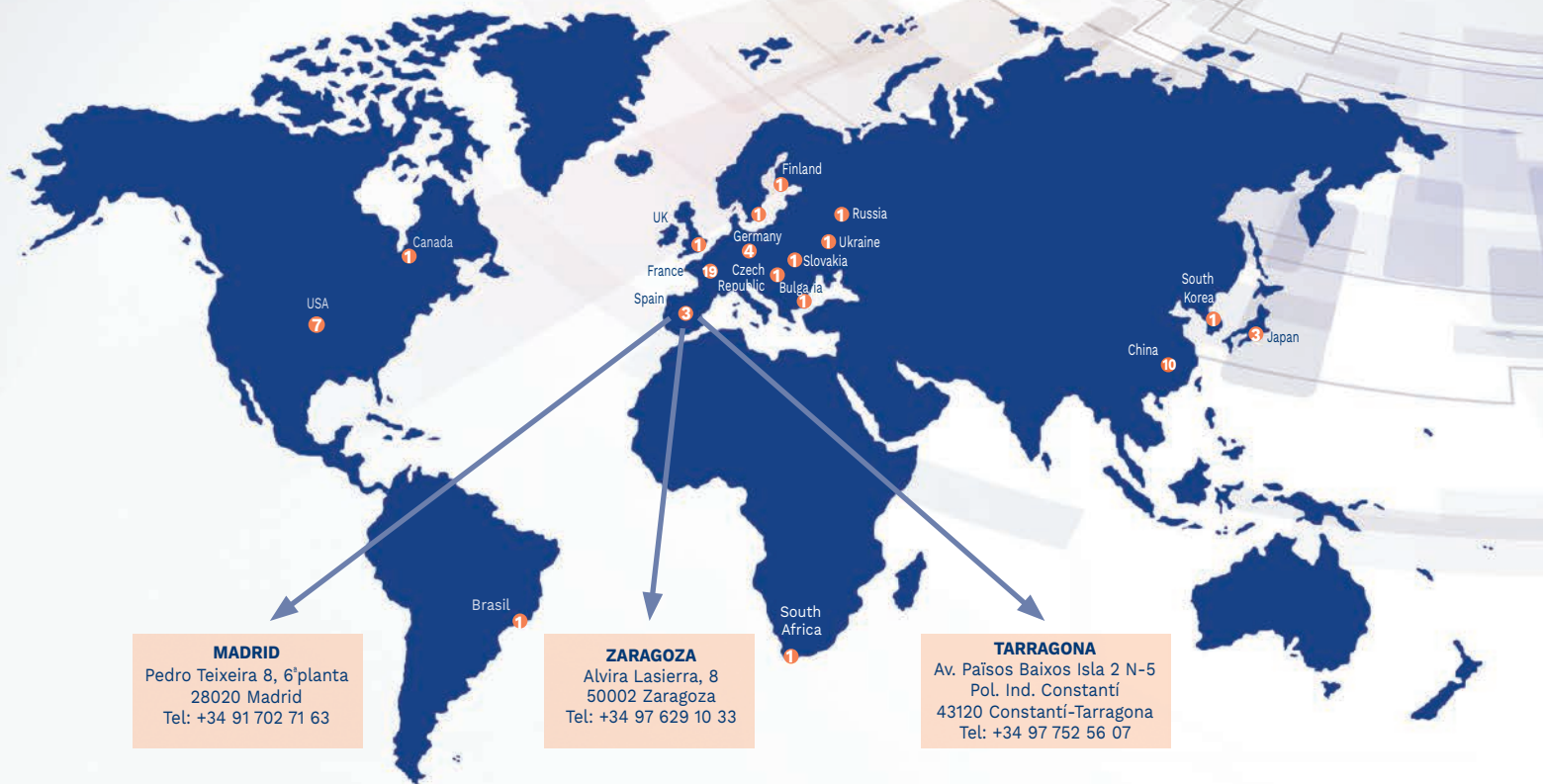
With 14,000 employees worldwide, every day Framatome's expertise helps its customers improve the safety and performance of their nuclear plants and achieve their economic and societal goals.

Framatome is owned by the EDF Group (75.5%), Mitsubishi Heavy Industries (MHI - 19.5%) and Assystem (5%).

www.framatome.com



Countries with presence of Framatome in the world and number of offices



- **Enhance the availability and competitiveness of nuclear facilities worldwide**, while strengthening safety conditions.
- **Supply safe fuels which perform more efficiently than ever** before to our utility customers throughout the world and for research reactors. **Technology provider, technology transfers and licensing.**
- **Offer an extended range of fuel-related services** at customer sites. **Maintain a worldwide integrated platform**, close to markets and customers.
- **Manufacture** key nuclear steam supply system components for utilities all over the world.
- **Participate in construction projects** from engineering through to commissioning.
- **Produce and deliver instrumentation and control systems** for the safety of new build and in-service reactors.
- **Design and dimension** NSSSs and their components. **Carry out studies for the justification and certification** of NSSSs and their components to support to operators.
- **Design solutions to meet the needs of operators** in the different areas of nuclear engineering.

NO COMPANY IS MORE COMMITTED TO ADVANCING WASTE MANAGEMENT TECHNOLOGY

Westinghouse is leading the way in developing waste treatment technology that **reduces waste volumes** while achieving final products that meet waste acceptance criteria. The **reliability** engineered into our systems through **high-grade automation** and remote control operation, ensures worker safety in operation and significantly reduces dose rate exposure.



SUMARIO

EDITORIAL

La opinión pública: de la información al diálogo

6

INTRODUCCIÓN

9

ENTREVISTA

Yves DESBAZELLE
Director general de Foratom

11

RESIDUOS RADIATIVOS

16

El control regulador de la desclasificación de materiales residuales en las instalaciones nucleares españolas
Julia López de la Higuera

Gestión de materiales en el proyecto de desmantelamiento de CNJC o el arte de cocinar la materia prima

Manuel Ondaro, Victor Rivas, Guillermo Martín y Enrique Van-Baumberghen

16

Gestión específica de residuos procedentes de grandes componentes activados: el caso práctico de los internos y vasija del reactor
José Miguel Valdivieso Ramos

20

Control del inventario de residuos históricos durante su reprocesamiento en Santa M.ª de Garoña. Mejora de su trazabilidad mediante aplicación móvil TEC-Waste Tracking System
Tomás Recio Miranda, Jesús Ruiz González y Ángel Gómez Sáez

26

Corte y acondicionamiento de barras de control y canales en C.N. Cofrentes
Luis López Álvarez y Susana Gutiérrez Martínez

29

Plan de reclasificación de residuos especiales de las Centrales Nucleares Almaraz y Trillo

Carlos Montenegro Palmero, Alejandro Moysi Amieva, Javier de la Hoz Castellón, Natalia Gómez Castaño y Miguel Ángel Rodríguez Gómez

32

National Disposal Facility (NDF), instalación nuclear de almacenamiento definitivo de residuos de media y baja actividad de Bulgaria. Project Management Unit durante las etapas de preparación y diseño (2009-2016)
Miguel Ernesto García-Gutiérrez

35

El Curso UPM-CIEMAT sobre Gestión de Residuos Radiactivos: formación especializada desde 1989

38

Eduardo Gallego, Susana Falcón y María Luisa Marco

42

MEJORES PONENCIAS DE LA 43ª REUNIÓN ANUAL

45

RESIDUOS RADIATIVOS. Reprocesado de residuos históricos no conformes. Reprocesamiento de concentrados de evaporador acondicionados con Microcel en C.N. Sta. M.ª de Garoña. Ángel Gómez Sáez y Tomás Recio Miranda

45

MATERIALES. Análisis de Fallo de Componentes de Centrales Nucleares Españolas. Gonzalo de Diego Velasco y Susana Merino Oviedo

49

SECCIONES FIJAS

57

SOCIOS COLECTIVOS DE LA SNE

AHLBERG CAMERAS AB
AMARA, S.A.
APPLUS NORCONTROL, S.L.U.
AREVA NC
ASOCIACIÓN NUCLEAR ASCO - VANDELLÓS II
CEN SOLUTIONS
CEGELEC, S.A.
CENTRALES NUCLEARES ALMARAZ - TRILLO AIE
CESPA CONTEN, S.A.
CIC CONSULTING INFORMÁTICO DE CANTABRIA S.L.
CIEMAT
COAPSA CONTROL, S.L.
COLEGIO N. INGENIEROS ICAI
EDP ESPAÑA S.A.U.
ELECOR, S.A.U.
EMPRESARIOS AGRUPADOS
ENDESA GENERACIÓN S.A.
ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS
ENWESA OPERACIONES
EPRI
EQUIPOS NUCLEARES, S.A.
EULEN, S.A.
EXPRESS TRUCK S.A.U.
FRAMATOME
GAMESA ELECTRIC S.A.U.
GAS NATURAL FENOSA
GAS NATURAL FENOSA ENGINEERING
GD ENERGY SERVICES S.A.U.
GE - HITACHI NUCLEAR ENERGY INTERNACIONAL, LLC
GEOCISA
HELGESON SCIENTIFIC SERVICES, S.A.
IBERDROLA GENERACIÓN S.A.U.
IBERDROLA INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.U.
IDOM INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A.
MAESSA
MANSERVA, S.L.
MARSEIN, S.A.
MEDIDAS AMBIENTALES, S.L.
MOMPRESA
MONCOBRA
NUCLEONOR S.A.
NUCLEONOVA S.L.
PROINSA
PROSEGUR
PRYSMIAN GROUP S.A.
RINGO VÁLVULAS S.L.
SIEMSA INDUSTRIA S.A.
SGS TECNOS S.A.
TECNALIA
TECNASA
TECNATOM S.A.
TÜV-SÜD ATISAE S.A.U.
UNESA
VECTOR & WELLHEADS ENGINEERING, S.L.
WESTINGHOUSE ELECTRIC SPAIN, S.A.U.
WESTINGHOUSE TECHNOLOGY SERVICES S.A.

Edita  SENDIA EDITORIAL, S.A.

Directora: Matilde PELEGRÍ
Consejo de Redacción: Comisión de Publicaciones de la SNE - Traducciones Inglés: IPT Translations
Diseño y Maqueta: José RIBERA y Clara TRIGO - Administración y suscripciones: Lola PATIÑO

C/ Capitán Haya, 56. 7º D. 28020 MADRID - Phone: (34) 91 373 47 50 • e mail: nuclear@gruposenda.es
Suscripción: España: 113€ + IVA - Europa: 221€ Otros: 226€

Depósito legal: M-22.829/1982 - ISSN: 1137-2885



Esta publicación está asociada a la AEEPP, que a su vez es miembro de CEOE, CEPYME, EMMA y FIPP.



La SNE permite la reproducción en otros medios de los resúmenes de los artículos publicados en NUCLEAR ESPAÑA, siempre que se cite al principio del texto del resumen reproducido su procedencia y se adjunte un enlace a la portada del sitio web www.sne.es, así como también el nombre del autor y la fecha de publicación. Queda prohibida cualquier reproducción o copia, distribución o publicación, de cualquier clase del contenido de la información publicada en la revista sin autorización previa y por escrito de la SNE.

La reproducción, copia, distribución, transformación, puesta a disposición del público, y cualquier otra actividad que se pueda realizar con la información contenida en la revista, así como con su diseño y la selección y forma de presentación de los materiales incluidos en la misma cualquiera que fuera su finalidad y el medio utilizado para ello, sin la autorización expresa de la SNE quedan prohibidos.

NUCLEAR ESPAÑA no se hace responsable de las opiniones expresadas por los autores.

EDITORIAL



Nº 391 - ENERO 2018

LA OPINIÓN PÚBLICA: DE LA INFORMACIÓN AL DIÁLOGO

La relación entre la industria nuclear y la sociedad debe fundamentarse sobre la confianza y ésta no se construye tan sólo sobre la base de información y datos, siempre necesarios, sino que también se requiere diálogo, escucha y empatía. A menudo lamentamos los prejuicios y las dificultades con las que nos encontramos para difundir mensajes y, a pesar de que el sector ha ido tomando consciencia de la imprescindible aceptación social y de la importancia de dedicar recursos, tiempo y profesionales a fomentar esa relación, constatamos que el avance ha sido todavía escaso.

El camino recorrido ha permitido ver cambios significativos y alcanzar éxitos, como los de los centros de información, pero la senda que nos queda por recorrer es larga y la industria tiene enfrente una sociedad más que informada, en un mundo hiperconectado en el que, en más ocasiones de las que desearíamos, el rigor está siendo puesto en cuestión por fenómenos como las denominadas "noticias falsas".

A menudo se habla de la comunicación emocional frente a la racional y de la dificultad de afrontar sentimien-

tos como el miedo o la desconfianza únicamente a base de información técnica y datos que, por muy contrastados que estén y pese a que provengan de fuentes solventes, resultan insuficientes para alcanzar el fin perseguido. El mundo de la ciencia y, especialmente, el de la salud ha reflexionado y analizado este tipo de comportamientos en los que se ha demostrado que los hechos pueden ser ignorados si no encajan en el pensamiento del receptor. Tendemos a creer y asimilar la información que coincide con nuestros paradigmas, desechando el resto por muy creíble que aparentemente nos resulte. La psicología social denomina a este fenómeno como *razonamiento motivado*. Es el proceso que lleva a las personas a confirmar lo que ya creen, ignorando los datos y hechos que lo contradicen. Se refiere a la tendencia de los individuos a procesar la información de manera que encaje con algún objetivo predefinido.

La experiencia acumulada demuestra que cuanto más información, mayor aceptación, pero a pesar de tratarse de condición necesaria, no

JUNTA DIRECTIVA

Presidente: José Antonio GAGO BADENAS
Vicepresidente: Javier GUERRA SÁIZ
Secretario General: Rafael VARGAS TRAUD
Tesorero: Francisco GARCÍA ACOSTA
Vocales: Carolina AHNERT IGLESIAS, Mariano CARRETER ULECIA, Miguel Ángel CORTÉS CABAÑERO, Beatriz LIÉBANA MARTÍNEZ, José Luis PÉREZ RODRÍGUEZ, Marina RODRÍGUEZ ALCALÁ, Francisco TARÍN GARCÍA y Marta VÁZQUEZ CABEZUDO

COMISIÓN DE COMUNICACIÓN

Presidente y Portavoz de la SNE: Eugeni VIVES LAFLOR
Vocales: Alfonso BARBAS ESPA, Ramón CASANOVAS ALEGRE, José Luis ELVIRO PEÑA, Laura ESCRIBANO ÚCAR, Montse GODALL VIUDEZ, Matilde PELEGRÍ TORRES y Miguel SÁNCHEZ LÓPEZ.

COMISIÓN DE PROGRAMAS

Presidenta: Amparo SOLER MARTÍNEZ
Vocales: Jesús FORNIELES REYES, Pablo GARCÍA GARCÍA, Carlos Alfonso GÓMEZ RODRÍGUEZ, Antonio GONZÁLEZ JIMÉNEZ, Santiago LUCAS SORIANO, José Luis MANSILLA LÓPEZ-SAMANIEGO, Carmelo PALACIOS ESTEBAN, Santiago SAN ANTONIO GUERRERO, Alfonso VINUESA CARRETERO, José María ZAMARRÓN CASINELLO y Marta ZANCADA DÍAZ.

COMISIÓN TÉCNICA

Presidente: Juan BROS TORRAS
Vocales: Jorge ALDAMA SECADES, Marta BALADÍA OLMEDO, Francisco José BENÍTEZ GONZÁLEZ, José Antonio CARRETERO FERNANDINO, M^a Soledad CORISCO CARMONA, María Teresa DE MIGUEL GONZÁLEZ, José M^a FIGUERAS CLAVIJO, Marisa GONZÁLEZ GONZÁLEZ, Francesc GONZÁLEZ TARDIU, Fernando LEGARDA IBÁÑEZ, Jorge JIMÉNEZ RODRÍGUEZ, Juan Antonio MUÑOZ SÁNCHEZ, Carlos PURAS GONZÁLEZ y Rafael SÁNCHEZ FERNÁNDEZ.

COMISIÓN DE REDACCIÓN DE LA REVISTA

Presidente: Miguel SÁNCHEZ LÓPEZ
Vicepresidenta: Ángela CORTÉS MARTÍN
Vocales: Miguel BARREIRO BUGALLO, Kevin FERNÁNDEZ COSIALS, Domingo GARCÍA CÁRDENAS, Javier GIL JORDÁN, Eugenio GIL LÓPEZ, Gonzalo JIMÉNEZ VARAS, Beatriz LAMELA PASCUA, Alejandro MENDOZA LARIVA, Matilde PELEGRÍ TORRES, José Cesar QUÉRAL SALAZAR, Raquel OCHOA VALERO, Miguel Ángel RODRÍGUEZ GÓMEZ, María Luisa SÁNCHEZ-MAYORAL VALENS y Carmen VALLEJO DESVIAT.

sociedad nuclear
española

resulta suficiente. A una estructura consolidada de comunicación, como la existente en las instalaciones nucleares, debe incorporarse un plan de acción que tenga como objetivo el diálogo. Es necesario identificar la motivación y el interés del público al cual se dirige nuestro discurso para que resulte más fácil adaptar el mensaje y usar la propia fuerza del interlocutor para que éste le llegue adecuadamente.

Los datos nos dicen que a medida que se proporciona información a los encuestados, la percepción positiva va aumentando. Según la última encuesta realizada por el Foro Nuclear en junio de 2017, ante la pregunta *¿cómo se considera: completamente a favor, más bien a favor, más bien en contra, completamente en contra o ni a favor ni en contra de la producción de electricidad en centrales nucleares?* el 22% de los españoles son partidarios de la energía nuclear frente a un 64% que son contrarios. No obstante, si se explica que la energía nuclear en España genera más del 20% del total de la electricidad, entonces la aceptación sube hasta el 37% y cuando se conoce que los reactores no emiten CO₂ se muestran partidarios de esta tecnología el 54% de los consultados frente a los contrarios con un 44%.

Los datos disponibles nos dicen también que la mitad de los es-



pañoles creen que las centrales nucleares deben continuar funcionando si lo hacen con seguridad. En la Unión Europea, en Bélgica, el 60% considera que la energía nuclear tiene más ventajas que inconvenientes; en Eslovaquia el 75% de la población cree que sus centrales operan con seguridad; en Finlandia un 41% está a favor y un 23% en contra; en Hungría el 70% son favorables; en Reino Unido el 72% manifiesta que la energía nuclear tiene que formar parte del mix energético; en Suecia el 70% de la población está de acuerdo en la continuidad de las centrales nucleares; en Suiza el 66% considera que sus reactores deben seguir funcionando si lo hacen con seguridad y, en Francia, el 55% es favorable a la energía nuclear y el 62% tiene confianza en los técnicos y en la tecnología. En Estados Unidos la aceptación de la energía nuclear es clara con

un 68% de la población que está a favor, un 95% considera que es importante mantenerla en el mix energético del país, un 82% de la población considera necesaria la renovación de licencias y el 58% piensa que se deberían construir más centrales nucleares.

Así pues, vemos ejemplos de aceptación y percepción favorable que han de servir para alentar a seguir trabajando para cambiar la percepción que la población española tiene sobre la energía nuclear. Se trata de una tarea de largo recorrido en la que ya hemos visto que es necesario explicar y dar información, pero lo es de igual manera escuchar que es lo que demanda la opinión pública mediante el diálogo.

■ JUNTA DIRECTIVA DE LA SNE

COMISIÓN DE TERMINOLOGÍA

Presidente: Alfonso DE LA TORRE FERNÁNDEZ DEL POZO
Viceresidente: Pedro Luis GONZÁLEZ ARJONA
Vocales: Agustín ALONSO SANTOS, Leopoldo ANTOLÍN ÁLVAREZ, Inés COBIÁN ROA, Luis PALACIOS SÚNICO y Ramón REVUELTA LAPIQUE.

COMISIÓN DE EMPLEO Y DESARROLLO PROFESIONAL

Presidente: Francisco José SÁNCHEZ ÁLVAREZ
Vocales: Alfonso BARBAS ESPA, Julio Ángel BELINCHÓN VERGARA, Javier DÍES LLOVERA, Manuel FERNÁNDEZ ORDÓÑEZ, Inés GALLEGU CABEZÓN, Elías GARCÍA SOTO, Mario GONZÁLEZ ÁLVAREZ, Antonio JIMÉNEZ CARRASCOSA, Óscar LARROSA PERUGA, Juan Antonio MUÑOZ TIRADO, Andrea RIVAS PÉREZ, Patricia RUBIO OVIEDO, Marta RUIZ ZAPATERO, Francisco SARTÍ BALSALOBRE, Lucía SEVILLA HORRILLO, Amparo SOLER MARTÍNEZ, Joaquín TOUBES TOVA y José María ZAMARRÓN CASINELLO.

COMISIÓN JÓVENES NUCLEARES

Presidente: José GARCÍA LARUELO
Vicepresidente: Pablo GARCÍA GARCÍA
Vocales: Álvaro BERNAL GARCÍA, Ramón CASANOVAS ALEGRE, Pablo FERNÁNDEZ ARIAS, Mikel Kevin FERNÁNDEZ COSIALS, Miguel Ángel GONZÁLEZ NAVARRO, Antonella LABARILE, Sergio MORATÓ RAFET, Cristina Yolanda RODRÍGUEZ IGLESIAS, Marta RUIZ ZAPATERO, Jorge SÁNCHEZ ÁLVAREZ, Rafael SÁNCHEZ FERNÁNDEZ, M^a Dolores SEBASTIÁN SALINAS y Agustín URUBURU RODRÍGUEZ.

COMISIÓN WIN

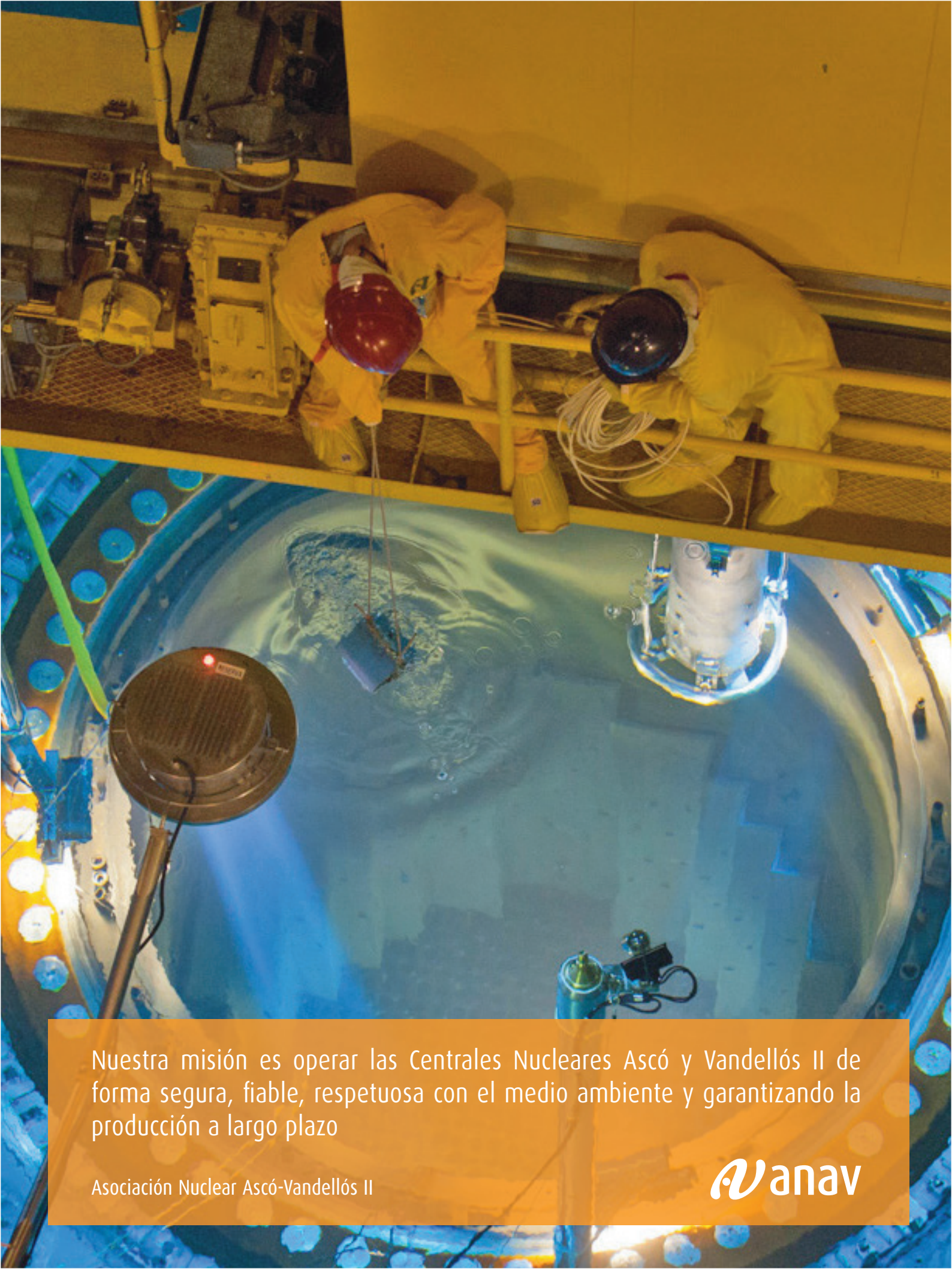
Presidente: Matilde PELEGRÍ TORRES
Vicepresidente: M^a Luz TEJEDA ARROYO
Secretaría General: Elvira TEJEDOR GARCÍA
Portavoz: Marisa GONZÁLEZ GONZÁLEZ
Tesorera: Trinidad PÉREZ ALCÁÑIZ
Vocales: Paloma CASTRO LOBERA, Eva María CELMA GONZÁLEZ-NICOLÁS, Alegría MONTORO PASTOR, M^a Luisa PÉREZ-GRIFFO COCHO, Marta RODRÍGUEZ PÉREZ, Amparo SOLER MARTÍNEZ y M^a Eugenia VEGA ANTOLÍN.
Comisión de expertos: Carolina AHNERT IGLESIAS, Inés GALLEGU CABEZÓN, Magdalena GÁLVEZ, María Teresa LÓPEZ-CARBONELL, Isabel GÓMEZ BERNAL y Aurora MARTÍNEZ-ESPARZA VALIENTE.

COMITÉ ORGANIZADOR 44.º REUNIÓN ANUAL

Presidente: Lourdes BORONDO ARRIBAS
Vicepresidente: Joaquín BONETA
Secretario: Germán DOMÍNGUEZ GONZÁLEZ
Tesorero: Pedro ORTEGA PRIETO
Presidenta del Comité Técnico: Patricia CUADRADO GARCÍA
Vocales: Cristina CALVO FREIJANES, Laura GALA DELGADO, José GARCÍA LARUELO, Francisco José GUTIÉRREZ GARCÍA, Pedro MATA ALONSO, Paula MATEOS MANGAS, Teresa PALACIO ALLER, Enrique PASTOR CALVO, Matilde PELEGRÍ TORRES, Carolina PÉREZ DE LA CAL, Rafael VARGAS TRAUD, Francisco Javier VILLAR VERA y Eugeni VIVES LAFLOL.

COMITÉ TÉCNICO 44.º REUNIÓN ANUAL

Presidente: Patricia CUADRADO GARCÍA
Secretaría Técnica: Lola PATIÑO RAMOS
Vocales: Alfredo BRUN JAÉN, Sofía CORINO DÍEZ, Daniel DE LORENZO MANZANO, Alberto ESCRIVÁ CASTELLS, Ángel GARCÍA BUENO, Pablo GARCÍA GARCÍA, Marisa GONZÁLEZ GONZÁLEZ, Adrián GONZÁLEZ MANOVEL, Claudia LÓPEZ DEL PRÁ, José Enrique MARTÍN GARCÍA, Ricardo MORENO ESCUDERO, Silvia ORTEGA LES, Eduardo SERRA SINTES, Marina TRUEBA ALONSO e Isabel VINIEGRA CABELLO.



Nuestra misión es operar las Centrales Nucleares Ascó y Vandellós II de forma segura, fiable, respetuosa con el medio ambiente y garantizando la producción a largo plazo

Asociación Nuclear Ascó-Vandellós II

anav

RESIDUOS RADIATIVOS

Tradicionalmente los residuos radiactivos se clasifican según su actividad y de cara a su gestión final en residuos desclasificables, residuos de baja y media actividad y residuos de alta actividad. Asimismo también se pueden clasificar en residuos operacionales y residuos procedentes de los desmantelamientos de las centrales. De acuerdo con el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas (RINR), todas las centrales disponen del Plan de gestión de residuos radiactivos donde se recogen las expectativas de gestión de los residuos generados.

En este número se pretende dar una visión sobre distintas etapas de la gestión de los residuos radiactivos llevada a cabo en diferentes tipos de residuos.

De esta forma comenzamos con el primero de los artículos, elaborado por el CSN, y que trata sobre el control regulador de los materiales desclasificables. En él se describen las actuaciones que deben realizarse para que estos residuos puedan gestionarse de forma convencional y segura para la población y el medioambiente.

El artículo de Enresa describe cómo realiza la gestión de los residuos una instalación en su etapa de desmantelamiento, en este caso C.N. José Cabrera. La casuística en este caso es total, ya que engloba prácticamente la totalidad de la tipología de residuos radiactivos.

En este sentido, el tercer artículo presenta un proyecto singular dentro del desmantelamiento de C.N. José Cabrera: la gestión de grandes componentes activados, y en concreto, los internos y la vasija del reactor. Westinghouse detalla cómo se ha llevado a cabo la segmentación, la optimización del embalaje y el acondicionamiento final.

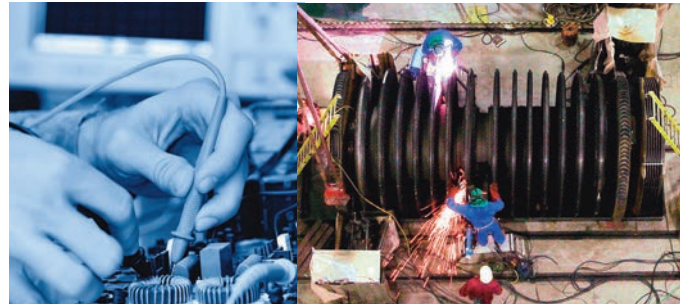
En el siguiente artículo, Tecnatom expone el proyecto que lleva a cabo en la C.N. Sta. María de Garoña para la gestión de residuos radiactivos históricos. En este caso se presenta una solución de gestión a unos bultos que fueron generados previos al desarrollo de los criterios de aceptación de residuos en El Cabril y que, por tanto, no podían ser almacenados.

Uno de los retos más importantes en la actualidad es dar una solución a la gestión de los residuos denominados especiales, dado que ocupan espacio en las piscinas de combustible gastado y, por tanto, es un auténtico reto dar soluciones para la liberación de posiciones de las piscinas. Este número incluye dos artículos a este respecto. En el primero de ellos, C.N. Cofrentes presenta la gestión que ha realizado con los canales de combustible, y las centrales nucleares de Almaraz y Trillo conjuntamente con Gas Natral Fenosa Engineering nos muestran el plan de reclasificación de residuos especiales para su futura gestión como residuo de media y baja actividad.

Con base en el diseño del centro de almacenamiento de residuos de media y baja actividad de El Cabril, Empresarios Agrupados está liderando el proyecto de consultoría para la preparación, diseño y construcción del almacén de residuos de Radiana, en Bulgaria.

El último de los artículos hace referencia al curso que la UPM y el Ciemat llevan organizando desde 1989 sobre *Gestión de residuos radiactivos*. Hasta ahora han sido 26 ediciones y por él han pasado ya 900 alumnos. Todo un récord, digno merecedor de una mención especial.

■ COMITÉ DE REDACCIÓN DE LA REVISTA



innovación que genera eficiencia

PRINCIPALES ÁREAS DE NEGOCIO DEL GRUPO

NUCLEAR | INDUSTRIAL | WIND ENERGY | SOLAR POWER | LOGISTICS | POWER GRID | EMERGENCY RESPONSE

<p>Descontaminación Radiactiva. Mantenimiento Industrial y Nuclear</p>	<p>Desmantelamiento de Centrales Nucleares e Instalaciones Radiactivas</p>	<p>Servicios de Protección Radiológica</p>	<p>Limpiezas Químicas</p>
<p>Mantenimiento de Plantas de Energías Renovables</p>	<p>Construcción y Mantenimiento de Redes Eléctricas</p>	<p>Tratamiento de Superficies</p>	<p>Outsourcing Logístico</p>





Yves DESBAZEILLE

DIRECTOR GENERAL DE FORATOM

Foratom es una asociación empresarial con sede en Bruselas para la industria de la energía nuclear en Europa. Foratom actúa como portavoz de la industria nuclear europea en discusiones sobre política energética con las instituciones de la Unión Europea (UE) y sus actores clave. Los miembros de Foratom engloban a 15 asociaciones nucleares nacionales y dos miembros corporativos.

Yves Desbazeille es francés y se graduó en Ingeniería Eléctrica en la Escuela Superior de Electricidad (Supélec) de Francia en 1991, completando estudios en un programa MBA a principios de los 2000. Durante su exitosa carrera, ha participado en diferentes negocios y responsabilidades en EDF: ingeniería nuclear y gestión de proyectos de energía hidráulica y termal en Francia y EE.UU., así como en Asia, donde trabajó durante cinco años. Su antiguo puesto como representante para la energía de EDF en Bruselas le ha proporcionado un conocimiento en profundidad de las instituciones de la Unión Europea, de los actores con influencia en Bruselas y de los desafíos energéticos y climáticos de Europa.



¿Cuál es el perfil de las entidades asociadas?

Actualmente 15 asociaciones nucleares nacionales son miembros de Foratom. La mayoría pertenecen a la UE, pero también representamos al Foro Nuclear suizo y al Foro Nuclear ucraniano. Además, Foratom tiene dos miembros corporativos: ČEZ (República Checa) y PGE EJ 1 (Polonia).

En conjunto, Foratom representa a más de 800 compañías que cubren la totalidad de la cadena de valor. Incluye las mayores empresas de servicios, ingeniería, desmantelamiento, extracción de uranio, molienda, enriquecimiento y reprocesamiento de combustible nuclear, transporte de materiales radiactivos, venta de reactores y componentes, y almacenes de residuos nucleares en Europa.

¿Cuál es el papel de Foratom en el ámbito empresarial y político europeo?

Foratom actúa como portavoz de la industria nuclear europea en su conjunto en discusiones sobre política energética con las instituciones de la UE y sus actores clave. Proporcionamos un puente entre nuestros miembros y los actores políticos, permitiendo que las compañías europeas hagan llegar su mensaje en los debates de política de la UE.

El ámbito de temas en los que Foratom se centra es muy vasto, e incluye asuntos tales como la seguridad del suministro de energía, competitividad, economía nuclear, condiciones de

mercado, seguridad nuclear, responsabilidad nuclear, residuos radiactivos, desmantelamiento, transporte nuclear, medioambiente (incluyendo temas relacionados con el cambio climático), I+D, mix energético y Tratado Euratom, además del Brexit y su posible impacto en la industria nuclear.

Es importante tener en cuenta que para tener éxito en la promoción de la industria nuclear, Foratom, nuestros miembros nacionales y sus compañías asociadas deben trabajar juntos. Al hablar con una sola voz podemos ser más eficientes y enviar un mensaje mucho más poderoso.



¿Cómo apoya la entidad a sus empresas asociadas?

Con el fin de lograr nuestros objetivos y participar activamente en todas las conversaciones sobre energía dentro de la UE, Foratom lleva a cabo una amplia variedad de actividades. Esto incluye proporcionar conocimientos sobre el papel y la importancia de la energía nuclear, produciendo documentos de toma de posición relevantes para los expedientes de política de la UE que están en desarrollo, respondiendo a consultas públicas, analizando la opinión pública, organizando eventos regulares tales como cenas-coloquio, talleres, encuentros individualizados, conferencias de prensa y visitas a instalaciones nucleares, y asegurando también que estamos representados en eventos organizados por otros actores con influencia en la burbuja de Bruselas.

El resultado de nuestras actividades depende a su vez del nivel de implicación de los miembros de Foratom. Por este motivo, para ser más eficientes tendremos que reforzar las relaciones con nuestros miembros, tal y como subrayamos previamente.

En cuanto a planes de futuro, pretendiendo introducir nuevos servicios para los miembros de Foratom, tales como reuniones informativas para la industria, visitas y encuentros para miembros que quieran conseguir más visibilidad o promoción de algunos temas específicos en el ámbito de la UE.

¿Qué participación tiene Foratom y, en general, el mundo industrial nuclear en los debates sobre política energética de la Unión Europea?

En nombre de nuestros miembros, participamos en todas las discusiones sobre energía porque sabemos que incluso las más generales pueden tener un impacto en nuestro sector. Queremos asegurarnos de que la voz de la industria nuclear sea escuchada, y de que los actores relevantes en la UE reciben información objetiva sobre la industria nuclear y sobre el auténtico potencial que tiene que ofrecer. Este es un gran reto al que pretendo hacer frente en los próximos meses: es crucial que amplíemos la participación de Foratom en círculos no nucleares relacionados e incrementemos nuestro impacto entre todos los actores de Bruselas que puedan influir potencialmente en la escena política. No es tarea fácil, ya que hay mucha gente en Bruselas que preferiría que permaneciéramos ocultos. Pero debemos hacernos más visibles y alzar la voz en Bruselas si queremos asegurar que nuestros mensajes se entiendan.

Por supuesto, Foratom también continuará manteniendo su alto nivel de implicación en los distintos foros y organizaciones relacionados con la industria nuclear, tales como ENEF, SNETP, ENS, EHRON, IGDTP, OIEA o NEA*.

Teniendo en cuenta el peso de otros sectores industriales, ¿considera que el nuclear es escuchado por los organismos de la UE?

En términos de la imagen de la industria nuclear en Europa, la situación varía en los distintos Estados miembros. Mientras que algunos países la consideran esencial en su mix energético, otros han tomado la decisión de no tener ninguna relación con lo nuclear. En los casos más extremos, algunos países (Austria, en particular) están luchando activamente contra el uso de la energía nuclear en otros Estados miembros, haciendo uso de todos los medios legales y políticos disponibles.

En cuanto a las demás fuentes de energía, la visibilidad e influencia del sector de las renovables se ha incrementado enormemente. Parte de su éxito puede atribuirse a la significativa cantidad de recursos financieros y de personal que se han dedicado a actividades de lobby en Bruselas. Por ejemplo, la asociación que representa al sector de la energía eólica (WindEurope) en Bruselas tiene más de 50 miembros entre su personal. Con tales recursos a tu disposición, no cabe duda de que se pueden llevar a cabo muchas más actividades y, por lo tanto, incrementar tu influencia.

Es más, gracias a potentes campañas de comunicación, el gas natural se percibe cada vez más como un colaborador de las renovables. El sector se está presentando de forma activa como la solución para cuando no hay ni viento ni sol, y subraya constantemente lo "ecológico" que puede ser el gas. Estas acciones parecen estar dando fruto, sobre todo teniendo en cuenta la nueva *Semana del gas* de la UE. Aquí también hemos visto cómo este sector se está consolidando cada vez más en Bruselas y dedicando los recursos necesarios para alcanzar sus objetivos. Esta es una buena referencia para nosotros en términos de cómo

hacer campaña y posicionarnos dentro de los debates de Bruselas.

Con este ejemplo en mente, me gustaría destacar enfáticamente el hecho de que la industria nuclear tiene muchos atributos positivos que ofrecer, y mi intención es incrementar la visibilidad de Foratom en Bruselas. Esto significa que tendremos que aprovechar al máximo los recursos limitados que tenemos a nuestra disposición. Reconocemos que en muchos asuntos hay poca discusión, ya que las instituciones de la UE (en particular la Comisión y el Parlamento) tienden a dar por bueno todo lo que dicen las renovables (creación de empleo, crecimiento económico, sostenibilidad, competitividad, etc.). Pero hay todavía muchas otras áreas de la política donde tenemos la oportunidad de entrar y marcar la diferencia subrayando claramente los beneficios de nuestro sector.

Cuando hablamos de "escenarios de descarbonización profunda", estamos convencidos de que la energía nuclear tendrá un papel a desempeñar. Con este fin, planeamos desarrollar una perspectiva para 2050 que será usada en discusiones sobre la actualización de la Hoja de Ruta Energética de la UE para 2050, en la que se prevé que la Comisión empiece a trabajar muy pronto. Esta perspectiva nos permitirá hacer llegar nuestro mensaje desde el principio y destacar por qué la energía nuclear debe jugar un papel importante en las estrategias energéticas a medio y largo plazo.

LA ACTUALIDAD DEL SECTOR

Desde su reciente incorporación a Foratom, ¿cuáles son las líneas estratégicas que se ha propuesto llevar a cabo como director general?

¡Debo admitir que los retos en el corto y medio plazo son numerosos! Empezaré por subrayar la importancia de que continuemos centrándonos en las discusiones relacionadas con el *Paquete de Energía Limpia* para todos los europeos (conocido comúnmente como CEP, por sus siglas en inglés) presentado por la Comisión Europea a finales de 2016, que todavía está en discusión dentro del Parlamento europeo. En su formato actual, el CEP no tiene en cuenta la energía nuclear.

Nos estamos esforzando al máximo para dirigir la atención de los actores políticos hacia las realidades de un futuro energético equilibrado en Europa. Si la UE quiere ser tomada en serio por otras regiones del planeta, no puede ignorar la contribución de la industria nuclear a la hora de lograr un mix de energía "limpio" que incluya un sector energético descarbonizado. Estoy seguro de que ya saben que el 50% de la electricidad con

*Foro Europeo de Energía Nuclear (ENEF), Plataforma Tecnológica de Energía Nuclear Sostenible (SNETP), Sociedad Nuclear Europea (ENS), Observatorio Europeo de Recursos Humanos en el Sector de la Energía Nuclear (EHRON), Plataforma Tecnológica para la Implementación del Almacenamiento Geológico de Residuos Radiactivos (IGDTP), Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA), OECD Agencia de la Energía Nuclear (NEA).



bajas emisiones de la UE es proporcionada por la industria nuclear.

Es más, seguiremos abordando las condiciones del mercado y la forma en que el sector nuclear es tratado en algunos países en términos de imposición de tasas e impuestos. La propuesta de la Comisión ni siquiera prevé una eliminación gradual de las distorsiones del mercado ¡en realidad las refuerza! Además, no anima a la inversión en fuentes de energía con bajas emisiones.

Como he mencionado anteriormente, empezaremos por trabajar en el papel que la industria nuclear debe desempeñar en el camino hacia 2050 y en cómo puede lograrse mediante proyectos de gestión a largo plazo o de nueva construcción.

Otro de los grandes asuntos que seguimos a diario es el *Brexit* y las consecuencias que tendrá en el sector nuclear. El Reino Unido es un país con nuevos proyectos nucleares, y es crucial para toda la cadena de suministro europea y para las compañías españolas en particular, que no haya una interrupción en el comercio nuclear con este país.

¿Cuáles son los principales retos a los que se enfrenta el sector nuclear en su conjunto y, específicamente, la industria?

Actualmente, y como mencioné anteriormente, el principal reto para el desarrollo de la energía nuclear es el diseño del mercado eléctrico sostenible de la UE. No sólo está distorsionado, también falla a la hora de alcanzar las dos principales metas de la UE: lograr los objetivos climáticos y garantizar la seguridad del suministro a largo plazo. Las condiciones actuales del mercado y la forma en que está estructurado no recompensan los beneficios que el sector nuclear proporciona al sistema eléctrico. Por ello, pongo en duda la sostenibilidad del mercado eléctrico europeo a largo plazo: ¿cómo puede una fuente de energía con bajas emisiones, segura y competitiva luchar en un mercado tan corto de miras?

Para alcanzar sus objetivos en términos de descarbonización del sector energético, la UE debe implementar una legislación que dé soporte a un marco de inversión predecible para tecnologías con bajas emisiones. De lo contrario, las compañías no tendrán incentivos para invertir en los proyectos de construcción ni en la gestión a largo plazo de las plantas de energía nuclear ya existentes.

Lo que nos ha sorprendido enormemente es que, incluso aunque el sector nuclear proporciona un 27,5% de la electricidad en su conjunto –y el 50% de la electricidad con bajas emisiones–, ni siquiera se menciona en el paquete legislativo de “Energía Limpia para todos los europeos”.

Otro ejemplo es la reforma del Sistema de Comercio de Emisiones de la UE (EU-ETS). Aplaudimos el objetivo del EU-ETS de fomentar una mayor reducción de las emisiones fortaleciendo la forma en que funciona. Sin embargo, aunque se han dado pasos en la dirección correcta, no creemos que sea lo suficientemente ambiciosos como para potenciar el desarrollo de todas las tecnologías con bajas emisiones en la UE o para alinear totalmente el sistema con las conclusiones del Acuerdo de París. En opinión de Foratom, el EU-ETS debería estar encabezando el paso de los combustibles fósiles a las fuentes de energía con bajas emisiones, incluyendo la nuclear.

Por eso pedimos (y seguiremos pidiendo) una legislación europea que no discrimine entre distintas tecnologías con bajas emisiones. Es esencial que las políticas desarrolladas en Bruselas permitan que todas las tecnologías compitan en un campo de juego equilibrado sin poner en riesgo los objetivos climáticos y energéticos.

¿Qué papel debe tener esta fuente de energía, teniendo en cuenta los compromisos internacionales asumidos por los países sobre reducción de emisiones de CO₂?

La energía nuclear juega un papel importante en la descarbonización de la economía, tanto en la UE como a nivel global. Puede usarse junto a las renovables para proporcionar un *mix* energético fiable, barato y con bajas emisiones. Esto se debe a que el ciclo de vida de las emisiones de CO₂ producidas por las plantas nucleares es comparable al de la energía eólica y significativamente inferior al de la solar. De hecho, según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), la energía nuclear emite 30 veces menos CO₂ que el gas natural, 65 veces menos que el carbón y tres veces menos que la energía solar.

Cada año la energía nuclear evita una cantidad de emisiones de CO₂ equivalente al emitido por todos los coches de Alemania, España, Francia, Italia y el Reino Unido juntos (700 millo-





nes de toneladas de CO₂). No emite ninguno de los contaminantes dañinos, como el óxido nítrico y el dióxido sulfúrico, que afectan al clima y que constituyen uno de los principales problemas para la salud pública.

Por ello la energía nuclear debe jugar un papel significativo en la lucha contra el cambio climático. El objetivo global de descarbonizar la economía no puede alcanzarse sin la energía nuclear, y necesitamos que los actores políticos reconozcan al sector nuclear como parte de la solución en esta lucha.

LA INDUSTRIA EN ESPAÑA

En España, la energía nuclear ha sido la primera fuente de energía en los tres últimos años. Desde su perspectiva europea ¿cómo se ve nuestra industria desde Bruselas?

Díra que Bruselas tiene que recibir y escuchar señales claras de los Estados miembros al elaborar sus políticas. España, por ejemplo, debe dar un paso adelante a la hora de reconocer claramente el papel que el sector nuclear debe seguir jugando en la Península, en beneficio del país y de toda la Unión –y debe trasladar este mensaje a Bruselas!-. Si mal no recuerdo, la industria nuclear proporcionó el 21 % de la electricidad generada en España en 2017 y, aunque las energías renovables tienen una contribución importante en la producción de electricidad con bajas emisiones del país (debido a su situación geográfica y condiciones climáticas), el sector nuclear sigue siendo la fuente principal de energía con bajas emisiones. La cantidad de electricidad producida con carbón es similar a la producida con renovables.

También es importante tener en cuenta que, mientras que en los países del norte de Europa la seguridad del suministro depende mucho de las importaciones de gas ruso, España no está mejor debido a su dependencia de las importaciones de países del norte de África. Si tenemos en cuenta las limitadísimas interconexiones que existen actualmente, España podría compararse con una isla.

¿Considera que las empresas españolas tienen una presencia adecuada en las instituciones europeas?

En la actualidad, sólo las principales empresas eléctricas están representadas en Bruselas. Por lo tanto, creo que hay una necesidad real de defender con más fuerza toda la cadena de suministro. Este es uno de nuestros mayores objetivos en los próximos meses: queremos elevar el perfil de TODOS nuestros miembros en Bruselas para ser más eficientes y efectivos en nuestras

discusiones con la UE. Tenemos que lograr que esto ocurra, y contamos con nuestros colegas españoles para colaborar lo más estrechamente posible con Foratom con el fin de conseguirlo.

Gracias a las competencias y aptitudes que la industria nuclear española ha desarrollado y a su capacidad para innovar en términos de nuevos procesos y tecnologías, la industria española está reconocida como una industria de primera clase a nivel global. No obstante, aquí en Bruselas todavía tiene que conseguir un reconocimiento pleno. Nuestro papel en Foratom consistirá en mostrar progresivamente lo que la industria está haciendo en términos de capacidades e innovación.

¿Qué líneas de colaboración están en marcha entre FORATOM, el Foro de la Industria Nuclear Española y el conjunto de las empresas?

Trabajamos estrechamente con todos nuestros miembros, y España no es una excepción. El Foro de la Industria Nuclear Española participa en todos los organismos decisorios y de gobierno de Foratom, y continúa siendo un participante activo en nuestras actividades del día a día como miembro de varios grupos de trabajo. Hasta ahora, nuestra duradera cooperación ha demostrado ser muy provechosa pero, como ya he mencionado, para ser más eficientes, tenemos que trabajar juntos incluso más estrechamente. Al hacerlo, podemos mejorar la imagen de la energía nuclear, potenciar la forma en que se percibe a la industria y mejorar nuestra credibilidad. Siempre hay espacio para la mejora.

PRESENTE Y FUTURO

En estos momentos está abierto el debate sobre la transición energética hacia una economía con bajas emisiones. En España se ha constituido un grupo de expertos que analiza esta materia. ¿Cuál es su visión sobre cómo debe desarrollarse esa transición en la Unión Europea?

La energía nuclear es parte clave del mix energético en Europa y contribuirá a los objetivos del Acuerdo de París dando soporte durante la transición a un sector energético descarbonizado. La alta disponibilidad de la energía nuclear, el hecho de que proporciona diversidad dentro del mix energético y su baja sensibilidad a las variaciones de precio del uranio significa que garantiza la seguridad del suministro de energía.

Creemos que la UE debe continuar centrándose en alcanzar su objetivo final de recortar las emisiones de CO₂ y pasar a una economía con bajas emi-

siones, garantizando al mismo tiempo la seguridad del suministro y los puestos de trabajo en Europa. Con este fin, la UE tiene que continuar usando la totalidad de las excelentes herramientas que tiene a su alcance, especialmente la energía nuclear.

En opinión de Foratom, no puede lograrse una descarbonización y una transición energética exitosa de la UE sin la energía nuclear.

Teniendo en cuenta su privilegiada perspectiva europea e internacional, ¿cuál es su opinión sobre el futuro a medio y largo plazo de la energía nuclear en Europa y en el conjunto mundial?

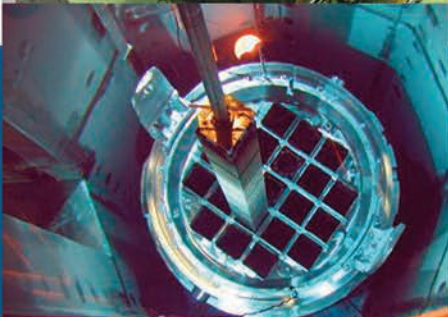
En 2015, la Hoja de Ruta Tecnológica para la Energía Nuclear de la IEA/NEA concluyó que la capacidad nuclear global tiene que superar el doble de la actual para 2050 si se quiere respetar el techo de los 2°C. La publicación anual del OIEA sobre proyecciones de electricidad y energía muestra que el potencial global de la energía nuclear hasta 2050 sigue siendo alto. Las elevadas proyecciones indican un incremento desde los niveles de 2016 del 42% en 2030, del 83% en 2040 y del 123% en 2050.

Además, la Comisión Europea ha estimado que la inversión necesaria en el sector nuclear para el mercado global estará rondando los tres billones de euros para 2050, de acuerdo con su Programa Indicativo Nuclear (PIN). La Comisión también ha destacado que muchos países de Europa y del resto del mundo confiarán en la energía nuclear para producir parte de su electricidad en las próximas décadas, y que el número de países que gestionan reactores nucleares y la capacidad nuclear global instalada se incrementará para 2040.

Pero obviamente sólo será posible un brillante futuro para el sector nuclear en Europa si somos capaces de mantener los costes bajo control y mejorar la competitividad de la industria. Nuestra industria tendrá que reinventarse para lograrlo. Esto supone un gran reto, pero no cabe duda de que debemos afrontarlo.

Personalmente estoy convencido de que la UE tiene que mantener el 20-25% de generación nuclear a largo plazo para cumplir con sus objetivos climáticos y garantizar la seguridad del suministro de sus ciudadanos y su industria. De hecho, pienso que Europa debería englobar las tendencias mostradas por España hasta ahora en términos de porcentajes de producción de energía nuclear. Esto formará parte de nuestra perspectiva para 2050, que clarificará mejor qué aspecto tendrá ese futuro y por qué. ■

La entrevista original ha sido realizada en inglés y se ha traducido para su difusión en NUCLEAR ESPAÑA.



Passion_{for}
improvement

Tenemos un férreo compromiso con la cultura de I+D+i y unas capacidades tecnológicas que combinan la experiencia y el conocimiento para el diseño y fabricación de grandes componentes para la industria nuclear como: reactores, generadores de vapor, tuberías del primario, presionadores, intercambiadores de calor, racks y contenedores de almacenamiento y transporte...

Ofrecemos una amplia variedad de servicios, proporcionando soluciones desde el diseño y suministro de equipos y utillajes especiales, mantenimientos, soporte a la operación y reparaciones y finalmente, desmantelamiento de plantas y el tratamiento de sus residuos.

Nuestra pasión por la mejora continua nos ha llevado a participar activamente en innovadores proyectos relacionados con el desarrollo de la energía nuclear de fisión y fusión y la gestión de residuos. Nuestra experiencia en la realización y apoyo al diseño de reactores especiales como el ASTRID (Francia), NuScale (EEUU), ESFR (Europa), PBMR (Sudáfrica), JHR (Francia) y en la fusión con el reactor ITER, son muestra de ello.

EQUIPOS NUCLEARES S.A S.M.E

Edificio Génesis, Avenida
Burgos 8-B, planta 17
28036 Madrid (Spain)
Phone: +34 915 55 36 17
Fax: +34 91 556 31 49

Avenida Juan Carlos I, 8,
39600 Maliaño, Cantabria (Spain)
Phone: +34 942 20 01 01
Fax: +34 942 20 01 48

commerical@ensa.es

  www.ensa.es



EL CONTROL REGULADOR DE LA DESCLASIFICACIÓN DE MATERIALES RESIDUALES EN LAS INSTALACIONES NUCLEARES ESPAÑOLAS

La desclasificación de materiales residuales es un proceso regulado que permite la gestión por vías convencionales de determinados residuos con contenido radiactivo. El reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas (RD 1836/1999) liga además este proceso con la definición de residuo radiactivo que figura en la Ley sobre Energía Nuclear (Ley 25/1964). La reciente orden ETU/1185/2017, incorpora parcialmente al derecho español la Directiva 2013/59 Euratom en relación con la desclasificación de los materiales residuales generados en las instalaciones nucleares y la instrucción del CSN IS-31 establece las bases técnicas del proceso de desclasificación. Las normas del OIEA en la materia y las actividades de revisión en curso tienen una importancia fundamental.

INTRODUCCIÓN

Las instalaciones nucleares generan durante su operación y desmantelamiento residuos con contenidos variables de radiactividad. Una gran proporción de estos materiales residuales presenta un contenido muy bajo de actividad que hace pensar en la posibilidad de que puedan ser gestionados sin necesidad de aplicar medidas de protección radiológica y utilizando las vías e infraestructuras que la sociedad tiene implantadas para la gestión de los residuos de naturaleza análoga.

Para proceder a la gestión convencional de estos residuos con contenido radiactivo será necesario garantizar que las prácticas en las que, posteriormente, se verán involucrados no supondrán un riesgo radiológico inaceptable para el público y para el medioambiente.

El proceso mediante el que determinados materiales residuales con muy bajos contenidos de acti-

vidad generados en prácticas controladas, pueden gestionarse por las vías convencionales sin restricciones radiológicas, se ha denominado *desclasificación*.

En España, de acuerdo con nuestro marco legal y con los objetivos fijados por la Unión Europea, se ha establecido un sistema de desclasificación adaptado a la situación operativa de las instalaciones. El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) ha determinado las bases para el control radiológico de estos procesos requiriendo que cualquier gestión convencional de los materiales residuales que contienen radiactividad este sustentada en una evaluación del impacto radiológico en las personas y en el medio ambiente, de manera que se garantice el respeto de los criterios radiológicos establecidos.

Desde el punto de vista del control regulador es muy importante que antes de que los materiales residuales hayan salido de la ins-



JULIA LÓPEZ DE LA HIGUERA

Jefa del Área de residuos radiactivos de baja y media actividad.

CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR.

Representante de España en el Comité del OIEA sobre normas de seguridad en la gestión de los residuos radiactivos (WASSC).

REGULATORY CONTROL OF THE CLEARANCE OF RESIDUAL MATERIALS ARISING FROM NUCLEAR FACILITIES IN SPAIN

The clearance of residual materials is a regulated process included in the Royal Decree 1836/1999 on nuclear and radioactive facilities. The decree establishes a link between clearance of residual materials and the definition of radioactive waste included in the Nuclear Energy Act (Law 25/1964). Recently the 2013/59 Euratom Directive has been partially transposed to the Spanish law in matters related to the clearance of residual materials arising from nuclear facilities (Order ETU/1185/2017). CSN Instruction IS-31 includes the technical basis for the current authorization procedure. IAEA safety standards on clearance and ongoing activities on this matters are of paramount importance.



talación nuclear para su gestión convencional, el titular haya aplicado procesos de caracterización radiológica fiables, de manera que pueda garantizar que no se superan los contenidos máximos de radiactividad permitidos, también denominados niveles de desclasificación. La aplicación de una metodología de caracterización radiológica adecuada para cada tipo de residuos es una decisión que ha requerido y que requiere recursos técnicos y económicos importantes por parte de los titulares de las instalaciones y en muchas ocasiones es un factor determinante en la viabilidad del proceso de desclasificación.

MARCO REGULADOR PARA LA DESCLASIFICACIÓN DE MATERIALES RESIDUALES

La Ley de Energía Nuclear (LEN) [1] define como residuo radiactivo el material residual para el que no se prevé ningún uso y que contiene radiactividad en valores superiores a los niveles que se determinen por el Ministerio de Industria y Energía, actualmente el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital (Minetad), previo informe del CSN.

La Directiva 96/29 Euratom [2], ya derogada por la vigente Directiva 2013/59 Euratom [3], introdujo por primera vez el concepto de desclasificación de materiales residuales y los criterios radiológicos que debían considerarse para que estos materiales se pudieran gestionar por las vías convencionales mediante su eliminación, reciclado o reutilización. Sin embargo, no estableció los valores numéricos de los niveles de desclasificación que debían respetarse para que la gestión convencional de los materiales residuales se pudiera llevar a cabo.

El Reglamento de Instalaciones nucleares y radiactivas (RINR) [4] incorporó al marco regulador español los objetivos establecidos en la Directiva Euratom 96/29 [2], ligando en su artículo 76 los procesos de gestión convencional de los materiales residuales, a la definición de residuo radiactivo establecida en la LEN [1]. De esta manera la desclasificación se configura como un proceso que es previamente autorizado por el órgano competente, facultando al titular de la instalación para gestionar por vías convencionales los residuos que no superen en su contenido radiactivo

determinados niveles, sin necesidad de controles reguladores posteriores en materia de seguridad y protección radiológica.

La vigente Directiva 2013/59 Euratom [3] determina (Art. 30) que no será necesario aplicar el control reglamentario en la gestión de los materiales residuales generados en las prácticas autorizadas, cuando el contenido radiactivo no supere los niveles de desclasificación que figuran en su Anexo VII, tabla A. Señala también (Anexo VII, 3.c) que los riesgos radiológicos que podría entrañar para las personas la gestión de estos materiales mediante su eliminación, reutilización y reciclado por vías convencionales son suficientemente bajos y no es necesario realizar evaluaciones adicionales, pudiendo considerarse estas prácticas inherentemente seguras (Anexo VII, 3.b).

La Directiva 2013/59 Euratom [3] determina además que las autoridades reguladoras pueden decidir sobre la conveniencia de la desclasificación aun cuando se superen los niveles de desclasificación mencionados, siempre que se valore positivamente el cumplimiento de determinados criterios generales (Anexo VII, 3.a) y se pueda demostrar, en el caso de prácticas con radionucleidos artificiales, que la dosis efectiva esperable para cualquier persona a causa de la gestión de los materiales residuales es del orden de $10\mu\text{Sv/año}$ o inferior.

Cabe destacar como una aportación fundamental de la Directiva 2013/59 Euratom [3], el hecho de que establezca objetivos cuantitativos, es decir valores máximos para los niveles de desclasificación generales, también denominados incondicionales, que se pueden aplicar a los residuos generados en las instalaciones. Estos niveles son coincidentes con los de la publicación del OIEA RS-G-1.7 (2004) [5] y sustituyen a los recomendados anteriormente por la Comisión Europea en el documento RP-122 parte I (2000) [6].

Mediante la reciente orden ETU/1185/2017 [7] se ha incorporado parcialmente al Derecho español la Directiva 2013/59 Euratom [3] en lo que se refiere a la desclasificación de los materiales residuales generados en las instalaciones nucleares. La nueva norma permitirá a los titulares de las instalaciones nucleares, sin necesidad de au-

torización administrativa expresa, llevar a cabo la desclasificación de los materiales residuales atendiendo a los niveles de desclasificación generales o incondicionales establecidos, siempre que se cumplan determinados requisitos técnicos. Cuando se superen los niveles mencionados la desclasificación requerirá, según se establece en esta norma, la correspondiente autorización del Minetad previo informe favorable del CSN.

SISTEMA DE DESCLASIFICACIÓN DE MATERIALES RESIDUALES ESTABLECIDO EN LAS INSTALACIONES NUCLEARES

De acuerdo con el marco normativo expuesto y con las recomendaciones internacionales en esta materia fundamentalmente provenientes del OIEA, el CSN ha venido considerando determinados principios básicos que garantizan la seguridad y protección radiológica del sistema de desclasificación establecido. Entre estos principios básicos están la responsabilidad del productor de los residuos, la seguridad intrínseca de todas las actividades que se lleven a cabo con los materiales una vez desclasificados y la trazabilidad del proceso.

En las instalaciones nucleares los principios básicos enunciados se han aplicado en la definición de un proceso de desclasificación fundamentado en:

- El inventario de los materiales residuales producidos en cada instalación y en sus características físicas, químicas y radiológicas.
- La identificación de las vías de gestión más apropiadas para cada tipo de residuo, considerando el marco regulador aplicable a la gestión de los residuos convencionales en España.
- La delimitación dentro de cada instalación nuclear de las zonas en las que pueden generarse residuos con contenido radiactivo, para diferenciarlas de aquellas en las que sólo se generan residuos convencionales.
- El control regulador del proceso, con especial atención a la fiabilidad de la verificación radiológica de los materiales antes de su salida de la instalación nuclear hacia las instalaciones de gestión convencional que se hayan determinado.

El proceso regulador de la autorización de desclasificación requerida

al titular de la instalación con carácter general, ha permitido verificar previamente, desde el punto de vista radiológico, la idoneidad de los niveles de desclasificación propuestos y que el titular de la instalación dispone de las capacidades técnicas y medios necesarios para garantizar que no se superan estos niveles en los residuos objeto del proceso.

Niveles de desclasificación

Los niveles de desclasificación deberán estar sustentados siempre en una evaluación del impacto radiológico que producirá la gestión convencional de los residuos, de forma que se garantice el cumplimiento de los criterios radiológicos establecidos. En función de la definición de la práctica de gestión a la que se destinen los residuos, además de por sus características y naturaleza, se distinguen dos tipos de niveles de desclasificación, los generales o incondicionales y los condicionales.

Los niveles de desclasificación generales o incondicionales se aplican sin la necesidad de imponer restricciones en el destino final de los residuos, es decir para cualquier vía de gestión posible, además de para cualquier tipo o naturaleza de los materiales. Hasta la fecha se han venido autorizando en el desmantelamiento de las instalaciones nucleares los recomendados por la Unión Europea en el documento RP-122 parte I [6], que incluye niveles de desclasificación para un gran número de radionucleidos potencialmente presentes en los materiales residuales generados en estas instalaciones.

Los niveles de desclasificación condicionales pueden tener valores superiores a los niveles generales y su aplicación supone la necesidad de establecer restricciones, por ejemplo en el destino o en el tipo de residuo objeto de determinada gestión convencional. Hasta la fecha en las instalaciones nucleares se ha autorizado la aplicación de dos tipos de niveles de desclasificación condicionales, los recomendados directamente por la Unión Europea en diferentes publicaciones técnicas, y los que han sido calculados teniendo en cuenta específicamente los residuos generados por las instalaciones y las vías de gestión convencional implantadas en España.

Entre los niveles de desclasificación condicionales recomendados por la Unión Europea que se utilizan en las instalaciones nucleares españolas, se encuentran los que permiten la gestión convencional de los residuos metálicos mediante su reciclado en fundiciones, que figuran en el documento de la Comisión RP-89 (1998) [8].

Otros niveles de desclasificación condicional recomendados por la Unión Europea que se aplican en las instalaciones nucleares, son los referidos a los residuos procedentes de la demolición de edificios, que fueron publicados en el documento de la Comisión Europea RP-113 [9]. La desclasificación condicional de este tipo de residuos se encuentra autorizada en las instalaciones nucleares en fase de desmantelamiento, debiendo garantizarse que se destinan a vías de gestión adecuadas para este tipo de materiales.

Desde la publicación del RINR [4], se fueron identificando otros residuos por los titulares de las centrales nucleares como candidatos para la desclasificación condicional y para los que podrían derivarse niveles más específicos que tuvieron en cuenta las vías de gestión convencional existentes en España. Entre estos residuos se encuentran los aceites usados, las maderas, el carbón activo y las resinas iónicas gastadas.

Con carácter general, cada tipo de residuo seleccionado fue objeto de lo que se denominó *proyecto común* para todas las centrales nucleares. Los titulares acordaron elaborar y remitir al CSN estos documentos para su apreciación a través de la Asociación española de la industria eléctrica (UNESA).

En cada *proyecto común* se analizaron, para cada tipo de residuo susceptible de ser desclasificado, las vías de gestión convencional existentes y sus particularidades, la normativa aplicable y los posibles escenarios de exposición a la radiación, realizándose un estudio del impacto radiológico que permitió derivar los niveles de desclasificación condicionales adecuados.

Entre el año 2000 y 2009 el CSN apreció favorablemente los proyectos comunes sobre aceites usados, carbón activo, resinas y maderas, que incluyeron los niveles de desclasificación condicional propuestos para poder gestionar estos materiales por vías convencionales. Todas

las centrales nucleares en operación disponen actualmente de autorización para la desclasificación condicional de algunos de los residuos mencionados en este grupo.

Autorización de la desclasificación

Con carácter general y de acuerdo con la instrucción de seguridad del CSN IS-31 (2011) [10], los materiales residuales generados en las instalaciones nucleares deben ser sometidos a un proceso inicial de categorización, mediante el que se determina si han resultado impactados o no como consecuencia del proceso productivo llevado a cabo en la instalación. Los materiales residuales que se categoricen como impactados se gestionarán, de acuerdo con su contenido radiactivo, bien mediante su desclasificación o bien como residuos radiactivos.

Entre los objetivos de la instrucción del CSN IS-31 [10], se encuentra también establecer la documentación técnica que debe dar soporte a las solicitudes de autorización de desclasificación.

Como ya se ha mencionado, la reciente orden ETU/1185/2017 [7], en vigor desde el 7 de diciembre de 2017, permite a los titulares de las instalaciones nucleares, sin necesidad de autorización administrativa, llevar a cabo la desclasificación de los materiales residuales atendiendo a los niveles de desclasificación generales o incondicionales que establece, siempre que se cumplan determinados requisitos técnicos cuya valoración corresponde al CSN. Sólo será necesaria la autorización cuando se superen los niveles de desclasificación referidos.

Hasta ahora los titulares de las instalaciones nucleares en operación han solicitado al Minetad la autorización de desclasificación aportando en su propuesta la información requerida sobre las características de los residuos, su contenido radiactivo, el inventario acumulado y las tasas de generación, así como la vía de gestión convencional prevista de acuerdo con la normativa aplicable. Además debían proponer los niveles de desclasificación incondicional o condicional que utilizarían y la metodología para la caracterización radiológica y la verificación del cumplimiento de los niveles de



desclasificación, de acuerdo con los criterios técnicos que se establecen en la IS-31 [10].

En las instalaciones nucleares en operación, todas las autorizaciones de desclasificación otorgadas hasta la fecha son del tipo condicional estando el destino final de los materiales especificado como una condición de la autorización. Este es el caso de los residuos metálicos para los que debe asegurarse y acreditarse que se reciclan en instalaciones de fundición, o de los aceites usados para los que se debe garantizar su incineración o bien su regeneración.

Para las instalaciones nucleares en desmantelamiento el RINR [4] establece en su artículo 30 que la solicitud de autorización de esta fase ira acompañada de determinados documentos preceptivos que deben ser autorizados, entre los que se encuentra el "Plan de Control de Materiales Desclasificables" (PCMD) que incluye, además de la propuesta de los niveles de desclasificación, la metodología para la verificación de su cumplimiento y la forma de documentar y registrar adecuadamente el proceso, con objeto de asegurar su trazabilidad hasta la entrega de los residuos a los gestores autorizados.

En todo caso la gestión de los materiales residuales desclasificables se debe llevar a cabo aplicando un sistema de control de calidad que garantice la detección de posibles desviaciones y asegure la implantación de las medidas correctoras adecuadas.

La trazabilidad del proceso de gestión de los materiales residuales, hasta su entrega a los gestores finales, estará garantizada por el titular de la instalación mediante el correspondiente sistema de registro y de archivo que deberá encontrarse en todo momento actualizado y a disposición de la inspección del Consejo de Seguridad Nuclear.

REVISIÓN DE LAS NORMAS DEL OIEA SOBRE DESCLASIFICACIÓN

Las normas de seguridad del OIEA aunque no son de obligado cumplimiento en los estados miembros, han sido una referencia fundamental en la Unión Europea para la elaboración de la vigente Directiva 2013/59 Euratom [3], tanto en materia de desclasificación de materiales residuales como en otros aspectos.

Como ya se ha mencionado, en la guía de seguridad del OIEA RS-G-1.7 (2004) [5] se publicaron los valores recomendados para los niveles de desclasificación generales o incondicionales, que posteriormente se incorporaron en 2014 a las normas básicas de seguridad y protección radiológica de este organismo [11]. La vigente Directiva 2013/59 Euratom [3] adopta también estos mismos valores para los niveles de desclasificación aplicables en la Unión Europea.

Los comités de normas del OIEA han propuesto en 2016 un plan para la revisión de la guía de seguridad RS-G-1.7 (2004) [5], que ha sido aprobado recientemente por la comisión de normas de seguridad (CSS) de este organismo y que se prevé finalice en 2021.

Entre los objetivos de la revisión figura la elaboración de una guía de seguridad exclusiva para la desclasificación, que establezca cla-

ramente cómo se debe desarrollar este proceso y que haga especial hincapié en los aspectos de organización, regulación y verificación que necesitan ponerse en práctica.

Aunque está siendo un asunto muy discutido en los comités de normas, no se pretende realizar con esta revisión nuevos cálculos de impacto radiológico que pudieran derivar en valores diferentes de los niveles de desclasificación ya publicados. El principal objetivo es profundizar en cómo debe organizarse el proceso de desclasificación desde la perspectiva de las responsabilidades de los titulares y del organismo regulador. También está previsto que la nueva guía progrese en todos los aspectos relacionados con la caracterización radiológica de los materiales y en la optimización de los requisitos de verificación que se consideraran un aspecto fundamental. ■

- [1]. Ley sobre Energía Nuclear. Ley 25/1964. BOE No. 107 (1964).
- [2]. Consejo de la Unión Europea. Directiva 96/29/Euratom de 13 de mayo de 1996 que establece las normas básicas para la protección de la salud de los trabajadores y del público contra los peligros de las radiaciones ionizantes. Diario Oficial de las CE, L159 de 29.6.1996.
- [3]. Consejo de la Unión Europea. Directiva 2013/59/Euratom de 5 de diciembre de 2013 por la que se establecen normas de seguridad básica para la protección contra los peligros derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes. Diario oficial de la UE de 17 de enero de 2014.
- [4]. Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas. RD 1836/1999. BOE No. 313 (1999).
- [5]. IAEA. Application of the concepts of Exclusion, Exemption and Clearance. Safety Guide RS-G-1.7 (2004).
- [6]. Commission of the European Communities: Practical Use of the Concepts of Clearance and Exemption. Part1 Guidance on general clearance levels for practices. Radiation Protection No. 122 (2000).
- [7]. Orden de ETU/1185/2017, de 21 de noviembre, por la que se regula la desclasificación de los materiales residuales generados en instalaciones nucleares, BOE nº 296 de 6 de diciembre de 2017.
- [8]. Commission of the European Communities: Recommended radiological protection criteria for the recycling of metals from the dismantling of nuclear installations, Radiation Protection No. 89, (1998).
- [9]. Commission of the European Communities: Recommended radiological protection criteria for the clearance of building and building rubble from the dismantling of nuclear installations, Radiation Protection No. 113 (2000).
- [10]. Consejo de Seguridad Nuclear. Instrucción de Seguridad sobre el control radiológico de los materiales residuales generados en las instalaciones nucleares. IS-31, BOE nº 224 de 17 de septiembre de 2011.
- [11]. IAEA, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources. International Basic Safety Standards. GSR. Part.3. (2014).



GESTIÓN DE MATERIALES EN EL PROYECTO DE DESMANTELAMIENTO DE CNJC O EL ARTE DE COCINAR LA MATERIA PRIMA

La gestión de materiales en un proyecto de desmantelamiento se considera como una de las actividades principales que están incluidas en el proceso de transformación de la instalación que va a poder permitir caracterizar, clasificar, acondicionar y almacenar temporalmente los mismos, antes de su envío a sus destinos finales. El producto final en un desmantelamiento son las diferentes tipologías y corrientes de material a gestionar. Estos materiales se clasificarán como convencionales o radiactivos. Enresa, con su experiencia adquirida en los desmantelamientos acometidos previamente garantiza la adecuada gestión de los mismos, su envío a sus destinos finales así como la protección del medioambiente y las personas. El presente artículo describe las tipologías de materiales a gestionar, los procesos, la logística, la organización y conclusiones obtenidas de dicha gestión en el proyecto de desmantelamiento y clausura de la C.N. José Cabrera.

ANTECEDENTES

La central nuclear de José Cabrera (CNJC) fue la primera central nuclear española puesta en explotación comercial (año 1969). Junto a las centrales nucleares de Sta. M.ª de Garoña (agua en ebullición) y de Vandellós 1 (grafito gas) constituyó la primera generación de centrales nucleares. En el caso de CNJC, sus principales características, entre otras, fueron:

- Tamaño y potencia reducidos, 160 MWe.
- Gran experiencia operativa y pionera en actuaciones del sector nuclear español.
- Escuela de profesionales de la energía nuclear y fuente de experiencia.
- Explotación satisfactoria a lo largo de su vida operacional (1968-2006). Como resumen se citan las diferentes fases, antes y durante los trabajos de desmantelamiento:
 - Etapa de operación.
 - Etapa previa a parada definitiva.
 - Etapa de transición.
 - Transferencia de titularidad.
 - Desmantelamiento y clausura:
 - Actividades preparatorias.
 - Retirada y gestión de elementos radiológicos y grandes componentes.
 - Retirada instalaciones auxiliares, descontaminación y demolición de edificios.
 - Restauración del emplazamiento.

GESTIÓN DE MATERIALES

Filosofía global

Una vez se considera la finalización de la operación y la instalación pasa a tener que ser desmantelada, Enresa establece la estrategia de desmantelamiento. Incluida en esa estrategia se establece la política de gestión de materiales que abarca desde la gestión del combustible gastado, los materiales a gestionar, la minimización de residuos radiactivos, las vías de gestión y, entre otros, si se promueve o no la desclasificación. Por último, se contempla el estado final en el que se devolverá el emplazamiento.

Finalizada la operación, se deja de generar electricidad y cuando empieza la ejecución del desmantelamiento se empiezan a generar materiales. Es entonces cuando, "el arte de cocinar la materia prima", o la gestión de materiales, y entre ellos, y con mayor relevancia por su impacto, los residuos radiactivos tienen que ser gestionados.

Enresa considera los trabajos incluidos en el Plan de desmantelamiento y clausura (PDyC) como una gran fábrica de materiales. En esa fábrica están incluidas la mayor parte de las grandes actividades (transformación), que permitirán, a partir de la materia prima que es el emplazamiento (sistemas, equipos, edificios, terrenos) y los

MANUEL ONDARO

ENRESA

VICTOR RIVAS

ENRESA

GUILLERMO MARTÍN

ENRESA

ENRIQUE VAN-BAUMBERGHEN

MARSEIN

MATERIALS MANAGEMENT IN A CNJC NPP DECOMMISSIONING PROJECT OR THE ART OF COOKING THE RAW MATERIAL

Materials Management in a decommissioning project is considered one of the main activities that are included in the process of transformation of the Facility that will be able to characterize, classify, condition and temporarily store them, before sending to their final destinations. The final product in a dismantling are the different types and currents of material to be managed. These materials will be classified as Conventional and Radioactive. ENRESA, with its experience acquired in the dismantling undertaken previously, guarantees the proper management of them, their delivery to their final destinations as well as the protection of the environment and people. This article describes the types of materials to be managed, the processes, the logistics, the organization and conclusions obtained from this management in the decommissioning and closure project of the José Cabrera NPP.



Foto 1. Vista general del emplazamiento.



Figura 1. Proceso de transformación.

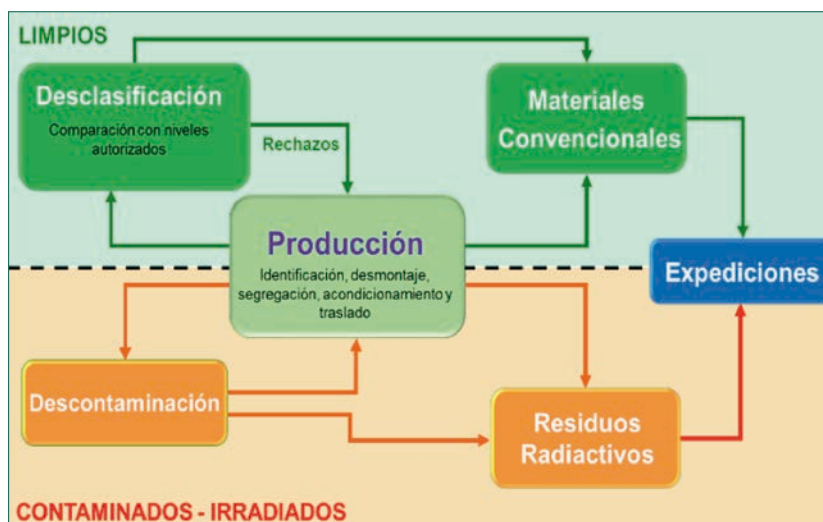


Figura 2. Etapas y vías del proceso de gestión.

medios productivos (entradas), poder obtener el objetivo final (salidas), ver Figura 1. Durante todas las etapas de desmantelamiento se estarán gestionando materiales.

Por ello, deben ser gestionados adecuadamente con objeto de minimizar su impacto sobre el medioambiente y las personas, así como proceder a su optimización y minimización en las cantidades generadas, sobre todo en aquellos materiales clasificados como residuos radiactivos. Para todo ello, es necesario llevar a cabo la caracterización radiológica del emplazamiento que conjuntamente con el inventario físico, permitirá clasificar inicialmente las diferentes corrientes de materiales a gestionar.

Producción. Etapas del proceso de gestión

Existen dos grandes vías de gestión final de los materiales generados (producción) que son: a) materiales convencionales y b) residuos radiactivos. En la gestión de materiales convencionales se puede incluir la de los materiales desclasificados, que aunque a los efectos de gestión es parecida, tienen alguna diferencia administrativa. Además, existen dos procesos globales que permiten optimizar (minimizar la cantidad de residuos radiactivos final) el proceso de: c) descontaminación y, d) desclasificación.

A continuación se describen dichos procesos, ver Figura 2:

DESCONTAMINACIÓN

En caso de que los materiales sean susceptibles de descontaminación y que esto permita optimizar el tratamiento posterior de los mismos, o cambiar de categoría (pasar de RB-MA a RBBA), puede optarse por realizar esta actividad bien en el taller de descontaminación o bien *in situ*, ya sea sobre equipos, componentes o paramentos.

Con objeto de canalizar cada tipología en la vía de gestión más adecuada, se analizan sus características radiológicas (sobre la base de la historia operativa de la planta y a las medidas radiológicas realizadas) y los condicionantes físicos impuestos por el proceso al que haya de ser sometido el material posteriormente (tamaños admisibles por los sistemas de medida y los contenedores en que va a ser introducido, homogeneidad en cuanto a tipo de material con respecto al resto del lote, espectro radiológico al

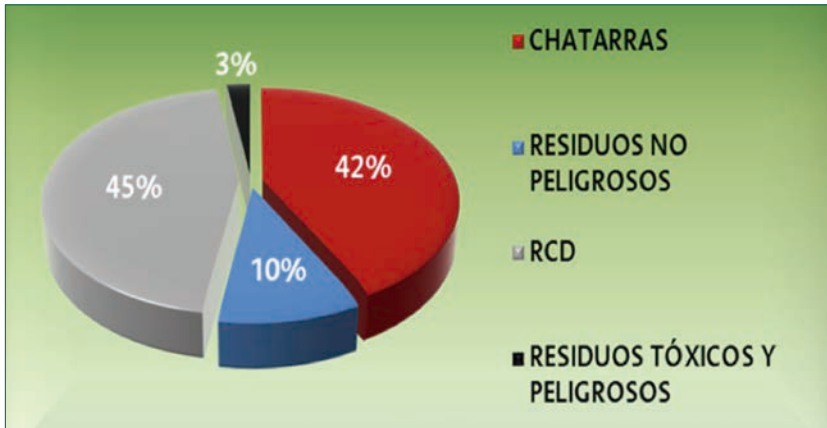


Figura 3. Material convencional total (diciembre 2017).



Figura 4. Volumen expedido (m³) por tipología.

que pertenece y otros). Esta vía de gestión produce en menor medida materiales desclasificados y residuos radiactivos de menor categoría a la inicial (RBMA a RBBA).

DESCLASIFICACIÓN

Este proceso, que exige la aplicación de una metodología aprobada por el organismo regulador, consiste básicamente en garantizar que los materiales incluidos en este tipo de gestión, contienen cantidades residuales por debajo de los límites legales establecidos y por tanto se permite su gestión como convencionales. Los materiales clasificados como desclasificables son transferidos al área de desclasificación, donde se reciben y se procede a verificar que cumplen todos los requisitos necesarios para poder ser caracterizados con las técnicas de medida disponibles. Superado este primer control, se procede a su caracterización radiológica, cálculo de actividad y designación de un destino acorde con ésta y con el resto de limitaciones impuestas en los niveles de desclasificación autorizados.

En caso de que los materiales hayan podido ser desclasificados, se transfieren al área de gestión de materiales desclasificados. De no ser así, se devuelven al proceso de producción, donde deberán ser sometidos a un proceso de descontaminación o ser enviados al área de gestión de residuos radiactivos. Esta vía de gestión produce en mayor medida materiales desclasificados (materiales convencionales) y residuos radiactivos RBBA.

Los lotes de material clasificados como desclasificados (materiales convencionales) en el área anterior son transferidos a ésta para su expedición a destinos autorizados, siguiendo los procedimientos establecidos al efecto.

Tipología de materiales

De lo anteriormente citado, se generan tres grandes grupos finales de materiales a gestionar y que se clasifican:

a) Materiales convencionales (residuos no peligrosos y tóxicos y peligrosos).

Los materiales convencionales procedentes de zonas no impac-

tadas están compuestos fundamentalmente por chatarras ferrosas y no ferrosas, aislamiento térmico, RCD (residuos de demolición y construcción), tierras, cables eléctricos, residuos tóxicos o peligrosos (aceites, baterías, amianto, productos de laboratorio, etc.) y varios (plásticos, cartones, maderas, restos de podas, etc.), son originados en operaciones de desmantelamiento o en intervenciones de limpieza y mantenimiento dentro de la instalación. Los materiales son segregados por naturalezas para su gestión, definidas principalmente por los gestores autorizados a los que son enviados. Ver Figura 3, que muestra la tipología de los mismos.

Como naturalezas más importantes de este grupo se encuentran los RCD y las chatarras, esperándose un aumento del porcentaje de residuos de demolición y construcción en las últimas fases de desmantelamiento.

Todos estos residuos son enviados a gestores autorizados cumpliendo con la legislación aplicable, en este punto se debe resaltar los residuos tóxicos o peligrosos, que aunque en volumen no generen grandes cantidades, su gestión es algo más compleja en la instalación, teniendo requerimientos adicionales de registro, almacenamiento y expedición y requieren para su tramitación los controles pertinentes exigidos por la Consejería de Medio Ambiente.

Antes de la salida de la instalación los materiales convencionales son inspeccionados y se genera la documentación necesaria para su retirada (Hoja de control de salida, ficha de material, expedición, hoja de seguimiento de residuos y de aceptación). Todos los materiales se pasan por el pórtico de radiación de vehículos antes de ser retirados de la instalación.

Otro aspecto a resaltar son los contratos de gestión de chatarras y en concreto las originadas en los procesos de desclasificación, es importante que las empresas que gestionan esta tipología, conozcan origen de estos materiales, los controles por los que pasan para certificar su desclasificación, los niveles exigidos en la normativa así como los protocolos de actuación en caso de alarma del pórtico de radiación de vehículos. Las empresas deben garantizar la fundición a las que son enviados los materiales, emitiendo el correspondiente certificado de destino.



b) Materiales desclasificados

A todos los efectos de su gestión y expedición, una vez que un material cumple con el proceso de desclasificación se puede considerar como un material convencional. No obstante debe existir una trazabilidad del material desde su producción hasta su gestión definitiva, asegurando el control del proceso. Los materiales desclasificados deben ser enviados a gestores autorizados y debe existir en algunos casos un conocimiento del centro de tratamiento del mismo, emitiéndose los correspondientes certificados de destino.

c) Residuos radiactivos

Como residuo radiactivo se entiende, todo aquel material procedente de zonas impactadas (radiológicas), que no haya sido declarado como desclasificable o que proviene de un rechazo en el proceso de desclasificación. En función de sus valores de actividad de estos, se clasifican en tres subgrupos.

- Residuos de muy baja actividad (RBBA).
- Residuos de media y baja actividad (RBMA).
- Residuos de alta actividad (RAA).

Los residuos de alta actividad aportan un pequeño volumen dentro de la producción total de residuos radiactivos generados durante el desmantelamiento, son gestionados directamente en la instalación y hasta que se disponga de un Instalación de almacenamiento temporal centralizada (ATC), Enresa los gestiona en los ATI (almacenamiento temporal individualizado). En el caso del PDyC de CNJC, se dispone de un ATI en el cual están almacenados 12 contenedores de combustible (HI-STORM) y cuatro de residuos especiales (HI-SAFE), cuyo origen ha sido el desmantelamiento de los internos del reactor.

Los residuos de baja y media actividad (RBMA) y de muy baja actividad (RBBA), se han originado en el desmontaje y descontaminación de las diferentes áreas radiológicas de la instalación, teniendo una especial importancia, por el método de corte y gestión, parte de los residuos RBMA obtenidos del desmontaje del circuito primario. El manejo de estos en contenedores CE-2a (11,2m³) y CE-2b (5,6m³) por parte de un productor, con mucha más capacidad que el resto de embalajes y que hasta este proyecto sólo se habían utilizado en el Centro de

Almacenamiento de El Cabril como unidades de almacenamiento, ha posibilitado gestionar residuos de mayor tamaño, obteniendo un menor número de cortes y con esto un descenso en las dosis recibidas para la gestión de estos residuos, cuya concentración de actividad es elevada.

La naturaleza de los residuos radiactivos RBBA y RBMA es variada en el PDC de CNJC, aunque destacando entre el resto se encuentran chatarras y hormigones, los que se conocen como sólidos heterogéneos no compactables y que en su mayoría se gestionan en contenedores prismáticos CMT (1,3 m³) o CMB (1,5m³) aproximadamente.

En el PDC de CNJC se producen más tipologías de RBMA, aunque su porcentaje en volumen es algo menor, es por ejemplo el caso de las resinas de intercambio iónico, concentrados del evaporador o lodos. El desmantelamiento debe coexistir con sistemas operativos de la instalación, por lo que estas corrientes siguen apareciendo a lo largo de él, así mismo el desmontaje de estos sistemas provoca la aparición de nuevos lodos radiactivos que son acondicionados, siendo incorporados a conglomerante hidráulico, para ser enviados a El Cabril.

En la ejecución de los diferentes trabajos de desmantelamiento se genera material compactable contaminado (trapos, vestuario, mangueras, etc...) en su mayoría RBBA, este debe ser gestionado, para ello y con objeto de optimizar el volumen, este material es compactado en bidones de 220l.

Todos los residuos radiactivos RBBA y RBMA, son enviados al Centro de almacenamiento de El Cabril, por carretera, cumpliendo con la legislación aplicable y los criterios de aceptación emitidos por Enresa.

La logística de estos residuos se programa mensualmente y con anterioridad a la salida de la instalación, son enviados todos los datos de los bultos que conforman una expedición. Una vez verificados, los bultos son aceptados y pueden ser enviados a El Cabril. La Figura 4, muestra el volumen expedido de material por tipología.

Logística y almacenes

Actualmente existen en la instalación, clasificados en función del material que pueden albergar los siguientes almacenes:

1. Material desclasificable:

Manipulación con carretilla eléctrica / máximo tres niveles de altura / capacidad máxima variable en función del tipo de contenedor.

- Antiguo almacén "C" (capacidad estimada, 1.050 m³).
- Nueva carpa (capacidad estimada, 1.300m³).

2. Material convencional:

Manipulación con carretilla eléctrica, diésel y retroexcavadora

- Campas de acopio de materiales RCD.
- Campas de acopio de material desclasificado.
- Bañeras metálicas de: plásticos, maderas, papeles y cartones, material metálico.
- Almacén de material tóxico y peligroso.

3. Material y residuo radiactivo de muy baja actividad

Manipulación con carretilla eléctrica / máximo tres niveles de altura / capacidad máxima variable en función del tipo de contenedor y material

- Almacén 3 (capacidad estimada, 2.400 m³).
- Almacén 4 / almacén de torres (capacidad estimada, 4.600 m³).

4. Material y residuo radiactivo de muy baja y de baja y media actividad.

Manipulación con grúas y polipastos / máximo cuatro niveles de altura / diseñados con fosas / capacidad máxima variable en función del tipo de contenedor

- Almacén 1 (13 Fosas de 10x3m/ capacidad estimada 1.560 m³).
- Almacén 2 (3 Fosas de 50x7m/ capacidad estimada, 4.200 m³).
- Almacén EAD (superficie en planta de 115m², permite el almacenamiento hasta en seis alturas para CE-2A/capacidad estimada, 740 m³).

Para todos los almacenes, tanto de material desclasificable como de residuos radiactivos se requiere, antes de su puesta en servicio, realizar en presencia del CSN unas pruebas oficiales. Actualmente, tanto la nueva carpa de desclasificables como el nuevo almacén 4 de residuos de muy baja se encuentran pendientes de la apreciación favorable de las pruebas realizadas. El alcance de las pruebas consiste fundamentalmente en la comprobación de los sistemas

instalados, que en el caso de materiales desclasificables entre otros incluye el control de los posibles vertidos y entradas de agua, que en el caso de los almacenes de residuos se amplían con la detección automática de incendios.

Acondicionamiento – gestión de UA – Edificio EAD

Para la gestión y acondicionamiento de grandes componentes (vasija, generador de vapor, presionador, bomba principal) y de aquellos procedentes del corte de los internos superiores y de la segmentación del blindaje biológico, que por motivos Alara, menor tiempo de ejecución y menor número de cortes, considerando para ello tamaños de piezas notablemente mayores que las contempladas en la gestión habitual de residuos introducidos en CMT, se pensó que debiera existir un área en la cual gestionarlos.

Por ese motivo se diseñó una instalación específica que, ubicada en el antiguo edificio de turbinas, ahora denominado Edificio Auxiliar de Desmantelamiento (EAD), ver Figura 5, permitiese tanto el acondicionamiento a distancia de los residuos directamente cargados en contenedores CE-2a (tamaño equivalente a 4 CMT), y CE-2b (tamaño equivalente a 2 CMT), así como su almacenamiento, en espera de su expedición programada hacia El Cabril.

En función del origen de los residuos, generación bajo agua, (internos y vasija) o en seco (GV, blindaje biológico, muros) el inicio del proceso es diferente.

En el primer caso los residuos se cortan y cargan en cestas metálicas bajo agua. Esta cesta es capturada por una campana de blindaje que sumergida en el agua captura la cesta de residuos y la asciende, limitando los problemas de tasa de dosis en área, hasta la cota de operación del Edificio del Reactor.

Desde aquí la grúa de contención desciende el conjunto por el hueco de equipos hasta la cota +604, cota de calle, del Edificio Auxiliar, sobre un carro de transporte. Este carro discurre por un túnel de realizado que conecta el edificio EAD con el Edificio Auxiliar.

Ya en el túnel, denominado de transferencia, se procede a retirar la campana de blindaje, y se transfiere la cesta de residuos hasta el interior de un CE-2 que se encuentra enfrentado en paralelo sobre otro carro que circula por el mismo carril.

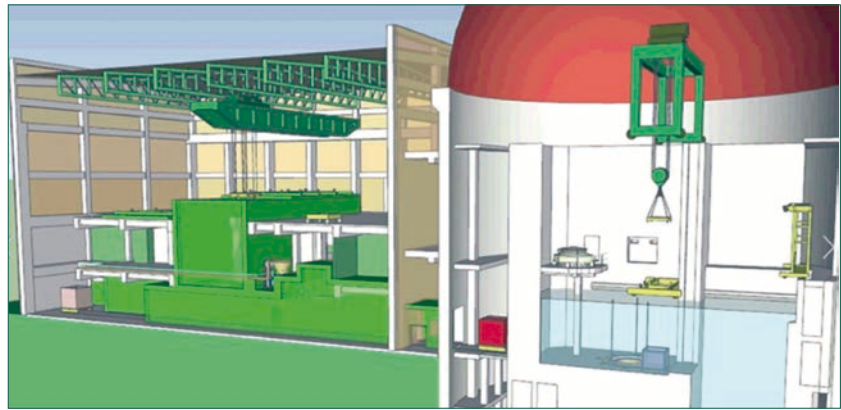


Figura 5. Gestión UA - Edificio EAD - Edificio de Contención.

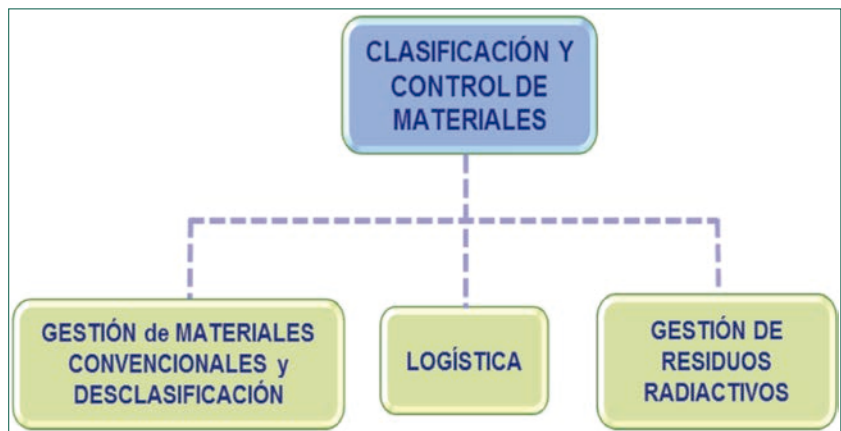


Figura 6. Organización Sº CyCM.

En el caso de que los residuos provengan de cortes en seco, los materiales son incorporados directamente en el interior de un CE-2 que se encuentra en espera en el hueco de equipos, cota +604 del Edificio Auxiliar, y que circula montado en el carro de CE, por el carril indicado anteriormente.

Todas estas operaciones, así como la inyección de mortero para el bloqueo y sellado de la Unidad de Almacenamiento (UA) son realizadas desde una sala de control, donde las operaciones son monitorizadas y controladas a remoto. El sistema de Gestión y Acondicionamiento de UA, ha sido probado oficialmente y aprobado por el CSN.

Desde su entrada en vigor se han acondicionado sin incidencias, 43 CE-2a y 41 CE-2b, y se encuentran actualmente pendientes de acondicionar 41 CE-2a y 1 CE-2b restantes. En las últimas etapas del PDyC, el túnel de transferencia y las instalaciones del EAD se aprovecharán para acondicionar y almacenar en paralelo UA y residuos convencionales conformados en CMT o CMB y bidones de 220l.

Organización

La propia naturaleza de un desmantelamiento hace que la generación de materiales residuales sea elevada, por lo tanto es necesario tener un servicio (área) específico para la gestión de los mismos, a esto se suma las diversas clasificaciones y métodos de control que esto genera. En la Figura 6, se muestra la organización del servicio.

El servicio encargado de la gestión de todos los materiales producidos en el PDC de CNJC, es el Servicio de clasificación y control de materiales (SCyCM), cuya misión es la recepción en obra, clasificación y gestión hasta su retirada de todos los materiales producidos en el desmontaje de la instalación.

Este SCyCM depende jerárquicamente de la Dirección Técnica. La coordinación con otros servicios es especialmente importante en el caso de servicios como el de Ejecución, encargado del desmontaje de la instalación y el de Protección Radiológica y Seguridad encargado entre otras, de las actividades de caracterización de los materiales (asignación de actividad).

Como funciones principales de este SCyCM destacan:

- Gestionar materiales convencionales procedentes de desmantelamiento: segregación, gestión y expedición.
- Asegurar el cumplimiento integral del proceso de desclasificación, controlar y custodiar los materiales desclasificados, desde que son entregados, hasta su expedición a destino autorizado.
- Gestionar los almacenes, campos o depósitos transitorios de todos los materiales producidos durante el desmantelamiento.
- Gestionar los residuos radiactivos procedentes de desmantelamiento: descontaminación, manipulación, acondicionamiento, caracterización, depósito transitorio y expedición. Así como verificar que se cumple con los criterios de aceptación de residuos de Enresa.
- Elaborar y controlar los procedimientos técnicos aplicables necesarios para el desarrollo de los trabajos de gestión, clasificación y control de materiales del desmantelamiento.

CONCLUSIONES

Como conclusiones y lecciones aprendidas en la experiencia que se posee en los proyectos de desmantelamiento en el ámbito de la gestión de materiales, se pueden citar como más relevantes las siguientes:

- Se debe realizar un inventario inicial, físico y radiológico, que permita obtener las cantidades iniciales y sus categorías de los materiales a gestionar. Este inventario habrá que actualizarlo durante toda la ejecución del PDyC.
- Se debe disponer de almacenes transitorios en la instalación suficientes para la gestión de los materiales que se generen, disponiendo de las instalaciones adecuadas para su gestión. Zonas de corte, acondicionamiento y medida.
- Se debe disponer de una organización que contemple todo el ámbito de la gestión de los materiales (convencionales y radiactivos), siendo muy relevante teniendo en cuenta factores como la seguridad nuclear y protección radiológica.
- Se deben disponer de un número de contenedores, elementos de manutención y transporte interior que permita la fluidez y movimiento de materiales por la instalación.

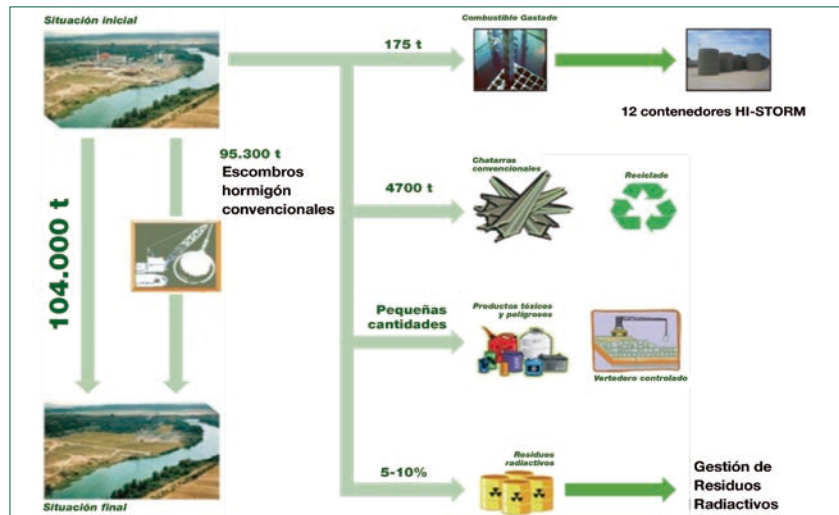


Figura 7. Balance general de gestión de materiales.



Figura 8. Balance de residuos radiactivos.

- Se deben hacer esfuerzos en la aplicación de técnicas de descontaminación con objeto de minimizar la cantidad de residuos radiactivos RBMA finales a gestionar, obteniendo mayor cantidad de RBBA, por optimización del volumen final por el menor coste de gestión de estos últimos.
- Se debe disponer de un sistema de gestión integrado que permita el control de materiales generados, su tipologías, sus caracterizaciones radiológicas, en dónde están almacenados y otros, de manera que exista un trazabilidad completa.
- Se deben disponer de los equipos de caracterización espectrométrica que permitan una mayor y mejor caracterización de los materiales, en particular los residuos radiactivos y materiales desclasificados.
- Se deben realizar contratos con gestores especializados para la gestión de materiales convencio-

nales, en especial los desclasificados.

- Se debe actualizar convenientemente toda la documentación aplicable de manera que siempre se garantice el cumplimiento de los criterios de aceptación, en especial de los residuos radiactivos.

Enresa, y con la experiencia acumulada en los diferentes proyectos de desmantelamiento ejecutados, puede garantizar con el máximo rigor en su actividad, teniendo en cuenta los riesgos inherentes de esta tipología de materiales, la gestión segura de los mismos, minimizando en todo momento el impacto radiológico sobre el medio ambiente, trabajadores y el público en general, así como promover el reciclaje de los materiales obtenidos acorde a su clasificación.

La Figura 7, muestra el balance general de la gestión de materiales y en la Figura 8, se refleja el balance de los residuos radiactivos. ■



GESTIÓN ESPECÍFICA DE RESIDUOS PROCEDENTES DE GRANDES COMPONENTES ACTIVADOS: EL CASO PRÁCTICO DE LOS INTERNOS Y VASIJA DEL REACTOR

El desmantelamiento de la central nuclear de José Cabrera ha incluido, entre sus actividades más significativas la segmentación y embalaje de los principales componentes metálicos activados: la vasija del reactor y los internos.

La estrategia de embalaje para los residuos primarios ha estado basada en la optimización (minimización) del volumen final de residuos producidos. La eficiencia en el embalaje de los residuos primarios y en la generación de residuos secundarios estuvo asentada en la amplia experiencia de Westinghouse en análisis de activación, el uso de herramientas avanzadas de modelización tridimensional, en el desarrollo de herramientas y metodologías de corte bajo agua de última generación y en operarios de corte altamente especializados y experimentados.

El desmantelamiento de la central nuclear de José Cabrera ha incluido, entre sus actividades más significativas la segmentación y embalaje de los principales componentes metálicos activados: la vasija del reactor y los internos. Estos trabajos fueron adjudicados y llevados a cabo por Westinghouse entre los años 2010 y 2015.

Los trabajos de segmentación, tanto de la vasija del reactor como de los internos del mismo han sido objeto de varios artículos y ponencias, presentando la metodología de corte mecánico bajo agua que Westinghouse viene aplicando con resultados altamente satisfactorios durante su los últimos años.

Este artículo se centra en la problemática del embalaje de los residuos, tanto primarios como secundarios, procedentes de la segmentación, para su almacenamiento temporal y/o definitivo en condiciones seguras.

La estrategia de embalaje para los residuos primarios está basada en la optimización (minimización) del volumen final de residuos producidos, considerando que, al ser componentes activados, las técnicas de descontaminación no aportan una

reducción significativa de actividad. Por otra parte, la actividad esperada en los distintos componentes requiere dos aproximaciones distintas:

- Para aquellos residuos de baja y media actividad que cumplen los criterios de aceptación del Centro de Almacenamiento de El Cabril, se hizo uso de los tipos de contenedor licenciado y utilizado en El Cabril: CE-2A y CE-2B. El destino final de estos contenedores fue el Centro de Almacenamiento de El Cabril.
- Para los residuos de media actividad cuyas características no permiten cumplir con los criterios de aceptación de El Cabril (residuos especiales o GTCC en su denominación norteamericana) se hizo uso de un contenedor metálico (GWC) similar al utilizado para el almacenamiento del combustible gastado. El destino temporal de estos contenedores fue el ATI (Almacén Temporal Individualizado) de la propia central.

La eficiencia en el embalaje de los residuos primarios y en la generación de residuos secundarios estuvo asentada en la amplia experiencia de



JOSÉ MIGUEL VALDIVIESO RAMOS

Decommissioning Planning
Manager en el área de DDR&WM
WESTINGHOUSE ELECTRIC SPAIN

Ingeniero de Minas y Licenciado en Ciencias Empresariales.

SPECIFIC WASTE MANAGEMENT FROM METALLIC ACTIVATED COMPONENTS: REACTOR VESSEL AND REACTOR INTERNALS

The decommissioning of the José Cabrera Nuclear Power Plant has included, among its most significant activities, the segmentation and packaging of the main activated metallic components: the reactor vessel and the internals. The packaging strategy for primary waste has been based on the optimization (minimization) of the final volume of waste generated. The efficiency in the packaging of the primary waste and in the generation of secondary waste was based on Westinghouse's extensive experience in activation analysis, the use of advanced three-dimensional modeling tools, in the development of tools and methodologies for underwater cutting and in highly specialized and experienced cutting operators.



Westinghouse en análisis de activación, el uso de herramientas avanzadas de modelización tridimensional, en el desarrollo de herramientas y metodologías de corte bajo agua de última generación y en operarios de corte altamente especializados y experimentados.

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS Y ALMACENAMIENTO TEMPORAL EN LA PISCINA DE COMBUSTIBLE GASTADO

En base a la geometría de componentes activados, materiales e historia operativa de la central, se desarrolló un inventario radiológico inicial mediante el uso de modelos de flujo neutrónico y cálculos de activación.

Durante las actividades de segmentación, los equipos y accesorios utilizados para el desarrollo de las actividades de caracterización *in situ* son:

- Monitor de contaminación.
- Monitor de tasa de dosis.
- Dos sondas de muy alto flujo sumergibles.
- Dos sondas de alto flujo telescópicas.
- Dos sondas de alto flujo sumergibles.

Todas las piezas segmentadas han estado sujetas, al menos, a una medición bajo agua en diferentes puntos a través de una sonda sumergible dispuesta desde el centro de control de trabajo. Los datos así obtenidos se contrastaron con los datos preliminares de activación disponibles. Las medidas realizadas en campo se combinaron con los modelos de blindaje específicos para piezas y cestas, con el fin de estimar los inventarios radiactivos correspondientes y confirmar los requisitos para las unidades de almacenamiento.

GESTIÓN DE RESIDUOS PROCEDENTES DE LOS INTERNOS DEL REACTOR

Embalaje de residuos primarios

Los residuos de baja y media actividad susceptibles de ser almacenados en El Cabril se cargaron dentro de las cestas estándar, y se transfirieron mediante campana blindada a contenedores CE-2A y CE-2B en espera de ser trasladados a la instalación de acondicionamiento, ubicada dentro del antiguo Edificio de turbinas (EAD, Edificio Auxiliar de Desmantelamiento).

Los contenedores de residuos de baja y media actividad acondicionados se transfirieron entonces al



Figura 1. Inserts y cestas llenos en fondo de piscina de combustible gastado.

Contenedor	Masa (kg)	Actividad Co-60 (TBq)
GWC-1	10.720	1.900
GWC-2	10.290	1.280
GWC-3	10.370	1.060
GWC-4	9830	903

Tabla 1.

área de almacenamiento provisional del EAD.

La masa total medida de los residuos de baja y media actividad ha sido de 17,97 Tm. Se han acondicionado dentro de seis contenedores CE-2B y un contenedor CE-2A, con un volumen de almacenamiento total de 44,5 m³. Los contenedores CE-2B fueron cargados con un peso entre 1.800 y 4.300 Kg., mientras que el contenedor CE-2A fue cargado con 8.900 Kg.

Los residuos de baja y media actividad que no son susceptibles de ser almacenados en El Cabril (Resi-

duos especiales) fueron acondicionados dentro de cuatro contenedores GWC para almacenamiento provisional. Los GWC están divididos internamente en cinco celdas de almacenamiento que incluyen blindaje de acero adicional en ubicaciones específicas.

Dado el tamaño relativamente pequeño de la mayoría de las piezas producidas durante la segmentación, se decidió utilizar *inserts* diseñados específicamente para contener y optimizar su carga. Estos *inserts* eran cajas de acero inoxidable, de media altura y apilables, abiertas en

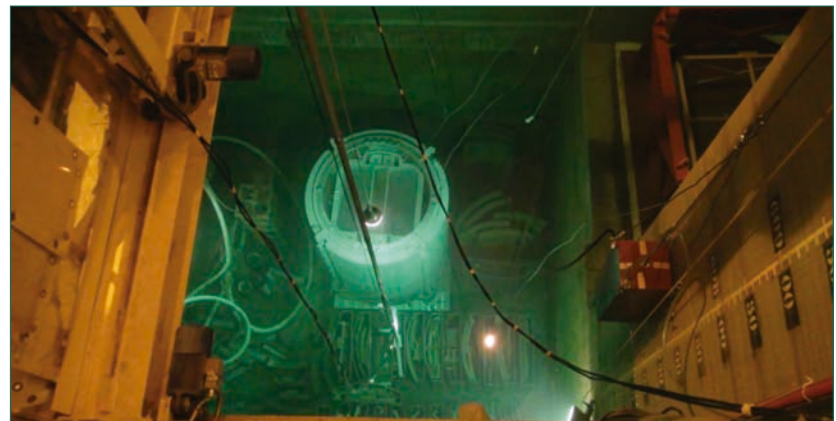


Figura 2. Contenedor GWC situado para llenado.

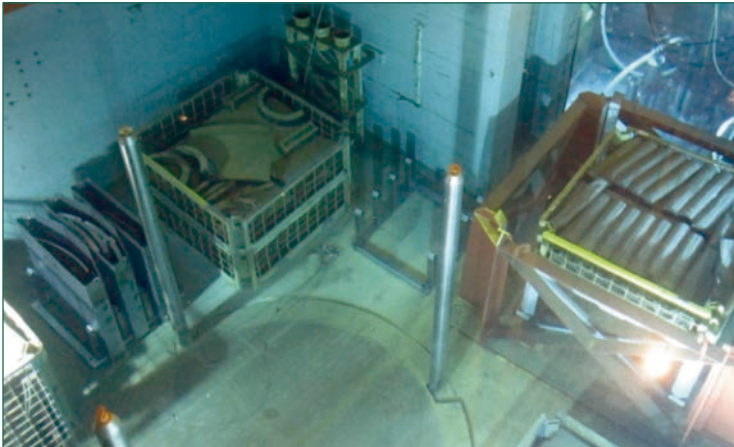


Figura 3. Cesta de cartuchos del sistema de filtración y purificación de agua y otros embalajes.

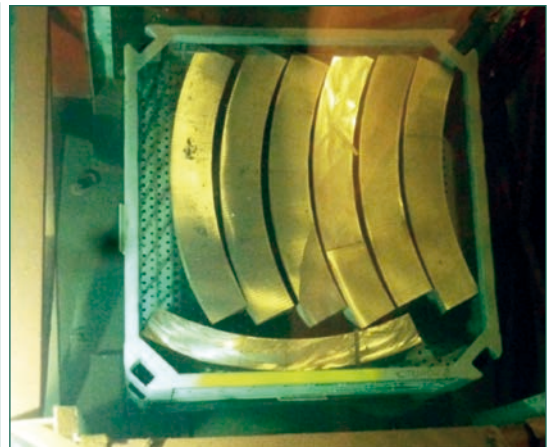


Figura 4. Cesta CE-2A con piezas del cuerpo de la vasija del reactor.



Figura 5. Cesta CE-2B con piezas de la tapa de la vasija del reactor.

la parte superior, diseñados para encajar dentro de las celdas de almacenamiento de GWC, facilitando en gran medida la carga final de GWC (Figura 1).

El llenado de *inserts* y GWC se llevó a cabo bajo el agua. Una vez llenos, los contenedores GWC se cerraron y se introdujeron en contenedores de almacenamiento de hormigón similares a los utilizados para el combustible, con el mismo sistema de transferencia y herramientas.

La Tabla 1 muestra el inventario físico y radiológico medido para los cuatro GWC de *Residuos especiales*, una vez cargados.

Las virutas de corte del metal fueron recolectadas dentro de cajas cerradas especialmente diseñadas (*chip boxes*) provistas de aberturas con malla metálica fina, para permitir su deshidratación y secado antes de la soldadura de los contenedores GWC. La masa total de virutas recolectadas por recolección y aspiración ha sido de 531 Kg., distribuidas en 10 *chip boxes* (Figura 2).

Embalaje de residuos secundarios

Los residuos secundarios consistieron, principalmente, en cartuchos del sistema de filtración y purificación de agua.

Se han generado cinco prefiltros *Luxemburger* con otros 25 Kg. de virutas microscópicas, que han sido situados dentro de alguno de los contenedores GWC.

Así mismo, se han generado un total de 210 filtros *TriNuc*. Estos filtros han sido caracterizados como residuos de baja y media actividad y han sido eliminados dentro de tres contenedores CE-2B, con un volumen total de 17 m³ (Figura 3).

GESTIÓN DE RESIDUOS PROCEDENTES DE LA VASIJA Y TAPA DE LA VASIJA DEL REACTOR

Embalaje de residuos primarios

Las piezas cortadas de la vasija y de la tapa de la vasija fueron consideradas como residuos de baja y media actividad susceptibles de ser

almacenados en El Cabril. Dependiendo del tamaño, peso y nivel de irradiación de las piezas, se utilizaron, bien contenedores CE-2A, bien contenedores CE-2B.

Respecto al embalaje de la vasija se utilizaron siete contenedores tipo CE-2A, con un peso de entre 6.700 y 7.800 Kg., y diez contenedores CE-2B, con un peso entre 4.500 y 7.600 Kg., mientras que para la tapa de la vasija se utilizaron tres contenedores CE-2B con un peso entre 5.500 y 6.900 Kg. (Figuras 4 y 5).

Embalaje de residuos secundarios

Los residuos secundarios procedentes de la segmentación de tapa y vasija del reactor fueron los filtros provenientes de las actividades de filtración y purificación del agua de la piscina de combustible gastado. Estos residuos fueron finalmente embalados en dos contenedores tipo CE-2B.

IMPLEMENTACIÓN DE LAS CAPACIDADES ADQUIRIDAS EN ACONDICIONAMIENTO DE RESIDUOS DE COMPONENTES METÁLICOS ACTIVADOS

La estrategia de embalaje presentada en este artículo, tanto de residuos primarios como secundarios, está siendo desarrollada como parte fundamental del alcance de Westinghouse en el nuevo contrato de desmantelamiento de grandes componentes de los dos reactores de la central nuclear Bohunice V1 (República de Eslovaquia), donde la eficiencia en el embalaje de los residuos primarios y en la generación de residuos secundarios ha sido, de nuevo, un factor clave tanto en la selección del adjudicatario como en las expectativas de éxito del proyecto. ■

CONTROL DEL INVENTARIO DE RESIDUOS HISTÓRICOS DURANTE SU REPROCESAMIENTO EN SANTA M.^a DE GAROÑA. MEJORA DE SU TRAZABILIDAD MEDIANTE APLICACIÓN MÓVIL TEC-WASTE TRACKING SYSTEM

La gestión de residuos radiactivos necesita sistemas de control robustos que garanticen la trazabilidad y control de estos materiales regulados.

El inventario de los residuos generados de manera recurrente, durante la operación normal de las plantas nucleares, son gestionados mediante sus sistemas habituales de control. Los procesos especiales *ad hoc*, como el reprocesado de residuos históricos que no cumplen los criterios de aceptación de Enresa, pueden requerir una adaptación específica de estos sistemas.

Este artículo presenta los sistemas de control del inventario utilizados durante la operación, por parte de Tecnatom, de la planta de reprocesado de residuos históricos en C.N. St.^a M.^a de Garoña. Se muestra cómo una aplicación móvil (denominada TEC-WTS) puede hacer más robusto el seguimiento y control de este inventario.

INTRODUCCIÓN

Tanto en España como internacionales, existen numerosas centrales nucleares que deben hacer frente a la gestión de residuos no tipificados de naturaleza histórica. Habitualmente estos residuos no se encuentran en un estado apto para su transporte y disposición final. Esto ocurre en la central nuclear de Sta. M.^a de Garoña (SMG), cuya operación se inició antes de tener un sistema nacional maduro de gestión de residuos radiactivos.

En el caso de SMG, se dispone de un inventario numeroso de residuos procedentes del antiguo evaporador de la planta, que fueron acondicionados con una tierra de diatomeas de nombre comercial Microcel[®]. Este método de acondicionamiento, realizado durante los años 70 y 80, generó bultos que deben ser acondicionados a los actuales requisitos de aceptabilidad de Enresa. Ha sido necesario diseñar un nuevo proceso y construir una planta *ad hoc* para el reprocesado de más de 2.500 bidones que conforman este inventario histórico. Tecnatom en la actualidad se encarga de la operación y mantenimiento de esta planta, contándose con el apoyo de Nusim por quien fue diseñada y por el grupo de Protección Radiológica de Nuclenor S.A. como responsable de la instalación.

Reprocesado de bidones con Microcel[®]

El reprocesado de residuo radiactivo con Microcel comienza con la extracción de bidones de las celdas

del almacén temporal de residuos, donde se introducen dentro de contenedores para su transporte al área de inspección y preparación. Posteriormente, los bidones inspeccionados se transportan a un nuevo edificio donde se aloja la planta de reprocesamiento. Allí los bidones con Microcel[®] serán transformados en bultos CMT conformes. Finalmente, los CMT generados son transportados y almacenados en el almacén temporal de residuos, a la espera de su transporte a El Cabril.

El reprocesamiento, resumido en la Figura 1, conlleva los siguientes procesos principales:

- Entrada y descarga de bidones.
- Vaciado y cribado.
- Preamasado de residuo.
- Fluidificación del residuo.
- Amasado por lotes (mezcla de residuo, cemento y aditivos).
- Llenado, fraguado y tapado de CMT.
- Limpieza y caracterización radiológica de CMT.
- Salida y transporte de CMT.

Para el control del proceso complejo se dispone de un SCADA y personal especializado. En lo que respecta al movimiento de bidones y CMT, hay que destacar la compleja logística asociada al proceso. Dentro del Edificio de reprocesado, los bidones tienen hasta seis ubicaciones posibles. Los CMT por su parte se moverán por ocho posiciones diferentes.

Además de la posición, cada uno de los bidones o CMT tendrá una serie de atributos que deben ser controlados y registrados (tiempo de



TOMÁS RECIO MIRANDA

Operaciones de Desmantelamiento y Gestión de Residuos Radiactivos, TECNATOM S.A.



JESÚS RUIZ GONZÁLEZ

Jefe de Proyecto, TECNATOM S.A.



ÁNGEL GÓMEZ SÁEZ

Jefe de Proyecto, TECNATOM S.A.

HISTORICAL RADWASTE INVENTORY CONTROL DURING ITS REPROCESSING AT SANTA MARIA DE GAROÑA NPP. TRACKING IMPROVEMENT WITH TEC-WASTE TRACKING SYSTEM MOBILE APP

Radioactive waste management requires robust control systems ensuring that traceability and control of regulated materials are guaranteed.

Radioactive waste generated during normal plant operation is managed with usual NPP systems. Non-ordinary processes, like the reprocessing of historical waste that does not meet the acceptance criteria of Enresa, may require the specific adaptation of the radwaste inventory control system.

This article presents the inventory control system used during Tecnatom's operation of the Microcel[®] historical waste reprocessing plant at Santa María de Garoña NPP. It shows how a mobile app (i.e. TEC-WTS) can improve the inventory tracking and control robustness.



curado del CMT, número de capas realizadas en el CMT, tipo de contenido del bidón, etc.).

Requerimientos legales asociados al control del inventario

Bajo el marco regulatorio internacional, el operador es responsable del control del inventario durante los procesos de gestión de residuos. Así se indica en la normativa internacional, requiriendo el control de todo material radiactivo que sea usado, producido, almacenado o transportado. Esto queda establecido, por ejemplo, en los documentos de alto nivel de la IAEA SF-1, *Principios Fundamentales de Seguridad* [1], Principio 1, Artículo 3.6, y GSR-Parte 5, *Gestión previa a la disposición final de desechos radiactivos* [2], Requisito 4, Artículo 3.11.

A nivel nacional, la Guía de Seguridad 9.3 del CSN, *Contenido y criterios para la elaboración de los planes de gestión de residuos radiactivos de las instalaciones nucleares* [3], indica que los principios que deben orientar la gestión de los residuos radiactivos son la trazabilidad y el conocimiento y control del flujo de residuos, promoviendo a su vez la aplicación de nuevas tecnologías para su gestión.

CONTROL DEL INVENTARIO DURANTE EL REPROCESAMIENTO

Sistema existente de control de bidones y CMT

El reacondicionamiento de residuo con Microcel® conlleva numerosos movimientos de bidones y CMT a través de diferentes zonas de la planta de reprocesamiento (Figura 2).

Para mantener un adecuado control del inventario, se debe conocer en todo momento tanto la localización como el estado del bidón o CMT, cuyas posibilidades son diversas (Tabla 1).

Actualmente este control se lleva a cabo mediante el uso de diferentes registros específicos para cada etapa del proceso. Los principales registros utilizados se resumen en:

- Albaranes de entrada y salida de bidones y CMT del edificio de reprocesado. Incluyen identificación, tasa de dosis, peso, observaciones sobre el contenido, etc.
- Libro de Operación donde se registran las principales actividades de reprocesamiento. Se incluye la hora de entrada y salida de bidones/CMT, hora de realización de lotes de amasado y otros movimientos y actuaciones.
- Archivos Excel con registros de los bidones procesados y datos de los

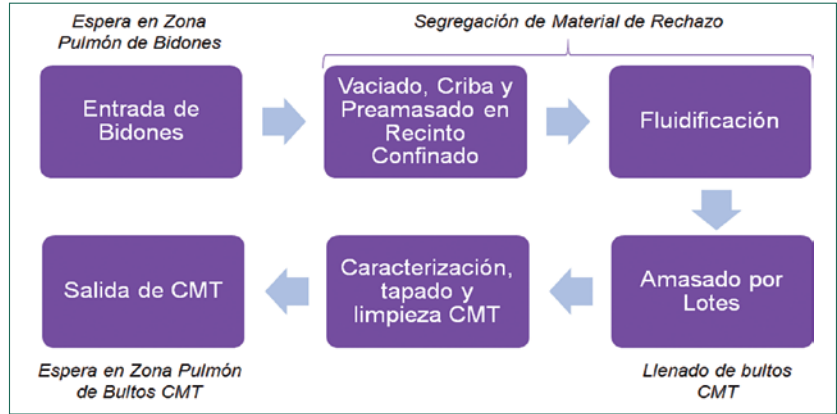


Figura 1. Reprocesado de residuos con Microcel®.

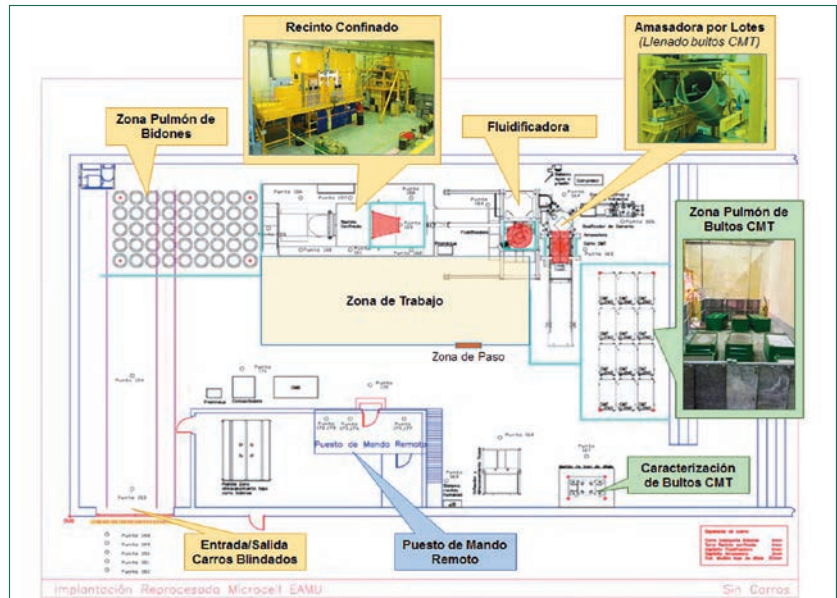


Figura 2. Plano del EAMU.

BIDONES/CONTENEDORES		CMT	
Ubicación	Atributos	Ubicación	Atributos
En carro porta-contenedores	Vacío sin residuo	Exterior EAMU	[Vacío - Lleno]
En zona pulmón de bidones	Con residuo a procesar	En ZC Acceso Libre	Con [1-7] capas
En recinto confinado	No Procesable [Desfondado - Petrificado - No Manipulable por Pinza - Otros]	En zona curado CMT	Con residuo a reprocesar
En zona de trabajo Preamasado	Con rechazo del RC - [Residuo genérico - Residuo Metálico]	En arcón de medida/tapado	[Enfriando - Frio]
En zona de trabajo Fluidificado	Con rechazo de fluidificadora [Residuo Genérico - Residuo Reprocesable - Otros]	En fluidificadora	[Curando - Ya Curado]
En lateral EAMU	Procesado [Listo para Prensar - Listo para Chorrear]	En amasadora	[Sin Limpiar - Limpio]
	Con agua de proceso	En zona limpieza	[Sin Caracterizar - Caracterizado]
		En carro porta-CMT	[Sin Tapar - Tapado]

Tabla 1. Posibles ubicaciones y atributos a registrar.

- CMT generados.
- Archivos Excel con la localización de bidones y observaciones sobre su contenido.
- Dos pizarras blancas tipo Velleda® con sinóptico de posicionamiento y estado de los bidones y CMT en las zonas pulmón correspondientes.

Oportunidades de mejora

El sistema de registro descrito en el apartado anterior garantiza el correcto control del inventario en la planta de reprocesamiento. Como parte del compromiso de Tecnatom en la mejora continua de los procesos (mejora de la seguridad, aumento de la productividad, reducción de cos-



tes, minimización del error humano...), se han identificado las siguientes oportunidades de mejora:

1. El control del inventario se realiza mediante el uso de varios registros, en diferentes formatos (Excel, pizarra, albaranes, Libro de Operaciones). Un sistema de control integrado facilitará el control y la revisión del inventario.
2. El sistema actual no permite la consulta ágil, en tiempo real, de los registros (actuales o históricos). La digitalización completa del sistema actual facilitará la consulta y monitoreo de las actividades de manera remota, sin necesidad de acudir a los registros físicos.
3. Los actuales registros son cumplimentados por varias personas del equipo de trabajo. La digitalización del sistema, con un sistema de derechos de usuario, permitirá establecer responsabilidades de cumplimentación, derechos de visualización y supervisión del proceso. El sistema minimizará el error humano al introducir datos, obteniéndose una mayor solidez en el control del inventario.

NUEVA HERRAMIENTA TEC-WTS PARA CONTROL DEL INVENTARIO

Para abordar las oportunidades de mejora identificadas, y por lo tanto para obtener un control más robusto del inventario, Tecnatom ha desarrollado una herramienta informática de fácil manejo, sobre plataforma móvil de pantalla táctil. Esta aplicación se ha denominado Tecnatom Waste Tracking System (TEC-WTS).

La TEC-WTS integra todo el proceso de control del inventario, con el objetivo de incrementar la agilidad y robustez del proceso. La aplicación permitirá la visualización remota de la información desde cualquier equipo (ordenador, tableta, móvil) mediante un sistema de derechos de usuario.

Las principales funcionalidades se organizan en diferentes láminas (Figura 4), seleccionables mediante una pantalla táctil:

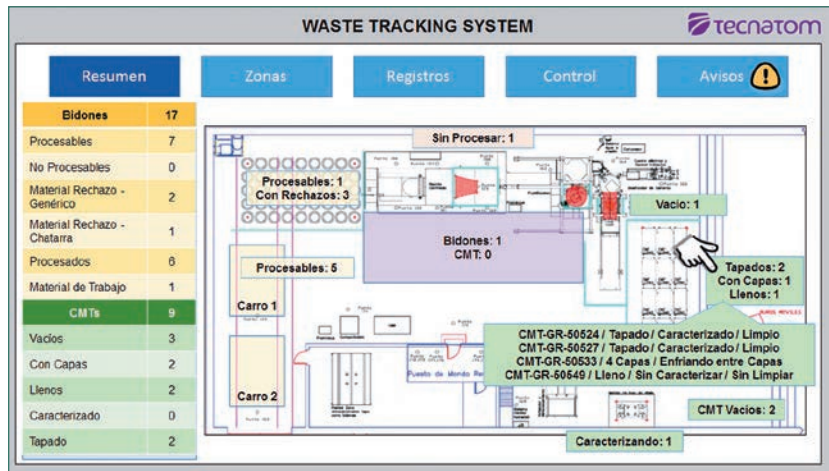


Figura 4. Esquema simplificado de la herramienta TEC-WTS.

- **Lámina resumen:** sinóptico con resumen general del inventario, total y por zonas. Lista resumen de bidones y CMT existentes. Se muestran detalles adicionales al seleccionar cada bulto.
- **Lámina zonas:** selección de zonas y presentación de sinóptico detallado de bidones y CMT y sus características por cada zona. En el caso de las zonas pulmón, vista ampliada con posición real de los bidones (Figura 3) o bultos CMT en su área correspondiente (equivalente al uso de las pizarras actuales).
- **Lámina de control:** permite el movimiento de bidones y CMT según el avance del proceso mediante la pantalla táctil. Modificación de los datos según la realización de actividades. Asignación de información adicional a cada ítem.
- **Lámina registros:** consulta de registros a tiempo real o históricos y generación de informes (entrada/salida de bidones y bultos CMT, bidones procesados, bidones con material de rechazo del proceso, etc.).
- **Lámina de avisos:** alertas de diferente índole, útiles para facilitar el control del inventario. Por ejemplo: tiempo de fraguado de CMT completado, tiempo de enfriamiento entre capas de CMT completado, etc.

El alcance de la herramienta TEC-WTS se limita inicialmente al control de los procesos bajo la responsabilidad de Tecnatom. Sin embargo, la aplicación podría ampliarse para su uso en otros procesos de gestión de residuos de la planta.

Este tipo de aplicación no requiere tiempos de desarrollo elevados, y se puede desarrollar desde versiones escalables. De este modo, es posible tener operativo, en unas pocas semanas, un sistema robusto de control del inventario.

Con el TEC-WTS se garantizará un control consistente del inventario y se permitirá el seguimiento de todo el proceso en tiempo real, desde cualquier punto. Su implementación aportará flexibilidad y agilidad en la obtención de registros y en la generación de informes.

CONCLUSIONES

El reprocesamiento de residuos requiere de un estricto control del inventario durante todas sus fases. Durante operaciones de gestión no ordinarias, como es el caso del reprocesamiento de residuos no tipificados, de naturaleza histórica, el control del residuo puede verse dificultado por la aparición de movimientos y operaciones no habituales para los sistemas de gestión ordinarios de las plantas.

Con herramientas informáticas, como la aplicación TEC-WTS, es posible mantener de manera ágil todo el control del inventario y aportar consistencia a la generación, consulta y conservación de los registros necesarios.

AGRADECIMIENTOS

Nuclenor S.A. ■

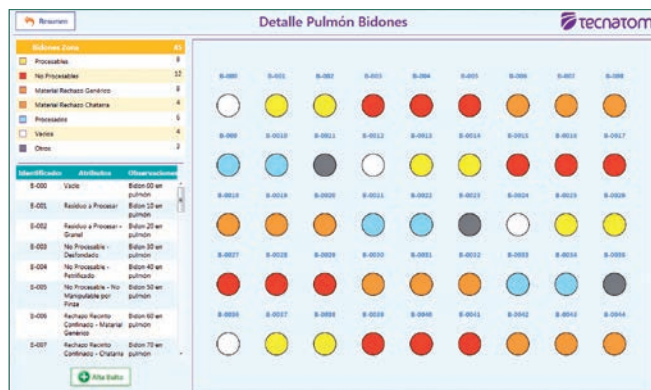


Figura 3. Lámina de zona pulmón de bidones.

- [1] IAEA SF-1, Principios Fundamentales de Seguridad.
- [2] IAEA GSR-Part 5, Gestión previa a la disposición final de desechos radiactivos.
- [3] CSN Guía de Seguridad 9.3, Contenido y criterios para la elaboración de los planes de gestión de residuos radiactivos de las instalaciones nucleares.

REFERENCIAS



CORTE Y ACONDICIONAMIENTO DE BARRAS DE CONTROL Y CANALES EN C.N. COFRENTES

Debido a la saturación de las piscinas de combustible gastado de C.N. Cofrentes se ha puesto en marcha el Proyecto de Corte de Barras de Control y Canales de Combustible. Dichos residuos serán sometidos a un proceso de corte tras el cual una parte volverá a las piscinas reduciendo el volumen ocupado en las mismas y la otra parte, se acondicionará en contenedores metálicos de acuerdo a los criterios de aceptación de El Cabril, donde posteriormente serán almacenados. El proyecto permitirá retrasar en un ciclo completo (dos años) la fecha de necesidad para la instalación de almacenamiento en seco de combustible gastado.

INTRODUCCIÓN

Dentro del conjunto de residuos radiactivos que generan las centrales nucleares, se encuentran los denominados *residuos especiales*. En esta categoría se sitúan los residuos que sin contener elementos físi-les, presentan niveles de actividad o contenidos en isótopos de vida larga que no permiten su almacenamiento en el repositorio de residuos de baja y media actividad (RBMA) de El Cabril.

Entre estos residuos especiales se incluyen los canales de elementos combustibles y las barras de control de la central nuclear de Cofrentes que son objeto de este proyecto de gestión y acondicionamiento.

Los canales son un componente de la parte externa del elemento combustible que, en ciertas ocasiones, sufre unos niveles de deformación durante su irradiación en el núcleo que obligan a su sustitución por un nuevo canal, convirtiéndose en un residuo.

Las barras de control en un reactor tipo BWR, como el de Cofrentes, tienen una vida útil determinada por el agotamiento de su capacidad como absorbente neutrónico o por alcanzar determinados niveles de desgaste que pueden comprometer su integridad mecánica. En estos casos son también sustituidas y almacenadas en las piscinas de la central.

SITUACIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE CANALES Y BARRAS DE CONTROL EN C.N. COFRENTES

Las barras de control y los canales de elementos combustibles se encuentran almacenados en las pisci-

nas de combustible gastado de la central. Las barras se sitúan en colgadores anclados al bordillo de las piscinas y los canales ocupan posiciones en los racks reservados a los elementos combustibles (Figura 1).

Debido a la saturación de posiciones en estos racks y en los colgadores de las barras de control, ha sido necesario poner en marcha el Proyecto de Corte de Barras de Control y Canales de Combustible con el objetivo de reducir la ocupación en piscina y ampliar la capacidad hasta el momento en que se disponga de una instalación para el almacenamiento en seco del combustible gastado.

En el caso de estos elementos, de acuerdo a su composición isotópica inicial y sus niveles de activación y según referencias previas en su gestión en otras centrales, parte del material puede cumplir con los criterios de aceptación para RBMA, reduciendo por tanto el volumen a almacenar en piscina y permitiendo optimizar la capacidad disponible.

Tras su finalización, el proyecto habrá permitido reducir a la mitad el número de colgadores ocupados sobre la piscina de combustible gastado y recuperar el número de posiciones necesarias en los racks para retrasar en un ciclo completo (dos años) la fecha de necesidad para la instalación de almacenamiento en seco de combustible gastado (ATI).

La primera actividad del proyecto consistió en realizar una completa caracterización radiológica del inventario de barras y canales para poder clasificar adecuadamente todo el material.



LUIS LÓPEZ ÁLVAREZ

Responsable del área de Combustible Usado e Innovación
IBERDROLA GENERACIÓN NUCLEAR
Ingeniero Industrial del ICAI.



SUSANA GUTIÉRREZ MARTÍNEZ

Responsable de Gestión de Residuos en el área de Combustible Usado e Innovación
IBERDROLA GENERACIÓN NUCLEAR
Ingeniera Industrial especializada en Tecnologías Energéticas.

CUTTING AND CONDITIONING OF CONTROL RODS AND FUEL CHANNELS IN COFRENTES NPP

Saturation of the spent fuel pools in C.N. Cofrentes has driven to starting the Project for Cutting and Conditioning of Control Rods and Fuel Channels. This waste will be subjected to a cutting process after which one part will return to the pools reducing the volume occupied in them and the other part will be conditioned in metallic containers according to the acceptance criteria of El Cabril where they will be later stored. The project will allow to delay in a complete cycle (2 years) the date of need for the spent fuel dry storage facility.



CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS BARRAS DE CONTROL Y CANALES

En el proceso de caracterización y clasificación de las barras y canales se combinó la realización de medidas radiológicas en piscina con la elaboración de un modelo teórico de activación, mediante la utilización del historial de irradiación de los elementos y la simulación con códigos de transporte neutrónico.

Como resultado de la caracterización y clasificación realizada para este tipo de residuos especiales, se concluye que la parte inferior de las barras de control que consiste en una pieza fundida que actúa como limitador de velocidad y el acoplamiento del mecanismo de accionamiento de la barra de control (llamadas limitadores de velocidad), pueden ser gestionados como residuos RBMA Nivel 2 para su almacenamiento en El Cabril. El resto de la barra mantiene su clasificación como residuo especial y, por tanto, debe permanecer almacenada temporalmente en piscina.

En el caso de los canales, se concluyó que cumpliendo con un mínimo tiempo de enfriamiento en piscina para el decaimiento en los niveles de cobalto 60, todo el material puede ser clasificado como RBMA, con excepción de los cabezales inferiores en los canales procedentes de elementos de tecnología Westinghouse.

El material que no se haya podido clasificar como RBMA, se seguirá almacenando en las piscinas de combustible gastado, pero habremos podido reducir sustancialmente el espacio ocupado.

CORTE Y SEGREGACIÓN DE RBMA

Para segregar los materiales de acuerdo a los resultados de la clasificación y para optimizar la reducción de volumen posterior, se ha puesto en marcha un proyecto con General Electric Hitachi y ENSA como tecnólogos en el que se realizan las siguientes operaciones de corte en el caso de las barras de control:



Figura 1.

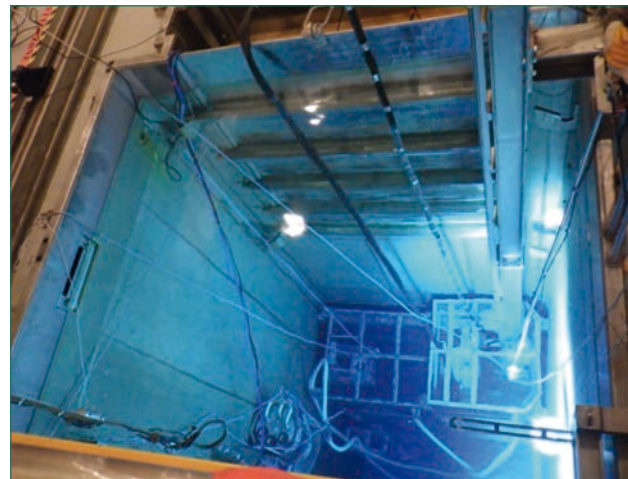


Figura 2.

- Corte transversal para separar el limitador de velocidad del resto de la barra de control.
- Corte longitudinal a lo largo del alma de la barra de control para dividirla en dos fragmentos en forma de V.

Todas las operaciones de corte se llevan a cabo bajo agua en la piscina del cofre del Edificio de combustible. Para ello se dispone de dos estaciones de corte paneladas para evitar la dispersión de viruta en la piscina (Figura 2).

- **Estación de corte I.** En esta estructura irá anclado el cabezal de corte transversal que separa el limitador de velocidad del resto de la barra de control a través de un disco de 800 mm. de diámetro. Este cabezal tiene unas pinzas que sujetan la barra de control mientras corta el limitador de velocidad. El limitador, una vez cortado, se colocará con la ayuda de unas pinzas neumáticas en una cesta de blindaje dispuesta en el fondo

de la piscina del cofre. Dichas cestas tienen capacidad para 12 limitadores y tienen 10 mm de acero al carbono en los laterales y 25 mm en el fondo.

En esta estación se realiza también el corte de los canales en el número de segmentos necesario para su posicionamiento en el bulto de gestión.

- **Estación de corte II.** Esta estructura alberga el cabezal de corte longitudinal y el sistema de trincaje (sujeción y posicionamiento) de la barra de control.

El cabezal de corte se desplaza por una guía desde el fondo hasta la superficie del pozo para facilitar los cambios de disco. El disco de corte tiene un diámetro de 800 mm.

El sistema de trincaje consta de tres tramos de sujeción con 12 actuadores neumáticos cada uno. Cada uno de estos tramos contiene dos tipos de bloques en forma de cuña, unos fijos y otros móviles que bloquean la barra de control contra los primeros consiguiendo la fijación de la barra en toda su longitud.

Una vez retirado el limitador de velocidad el peso del material que debe ser almacenado en piscina se ve significativamente reducido. De este modo cuatro V (uves) obtenidas tras el corte longitudinal de dos barras de control se pueden almacenar en un estuche diseñado para ser almacenado de nuevo en el colgador, reduciendo así las posiciones ocupadas en piscina a la mitad.

ACONDICIONAMIENTO DE LOS LIMITADORES DE VELOCIDAD

Para la aceptación de los limitadores de velocidad como residuos RBMA Nivel 2 en El Cabril es necesario acondicionarlos de acuerdo a los criterios de aceptación establecidos por Enresa.

El acondicionamiento del residuo se realizará en la piscina de descontaminación del cofre del Edificio de combustible. Dado el tipo de residuo y las tasas de dosis asociadas al mismo, las tareas de acondicionamiento se llevarán a cabo

sin intervención manual. Para ello se utilizan los siguientes equipos:

- Estructura con blindaje móvil. Este equipo se ubica en la piscina de descontaminación y dispone de un blindaje móvil que se retira para que se pueda colocar el CMT en la piscina y se posiciona sobre la vertical de ese CMT para blindar la dosis que emite el residuo que hay alojado en el interior del CMT.
- Tolva de agitación y vertido de hormigón, es un equipo para preparar y contener el hormigón y poder transportarlo desde el exterior del edificio hasta el punto de vertido en la estructura con agitación continua. Para verter el hormigón sobre todo el CMT de forma controlada, la tolva dispone de una válvula motorizada de paso del hormigón y una canaleta giratoria de vertido (Figura 3).
- Grupo hidráulico para fabricación de hormigón. Este equipo se ubica en el exterior del edificio en una zona acondicionada para la fabricación de hormigón. Se conecta hidráulicamente a la tolva para darle servicio al motor hidráulico que acciona el agitador de la tolva.
- Herramienta de pisado. Este equipo se utiliza para pisar el mortero ligero introducido en el CMT ligero distribuyéndolo por toda la superficie del CMT y nivelándolo.
- Sistema CCTV. Está formado por dos cámaras fijas y un monitor de visualización. Una de las cámaras está montada en la parte superior de la piscina y la otra en la estructura. El monitor TV se ha instalado en el cuadro de control de la tolva y estructura.
- Equipo NUSCMT. Este equipo se utiliza normalmente para la manipulación de contenedores CMT. Para la instalación considerada también se podrán manipular los siguientes elementos: tapas de CMT, tolva de vertido, blindaje móvil y herramienta de pisado (Figura 4).

Los bultos empleados para el acondicionamiento de limitadores de velocidad son contenedores metálicos tipo CMT dotados de una pared de conglomerante hidráulico de al menos 5 cm. Las cestas de blindaje introducidas en los contenedores se inmo-



Figura 3.

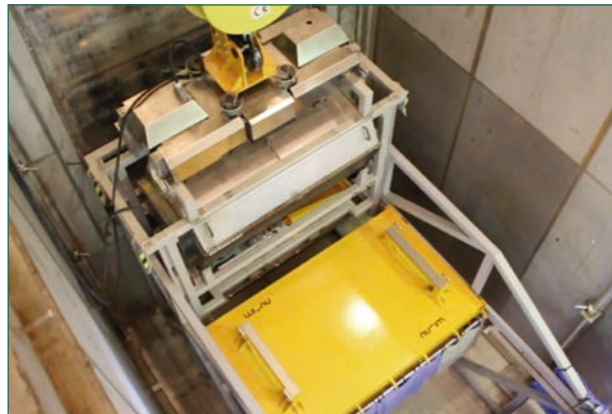


Figura 4.

vilizarán mediante mortero ligero y posteriormente se realiza el sellado del bulto mediante mortero tipo El Cabril.

Durante las actividades de corte en la piscina del cofre se irán llenando cestas de blindaje. Cuando una cesta está completa se eleva mediante una campana de blindaje, se chorea y se drena por gravedad. Una vez transcurrido el tiempo estimado para su drenado se lleva a la piscina de descontaminación donde se introduce en un CMT prehormigonado. En este momento, se retira la campana de blindaje al tiempo que se superpone horizontalmente un blindaje móvil sobre el CMT.

A continuación se posiciona la tolva cargada con el mortero lige-

ro y se vierte en el CMT a través de una canaleta dotada con giro para facilitar la distribución del mortero y por tanto el relleno del bulto. Si bien el mortero ligero permite rellenar el contenedor inmovilizando el residuo sin exceder la limitación de peso del bulto (3.500 Kg), la baja densidad del árido que contiene provoca segregación en el vertido y por tanto dificulta la nivelación del mortero en el bulto. Por ello, una vez realizado el vertido de mortero ligero se emplea una herramienta de pisado para conseguir su nivelación y distribución dentro del CMT.

Transcurrido el tiempo de fraguado del mortero ligero se colocará la tapa del CMT y el bulto será trasladado al Almacén Temporal de Bidones (ATB) para finalizar su acondicionamiento mediante el vertido de una losa de mortero de sellado de al menos 5 cm de espesor (Figura 5).

El bulto una vez conformado se pesa y se introduce dentro de un arcón blindado dotado con doce detectores para realizar su caracterización final y el atornillado de la tapa, quedando entonces conformado y a la espera de su retirada por Enresa.

CONCLUSIONES

En la central de Cofrentes se ha desarrollado una metodología para la gestión integral de residuos especiales que permite segregar la parte de material que cumple con los criterios de almacenamiento en El Cabril y reducir el volumen ocupado en piscina por la fracción que no los cumple. Con la ejecución del proyecto de corte y acondicionamiento se permitirá retrasar la saturación de piscina en un ciclo completo de operación (24 meses).■



Figura 5.

PLAN DE RECLASIFICACIÓN DE RESIDUOS ESPECIALES DE LAS CENTRALES NUCLEARES ALMARAZ Y TRILLO

Las centrales nucleares de Almaraz y Trillo están llevando a cabo un plan de reclasificación de residuos especiales, actualmente almacenados temporalmente en las piscinas de combustible gastado de las centrales. Dicho plan pretende establecer una vía de gestión para estos residuos, y por consiguiente una posible liberación de posiciones de las piscinas. En este artículo se describen las diferentes etapas de este plan, con especial énfasis en la aplicación de la metodología de caracterización para este tipo de residuos, necesaria para definir la modalidad de gestión, así como en el estudio de las posibilidades de acondicionamiento como bultos de residuo de media y baja para su almacenamiento por Enresa en El Cabril. Además, dicha modalidad, será incorporada en el Plan de Gestión de Residuos de ambas centrales.

INTRODUCCIÓN

Se consideran residuos especiales los residuos estructurales, aditamentos del combustible nuclear, instrumentación nuclear usada o componentes sustituidos provenientes del sistema de refrigeración del reactor y componentes del combustible. Son componentes que pueden encontrarse activados debido al flujo neutrónico al que han estado sometidos. En general, se encuentran almacenados en las piscinas de combustible de las centrales nucleares y no tienen definida una gestión dado que no han sido caracterizados radiológicamente.

Dada la alta ocupación de las piscinas, en las Centrales Nucleares de Almaraz y Trillo (CNAT) se está llevando a cabo, desde 2016, un plan de reclasificación de estos residuos especiales cuyo objetivo es establecer posibles alternativas para su gestión de forma que, además, permita liberar posiciones ocupadas en las mismas. Para poder definir la mejor gestión posible, es necesario, previamente caracterizar radiológicamente los residuos con el fin de conocer su nivel de actividad.

El objetivo de este artículo es describir las diferentes etapas del plan de reclasificación que CNAT está llevando a cabo, especialmente en la fase de caracterización radiológica desarrollada por Gas Natural Fenosa engineering (GNFe), que incluye el análisis de las diferentes alternativas de acondicionamiento para la gestión final de los residuos especiales.

METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN

La metodología de caracterización radiológica de residuos especiales utilizada, desarrollada por GNFe, se

basa fundamentalmente en la estimación de actividad a partir de:

- Realización de medidas de tasa de dosis del material residual.
- Simulación de la irradiación en el reactor mediante el código Origin.
- Simulación del transporte de partículas (fotones) desde el residuo hasta el punto de medida de la tasa dosis. Para ellos se utilizan códigos como Mavric o MCNP.

En la Figura 1 se describen las etapas principales de la metodología de caracterización. La dificultad para el implementar este proceso radica, por un lado, en las condiciones para la realización de las medidas de tasa dosis, dado que los residuos se encuentran almacenados en zonas con altos niveles de radiación por lo que hay llevarlos a una ubicación donde no exista influencia de otros materiales y con garantías de cumplimiento del criterio Alara para los trabajadores. Las medidas se realizan bajo agua y con sondas con rangos de medida apropiadas para los niveles de radiación esperados. Por otra parte, para la simulación con los códigos indicados, es necesario disponer de una gran cantidad de datos como pueden ser el tiempo de irradiación que han estado en piscina, el elemento de combustible con el que ha estado (para los aditamentos) o la posición en el reactor, así como datos geométricos y composición de los materiales. En este sentido es necesario conocer hasta el detalle de las trazas de todos los isótopos, especialmente aquellos que al activarse puedan dar lugar a radionucleidos emisores gamma o radionucleidos

CARLOS MONTENEGRO PALMERO

Combustible.
CENTRALES NUCLEARES ALMARAZ-TRILLO

ALEJANDRO MOYSI AMIEVA

Jefe de Protección Radiológica
C.N. ALMARAZ

JAVIER DE LA HOZ CASTILLÓN

Jefe de Protección Radiológica
C.N. TRILLO

NATALIA GÓMEZ CASTAÑO

Departamento de ingeniería nuclear.
IZHARIA INGENIERÍA

MIGUEL ÁNGEL RODRÍGUEZ GÓMEZ

Ingeniería de Combustible.
GAS NATURAL FENOSA ENGINEERING

RECLASSIFICATION PLAN FOR SPECIAL RADIOACTIVE WASTE IN ALMARAZ AND TRILLO NUCLEAR POWER PLANTS

Almaraz and Trillo Nuclear Power Plants are carrying out a reclassification plan for special radioactive waste, currently temporarily stored in the spent fuel pools. This plan aims to establish a management path for these waste, and therefore a possible release of pool positions. This article shows the stages of this plan, with special emphasis on the application of the special radioactive waste characterization methodology, necessary to define the radioactive waste management. Besides it shows the study of the waste conditioning as low and medium level waste for storage in El Cabril.



1. Determinación de la distribución isotópica de los materiales activados.

Se simula con el código Origen la activación de los materiales constituyentes de los componentes en base a los datos del modelo de reactor y para un conjunto de valores del flujo, obteniéndose una distribución isotópica para cada material considerado.

Se comprueba de este modo una dependencia lineal de la actividad con el flujo neutrónico, que se define mediante la siguiente ecuación:

$$A_{ij} \text{ (MBq)} = m_{ij} \phi \text{ (n/cm}^2 \text{ s)} + n_{ij}$$

Donde:

A_{ij} : Actividad del radionucleído "i" contenido en el residuo (MBq) correspondiente al material j.

ϕ : Flujo neutrónico (n/cm² s)

m_{ij} : Pendiente de la recta para el radionucleído i del material j.

n_{ij} : Ordenada en el origen para el radionucleído i del material j.

2. Determinación de la actividad de los emisores γ

A partir de las características geométricas, la composición de materiales, la distribución isotópica (punto 1) y la tasa de dosis medida; se obtendrá la actividad isotópica debida a los emisores γ mediante el uso de códigos de simulación como Mavric o MCNP. Para ello se calcularán los factores de paso Actividad / Tasa de Dosis para cada componente, teniendo en cuenta el material y la geometría.

La actividad total debida a emisores γ se obtendrá de acuerdo a la siguiente expresión:

$$A_{\gamma} = \frac{TD}{\sum_{i=1}^n (d_i \cdot F_i)}$$

Donde:

A_{γ} : Actividad total debida a los emisores γ

TD : Tasa de dosis representativa (μ Sv/h).

n : Número de radionucleídos considerados.

F_i : Fracción del radionucleído emisor gamma "i" en el residuo (en tanto por uno) obtenido de la distribución isotópica (punto 1).

d_i : Factor de correlación del radionucleído i calculada para el componente irradiado (μ Sv/h / MBq).

3. Determinación del flujo neutrónico

El flujo neutrónico al que han estado sometidos los componentes se obtendrá a partir de la actividad de cualquiera de los emisores γ (punto 2) y la función descrita en el punto 1.

$$\phi \text{ (n/cm}^2 \text{ s)} = (A_{ij} \text{ (MBq)} - n_{ij}) / m_{ij}$$

4. Determinación de la actividad isotópica del resto de emisores y actividad total

La actividad del resto de isótopos contribuyentes a la actividad total se determinará mediante Origen introduciendo como dato el flujo neutrónico al que ha estado sometido el componente, obtenido en el punto 3).

ponamiento, barras de control, cabezales desmontados, esqueletos de EC y otros que ocupan posiciones en los racks de piscina.

En la Unidad I de la central nuclear de Almaraz hay 16 posiciones en la piscina de combustible gastado ocupadas exclusivamente con residuos especiales, en la Unidad II existen 17 posiciones en la piscina, mientras que en C.N. Trillo únicamente 3.

DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES

El Plan de reclasificación de residuos de CNAT ha consistido, hasta ahora, en la caracterización radiológica de los residuos indicados en la Figura 2, y determinar sus posibles modalidades de gestión.

Para la reclasificación de estos se residuos se han llevado a cabo la siguiente secuencia de operaciones.

1. Extracción del residuo de la posición de piscina en la que se encontraba por parte de las Secciones de Ingeniería del Reactor y Operación a la zona definida para su medida y donde la influencia a la dosis por otros residuos no sea relevante (por ejemplo, en C.N. Almaraz se eligió la zona del pozo de cofres). Previamente al movimiento del residuo, la Sección de Protección Radiológica toma medidas de las tasas de dosis en dichas áreas para confirmar que es la adecuada.
2. Realización de las medidas de tasa de dosis por parte de la Sección de Protección Radiológica. Los puntos de medida fueron establecidos previamente para realizar la modelización y con objeto de comprobar el grado de homogeneidad de la activación del residuo se realizaron varias medidas. En la Figura 3 se muestra un ejemplo de los puntos elegidos para la realización de las medidas en un cabezal superior de C.N. Almaraz. Como se ha indicado las medidas se realizan bajo agua.
3. Realización las simulaciones con los códigos indicados en la metodología de caracterización (Figura 1) con el objeto de obtener la actividad de los residuos. En la Figura 4 se muestra la simulación con el código Mavric de una barra de control de C.N. Trillo.
4. Definición, con base en los resultados de actividad obtenidos, si el residuo puede ser clasificado como residuo de baja y media actividad (RBMA) cumpliendo los criterios de almacenamiento en El Cabril o, por el contrario, supera dichos límites. En caso afirmativo, analizar su po-

Figura 1. Metodología de caracterización de residuos especiales.

C.N. Almaraz	C.N. Trillo
<ul style="list-style-type: none"> • 16 cabezales superiores. Unidad 1 • 1 cabezal superior. Unidad 2 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 barras de control. • Veneno consumible. • 2 dispositivos de taponamiento. • Cesta de tuercas. • Chapa de protección del yugo. • Dedos detectores de potencia. • Columna guía. • Sonda de nivel. • Muelle interno superior.

Figura 2. Residuos caracterizados a 31/12/2017.

cuya actividad se encuentra limitada para su almacenamiento en El Cabril, como pueden ser cobalto, níquel, niobio, etc.

SITUACIÓN DE LAS CENTRALES

Como se ha indicado anteriormente, los residuos especiales se almacenan temporalmente en la piscina

de combustible gastado. En general, los aditamentos (barras de control, venenos neutrónicos, fuentes, etc.) no ocupan posiciones de la misma, al estar insertados en elementos de combustible y se les asigna por tanto la posición del elemento. No obstante, existen residuos especiales, como dispositivos de ta-



sible extracción de la piscina de combustible gastado y acondicionamiento como bultos para su almacenamiento temporal en los almacenes temporales de residuos de Almaraz (ATRS) o Trillo (ZY3), según corresponda.

5. Análisis, en el caso de que tras la categorización el residuo resulte clasificado con RBMA, mediante simulaciones con el código Microshield posibles alternativas de acondicionamiento. Para ello se han analizado diferentes tipos de contenedores donde se acondicionarán los residuos y configuraciones:
 - Bidón de 220 litros prehormigonado, con distintos espesores de pared (5, 8 y 10 cm).
 - Contenedor metálico CMT de 1,3 m³.

Con esta simulación se obtiene como resultado las tasas de dosis de los bultos resultantes y además pueden ser comparados con los criterios de transporte incluido en el ADR.

Por otra parte, con las diferentes configuraciones, se analiza el cumplimiento de otros criterios de almacenamiento, como son el volumen mínimo de residuo por bulto o el peso máximo del bulto.

6. La alternativa de acondicionamiento elegida se desarrollará, con objeto de establecer las maniobras, diseñar blindajes y útiles para la manipulación de los residuos, con objeto de minimizar las dosis a los trabajadores (criterio Alara).
7. En paralelo se elabora la documentación necesaria (documento descriptivo del bulto o DDB) para la aceptación del bulto final por parte de Enresa, donde se describe todo el proceso de acondicionamiento, asignación de actividad, materiales auxiliares utilizados (bidones, mortero, blindajes) y controles que se realizan para garantizar su correcta fabricación.

RESULTADOS

Tras la aplicación de la metodología de caracterización de los residuos listados en la Figura 2 cabe destacar lo siguiente:

1. El caso más relevante es de los cabezales de C.N. Almaraz, que tras la aplicación del proceso podrían acondicionarse en un bidón de 220 litros prehormigonados con una pared de 10 cm hormigón y con una cesta para su manejo con un blindaje adicional de 2 cm de acero. Esto supondrá que, con la generación de alrededor de 35

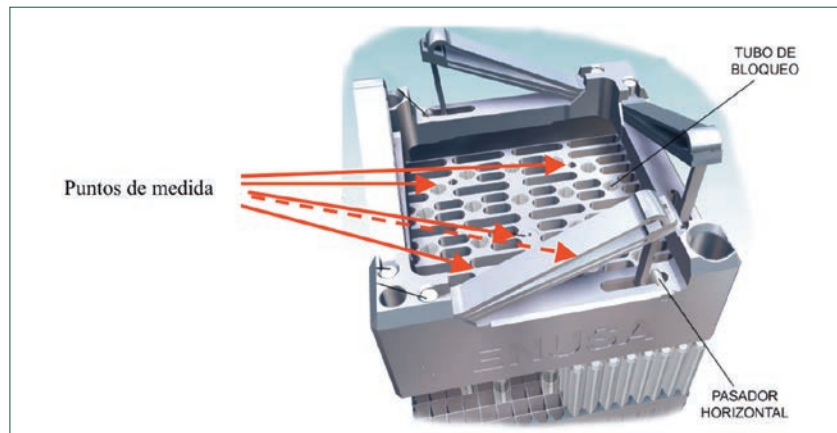


Figura 3. Puntos de medida de la tasa de dosis del cabezal.

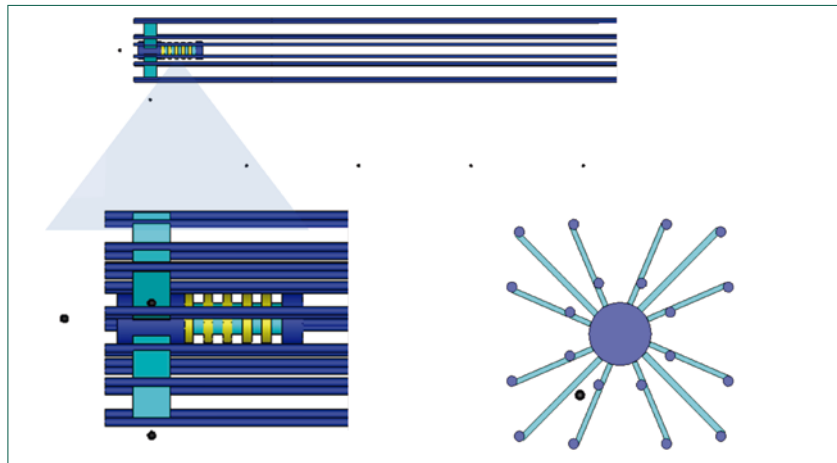


Figura 4. Modelo de Mavric de la barra de control de C.N. Trillo.

- bultos, podrán liberarse las cuatro posiciones de piscina de ambas unidades ocupadas actualmente por este residuo.
2. Los residuos analizados en C.N. Trillo, pueden ser reclasificados en su gran mayoría como RBMA, excepto los restrictores de caudal y los detectores de potencia, cumpliendo incluso en algunos casos los límites de nivel 1. En algunos tipos de residuos, como las barras de control y venenos consumibles, debido a sus dimensiones es necesario el corte de los mismos mediante la utilización de herramientas diseñadas a tal fin y cuyo estudio se está llevando a cabo en la actualidad.
3. Para el transporte de los bultos generados se requerirá el uso de contenedores blindados especiales, como los que se utilizan habitualmente para el transporte de bultos muy irradiantes de RBMA, dado que las tasas de dosis de los bultos generados superarán, en muchos casos y de acuerdo con los modelos desarrollados, los criterios de transporte establecidos en el ADR.

CONCLUSIONES

El plan de reclasificación de residuos de CNAT es un proceso de una gran complejidad y que conlleva la realización de una serie de actividades cuya responsabilidad esta asignada a diferentes secciones como son Protección Radiológica, Ingeniería del Reactor y Operación de ambas plantas, así como otras entidades externas como GNFe. Todas estas actividades están siendo coordinadas por el Departamento de Combustible. Por otra parte, el proyecto se está llevando a cabo de forma consensuada con Enresa como gestor final de los bultos que se generen.

Finalmente y como conclusión de las actuaciones del plan de reclasificación cabe destacar que la aplicación de la metodología de caracterización radiológica desarrollada por GNFe basada en la simulación con los códigos Origen y Mavric, y el estudio de configuración de bultos va a permitir que parte de los residuos analizados puedan ser acondicionados como bultos de RBMA siguiendo los criterios de aceptación de Enresa para su almacenamiento definitivo en El Cabril con la consiguiente liberación de posiciones de piscinas. ■



NATIONAL DISPOSAL FACILITY (NDF), INSTALACIÓN NUCLEAR DE ALMACENAMIENTO DEFINITIVO DE RESIDUOS DE MEDIA Y BAJA ACTIVIDAD DE BULGARIA. PROJECT MANAGEMENT UNIT DURANTE LAS ETAPAS DE PREPARACIÓN Y DISEÑO (2009-2016)

Para llevar la gestión integral del proyecto de construcción y operación de la instalación nuclear de almacenamiento definitivo de residuos radiactivos de media y baja actividad de Bulgaria (NDF), se creó dentro de la organización de SERAW (Empresa Estatal de Residuos Radiactivos de Bulgaria), un *Project Management Unit* (PMU). De 2009 a 2016 se realizó la ejecución de las etapas de Preparación y Diseño. El líder del Consorcio Consultor del PMU lo lidera Empresarios Agrupados Internacional S.A. El proyecto NDF está financiado por el fondo de financiación *Kozloduy International Decommissioning Support Fund* (KIDSF) administrado por el BERD.

Mediante resolución del Consejo de Ministros de Bulgaria de julio de 2005, la *State Enterprise Radioactive Waste* de Bulgaria (SERAW), debe construir una Instalación Nacional de Residuos de media y baja actividad (según la categorización del OIEA), denominada *National Disposal Facility* (NDF). La NDF aceptará los desechos operacionales y de clausura de todos los reactores nucleares existentes y planificados en Bulgaria, reactores de investigación, hospitales y aplicaciones industriales.

La Unión Europea colabora en este proyecto con el fondo de financiación *Kozloduy International Decommissioning Support Fund* (KIDSF), siendo administrado en nombre de la Unión Europea por el Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo (BERD).

Como primer paso para implementar la resolución, la *Bulgarian Nuclear Regulatory Agency* (BNRA), emitió un permiso en mayo de 2006, para realizar investigaciones preliminares para la selección del emplazamiento y para determinar la Base de Diseño de la NDF.

El *Grant Agreement* N° 011 entre Bulgaria y el BERD, aprobado por el *Assembly of Contributors* en diciembre de 2006, define los términos y condiciones para la gestión del proyecto de la NDF.

En esta primera etapa (selección de emplazamiento y solución conceptual de almacenamiento de la NDF), se estudiaron varios emplazamientos con respecto a su idoneidad

para ubicar la instalación. Después de un proceso de análisis que consideró las características de doce potenciales sitios, cuatro fueron identificados y preseleccionados. Se realizaron diversos estudios de caracterización preliminar de estos terrenos siendo el emplazamiento denominado Radiana el seleccionado para albergar la NDF. En paralelo, se llevó a cabo estudios previos al diseño para identificar posibles soluciones técnicas para la construcción del repositorio a nivel de suelo o a poca profundidad. Se analizaron los siguientes tipos de soluciones conceptuales de repositorio:

- Bóveda (ejemplos: Centre d'Obe, Francia y El Cabril, España).
- Silo-pozo (ejemplos: prototipo desarrollado en Bélgica y realizados en Suecia y Finlandia).
- Túnel (ejemplos realizados en Suecia y Finlandia).

Se seleccionó el tipo conceptual de trinchera con ingeniería modular de barrera múltiple, tomando como *Reference Facility* a El Cabril.

Con el fin de administrar, coordinar y supervisar todos los aspectos de la implementación de los proyectos relacionados con la preparación, diseño, construcción y operación de la NDF, financiados o cofinanciados con cargo al KIDSF, el *Grant Agreement* obligaba a la creación, dentro de la organización de SERAW, de un *Project Management Unit* (PMU), formado por personal de SERAW y por un consorcio consultor internacional con referencias contrastables en



MIGUEL ERNESTO GARCÍA-GUTIÉRREZ

Jefe de Proyectos

EMPRESARIOS AGRUPADOS INTERNACIONAL S.A.

Licenciado en Ciencias Físicas y Máster en Ingeniería Nuclear.

NATIONAL DISPOSAL FACILITY (NDF), REPOSITORY FOR THE LONG-TERM STORAGE OF LOW- AND MEDIUM-ACTIVITY RADIOACTIVE WASTE, BULGARIA. PROJECT MANAGEMENT UNIT DURING THE PREPARATION AND DESIGN STAGES (2009 – 2016)

A Project Management Unit (PMU) was set up within the Bulgarian State Enterprise for Radioactive Waste (SERAW) to carry out the comprehensive management of the construction project and operation of the National Disposal Facility for low and medium level radioactive waste (NDF) of Bulgaria. The Preparation and Design stages of the project were completed between 2009 and 2016. The Consultant Consortium of the PMU is led by Empresarios Agrupados Internacional S.A. of Spain. The NDF project is funded by the Kozloduy International Decommissioning Support Fund (KIDSF), administered by the European Bank for Reconstruction and Development (EBRD).



Figura 1. Localización general del emplazamiento Radiana. Al oeste de la central nuclear de Kozloduy está la ciudad de Kozloduy. Radiana está al sur de la central nuclear y del río Danubio, que es el límite internacional entre Bulgaria y Rumanía.

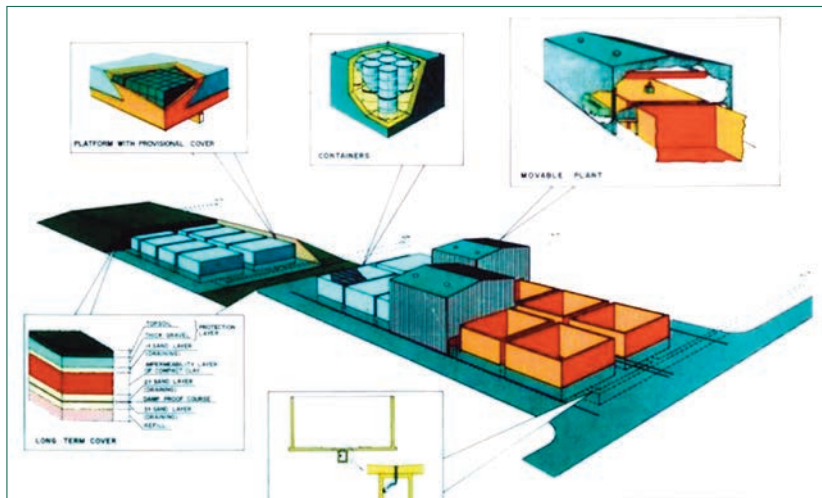


Figura 2. Esquema de un sistema conceptual de trinchera. Referencia: Estudio de Impacto Ambiental de la NDF obtenido de la Web de SERAW.

proyectos de instalaciones nucleares de almacenamiento.

En octubre de 2007, SERAW estableció el PMU para la etapa de preparación de la NDF que se denominó NDF PMU. En febrero 2009 se seleccionó mediante licitación internacional de acuerdo con las normas de la UE y el BERD, el consorcio consultor del PMU formado por Empresarios Agrupados Internacional S.A. (empresa líder), Enpro Consult Ltd. (Bulgaria) y Babcock Nuclear Ltd. (Reino Unido).

Para unificar esfuerzos y principalmente porque el proyecto de desmantelamiento de los cuatro primeros reactores de la central nuclear de Kozloduy (Unidades 1-4), pasó a ser responsabilidad de SERAW, se crea un único PMU para el proyecto de desmantelamiento de las Unidades 1-4 y para el proyecto NDF, denominado *Decommissioning-Repository Project*

Management Unit (D-R PMU). En enero de 2013 se selecciona mediante licitación internacional de acuerdo con las normas de la UE y el BERD, al consorcio consultor del PMU que está formado por Empresarios Agrupados Internacional, S.A. (empresa líder) y Nuvia Ltd. (Reino Unido).

El 10 de enero de 2013, el Consejo de Ministros de Bulgaria definió a la NDF como instalación estratégica para Bulgaria.

El alcance de este artículo únicamente trata del proyecto de la NDF, no es alcance de este artículo, tratar los trabajos realizados por el PMU para el proyecto de desmantelamiento de las Unidades 1-4 de Kozloduy.

El objetivo fundamental del consorcio consultor durante la preparación y diseño de la NDF es proporcionar la ingeniería necesaria y los recursos de gestión del proyecto

para la planificación, ejecución, gestión, coordinación y seguimiento de todas las labores del proyecto.

En la actualidad, el proyecto está en la etapa de construcción continuando como líder del consorcio consultor del PMU, Empresarios Agrupados Internacional, S.A.

DESCRIPCIÓN DE LA NDF

El diseño avanzado de la NDF recoge el estado del arte y experiencia mundial de diseño, construcción y operación de este tipo de repositorios. En particular aprovecha el diseño y la operación del repositorio de El Cabrill que es el *Reference Facility* de la NDF.

Básicamente, el repositorio es una instalación de tipo modular que permite la construcción sucesiva de bóvedas de celdas para aumentar gradualmente la capacidad de almacenamiento de los residuos radiactivos, según sea necesario

La construcción se planifica para llevarse a cabo en tres fases. El proyecto de construcción y operación de la primera fase abarca la construcción de las instalaciones y edificios auxiliares necesarias para la operación de la instalación, así como la primera plataforma formada por 22 celdas (cada celda contiene 288 contenedores) con capacidad de almacenamiento total de 6.336 contenedores de almacenamiento de residuos.

Las tres fases de la NDF tendrán capacidad de almacenar 19.008 contenedores que representan unos 138.200 metros cúbicos de desechos, o aproximadamente 345.000 toneladas de residuos.

CONTRATOS / PROYECTOS

Uno de los documentos importantes a nivel global de la NDF, que desarrolla y actualiza el consorcio consultor, es el Plan de adquisiciones (*Procurement Plan - PP*). El PP desarrolla la estrategia de adquisiciones del proyecto aprobado por SERAW y el BERD. El PP presenta los métodos y procedimientos que se usarán para cada proyecto de adquisición. El objetivo es garantizar que la financiación de KIDSF se gaste de acuerdo con los objetivos de inversión del BERD.

El PP incluye por cada proyecto el método de adquisición que se utilizará, los términos y condiciones que se aplicarán y los plazos clave relacionados con esa adquisición. El PP también resaltarán los puntos de espera en el proceso para cada actividad en la que se buscará y se obtendrá la aprobación de SERAW y la "no objeción" del BERD.

El proceso de contratación de cada proyecto se lleva a cabo siguiendo las reglas y políticas de contratación del BERD y las reglas de KIDSF, aunque en determinadas circunstancias, también se utilizó la documentación de contratación del FIDIC bajo acuerdo con el BERD.

Responsabilidades del consorcio por cada proyecto

Incluye los siguientes ítems:

- Desarrollo del *Project Identification Sheet* (PIS). Definición conceptual, desarrollo del estudio técnico y estimación de costes que sirve de base para la petición de fondos a la conferencia de donantes que supervisa el KIDSF;
- Desarrollo de la *Technical Specification* o *Term of Reference*;
- Desarrollo de la documentación administrativa para el proceso de Petición de oferta (*Tender Dossier*);
- Evaluación y dirección (junto con personal de SERAW del PMU) de los comités de *evaluation reports*;
- Apoyo al cliente en el control y supervisión de cada contrato.

ETAPA DE PREPARACIÓN

Durante esta etapa, los principales proyectos se agruparon en dos paquetes que fueron los siguientes:

R3: Proyectos relacionados con programas de monitoreo o vigilancia del emplazamiento RADIANA previo a la preparación del emplazamiento para la construcción de la NDF

Los proyectos fueron los siguientes: monitoreo/vigilancia geodésico; geotécnico; sísmico; hidrogeológico y análisis geoquímico; radiológico y meteorológico.

Cada proyecto está diseñado para recolectar datos ambientales específicos que colectivamente se usarán en la evaluación final de seguridad de la instalación. El período de ejecución de estos proyectos se definió para un periodo de tres años, no obstante estas actividades continuarán durante las siguientes etapas del ciclo de vida de la NDF.

Los trabajos realizados por el consorcio consultor fueron los ítems desde (a) a (d) y en algunos casos el ítem (e).

R5: Documentación de diseño de la

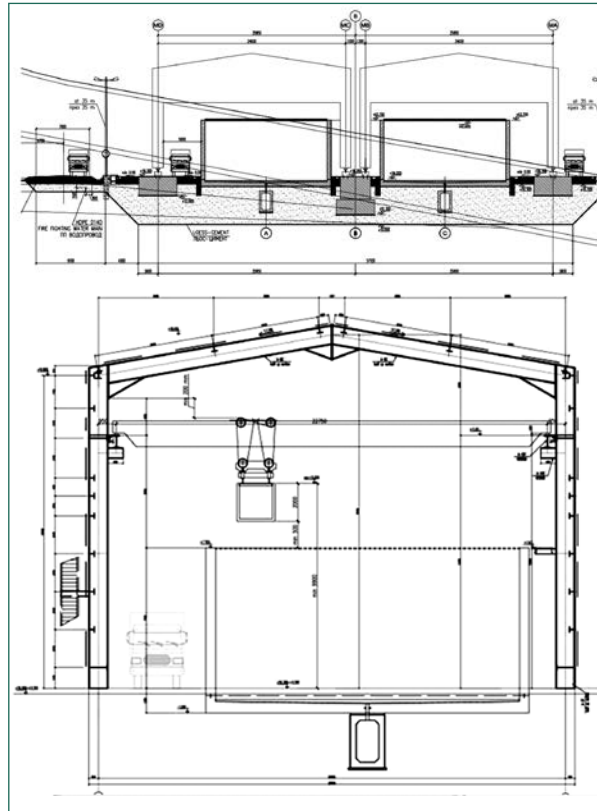


Figura 3. Secciones verticales de la NDF. Referencia: Estudio de Impacto Ambiental de la NDF obtenido de la Web de SERAW.

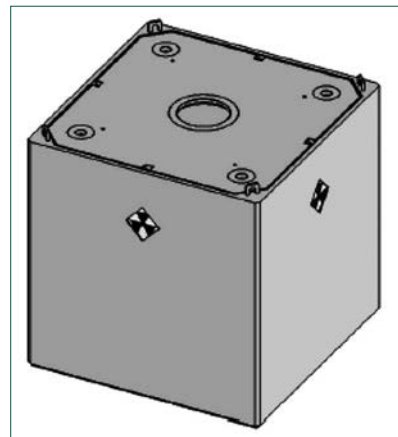


Figura 4. Contenedor de almacenamiento de residuos de la NDF (1,95m x 1,95m x 1,95m).

NDF

Se realizaron los ítems desde (a) a (d) necesarios para la contratación de un consorcio ingenieril internacional para la realización del *Conceptual Design*, *Technical Design*, *Intermediate Safety Assessment Report* (ISAR) de la NDF y *Technical Specification* para construcción de la NDF fase 1. Los trabajos empezaron en 2009 y se completaron (inicio de ejecución del contrato), en octubre de 2011. Entre los documentos que se generaron por el consorcio consultor

estuvo las Bases de Diseño de la NDF.

Es esta etapa, el contratista realizó el *Conceptual Design*. Siguiendo las especificaciones del contrato, el contratista desarrolló dos variantes diferentes de diseño conceptual, que diferían principalmente en la ubicación de las celdas de disposición de desechos dentro de los límites del emplazamiento. Para las dos variantes de diseño, y para dos subvariantes adicionales que implicaban diseños alternativos para ciertos detalles del repositorio, también se llevó a cabo una evaluación exhaustiva sobre la base de un análisis de atributos múltiples. El *Conceptual Design* tuvo varias revisiones y en todas ellas el consorcio consultor del PMU realizó su labor de revisión de los documentos. Con los resultados obtenidos y recomendados por el contratista, SERAW seleccionó una de las variantes en diciembre de 2012.

ETAPA DE DISEÑO

Durante esta etapa y siguiendo los trabajos empezados en la etapa de preparación de la NDF, se realizaron los siguientes paquetes de proyectos:

R3: Programa de monitoreo o vigilancia del emplazamiento Radiana durante la preparación del emplazamiento y construcción de la NDF

Formado por los siguientes proyectos:

- Monitoreo geodésico.
- Suministro de equipos técnicos para el *loess-cement cushion* de la NDF y control del hormigón y monitoreo de su construcción.
- Análisis de laboratorio y prueba de monitoreo de campo para la justificación de los parámetros de diseño del *loess-cement cushion* de la NDF.
- Monitoreo sísmico.
- Monitoreo hidrogeológico y análisis geoquímico.
- Monitoreo radiológico (Programa de vigilancia radiológica ambiental preoperacional).
- Monitoreo meteorológico.

Se continuaron con los trabajos realizados en la anterior etapa. Se amplió el alcance de los contratos hasta la etapa de construcción de la NDF. Se reemplazó el proyecto de monitoreo geotécnico que no había llegado a la fase de ejecución sustituyéndola por suministro de equipos y análisis de laboratorio. En los proyectos que no habían empezado por cambio del



Figura 5. Emplazamiento Radiana incluyendo sus límites.

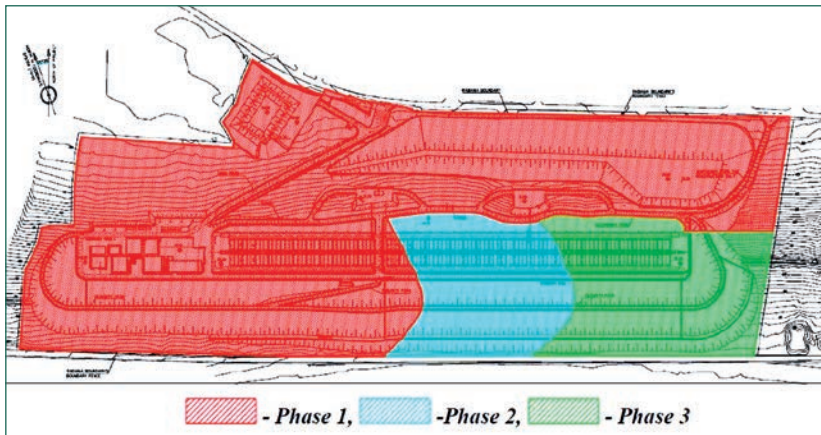


Figura 6. Diseño de la NDF en sus tres fases. Referencia: Estudio de Impacto Ambiental de la NDF obtenido de la web de SERAW.

alcance de la actividad, se realizaron los ítems (b) a (d). En los proyectos que estaban en ejecución del contrato, se realizó (entre otras actividades) la revisión de la documentación técnica entregable por contrato.

R4: Preparación del emplazamiento RADIANA para la construcción de la NDF

Formado por los siguientes proyectos:

- Construcción de una valla alrededor del emplazamiento.
- Proporcionar suministro de energía al emplazamiento.
- Proporcionar suministro de agua al emplazamiento.
- Reubicación de los cables de comunicación existentes.
- Reubicación de la línea eléctrica existente.
- Reubicación del canal de riego existente que cruza el emplazamiento.
- Rehabilitación de la carretera de acceso entre Harlets y Kozloduy.
- Construcción de un camino temporal para acceder a Radiana.
- Suministro de calefacción urbana al NDF.

- Conexión de aguas residuales de la NDF al punto de descarga.
- Conexión de agua de lluvia al punto de descarga.

Se realizaron los trabajos especificados desde (a) a (e).

R5: Documentación de diseño, técnica y de licencia para la obtención del permiso de construcción de la NDF

Lo componen los siguientes proyectos:

- Preparación del *Conceptual Design*, *Technical Design*, *ISAR de la NDF* y *Technical Specification* para la construcción de la NDF fase 1.
- Evaluación independiente del ISAR.
- Evaluación independiente del *Technical Design* de la NDF.

En esta etapa del proyecto donde el *Conceptual Design* ya estaba definido, el consorcio consultor realizó las tareas de supervisión de las diferentes revisiones del ISAR así como del *Technical Design*, generando informes técnicos de revisión de los documentos. Se dio asesoramiento a la PMU para la obtención de la aprobación del ISAR por parte del BNRA. Se definió el alcance y desarrollo del *Technical Specification* pa-

ra la construcción de la NDF fase 1, en coordinación con la PMU y el contratista del proyecto así como su revisión.

R8/9/10: Adquisición de Contratos para la construcción de la NDF fase 1

Lo componen los siguientes proyectos:

- Supervisión del diseño, durante la construcción de la NDF fase 1.
- Supervisión independiente de los trabajos de construcción de la NDF fase 1.
- Construcción de la NDF fase 1.

Se realizaron todos los trabajos del ciclo de vida de un proyecto anteriormente indicado hasta la selección del contratista.

CONCLUSIONES

Empresarios Agrupados Internacional S.A. como líder de los consorcios consultores de la PMU para la etapa de preparación, diseño y construcción de la NDF lleva realizando sus trabajos desde febrero de 2009 (en la actualidad se está en la etapa de construcción).

Las razones más importantes que definen el éxito del consorcio durante las etapas de preparación y diseño serían las siguientes:

- Conocimiento técnico del "Reference Facility" de la NDF que es la instalación El Cabril y que incluye la realización de distintos trabajos para ella.
- Capacidad técnica que cubra todas las disciplinas y especialidades necesarias.
- Conocimiento global del proceso de preparación y diseño de una instalación nuclear de almacenamiento para su óptima planificación y organización en proyectos.
- Seguimiento cercano de los trabajos de ejecución, dado que las interfaces entre contratistas son numerosas, complejas y se gestionan en un ámbito internacional.
- Flexibilidad adecuada para mitigar las dificultades encontradas y limitar su impacto.
- Transferencia de conocimientos y la adaptación de las prácticas internacionales al entorno búlgaro.

El trabajo se ha desarrollado con un equipo de trabajo en campo (Bulgaria) y un equipo multidisciplinar en las oficinas de las empresas del consorcio.

Por lo tanto, las actividades realizadas por el consorcio dentro de la PMU, de ingeniería, gestión de compras y seguimiento de ejecución han contribuido a lanzar en conformidad con la planificación, todas las actividades del Proyecto NDF en sus etapas de preparación y diseño, según los estándares internacionales aplicables al proyecto. ■



EL CURSO UPM-CIEMAT SOBRE GESTIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS: FORMACIÓN ESPECIALIZADA DESDE 1989

Desde febrero de 1989, con el patrocinio de Enresa, y fruto de la colaboración entre la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid (ETSII-UPM) y el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat), se viene impartiendo el curso sobre *Gestión de residuos radiactivos*, por el que han pasado en estos años más de 900 titulados superiores de distintas ramas relacionadas con la gestión de residuos radiactivos. El curso comenzó siendo de doctorado y postgrado, pasando posteriormente a estar integrado como asignatura del máster universitario en Ciencia y Tecnología Nuclear de la UPM y del máster en Ingeniería Nuclear y Aplicaciones -MINA- de la Universidad Autónoma de Madrid y el Ciemat. En 2018 celebrará su vigésimo séptima edición, lo que sin duda constituye todo un hito destacado en el panorama actual de la formación en el campo nuclear.

INTRODUCCIÓN

En febrero de 1989, por iniciativa de la Cátedra de Tecnología Nuclear, con el patrocinio de Enresa, y fruto de la colaboración entre el Instituto "José Antonio de Artigas" de la ETSII-UPM y del Instituto de Estudios de la Energía del Ciemat, se comenzó a impartir el curso de doctorado de la UPM sobre *Gestión de residuos radiactivos*, también ofrecido con carácter de postgrado a través de ambos institutos. Posteriormente el curso ha pasado a estar integrado como asignatura del máster universitario en Ciencia y Tecnología Nuclear de la UPM y del máster en Ingeniería Nuclear y Aplicaciones -MINA- de la Universidad Autónoma de Madrid y el Ciemat, siendo un claro ejemplo de optimización de los recursos nacionales existentes. La andadura del curso completará en 2018 su vigésimo séptima edición, lo que sin duda constituye todo un hito destacado en el panorama actual de la formación en el campo nuclear.

En estos años, por las aulas del curso han pasado más de 900 titulados superiores, ingenieros y licenciados en ciencias de distintas ramas, en su mayoría estudiantes, pero también muchos profesionales pertenecientes a Enresa, al CSN, al Ciemat y otros centros de investigación, a hospitales, a Protección Civil a nivel nacional, local y autonómico, y a las empresas de servicios y de ingeniería relacionadas con la gestión de resi-

duos. En conjunto cabe afirmar, que el curso ha contribuido decisivamente en estos 29 años a consolidar la preparación de los profesionales dedicados a la gestión de los residuos radiactivos.

CONTENIDO DEL CURSO

Desde su primera edición, los textos escritos de las distintas lecciones se han publicado por la editorial del Ciemat en dos volúmenes (Foto 1), pasando a ser edición electrónica a partir de 2005 y, accesible a los participantes junto con las presentaciones del curso a través del Aula Virtual del Ciemat. En sus ediciones actuales, el curso revisa, a lo largo de 36 lecciones, los aspectos generales de la generación, tratamiento y acondicionamiento de residuos radiactivos, los criterios básicos de Seguridad y Protección Radiológica, las cuestiones técnicas detalladas de la gestión tanto de residuos de baja y media actividad, como de los de alta actividad específica, así como del desmantelamiento de instalaciones, para terminar con los aspectos generales e institucionales. Dicho programa es presentado por especialistas en cada tema, pertenecientes a Enresa, el CSN, el Ciemat, la UPM y la Industria. Su contenido se describe a continuación brevemente.

En la primera parte, dedicada a los **aspectos generales sobre los residuos radiactivos**, se presentan la



EDUARDO GALLEGO

Catedrático de Ingeniería Nuclear en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



SUSANA FALCÓN

Responsable de Formación en Protección radiológica y Tecnología Nuclear de la División de Gestión del Conocimiento

CIEMAT



MARÍA LUISA MARCO

Directora de la División de Gestión de Conocimiento & Formación del y responsable del Centro virtual.

CIEMAT

THE COURSE UPM-CIEMAT ON RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT: SPECIALIZED EDUCATION SINCE 1989

The course on "Radioactive Waste Management" has been taught since February 1989, thanks to the sponsorship of ENRESA, and as a result of the collaboration between ETSII-UPM and CIEMAT. In these years the Course has seen more than 900 graduates of different branches related to the management of radioactive waste. The course started as a PhD and postgraduate course, later becoming part of the Master's Degree in Nuclear Science and Technology of the UPM and the Master in Nuclear Engineering and Applications -MINA- of the Autonomous University of Madrid and CIEMAT. In 2018 it will celebrate its twenty-seventh edition, which undoubtedly constitutes a major milestone in the current panorama of training in the nuclear field.



Foto 1.

generación, tipos y clasificación de los residuos radiactivos; los residuos de la primera parte del ciclo del combustible nuclear, incluyendo la minería, la metalurgia y la fabricación de concentrados de uranio, así como los residuos de las instalaciones de conversión, enriquecimiento y fabricación del combustible; los residuos generados en las centrales nucleares, con los sistemas de tratamiento de los fluidos radiactivos, los tipos de residuos sólidos generados, las técnicas de tratamiento, embidonado y segregación, la situación de las centrales nucleares españolas y sus previsiones de producción de residuos; los residuos generados en las instalaciones radiactivas, la clasificación de dichas instalaciones radiactivas, con particular énfasis en las instalaciones médicas, los centros de investigación, instalaciones industriales y agrícolas; finalizando con la presentación del *Plan general de residuos radiactivos de España*, sus antecedentes desde la creación de Enresa, sus responsabilidades y recursos, repasando la evolución de los planes generales de residuos radiactivos.

La segunda parte cubre los **criterios básicos de seguridad y protección radiológica**, comenzando por los *principios fundamentales de seguridad del OIEA* y su aplicación a la gestión de residuos radiactivos. Se repasan los conceptos básicos en *detección y dosimetría de la radiación*, tanto las magnitudes físicas, limitadoras y operacionales para exposición externa, como la dosimetría interna, además de los dispositivos

de medida, detectores y dosímetros. Se estudian los efectos sobre la salud derivados de la exposición a dosis bajas de radiaciones ionizantes, tanto a nivel celular como a nivel orgánico, resumiendo las estimaciones cuantitativas del UNSCEAR así como los *objetivos y principios de la protección radiológica* emanados de las recomendaciones de la ICRP y su aplicación a la gestión de residuos radiactivos, incluyendo la protección del medioambiente. Se dedica un tema específico a los *criterios para la gestión de materiales con muy bajo contenido radiactivo*, incluyendo los conceptos de exención, exclusión y desclasificación del control regulador, su aplicación en la desclasificación de materiales en desmantelamiento y al caso particular de los materiales naturales con contenido radiactivo (NORM), así como la metodología para la evaluación del impacto radiológico. Se revisa la *normativa aplicable a la gestión de los residuos radiactivos*, recorriendo la pirámide normativa española desde la Directiva europea y las leyes básicas a las normas de rango reglamentario, administrativo o aquellas de carácter técnico, guías y recomendaciones, sin olvidar las normas del OIEA. Por último, se describe la *modelización de la biosfera en el análisis de seguridad*, incluyendo los procesos de transporte de radionucleidos en los medios atmosféricos, terrestres y acuáticos, la interfase geosfera-biosfera, el tratamiento del largo plazo y las metodologías de evaluación del impacto radiológico.

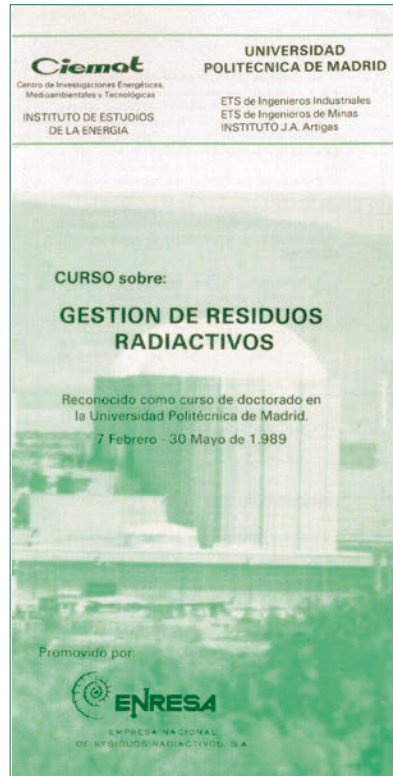
La tercera parte se centra en el estudio de la **gestión de residuos de media, baja y muy baja actividad específica (RBMA/RBBA)**, comenzando por su *inventario y caracterización*, en la que se presentan los programas de reducción de volumen de RBMA en la operación de las centrales nucleares y los criterios de aceptación, junto con las características del laboratorio de verificación de la calidad del residuo. Se dedica una lección a la *entrega y transporte*, describiendo los procesos de inspección y entrega de bultos, los embalajes de transporte, sus ensayos y a la reglamentación aplicable, así como la logística y los equipos de transporte. Son presentados los *criterios básicos de gestión y almacenamiento definitivo en instalaciones superficiales*, con las bases de diseño y de evaluación de la seguridad, el sistema multibarreras, objetivos de seguridad y protección radiológica, límites radiológicos y condiciones reguladoras, así como las peculiaridades para los RBBA. Se describen a continuación los métodos de *evaluación de la seguridad de las instalaciones superficiales de almacenamiento definitivo*, incluyendo la generación de escenarios, su evaluación y la interpretación de los resultados. El módulo concluye con una descripción detallada del *almacén centralizado de RBMA de El Cabril* y de las *instalaciones para almacenamiento de residuos de muy baja actividad*, detallando sus criterios generales de diseño, el desarrollo de los proyectos y la experiencia operativa de la misma. Forma parte de este módulo una visita a El Cabril que se viene realizando desde los inicios del curso.

En la cuarta parte, el curso se adentra en los detalles de la **gestión de los residuos de alta actividad específica**, comenzando por dedicar dos lecciones al *almacenamiento temporal del combustible irradiado*, desde el punto de vista de las *soluciones técnicas y criterios de seguridad*, con las características de los combustibles irradiados y las alternativas tecnológicas para su almacenamiento temporal, en húmedo y en seco, junto con los aspectos de seguridad a considerar, para continuar con las *aplicaciones y la situación en España*, en la que se presentan el almacenamiento del combustible irradiado en las piscinas del combustible de las centrales así como los proyectos ya existentes de almacenamiento temporal individualizado (ATI) en

contenedores. Dada su importancia, se dedica una lección individual al proyecto del *Almacén Temporal Centralizado (ATC) del combustible irradiado y los residuos radiactivos de alta actividad*, detallando sus características técnicas, además de las del centro tecnológico asociado, su estudio de seguridad y la evaluación por el organismo regulador, y las previsiones y aspectos de seguridad del transporte. Dentro de este módulo se visita un ATI, que inicialmente fue el de C.N. Trillo y más recientemente el de C.N. José Cabrera.

Posteriormente, se aborda la *reelaboración del combustible gastado y la separación de los productos de vida larga*, y las alternativas en el ciclo del combustible nuclear, detallando aspectos técnicos, químicos y nucleares de la reelaboración, el tratamiento, acondicionamiento, cantidades y características de los residuos generados, la utilización del uranio y plutonio recuperados, así como la separación de los actínidos y otros productos de vida larga para su *transmutación*, que es el siguiente tema presentado, explicando su función, los conceptos físicos de la transmutación de residuos radiactivos así como las estrategias de gestión y opciones tecnológicas, junto a la situación de la investigación para la transmutación.

Por último, con respecto al *almacenamiento definitivo de residuos de actividad elevada*, se comienza por abordar desde un punto de vista general las *soluciones técnicas, criterios de seguridad y diseño conceptual*, concentrándose en los *almacenamientos geológicos profundos*, con las características específicas para arcillas, granitos y sales, y la I+D asociada para determinarlas, junto con la *evaluación del comportamiento*, presentando las fases de la evaluación, la realización de cálculos, incluyendo el análisis de sensibilidad e incertidumbres, junto con una breve reseña de los ejercicios de evaluación del comportamiento realizados en España e internacionalmente. Se analiza seguidamente la importancia del *campo próximo*, sus componentes y efectos, los modelos matemáticos para evaluar su comportamiento y la investigación en curso, y de la *modelización de la geosfera*, con el transporte de radionucleidos en los medios porosos. Igualmente, por su gran importancia, merece una lección específica el *estudio de los aná-*



logos naturales, con el fenómeno de Oklo y otras analogías naturales de los procesos que se deben estudiar de cara al almacenamiento definitivo de los residuos de alta actividad. Finalmente, se dedica una lección a la *caracterización de emplazamientos*, funciones del emplazamiento en las instalaciones de gestión de residuos radiactivos, criterios de selección de emplazamientos, sistemática de caracterización y estudio de casos concretos como son el emplazamiento de un AGP, el de El Cabril o el del ATC.

En el curso se dedica también un módulo específico a los residuos generados como consecuencia del **desmantelamiento de instalaciones**, con una primera introducción general al *desmantelamiento de instalaciones nucleares*, sus aspectos

más relevantes, las distintas políticas de clausura y las referencias internacionales de desmantelamiento, así como el *desmantelamiento de instalaciones nucleares en España*, con especial detalle en el proyecto de desmantelamiento y clausura de la central nuclear de Vandellós I. Se revisan también con lecciones dedicadas, el *proyecto de desmantelamiento y clausura de la C.N. José Cabrera*, realizándose una visita técnica a la misma, y el *Plan Integrado para la Mejora de las Instalaciones del Ciemat (Pimic)*.

Concluye el curso, en su formato actual, con una parte dedicada a **aspectos generales e institucionales**, entre ellos: la *calidad en la gestión de residuos radiactivos* presentando el sistema de garantía de calidad de Enresa y la evolución del concepto de calidad; el *panorama internacional* en materia de gestión de residuos radiactivos, abordando específicamente las actividades de la Comisión Europea y la Convención Conjunta sobre "Seguridad en la gestión del combustible gastado y de los residuos radiactivos"; la *I+D en la gestión de residuos radiactivos* presentando el Plan de I+D de Enresa, las colaboraciones internacionales y el Programa Marco de Euratom. Para terminar, se abordan otras cuestiones también fundamentales para la gestión de residuos radiactivos como son *la información al público y la comunicación*, orientadas a promover la aceptabilidad social de los residuos y ayudar a la misión encomendada a Enresa por el Parlamento, así como *la participación social en la toma de decisiones para la gestión de residuos radiactivos*, analizando la dimensión social del problema y las recomendaciones y modelos para la participación social emanadas de las experiencias de distintos foros y proyectos.

Para clausurar el curso se suele organizar una mesa redonda o conferencia especial sobre temas de actualidad.



AGRADECIMIENTOS

Al profesor Agustín Alonso Santos, iniciador y director del curso durante sus primeras dieciocho ediciones.

A Enresa, por haber mantenido su apoyo decidido al curso, sin el cual éste no habría podido consolidarse.

Y a cuantos han participado como profesores en las distintas ediciones del curso, porque ellos han sido la base de su éxito. ■

REPROCESADO DE RESIDUOS HISTÓRICOS NO CONFORMES. REPROCESAMIENTO DE CONCENTRADOS DE EVAPORADOR ACONDICIONADOS CON MICROCEL EN C.N. STA. M.^a DE GAROÑA

Los residuos radiactivos deben someterse habitualmente a operaciones de acondicionamiento que los conviertan en una forma adecuada para su manipulación, transporte, almacenamiento temporal y disposición final, según los requisitos y criterios de aceptación exigidos por el organismo competente.

Por distintos motivos, lotes de residuo procesado pueden seguir sin ser aptos para su disposición final. Estos residuos *no conformes* requerirán un nuevo, complejo y costoso reprocesado.

Se describe la experiencia de Tecnatom en el reprocesado de residuos históricos no conformes en la C.N. de Sta. M.^a de Garoña (Burgos) y se analiza la problemática asociada y puntos clave a considerar.

RESIDUOS HISTÓRICOS EN STA. M.^a DE GAROÑA

En el ámbito internacional de las centrales nucleares (CCNN), la existencia en planta de residuos radiactivos atípicos, de origen histórico, en una forma no conforme con los criterios actuales de aceptabilidad para su disposición final, se da con frecuencia bajo ciertas circunstancias. Estas circunstancias son de origen histórico, y se dan especialmente en aquellas centrales que inauguraron los respectivos programas nucleares nacionales. En muchas ocasiones, las centrales de 1ª generación empezaron a operar con sistemas regulatorios poco maduros. Por ejemplo, dos situaciones típicas serían:

- CCNN que inician su operación con anterioridad a la existencia de un organismo o instalación encargada de la gestión final de los residuos generados. Estas instalaciones acondicionan el residuo operacional usando su criterio y lo almacenan temporalmente en planta hasta que se cuente con una solución definitiva.
- Inexistencia de reglamentación sobre los límites temporales para el almacenamiento en planta. Esto puede facilitar el almacenamiento temporal prolongado de los residuos generados y su degradación en las condiciones de almacenamiento. O bien que se produzcan cambios, durante el período de

almacenamiento en planta, en los criterios de aceptabilidad por parte del gestor final.

Este es el caso de la central nuclear española de Sta. M.^a de Garoña, la cual se conectó a la red por primera vez en marzo de 1971, mientras que Enresa no fue creada como tal hasta 1984. Se puede decir que, aunque existían soluciones preliminares, hasta mediados de los años 80 no existió una instalación apropiada para la disposición final de los residuos operacionales de media y baja actividad. Del mismo modo, tardó en existir un criterio bien definido sobre los requisitos a cumplir para la aceptación y eliminación final de los residuos.

Por lo tanto, durante los años 70 y principios de los 80, muchos residuos operacionales fueron acondicionados en planta y almacenados en celdas de almacenamiento temporal (ATR), creadas a tal fin en el propio emplazamiento.

Durante esta época, uno de los procesos de acondicionamiento más utilizados fue mediante el uso de Microcel. Microcel es la denominación comercial de un sólido disgregado de tierras de diatomeas que se caracteriza por su capacidad de absorción debida a su elevada superficie específica. Mediante este aditivo se acondicionaron los lodos concentrados provenientes del evaporador de la planta (sistema Radwaste).



ÁNGEL GÓMEZ SÁEZ

Jefe de Proyecto,
TECNATOM S.A.
Ingeniero industrial



TOMÁS RECIO MIRANDA

Operaciones de Desmantelamiento y
Gestión de Residuos Radiactivos,
TECNATOM S.A.
Licenciado en Física y Máster en
Ingeniería Medioambiental Industrial

RE-PROCESSING HISTORICAL NO-CONFORMING RADWASTE. RE-PROCESSING CONCENTRATED SLUDGE FROM THE EVAPORATOR MIXED WITH MICROCEL AT STA. M^a DE GAROÑA NPP

Radioactive waste may be subjected to conditioning operations to allow an adequate handling, transport, interim storage and final disposal. Different conditioning processes are implemented to fulfil legal requirements and acceptance criteria for disposal.

For several reasons, some batches of processed waste (conditioning processes) may still be unsuitable for final disposal. This Non-Conforming waste will require a specific, complex and costly special re-conditioning step, until acceptance criteria is met.

The experience of TECNATOM S.A. during the reprocessing of non-conforming historical waste in Sta M^a de Garoña NPP (Burgos) is here described. Main associated problems and key points to be considered are analyzed.

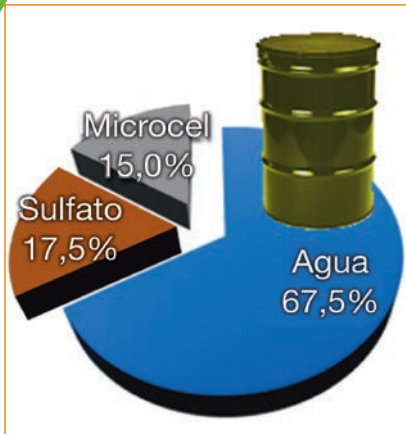


Figura 1. Formulación utilizada para el acondicionamiento con Microcel.

La formulación seguida para el acondicionamiento de los lodos concentrados (sulfatos) se representa en la Figura 1.

Este proceso se realizó durante algo más de 10 años, hasta 1982, generándose más de 2.300 bidones de residuo que han permanecido alrededor de 35 años en el ATR de la planta.

Debido al tiempo transcurrido bajo las condiciones de almacenamiento temporal, y a la naturaleza del propio proceso de acondicionamiento, este tipo de residuo tiene una o varias de las siguientes características que impiden ser directamente aceptados por Enresa para su eliminación final en las instalaciones de El Cabril:

- Degradación mecánica del contenedor.
- Existencia de agua libre sobrenadante.
- Baja resistencia a la compresión, matriz de residuo disgregada.
- Elevada difusividad de la actividad.
- Presencia de objetos metálicos no completamente bloqueados.

Por lo tanto, como paso previo a la disposición final de bidones con Microcel, ha sido necesario buscar una solución *ad-hoc* para el reprocesado de estos residuos.

Superadas las fases de diseño, pruebas, licenciamiento, y puesta



Figura 4. Visión general de la planta de reprocesado de residuos.

en marcha, actualmente la planta está en operación y mantenida por Tecnatom.

REPROCESADO DEL RESIDUO RADIATIVO CON MICROCEL

El reprocesado de residuo radiactivo con Microcel (RRM) comienza con la extracción de bidones de las celdas del almacenamiento temporal de residuos (ATR). En el ATR los bidones se introducen dentro de contenedores de 480 litros para su transporte durante el proceso global. Los contenedores son transportados al Edificio Auxiliar de Procesado (EAP) para su inspección y preparación. En las tareas de preparación se sustituye el aro de cierre del bidón, se pesa y se inspecciona el contenido del bidón. Posteriormente el bidón se transporta al edificio donde tendrá lugar el reprocesado (llamado EAMU). El reproceso transformará los bidones no conformes con RRM en bultos CMT, aprobados por Enresa, que son almacenados en el ATR a la espera de su transporte a El Cabril (Figura 2).

La secuencia de reprocesamiento de RRM en el EAMU se sintetiza en la Figura 3.

Los contenedores de 480 litros entran en la instalación mediante transportes blindados especiales y son

descargados en la zona pulmón. Los contenedores se introducen de uno en uno en un recinto confinado (RC) en depresión, en donde los bidones son vaciados por gravedad mediante un manipulador de bidones. En caso de que no sea posible vaciar el bidón por gravedad, se dispone de un sistema de escariado que permite el vaciado del RRM.

El contenido de los bidones es cribado mediante una rejilla dotada de un sistema de vibración que permite segregar el RRM de los cuerpos extraños que puedan contener los bidones. Para la recogida de estos cuerpos extraños se dispone de cajas de guantes y herramientas específicas para su recogida.

El RRM, una vez segregado, cae en una preamadora cuyo fin es mezclar el RRM para su homogenización y poder ser transportado por un tornillo sinfín a una tolva, denominada *fluidificadora*. La fluidificación del RRM se produce mediante agitación violenta con el fin de extraer el agua contenida por el Microcel.

Una vez concluye el proceso de fluidificación, se toman muestras para valorar el contenido de humedad del RRM fluidificado. Posteriormente, es trasegado a una amasadora que bloqueará la actividad mediante la adición de una cantidad de cemento definida por la cantidad de agua contenida en el RRM. A esta mezcla de cemento y RRM se le añaden una serie de aditivos para facilitar el proceso de cementado, antes de ser depositado



Figura 2. Proceso global.



Figura 3. Proceso de reprocesado en el EAMU.

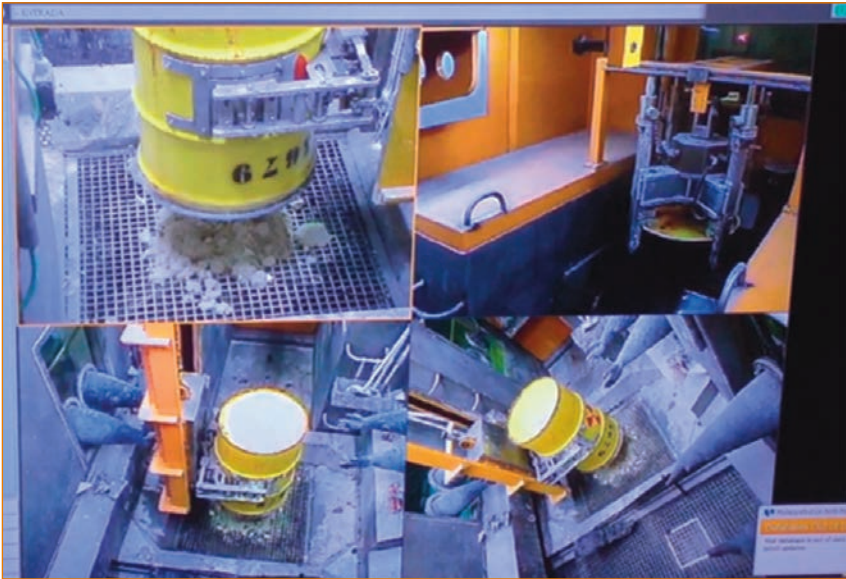


Figura 5. Sistema CCTV. Visión del interior del recinto confinado y del manipulador de bidones.

el lote en bultos CMT. El proceso de llenado de un CMT se realiza en ocho lotes. Debido a la reacción exotérmica que se produce entre el cemento y el RRM, no se realizan más de cuatro lotes/día sobre un CMT.

Una vez llenado el CMT, es necesario esperar un tiempo de fraguado de al menos 48 horas en una zona pulmón antes de proceder a su limpieza manual y caracterización (ausencia de contaminación superficial despreciable). La caracterización y tapado se realiza en un arcón blindado en el que se mide la tasa de dosis del bulto CMT. Una vez caracterizado y tapado el bulto CMT, es transportado al ATR a la espera de ser transportado, posteriormente, a El Cabril.

El control y la operación del proceso se realizan desde un puesto de mando remoto a través de pantallas Scada y de un circuito cerrado de televisión. Durante todo el proceso se realiza un control del cálculo de residuo por capas y de la composición de la matriz por capas en los bultos tipo CMT resultantes. El proceso está sujeto a un Programa de Puntos de Inspección (PPI).

ASPECTOS CLAVE

Los aspectos que se relacionan a continuación han tenido o tienen una relevancia significativa en el proyecto de procesamiento de residuos con Microcel, y potencialmente deben tenerse en cuenta en cualquier proyecto similar de reprocesamiento de residuos históricos:

- El reprocesado de residuos requerirá en la mayoría de las ocasiones

de un largo proceso de licenciamiento de la solución adoptada (CSN) y aprobación del bulto final a generar (Enresa). Este proceso requiere periodos no inferiores a un año en la mayoría de los casos.

- La correcta caracterización del residuo a reprocesar es clave para el correcto diseño de la solución técnica. Sin embargo, el muestreo completo del inventario del residuo almacenado es en muchas ocasiones difícil. Además el residuo histórico no conforme es casi por definición poco homogéneo. Esto obliga a adoptar soluciones técnicas que permitan la máxima flexibilidad

ante la variabilidad de las características del residuo.

- En relación a los ensayos y estudios previos, debe considerarse que las pruebas con residuo simulado y a escala reducida, no ofrecen siempre un resultado reproducible a mayor escala y con residuo real. Principalmente por la no homogeneidad entre los lotes de residuo histórico y a la dificultad de reproducir el estado del residuo actual. Cuando es posible, las pruebas con residuo real son preferibles.
- Puede ser necesario la realización de modificaciones de diseño de la planta de reprocesado para su adaptación a las diferentes características de los lotes. Especialmente cuando las características del residuo difieren sensiblemente entre lotes. Estas modificaciones, si no se han tenido en cuenta desde el inicio, pueden requerir de nuevos procesos de licenciamiento que necesitan un plazo de tiempo a considerar.
- Teniendo en cuenta las limitaciones tecnológicas, presupuestarias y otras, las velocidades de diseño del reprocesado de estos residuos puede no ser alta. Es posible que se requieran varios años para la eliminación completa de inventarios significativos.

CONCLUSIONES

Cualquier operación de reprocesado de residuos no conformes debe realizarse con una perspectiva global del

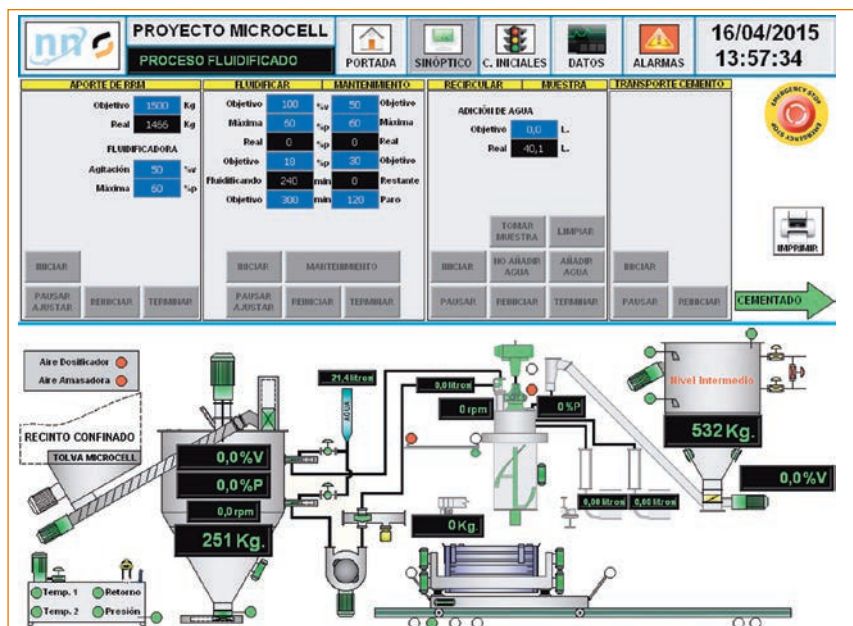


Figura 6. Pantalla Scada. Fluidificadora y amasadora por lotes.



MEJORES PONENCIAS DE LA 43ª REUNIÓN ANUAL SNE

proceso completo hasta la eliminación final del residuo.

Antes de iniciar un proyecto de este tipo debe dedicarse el tiempo y recursos necesarios para conocer bien el inventario de residuos históricos a acondicionar (características fisicoquímicas y radiológicas en el estado actual) y realizar muestreos y análisis lo más representativos posibles del estado actual de los residuos.

En el caso de no existir procesos validados con referencias previas de éxito, es necesario desarrollar prototipos o plantas piloto que puedan verificar, con residuo simulado y real, el proceso seleccionado. El desarrollo de una planta piloto escalable, en función de los resultados, otorga mayor eficacia y garantías de éxito del proceso. La realización de ensayos directamente sobre la planta completa sólo debería realizarse si las características del residuo a procesar están muy acotadas.

Para ensayos con residuo simulado debe considerarse el tiempo que ha transcurrido en las condiciones de almacenamiento. Cuando sea posible, debe simularse la degrada-

ción de la matriz debido al paso del tiempo.

En general, el reprocesado de residuos no conformes de tipo histórico es un proceso complejo y único, que requiere soluciones particulares para cada caso. Las fases de caracterización, estudio, diseño, construcción, pruebas, licenciamiento, y operación de este tipo proyectos pueden requerir más de cinco años.

Ante lo complejo del proceso, y la ausencia de requisitos reglamentarios, en ocasiones se aplaza la ejecución de este tipo de proyectos hasta que se acerca el cese de las operaciones de la central nuclear. Sin embargo, debe considerarse que el plazo necesario para gestionar un inventario significativo de residuos históricos puede superar ampliamente el periodo de transición previsto desde la parada definitiva hasta el inicio del desmantelamiento. Esto puede producir que el proceso de gestión de estos residuos se convierta en camino crítico durante este periodo. Es por lo tanto recomendable abordar cualquier problemática de este tipo con un importante margen de tiempo. ■

AGRADECIMIENTOS

Nuclenor S.A.

- GR-DDB-011 Rev.1 Documento Descriptivo del Bulto de reacondicionamiento mediante conglomerante hidráulico de concentrados de evaporador con Microcel.
- PR-DT-118 Rev. 3 Guía de operación de la planta de reacondicionado mediante conglomerante hidráulico de concentrados de evaporador con Microcel en el EAMU.
- PR-DT-139 Rev.1 Cálculo de la composición de la matriz por capas en los bultos tipo CMT resultantes del reacondicionamiento mediante conglomerante hidráulico de concentrados de evaporador con Microcel.
- GR-LP-11 Rev.1 Bultos de reacondicionamiento de concentrados de evaporador en Microcel, incorporados a matriz sólida de CH, en embalajes tipo CMT.

BIBLIOGRAFÍA

CONVOCATORIAS 2017

12 - 16 MARZO Viena, Austria	TECHNICAL MEETING ON METHODOLOGIES AND APPROACHES TO ADDRESS CHALLENGES IN MANAGING RADIOACTIVE WASTE FROM PAST ACTIVITIES IAEA www.iaea.org
27 - 28 MARZO Charlotte, EEUU	8th ANNUAL INTERNATIONAL SMR AND ADVANCED REACTOR SUMMIT 2018 Nuclear Energy Insider www.nuclearenergyinsider.com/international-smr-advanced-reactor/
1 APR - 30 JUN Viena, Austria	TECHNICAL MEETING ON THE RESPONSIBILITIES AND CAPABILITIES OF OWNERS AND OPERATING ORGANIZATIONS IN NEW NUCLEAR POWER PROGRAMMES IAEA www.iaea.org/
8-11 ABRIL Charlotte, EEUU	ICAPP 18: 2018 INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCES IN NUCLEAR POWER PLANTS ANS American Nuclear Society http://icapp.ans.org/
10 - 12 ABRIL Viena, Austria	22nd MEETING OF THE TECHNICAL WORKING GROUP ON ADVANCED TECHNOLOGIES FOR LIGHT WATER REACTORS IAEA www.iaea.org/
16 - 20 ABRIL La Habana, Cuba	XI CONGRESO REGIONAL DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA Y NUCLEAR Congreso Regional IRPA www.irpacuba.com/
17- 19 ABRIL Madrid, España	WNFC 18. WOORLD NUCLEAR FUEL CYCLE 2018 WNA, NEI http://wnfc2017.pathable.com/

ANÁLISIS DE FALLO DE COMPONENTES DE CENTRALES NUCLEARES ESPAÑOLAS

La División de Materiales de Interés Energético del CIEMAT, está dedicada al estudio del envejecimiento de materiales estructurales pertenecientes a plantas de producción de energía. En este trabajo se resumen varios análisis de fallo realizados por la Unidad de diversos componentes de plantas nucleares. Se discuten los mecanismos más influyentes en la degradación de estos componentes, normalmente asociados a procesos de corrosión bajo tensión. Se concluye que los procesos de corrosión bajo tensión vienen determinados por un conjunto de sinergias muy específicas en cada componente, lo que implica un conocimiento profundo de los factores implicados en este mecanismo de degradación.

INTRODUCCIÓN

Los aceros inoxidables austeníticos son las aleaciones más utilizadas en los diversos componentes de reactores de agua ligera. Estos materiales son utilizados tanto como componentes estructurales de los internos de la vasija, como en infinidad de tuberías, bombas y accesorios de los circuitos primarios, secundarios y terciarios. Su experiencia operativa durante casi 40 años ha sido, en líneas generales, excelente. Sin embargo, en algunos casos, muchos componentes de esta aleación han sufrido agrietamientos de diversas morfologías, tanto intergranular como transgranular. La mayoría de los mecanismos que han causado estos agrietamientos han sido procesos de corrosión bajo tensión.

Podemos identificar varios mecanismos de agrietamiento dentro de este proceso de corrosión bajo tensión: los derivados de la sensibilización del material con grietas de morfología intergranular, los relacionados con la presencia del anión cloruro

con grietas ramificadas y con morfología transgranular, los potenciados por la irradiación neutrónica con grietas mixtas y los asociados a un ambiente microbiano, generalmente producidos en zonas cercanas a las soldaduras.

La corrosión bajo tensión se ve favorecida por cambios microestructurales producidos en el componente. El más conocido es el derivado de la sensibilización del material cuando una parte de éste es sometido a un tratamiento térmico durante un periodo corto de tiempo, generalmente derivado de un proceso de soldadura. Debido a este calentamiento, generalmente a temperaturas comprendidas entre 400-800 °C, se produce la precipitación de carburos de cromo que provoca la disminución del contenido de este aleante en las áreas adyacentes al límite de grano, aproximadamente por debajo de concentraciones del 11 %, valor umbral por debajo del cual estos materiales dejan de ser inoxidables.



GONZALO DE DIEGO VELASCO

Jefe de la Unidad de Caracterización Microestructural y Microanálisis de la División de Materiales de Interés Energético. Departamento de Tecnología
CIEMAT



SUSANA MERINO OVIEDO

Investigadora de la División de Materiales de Interés Energético
CIEMAT

FAILURE ANALYSIS OF SPANISH NUCLEAR COMPONENTS

Materials of Energy Interest Division belonging to the CIEMAT is dedicated to the study of structural materials aging in nuclear power plants. In this paper, several failure analyses of nuclear plant components are summarized. Degradation mechanisms of these components are discussed, which are normally associated to stress corrosion cracking (SCC) processes. It concludes that the processes of SCC are determined by specific synergies in each component, which implies a deep knowledge of the factors involved in this degradation mechanism.



Otro proceso que incrementa la susceptibilidad a los procesos de corrosión bajo tensión en las aleaciones austeníticas es la acritud o trabajado en frío del material. En relación a esto, algunos tipos de aceros inoxidable austeníticos son conformados con un cierto porcentaje de acritud con el fin de incrementar sus propiedades mecánicas, tanto de límite elástico como de resistencia mecánica. Muchos trabajos de investigación desarrollados por la mayoría de los laboratorios dedicados a fenómenos de degradación en la industria nuclear, han demostrado la existencia de un umbral de dureza y/o límite elástico a partir del cual se produce la aparición de agrietamientos por corrosión bajo tensión. En relación a esta experiencia el código ASME code case N60-2 al 5, notifica que la resistencia mecánica de los aceros inoxidable austeníticos no debe de exceder los 90ksi (unos 630 MPa) con el propósito de evitar la susceptibilidad de estos materiales a agrietamientos por SCC. Esta limitación representa una acritud comprendida entre el 20-30% para estos materiales.

Además, la existencia de contaminantes como sulfatos y cloruros con concentraciones tan bajas como 1 ppm en medios con presencia de oxígeno y temperaturas bajas, del orden de 200 °C, también podrían influir en la susceptibilidad de estos componentes a SCC. En relación a esto, muchas soldaduras localizadas entre las penetraciones de la vasija y CDRM, (*Canopy seal welds*), realizadas con el fin de evitar fugas de primario, han presentado agrietamientos por corrosión bajo tensión de naturaleza transgranular, tanto en el material de soldadura como en el material base.

Por otro lado, la existencia de fenómenos de corrosión bajo tensión de naturaleza transgranular [1] en componentes de servicios que operan a baja temperatura y con periodos de agua estancada, normalmente relacionados con la presencia de iones cloro como sistemas de salvaguardias de inyección de seguridad y/o sprays de agua borada, son candidatos también a sufrir agrietamientos de naturaleza transgranular, aunque se han dado casos también de grietas intergranulares, en este caso, asociadas a componentes soldados.

Por último, es de destacar la susceptibilidad a corrosión bajo tensión de aceros inoxidable austeníticos a ataque microbiano [2]. En realidad, este mecanismo es catalogado como un proceso desligado de la corrosión bajo tensión, aunque las variables que intervienen son las mismas. Normalmente este proceso se produce en centrales con circuito abierto que toman el agua de suministro de ríos o del mar [3]. Muchos circuitos de refrigeración de líneas terciarias se han visto atacadas por mecanismos de corrosión microbiológica normalmente asociados a zonas de soldadura con formación de pequeños tubérculos y cavidades esféricas que llegan a degradar el material por el interior. Algunas centrales han tenido que sustituir tramos de tubería completos por otro tipo de materiales no metálicos como el propileno con el fin de evitar este mecanismo degradatorio.

En relación a las aleaciones austeníticas de base níquel, es conocido la vulnerabilidad a corrosión bajo tensión en agua del primario cuando el contenido en níquel es muy elevado, caso de la aleación 600. De hecho, desde mediados de los años 70, numerosos agrietamientos intergranulares fueron detectados en los tubos de generador de vapor fabricados con la aleación 600 MA [4]. Este hecho dio lugar a numerosas investigaciones por muchos laboratorios relacionadas con el comportamiento de estas aleaciones a corrosión bajo tensión, hasta el punto de tomar la decisión de la sustitución de numerosos generadores de vapor de muchas centrales en el mundo, como ha sido el caso de casi todos los generadores de vapor de las centrales francesas y en España en el caso de las centrales de Almaraz y Ascó. Estos agrietamientos también fueron detectados en otros componentes fabricados en esta aleación, como boquillas de instrumentos de presurización, penetraciones de la cabeza de la vasija, zonas de soldaduras (*safe end*), etc.

Por otro lado, otro problema no menos importante que influye en la susceptibilidad de los tubos de los generadores de vapor a corrosión bajo tensión, es la acumulación de depósitos en la zona de la placa de tubos por el lado del secundario [5].

Debido a la especial geometría de esta zona, hay una especial predisposición de aumento de especies e impurezas en forma de compuestos precipitados de alta dureza que se introducen en el huelgo existente entre el tubo expansionado y la propia placa [6]. La acumulación de lodos encima de la placa de tubos puede llegar a ser importante, afectando por un lado, a la química del medio en esta zona específica del generador y por otro, incrementando las tensiones sobre la superficie de los tubos por el lado del secundario. Este proceso da lugar al fenómeno conocido como *denting*, que es el precursor de agrietamientos intergranulares por corrosión bajo tensión, normalmente de tipo circunferencial. Actualmente, los procesos de limpieza y eliminación de acúmulo de lodos son realizados de forma periódica en cada recarga. Este proceso de limpieza puede ser realizado de forma mecánica, como el lanceado con agua a presión, limpieza química y/o adición de dispersantes con el fin de no llegar a reproducirse la formación de lodos duros.

Los nuevos generadores de vapor fueron construidos en aleaciones austeníticas base níquel del tipo aleación 800 y aleación 690, cuyo contenido en níquel era bastante inferior a la aleación 600. Su comportamiento ha sido satisfactorio, aunque en los últimos años se han detectado agrietamientos de tipo intergranular a la altura de la placa de tubos en generadores construidos con la aleación 800 después de unos 25 años aproximadamente de funcionamiento. Aunque este mecanismo de degradación apunta a fenómenos de *denting* por acumulación de lodos, algunos laboratorios apuntan a que la zona expansionada del tubo pueda haber sufrido un proceso de relajación después de todos estos años en servicio.

En este artículo se han querido recopilar algunos ejemplos de análisis de fallo realizados por la División de Materiales de Interés Energético. Entre ellos cabe destacar, el análisis de un tubo de generador de vapor de la aleación 800, varios análisis de tuberías de un sistema de agua de refrigeración de servicios esenciales y otro del sistema de evacuación del calor residual.



Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología a seguir en un análisis de fallo de un componente.

Fe	Mg	Al/Si/Mg	Ca	S
Fe ₃ O ₄	MgO	Al-silicatos	Silicatos	Sulfatos
FeOOH		Al ₂ O ₃	CaO	Sulfitos
Fe met		minoritario	CaCl ₂	

Tabla 1. Resultados obtenidos mediante diversas técnicas de análisis (EDX, XPS y DRX) de los depósitos adheridos al tubo, lado secundario, en la zona de transición del expansionado.

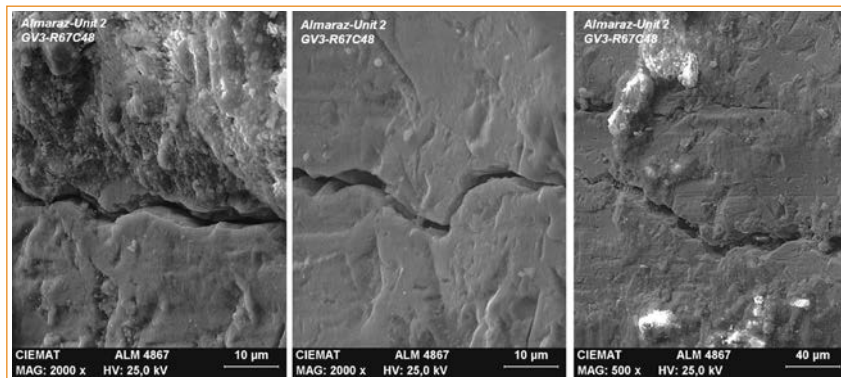


Figura 2. Grietas con morfología intergranular y con depósitos adheridos. Las grietas se localizan sobre la superficie del tubo, lado secundario, a unos 5 mm del último punto de contacto del tubo con su placa soporte.



Figura 3. Segmento del tubo cortado de forma longitudinal en dos medias cañas conteniendo las grietas y sometido a fatiga para la obtención de las superficies de fractura correspondientes.

METODOLOGÍA GENERAL DE UN ANÁLISIS DE FALLO

Durante la inspección de un componente que ha fallado es indispensable varios aspectos mínimos a tener en cuenta: la recolección, reconstrucción e identificación de las piezas rotas, análisis cualitativo de la orientación y magnitud de las tensiones, la orientación y propagación de las posibles grietas detectadas, la observación de la posible presencia de productos de corrosión y coloración superficial teniendo en cuenta la atmosfera o medio donde trabaja el componente, la anotación de los posibles defectos en el diseño, así como la existencia de entallas en la pieza inspeccionada. Por este motivo, es indispensable preservar las muestras tal y como se han encontrado después del fallo sin lavarlas ni limpiarlas, identificando, como ya hemos dicho, las diferentes partes del componente dañado. Es importante anotar los datos del historial de servicio y análisis del medio, así como el tipo de material, procedimientos de soldadura si los hubiese y tratamientos térmicos aplicados. Igualmente, es indispensable conocer las normas de diseño y parámetros de funcionamiento del componente que ha operado en servicio. En la Figura 1, se resume mediante un diagrama de flujo la metodología a seguir.

En el apartado siguiente se muestran algunos ejemplos de análisis de fallo que han ocurrido mediante un proceso de Corrosión Bajo Tensión con diversos mecanismos: a) corrosión bajo tensión en tubos de generador de vapor por el lado del secundario; b) corrosión bajo tensión en medios con cloruros y c) corrosión bajo tensión en presencia de especies microbiológicas.

Examen de un tubo de generador de vapor

Este ejemplo muestra el análisis de fallo de un tubo de generador de vapor perteneciente a la Unidad 2 de la central nuclear de Almaraz. Durante la parada de recarga de la Unidad 2 ocurrida en noviembre de 2010, se extrajeron tres tubos del generador de vapor 3 para su examen destructivo. Dos de ellos fueron enviados a los laboratorios de Areva en Alemania y el tercero (R67C48) al Ciemat. Los resultados completos

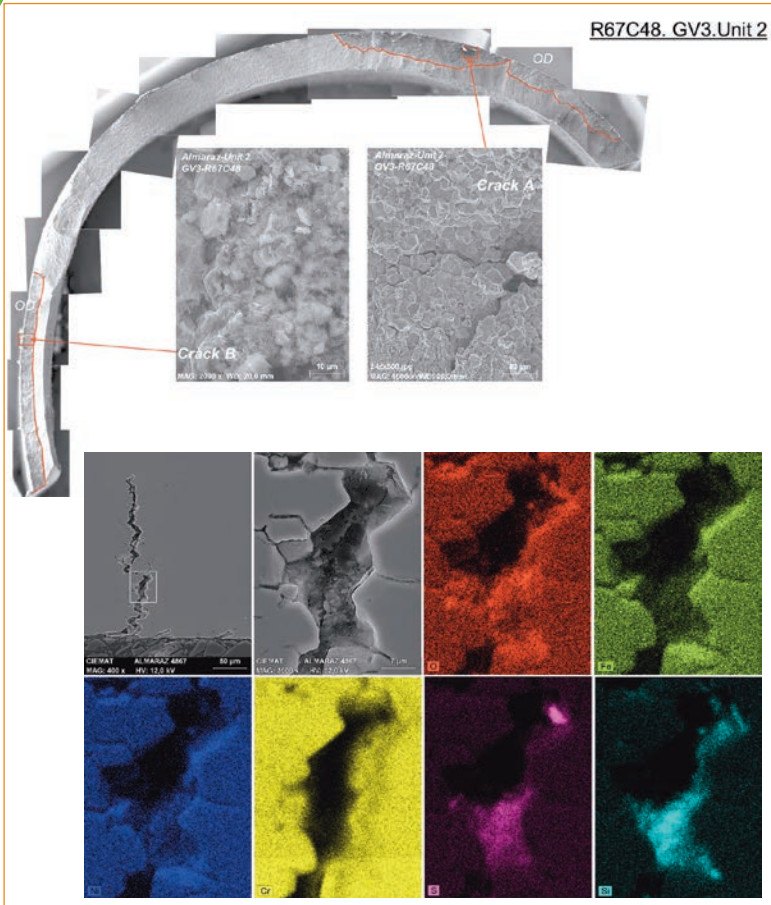


Figura 4. Aspecto de la fractura obtenida. Grieta A con fractura de morfología intergranular y grieta B con superficie de fractura cubierta con numerosos depósitos. Los análisis químicos muestran concentraciones importantes de azufre, silicio y pequeñas concentraciones de cloro y zinc.



Figura 6. Sección transversal de una tubería cercana a la unión soldada. Se aprecia la formación de una cavidad asociada a un proceso de ataque por corrosión microbiológica.

de estos análisis fueron publicados en la reunión de Fontevraud 8, en el año 2014 [7].

Para el análisis mencionado se utilizaron técnicas de caracterización microestructural mediante microscopía óptica y electrónica, análisis de superficie mediante técnicas de espectroscopía XPS y Auger, así como DRX (difracción de r-x). Además, se realizó una réplica de la parte del tubo en la zona cercana a la

placa de tubos (zona de transición del expansionado) mediante una silicona de alta resolución (*silastic*) para localizar el área de *denting*.

Los resultados obtenidos mostraron la existencia de múltiples agrietamientos circunferenciales, de morfología intergranular (Figura 2), en una banda alrededor del tubo de 5 mm de anchura situada a 3 mm por encima del último punto de contacto entre la zona expansio-

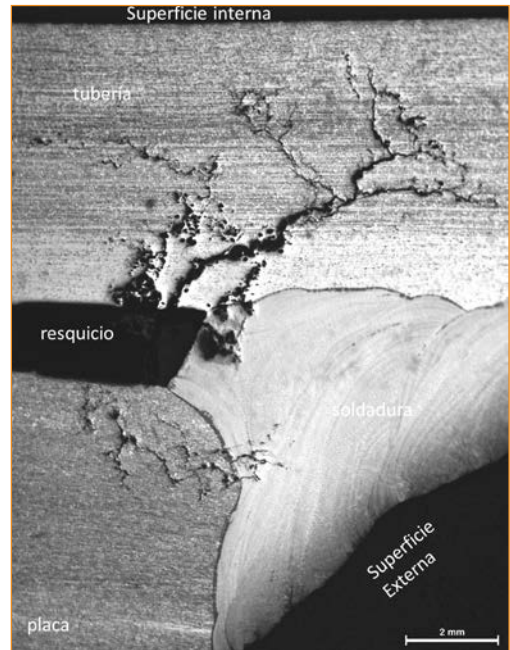


Figura 5. Grietas con morfología transgranular iniciadas en el hueco o "crevice" existente entre la cuna de refuerzo y la tubería afectando a ambos materiales y a su soldadura. Sección transversal.

nada del tubo y la placa de tubos. Las grietas localizadas fueron abiertas mediante un ensayo a fatiga con cargas absolutas siempre positivas para no dañar la superficie de fractura a estudiar (Figura 3). Los análisis de los depósitos y capas de óxido efectuados (Tabla 1 y Figura 4), permiten inducir que las grietas se han formado en un ambiente entre neutro y ligeramente alcalino por un proceso de corrosión bajo tensión iniciado posteriormente a la formación de un proceso de *denting*.

Tubería perteneciente al sistema de evacuación de calor residual

En este ejemplo, se analizan varias muestras pertenecientes a varios tramos de la línea de tubería perteneciente al sistema de evacuación de calor residual. Los defectos localizados por acumulación de boro se detectaron en los cordones de soldadura que une la cuna del soporte o placas de refuerzo a la tubería. Por el interior circula agua borada con temperatura de trabajo de 27 °C y 7 bar de presión. La soldadura de las placas de refuerzo se realizó con material de aporte SA358 y SA312. El material de la tubería y de la placa es un acero inoxidable 18/8, tipo 304.



Muchas de las grietas que fueron detectadas parecieron iniciarse con toda seguridad en la zona del resquicio, huelgo existente entre la placa de refuerzo y la superficie externa de la tubería. Las picaduras formadas dentro del resquicio se iniciaron tanto en la pared de la tubería, como en la de la placa de refuerzo y cordón de soldadura (Figura 5). La propagación de la grieta una vez ya iniciada se ha dirigido hacia el interior del material. En el material de la tubería el sentido de propagación es desde el resquicio hacia la superficie interna con una clara dirección perpendicular a la sección de ésta, haciéndose pasante.

En el material del refuerzo y del cordón de soldadura, el sentido de propagación tiene la misma tendencia, desde el resquicio hacia la superficie externa del conjunto. La cantidad de agrietamientos detectados es muy grande por lo que se intuye que todos las placas de refuerzos con esta configuración podrían presentar el mismo tipo de defectos. Muchas de las grietas detectadas son pasantes desde el resquicio hacia el interior de la tubería y desde el resquicio hacia la superficie exterior por lo que da lugar a la fuga del fluido que circula por el interior. La morfología de estas grietas es transgranular iniciándose, como hemos dicho, en una zona puntual del resquicio en forma de picadura y progresando hacia el interior del material ramificándose. Se ha detectado mediante análisis de elementos químicos y mediante espectroscopia XPS la existencia de cloruros y azufre, tanto en el interior del resquicio como en el interior de algunas de las grietas analizadas.

Como conclusión definitiva, el mecanismo de degradación que ha dado lugar al fallo del componente, se denomina corrosión bajo tensión en presencia de cloruros (*Chloride Stress Corrosion Cracking*, CISCC) que ha dado lugar a agrietamientos de tipo transgranular, TG (TGSCC) cuyo origen es la superficie exterior (OD) de la tubería en la zona interna del resquicio, (ODSCC).

Circuito de auto refrigeración de servicios esenciales

Las tuberías objeto de este análisis de fallo procedían del sistema de agua de refrigeración de servicios esenciales, en el cual, durante una

inspección realizada en el año 2005 se localizaron varias fugas. El sistema venía funcionando con mezcla de agua de mar y agua de río hasta el año 2003 que se sustituyó el agua de trasvase por agua osmotizada. Desde el año 1996 se adiciona un polifosfato de Zn que produce 1 ppm de Zn residual, además de biocidas principalmente hipocloritos. Se realiza periódicamente control de niveles de sólidos observándose en los análisis de los filtros niveles importantes de Fe insoluble (0.5-1 ppm) incluso hasta 10 ppm en algunos casos aislados. El material siempre es acero inoxidable austenítico, normalmente 316L. Los defectos están casi siempre asociados a una soldadura y/o en zonas propicias a crevices o a la formación de depósitos: T, válvulas, bridas, reducciones, etc.

Las perforaciones detectadas durante los ensayos destructivos mostraban grandes cavidades debajo de la entrada de la picadura con una morfología bulbosa a veces asociada con perforaciones en forma de túneles en la dirección del mecanizado y a lo largo de estrías de ferrita o austerita (Figura 6), esta misma morfología está bien documentada en las referencias [8]. Además, la presencia de depósitos ricos en Fe^{3+} denotan la posible existencia de bacterias oxidantes del Fe, más concretamente la Gallionella, dado la existencia de los característicos depósitos rojizos.

En sistemas de refrigeración alimentados con aguas de origen na-

tural se han identificado numerosas clases de bacterias de diferente naturaleza. Normalmente los procesos de MIC envuelven bacterias oxidantes del S, oxidantes de Fe, reductoras de S y también del Fe además de las que se alimentan del N. La actividad del MIC parece depender de la naturaleza de la aleación. Una soldadura de más alta aleación parece presentar una mayor resistencia a MIC. No hay evidencias de fallos debido al MIC en aleaciones con más de un 6% de Mo.

CONCLUSIONES

En este artículo se exponen algunos de los análisis de fallo realizados por la División de Materiales de Interés Energético del Ciemat relacionados con mecanismos de Corrosión Bajo Tensión de componentes nucleares. La principal conclusión es que los procesos de corrosión bajo tensión vienen determinados por un conjunto de sinergias muy específicas en cada componente y medio de operación, lo que implica un conocimiento muy profundo de todos los factores implicados en cada mecanismo de degradación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las Centrales Nucleares Almaraz-Trillo (CNAT) y a la Asociación Nuclear Ascó-Vandellós II (ANAV) por el apoyo recibido y al personal técnico de la División de Materiales de Interés Energético por su colaboración. ■

- [1]. Uwe Jendrich, F. M.. Chloride Induced Transgranular Stress Corrosion Cracking (TGSCC) of Stainless Steel Components in German NPP. Fontevraud 6. 2006. SFEN. Fontevraud.
- [2]. E.Otero, J.M. Bastidas, V.Lopez. Analysis of a premature failure of welded AISI 316L stainless steel pipes originated by microbial induced corrosion" Materials and Corrosion. 1997;(48): 447-454.
- [3]. H. Amaya, et al. Effects of shape of weld bead on bacterial adhesion and MIC occurrence at stainless steel welded joints. Corrosion 2002, paper 2556.
- [4]. J.M. Boursier, M. Dupin, P. Gosset, Y. Rouillon. Secondary Side Corrosion of French PWR Steam Generator Tubing: Contribution of Surface Analyses to the Understanding of the Degradation Process, Ninth International Symposium on Environmental Degradation Materials in NPP, TMS 1999. ISBN Number 0-87339-475-5.
- [5]. EPRI (Electric Power Research Institute):1018249. Steam Generator Management Program: Steam Generator Deposits Characterization for Steam generator Tube Degradation prediction and Management. Palo Alto, CA: 2008.
- [6]. G. Diego, S. Merino. Microstructural characterization of sludge steam generator from Spanish NPP's. 20th NPC International Conference Brighton, United Kingdom. 2016. Paper Number: 139.
- [7]. G. Diego, D.Gómez, M. Baladía, C.J. Arias. Examination of steam generator alloy 800 NG tube from the Almaraz 2 NPP. Fontevraud 8. 2014. France, Avignon. SFEN. Fontevraud.
- [8]. G. Diego, D. Gómez. Austenitic Stainless Steels Failures in Operating PWR. 2010 MRP International Conference and exhibition on PWR. Colorado Spring CO.



Lo nuclear en los MEDIOS

MEDIO	ASUNTO	RESUMEN
EL ECONOMISTA 1 diciembre 2017	El Ministerio de Energía quiere ampliar la vida de las centrales nucleares para poder mantener la competitividad de la industria española.	El Ministerio de Energía quiere ampliar la vida de las centrales nucleares para poder mantener la competitividad de la industria española. El Consejo de Seguridad Nuclear acaba de poner los mimbres necesarios para que se puedan otorgar licencias para la operación a largo plazo de las centrales nucleares, es decir, hasta los 60 años, lo que en la práctica eleva en 20 años la vida de las plantas.
EL ECONOMISTA 1 diciembre 2017	Impulso adecuado para las nucleares	No existe ninguna ley española que impida extender la actividad de las centrales más allá de las cuatro décadas, pero tampoco existe ninguna norma de alto rango que especifique bajo qué condiciones se puede prologar su funcionamiento. Constituye un paso bien orientado que el gobierno quiera acabar con este vacío legal, mediante un reglamento especializado. Este nuevo código incidirá en las normas de seguridad que debe cumplir toda central cuya vida útil se prologue 20 años más. De hecho, este ordenamiento jurídico español cumpliría con los estándares que se aplican internacionalmente, especialmente en EE.UU., donde 81 reactores ya tienen autorización para funcionar hasta los 60 años.
EL ECONOMISTA 1 diciembre 2017	Iberdrola Ingeniería y Belgoprocess construyen una planta de tratamiento de residuos nucleares	Iberdrola Ingeniería y Belgoprocess han completado una prueba de demostración de una planta de tratamiento de residuos en la central nuclear de Kozloduy, en Bulgaria. La instalación está previsto que se destine a residuos radiactivos sólidos de baja y media actividad, reduciendo su volumen e inmovilizándolos. El contrato para esta planta asciende a 29,9 millones de euros, se adjudicó en 2009 pero la construcción de la planta comenzó a mediados de 2015.
LA GACETA 2 diciembre 2017	ENUSA se expande y lleva sus productos a Sudamérica y Asia	El proceso de internacionalización de Enusa cada vez cobra más fuerza y la compañía ha culminado este año importantes proyectos no solo en el marco europeo sino también en el mercado internacional, en los que despuntan Sudamérica, Asia y Oriente Medio.
OKDIARIO 2 diciembre 2017	Ignacio Araluce: "Las centrales nucleares españolas pueden durar otros 35 años"	El 22% de lo que se consume en nuestro país procede de las nucleares y todavía no existe una alternativa que garantice ni esa potencia, ni esa fiabilidad para la que es la 14 economía del mundo. También recuerda que la factura de la luz se dispararía un 25% si apagáramos ya las nucleares. Las centrales nucleares españolas tienen una vida útil de otros 35 años perfectamente. Se les han incorporado las últimas novedades, están en la vanguardia de la tecnología y sus hermanas gemelas en Estados Unidos han conseguido licencias para operar entre 60 y 80 años, a segura.
DIARI DE TARRAGONA 5 diciembre 2017	Los medios publican la finalización de la 24ª recarga de combustible de la unidad II de la central nuclear Ascó.	La central nuclear de Ascó II ha finalizado su proceso de recarga, y se conectó a la red eléctrica a las 02:46 horas del pasado 2 de diciembre una vez finalizados los trabajos correspondientes a la 24ª recarga de combustible, dando paso a un nuevo ciclo de operación.
LEVANTE 8 diciembre 2017	La central nuclear de Cofrentes vuelve a conectarse a la red.	La central nuclear de Cofrentes ya se ha recuperado de la avería que obligo a prolongar la parada para recargar el combustible que se inició el 23 de septiembre.
LA VANGUARDIA 7 diciembre 2017	El Gobierno nombra a Jorge Fabra consejero del Consejo de Seguridad Nuclear	El Consejo de Ministros ha aprobado un Real Decreto por el que se nombra consejero del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) a Jorge Fabra Utray, quien sustituirá la vacante que dejó la exconsejera Cristina Narbona, quien cesó a petición propia para ocupar la Presidencia del PSOE.
GRANADA HOY 14 diciembre 2017	Granada sella su alianza con Croacia para acoger el acelerador de partículas	Granada y Croacia ya caminan de la mano para presentar una candidatura conjunta que permita a Europa competir por el IFMIF-DONES, el acelerador de partículas que inyectará en la sede de Escúzar cerca de 400 millones de euros en una primera fase y que generará más de 9.000 empleos
EL ECONOMISTA 13 diciembre 2017	El CSN llevó a cabo 166 inspecciones a las centrales nucleares en 2016	El Consejo de seguridad Nuclear (CSN) llevó a cabo un total de 166 inspecciones a las centrales españolas en 2016, de las que 119 fueron del plan base y otras 47 respondieron a hallazgos o incidentes específicos. Así lo explicó este miércoles el presidente del CSN; Fernando Martí, en una comparecencia en el Congreso de los Diputados para presentar las principales actuaciones del Consejo en 2016. Según Martí, durante ese ejercicio "todas las centrales funcionaron de forma segura y sin ninguna consecuencia para los trabajadores, la población o el medio ambiente".

MEDIO	ASUNTO	RESUMEN
EL PAÍS 17 diciembre 2017	El País en su edición de Cataluña destaca: "Las nucleares de Ascó y Vandellòs quieren llegar a 60 años de vida".	La Sociedad Nuclear Española (SNE) refiere que la vida útil de una central nuclear es "el tiempo durante el cual la instalación puede funcionar de forma segura y económicamente viable". La ambigüedad domina cuando se trata de poner fecha para jubilar instalación de estas, pero las empresas propietarias de Ascó y Vandellòs, Endesa e Iberdrola, han iniciado los trámites para mantenerlas abiertas 60 años. Los reactores de las plantas catalanas imitan el modelo usado en las centrales norteamericanas. El director general de ANAV destaca que 83 de los 99 reactores que hay en Estados Unidos "tienen licencia para operar hasta los 60 años", aunque algunas de esas plantas pretenden seguir activas 20 años más.
ABC 3 enero 2018	Las nucleares vuelven a ser en 2017 las que más electricidad generaron	Las siete centrales nucleares que hay en nuestro país han sido, por cuarto año consecutivo, las que han generado más electricidad en 2017, concretamente el 22,6% del total. En segundo lugar, ha quedado la eólica (19,2%).
CINCO DÍAS 3 enero 2018	La francesa EDF pasa a controlar el 75,5% del grupo de reactores Areva	El coloso energético estatal francés Électricité de France (EDF) se convirtió ayer en el principal accionista de la antigua Areva, también empresa pública, al quedarse con el 75,5% del capital de las actividades de reactores nucleares. Se trata del núcleo del negocio de Areva, ahora en manos de la denominada NewNP, en la que también participan la japonesa Mitsubishi, que entra con un 19,5%, y Assystem, con un 5% de participación.
EL ECONOMISTA ABC MUNDO ENERGÍA 09 enero 2018	Las centrales nucleares españolas lideran la producción eléctrica un año más	La energía nuclear ha sido en 2017 la fuente de generación eléctrica que mayor contribución ha realizado al sistema eléctrico español. Con tan solo el 7,06% del total de la potencia instalada, los siete reactores nucleares españoles han producido 55.612 GWh netos; el 21,17% del total de la energía eléctrica consumida, constituyendo así una base firme y predecible para la garantía del suministro eléctrico.
EL ECONOMISTA 10 enero 2018	El Economista señala que EDF arrancará una nueva central nuclear este año en referencia a la planta de Flamanville.	El pasado 6 de enero, la eléctrica pública francesa completó la llamada fase de prueba "fría" del EPR de Flamanville. Esta fase de prueba, iniciada el 18 de diciembre de 2017, completó con éxito la prueba de fugas del circuito del reactor primario a una presión de más de 240 bar. EDF está preparando ahora las llamadas pruebas "en caliente" que comenzarán en julio para demostrar el correcto funcionamiento de la instalación.
LAS PROVINCIAS 17 enero 2018	La central de Cofrentes cubre un 27% de la demanda eléctrica en la Comunidad	La energía generada por la central nuclear de Cofrentes durante 2017 permitió cubrir en torno al 27% de la demanda eléctrica de la Comunidad Valenciana. La central permaneció conectada a la red eléctrica el 80% del periodo considerado, un total de 7.031 horas en el año sobre 8.760, y alcanzó una producción final de 7.340 millones de kilovatios, que representan cerca del 3% de la producción final de electricidad a nivel nacional.
EL PAÍS 19 enero 2018	Un informe elaborado por la consultora Deloitte en el que señala la necesidad de que la energía nuclear siga formando parte del mix para llevar a cabo la transición energética en España	Según el informe "Una transición inteligente hacia un modelo energético sostenible para España en 2050", realizado por Deloitte. Es necesario mantener en funcionamiento las plantas de generación de energía convencionales (térmicas de carbón y nucleares) a medio plazo como respaldo para asegurar una transición energética eficiente hasta que se construyan las instalaciones suficientes de energía renovable, sobre todo debido a la incertidumbre que plantea el desarrollo de tecnologías de almacenamiento. Su cierre anticipado obligaría a inversiones de 6.800 millones
ABC 19 enero 2018	Cecam apuesta por un «mix» de energías, que también incluya la nuclear	Cecam, la patronal castellano-manchega, considera una necesidad reducir el coste de la energía. Partiendo de esa premisa, su apuesta para hacerlo realidad sería un «mix» de fuentes y entre estas se incluiría también la nuclear.
EL ECONOMISTA 24 enero 2018	Endesa e Iberdrola han iniciado los trámites ante el Consejo de Seguridad Nuclear para renovar la licencia de operación de las centrales nucleares de Almaraz y Vandellòs.	Endesa e Iberdrola han iniciado los trámites ante el Consejo de Seguridad Nuclear para poder renovar la licencia de operación de las centrales nucleares de Almaraz y Vandellòs. Ambas compañías tienen que superar primero una revisión de seguridad previa antes de poder presentar la petición de licencia.
ABC 25 enero 2018	Foro ABC «No se puede prescindir de la energía nuclear» en España	La Casa de ABC reunió ayer a destacados expertos del sector energético que coincidieron en subrayar que «no se puede prescindir de la energía nuclear» en España durante los próximos años y que la transición energética debe incluir a esta energía como una de las que más garantizan el suministro eléctrico
EL ECONOMISTA 26 enero 2018	Marco jurídico estable para las nucleares	El Gobierno presentará un texto legal con la idea de impedir el cierre próximo de centrales nucleares, debido a que rebasarán los 40 años de funcionamiento. La reglamentación pretende que las clausuras se tengan que sustentar en exhaustivos informes, que ponderen tanto la seguridad de suministro como el beneficio del consumidor. En otras palabras, la normativa ofrece garantías para que la prórroga de 20 años en la vida útil de las centrales sea posible y se haga sobre bases bien definidas. La norma contribuye así a que las nucleares sigan siendo relevantes, lo que constituye aún una necesidad para evitar fuertes subidas de la luz. Además, crea un marco jurídico estable, que permite a las eléctricas invertir con más garantías en las plantas.
EL ECONOMISTA 09 febrero 2018	El Economista publica un artículo de Pedro Mielgo, expresidente de Red Eléctrica de España	Transición energética y estrategia nuclear. En el debate sobre la transición energética es inevitable definir el papel de la energía nuclear a medio y largo plazo. Para ello, además de analizar cuestiones objetivas, como los costes, las emisiones, la contribución de la energía nuclear a la seguridad de suministro y a la estabilidad del sistema eléctrico, conviene reflexionar sobre las estrategias que han adoptado otros países.

CENTRALES NUCLEARES ESPAÑOLAS

Diciembre 2017
ALMARAZ
**ENDESA G. 36%,
IBERDROLA 53%, GNF 11%**
**Almaraz I
1.035,27 MW**

		Diciembre	Acumulado en el año	Acumulado a origen
Producción bruta	MWh	776.467	8.048.056	257.344.949
Producción neta	MWh	747.465	7.753.923	247.344.952
Horas acoplado	h	744	7.885	277.888
Factor de carga o utilización	%	99,45	87,55	82,57
Factor de operación	%	100	90,01	86,68
Paradas automáticas no programadas		0	1	95
Paradas automáticas programadas		0	0	6
Paradas no programadas		0	0	19
Paradas programadas		0	1	43

ENDESA G. 36%, IBERDROLA 53%, GNF 11%
**Almaraz II
1.045 MW**

		Diciembre	Acumulado en el año	Acumulado a origen
Producción bruta	MWh	776.386	8.937.903	254.231.836
Producción neta	MWh	752.942	8.593.490	245.091.560
Horas acoplado	h	744	8.656	269.596
Factor de carga o utilización	%	99,91	97,69	87,00
Factor de operación	%	100	98,82	89,84
Paradas automáticas no programadas		0	0	70
Paradas automáticas programadas		0	0	6
Paradas no programadas		0	0	23
Paradas programadas		0	1	37

ASCÓ
ENDESA G. 100%
**Ascó I
1.032,5 MW**

		Diciembre	Acumulado en el año	Acumulado a origen
Producción bruta	MWh	774.220	7.844.390	249.067.412
Producción neta	MWh	741.655	7.509.863	238.787.865
Horas acoplado	h	744	7.689.410	260.717
Factor de carga o utilización	%	100,79	86,73	83,34
Factor de operación	%	100	87,78	86,10
Paradas automáticas no programadas		0	0	92
Paradas automáticas programadas		0	0	5
Paradas no programadas		0	1	20
Paradas programadas		0	1	31

ENDESA G. 85%, IBERDROLA 15%
**Ascó II
1.027,2 MW**

		Diciembre	Acumulado en el año	Acumulado a origen
Producción bruta	MWh	701.500	8.041.730	242.131.670
Producción neta	MWh	670.793	7.710.313	232.394.058
Horas acoplado	h	717,25	7.916	251.860
Factor de carga o utilización	%	91,79	89,37	86,52
Factor de operación	%	96,40	90,37	88,93
Paradas automáticas no programadas		0	0	60
Paradas automáticas programadas		0	0	4
Paradas no programadas		0	0	14
Paradas programadas		0	1	31

COFRENTES
1.092 MW
IBERDROLA 100%

		Diciembre	Acumulado en el año	Acumulado a origen
Producción bruta	MWh	637.863	7.340.067	261.873.964
Producción neta	MWh	613.361	7.049.703	252.101.033
Horas acoplado	h	609,33	7.031	260.620
Factor de carga o utilización	%	78,51	84,12	86,96
Factor de operación	%	81,93	88,02	89,20
Paradas automáticas no programadas		0	0	96
Paradas automáticas programadas		0	0	7
Paradas no programadas		0	1	12
Paradas programadas		0	1	36

5^{ta}. M^o DE GAROÑA
**NUCLEONOR (ENDESA G. 50%,
IBERDROLA 50%)**
466 MW

		Diciembre	Acumulado en el año (*)	Acumulado a origen (*)
Producción bruta	MWh	0	0	133.335.074
Producción neta	MWh	0	0	126.976.805
Horas acoplado	h	0	0	302.218,01
Factor de carga o utilización	%	0	0	77,74
Factor de operación	%	0	0	81,44
Paradas automáticas no programadas		0	0	150
Paradas automáticas programadas		0	0	9
Paradas no programadas		0	0	62
Paradas programadas		0	0	59

* Datos acumulados hasta las 00:00 h. del 6 de Septiembre de 2013, fecha de cese definitivo de la explotación de la central, según Orden Ministerial IET/1302/2013.

**GNF 34,5%, IBERDROLA 48%,
EDP 15,5%, NUCLEONOR 2%**
TRILLO I
1.066 MW

		Diciembre	Acumulado en el año	Acumulado a origen
Producción bruta	MWh	789.963	8.530.705	239.025.346
Producción neta	MWh	739.927	7.983.090	223.799.737
Horas acoplado	h	744	8.067	229.145
Factor de carga o utilización	%	99,60	91,35	86,64
Factor de operación	%	100	92,09	88,29
Paradas automáticas no programadas		0	0	11
Paradas automáticas programadas		0	0	18
Paradas no programadas		0	0	33
Paradas programadas		0	1	34

VANDELLÓS II ENDESA G. 72%, IBERDROLA 28%
1.087,14 MW

		Diciembre	Acumulado en el año	Acumulado a origen
Producción bruta	MWh	805.385	9.365.907	228.661.840
Producción neta	MWh	774.042	8.999.074	218.694.740
Horas acoplado	h	744	8.760	224.424
Factor de carga o utilización	%	99,57	98,35	82,39
Factor de operación	%	100	100	85,18
Paradas automáticas no programadas		0	0	52
Paradas automáticas programadas		0	0	0
Paradas no programadas		0	0	26
Paradas programadas		0	0	29

Secciones FIJAS

NOTICIAS DE LA SNE

FALLO DEL PREMIO SNE A LA MEJOR TESIS DOCTORAL

La SNE, consciente de la importancia que tiene el fomento de la formación y la investigación en el mundo de la ciencia y tecnología nuclear, ha convocado por cuarto año consecutivo el Premio SNE a la mejor tesis doctoral.

A la convocatoria se han presentado más de veinte trabajos, trabajos de variada procedencia (12 universidades) y disciplinas en el marco de la ciencia y tecnología nuclear.



El Jurado, formado por Jorge Aldama, Francisco Benítez, Juan Bros, José Antonio Carretero José M^a Figueras y Juan Antonio Muñoz, miembros de la Comisión Técnica de la Sociedad Nuclear Española, en reunión celebrada en la sede de la SNE el jueves día 8 de febrero, ha decidido otorgar el Premio SNE 2017 a la mejor Tesis Doctoral sobre Ciencia y Tecnología Nuclear a:

Silvia Espinosa Gútiérrez por su trabajo *Theoretical explanations of I-mode im-*

purity removal and H-mode poloidal pedestal asymmetries. Massachusetts Institute of Technology.

El jurado quiere resaltar el excelente nivel de todos los trabajos presentados, merecedores todos ellos de excelentes valoraciones por parte de los tribunales que los calificaron. Para otorgar el premio se han valorado los méritos que concurren en cada trabajo presentado (incluida la calificación obtenida y si se ha obtenido, con ella, la mención de doctor europeo/internacional), las publicaciones, comunicaciones, patentes y otros indicios de calidad asociados a la tesis, la aportación innovadora del trabajo, la aplicabilidad práctica de los resultados, la originalidad del tema elegido, su dificultad para desarrollarlo y la presentación y diseño del informe del trabajo, así como el resto de documentación aportada.

La tesis doctoral ganadora del premio ha sido realizada en el Departamento de Ciencia e Ingeniería Nuclear del Massachusetts Institute of Technology (MIT) bajo la supervisión de Peter J. Catto, MIT Senior Research Scientist.

Para la realización del trabajo, Silvia Espinosa ha contado con una beca para estudios de posgrado en Estados Unidos de *La Caixa*. Entre otros reconocimientos, cuenta con el premio departamental al mejor estudiante del MIT, así como con los premios de la Sociedad de Física Europea (EPS) y de la Sociedad de Física Americana (APS). De la tesis, de muy reciente conclusión, se han derivado,

La Junta Directiva INFORMA

En la reunión de la Junta Directiva celebrada el día 18 de diciembre se adoptaron los siguientes acuerdos:

• CAMBIOS DE COMISIONES:

- Incorporación de Marisol Corisco a la Comisión Técnica.
- Las bajas en el Comité Técnico de la de la 44ª Reunión Anual de Andrés Gómez y Aldara Martínez.

• DECISIONES Y ACUERDOS DE LA JD:

- Aprobar el lema de la 44ª Reunión Anual: "Nuclear, una opción inteligente"
- El programa de la Jornada de Centrales Nucleares (CCNN) 2017.
- La concesión de dos diplomas de la SNE que se entregarán al finalizar la Jornada de CCNN 2017.
- Entregar una placa a la central de Santa María de Garoña durante la Jornada de Centrales Nucleares 2017, como reconocimiento al excelente funcionamiento.
- La programación de un ciclo de actividades formativas denominado *Competencias del Siglo XXI*.
- Asamblea ordinaria de socios que celebrará el 1 de marzo 2018, tras la Jornada de Centrales Nucleares 2017.
- Enviada la Convocatoria de elecciones para la J.D. a los Socios de la SNE. El plazo de presentación de candidaturas finalizará el 30 de enero 2018.
- El 14 de febrero se enviará a los socios la convocatoria de Asamblea General Ordinaria y renovación de cargos de la Junta Directiva
- Retransmitir en directo la Asamblea general y grabarla además para ponerla en la página web de la SNE.
- Confirmar la nominación de Dña. Carolina Ahnert como miembro del High Scientific Council.

hasta la fecha, seis publicaciones y una patente.

El trabajo ganador optará, representando a España, al Premio a la mejor Tesis Doctoral convocado por la Sociedad Nuclear Europea.

jóvenes nucleares

EMILIO MÍNQUEZ HA SIDO GALARDONADO CON EL JAN RUNERMARK AWARD DE LA ENS-YGN

Jóvenes Nucleares está orgulloso de anunciar que **D. Emilio Mínguez** ha sido galardonado con el prestigioso **Jan Runermark Award**. El premio Jan Runermark, concedido por

la *European Nuclear Society-Young Generation Network (ENS-YGN)*, reconoce a un profesional senior que se ha demostrado durante su actividad profesional que ha brindado un servicio sobresaliente, en beneficio de la generación joven y jóvenes profesionales del sector.

El premio fue creado por la ENS en Dresde, el 24 de noviembre de 1995 en memoria de Jan Runermark, persona que inició la red sueca de Jóvenes Generaciones y promotor del movimiento ENS-YGN.



Desde Jóvenes Nucleares hemos considerado que Emilio ha desarrollado, desde su vertiente docente e investigadora en la Universidad Politécnica de Madrid, una carrera brillante en el sector nuclear. Emilio es doctor ingeniero Industrial por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid (UPM), catedrático de Tecnología Nuclear y director actual de la ETSII. Toda su carrera laboral ha estado y está relacionada con la docencia y la investigación en el sector

nuclear. Desde sus labores como profesor e investigador, Emilio ha formado a cientos de alumnos que hoy en día lideran el sector nuclear español e internacional. Igualmente, Emilio ha prestado un apoyo personal e institucional incalculable a Jóvenes Nucleares. Destacar su gran papel en el desarrollo de los Seminarios de Reactores Avanzados y los Seminarios de Fusión Nuclear que son un referente de formación en este campo. Desta-

car también su papel como exvicepresidente y miembro fundador de la *European Nuclear Education Network (ENEN)*, la cual contribuye a la formación en ciencia y tecnología nuclear a nivel europeo de cientos de jóvenes nucleares.

Desde Jóvenes Nucleares nos alegramos de este premio y te animamos a seguir luchando por el desarrollo de los futuros profesionales del sector nuclear.

¡Enhorabuena y gracias Emilio! ■

NOTICIAS DE ESPAÑA

EL GOBIERNO APRUEBA UNA DECLARACIÓN INSTITUCIONAL CON MOTIVO DEL DÍA INTERNACIONAL DE LAS MUJERES Y LAS NIÑAS EN LA CIENCIA

En diciembre de 2015 la Asamblea General de Naciones Unidas declaró el 11 de febrero el *Día Internacional de las Mujeres y las Niñas en la Ciencia*, en reconocimiento al papel clave que las mujeres desempeñan en la comunidad científica y la tecnología, y a la necesidad de promover el empoderamiento, la participación plena y efectiva de las mujeres y las niñas en la ciencia, la tecnología y la innovación, así como en las políticas, los programas y en los procesos de toma de decisiones en materia de desarrollo sostenible a todos los niveles. Por ello, el Consejo de Ministros, a propuesta de la ministra de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad, Dolors Montserrat, del Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación, del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad y del Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, ha aprobado la siguiente declaración institucional:

“En los últimos años en nuestro país se han producido importantes avances en materia de igualdad, fundamentalmente en educación y formación; en la actualidad el porcentaje de niñas y mujeres jóvenes que finalizan estudios es superior al de los hombres, el abandono escolar temprano de las chicas, en 2016, era del 15,1 % mientras que el de los chicos era del 22,7 %, además los resultados académicos de las mujeres son mejores.

Sin embargo, a pesar de estos significativos logros en educación, quedan todavía importantes retos por abordar para que la igualdad entre mujeres y hombres sea real y efectiva, especialmente en el ámbito de la Ciencia, la Tecnología, la Ingeniería y las Matemáticas (STEM, por sus siglas en inglés), y en la eliminación de cualquier forma de discriminación en la capacitación, el empleo y en los procesos de toma de decisiones en la ciencia. El porcentaje de mujeres en disciplinas científicas y tecnológicas, tanto en formación profesional como en la educación superior todavía es reducido.

En el ámbito de la investigación son más mujeres que hombres los que inician su carrera como personal investigador, si bien, su número va disminuyendo según se asciende en la escala profesional hasta la categoría máxima de profesorado catedrático de universidad o de profesorado de investigación, donde apenas alcanzan el 21 % y 25 % respectivamente.

Es necesario contar con más referentes femeninos en estas carreras, eliminando prejuicios y estereotipos de género que son factores determinantes de las desigualdades a la hora de elegir estudios y profesión o de que avancen en estas carreras profesionales pese a ser mujeres extraordinariamente formadas y capacitadas. Basta recordar, a modo de ejemplo, que desde la creación de los premios Nobel en el año 1901 hasta la actualidad, sólo 17 mujeres han sido galardonadas con estos premios por sus trabajos científicos, frente a un total de 597 hombres, por lo que apenas el 3% de las personas premiadas en las categorías científicas del Nobel han sido mujeres, ninguna en la última edición.

Superar estas desigualdades, eliminar la brecha científica y lograr la plena incorporación de las mujeres en las nuevas tecnologías es uno de los objetivos fundamentales de la Agenda Digital para España, aprobada en el año 2013. La economía digital y las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) han de ser aliadas indispensables para alcanzar la igualdad y el empoderamiento de las mujeres y también un objetivo clave para aquellas naciones que, como España, aspiren a una economía competitiva basada en el conocimiento. Así lo pone de manifiesto la OCDE en su último informe sobre la evolución de los diferentes sistemas educativos de los 35 Estados miembros de esta organización, su financiación y el impacto de la formación en el mercado de trabajo y en la economía. El informe insiste en que las disciplinas STEM son «la clave del desarrollo económico y la innovación».

Por todo ello el Gobierno está poniendo en marcha campañas de información, difusión y sensibilización a través de las nuevas tecnologías en el ámbito de la lucha contra la violencia de género, la igualdad salarial y la ciberseguridad; se están desarrollando programas de formación para promover las habilidades TIC entre las mujeres y acciones de fomento y apoyo al emprendimiento femenino a través de estas tecnologías.

Y en sintonía con la UE, una de las seis prioridades de la Hoja de Ruta para el desarrollo del Espacio Europeo de Investigación en España 2016-2020 es fortalecer la igualdad de género y la dimensión de género en la investigación. Esta prioridad se concreta en medidas específicas en torno a dos grandes objetivos: la revisión y adecuación de los procedimientos y criterios utilizados en las convocatorias públicas de ayudas a la I+D+i, y la elaboración de directrices, el fomento de buenas prácticas y la formación para centros públicos de investigación y agencias de financiación de la I+D+i.

A los programas que actualmente se están desarrollando, se sumarán nuevas acciones en el marco del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2017-2020, recientemente definido, y del nuevo Plan Estratégico de Igualdad de Oportunidades, que se llevarán a cabo por los Ministerios competentes, en colaboración con las universidades, con los organismos públicos de investigación, con las empresas tecnológicas, con fundaciones del sector público y con organizaciones de la sociedad civil. Por un lado, estas actuaciones irán destinadas a motivar a las niñas desde la infancia para que tengan referentes, confíen en sus habilidades y desarrollen la curiosidad por el mundo científico, visibilizando y valorando las aportaciones de las mujeres al mundo científico, para que sirvan de ejemplo a la hora de fomentar una mayor participación de las niñas y de otras mujeres en las disciplinas científicas y tecnológicas.

Además, se promoverán nuevas acciones de sensibilización destinadas a combatir los estereotipos, prejuicios y

roles de género a fin de evitar sesgos de género desde la infancia, fundamentalmente en quienes tengan la posibilidad de educarlas, orientarlas, seleccionarlas y promoverlas en sus estudios y carrera profesional a lo largo de su vida.

Sólo así, con el compromiso del Gobierno, la colaboración y el trabajo de todas las instituciones involucradas y de la sociedad en su conjunto, se incrementará progresivamente la presencia y participación de las mujeres en la Ciencia y la Tecnología, garantiremos el cumplimiento de los objetivos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y avanzaremos hacia la igualdad real y efectiva de trato y de oportunidades de mujeres y hombres.

Por todo ello, el Gobierno de España reafirma su firme compromiso de trabajar para lograr el acceso y la participación plena y en igualdad de las mujeres y las niñas en la ciencia y la tecnología"

Fuente: Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. ■

EMPRESAS

UNA DELEGACIÓN DE LA COMISIÓN DE ENERGÍA, TURISMO Y AGENDA DIGITAL VISITA LA FÁBRICA DE JUZBADO

La Fábrica de Juzbado acogió la visita de una delegación de la Comisión de Energía, Turismo y Agenda Digital del Congreso de los diputados, encabezada por su presidente, D. Ricardo Sixto Iglesias.

Los miembros de esta Comisión conocieron la planta de combustible de la mano de José Luis González, presidente de la Enusa, y de Javier Montes, director de la fábrica, entre otros miembros directivos.

Asimismo, tuvieron la oportunidad de conocer y saludar al alcalde de Juzbado, Fernando Rubio, que se acercó hasta la instalación con tal motivo.

A la jornada también asistió D. Ignacio Araluce, nombrado recientemente presidente de Foro Nuclear, asociación sin ánimo de lucro que desde 1962 representa los intereses del sector nuclear español ante las Administraciones públicas y otros grupos de interés.

La visita se enmarca dentro de las relaciones existentes entre Enusa y la Comisión, a la que la empresa pública reporta anualmente. Se propuso en la última reunión, el pasado mes de octubre, a raíz de la renovación de sus miembros, con el objetivo de que éstos conozcan de primera mano aquello de lo que se les informa periódicamente.

Tras una primera presentación de la actividad de la Compañía, el grupo visitó las áreas de fabricación para conocer el proceso productivo que se realiza en esta instalación del que destacaron, tras los últimos informes presentados, la alta inversión en seguridad, innovación y tecnología. Ya *in situ*, en palabras de Ricardo Sixto Iglesias, la visita resultó "francamente instructiva y provechosa, no sólo por conocer en persona las distintas áreas de fabricación de esta instalación, sino por haber tenido la oportunidad de recibir respuesta a todas nuestras inquietudes y curiosidades, que han sido satisfechas ampliamente por el equipo directivo de Enusa". ■

ENSA DESARROLLA UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE ZONAS ANULARES DE UNIÓN POR SOLDADURA EN GRANDES PIEZAS

La empresa cántabra recibió una subvención del Programa Innpulsa – Ayuda Innova año 2014

El Departamento de Soldadura y Tratamientos Térmicos de Equipos Nucleares S.A., S.M.E (ENSA) junto a personal de Ik4 ha desarrollado un sistema de calentamiento de zonas anulares de unión por soldadura en grandes piezas controlado, seguro, estandarizado y de fácil adaptación a las diferentes configuraciones (diámetros).



Este proyecto se ha puesto en marcha gracias a una de las subvenciones enmarcada dentro de la línea de ayudas: Programa Innpulsa – Ayudas Innova año 2014, gestionadas por la Dirección General de Innovación, Desarrollo Tecnológico y Emprendimiento Industrial, de la Consejería de Innovación, Industria, Turismo y Comercio del Gobierno de Cantabria, seleccionada para su cofinanciación dentro del Programa Operativo FEDER de Cantabria 2014-2020.

El proyecto pretende incrementar la seguridad y procedimiento del proceso actual mejorando la calidad del producto y tratando de reducir sus tiempos. ■

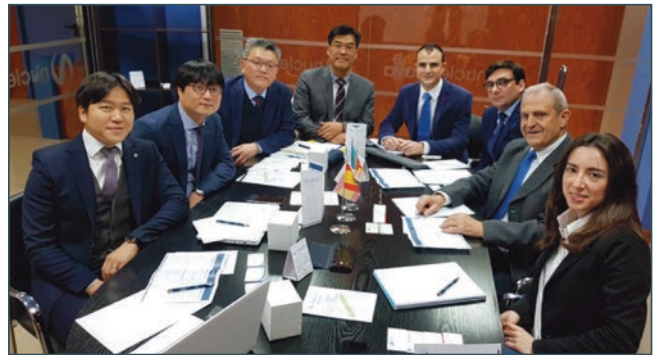
NUCLEONOVA FIRMA UN ACUERDO CON KOREA NUCLEAR PARTNERS (KNP) PARA EL DESARROLLO DE COOPERACIÓN BIUNÍVOCA EN APROVISIONAMIENTO Y SOLUCIONES A CLIENTES

Nucleonova ha suscrito un *Memorandum of Understanding* (MOU) de colaboración con la empresa surcoreana Korea Nuclear Partners (KNP) con el propósito de ofrecer de manera conjunta, el aprovisionamiento de equipos y soluciones a sus clientes.

Este acuerdo permite ampliar el portafolio de productos de Nucleonova, incorporándose más de 20.000 productos de 300 empresas coreanas de alto valor añadido y suministradoras de productos a las plantas coreanas. Además, se han habilitado unas oficinas para KNP, en las nuevas instalaciones de Nucleonova, en Paseo de la Pechina, Valencia.

Korea Nuclear Partners (KNP) es una empresa filial de Korea Hydro & Nuclear Power Co. Ltd. (KHNP), empresa proveedora del 40 % de todo el suministro energético nacional de Corea del Sur.

Durante el mes de enero Korea Nuclear Partners ha realizado una visita a España, habiendo cubierto una ambiciosa agenda con visitas a entidades del gobierno autonómico, ingenierías, y empresas propietarias del sector energético español. Esta visita se ha enmarcado dentro



del plan desarrollado conjuntamente y enmarcado en el acuerdo firmado, como fase previa a la misión comercial que Nucleonova tiene previsto efectuar a Corea del Sur en un futuro próximo.

Nucleonova, empresa caracterizada por una continua apuesta innovadora, se encuentra en proceso de diversificación e internacionalización, enmarcado en su Plan Estratégico 2017-2020, con el que pretende dar a conocer sus actividades y ampliar sus miras para consolidar su crecimiento. ■

IN MEMORIAN

GUILLERMO VELARDE

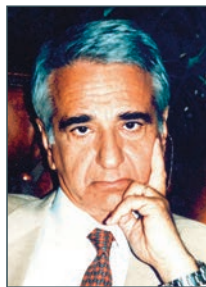
El profesor Guillermo Velarde Pinacho falleció el pasado día 12 de enero en Madrid.

Fue desde 1973 el primer catedrático de Física Nuclear de la Universidad Politécnica de Madrid, impartiendo su docencia en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.

Además de esa posición académica, el profesor Velarde era general de División del Ejército del Aire.

Comenzó su carrera científica en el año 1958 en la extinta Junta de Energía Nuclear (JEN), hoy Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). Después de su estancia en EE.UU. en diversos centros de investigación vuelve a la JEN, y allá por el comienzo de los años 70 empieza a promover la investigación de la Física de la Fusión por Confinamiento Inercial (ICF, en sus siglas en inglés), que él comprende bien lo que puede suponer para diversas áreas de la ciencia tanto de la generación energía, como del conocimiento de la física de la alta densidad de energía, como para la seguridad y defensa.

Con un pequeño grupo de jóvenes entusiastas desarrolló un conjunto de códigos de simulación computacional que integraban los procesos de transporte de radiación e hidrodinámica con el transporte de partículas (Norma, Clara, Norcla, Syncro, Libertas) y que permitían estudiar la física y el diseño de la implosión y quemado, con dependencia espacio-temporal, de las cápsulas combustibles de fusión nuclear pura, o aquellas con procesos conjuntos de fisión y fusión nuclear. Los resultados de estas simulaciones y diseños, publicados en diversas revistas de impacto desde 1976, tuvieron una gran repercusión internacional y atrajeron el interés de la comunidad científica de manera que se esta-



blecieron lazos de investigación conjuntos con laboratorios como Kernforschungszentrum Karlsruhe, Lawrence Livermore National Laboratory, Institute of Laser Engineering Osaka University, Lebedev Institute Moscow and Commissariat l'Energie Atomique France, con algunos de los cuales esa fructífera colaboración ha llegado a nuestros días, habiendo permitido participar en sus proyectos más señeros como la National Ignition Facility en LLNL, Láser Gekko-XII en ILE, PETAL en CEA, en algún caso en su diseño y en todos en sus propuestas experimentales. Esa fascinante historia pionera de los primeros comienzos de la generación de energía mediante la Fusión por Confinamiento Inercial es descrita en el libro *Inertial Confinement Fusion: A Historical Approach by its Pioneers* que él editó [Foxwell & Davies 2007], donde además de la historia contada por sus protagonistas se incluyen los artículos originales de cada uno de ellos. El libro está considerado como lectura recomendada por EUROfusion de la Comisión Europea.

En esa combinación de profesor y militar que nunca abandonó, el profesor Velarde estuvo encargado de la dirección del *Proyecto Islero* durante dos periodos de tiempo 1963-66 y 1974-77. Ese proyecto tuvo como objetivo estudiar la factibilidad técnica de que España desarrollase una fuerza propia de disuasión nuclear. Lo contó en su libro, *Proyecto Islero*. Cuando España pudo desarrollar armas nucleares (Guadaluzán, 2016), donde descubre hechos inéditos y de un gran valor histórico, descritos de manera honesta y rigurosa, de aquella época, y explica el nombre de *Islero*, el toro que mató a Manolete en la plaza de Linares en 1947, como la imagen gráfica de los dolores de cabeza y preocupaciones que le dio el desarrollo del proyecto.

En 1981, Guillermo Velarde, con el apoyo inestimable del vicepresidente de Gobierno y capitán general Manuel Gutiérrez Mellado, y del general del Aire y presidente de la Junta de Jefes del Estado Mayor, Ignacio Alfaro Arregui, fundó el Instituto de Fusión Nuclear (IFN) dentro de la Universidad Politécnica, y localizado en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Desde el principio de su existencia

el IFN comenzó un programa de alto nivel internacional en todos los aspectos que conducían a la obtención de energía mediante la Fusión por Confinamiento Inercial tanto por láser como por iones, participando en proyectos pioneros como el desarrollo teórico del Reactor HIBALL con el KfK y la Universidad de Wisconsin, el primero de los proyectos europeos en este campo.

Convencido de la necesidad de la proyección internacional de sus científicos y de la importancia de mantener abierta una creciente colaboración internacional, se encargó de promover y sostener, de manera muy especial con el profesor S. Nakai del ILE Osaka, y a pesar de diversas zancadillas sin valor técnico, el papel de la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA) en estas investigaciones. Lo consiguió a través de diferentes y sucesivos Programas de Investigación Coordinados y Reuniones Técnicas entre los laboratorios que se dedicaban a estas investigaciones. Junto a otros destacados científicos internacionales participó como editor y contribuyente científico en el libro *Energy from Inertial Fusion* editado en 1995 por la OIEA.

El IFN ha desarrollado con él un papel fundamental en el impulso y mantenimiento de la investigación en la Fusión por Confinamiento Inercial en Euratom, a través de sus comités decisorios como el Consultative Committee Euratom-Fusion en el que participé gracias a su apoyo, y en los *Keep in Touch ICF Programmes* a lo largo de los Programas Marco V, VI, VII, de cuyo comité científico Guillermo Velarde fue su presidente desde 1998 hasta 2006. Estos programas continúan actualmente en EUROfusion con el Proyecto *Towards Inertial Fusion Energy*. Su conexión con Euratom se remonta, en otro campo de investigación que hoy sigue en candelero en el panorama de la Fusión Nuclear, al 24 de Junio de 1987 cuando el IFN firmó un Contrato de Investigación con el Joint Research Centre de ISPRA, para realizar cálculos de la generación y transporte de neutrones de alta energía mediante *spallation*, y estudiar el diseño adecuado de una instalación que contribuyese al estudio del daño de los materiales por irradiación.

Guillermo Velarde perteneció desde el primer momento a los comités organizadores de las diversas conferencias claves en la Fusión Nuclear y usos avanzados de la energía nuclear, como *International Conference on Emerging Nuclear Energy Systems (ICENES)*, *European Conference on Laser Interactions with Matter (ECLIM)*, *Inertial Fusion Science and Applications (IFSA)*, siendo coeditor de otro libro significativo *Nuclear Fusion by Inertial Confinement: a comprehensive treatise* [CRC Press, 1992].

Hito muy importante supuso el *Madrid Manifesto* en el año 1988, cuando el Dr. Eric Storm (Lawrence Livermore National Laboratory, EE.UU.) y él promueven la firma del mismo durante la Conferencia ECLIM que ese año se celebraba en Madrid. Su objeto: la propuesta de una colaboración internacional abierta en el campo de la generación de energía

mediante la Fusión por Confinamiento Inercial. La iniciativa recibió una aprobación unánime por parte de los más importantes científicos de la ICF como C. Yamanaka (ILE Osaka, Japan), R. Dautray (CEA France), V. Rozanov (Lebedev Institute, Russia), H. Hora (Australia), que lo suscribieron, así como otros 130 científicos de todo el mundo.

El profesor Velarde apadrinó al profesor Leo Easki, al académico Nikolai Basov y al profesor Carlo Rubbia, los tres Premios Nobel de Física, como Doctores *Honoris Causa* en la Universidad Politécnica Madrid. Los tres fueron buenos amigos suyos y del Instituto de Fusión Nuclear con el que colaboraron científicamente.

Durante su vida Guillermo Velarde recibió diversos premios y reconocimientos, pero si hubiera que destacar de entre todos, tendríamos que hablar del Archie Harms por su investigación en los sistemas emergentes de energía en 1998, el Edward Teller en 1997, con el que le unió una gran amistad y respeto y, por supuesto el Premio Marqués de Santa Cruz de Marcenado, por el que las Fuerzas Armadas españolas le reconocían el gran esfuerzo y lealtad con el que había contribuido con grandes logros científicos dentro de las mismas.

Hasta el último momento estuvo pendiente del progreso científico y técnico de su querido Instituto Fusión Nuclear de la Universidad Politécnica de Madrid, y de proyectar su valor en todos los aspectos académicos, científicos, y sociales, así como mantener las excelentes relaciones con las Instituciones de Defensa.

He estado junto a él durante el desarrollo de toda mi vida académica y científica, he recorrido miles de kilómetros en su compañía, y me ha enseñado tantas cosas que me resulta difícil recordarlas. Pero podría comenzar recordando que él fue el padre de varias generaciones de ingenieros industriales que tuvieron el privilegio de estudiar la mecánica cuántica cuando en las ingenierías "eso" se consideraba una pérdida de tiempo innecesaria, propia sólo de mentes exóticas y ... de un campo equivocado.... Escribió su libro de *Mecánica Cuántica* (McGraw Hill, 2002) y dejó su herencia. El conocimiento riguroso de la física básica que sustenta la energía nuclear, en profesionales que han desarrollado con gran éxito sus carreras en ese campo, avala su éxito profesoral.

De todos esos recuerdos y enseñanzas quiero mencionar ahora sólo una: siempre defendió el talento en los jóvenes y peleó con las autoridades y en los foros pertinentes por la excelencia sin ninguna prevención y por encima de todo. Su capacidad para declinar el binomio del respeto debido y de la cercanía ganada, fue un ejemplo para los que hemos vivido junto a él.

Guillermo, descansa en paz, tu Instituto siempre será tuyo y te echa ya en falta.

José Manuel Perlado

Director del Instituto Fusión Nuclear / UPM. ■



NORMAS PARA LA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS

Los artículos que se publiquen en NUCLEAR ESPAÑA, revista de la SNE, se atenderán a las siguientes normas:

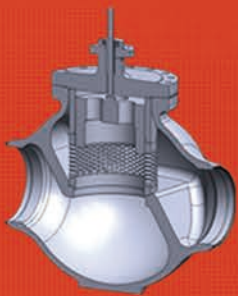
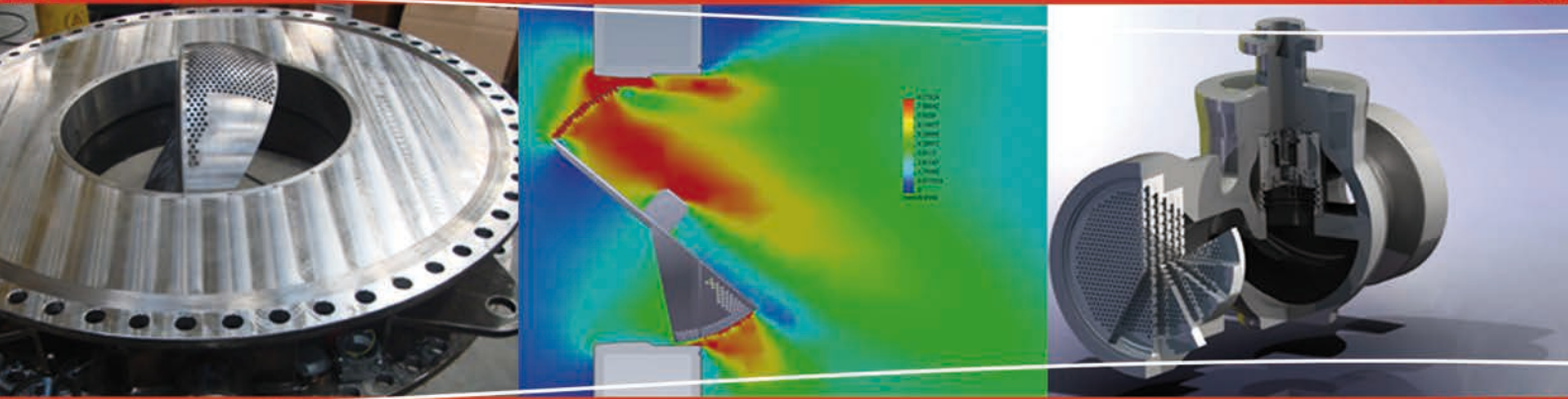
1. Serán originales y no habrán sido publicados en otras revistas. Podrán ser transcripciones de ponencias presentadas en conferencias, pero en tal caso deberán adaptarse al formato apropiado para un artículo (por ejemplo, se omitirán expresiones como señoras y señores, alusiones a diapositivas, a la conferencia que se presenta, etc.). Asimismo, deben evitarse artículos con un claro contenido comercial.
2. Deberán atenerse a las normas técnicas abajo indicadas, en cuanto a extensión, tamaño de los originales, gráficos, fotografías, etc.
3. La responsabilidad de la admisión de los artículos y su inclusión en un número de NUCLEAR ESPAÑA, corresponde a la Comisión de Redacción de la Revista de la SNE.
4. La Comisión de Redacción de la Revista se reserva el derecho a sugerir a los autores la conveniencia de efectuar cambios, ampliaciones o reducciones del texto por motivos razonables. No se efectuarán cambios sin el consentimiento de los autores, pero en caso de discrepancia grave la Comisión podrá retirar el artículo.
5. No se devolverán los originales ni se mantendrá correspondencia respecto a los mismos.
6. Los autores se responsabilizan de los artículos por ellos publicados en NUCLEAR ESPAÑA.
7. Se podrá solicitar la publicación de cartas abiertas en las que se expresen puntos de vista sobre temas nucleares. Asimismo, se admitirán réplicas de las mismas características, pero la Comisión de Redacción de la Revista se reserva el derecho de interrumpir la polémica cuando, a su juicio, se exceda el nivel razonable de discrepancia.
8. Cuando se hagan constar fechas límite para la presentación de artículos, se respetarán escrupulosamente sin excepciones.
9. Los artículos deben ir acompañados de los siguientes datos, en hoja aparte:
 - a. Título (castellano e inglés).
 - b. Autor/es.
 - c. Sumario (castellano e inglés) con un extensión entre 80 y 100 palabras.
 - d. Palabras clave (castellano e inglés).

NORMAS TÉCNICAS

1. En la presentación figurarán el nombre y apellidos del o los autores, su cargo actual y la empresa en la que trabaja. Si se desea puede añadir una breve reseña profesional (20 palabras aproximadamente) y una fotografía reciente. Asimismo, se incluirá el resumen del artículo en castellano y en inglés, (entre 80 y 100 palabras). Si no se indica expresamente lo contrario, los autores aparecerán en el orden en que aparecen en el documento. Si el artículo ha sido realizado por más de cuatro autores, no se incluirá fotografía de los mismos.
2. La extensión máxima será de 3.000 palabras. La Comisión de Redacción, por causas justificadas y previa comunicación, puede modificar esta extensión.
3. El artículo se enviará al miembro de la Comisión de Redacción de la Revista que actúe de coordinador en cada número, y que será la persona de contacto entre el autor y la Comisión.
4. El texto se enviará en formato Word.
5. Los gráficos y las fotografías deberán enviarse en archivos originales de imagen, no sólo dentro del texto. Las fotografías deberán tener una resolución igual o superior a 300 ppp.
6. Se utilizarán las unidades del Sistema Internacional (SI), respetándose la tipografía recomendada por este.
7. Se recomienda utilizar los vocablos del léxico nuclear definidos en el siguiente enlace: <http://www.sne.es/es/recursos/diccionario-de-terminos-nucleares>.
8. Se limitará a lo estrictamente necesario la utilización de Referencias Bibliográficas y se seguirán las normas Vancouver para las mismas que establecen que:

Las referencias se numerarán de manera correlativa según el orden en el que aparecen por primera vez en el texto. Se identificarán en el texto, tablas y leyendas mediante números arábigos entre corchetes. Las referencias que se citan sólo en las tablas o en las leyendas de las figuras se numerarán de acuerdo con el orden establecido por la primera identificación dentro del texto de cada tabla o figura.

RINGO VALVULAS



Válvulas de Control

Ringo Válvulas, además de su completa gama de fabricación de válvulas todo o nada; compuerta, globo retención, bola, mariposa y diafragma, es **fabricante líder** en válvulas de Control con **más de 15 años de experiencia en el sector Nuclear**. Ringo ofrece soluciones de control completas que incluyen:

- Válvulas de control lineales (globo) y rotativas (mariposa y bola)
- Rango completo de Cv (desde 0,02 hasta más de 50000)
- Diseño de internos para servicios severos, para reducir los efectos de la cavitación, flashing o exceso de ruido.
- Clase de fugas hasta nivel VI - cero fugas
- Rango completo de materiales
- Compatibilidad con todo tipo de actuadores e instrumentación



Driving Energy
www.ringospain.com

Válvulas instaladas en **más de 30 plantas en todo el mundo**



ISO 9001:2008 by LRQA



ISO 14001 by LRQA



OHSAS 18001 by LRQA



API 6A-0729
Licence Nr. 6A-0729



API 6D-0495
Licence Nr. 6D-0495



API 6DSS-0038
Licence Nr. 6DSS-0038



N



NPT



EMPRESARIOS AGRUPADOS

Ingeniería y servicios para el Sector Eléctrico.

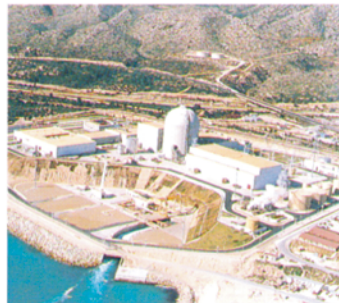
En el campo nuclear ofrecemos nuestra experiencia de ámbito internacional en una amplia gama de servicios para el proyecto, construcción y apoyo a la explotación de centrales nucleares e instalaciones con ellas relacionadas, incluyendo:

- ▶ Consultoría
- ▶ Gestión de Proyectos
- ▶ Ingeniería y Diseño
- ▶ Seguridad Nuclear y Licenciamiento
- ▶ Protección Radiológica
- ▶ Adquisición de Equipos
- ▶ Supervisión de Construcción
- ▶ Pruebas y Puesta en Marcha
- ▶ Garantía de Calidad
- ▶ Apoyo a la Operación y Mantenimiento
- ▶ Evaluaciones de Seguridad
- ▶ Análisis Probabilista de Seguridad
- ▶ Proyecto e Implantación de Modificaciones
- ▶ Gestión de la Configuración
- ▶ Gestión de Residuos Radiactivos de Baja Actividad
- ▶ Proyectos de Instalaciones para Almacenamiento de Combustible Gastado
- ▶ Programas de Alargamiento de Vida
- ▶ Descontaminación y Desmantelamiento

■ **Tecnología**

■ **Experiencia**

■ **Dedicación** ■



EMPRESARIOS AGRUPADOS, A.I.E. Magallanes, 3 • 28015 Madrid, España • Teléfono (34) 91 309 80 00 - Fax (34) 91 591 26 55
www.empre.es

EMPRESARIOS AGRUPADOS, A.I.E. es una Agrupación de Interés Económico (Ley 12/1991 de 29 Abril) constituida por GHESA, TRSA, IBERDROLA Ingeniería y Construcción S.A.U., TRPI y GAS NATURAL FENOSA ENGINEERING, S.L.

EMPRESARIOS AGRUPADOS INTERNACIONAL, S.A. es una Sociedad Anónima promovida por los mismos socios.