

III. OTRAS DISPOSICIONES

CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

6228 *Resolución de 5 de junio de 2020, del Consejo de Seguridad Nuclear, por la que se publica el Convenio con Science Engineering Associates, SL, para la evaluación de medidas experimentales de la composición isotópica de combustible gastado.*

El Presidente del Consejo de Seguridad Nuclear y el Administración Único de la Empresa Science Engineering Associates, S.L., han suscrito, con fecha 3 de junio de 2020, un Convenio para la evaluación de medidas experimentales de la composición isotópica de combustible gastado.

Para general conocimiento, y en cumplimiento de lo establecido en el artículo 48.8 de la Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público, dispongo la publicación en el «Boletín Oficial del Estado» del referido Convenio, como anejo a la presente Resolución.

Madrid, 5 de junio de 2020.–El Presidente del Consejo de Seguridad Nuclear, Josep Maria Serena i Sender.

ANEJO

Convenio de colaboración entre el Consejo de Seguridad Nuclear y la empresa Science Engineering Associates S.L. para la evaluación de medidas experimentales de composición isotópica de combustible gastado

REUNIDOS

De una parte don Josep Maria Serena i Sender, Presidente del Consejo de Seguridad Nuclear (en adelante CSN), cargo para el que fue nombrado por el Real Decreto 227/2019, de 29 de marzo (BOE número 77, del 30), en nombre y representación de este Organismo, con domicilio en la calle Justo Dorado n.º 11 de Madrid y número de identificación fiscal Q2801036-A.

De otra parte don Onur Ortego Töre, Administrador Único de la Sociedad Mercantil Science Engineering Associates S.L. (en adelante SEA) constituida en escritura pública del Notario del Ilustre Colegio Notarial de Madrid, distrito de El Escorial, Don Gerardo Delgado García de fecha 19 de noviembre de 2018 y número 3307 de su protocolo, de la que derivan igualmente los poderes de dicho Administrador Único. Inscrita en el Registro Mercantil de Madrid con fecha 8 de enero de 2019 en el Tomo 38542, folio 113, inscripción primera de la hoja M-685440. Tiene la sociedad el número de identificación fiscal B-88243977.

Todos ellos intervienen para la realización de este acto por sus respectivos cargos y en el ejercicio de sus facultades que, para convenir en nombre de las Entidades a que representan tienen conferidas y, a tal efecto,

EXPONEN

Primero.

Que el CSN, como único organismo competente en materia de seguridad nuclear y protección radiológica, tiene legalmente asignada la función de evaluar el impacto radiológico de las instalaciones nucleares y radiactivas y de las actividades que

impliquen el uso de radiaciones ionizantes, así como la de controlar y vigilar la calidad radiológica del medio ambiente de todo el territorio nacional.

Segundo.

Que el CSN suscribe el presente Convenio en ejercicio de la función que le atribuye su Ley de Creación (Ley 15/1980, de 22 de abril) en su artículo 2, letra p), que es la de establecer y efectuar el seguimiento de planes de investigación en materia de seguridad nuclear y protección radiológica.

Tercero.

Que el Plan de Investigación y Desarrollo del CSN 2016-2020, aprobado por el Pleno del CSN en junio de 2016, establece como líneas de investigación dentro del ámbito de la Seguridad Nuclear la necesidad de avanzar en la validación de códigos de cálculo de quemado del combustible así como en el conocimiento del comportamiento del combustible nuclear, dentro de las cuales se enmarca el proyecto de I+D objeto de este Convenio.

Cuarto.

Que la empresa SEA se especializa en los cálculos de transporte de radiación y quemado del combustible, así como en la realización de análisis de seguridad frente a criticidad, particularmente en el almacenamiento y transporte de combustible gastado. En especial, el personal técnico de SEA posee una amplia experiencia en el análisis y evaluación de datos de composición isotópica de combustible gastado, participa habitualmente en las reuniones de los grupos del Working Party on Nuclear Criticality Safety del Nuclear Science Committee de la NEA y ha realizado trabajos similares de evaluación de datos para la NEA, desarrollando una metodología propia acreditada tanto en estos trabajos como en la fase anterior del Convenio que se propone. El Director científico del proyecto, don Pedro Ortego, es además autor de la Guía de evaluación de la NEA «Evaluation Guide for the Evaluated Spent Nuclear Fuel Assay Database (SFCOMPO)» (Nuclear Science NEA/NSC/R(2015)8). Así mismo lidera otras actividades de la NEA en aspectos de transporte de radiación dentro del Proyecto SINBAD, para el que ha realizado numerosas evaluaciones de experimentos.

Quinto.

Que las tendencias de la industria nuclear mundial continúan dirigiéndose a la aplicación de técnicas de crédito al quemado en los análisis de seguridad frente a criticidad, incluyendo la consideración de los productos de fisión. Ello requiere el disponer de resultados experimentales de composición isotópica de combustible gastado adecuadamente caracterizados y validados. El CSN ha llevado a cabo proyectos de investigación en este terreno.

Sexto.

Que el CSN y SEA han colaborado en el pasado para el desarrollo de diversos proyectos de investigación, dedicados a la protección del público y del medio ambiente. Estos proyectos se han desarrollado de forma satisfactoria para ambas Partes.

Séptimo.

Que, a la vista de los excelentes resultados obtenidos hasta ahora, el CSN y SEA consideran conveniente continuar realizando actividades conjuntas de investigación, encaminadas a realizar evaluaciones detalladas de los resultados de medidas de composición isotópica de combustible gastado que están a su disposición, con el fin de

disponer de una cualificación de dichos datos que permita utilizarlos como base de validación para las aplicaciones de análisis de criticidad con crédito al quemado.

Octavo.

Que las Partes consideran que la colaboración entre ellas en este campo contribuirá al mejor cumplimiento de los objetivos propios de cada una de ellas, y aumentará el conocimiento científico y técnico en este ámbito en beneficio de todas las Partes.

Conforme a lo anterior, las Partes convienen en formalizar el presente Convenio con sujeción a las siguientes

CLÁUSULAS

Primera. *Objeto.*

El objeto general del presente Convenio es la realización de evaluaciones de los datos de composición isotópica de combustible gastado que se identifican en la Memoria Técnica que se adjunta como Anexo 1 a este Convenio, con el fin de cualificarlos para su uso como base de validación de los códigos de cálculo que se utilizan en los análisis de criticidad con crédito al quemado del combustible.

Este objetivo se detalla en la Memoria Técnica, donde igualmente se indica el alcance de las actividades que se considera necesario realizar para alcanzarlo.

Segunda. *Obligaciones de las partes.*

Son obligaciones de SEA dentro de este Convenio:

- Realizar las actividades que se describen en la Memoria Técnica que se incluye como Anexo 1 de este Convenio, relacionadas con el objetivo descrito en la cláusula primera.

- Poner a disposición del Convenio el personal necesario para garantizar la máxima calidad de los trabajos en él incluidos. En el momento de la firma, estos recursos humanos son los que se recogen en la Memoria Económica que se incluye como Anexo 2. En caso de ser necesario un mayor esfuerzo de personal, las Partes revisarán el presente Convenio siguiendo lo indicado en la cláusula sexta.

- Contribuir a la financiación de los gastos del Convenio en la forma que se describe en la cláusula cuarta.

- Poner a disposición del CSN las herramientas, metodologías, desarrollos y resultados obtenidos en el marco de este Convenio, así como, en general, toda la información que se genere durante la realización de las actividades objeto del mismo.

- Documentar los trabajos realizados dentro del Convenio, en la forma que se describe en la Memoria Técnica (Anexo 1 a este Convenio).

Son obligaciones del CSN dentro de este Convenio:

- Contribuir a la financiación del Convenio en la forma y plazos que se indican en la cláusula cuarta.

- Poner a disposición de SEA los datos e información de que disponga y que pudieran ser necesarios para la realización de los trabajos definidos en este Convenio.

- Aportar horas de dedicación del personal técnico que pondrá su conocimiento a disposición del equipo de expertos, dirigiendo y supervisando las tareas.

Tercera. *Responsabilidad.*

Las consecuencias aplicables en caso de incumplimiento de las obligaciones y compromisos asumidos por cada una de las Partes en el presente Convenio y, en su

caso, los criterios para determinar la posible indemnización por el incumplimiento se determinarán teniendo en cuenta las circunstancias concurrentes.

Cuarta. Presupuesto y financiación.

Los costes asociados a las actividades incluidas en este Convenio se detallan en la Memoria Económica que se incluye como Anexo 2. Sobre la base de los conceptos y cantidades que allí se detallan, se obtiene un coste total de ciento ochenta y nueve mil ochocientos noventa euros (189.890 €), sin impuestos añadidos. Según los criterios de reparto del coste que se han acordado entre las Partes para este proyecto, el CSN aportará la cantidad en metálico de ciento cinco mil seiscientos cuarenta y cuatro euros (105.644 €), sin impuestos añadidos y, además, aportará en concepto de seguimiento una cantidad de ocho mil doscientos noventa euros (8.290 €), que sumados corresponden a un 60 % del coste total citado. El restante 40 % hasta completar el coste total del proyecto correrá por cuenta de SEA.

La mencionada cantidad en metálico de ciento cinco mil seiscientos cuarenta y cuatro euros (105.644 €) aportada por el CSN debe incrementarse con el importe del IVA, por lo que asciende a un total de ciento veintisiete mil ochocientos veintinueve euros con veinte céntimos (127.829,20 €), cantidad que incluye los impuestos.

El coste total para ambas Partes asociado a este Convenio son doscientos veintiocho mil veintiséis euros (228.026,00 €) con el correspondiente IVA incluido.

Las aportaciones en metálico del CSN se llevarán a cabo durante cuatro ejercicios presupuestarios. Los ingresos a SEA se realizarán en la cuenta corriente que esta designe tras la firma del Convenio, según los plazos que se detallan en la Memoria Económica.

El CSN abonará su aportación en metálico al proyecto con cargo a sus presupuestos anuales de gastos, previa entrega y aceptación de la documentación que se define en la Memoria Técnica y en la Memoria Económica. Los pagos quedarán condicionados a la previa existencia de crédito específico y suficiente en cada ejercicio económico, con cumplimiento de los límites establecidos en el artículo 47 de la Ley General Presupuestaria.

Estas condiciones económicas podrán ser revisadas en caso de producirse alguna modificación de las bases del Convenio y de sus contenidos técnicos y presupuestarios.

Quinta. Seguimiento del Convenio.

Las Partes designan respectivamente como Coordinadores Técnicos del Convenio a los siguientes técnicos:

Por el CSN: Consuelo Alejano Monge.

Por SEA: Pedro Ortego Saiz.

Los Coordinadores Técnicos serán responsables de controlar el desarrollo del Convenio, y de adoptar, por mutuo acuerdo, las decisiones necesarias para la buena marcha de las actividades contempladas en el mismo. Para ello, podrán asesorarse por los expertos que consideren oportuno.

Sexta. Modificación.

Los términos del Convenio se podrán revisar o modificar en cualquier momento a petición de cualquiera de las Partes, de manera que puedan introducirse, de mutuo acuerdo, tales modificaciones o revisiones.

Séptima. *Régimen jurídico.*

Este Convenio queda sometido al régimen jurídico de los convenios, previsto en el Capítulo VI del Título Preliminar de la Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público, teniendo naturaleza administrativa.

La interpretación del Convenio se realizará bajo el principio de buena fe y confianza legítima entre las Partes, que convienen en solventar de mutuo acuerdo las diferencias que pudieran presentarse en su aplicación. Para ello, surgida la controversia, cada parte designará un representante si bien, en el caso de no lograrse común Convenio, éstas someterán la cuestión a los tribunales competentes de la jurisdicción contencioso-administrativa.

Octava. *Confidencialidad.*

Las Partes conceden, con carácter general, la calificación de información reservada a la generada en aplicación de este Convenio, por lo que asumen de buena fe el tratamiento de restricción en su utilización por sus respectivas organizaciones a salvo de su uso para el destino o finalidad pactados o de su divulgación, que habrá de ser autorizada previamente caso por caso por cada una de las Partes.

Asimismo cada una de las Partes se compromete a mantener de forma confidencial la información y/o documentación que le haya sido facilitada por las otras Partes y que, por su naturaleza, o por haberse hecho constar expresamente, tenga carácter confidencial.

Esta obligación de confidencialidad se mantendrá en vigor una vez finalizado el presente Convenio.

Se excluye de esta confidencialidad a la Agencia de Energía Nuclear de la OCDE (NEA) por ser de especial interés para el CSN que los resultados finales de los trabajos realizados queden a disposición de esta Agencia.

La aplicación en otros proyectos de los conocimientos adquiridos por las Partes como consecuencia de su participación en este proyecto no estará restringida por ninguna condición adicional.

Novena. *Propiedad intelectual e industrial.*

Los derechos de propiedad industrial e intelectual que recaigan sobre los trabajos o resultados de las actividades que se realicen dentro del alcance de este Convenio pertenecerán exclusivamente a las Partes, como únicos titulares de los mismos, por lo que ninguna entidad podrá divulgar dichos trabajos o resultados ni realizar explotación alguna de los derechos reconocidos sobre los mismos, incluyendo su cesión a terceros, sin contar con la previa aprobación escrita de la otra Parte.

La difusión de los resultados del proyecto, ya sea a través de publicaciones o de presentaciones en talleres, conferencias, o mediante cualquier otro medio, hará referencia a la financiación del proyecto por parte del CSN. El contenido de este párrafo permanecerá en vigor de forma indefinida una vez finalizado el presente Convenio.

Décima. *Vigencia y prórroga.*

El presente Convenio se perfeccionará por la prestación del consentimiento de las Partes mediante su firma. Tendrá una vigencia de 4 años contados a partir de su publicación en el «Boletín Oficial del Estado» previa inscripción en el Registro Electrónico estatal de Órganos e Instrumentos de Cooperación del sector público estatal. Si fuera necesario variar su plazo de ejecución, el Convenio podrá ser objeto de prórroga (máximo hasta 4 años adicionales) por mutuo acuerdo de las Partes, siempre que se respete lo establecido en el artículo 49, letra h, de la Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público y la prórroga sea compatible con las obligaciones presupuestarias legalmente establecidas. En este caso, se formalizara la oportuna

Cláusula Adicional incluyendo las condiciones de la prórroga con anterioridad a la fecha del vencimiento del Convenio.

Undécima. *Extinción y suspensión.*

El presente Convenio se extinguirá por el cumplimiento de las actuaciones que constituyen su objeto o por incurrir en alguna de las causas de resolución previstas en el artículo 51.2 de la Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público. Asimismo, las Partes por motivos razonables, podrán rescindir o suspender temporalmente este Convenio, preavisando con al menos tres meses de antelación a la fecha en que la resolución deba ser efectiva.

En tal caso, el CSN se compromete a abonar el importe de los trabajos y/o gastos incurridos comprometidos que según el Convenio corresponda abonar a cada una de estas entidades a los que ineludiblemente haya que hacer frente pese a la resolución del Convenio.

SEA entregará al CSN un informe de los resultados obtenidos hasta el momento de la interrupción, pudiendo utilizar libremente dichos resultados, siempre que se salvaguarden las condiciones estipuladas en las cláusulas Octava y Novena.

Las Partes manifiestan su plena conformidad con el presente Convenio, en Madrid a 3 de junio de 2020. Por el Consejo de Seguridad Nuclear, el Presidente, Josep Maria Serena i Sender.–Por la Empresa Science Engineering Associates, S.L., el Administrador Único, Onur Ortego Töre.

ANEXO 1

Memoria técnica del convenio de colaboración entre el Consejo de Seguridad Nuclear y la empresa Science Engineering Associates S.L. para la evaluación de medidas experimentales de composición isotópica de combustible gastado

1. Antecedentes

Desde la década de los 90 la necesidad de dar crédito al quemado en los análisis de criticidad de combustible gastado se ha impuesto en la mayoría de los países con centrales nucleares, como consecuencia de las estrategias de ciclo abierto, sin reprocesamiento del combustible, y de la limitación en la capacidad de las piscinas de almacenamiento. Además, el incremento de los valores del enriquecimiento del combustible para un mayor aprovechamiento del mismo, aumenta esta necesidad, teniendo en cuenta que los bastidores de almacenamiento originales estaban diseñados para un enriquecimiento del 3 al 3,5% en U235, siendo el límite aplicado actualmente del 5%.

En España y desde 1991, con el licenciamiento de los rediseños de bastidores de combustible gastado de las CCNN de Ascó y Almaraz, se generaliza la aplicación del crédito al quemado en los análisis de criticidad del combustible gastado, aunque ya antes, desde 1986 se había aplicado de manera limitada.

En lo que refiere a los organismos internacionales, se inicia en la NEA a finales de los 80 la actividad de un grupo de expertos sobre crédito al quemado (EGBUC) dentro del Working Party on Nuclear Criticality Safety (WPNCS), posteriormente sustituido por el grupo de expertos en combustible gastado (EGUNF). Otro tanto se puede decir del OIEA, que desarrolla diversas actividades sobre el tema. Se desarrollan en estos grupos ejercicios de comparación de la capacidad de predecir la criticidad de configuraciones experimentales (proyecto ICSBEP) y de estimar el impacto de la distribución axial de quemado, de la fracción de huecos o de la presencia de las barras control en el núcleo durante su irradiación (Fases I a VII del benchmark en crédito al quemado de la NEA). Sin embargo no se disponía en ese momento de información experimental suficiente en lo que se refiere a la composición isotópica del combustible irradiado, salvo de los isótopos de Uranio y Plutonio y de unos pocos productos de fisión. Además esta

información correspondía a combustible de bajo quemado y bajo enriquecimiento (proveniente de las centrales de Cooper, Obrigheim, Trino Vercellese, Gundremingen, Calvert Cliffs, JDPR, Garellano), poco representativo del combustible actualmente operado en España.

Los códigos de cálculo de criticidad actuales, basados en el método de Monte Carlo con el apoyo de librerías de secciones eficaces en energía continua, se acoplan a códigos de evolución isotópica detallada con más de un millar de actínidos y productos de fisión, constituyendo sistemas de cálculo muy avanzados que permiten la mejor modelación de las características geométricas y materiales del combustible, así como de las condiciones de operación (densidad, huecos, gradiente térmico y de potencia) durante su irradiación.

Sin embargo, toda esta capacidad de cálculo necesita ser contrastada con medidas experimentales. Mientras que la predicción de la reactividad del combustible fresco está suficientemente respaldada por los experimentos críticos, con un total de más de 4000 configuraciones críticas recopiladas y evaluadas dentro del proyecto ICSBEP, la predicción de la composición isotópica con el quemado necesita también una base experimental que todavía no está suficientemente consolidada.

La NRC inicia la aceptación generalizada del crédito al quemado en los análisis de criticidad de almacenamiento y transporte de combustible PWR con la edición de la Interim Staff Guidance Nr8, ISG-8, «Limited Burnup Credit» en el año 1999, pero establece en esta primera edición una limitación muy importante consistente en excluir del cálculo de reactividad a los productos de fisión y a los actínidos minoritarios, dando crédito exclusivamente a los mayoritarios. La base de esta limitación se encontraba en esa falta de base experimental suficiente para poder cualificar los códigos de cálculo en lo que se refiere a la evolución con el quemado de los productos de fisión y de los actínidos minoritarios.

Para superar esta limitación, la NRC ha desarrollado un amplio programa de investigación instrumentado a través del laboratorio nacional de Oak Ridge (ORNL) para disponer del mayor número posible de experimentos con combustible irradiado que incluyan medidas de composición isotópica del mayor número posible de productos de fisión y de actínidos minoritarios. En este plan se incluye la participación de la NRC en los proyectos conjuntos ARIANE, REBUS y MALIBU, y en el acceso a los datos experimentales del combustible de alto quemado de Vandellós II, además de la revisión de las medidas experimentales realizadas previamente en USA (Calvert Cliffs en los laboratorios de PNNL y TMI-1 en los laboratorios de ANL y Vallecitos). La última revisión 3 de la ISG-8 «Burnup Credit in the Criticality Safety Analyses of PWR Spent Fuel in Transportation and Storage Casks» publicada en 2012 ya acepta de manera generalizada para combustible PWR el crédito a un conjunto de 19 productos de fisión y actínidos minoritarios, hasta un valor de quemado medio de elemento de 60 GWd/TmU, para los que la NRC considera que existe suficiente base de datos experimental.

En Francia, las organizaciones estatales CEA e IRSN llevan muchos años trabajando en la validación de sus códigos de cálculo frente a medidas de composición isotópica con el objetivo de licenciar el crédito al quemado en los análisis de criticidad. Disponen de medidas en 6 reactores de combustible de UO₂, pero también MOX. Sin embargo el objetivo final no ha sido logrado todavía, salvo en el caso de los contenedores de transporte donde se acepta el crédito al quemado de 6 productos de fisión.

En el caso de España se ha realizado un esfuerzo muy importante de investigación en la medida de la composición isotópica del combustible, primero con el proyecto conjunto CSN-ENRESA-ENUSA para el análisis destructivo de las barras de alto quemado de Vandellós II (2003-2007), y más tarde con las barras del combustible BWR fabricado por Enusa y operado en la central sueca de Forsmark-3 (2008-2011).

En 2007 y dentro del mismo WPNCs, se promueve la creación de un grupo de expertos centrado en la obtención, archivo y evaluación de medidas experimentales de composición isotópica, el EGADSNF (Expert Group on Assay Data of Spent Nuclear Fuel). El objetivo es mejorar, ampliar y mantener la base de datos de combustible

gastado, SFCOMPO, creada por JAERI y actualmente muy ampliada y bajo la responsabilidad de la NEA.

Tras una primera fase centrada en la recopilación de información experimental y de los informes originales para su archivo en la base de datos de la NEA, el grupo comienza en 2009 a realizar trabajos de evaluación de las medidas experimentales, es decir, de revisión crítica de la información disponible identificando las deficiencias y eventuales contradicciones en los datos del combustible, en los datos de operación y en las propias medidas experimentales. Se determinan asimismo las incertidumbres en composición isotópica debidas a las propias incertidumbres en los datos del combustible y de su operación, para su comparación con las propias incertidumbres de las medidas experimentales a la hora de realizar la comparación entre composiciones isotópicas calculadas y medidas.

El presente Convenio encaja plenamente en las tareas de evaluación de medidas experimentales iniciadas en el EGADSNF de la NEA, que actualmente se denomina «SFCOMPO Technical Review Group», esenciales para el buen uso de la base de datos SFCOMPO, y en las que diversos miembros del grupo continúan trabajando, con el laboratorio nacional de Oak Ridge a la cabeza.

2. Objetivos

El objetivo básico del Convenio es realizar la evaluación de un elevado número de medidas experimentales, incluyendo actínidos minoritarios y productos de fisión, que permitan la cualificación de los códigos de cálculo y de las secciones eficaces más avanzadas, y el establecimiento de factores de corrección de cada isótopo y de la incertidumbre de dichos factores.

Con un argumento puramente estadístico, se considera generalmente que es necesario disponer de 20 medidas de cada núclido para conseguir ese objetivo. Los isótopos a considerar son los siguientes:

- U234-238, Np237, Pu238-242 y 244, Am241-243, Cm242-246.
- Sr90, Mo95, Tc99, Ru101, Rh103, Sb125, I129, Cs133-137.
- La139, Ce144, Nd142 y 143, Nd145-148, Nd150, Pm147, Sm147-154, Eu151-155, Gd154-156, Gd158, Gd160.

Aunque sólo 6 de ellos (Rh103, Cs133, Nd143, Sm149, Sm151 y Gd155) aportan al combustible una reactividad negativa que es aproximadamente el 75% del conjunto, es muy importante disponer del conjunto de isótopos de un sólo elemento debido al método de medida (espectrometría de masas) en que las incertidumbres de cada isótopo están directamente correlacionadas con las incertidumbres de los restantes.

Se dispone actualmente de acceso público a las medidas realizadas en Japón en barras de elementos combustibles BWR de los reactores de Fukushima Daini de Tokyo Electric Power Co.(TEPCO), tanto de la Unidad 1 (barra 2F1) como de la Unidad 2 (barra 2F2). Hay disponibles medidas de tres tipos diferentes de diseño de combustible BWR, el 8x8-2 equivalente a los diseños GE6 y 7 usados en Garoña y Cofrentes, el 8x8-4 equivalente al diseño GE10 usado en Garoña y finalmente el 9x9-9 equivalente al primer diseño ATRIUM que no se ha utilizado en España.

Las muestras 9x9-9 corresponden a los elementos combustibles 2F1ZN2 y 2F1ZN3 irradiados 3 y 5 ciclos respectivamente en la Unidad 1 (2F1). Incluyen 3 barras, dos de UO₂ y una de Gd₂O₃ y las muestras se encuentran en la parte inferior, media y superior de cada una de esas barras. Las medidas se realizaron en dos fases y sólo en la segunda se midieron los productos de fisión. Todas las medidas corresponden a las muestras de la parte alta de las barras, es decir todas ellas con fracciones de huecos elevadas. Sólo se dispone de medidas de Nd145 y Nd146 de las muestras situadas en la parte inferior de las barras, medidas correspondientes a la primera fase. Los quemados van desde 27 hasta 68 GWd/TmU, es decir muy lejos del pico de reactividad de los elementos BWR. Los mayores inconvenientes de las propias medidas son los siguientes:

- No se ha medido el gadolinio en las muestras de barras de $\text{UO}_2/\text{Gd}_2\text{O}_3$
- No se pueden comparar los actínidos generados en las dos posiciones extremas de alta y baja fracción de huecos
- Existe un problema de contaminación que afecta a las medidas del espectrómetro de masas con masa 151 y 152, es decir, Nd142, Eu151, Sm151 y Sm152.

Se realizaron también medidas en los elementos 2F1Z3 y 2F1Z2 de un diseño diferente, 9x9-7, irradiados 3 y 5 ciclos en paralelo con los elementos 2F1N2 y 2F1N3, obteniéndose quemados similares (35 y 53 GWd/TmU de media de elemento) pero estas medidas no están disponibles.

Las muestras 8x8-2 corresponden a dos barras de un solo elemento irradiado en la Unidad 2, el 2F2DN23, una barra es de UO_2 y la otra de $\text{UO}_2\text{-Gd}_2\text{O}_3$. En la primera se tomaron 8 muestras y en la segunda 10 muestras, todas a diferentes alturas incluyendo las zonas de uranio natural. Las posibles ventajas de estas medidas por incluir barras con gadolinio no se concretan debido a los aspectos siguientes:

- No se han medido los contenidos de los isótopos del gadolinio.
- No se conoce la posición del elemento dentro del núcleo.
- No se dispone de medidas ni de estimaciones fiables de la fracción de huecos a cada altura sino tan sólo una forma axial de licenciamiento ajustada a una media del 43% y además se supone constante a lo largo de los ciclos.

En lo que se refiere a las muestras de tipo 8x8-4 se trata de muestras tomadas de 4 elementos tipo GE9/10 idénticos y extraídos después de 1, 2, 3 y 5 ciclos de irradiación, respectivamente, denominados elementos combustibles 2F2D1 (un ciclo irradiación), 2F2D2 (2 ciclos), 2F2D3 (3 ciclos) y 2F2D8 (5 ciclos).

La incertidumbre de medida de composición isotópica reportada para los isótopos del Nd es de 0.1%. Sin embargo el error que indican en el quemado es del 3%. Lo primero es muy importante pues nos permite basar el quemado «medido» en la propia composición de Nd148 y Nd150 y no tener que confiar en el método de medida empleado por los experimentales, método en el que interviene el rendimiento estimado de fisión de estos isótopos, que es un valor tabulado y que en parte justifica el valor más elevado de la incertidumbre del quemado (3%).

El principal inconveniente de estas medidas es que no incluyen productos de fisión salvo el Nd148 que sirve para determinar el quemado «medido» de las muestras.

En cambio tienen varias ventajas sobre los anteriormente descritos: La primera ventaja es la de disponer de medidas con quemados muy variables por corresponder a elementos irradiados desde 1 hasta 5 ciclos. Esto nos permite disponer de quemados muy bajos (entre 9 y 16 GWd/TmU para el elemento quemado sólo un ciclo) del máximo interés para comprobar el funcionamiento del código y de las secciones eficaces en el máximo de reactividad de los elementos combustibles BWR (4 a 7% de contenido en peso de Gd_2O_3). Al mismo tiempo se tienen también quemados elevados (hasta 60 GWd/TmU) que permiten contrastar los sistemas de medida en condiciones más cercanas a otras medidas aceptadas de forma general (ARIANE, MALIBU).

La segunda ventaja es disponer de medidas en condiciones extremas de fracción de huecos (7% y 63%) en las mismas barras y en algunos casos en posiciones intermedias (23%). Esto es muy importante para contrastar la capacidad de reproducción del plutonio y de toda la cadena de actínidos.

Por todo lo anterior se han seleccionado las muestras 8x8-4. La información experimental disponible sobre las mismas es la siguiente:

– 6 muestras quemadas un sólo ciclo (2F2D1) dentro de dos barras, una de UO_2 y otra de $\text{UO}_2+\text{Gd}_2\text{O}_3$. Estas muestras cumplen plenamente los criterios de selección pues tienen quemados entre 9 y 16 GWd/TmU, como se ha indicado antes, justo situadas en el máximo de reactividad del elemento combustible.

– 5 muestras pertenecen a un elemento combustible quemado 2 ciclos (2F2D2) y repartidas también en dos barras, una de UO_2 y la otra de $\text{UO}_2+\text{Gd}_2\text{O}_3$. Sus quemados van de 25 a 35 GWd/TmU.

– 7 muestras pertenecientes a tres barras (2 de UO_2 y 1 de $\text{UO}_2+\text{Gd}_2\text{O}_3$) de un elemento quemado 3 ciclos (2F2D3) con quemados entre 30 y 35 GWd/TmU.

– 8 muestras más (6 de 3 barras UO_2 y 2 de una barra $\text{UO}_2+\text{Gd}_2\text{O}_3$), es decir de 4 barras diferentes en total de un elemento quemado durante 5 ciclos (2F2D8) a baja potencia en la periferia del núcleo y por tanto con quemados elevados, entre 48 y 59 GWd/TmU.

De todas ellas se seleccionan para evaluación las medidas experimentales siguientes (ver descripción de las muestras con mayor detalle en el Apéndice 1 de esta Memoria):

Entre el primer grupo (2F2D1) se seleccionan todas las muestras (TU101 a TU106) por estar todas ellas en presencia de una cantidad residual significativa del fuerte absorbente neutrónico que es el gadolinio. Ello nos mostrará la capacidad de predicción de la concentración isotópica de actínidos en el momento de la máxima reactividad del elemento, además de tener fracciones de huecos extremas (13 y 64%).

Entre el segundo grupo (2F2D2) se seleccionarán también todas las muestras, es decir, 3 muestras de Gd_2O_3 (TU203, TU204 y TU205) con fracciones de huecos extremas (63 y 58 las dos primeras y 10% la última) y las 2 de UO_2 de la barra F6 (TU201 y TU202) con huecos también extremos (63 y 7%). Así se sigue la evolución con el quemado de las mismas barras F6 y B3 (UO_2 y Gd_2O_3).

Del tercer grupo se analizarán también las 3 muestras de Gd_2O_3 (TU308, TU309 y TU311) en la misma barra B3 con fracciones de huecos extremas (68, 64 y 9%) y 2 de las 4 de UO_2 , las correspondientes a la barra A4 de UO_2 .

Del cuarto grupo, con 5 ciclos de quemado, se seleccionarían las dos de gadolinio, TU510, TU511 con fracciones de huecos extremas, y las dos muestras de UO_2 de la misma barra A4 antes mencionada (TU505, TU506). Todas tienen alto quemado (57-59 GWd/TmU).

Resulta por tanto un total de 20 muestras (6+5+5+4) pertenecientes a 8 barras situadas en 3 posiciones diferentes (A4, F6 y B3) de 4 elementos combustibles distintos. En caso de encontrar dificultades mayores en la barra de UO_2 A4 tendríamos como alternativa la barra H5, también de UO_2 y prácticamente con el mismo número de muestras.

En función de la información liberada de otros proyectos internacionales como el proyecto MALIBU, esta selección podría revisarse, manteniendo siempre los criterios de selección establecidos y con el acuerdo de las Partes representadas por sus respectivos Coordinadores Técnicos.

El proyecto se completará con la realización de las tareas identificadas en las conclusiones obtenidas del proyecto de investigación anterior (2012-2016) y que se resumen en lo siguiente:

– Muestras GU2 y GU4, son muestras de menor calidad del proyecto ARIANE, la primera fue descartada por varios problemas pero los valores experimentales se han podido recuperar de los archivos de ITU, la segunda no se escogió previamente por no tener medidas múltiples e independientes, es decir, que sólo fue medida por un laboratorio

– Estudio del impacto de la segmentación en zonas radiales de la barra combustible para la muestra BM1. Esta segmentación no se realizó, tratándose de la forma habitual en una barra de UO_2 . Sin embargo el detalle radial en barras MOX se considera importante y se ha aplicado a la muestra BM5 y a posteriori a la muestra DM1.

– Para la misma muestra BM1 se dispone de micro-medidas isotópicas realizadas en ejes diametrales a diferentes ángulos. Dada la heterogeneidad de las barras vecinas es interesante estudiar la variación acimutal de la isotopía.

3. Actividades a desarrollar

Se realizará una recopilación inicial detallada de la información experimental disponible para las muestras seleccionadas, se recogerá en un informe en el que adicionalmente se analicen los riesgos debidos a eventuales deficiencias de esta información y se propongan soluciones en su caso.

Posteriormente, las actividades a realizar con cada una de las muestras identificadas en el apartado anterior serán las siguientes:

1. Revisión de la información disponible.
 - a. Contrastación de los valores mejor estimados para los parámetros de fabricación del combustible y de sus incertidumbres con la experiencia en otros combustibles, del mismo o diferente fabricante, y con otras medidas experimentales. Caso de ser necesario, requerimiento de información adicional a los responsables del programa experimental correspondiente. Comparación con los estudios realizados por ORNL para los otros diseños (8x8-2 y 9x9-9).
 - b. Contraste de los datos de operación por comparación con la información disponible de las mismas unidades 1 y 2 de Fukushima Daini.
 - c. Creación de un primer modelo tridimensional detallado de la muestra estudiada para detectar falta de información y realizar su petición y búsqueda.
2. Creación de los modelos de cálculo iniciales.
 - a. Modelo para el código MONTEBURNS.
 - b. Modelo para el sistema SCALE6/TRITON.
3. Estudio de sensibilidad a los parámetros de cálculo.
 - a. Creación de un modelo geométrico único para su quemado en un solo ciclo.
 - b. Estudio de sensibilidad al número de pasos de quemado (ciclos).
 - c. Estudio de sensibilidad al número de historias neutrónicas.
 - d. Determinación del modelo geométrico representativo y de las condiciones óptimas de cálculo.
4. Estudio de sensibilidad a los parámetros físicos.
 - a. Sensibilidad al quemado.
 - b. Sensibilidad a la moderación (densidad o fracción de huecos).
 - c. Sensibilidad a la temperatura del combustible.
 - d. Sensibilidad a las dimensiones de la barra combustible.
5. Creación y quemado detallado de los modelos definitivos hasta el quemado de operación.
 - a. Generación de los modelos definitivos por ciclo (diferente barra o diferente moderación en BWR).
 - b. Determinación del quemado mediante el ajuste de la potencia de irradiación a resultados de los monitores de quemado (cuando se dispone de ellos) y en todo caso del Nd148 medido.
6. Ajuste de los valores experimentales de quemado y de la fracción de huecos.
7. Quemado detallado hasta alcanzar el quemado experimental.
 - a. Quemado del modelo específico de cada ciclo en al menos 3 pasos.

- b. Quemado adicional a fin de vida (en su caso incremento de caudal, coast-down, etc.)
 - c. Contrastación con las medidas para el tiempo de desintegración correspondiente.
8. Conclusiones.

4. Planificación

Está prevista la realización del informe inicial recopilatorio durante el primer mes del proyecto.

Para cada una de las muestras, los tiempos de calendario aproximados para realizar las tareas descritas en los puntos anteriores son los siguientes:

- Punto 1: 1 mes.
- Punto 2: 1 a 2 meses según N.º de muestras.
- Punto 3: 1 mes.
- Punto 4: 1 mes.
- Puntos 5, 6, 7: 1 a 2 meses según N.º de muestras.
- Punto 8: hasta 1 mes según la claridad de los resultados.

En decir, un total de calendario de 6 a 8 meses para cada uno de los elementos combustibles, según la claridad de los resultados que se obtengan. En función de estos parámetros, los esfuerzos que se consideran necesarios para las evaluaciones de cada muestra son los siguientes:

- Elemento 2F2D1 con 6 muestras = 5MH.
- Elemento 2F2D2 con 5 muestras = 7 MH.
- Elemento 2F2D3 con 5 muestras = 8 MH.
- Elemento 2F2D5 con 4 muestras = 6 MH.
- Muestras GU2 y GU4= 3MH cada una.
- Muestra BM1 análisis radial = 3 MH.
- Muestra BM1 análisis acimutal = 4 MH.
- Muestra MALIBU según avance = 5 MH.

La secuencia temporal de los trabajos sería la siguiente:

- Año 1: Fukushima Daini quemadas 1 ciclo y las muestras GU2 y GU4.
- Año 2: Fukushima Daini quemadas 2 ciclos y el análisis radial de la muestra BM1.
- Año 3: Fukushima Daini quemadas 3 ciclo y el estudio acimutal de la muestra BM1.
- Año 4: Fukushima Daini quemadas 5 ciclos y la muestra MALIBU a elegir.

5. Equipo para la realización del trabajo

Las personas de SEA encargadas de realizar los trabajos objeto de este Convenio son las siguientes:

Director científico: Don Pedro Ortego Saiz.
Ingeniero Junior: Doña Irene Canals Albiol.

SEA podrá sustituir a estas personas por otras en caso de necesidad, siempre que las nuevas personas dispongan de cualificaciones técnicas similares a las de las personas a las que sustituyen y sea previamente aceptadas por el CSN.

6. Informes de resultados

Los resultados que se obtengan como producto de las actividades englobadas dentro de este Convenio deberán quedar debidamente documentados en informes. Se elaborará un informe técnico final para cada muestra que contenga toda la información

de los trabajos realizados para la misma, quedando las notas de cálculo elaboradas y los ficheros de entrada de los códigos utilizados (MONTEBURNS y SCALE-6/TRITON) a disposición de las Partes. Los pagos sucesivos que se describen en la Memoria Económica se realizarán mediante la entrega y aceptación de informes de progreso que describan los trabajos realizados desde el pago parcial anterior.

APÉNDICE 1 – Descripción de las muestras a analizar.

ELEMENTO 2F2D1: quemado un sólo ciclo en Fukushima Daini Unidad 2.

ELEMENTO 2F2D2: quemado dos ciclos en Fukushima Daini Unidad 2.

ELEMENTO 2F2D3: quemado tres ciclos en Fukushima Daini Unidad 2.

ELEMENTO 2F2D8: quemado cinco ciclos en la periferia del núcleo del reactor de Fukushima Daini Unidad 2.

ARIANE GU2.

Combustible PWR 15x15 del reactor Gösgen en Suiza. Es UO₂ de alto enriquecimiento (4.3%) y muy alto quemado (70 GWd/TmU).

ARIANE GU4.

Combustible PWR 15x15 del reactor Gösgen en Suiza. Es UO₂ de alto enriquecimiento (4.3%) y muy alto quemado (70 GWd/TmU).

ARIANE BM1.

Muestra MOX ya evaluada previamente como pastilla homogénea. Se trata de modelar ahora la pastilla con su gradiente radial de quemado del plutonio inicial así como evaluar ahora las distribuciones acimutales de composición isotópica.

Glosario:

ICSBEP: International Criticality Safety Benchmark Evaluation Project.

WPNCS: Working Party on Nuclear Criticality Safety.

EGUNF: Expert Group on Used Fuel (antes BurnUp Credit EGBUC).

EGADSNF: Expert Group on Assay Data of Spent Nuclear Fuel.

ARIANE: A Research project on Isotopic of A Nuclear Element.

MALIBU: Radiochemical analysis of MOX and UOX LWR fuels irradiated to high burnup.

ANEXO 2

Memoria económica del Convenio de colaboración entre el Consejo de Seguridad Nuclear y la empresa Science Engineering Associates S.L. para la evaluación de medidas experimentales de composición isotópica de combustible gastado

1. Presupuesto

El coste del Convenio se ha calculado sobre la base de los costes que se detallan a continuación.

1. Costes de Personal.

Los costes de personal corresponden a los siguientes conceptos:

– Un ingeniero junior en dedicación plena. El esfuerzo correspondiente a lo largo del Convenio es de 44 meses hombre, 20 de Ingeniero Senior y 24 de Ingeniero Junior con un coste mensual de 4.160 euros para Ingeniero Senior y 3.200 euros para Ingeniero Junior.

– Dirección técnico-científica de los trabajos y establecimiento de conclusiones se encuentra ya incluida en el monto total correspondiente a Ingeniero Senior.

En consecuencia, el coste total del personal de SEA que trabajará en este Convenio se ha valorado en 160.000 euros.

Las tareas de seguimiento del Proyecto por parte del CSN se han valorado en 50 horas anuales con un coste total de 8.290,00 euros.

2. Costes de viajes y dietas.

Se ha realizado una estimación del coste que supone la asistencia a las reuniones internacionales de especial interés, que son las siguientes:

- Asistencia de una persona a la reunión anual del grupo de expertos de la NEA: 800 euros, lo que equivale a un total de 3.200 euros a lo largo del Convenio.
- Presentación de resultados en dos conferencias internacionales, una de ellas la Conferencia Internacional sobre Criticidad y la otra por decidir: 2.400 euros.

Por lo tanto, el coste total de viajes y dietas asciende a un máximo de 5.600 euros.

3. Gastos de material.

Los gastos de material inventariable y fungible, incluyendo equipamiento informático y consumibles, uso de recursos comunes de oficina se estiman en un máximo de 16.000 euros a lo largo del Convenio.

4. Coste total.

Sobre la base de las cantidades que se han pormenorizado en los apartados anteriores, se obtiene un coste total del Convenio de 189.890,00 €, sin impuestos añadidos.

El importe del IVA asciende a 38.136,00 €, esto es el 21 % del total que es gravable con este impuesto (181.600,00 €), debido a que la aportación en horas de experto por parte del CSN (8.290,00 €) debe excluirse de este gravamen.

Según los criterios de reparto del gasto que se han acordado entre las Partes para este proyecto, el CSN contribuirá a la financiación del proyecto con el 60% de su coste, lo que equivale a una aportación de 113.934,0 €, de los que 105.644,0 € (127.829,2 € con impuestos) lo serán en metálico, y el resto en especie en forma de 200 horas de trabajo dedicadas al seguimiento del Proyecto (8.290,0 €).

La aportación de SEA en el convenio asciende a un total de noventa y un mil novecientos seis euros con ochenta céntimos (91.906,80 €), impuestos incluidos.

El coste total para ambas Partes asociado a este Convenio son doscientos veintiocho mil veintiséis euros (228.026,00 €) con el correspondiente IVA incluido.

SEA contribuirá con el 40% restante hasta completar los costes totales del proyecto.

2. Distribución de los costes del proyecto sin IVA

Los costes se distribuirán a lo largo de cuatro ejercicios presupuestarios, en la forma que se indica en la siguiente tabla:

Año	Aportación CSN en metálico	Aportación CSN en especie	Aportación total CSN	Aportación SEA	Totales
Ejercicio actual.	26.411,00	2.072,50	28.483,50	18.989,00	47.472,50
2.º ejercicio.	26.411,00	2.072,50	28.483,50	18.989,00	47.472,50
3.º ejercicio.	26.411,00	2.072,50	28.483,50	18.989,00	47.472,50
4.º ejercicio.	26.411,00	2.072,50	28.483,50	18.989,00	47.472,50
Total.	105.644,00	8.290,00	113.934,00	75.956,00	189.890,00
Particip.			60%	40%	100%

3. Forma de Pago con el IVA incluido

El calendario de pagos del proyecto es el que se describe a continuación:

- El CSN realizará un primer pago por importe de 15.978,65 euros a la presentación del informe inicial descrito en la Memoria Técnica.
- El CSN realizará otro pago de 15.978,65 euros en el mes de noviembre de 2020.
- El CSN realizará dos pagos de 15.978,65 euros en los meses de mayo y noviembre de 2021.
- El CSN realizará dos pagos de 15.978,65 euros en los meses de mayo y noviembre de 2022.
- El CSN realizará un pago de 15.978,65 euros en el mes de mayo de 2023.
- El CSN realizará un último pago por importe de 15.978,65 euros en el momento de la finalización del proyecto prevista en el año 2023.

Las facturas que emita SEA al CSN deberán incluir los correspondientes códigos de la aplicación presupuestaria y de adjudicación asignados a este Convenio.

Cada uno de los pagos se realizará previa entrega y aceptación de la documentación que refleje los trabajos realizados en el periodo a que corresponde el pago, tal como se describe en la Memoria Técnica. En lo que se refiere al último pago del proyecto, se deberá presentar con un mes de antelación a la fecha prevista de finalización un informe que resuma las conclusiones de la totalidad de los trabajos realizados dentro de este Convenio, que igualmente se describe en la Memoria Técnica.