Resumen

El objetivo principal del proyecto es el estudio del proceso de desmantelamiento que se lleva a cabo en la Central Nuclear José Cabrera. Haciendo hincapié en el cálculo de la activación de los materiales sometidos a los flujos neutrónicos del reactor nuclear, para poder predecir la gestión que será necesaria con éstos residuos radiactivos.

Otros objetivos son el estudio de la programación de las actividades, las tecnologías relacionadas con el desmantelamiento, la protección radiológica, la legislación y el contexto, en el caso concreto de España.

El método de trabajo es el estudio y seguimiento de las normativas y guías americanas, que cuentan con una experiencia más amplia en éste campo. Y la utilización del código de cálculo ORIGENS para plantear y resolver las ecuaciones diferenciales necesarias, de la formación y desintegración de los distintos radioisótopos en los materiales.

La interpretación de los resultados de los cálculos nos permite realizar la gestión de los residuos radiactivos. Siendo todos los elementos internos de la vasija del reactor nuclear clasificados cómo residuos de alta actividad, la vasija en sí clasificada de media actividad. Y pudiendo determinar que profundidad, del blindaje biológico de hormigón que envuelve el reactor, debe ser tratado como residuo de media y baja actividad, y a partir de que profundidad el hormigón es tratado como residuo exento de radiactividad.

El desmantelamiento rápido de la central, una vez finalizada su operación, es la apuesta internacional al ser el método más económico, pero conlleva dosis mayores para los operarios que trabajan en el desmantelamiento y genera más residuos radiactivos al no esperarse el decaimiento de la actividad de éstos residuos.

El desmantelamiento se ha planificado con una duración de 9 años después del cese de explotación, pero la total liberación del emplazamiento no será efectiva entonces, debido a la creación obligada de un almacén dentro del emplazamiento para los residuos de mayor actividad radiológica ya que en España aún no existe un almacén centralizado para ésta clase de residuos.

Índice

RESUMEN 1

ÍNDICE 3

1. GLOSARIO 7

2. INTRODUCCIÓN 9

3. LEGISLACIÓN APLICABLE 11

3.1. Enresa 11

3.2. Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) 12

3.2.1. Proyectos Supeditados a Evaluación de Impacto Ambiental 12

3.2.2. Contenido del Estudio de Impacto Ambiental 13

3.3. Almacén Temporal Individualizado (ATI) 14

3.3.1. La necesidad del ATI en la C.N. José Cabrera 14

3.3.2. El ATI como modificación de diseño de la CNJC 14

3.4. Desmantelamiento de la C.N. José Cabrera 16

3.4.1. Cese de explotación 16

3.4.2. Autorización de Desmantelamiento y Declaración de Clausura 16

3.5. Planificación 20

3.5.1. Licencia ATI 20

3.5.2. Licencia del Cese Definitivo de Explotación 21

4. FASES DEL DESMANTELAMIENTO HASTA LA CLAUSURA 22

4.1. Tipos de desmantelamiento. Niveles. 22

4.2. Desmantelamiento DECON o de Nivel 3. 24

4.2.1. Periodo 1. Ingenieria del pre-desmantelamiento y planificación 27

4.2.2. Periodo 2. Desactivación del reactor para el almacenamiento de seguridad 27

4.2.3. Periodo 3. Almacenamiento de seguridad y control del combustible gastado 28

4.2.4. Periodo 4. Desmantelamiento 28

5. PROGRAMA DE ACTIVIDADES 29

6. ORGANIZACIÓN DEL DESMANTELAMIENTO. FUNCIONES DE ENRESA. 34

7. CENTRALES DE REFERENCIA. EXPERIENCIA INTERNACIONAL 35

8. ASPECTOS CLAVE DEL PLAN DE DESMANTELAMIENTO 36

8.1. Gestión del Combustible 36

8.1.1. Situación de España 36
8.1.2. Almacén Temporal Individualizado 36
8.2. Caracterización radiológica de la central 38
8.2.1. Modelización de la energía producida 38
8.2.2. Modelización del flujo neutrónico 42
8.2.3. Modelización de los materiales 45
8.2.4. Código de cálculo ORIGENS 50
8.3. Generación de residuos y su clasificación. Destino. 54
8.3.1. Clasificación de los residuos radiactivos 54
8.3.2. Desclasificación del Blindaje Biológico 64
8.4. Descontaminación de estructuras, sistemas y componentes. Tecnología del desmantelamiento. 66
8.4.1. Extracción de sistemas de proceso y tuberías 66
8.4.2. Extracción de la vasija del reactor a presión 67
8.4.3. Extracción de los generadores de vapor 67
8.4.4. Extracción de las Tuberías, Bombas y componentes asociados al RCS 68
8.4.5. Extracción del bastidor de elementos combustibles gastados de la piscina 71
8.4.6. Extracción del hormigón activado 71
8.4.7. Extracción del sistema HVAC contaminado 72
8.4.8. Descontaminación y extracción de las superficies contaminadas 72
8.4.9. Extracción de las grúas de los edificios 74
8.5. Protección radiológica 75

9. COSTES Y PRESUPUESTO. 80
9.1. Coste del desmantelamiento. 80
9.2. Presupuesto Proyecto Final de Carrera 83

CONCLUSIONES 85

AGRADECIMIENTOS 87

BIBLIOGRAFÍA 89
Referencias bibliográficas 89
Bibliografia complementaria 91

ANEXO A. PLANOS DE LA CN JOSÉ CABRERA 93
A.1. Planos del reactor 93
A.2 Planos del emplazamiento 95

ANEXO B. ENTRADAS Y SALIDAS DEL PROGRAMA ORIGENS 97

ANEXO C. CÁLCULOS RELACIONADOS CON EL DECAIMIENTO DE MATERIALES _____ 143

1. Glosario

Actividad Específica: La Actividad específica de un material radiactivo es el número de desintegraciones nucleares por unidad de tiempo y por unidad de masa de dicho material. Se expresa en curios/g. o becquerelios/g.

ALARA: "As Low As Reasonable Achievable". Principio básico de protección radiológica en el que se fundamenta la recomendación de que todas las exposiciones se mantengan tan bajas como sea razonablemente posible, teniendo en cuenta factores sociales y económicos.

ATC: Almacén Temporal Centralizado para el combustible gastado y residuos de alta actividad de todas o varias centrales nucleares y de otros orígenes.

ATI: Almacén Temporal Individualizado para el combustible gastado y residuos de alta actividad de una central nuclear.

Cabril: Nombre con el que se conoce a la Instalación de Sierra Albarrana (Córdoba), autorizada para el almacenamiento definitivo de residuos sólidos de baja y media actividad debidamente acondicionados.

CNJC: Central Nuclear José Cabrera, también conocida como CN Zorita.

CNYR: Central Nuclear Yankee Rowe, de Estados Unidos

CSN: Consejo de Seguridad Nuclear. Creado por Ley 22 de abril 1980, como Ente de Derecho Público, independiente de la Administración Central del Estado, con personalidad jurídica y patrimonio propio e independiente de los del Estado y como único competente en España en materia de seguridad nuclear y protección radiológica.

CVCS: "Chemical & Volumetric Control System". Es el sistema de control químico y volumétrico de la central nuclear.

DIA: Declaración de Impacto Ambiental

EIA: Evaluación de Impacto Ambiental

ENRESA: Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S.A., constituida según Real Decreto 1522/1984 de 4 de julio, con el objetivo de llevar a cabo la gestión de los residuos radiactivos en España y participada en un 80% por el Ciemat y en un 20% por SEPI.

GV: Generador de Vapor

HVAC: "Heating & Ventilation System Ductwork" Sistema de ventilación y de calor del edificio de contención.

MITYC: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

MMA: Ministerio de Medio Ambiente.

PWR: "Pressurized Water Reactor". Reactores de agua ligera a presión.

RCS: "Reactor Coolant System" Sistema de refrigeración del reactor.

Residuos de alta actividad (RAA): Los que tienen una elevada actividad específica en emisores de vida corta, contienen radionucleidos emisores alfa de vida larga en concentraciones apreciables y son grandes productores de calor.

Residuos de baja y media actividad (RBMA): Residuos radiactivos con actividades moderadas y de menor riesgo que los RAA. Equivalente a LLW "Low Level Waste" en la normativa americana

RPV: "Reactor Presured Vessel" La vasija a presión del reactor nuclear.

SIS: "Safety Injection System" Sistema de inyección de seguridad.

SNF: "Spent Nuclear Fuel" Combustible gastado del reactor nuclear.

Sv: "Sievert". Unidad usada para medir la "dosis" o efecto de las radiaciones en la materia, que equivale a un depósito de energía en el organismo de 1 Julio por cada kilogramo de masa. Para medir la "tasa de dosis" se usa el Sievert/h o los submúltiplos correspondientes.

tU: Toneladas de Uranio.

2. Introducción

Se pretende estudiar la alternativa elegida por ENRESA (Empresa Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos) para realizar el desmantelamiento completo de la C.N. José Cabrera, en el contexto español. Lo cual supone desde la creación de un almacén en seco para ciertos residuos en el propio emplazamiento, a un cambio de titularidad durante el proceso de desmantelamiento.

El objetivo principal del proyecto es el estudio de los materiales internos de la vasija del reactor nuclear, la propia vasija, y el blindaje biológico que la rodea, activados durante la operación de la central nuclear, al ser sometidos a largos periodos de tiempo bajo un elevado flujo neutrónico. De esta forma se pretenden obtener los criterios suficientes para gestionar el destino de los principales residuos radiactivos del desmantelamiento de la Central Nuclear José Cabrera.

La programación del desmantelamiento, la planificación de las actividades, y la tecnología implicada en estas actividades, son aspectos clave del desmantelamiento de centrales nucleares y su interés se refleja en el amplio estudio que dentro del proyecto se pretende dar de ellos. Paralelamente se pretende dar respuesta al coste aproximado de éste desmantelamiento en España y cuantificar las dosis colectivas de las actividades para así poder evitar cualquier riesgo radiológico innecesario.

La metodología de trabajo seguida se basa en el estudio y seguimiento de las normativas y guías publicadas por Estados Unidos en su más extensa experiencia, relacionada con el campo del desmantelamiento de centrales nucleares.

El alcance del proyecto es un documento teórico, que pretende ser una guía y una buena aproximación de la realidad en los aspectos clave del desmantelamiento. Todas las conclusiones extraídas de los cálculos deben ser comprobadas a la práctica mediante sondas, probetas y detectores radiactivos antes de llevarse a cabo. Para evitar posibles desviaciones de estos resultados debido a las incertidumbres de los cálculos.

3. Legislación aplicable

3.1. Enresa

La gestión de los residuos radiactivos en España es competencia, desde el año 1984, de la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S.A. (Enresa), creada por el parlamento. Cuyas actividades son la gestión de los residuos radiactivos y de los combustibles nucleares gastados. Transportando y almacenando residuos radiactivos, desmantelando instalaciones radiactivas (C.N. Vandellos 1, C.N. Zorita, etc.), rehabilitando ambientalmente las minas de Uranio, investigando e informando públicamente.

Enresa depende directamente del gobierno a través del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITYC) y del Ministerio de Medio Ambiente (MMA). A la vez que estos ministerios aprueban o derogan proyectos, previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). El CSN es una agencia que depende del parlamento, y sus informes, si son negativos son vinculantes para cualquier proyecto presentado. Tal y como se esquematiza en la *figura 3.1*.

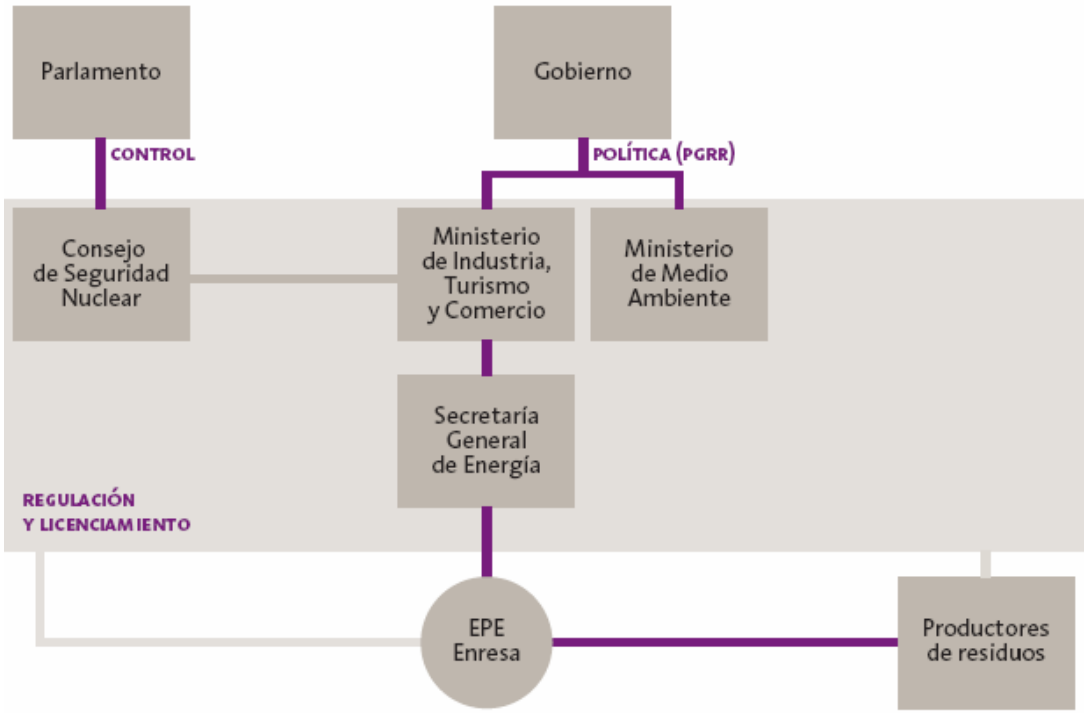

Figura 3.1. Esquema de la organización administrativa [1]

Dentro de este sistema, el Plan General de Residuos Radiactivos (PGRR) constituye el documento oficial, que Enresa elabora y envía al MITYC cada cuatro años o cuando dicho Ministerio lo requiera, en el que se contemplan las estrategias, actuaciones necesarias y soluciones técnicas a desarrollar en el corto, medio y largo plazo, encaminadas a la adecuada gestión de los residuos radiactivos, al desmantelamiento y clausura de instalaciones nucleares y radiactivas y al resto de actividades relacionadas con las anteriores, incluyendo las previsiones económicas y financieras para llevarlas a cabo. El sistema de financiación de Enresa es el cobro anticipado de cánones a las centrales nucleares y a las instalaciones radiactivas para la posterior gestión de sus residuos radiactivos y nucleares.

3.2. Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)

3.2.1. Proyectos Supeditados a Evaluación de Impacto Ambiental

Según el REAL DECRETO-LEY 9/2000, de 6 de octubre, de modificación del Real Decreto legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de Evaluación de Impacto [1]Ambiental [2]. En el artículo 3, punto 1, Anexo 1, grupo 3 (industria energética) los proyectos siguientes quedan obligados a presentar el EIA:

- Las Centrales nucleares y otros reactores nucleares, incluidos el desmantelamiento o clausura definitiva de tales centrales y reactores (con exclusión de las instalaciones de investigación para la producción y transformación de materiales fisionables y fértiles, cuya potencia máxima no supere 1 kW de carga térmica continua). Las centrales nucleares y otros reactores nucleares dejan de considerarse como tales instalaciones cuando la totalidad del combustible nuclear y de otros elementos radiactivamente contaminados haya sido retirada de modo definitivo del lugar de la instalación.

[1] Durante el transcurso de la reaización del PFC se ha modificado el REAL DECRETO-LEY 9/2000 [2] sin afectar este cambio, a los contenidos del proyecto. El nuevo REAL DECRETO LEGISLATIVO 1/2008 está referenciado en el numero [3].

- Exclusivamente el almacenamiento (proyectado para un período superior a diez años) de combustibles nucleares irradiados o de residuos radiactivos en un lugar distinto del de producción.

3.2.2. Contenido del Estudio de Impacto Ambiental

Según el artículo 7 de la nueva Ley de Evaluación de Impacto Ambiental [3]. Los proyectos que hayan de someterse a evaluación de impacto ambiental, deberán incluir un estudio de impacto ambiental que contendrá, al menos, los siguientes datos:

a) Descripción general del proyecto y exigencias previsibles en el tiempo, en relación con la utilización del suelo y de otros recursos naturales. Estimación de los tipos y cantidad de residuos vertidos y emisiones de materia o energía resultantes.

b) Una exposición de las principales alternativas estudiadas y una justificación de las principales razones de la solución adoptada, teniendo en cuenta los efectos ambientales.

c) Evaluación de los efectos previsibles directos o indirectos del proyecto sobre la población, la fauna, la flora, el suelo, el aire, el agua, los factores climáticos, el paisaje y los bienes materiales, incluido el patrimonio histórico-artístico y el arqueológico.

d) Medidas previstas para reducir, eliminar o compensar los efectos ambientales significativos.

e) Programa de vigilancia ambiental.

f) Resumen del estudio y conclusiones en términos fácilmente comprensibles. Informe, en su caso, de las dificultades informativas o técnicas encontradas en la elaboración del mismo.

Durante todo el desarrollo del PFC se tienen en cuenta buena parte de los criterios ambientales, ya que la finalidad del desmantelamiento es la de dejar totalmente limpio el emplazamiento para otros usos futuros y el libre acceso.

Las consideraciones sobre la población se tienen en cuenta en el apartado de protección radiológica, el apartado de generación de residuos indica que clase de almacenamiento es necesario para los residuos radiactivos. Y en el apartado de gestión de combustible se cuantifican los residuos de todo el proceso, ya sean o no radiactivos.

Es importante destacar que el programa de vigilancia radiológica, no desaparece con la central, sino que se reduce significativamente pero se continúa haciendo un seguimiento del emplazamiento y de su almacén de residuos radiactivos de alta actividad.

3.3. Almacén Temporal Individualizado (ATI)

3.3.1. La necesidad del ATI en la C.N. José Cabrera

El VI Plan General de Residuos Radioactivos establece como fecha objetivo para la puesta en marcha de un Almacén Centralizado el año 2010 para la gestión de residuos de larga vida y alta actividad que no son susceptibles de almacenarse en El Cabril. Para hacer frente de manera eficaz al desmantelamiento de la Central Nuclear de José Cabrera (CNJC) es necesario disponer de un sistema alternativo de almacenamiento de combustible gastado, independiente del existente actualmente, que se realiza en la piscina de combustible de la propia central. Por ello es necesaria la construcción de un Almacenamiento Temporal Individualizado, dentro del emplazamiento de la Central Nuclear, para que toda vez que el combustible de la piscina sea depositado en este Almacén se pueda desmantelar el recinto de Contención de la Central Nuclear. El promotor es la empresa Unión Fenosa Generación, S.A. y el órgano sustantivo del proyecto es la Dirección General de Política Energética y Minas del Ministerio de Industria.

3.3.2. El ATI como modificación de diseño de la CNJC

Según el Real Decreto 1836/1999 sobre el Reglamento de instalaciones nucleares y radiactivas [4] es necesario presentar la siguiente documentación para hacer modificaciones de instalaciones nucleares[2]:

[2] Durante el transcurso de la realización del PFC se ha modificado el REAL DECRETO 1836/1999 [4] sin afectar este cambio, a los contenidos del proyecto. El nuevo REAL DECRETO 2/2008 que modifica el Reglamento de Instalaciones nucleares y radiactivas está referenciado en el numero [5].

Artículo 26. Solicitud de autorización. La solicitud de autorización de modificación irá acompañada de la siguiente documentación:

a) Una descripción técnica de la modificación identificando las causas que la han motivado.

b) El análisis de seguridad realizado.

c) Una identificación de los documentos que se verían afectados por la modificación, incluyendo el texto propuesto para el estudio de seguridad y las especificaciones técnicas de funcionamiento, cuando sea aplicable.

d) Identificación de las pruebas previas al reinicio de la explotación que sean necesarias realizar.

Artículo 27. Documentación de la autorización de ejecución y montaje. La solicitud de autorización de ejecución y montaje de la modificación, cuando sea exigible en aplicación de lo establecido en el artículo 25, deberá acompañarse de la siguiente documentación:

a) Descripción general de la modificación, identificando las causas que la han motivado.

b) Normativa a aplicar en el diseño, construcción, montaje y pruebas de la modificación.

c) Diseño básico de la modificación.

d) Organización prevista y programa de garantía de calidad para la realización del proyecto.

e) Identificación del alcance y contenido de los análisis necesarios para demostrar la compatibilidad de la modificación con el resto de la instalación y para garantizar que se siguen manteniendo los niveles de seguridad de la misma.

f) Destino de los equipos a sustituir, en su caso.

g) Plan de adquisición y presupuesto en caso de grandes modificaciones.

Por la ley de Evaluación de Impacto Ambiental [2] el EIA fue analizado por el Ministerio de Medio Ambiente previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear, en cumplimiento de la Disposición Adicional e) del Real Decreto 1131/1998 y del artículo 2.º apartado h)

de la Ley 15/1980, modificado por la Disposición Adicional primera de la Ley 14/1999, informando con fecha 24 de marzo de 2006, que consideraba suficiente la información contenida en el EIA presentado por Unión Fenosa Generación, S.A. Y se resolvió favorablemente en la resolución de 15 de diciembre de 2006 [6].

3.4. Desmantelamiento de la C.N. José Cabrera

3.4.1. Cese de explotación

En el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas [4] en lo que se refiere al cese de explotación, en el capítulo V, Modificaciones de la Instalación, se determina:

Artículo 28. Cese de la explotación.

1. El titular de una autorización de explotación comunicará al Ministerio de Industria y Energía, al menos con un año de antelación a la fecha prevista, su intención de cesar con carácter definitivo la actividad para la que fue concebida la instalación. Tanto en este supuesto, como cuando el cese de la actividad se deba a alguna otra circunstancia, el Ministro de Industria y Energía, previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear, declarará el cese definitivo de la explotación y establecerá las condiciones a las que deban ajustarse las actividades a realizar en la instalación hasta la obtención de la autorización de desmantelamiento y el plazo en que se deberá solicitar dicha autorización.

2. El titular de la autorización de explotación, antes de la concesión de la autorización de desmantelamiento, deberá:

a) Haber descargado el combustible del reactor y de las piscinas de almacenamiento o, en defecto de esto último, que se disponga de un plan de gestión del combustible gastado aprobado por el Ministerio de Industria y Energía, previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear.

b) Haber acondicionado los residuos generados durante la explotación.

3.4.2. Autorización de Desmantelamiento y Declaración de Clausura

Según el el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas [4] en el capítulo VI Autorización de Desmantelamiento y Declaración de Clausura se informa:

Artículo 29. Autorizaciones necesarias.

La clausura de una instalación nuclear requerirá autorización de desmantelamiento y declaración de clausura. A los efectos de este Reglamento, se entenderá por desmantelamiento el conjunto de las actividades realizadas una vez obtenida la correspondiente autorización que permiten solicitar la declaración de clausura y que supondrá la desclasificación de la instalación y la liberación, total o restringida, del emplazamiento.

Artículo 30. Solicitud.

La solicitud de autorización de desmantelamiento irá acompañada de la siguiente documentación:

a) Estudio de seguridad, que contendrá:

1. Estudio descriptivo del estado actual de la instalación, del emplazamiento y su zona de influencia.

2. Proyecto general de desmantelamiento, que contenga la caracterización radiológica de la instalación y del emplazamiento, el alcance de desmantelamiento propuesto y la descripción del estado previsto de la instalación durante y después de la ejecución del mismo.

3. Análisis de seguridad del proyecto de desmantelamiento, que contendrá los criterios de seguridad, la normativa aplicable y un análisis de accidentes, identificando los riesgos previstos y las medidas de prevención correspondientes.

4. Estudio del impacto radiológico ambiental de la ejecución del programa de desmantelamiento, que contendrá el plan de vigilancia radiológica ambiental aplicable.

b) Reglamento de funcionamiento, que contendrá la organización y las normas de actuación, tanto en condiciones normales como en caso de accidente.

c) Especificaciones técnicas aplicables durante la fase de desmantelamiento.

d) Manual de garantía de calidad.

e) Manual de protección radiológica.

f) Plan de emergencia interior. Detallará las medidas previstas por el titular y la asignación de responsabilidades para hacer frente a las condiciones de accidente con objeto de mitigar sus consecuencias, proteger al personal de la instalación y notificar su ocurrencia de forma inmediata a los órganos competentes, incluyendo la evaluación inicial de las circunstancias y de las consecuencias de la situación. Además, establecerá las actuaciones previstas por el titular para prestar su ayuda en las intervenciones de protección en el exterior de la instalación, de acuerdo con los planes de emergencia exterior que establezcan los órganos competentes, cuando así lo determine el Consejo de Seguridad Nuclear.

g) Plan de gestión de los residuos radiactivos que contendrá su inventario, caracterización, tratamiento, acondicionamiento y almacenamiento previsto, así como los criterios adoptados para la desclasificación de materiales.

h) Plan de restauración del emplazamiento, que incluirá, en su caso, los planes para la vigilancia de los niveles de radiación y contaminación del emplazamiento que va a ser liberado.

i) Estudio económico del proceso de desmantelamiento y previsiones financieras para hacer frente al mismo.

Artículo 31. Titularidad del desmantelamiento.

En caso de que el titular de las actividades de desmantelamiento vaya a ser diferente del titular de la autorización de explotación, será aquél quien presente la correspondiente solicitud. La transferencia de titularidad se autorizará conjuntamente con la autorización de desmantelamiento y, con carácter previo, el titular de la autorización de explotación habrá cumplido con las condiciones previstas en el artículo 28 de este Reglamento.

Artículo 32. Contenido de la autorización.

La autorización de desmantelamiento incluirá el planteamiento general del mismo y, si éste se realizara en diferentes fases, la autorización de desmantelamiento regulará solamente las actividades previstas en la fase de realización inmediata, debiendo el titular solicitar una nueva autorización para el desarrollo de las fases sucesivas.

Artículo 33. Declaración de clausura.

Una vez finalizadas las actividades de desmantelamiento, cuando se hayan cumplido las previsiones del plan de gestión de residuos radiactivos generados y se haya comprobado por el Consejo de Seguridad Nuclear que se han alcanzado las condiciones técnicas establecidas en el programa de desmantelamiento, el Ministro de Industria y Energía emitirá la declaración de clausura, previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear.

En el caso de las C.N. la responsabilidad de realizar tal desmantelamiento recae directamente en Enresa y así está previsto en el contrato correspondiente establecido entre las Partes, que se complementa con los acuerdos operativos necesarios; también están totalmente definidos por las autoridades y plenamente operativos, los mecanismos de financiación inherentes al mismo.

Figura 3.2. Central Nuclear José Cabrera

3.5. Planificación

3.5.1. Licencia ATI

Según la Resolución 15/12/2006 de modificación del diseño de almacenamiento [6] la licencia para la ejecución del ATI ha seguido la siguiente escala temporal:

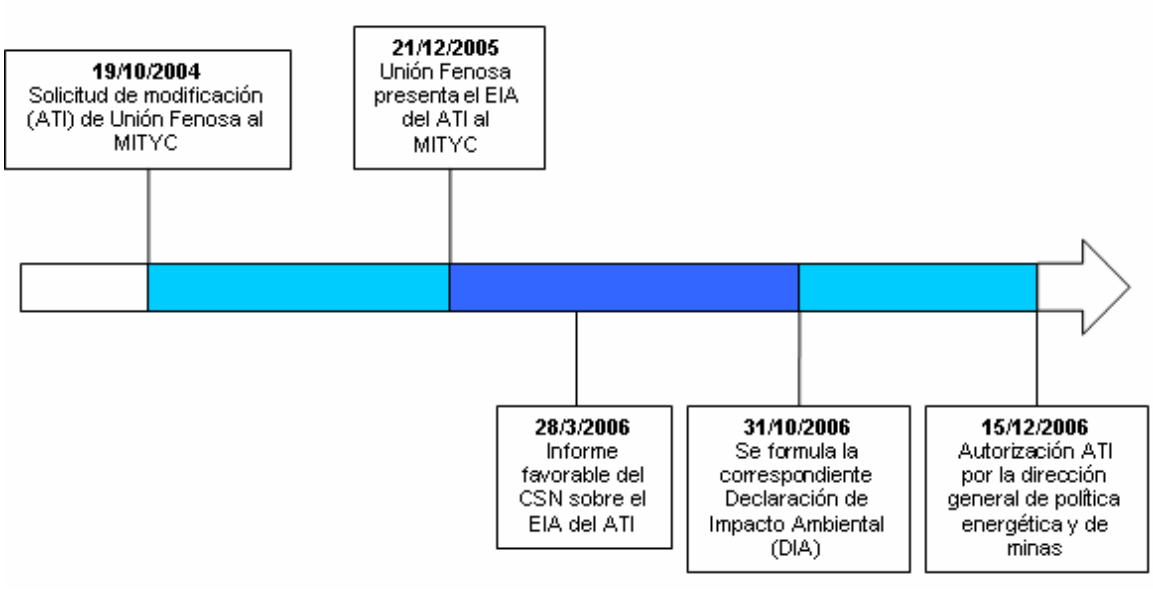

Figura 3.3. Esquema temporal del ATI

3.5.2. Licencia del Cese Definitivo de Explotación

Por la ORDEN ITC/1652/2006 se declara el cese definitivo de la explotación de la Central Nuclear José Cabrera (Guadalajara) [7] con el siguiente esquema temporal:

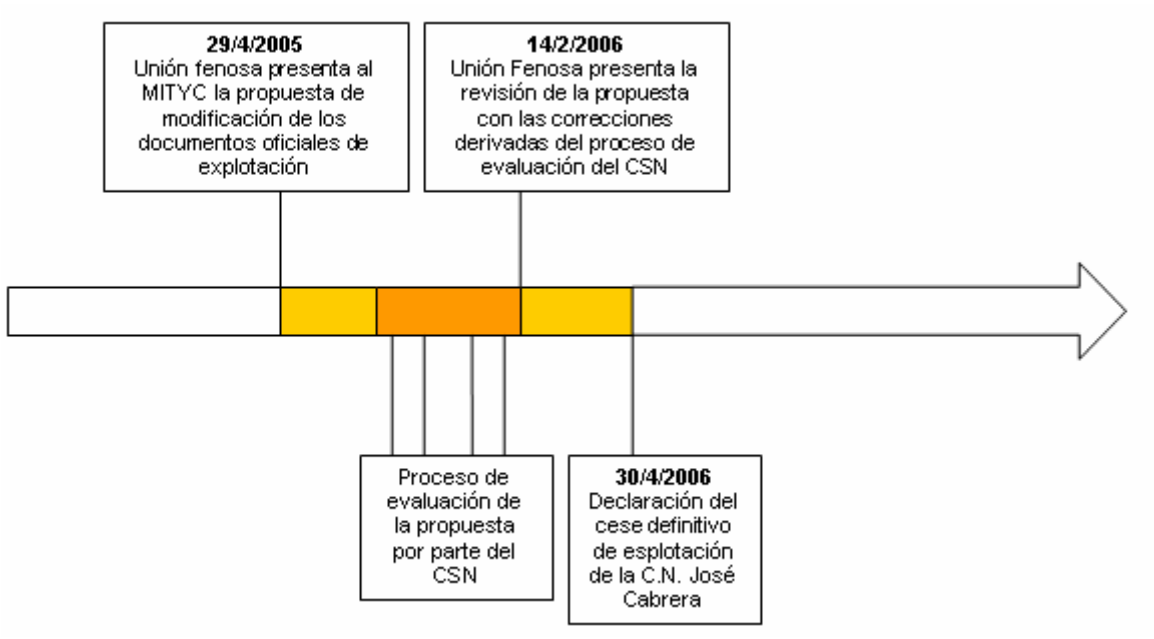

Figura 3.4. Esquema temporal del Cese de Explotación

En el momento en que se declara el cese definitivo de explotación, y después de realizar una serie de actividades, el titular de la central deja de ser Unión Fenosa Generación S.A. para pasar a ser Enresa, agencia estatal que gestionará la parte principal del proceso de desmantelamiento en unos 6 años, con el financiamiento que la propia central ha ido otorgando en base a cánones de explotación.

4. Fases del desmantelamiento hasta la clausura

4.1. Tipos de desmantelamiento. Niveles.

En Estados Unidos existen tres tipos de desmantelamiento principalmente, DECON, SAFTOR y ENTOMB, estos difieren principalmente en el tiempo que se tarda en completar el proceso de desmantelamiento:

DECON: Formado por cuatro etapas: 1) Anterior al cese de actividad, una etapa de planificación, ingeniería y repaso de la reglamentación. 2) Cese de actividad y preparación del almacén 3) Periodo de almacenamiento de seguridad en la planta y de operaciones en la piscina de combustible gastado hasta que su inventario de combustible es cero. 4) Descontaminación y desmantelamiento de las partes radiactivas de la planta en busca de la finalización de la licencia de reactor nuclear.

SAFTOR: Los tres primeros periodos son idénticos que el proceso DECON, pero añade dos distintos. 4) Alargar el periodo de almacenamiento de seguridad (<60 años) pero sin combustible en la piscina del reactor. 5) Descontaminación y desmantelamiento de las partes radiactivas de la planta.

SAFSTOR1: El periodo de almacenamiento 4 ha sido suficientemente largo para asumir que la actividad de todos los materiales radiactivos almacenados ha decaído por debajo de los límites. A excepción de la vasija del reactor y el blindaje biológico de hormigón que deberán ser extraídos y almacenados adecuadamente para la finalización de la licencia.

SAFTOR2: Asume que el periodo 4 es menor y por lo tanto todos los materiales originalmente radiactivos continúan estando por encima de los límites de exención por lo que deberán ser extraídos y almacenados como RBMA en su mayoría.

ENTOMB: Está formado por cinco periodos y los tres primeros son también idénticos a los del desmantelamiento DECON. 4) Es la preparación para sepultar los materiales radiactivos dentro del edificio de contención. 5) Extender en el tiempo el almacén sepultado.

ENTOMB1: El periodo de almacenamiento y la licencia nuclear duran hasta que la

radiactividad ha decaído por debajo de los límites de exención, unos 60 años después del cese de actividad.

ENTOMB2: Asume que el decaimiento de actividad no será suficiente durante el almacenamiento a 60 años, por lo que la vasija del reactor y el hormigón biológico son extraídos y almacenados durante la etapa de la preparación de la sepultura.

ENTOMB3: Sólo difiere con ENTOMB1 en el tiempo de sepultura, que en este caso es de 300 años.

En Europa los tipos de desmantelamiento se denominan de forma diferente, pero contienen elementos similares a los desmantelamientos DECON y SAFTOR americanos. El método ENTOMB no se plantea como posibilidad en Europa. La clasificación europea se basa en niveles:

Nivel 1: Se alcanza cuando todo el combustible gastado está en almacenes tipo ATI o ATC y por tanto se han extraído los elementos combustibles irradiados de la vasija y de la piscina. Y necesariamente después de que se hayan acondicionado todos los RBMA fruto de la operación de la planta.

Nivel 2: Se alcanza después de un desmantelamiento parcial de la planta (queda excluido el reactor), contiene fases de descontaminación de equipos y sistemas internos, y del posterior tratamiento y extracción de los residuos radiactivos. También se ejecuta la demolición de los edificios auxiliares. Alcanzado este nivel, se prolonga en un periodo de latencia que dura varios años.

Nivel 3: Contempla los niveles anteriores y la descontaminación i demolición de los edificios principales (de contención, de combustibles y el auxiliar) con el objetivo de recuperar el terreno para otros usos.

Los niveles de desmantelamiento pueden realizarse secuencialmente 1, 2 o 3, o proyectarse en etapas agrupadas 1+2, o 1+2+3. Si se proyecta un desmantelamiento de nivel 3, después del final de la vida operativa de la central, la estrategia es idéntica al concepto DECON americano.

4.2. Desmantelamiento DECON o de Nivel 3.

El desmantelamiento de nivel 3 o tipo DECON es la opción elegida por ENRESA para el desmantelamiento de las centrales nucleares con tecnología PWR en España. Este desmantelamiento se divide en varios periodos.

En los Estados Unidos es la alternativa más frecuente debido a sus ventajas económicas. Y es en este país dónde se han desarrollado normas y guías técnicas para la realización de proyectos de desmantelamiento de centrales tipo PWR y BWR. Estas normas y guías contemplan:

1. Los fondos económicos mínimos que deben crear los titulares de las centrales nucleares para garantizar la solvencia del desmantelamiento.

2. Procedimientos técnicos de desmantelamiento de centrales nucleares.

En el desarrollo del proyecto final de carrera se han utilizado como referencias básicas tipo, las siguientes normas y guías:

1. NUREG/CR-3474 Long-Lived Activation Products in Reactor Materials [8].

2. 10CFR 61.55(a) Licensing Requirements for Hard Disposal of Radioactive Waste 61.55 Waste Classification [9].

3. IAEA-TECDOC-855 Clearance Levels for Radionuclides in Solid Material. Application of Exemption Principles [10].

4. NUREG/CR-5884 Revised Analyses of Decommissioning for the Referente Pressurized Water Reactor Power Station [12].

5. 10 CFR 50.75 Domestic Licensing of Production and Utilization Facilities. Reporting and Recordkeeping for Decommissioning Planning [14].

En primer lugar se deben estudiar los planes y procedimientos que se llevarán a cabo durante el desmantelamiento, tarea que se realiza durante los dos años y medio anteriores al cese de actividad. El reactor y los sistemas asociados son postulados para ser desactivados durante el periodo de almacenamiento de seguridad, el cual dura hasta que se han retirado todos los elementos combustibles gastados de la piscina de almacenamiento.

El combustible gastado, incluido el de la última recarga del reactor, debe permanecer en la piscina de 5 a 7 años aproximadamente después del cese de actividad, hasta que la refrigeración adquirida sea suficiente para permitir un almacenamiento en seco. El tiempo de permanencia en la piscina del SNF depende del grado de quemado y de la capacidad de refrigeración que tengan los contenedores del almacenamiento en seco. Una vez esta totalmente vacía la piscina, todos los sistemas de esta, son desactivados y empieza el desmantelamiento, que continuará hasta que la central esté descontaminada por debajo de los límites de exención.

A continuación se describen con detalle los distintos periodos 1) Predesmantelamiento, ingeniería y planificación de operaciones 2) Actividades relacionadas con el plan de desactivación, descontaminación química, extracción de los internos de la vasija del reactor, sistemas que deben permanecer en salvaguarda. 3) Almacenamiento de seguridad, operaciones en la piscina de almacenamiento de combustibles gastados. 4) Actividades asociadas con el desmantelamiento.

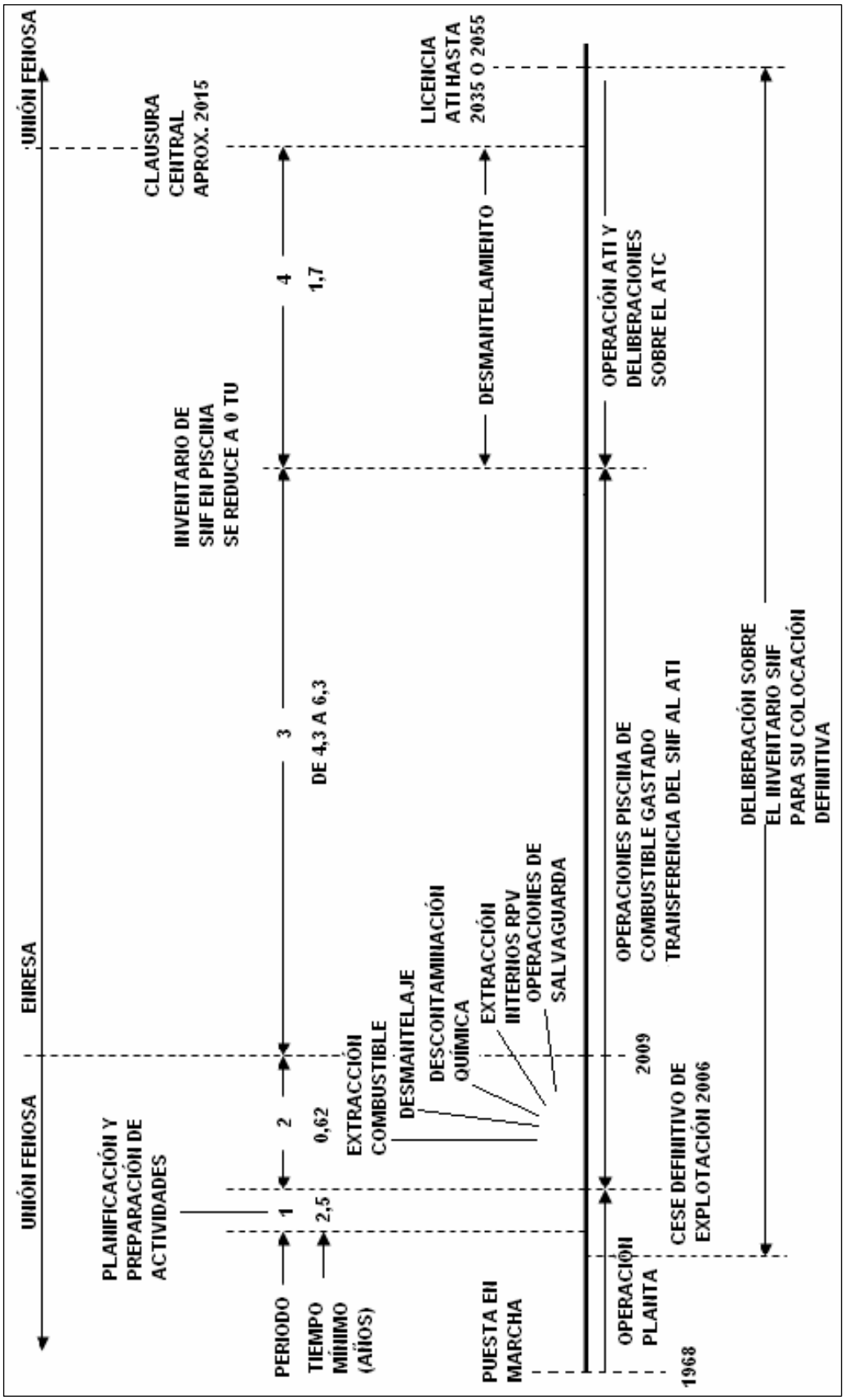

Figura 4.1. Planificación del Desmantelamiento. Cambio de titularidad.

4.2.1. Periodo 1. Ingenieria del pre-desmantelamiento y planificación

Esta actividad es llevada a cabo principalmente por los ingenieros de la propia central por lo cual no conlleva un coste específico de asignación. El estudio que éstos realizan es llevado a cabo por los ingenieros externos contratados por ENRESA, en el caso español.

4.2.2. Periodo 2. Desactivación del reactor para el almacenamiento de seguridad

Seguido del cese de actividad, los últimos combustibles de la vasija son extraídos para ser llevados a la piscina de combustible gastado. Al mismo tiempo se inicia una limpieza general de la planta, con descontaminación y/o fijación de las superficies contaminadas para evitar la extensión del contaminante durante la desactivación y el periodo de almacenamiento de seguridad. Durante este periodo suelen tener lugar también las siguientes tareas:

- El agua del sistema primario es sometida a un tratamiento para extraerle el boro, y la solución concentrada de boro es empaquetada y transportada para su almacenamiento.
- El sistema de tuberías de refrigeración del reactor es descontaminado químicamente para evitar dosis elevadas a través de la planta.
- El agua residual del sistema primario es limpiada y descargada.
- Las estructuras internas del reactor con niveles más elevados de irradiación son extraídas, segmentadas, y encapsuladas para ser almacenadas en el ATI, en el caso español, pero también podrían almacenarse en un ATC si existiese en España.
- Los sistemas no necesarios para las operaciones de almacenamiento del combustible gastado son desactivados, secados y desmantados.

Después de la extracción de los internos de la vasija y de ser encapsulados correspondientemente, el canal de transferencia de combustible y la parte de piscina de recarga son secados, descontaminados y desmantelados.

4.2.3. Periodo 3. Almacenamiento de seguridad y control del combustible gastado.

Con todas las operaciones de planta desactivadas a excepción del almacenamiento y transporte de los elementos combustibles gastados de la piscina del reactor, la estructura interna de personal se reduce hasta la finalización de éste periodo, situación que se produce cuando toda la piscina está vacía y todos los elementos combustibles han sido refrigerados suficientemente para su almacenamiento en seco.

4.2.4. Periodo 4. Desmantelamiento

Los principales edificios que requieren descontaminación y desmantelamiento para obtener la finalización de la licencia de C. N. PWR son el edificio de contención, el edificio de combustibles y el edificio auxiliar.

Estos tres edificios contienen esencialmente toda la actividad o materiales y equipamientos contaminados radiactivamente de la planta. El proceso de descontaminación y desmantelamiento empieza en el edificio de contención, seguido del de combustible y finalmente el auxiliar, con un gran número de actividades simultaneas. Al inicio del desmantelamiento la estructura interna de personal se refuerza de nuevo.

Figura 4.2. Ejemplo del Desmantelamiento de un Edificio de Contención.

5. Programa de actividades

El programa de actividades durante el desmantelamiento sufre caminos críticos, en lo que al *tempo* se refiere, en los periodos 2 (Desactivación del reactor), y 4 (Desmantelamiento), debido a la acumulación de actividades simultáneas.

Durante el transcurso del periodo 4 se produce la mayor afluencia de tareas simultáneas debido a la alta actividad laboral en los tres edificios principales, el edificio de contención, el edificio de combustibles y el edificio auxiliar. Aunque el desmantelamiento de cada edificio empieza con una cierta diferencia temporal con respeto a los otros, si es cierto que durante la mayor parte del transcurso del desmantelamiento de éstos, se efectúan trabajos en los tres edificios simultáneamente.

A continuación se presentan las planificaciones con más relevancia de las actividades de desmantelamiento, la del periodo 2 y las de los tres edificios. En ellas se puede observar el número de tareas, su nombre, su duración y en la parte superior una escala temporal en semanas y sin fechas decididas. Tiene mucho sentido comparar la escala temporal entre los distintos edificios, ya que transcurren todos en el periodo 4, pero no tiene sentido compararlas con las semanas del periodo 2 ya que los dos periodos transcurren totalmente separados en el tiempo.

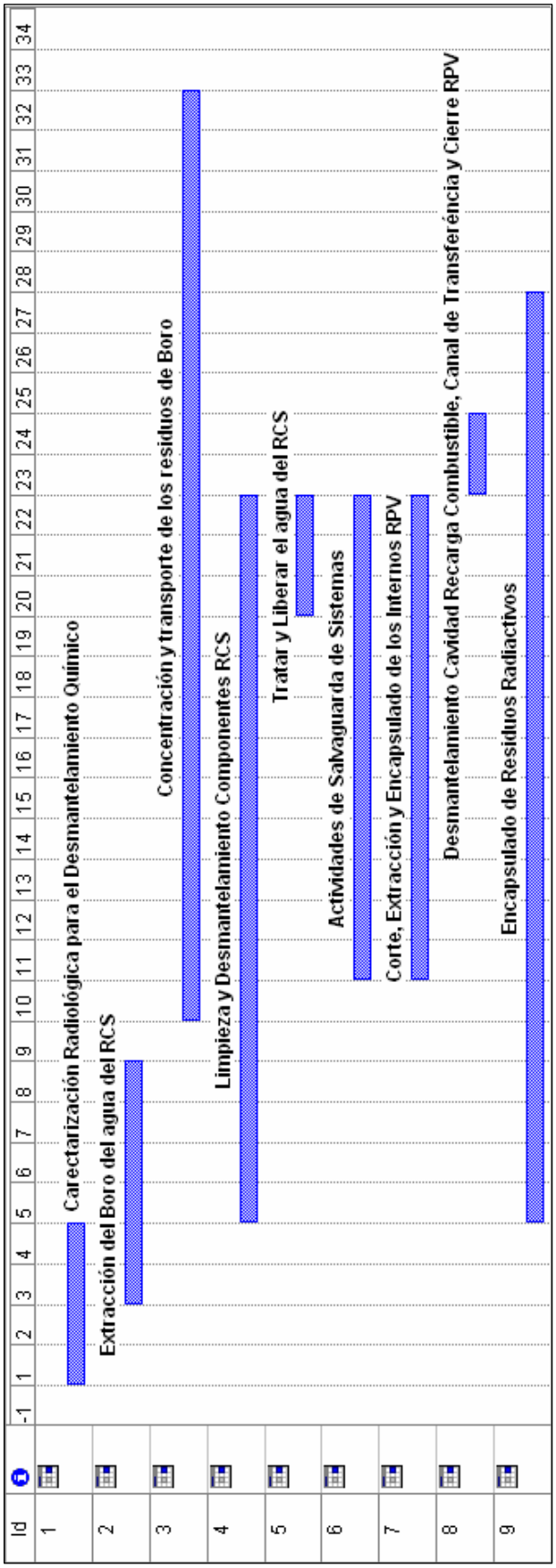

Figura 5.1. Programa de Actividades Periodo 2 (En Semanas)

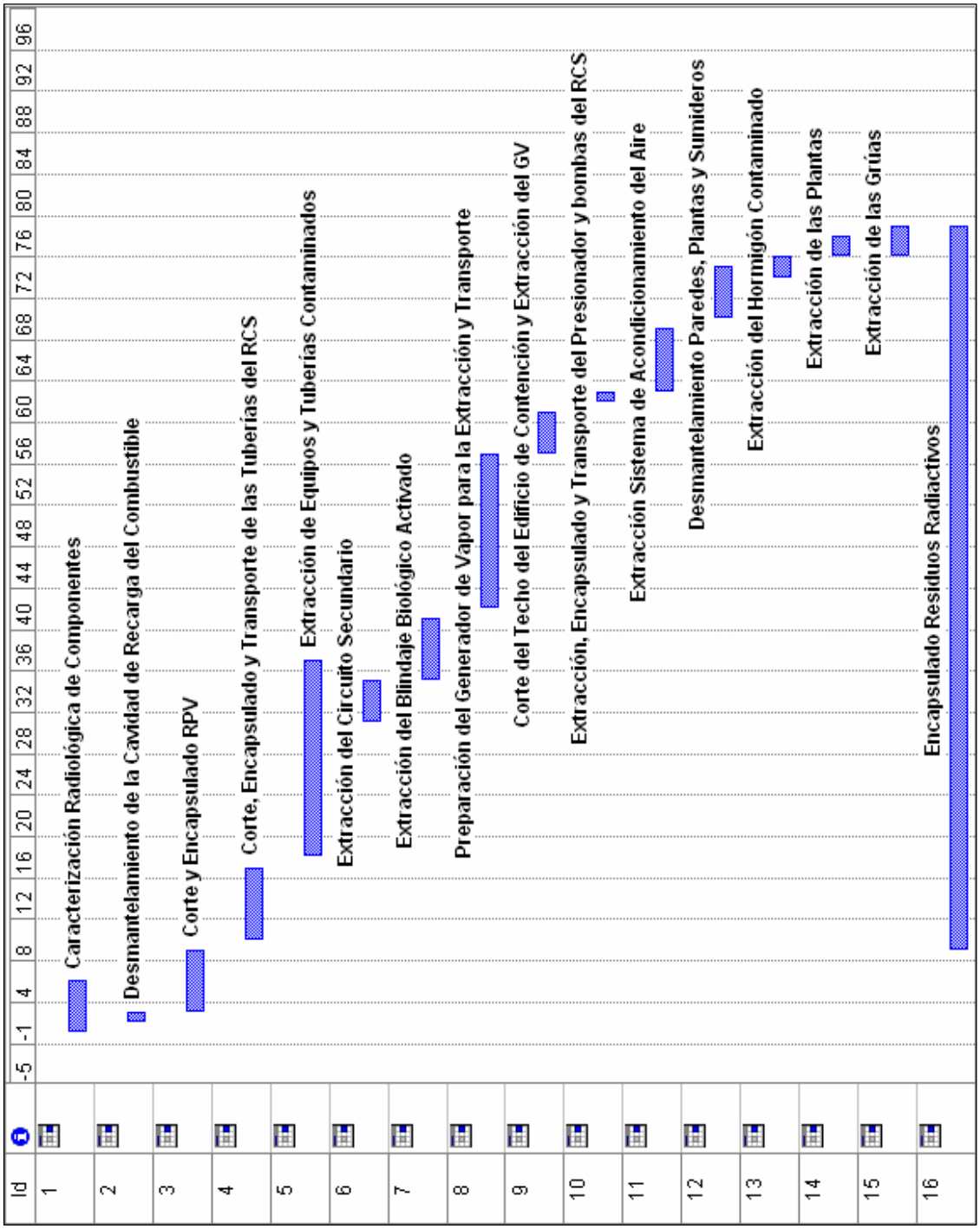

Figura 5.2. Programa de Actividades Edificio de Contención (En Semanas)

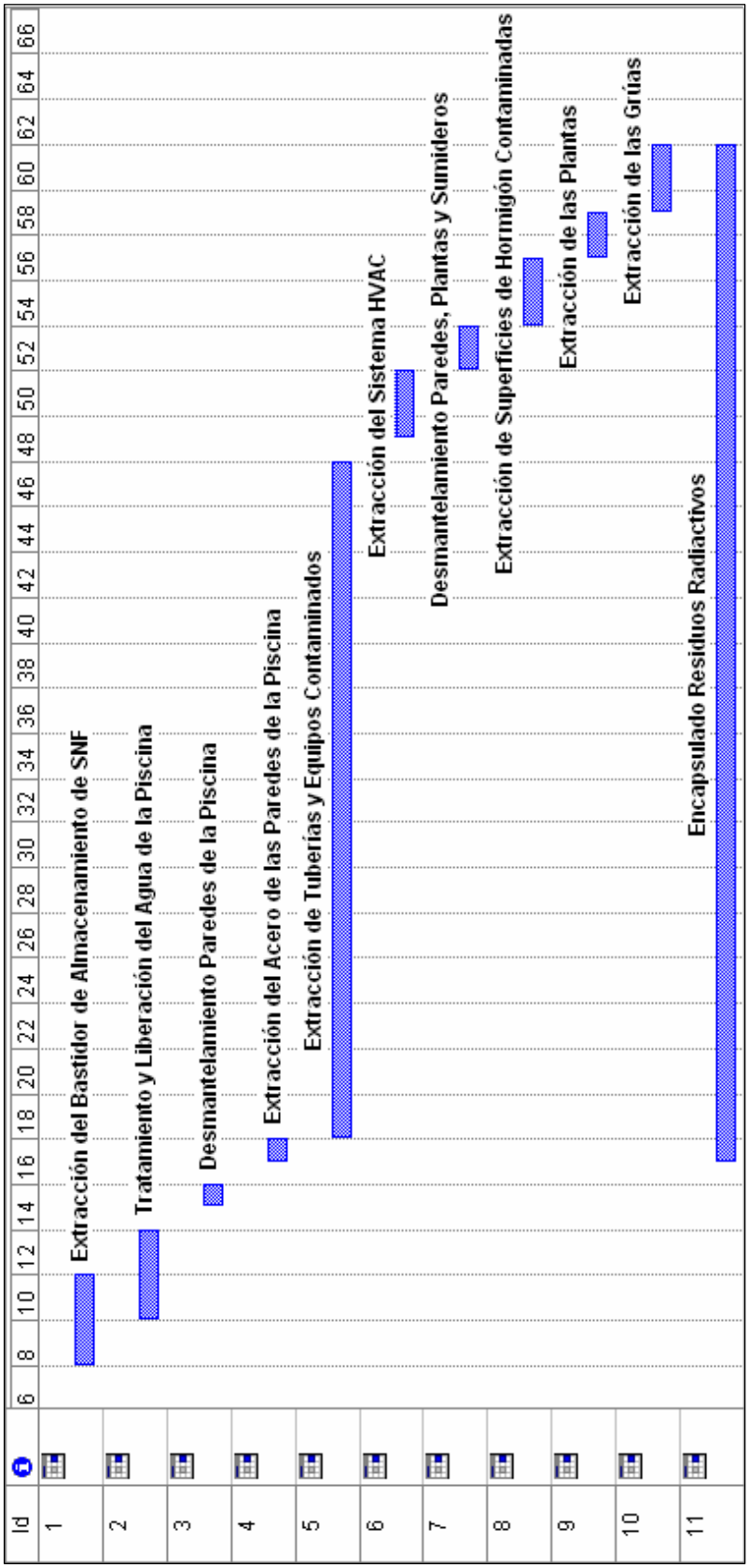

Figura 5.3. Programa de Actividades del Edificio de Combustibles (En Semanas)

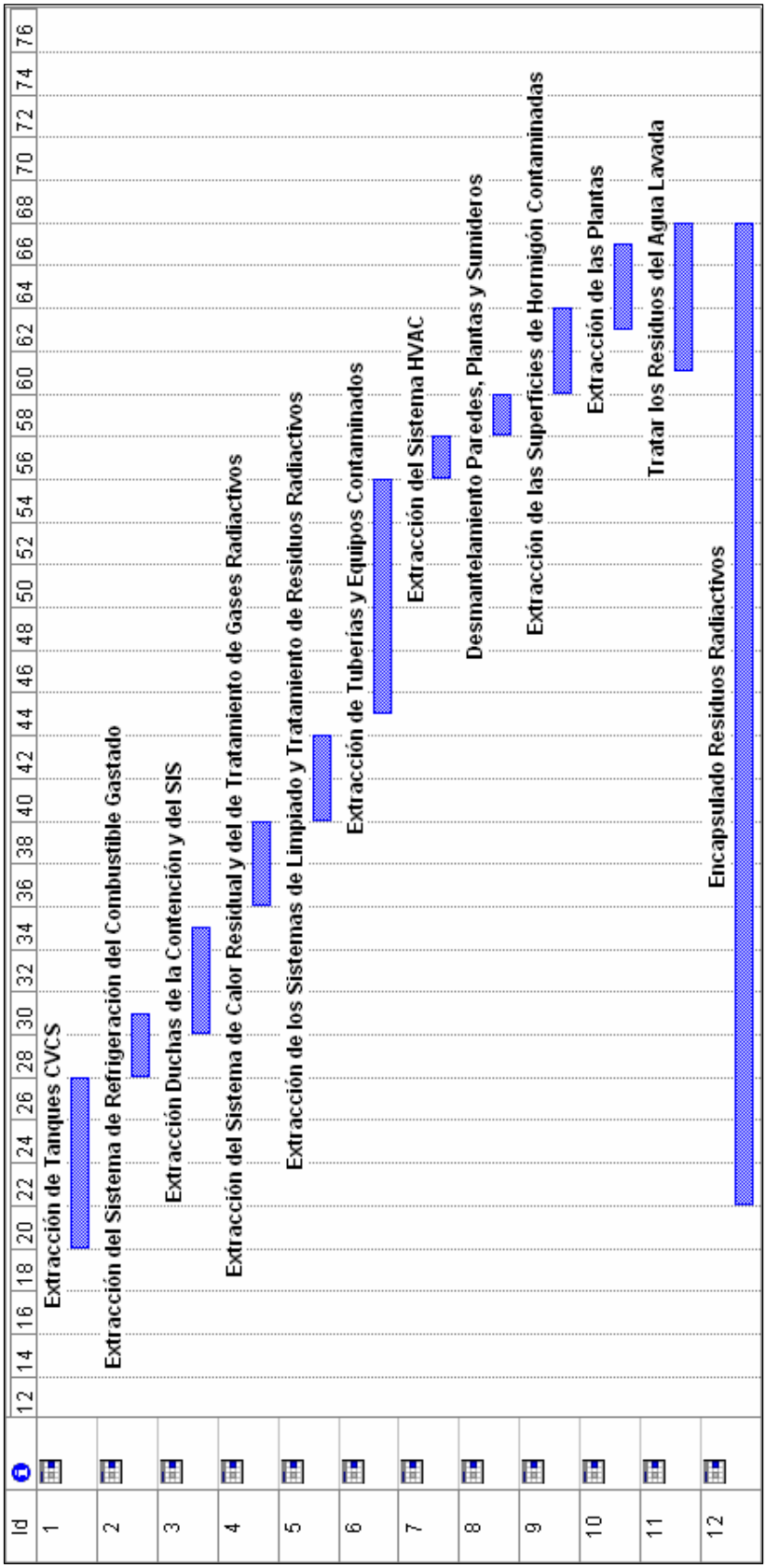

Figura 5.4. Programa de Actividades Edificio Auxiliar (En Semanas)

6. Organización del desmantelamiento. Funciones de ENRESA.

España es un caso singular en el mapa internacional en lo que a la titularidad del desmantelamiento se refiere. ENRESA es la empresa nacional que se encarga de la gestión de residuos radiactivos en España y se ocupa también del desmantelamiento de C.N. e instalaciones radiactivas. Esto hace que el titular de la central nuclear pase a ser ENRESA mientras dura el desmantelamiento, de forma que en el caso de la C.N.J.C. Unión Fenosa titular de la explotación, deja de ser-lo hasta que acaba el desmantelamiento, momento en el cual recupera la titularidad del emplazamiento para darle el uso que crea oportuno.

ENRESA cobra cánones al titular de la central nuclear (Unión Fenosa) durante la explotación de la instalación en función de la energía producida, para poder asegurar la solvencia del desmantelamiento. Esto difiere del procedimiento seguido en otros países como por ejemplo Estados Unidos donde es la misma empresa que explota la central nuclear la que debe encargarse del desmantelamiento con sus fondos.

El hecho de que existan distintos organismos responsables de partes muy importantes del desmantelamiento obliga a que haya una buena coordinación del proyecto. Con este fin se creó en septiembre del 2003 un grupo de trabajo multidisciplinar, integrado por técnicos del CSN, por técnicos de Unión Fenosa y de Enresa y un miembro del MITYC que han llevado acabo la transición de estado de la planta, de explotación a cese. También han elaborado las actividades que Unión Fenosa debe realizar para facilitar las tareas de desmantelamiento, como paso previo antes del cambio de titularidad. Estas actividades son básicamente la extracción del combustible del reactor, descontaminación química de sistemas y la extracción de los internos del RPV. Con el fin de facilitar las tareas a nivel radiológico.

Comparando con el modelo americano, se puede decir que Enresa se encargará del periodo 4 (Desmantelamiento) y de parte del periodo 3 (Almacenamiento de seguridad y control del combustible gastado) del desmantelamiento. En el caso de la C.N.J.C. aún no se ha realizado la transferencia del SNF al ATI que es la base del periodo 3 y en el 2009 ya se producirá el cambio de titularidad. Por lo que el cambio de titularidad depende de cada caso de desmantelamiento, y tiene un margen de variabilidad.

7. Centrales de referencia. Experiencia internacional

En lo a que experiencia internacional se refiere, Estados Unidos es el modelo que se usa como referencia, debido a que ha sido el país que se ha encontrado antes con la obligación de desmantelar centrales comerciales de edad avanzada.

La C.N. Yankee Rowe de Estados Unidos es la referencia para el desmantelamiento de la C.N. José Cabrera, debido a que son prácticamente gemelas. Las dos centrales son de la empresa americana Westinghouse, de potencias similares, y del mismo periodo de construcción. La C.N.Y.R. era una central de 175 MW de potencia eléctrica, un poco superior a los 160 MW de Zorita. La central Yankee Rowe tenía dos lazos mientras que Zorita tiene un sólo lazo, las dos comparten la tecnología PWR y un desmantelamiento tipo DECON.

El cese de explotación de la central americana se produjo el 1 de octubre de 1991. En noviembre de 1993 el generador de vapor fue transportado a Barnwell un almacén de RBMA de Carolina del Norte. El plan de desmantelamiento en modo DECON fue aprobado en febrero de 1995. La vasija del reactor nuclear también fue transportada a Barnwell en 1997. Se desmantelaron sistemas secundarios, el parque eléctrico, etc. Hasta que en mayo de 1999 se detuvo el desmantelamiento debido a la suspensión de la licencia relacionada con el ATI (ISFSI en siglas americanas), que no fue renovada hasta noviembre del 2003. A partir de entonces fue cuando todo el combustible gastado se transfirió al ATI y se finalizó el desmantelamiento. La clausura de la C.N.Y.R. se realizó en 2007.

El coste del desmantelamiento de la C.N.Y.R. ha sido de 306,4 M$ unos 200 M€, el motivo de este precio, superior al que predice el propio modelo americano para estas potencias, es los contratiempos de licencia y retardos que ha sufrido su desmantelamiento, también al hecho de que es una de las primeras centrales comerciales en las que se ha intentado aplicar el método de desmantelamiento, y debido a que ha necesitado la construcción de un ATI.

8. Aspectos clave del plan de desmantelamiento

8.1. Gestión del Combustible

8.1.1. Situación de España

En España existe un almacén de Residuos de Baja y Media Actividad “El Cabril”, en Córdoba. Pero no se ha solucionado el problema de los Residuos de Alta Actividad y de otros RBMA con periodos demasiado elevados para ser depositados en el Cabril. Esto ha supuesto que la mayoría de centrales haya tenido que aumentar la capacidad de almacenamiento de sus piscinas de combustible gastado con tal de almacenar los RAA. O debido a la imposibilidad de aumentar esta capacidad, se han visto obligadas a construir un ATI, como es el caso de la C.N. de Trillo.

Teóricamente el estado debe construir un ATC en el 2010, ya que regresan RAA vitrificados de Francia y de Inglaterra, que en su época fueron enviados ahí por distintas centrales españolas. Como por ejemplo, el combustible de la C.N.J.C. entre el 23 de enero de 1973 y el 2 de noviembre de 1982 que fue enviado a Inglaterra. La otra parte del combustible gastado durante la operación comercial, 377 elementos, se encuentra actualmente almacenado en la piscina de la C.N.J.C.

Para poder realizar el desmantelamiento, la C.N.J.C., ha construido un ATI, para poder adelantar el proceso y no depender del proyecto ATC, debido a la incertidumbre que rodea a éste almacén.

8.1.2. Almacén Temporal Individualizado

Almonacid de Zorita (Guadalajara) es donde está hubicada la central nuclear de José Cabrera y ahí es donde se ha construido el Almacén Temporal Individualizado cuyo promotor es Unión FENOSA Generación S.A. El objetivo de ésta instalación es el de poder liberar el reactor y la piscina, de combustibles gastados, a fin de que estos dos componentes se puedan desmantelar. Tiene capacidad para albergar 135 toneladas de RAA.

Se prevé que en el desmantelamiento de la C.N.J.C. se extraigan 95000 toneladas de materiales de los cuales sólo el 5% sean radiactivos, industriales o tóxicos.

Se ha elegido un almacenamiento temporal en seco del combustible gastado. El Sistema de Almacenamiento HI-STORM-100Z (siglas de Holtec Internacional Storage and Transfer Operation Reinforced Module), seleccionado, es de diseño norteamericano y resultado de los últimos desarrollos tecnológicos para complementar o sustituir a los sistemas tradicionales de almacenamiento bajo agua. Dicho contenedor es fabricado y licenciado en Estados Unidos y se utiliza ya en almacenamientos en seco en este país.

El ATI esta compuesto principalmente por 16 contenedores. De éstos, 12 son los destinados a almacenar los 377 elementos de combustible gastado, ya que en cada contenedor caben 32 elementos. Los otros cuatro se destinan a materiales activados de la vasija, principalmente sus internos, fuentes neutrónicas, barras de control, etc.

El ATI pose uno doble vallado en el interior del cual se ha construido una losa de apoyo sísmica de hormigón armado con un espesor de aproximadamente 1 m y unas dimensiones de 40,23 × 10,97 m donde se depositan verticalmente los contenedores. Su capacidad máxima es de 32 elementos, de forma cilíndrica de unos 1750 mm. de diámetro exterior y una altura de unos 3200 mm.

El sistema HI-STORM 100Z consta de tres componentes:

- Cápsulas multipropósito (MPC) dónde se introduce el combustible gastado máx. 32 elementos.

- Contenedor de transferencia (HI-TRAC) se utiliza para cargar las cápsulas en la piscina del reactor, se maneja con la grúa del edificio del reactor, se traslada en horizontal por el interior del edificio y en vertical en el exterior mediante un vehículo especial. Compuesto por material de acero al carbono, plomo y camisa de agua para blindaje.

- Contenedor de almacenamiento (HI-STORM), que se utiliza para el almacenamiento a la intemperie. Compuesto por dos virolas concéntricas de acero al carbono de unos 25 mm de espesor cada una y una pared de 698 mm de espesor de hormigón entre las dos virolas.

El proceso de transferencia de los elementos de combustible gastados de la piscina, al ATI empieza por la colocación de éstos en el MPC-32. Seguido de la colocación del MPC-32 dentro del HI-TRAC para su posterior traslado de la piscina a la losa del ATI con el vehículo de transporte oruga. Una vez ahí el HI-TRAC es abierto por debajo y el

MPC-32 se deposita en un HI-STORM colocado en el foso de transferencia. Que finalmente es alzado y depositado en su posición definitiva.

El vallado exterior es de Protección Radiológica, está ubicado de forma que en su exterior existan condiciones radiológicas propias de una Zona de Libre de Acceso, según el Manual de Protección Radiológica de CNJC. Ésta zona vallada es controlada por el explotador de la misma C.N.J.C., se debe garantizar que el límite de la tasa de dosis para un individuo real sea igual o inferior a 0,25 mSv/año en operación normal y menor a 0,05 Sv en caso del peor accidente postulado.

El coste total de la instalación es de 35 millones de euros. De éstos, 4,5 millones se deben a la obra civil de la losa. Y el resto principalmente se atribuye a los contenedores que tienen un coste de entre 1,7 y 1,8 M€ por unidad. La vida útil de este ATI se estima en 40 años, con lo que se observa que es una alternativa relativamente económica al problema de que España no posea un ATC.

Cada contenedor durante el funcionamiento del ATI, produce un incremento de temperatura del aire a la salida de sus respiraderos que no genera alteraciones significativas ni siquiera en el entorno más próximo de la parcela de almacenamiento. Dado que según ha evaluado Unión FENOSA, el caudal másico de salida por canal es de 8,1E-2 kg/s, el caudal volumétrico de salida por canal es de 7,9E-2 m^3/s y la velocidad de la corriente de aire a la salida del canal es de 1 m/s, por lo que se estima que la temperatura de salida del aire no tenga efectos térmicos a más de 50 centímetros de distancia de los canales de salida del aire. Así el impacto ambiental estimado es no significativo.

8.2. Caracterización radiológica de la central

8.2.1. Modelización de la energía producida

La energía producida por la C. N. J. C. durante sus 38 años de actividad esta reflejada en la *figura 8.1*., la máxima capacidad de producción energética anual, suponiendo un factor de carga del 100%, es de 1400 GWh eléctricos. La central funcionó durante toda su vida con un factor de carga medio del 69,47%, generando durante este tiempo 34.627,628GW(e)·h.

La modelización escogida para introducir en nuestro código de cálculo, está reflejada en

la *figura 8.2.* Se ha elegido un modelo que consiste en que toda la energía generada por la central durante su vida activa, se haya producido en los últimos años de su vida útil, suponiendo un factor de carga anual del 100%.

Al suponer la máxima actividad de la planta en los últimos años, estamos imponiendo que los flujos de neutrones han sido superiores a los reales en éste periodo y por tanto la activación radiactiva de los materiales del reactor será superior, tanto la de los radioisótopos de periodo corto, cómo la de los de periodo largo. Ya que algunos de los radioisótopos producidos en los primeros años de funcionamiento de la planta después del paso de los 38 años ya se habrán desintegrado, pero con nuestro modelo es posible que se tengan en cuenta para el cálculo de la actividad, por lo que es obvio que el modelo elegido es conservador.

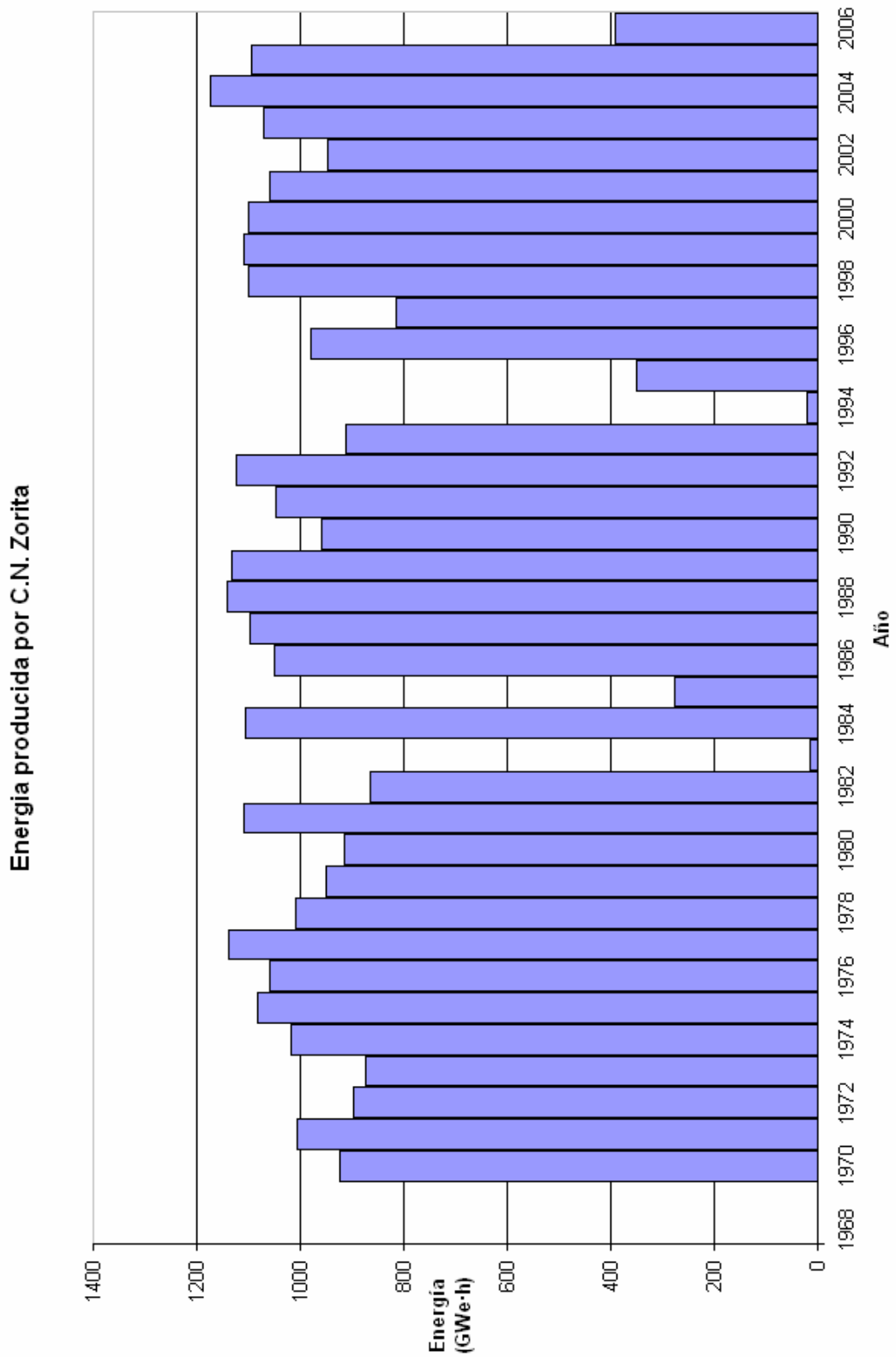

Figura 8.1. Energía producida por la CNJC en 38 años

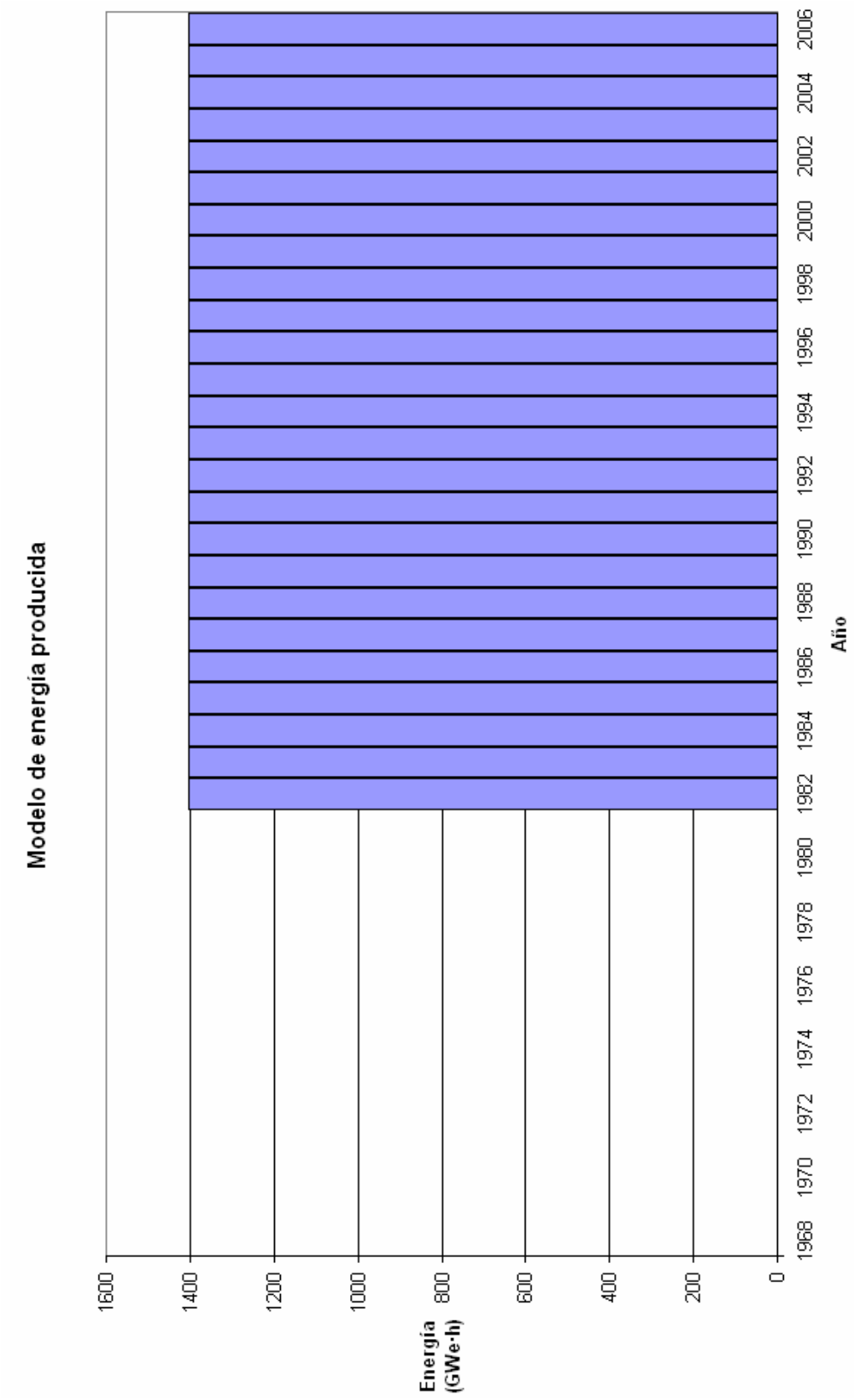

Figura 8.2. Modelo de Energía producida por la CNJC

8.2.2. Modelización del flujo neutrónico

La distribución del flujo de neutrones presente en el reactor y la evolución de las fugas de estos, a través de las distintas capas de la vasija ha sido subministrada como dato de partida por el Departamento de Ingeniería Nuclear de la ETSEIB, a través de una simulación de distribución de flujo hecha sobre la C.N.J.C. con el código de cálculo SCALE. En condiciones de trabajo del 100% de poténcia. En la *figura 8.3.* se grafica logarítmicamente el flujo neutrónico ($\frac{neutrones}{cm^2 \cdot s}$) en función del radio (cm) del centro del reactor hasta su periferia. Para realizar los cálculos se ha separado el flujo en tres grupos, el grupo rápido, el epitérmico y el térmico en función de su energía. De los cuales el térmico, es el menos energético, el que provoca la mayor parte de la activación de los materiales y el más importante a tener encuenta. A causa de la mayor sección eficaz de captura de los isótopos con este rango de energías y velocidades menores.

En la *figura 8.4*. se observa la evolución del flujo en la totalidad de la zona transversal estudiada, se han añadido las distintas capas que atraviesan los neutrones para observar su evolución. Los neutrones a medida que se alejan del centro del reactor se encuentran la camisa del núcleo, el barril, el blindaje térmico, el recubrimiento interior de la vasija, la vasija, y el blindaje biológico (hormigón armado). El efecto más destacable y visible a simple vista es la termalización de los neutrones al atravesar las zonas de agua, es decir, cómo los neutrones más energéticos disminuyen su velocidad debido a choques elásticos e inelásticos con el hidrógeno del agua y esto provoca que los rápidos y epitérmicos pasen a ser térmicos y por lo tanto aumente la población de éstos en el agua.

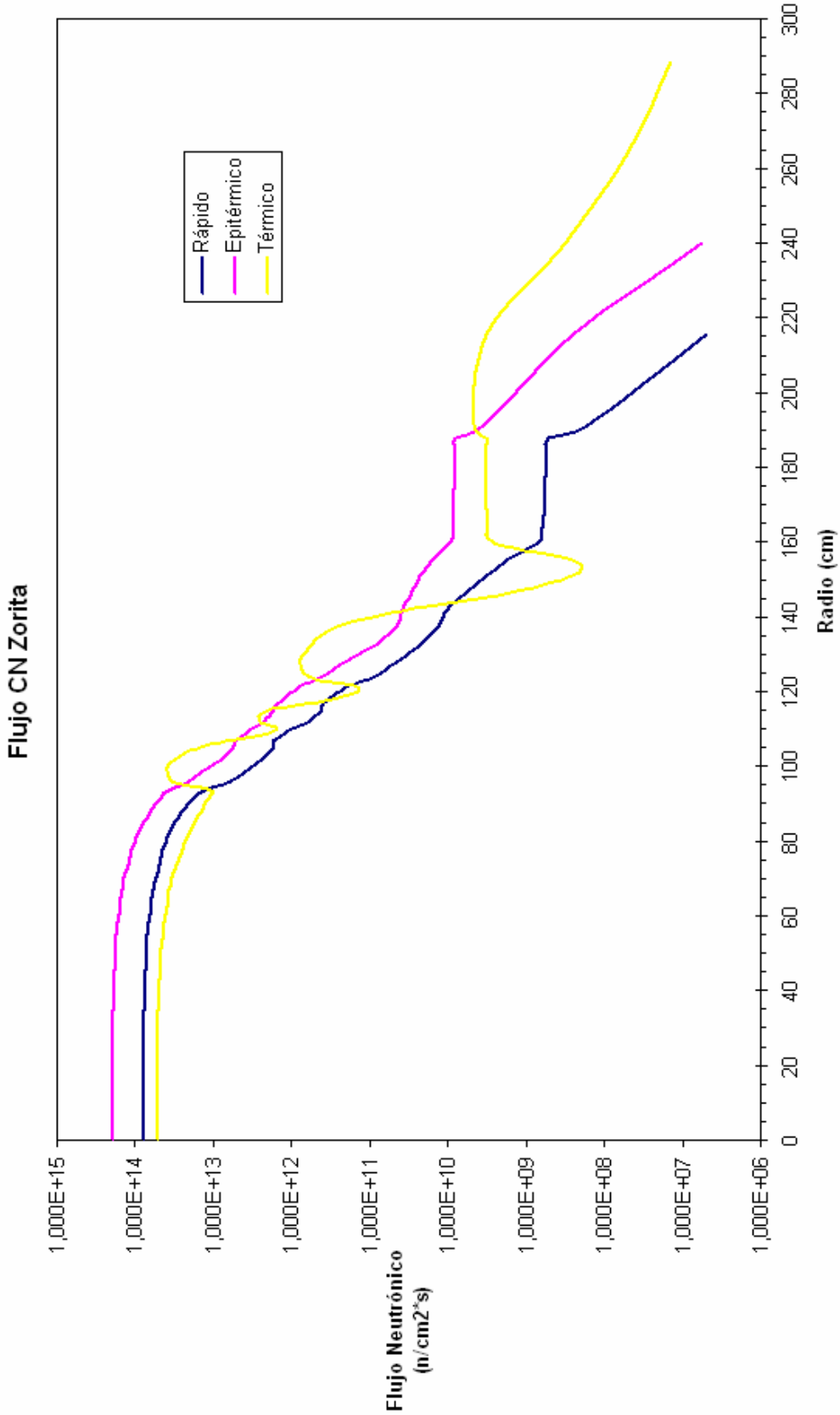

Figura 8.3. Flujo Neutrónico del centro a la periferia del Reactor

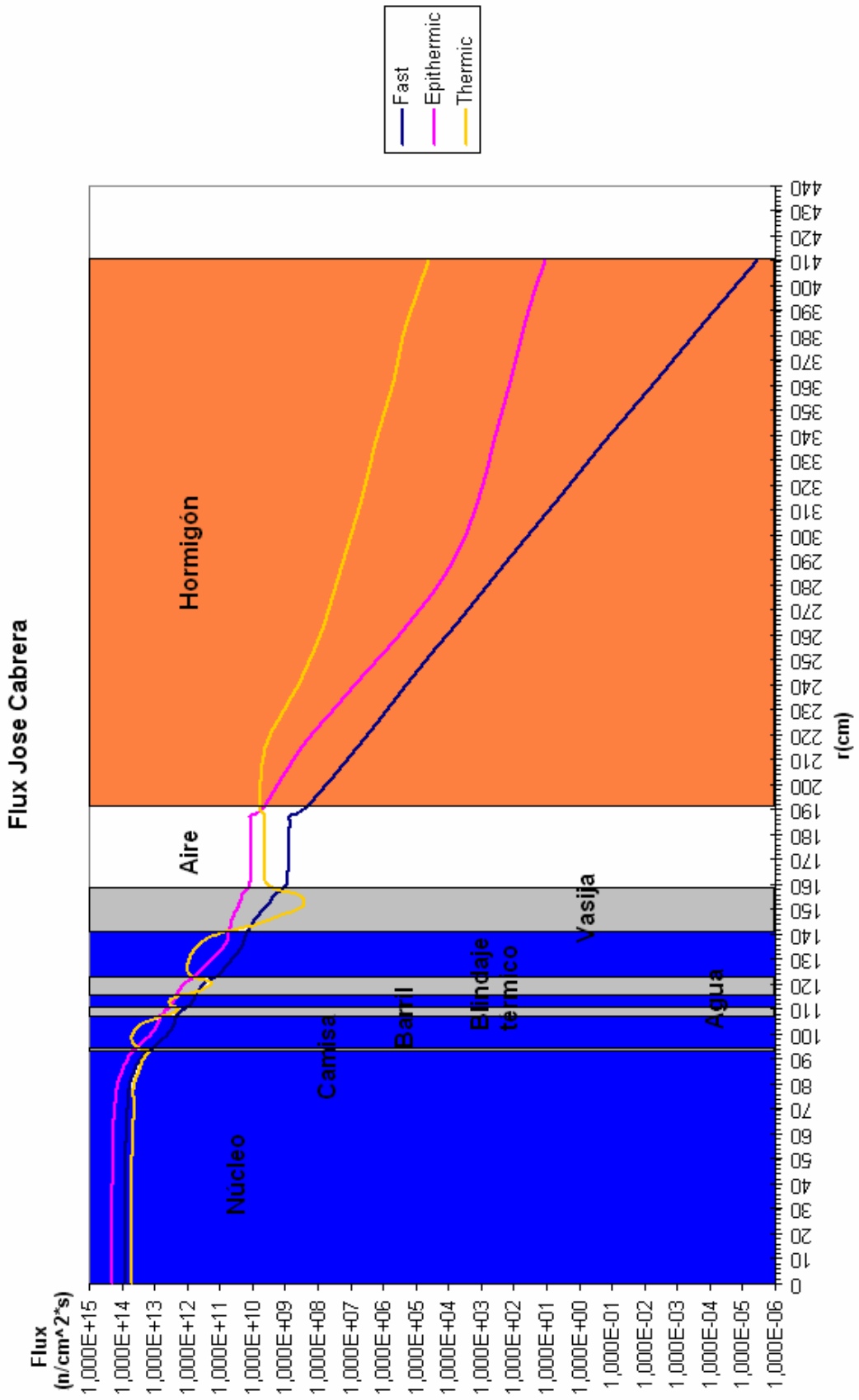

Figura 8.4. Disminución del Flujo Neutrónico a través de la Vasija y sus Blindajes

8.2.3. Modelización de los materiales

La selección de los materiales introducidos en el código de cálculo, ya sea de los aceros utilizados en la construcción de la vasija, cómo el hormigón del blindaje biológico, se ha realizado estudiando otras centrales de referencia de su mismo periodo de construcción ya que se desconocían las composiciones exactas de los materiales utilizados en la C.N. José Cabrera.

Para todos los elementos metálicos del interior de la vasija que van de la camisa del núcleo, el barril, y el blindaje térmico hasta el recubrimiento interior de la vasija se ha elegido un acero inoxidable muy utilizado en la construcción de los internos de otros reactores nucleares, el SS304. Mientras que para el acero tradicional empleado en la construcción de la vasija se ha elegido el SA302.

Una vez seleccionados los materiales se ha extraído la composición media de todos los elementos residuales que existen en cualquier material a partir del documento NUREG/CR-3474 [8], ya que para estudiar la activación bajo una larga exposición de un flujo neutrónico es imprescindible conocer las concentraciones al detalle, hasta llegar a ppm (partes por millón).

A continuación se presentan las fichas de los materiales utilizadas en el cálculo de activación de cada material. En las que se puede observar el numero atómico de cada elemento existente en el material, su concentración, y si se ha tenido en cuenta en el modelo utilizado.

CAMISA DEL NÚCLEO (SS304)				BARRIL (SS304)			
Z	ELEMENTO	CONCENTRACIÓN (ppm)	MODELO	Z	ELEMENTO	CONCENTRACIÓN (ppm)	MODELO
3	Li	0,13	☑	3	Li	0,13	☑
7	N	452	☑	7	N	452	☑
11	Na	9,7	☑	11	Na	9,7	☑
13	Al	100	☑	13	Al	100	☑
17	Cl	70	☑	17	Cl	70	☑
19	K	<3	☑	19	K	<3	☑
20	Ca	19	☑	20	Ca	19	☑
21	Sc	<0,03	☑	21	Sc	<0,03	☑
22	Ti	<600	☑	22	Ti	<600	☑
23	V	456	☑	23	V	456	☑
24	Cr	1,84E+05	☑	24	Cr	1,84E+05	☑
25	Mn	1,53E+04	☑	25	Mn	1,53E+04	☑
26	Fe	7,06E+05	☑	26	Fe	7,06E+05	☑
27	Co	1414	☑	27	Co	1414	☑
28	Ni	1,00E+05	☑	28	Ni	1,00E+05	☑
29	Cu	3080	☑	29	Cu	3080	☑
30	Zn	457	☑	30	Zn	457	☑
31	Ga	129	☑	31	Ga	129	☑
33	As	194	☑	33	As	194	☑
34	Se	35	☑	34	Se	35	☑
35	Br	2	☑	35	Br	2	☑
37	Rb	<10	☑	37	Rb	<10	☑
38	Sr	0,2	☑	38	Sr	0,2	☑
39	Y	<5	☑	39	Y	<5	☑
40	Zr	10	☑	40	Zr	10	☑
41	Nb	89	☑	41	Nb	89	☑
42	Mo	2600	☑	42	Mo	2600	☑
47	Ag	<2	☑	47	Ag	<2	☑
51	Sb	12,3	☑	51	Sb	12	☑
55	Cs	<0,3	☑	55	Cs	<0,3	☑
56	Ba	<500	☑	56	Ba	<500	☑
57	La	0,2	☑	57	La	0	☑
58	Ce	371	☑	58	Ce	371	☑
62	Sm	0,1	☑	62	Sm	0	☑
63	Eu	0,02	☑	63	Eu	0	☑
65	Tb	0,47	☑	65	Tb	0	☑
66	Dy	<1	☑	66	Dy	<1	☑
67	Ho	<1	☑	67	Ho	<1	☑
70	Yb	<2	☑	70	Yb	<2	☑
71	Lu	<0,8	☑	71	Lu	<0,8	☑
72	Hf	<2	☑	72	Hf	<2	☑
73	Ta	<0,8	☑	73	Ta	<0,8	☑
74	W	186	☑	74	W	186	☑
82	Pb	67	☑	82	Pb	67	☑
90	Th	<1	☑	90	Th	<1	☑
92	U	<2	☑	92	U	<2	☑

Tabla 8.1. Configuración de las Impurezas de los Materiales

BLINDAJE TÉRMICO (SS304)				RECUBRIMIENTO INTERIOR VASIJA (SS304)			
Z	ELEMENTO	CONCENTRACIÓN (ppm)	MODELO	Z	ELEMENTO	CONCENTRACIÓN (ppm)	MODELO
3	Li	0,13	☑	3	Li	0,13	☑
7	N	452	☑	7	N	452	☑
11	Na	9,7	☑	11	Na	9,7	☑
13	Al	100	☑	13	Al	100	☑
17	Cl	70	☑	17	Cl	70	☑
19	K	<3	☑	19	K	<3	☑
20	Ca	19	☑	20	Ca	19	☑
21	Sc	<0,03	☑	21	Sc	<0,03	☑
22	Ti	<600	☑	22	Ti	<600	☑
23	V	456	☑	23	V	456	☑
24	Cr	1,84E+05	☑	24	Cr	1,84E+05	☑
25	Mn	1,53E+04	☑	25	Mn	1,53E+04	☑
26	Fe	7,06E+05	☑	26	Fe	7,06E+05	☑
27	Co	1414	☑	27	Co	1414	☑
28	Ni	1,00E+05	☑	28	Ni	1,00E+05	☑
29	Cu	3080	☑	29	Cu	3080	☑
30	Zn	457	☑	30	Zn	457	☑
31	Ga	129	☑	31	Ga	129	☑
33	As	194	☑	33	As	194	☑
34	Se	35	☑	34	Se	35	☑
35	Br	2	☑	35	Br	2	☑
37	Rb	<10	☑	37	Rb	<10	☑
38	Sr	0,2	☑	38	Sr	0,2	☑
39	Y	<5	☑	39	Y	<5	☑
40	Zr	10	☑	40	Zr	10	☑
41	Nb	89	☑	41	Nb	89	☑
42	Mo	2600	☑	42	Mo	2600	☑
47	Ag	<2	☑	47	Ag	<2	☑
51	Sb	12	☑	51	Sb	12	☑
55	Cs	<0,3	☑	55	Cs	<0,3	☑
56	Ba	<500	☑	56	Ba	<500	☑
57	La	0	☑	57	La	0	☑
58	Ce	371	☑	58	Ce	371	☑
62	Sm	0	☑	62	Sm	0	☑
63	Eu	0	☑	63	Eu	0	☑
65	Tb	0	☑	65	Tb	0	☑
66	Dy	<1	☑	66	Dy	<1	☑
67	Ho	<1	☑	67	Ho	<1	☑
70	Yb	<2	☑	70	Yb	<2	☑
71	Lu	<0,8	☑	71	Lu	<0,8	☑
72	Hf	<2	☑	72	Hf	<2	☑
73	Ta	<0,8	☑	73	Ta	<0,8	☑
74	W	186	☑	74	W	186	☑
82	Pb	67	☑	82	Pb	67	☑
90	Th	<1	☑	90	Th	<1	☑
92	U	<2	☑	92	U	<2	☑

Tabla 8.2. Configuarción de las Impurezas de los Materiales [8]

VASIJA (SA302)				ARMADURA DEL HORMIGÓN			
Z	ELEMENTO	CONCENTRACIÓN (ppm)	MODELO	Z	ELEMENTO	CONCENTRACIÓN (ppm)	MODELO
3	Li	0,3	☑	3	Li	0,1	☑
7	N	84	☑	7	N	77	☑
11	Na	23	☑	11	Na	7,2	☑
13	Al	330	☑	13	Al	180	☑
17	Cl	40	☑	17	Cl		☐
19	K	12	☑	19	K	40	☑
20	Ca	14	☑	20	Ca	50	☑
21	Sc	0,26	☑	21	Sc	<0,1	☑
22	Ti	<2	☑	22	Ti	<700	☑
23	V	<80	☑	23	V	201	☑
24	Cr	1,70E+03	☑	24	Cr	1,31E+03	☑
25	Mn	1,02E+04	☑	25	Mn	9,40E+03	☑
26	Fe	9,80E+05	☑	26	Fe	9,80E+05	☑
27	Co	122	☑	27	Co	103	☑
28	Ni	6,60E+03	☑	28	Ni	1070	☑
29	Cu	1274	☑	29	Cu	2980	☑
30	Zn	100	☑	30	Zn	67	☑
31	Ga	80	☑	31	Ga		☐
33	As	532	☑	33	As	129	☑
34	Se	0,7	☑	34	Se		☐
35	Br	0,85	☑	35	Br	<1,1	☑
37	Rb	48	☑	37	Rb	<20	☑
38	Sr	0,15	☑	38	Sr	0,4	☑
39	Y	<20	☑	39	Y		☐
40	Zr	<10	☑	40	Zr		☐
41	Nb	18,8	☑	41	Nb		☐
42	Mo	0,56	☑	42	Mo	218	☑
47	Ag	<2	☑	47	Ag	4,2	☑
51	Sb	11	☑	51	Sb	47	☑
55	Cs	<0,2	☑	55	Cs	<0,6	☑
56	Ba	0,1	☑	56	Ba	<400	☑
57	La	273	☑	57	La	<0,3	☑
58	Ce	<1	☑	58	Ce		☐
62	Sm	0,017	☑	62	Sm	<0,04	☑
63	Eu	0,031	☑	63	Eu	<0,09	☑
65	Tb	0,45	☑	65	Tb		☐
66	Dy		☐	66	Dy		☐
67	Ho	<0,8	☑	67	Ho	<0,04	☑
70	Yb	<1	☑	70	Yb		☐
71	Lu	<0,2	☑	71	Lu	<0,6	☑
72	Hf	0,21	☑	72	Hf	<0,8	☑
73	Ta	0,13	☑	73	Ta	<0,6	☑
74	W	5,5	☑	74	W	15	☑
82	Pb	820	☑	82	Pb		☐
90	Th	0,18	☑	90	Th	<0,6	☑
92	U	0,2	☑	92	U	<0,9	☑

Tabla 8.3. Configuración de las Impurezas de los Materiales

HORMIGÓN			
Z	ELEMENTO	CONCENTRACIÓN (ppm)	MODELO
1	H	6100	✓
3	Li	20	✓
5	B	20	✓
7	N	120	✓
11	Na	7390	✓
13	Al	3,10E+04	✓
14	Si	1,68E+05	✓
15	P	5,00E+03	✓
16	S	3,10E+03	✓
17	Cl	45	✓
19	K	7,50E+03	✓
20	Ca	1,83E+05	✓
21	Sc	6,5	✓
22	Ti	2121	✓
23	V	103	✓
24	Cr	109	✓
25	Mn	377	✓
26	Fe	3,90E+04	✓
27	Co	9,8	✓
28	Ni	38	✓
29	Cu	25	✓
30	Zn	75	✓
31	Ga	9	✓
33	As	8	✓
34	Se	0,92	✓
35	Br	2,4	✓
37	Rb	35	✓
38	Sr	438	✓
39	Y	18,2	✓
40	Zr	71	✓
41	Nb	4,3	✓
42	Mo	10,3	✓
46	Pd	<3	✓
47	Ag	<0,2	✓
48	Cd	0,3	✓
50	Sn	<7	✓
51	Sb	1,8	✓
55	Cs	1,3	✓
56	Ba	950	✓
57	La	13	✓
58	Ce	24,3	✓
62	Sm	2	✓
63	Eu	0,55	✓
65	Tb	0,41	✓
66	Dy	2,3	✓
67	Ho	0,9	✓
70	Yb	1,4	✓
71	Lu	0,27	✓
72	Hf	2,2	✓
73	Ta	0,44	✓
74	W	1,4	✓
82	Pb	61	✓
90	Th	3,5	✓
92	U	2,7	✓

Tabla 8.4. Configuarción de las Impurezas de los Materiales

8.2.4. Código de cálculo ORIGENS

El código de cálculo ORIGENS permite realizar muchas más opciones de cálculo de las que este proyecto ha requerido. A continuación se presenta una entrada tipo, en este caso es la entrada del caso de la Camisa del núcleo del reactor. Se han resaltado de amarillo partes importantes como son: Los coeficientes de forma del flujo rápido, epitérmico y térmico. El valor del flujo neutrónico térmico máximo en la zona estudiada. Los cuatro periodos de tiempo en que se han dividido los 24,68 años de funcionamiento a máxima potencia del reactor modelizado. Los radioisótopos del material (donde los dos primeros datos hacen referencia al combustible). A continuación se expresan las concentraciones (donde los dos primeros datos también aquí son del combustible). La última franja amarilla destaca, dentro ya del caso de post-irradiación, los años de estudio después del cese de explotación del reactor, en el marco del proyecto se ha llegado a estudiar la activación de materiales hasta los 500 años después del cese:

```
=ORIGENS
0$$  A5 28 E
1$$  1  1T
JOSE CABRERA REACTOR CORE FULL OF W14X14 3,6% 235-U FUEL ASSEMBLIES
3$$  28 A3 0 A16 2 E
4** 0.633 3.05647 1.06515 E
54$$ A12 1 E 2T
35$$ 0  E 4T
56$$ 4  4  1  A13  48  5  3  0  2  1  1  E 5T
IRRADIATION CASE
CAMISA flujo Max
59** 1.65478E13 E
60** 6.17 12.34 18.51 24.68  E
66$$ 2 A5 2 A9 2 E
73$$ 922350 922380 30000 70000 110000 130000 170000 190000 200000
210000 220000 230000 240000 250000 260000 270000 280000 290000
300000 310000 330000 340000 350000 370000 380000 390000 400000
410000 420000 470000 510000 550000 560000 570000 580000 620000
630000 650000 660000 670000 700000 710000 720000 730000 740000
820000 900000 920000
74** 747.299E3 20011.03E3 0.13 452 9.7 100 70 3 19 0.03 600 456
1.84E5 1.53E4 7.06E5 1414 1.00E5 3080 457 129 194 35 2 10 0.2 5
10 89 2600 2 12.3 0.3 500 0.2 371 0.1 0.02 0.47 1 1 2 0.8 2 0.8
186 67 1 2
75$$ 2R2 46R4  E 6T
56$$ 0  7  A10  4  A14  5  3  0  2  1  0  E 5T
POST_IRRADIATION. DECAY CASE
CAMISA flujo max
60** 5 10 25 50 100 200 500  E
65$$ F0 A4 1 A7 3R1 E
61** 5R1.00E-9 2R10000.0 E  6T
56$$ F0 T
END
```

Figura 8.5. “Input” de Entrada del programa ORIGENS

El archivo de salida generado por el código de cálculo es de unas 60 páginas y contiene mucha información. La parte utilizada en éste proyecto es la que hace referencia a la actividad en Ci por tonelada de material, sobre los radioisótopos activados después de la irradiación de los elementos. A continuación se observa una pequeña parte de la tabla en la que se ven los 3 primeros radioisótopos y su actividad hasta los 10 años después de la parada del reactor:

nuclide radioactivity, curies
basis =CAMISA flujo max

	charge	discharge	5.0 y	10.0 y
h3	0.000E+00	1.259E+01	9.507E+00	7.177E+00
c14	0.000E+00	8.468E+00	8.463E+00	8.458E+00
na22	0.000E+00	1.613E-07	4.257E-08	1.123E-08

Figura 8.6. “Output” de Salida del programa ORIGENS

A partir de los datos obtenidos a través de ORIGENS se han graficado las actividades de los radioisótopos principales para cada material. En la *figura 8.7.* se puede observar el gráfico de la Camisa del núcleo, a escala logarítmica, la actividad en Bq/g en ordenadas y los años después de la parada de 0 a 500 en abscisas. En éste caso concreto destaca la actividad del Co 60 que es la más importante en los primeros años, y cómo después, ganan importancia los radioisótopos de mayor periodo de semidesintegración como son el Ni 63, el Ni 59 y el C 14 pasando a ser claros dominadores a partir de los 50 primeros años.

La versión usada del código de cálculo es la 5.1, ORIGNES: Scale System Module to Calculate Fuel Depletion, Actinide Transmutation, Fission Product Buildup and Decay, and Associated Radiation Source Terms.

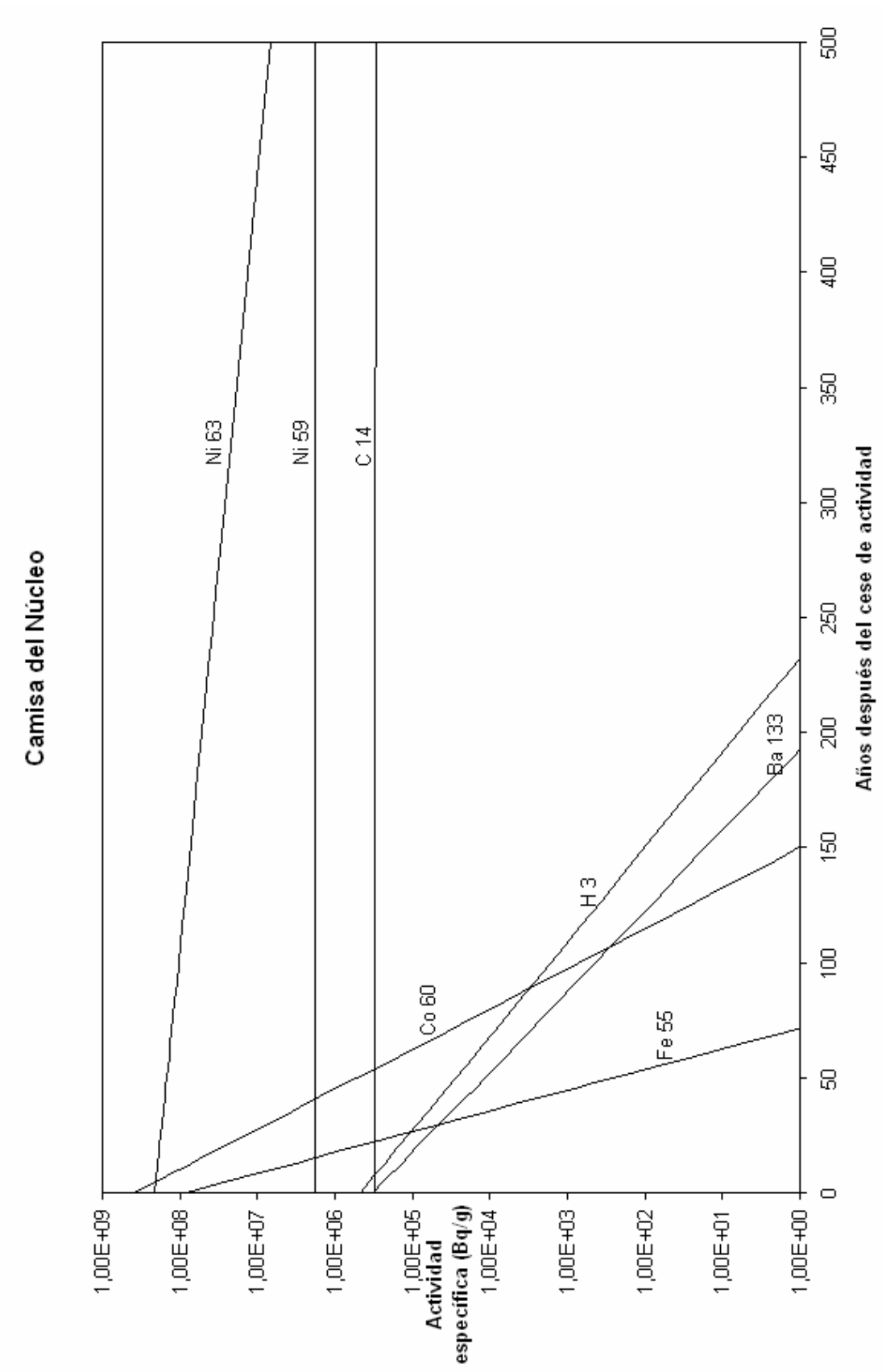

Figura 8.7. Decaimiento Radiactivo de la Camisa del Núcleo

Las ventajas del uso del código ORIGENS son entre otras que contiene la clasificación de todos los isótopos existentes, con datos como su porcentaje dentro del elemento, los periodos de semidesintegración, las reacciones a través de las cuales se desintegran, sus secciones eficaces, a partir de que otros isótopos se pueden formar, etc. Siendo una fuente documental de gran utilidad. Algunos de los procesos de formación de los isótopos más importantes en la desclasificación de la central y el porcentaje de existencia de estos isótopos dentro del elemento al que pertenecen son:

$$100\% \Rightarrow {}^{59}Co(n,\gamma)^{60}Co$$
$$5{,}8\% \Rightarrow {}^{54}Fe(n,\gamma)^{55}Fe$$
$$7{,}5\% \Rightarrow {}^{6}Li(n,\alpha)^{3}H$$
$$99{,}63\% \Rightarrow {}^{14}N(n,p)^{14}C$$
$$68{,}5\% \Rightarrow {}^{58}Ni(n,\gamma)^{59}Ni$$
$$3{,}59\% \Rightarrow {}^{62}Ni(n,\gamma)^{63}Ni$$
$$69{,}1\% \Rightarrow {}^{63}Cu(n,p)^{63}Ni$$
$$93{,}26\% \Rightarrow {}^{39}K(n,p)^{39}Ar$$
$$47{,}9\% \Rightarrow {}^{151}Eu(n,\gamma)^{152}Eu$$
$$52{,}1\% \Rightarrow {}^{153}Eu(n,\gamma)^{154}Eu$$
$$96{,}99\% \Rightarrow {}^{40}Ca(n,\gamma)^{41}Ca$$
$$7{,}4\% \Rightarrow {}^{150}Sm(n,\gamma)^{151}Sm$$
$$0{,}1\% \Rightarrow {}^{132}Ba(n,\gamma)^{133}Ba$$

A partir de esta base de datos, ORIGENS utilizando ecuaciones diferenciales para resolver los balances de producción y desintegración de cada isótopo, con sus distintas interacciones nucleares, nos informa de la cantidad de cada elemento radiactivo existente en el material estudiado. A continuación se observa el ejemplo de EDO (Ecuación Diferencial Ordinaria) del ^{60}Co:

$$\frac{\partial Co_{59}}{\partial t} = -Co_{59} \cdot \sigma c_{59} \cdot \phi \qquad \textit{(Ec. 8.1.)}$$

$$\frac{\partial Co_{60}}{\partial t} = Co_{59} \cdot \sigma c_{59} \cdot \phi - \lambda_{60} \cdot Co_{60} - \sigma a_{60} \cdot Co_{60} \cdot \phi \qquad \textit{(Ec. 8.2.)}$$

Donde: Co_i (ppm): Concentración del radioisótopo i; σc(cm^2): Sección eficaz de captura; σa(cm^2): Sección eficaz de absorción; $\phi\left(\frac{neutrones}{cm^2 \cdot s}\right)$: Flujo neutrónico.

8.3. Generación de residuos y su clasificación. Destino.

8.3.1. Clasificación de los residuos radiactivos

En la clasificación radiológica del reactor se han utilizado los tres grandes grupos de residuos siguiendo las pautas estatales. Esta clasificación consiste en RAA (Residuo de Alta Actividad), RBMA (Residuo de Baja y Media Actividad), y finalmente residuo desclasificado, que se deja de considerar como material activado radiológicamente, lo cual permite que éste pueda ser reutilizado.

A continuación se presentan los límites de los RBMA, es decir, cualquier componente que supere estos valores en uno solo de sus radioisótopos será clasificado automáticamente como RAA según la norma americana 10 CFR 61.55 [9]. En la tabla están los nucleidos más comunes, y también agrupaciones de éstos como son los radioisótopos con semiperiodo de desintegración inferior a 5 años, identificados en la tabla como (Total T1/2<5). También se resalta la agrupación de transuránidos con semiperiodo superior a los 5 años. Las otras columnas son sus límites radiológicos en función del volumen y también sus límites en función de la masa en unidades del S.I. (Bq/g) para aceros y para hormigones.

RADIOISÓTOPO	RBMA (Ci/m3)	RBMA Acero (Bq/g)	RBMA Hormigón (Bq/g)
Total T1/2<5	700	3,2375E+06	1,1261E+07
H 3	40	1,8500E+05	6,4348E+05
C 14	0,8	3,7000E+03	1,2870E+04
C 14 metal activado	8	3,7000E+04	
Ni 59 metal activado	22	1,0175E+05	
Co 60	700	3,2375E+06	1,1261E+07
Ni 63	700	3,2375E+06	1,1261E+07
Ni 63 metal activado	7000	3,2375E+07	
Sr 90	7000	3,2375E+07	1,1261E+08
Nb 94 metal activado	0,02	9,2500E+01	
Tc 99	0,3	1,3875E+03	4,8261E+03
I 129	0,008	3,7000E+01	1,2870E+02
Cs 137	4600	2,1275E+07	7,4000E+07
TRU (Transuránidos) T1/2>5	10-100 (nCi/g)	1,0000E+03	1,0000E+03
Pu 241	350	1,6188E+06	5,6304E+06
Cm 242	2000	9,2500E+06	3,2174E+07

Tabla 8.5. Límites superiores de los RBMA

Los residuos tendrán un destino distinto en función de su clasificación radiológica. Los RAA deberán ser depositados en el ATI construido dentro del emplazamiento de la central, al no existir un ATC en el estado Español. Los RBMA se encapsularán y serán transportados al Cabril donde serán almacenados. Los materiales desclasificados podrán ser reutilizados o desechados como cualquier otro material normal. La clasificación resultante del estudio será comprobada a través de medidas en todos y cada uno de los materiales debido a las incertidumbres intrínsecas a este tipo de cálculos.

Para materiales con distintos isótopos radiactivos cuyo nivel de desclasificación sea C_{Li}(Bq/g) y cuya actividad específica sea C_i(Bq/g) se considera el material desclasificable si se verifica la condición:

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{C_i}{C_{Li}} \leq 1 \qquad \textit{(Ec. 8.3)}$$

Según el texto IAEA-TECDOC-855 [10]. El nivel de desclasificación C_{Li}(Bq/g) de los isótopos no tabulados se puede calcular mediante:

$$Mínimo\left[\frac{1}{E_\gamma + 0.1E_\beta}, \frac{LIA_{inh}}{1000}, \frac{LIA_{ing}}{100000}\right] \qquad \textit{(Ec. 8.4.)}$$

Donde E_γ y E_β son las energía (en Mev) efectivas gamma y beta del radio nucleido según *ICRP Publication 38.*

LIA_{inh} LIA_{ing} son los límites anuales de incorporación por inhalación e ingestión más restrictivos (en Bq) para el radio nucleido según *ICRP Publication 38.*

Los isótopos estudiados en el cálculo de la desclasificación de cada uno de los materiales representan como mínimo el 98% de la actividad total, y son:

Desclasificación vasija	Nivel Desclasificación (Bq/g)
H 3	3000,00
C 14	300
Ar 39	30
Ca 41	30
Fe 55	300
Co 60	0,3
Ni 59	3000
Ni 63	3000
Ba 133	0,3
Sm 151	30
Eu152	0,3
Eu154	0,3

Tabla 8.6. Límites de exención de radiactividad [10]

A continuación se presentan las figuras a 100 años vista del decaimiento de la actividad de los isótopos más radiactivos de cada material estudiado. En ellas se introducen algunos de los límites de RBMA más restrictivos para poder observar su clasificación de forma gráfica.

La camisa del núcleo *figura 8.8.,* el barril *figura 8.9.* y el blindaje térmico *figura 8.10*., a raíz del estudio resultan clasificados cómo RAA tal y como se preveía. La camisa y el barril son RAA incluso pasados los 100 años debido al límite del Ni 63 entre otros. El blindaje térmico también es RAA debido a que aunque la actividad del Ni 63 está por debajo del límite, no pasa lo mismo con el Ni 59. El recubrimiento interior de la vasija *figura 8.11*., de acero inoxidable, parte muy problemática de extraer y de tratar en caso de ser RAA, y donde se centraban la mayor parte de las dudas al inicio del PFC resulta ser RBMA ya que la actividad específica del radioisótopo más activo (Co 60) es inferior a su límite desde el mismo inicio del cese de explotación de la planta. La vasija de acero *figura 8.12*. también resulta ser RBMA como era de esperar, en este gráfico se incluyen la mayoría de los límites para poder hacer una comparativa. Finalmente los primeros 24,4 cm del blindaje biológico (hormigón armado) resultan ser también RBMA. Tanto por parte del hormigón *figura 8.13*. como de la armadura *figura 8.14*., la primera capa de blindaje (hasta los 24,4cm) se ha graficado tanto para la armadura como para el hormigón. Las siguientes capas del blindaje biológico siguen clasificándose como RBMA.

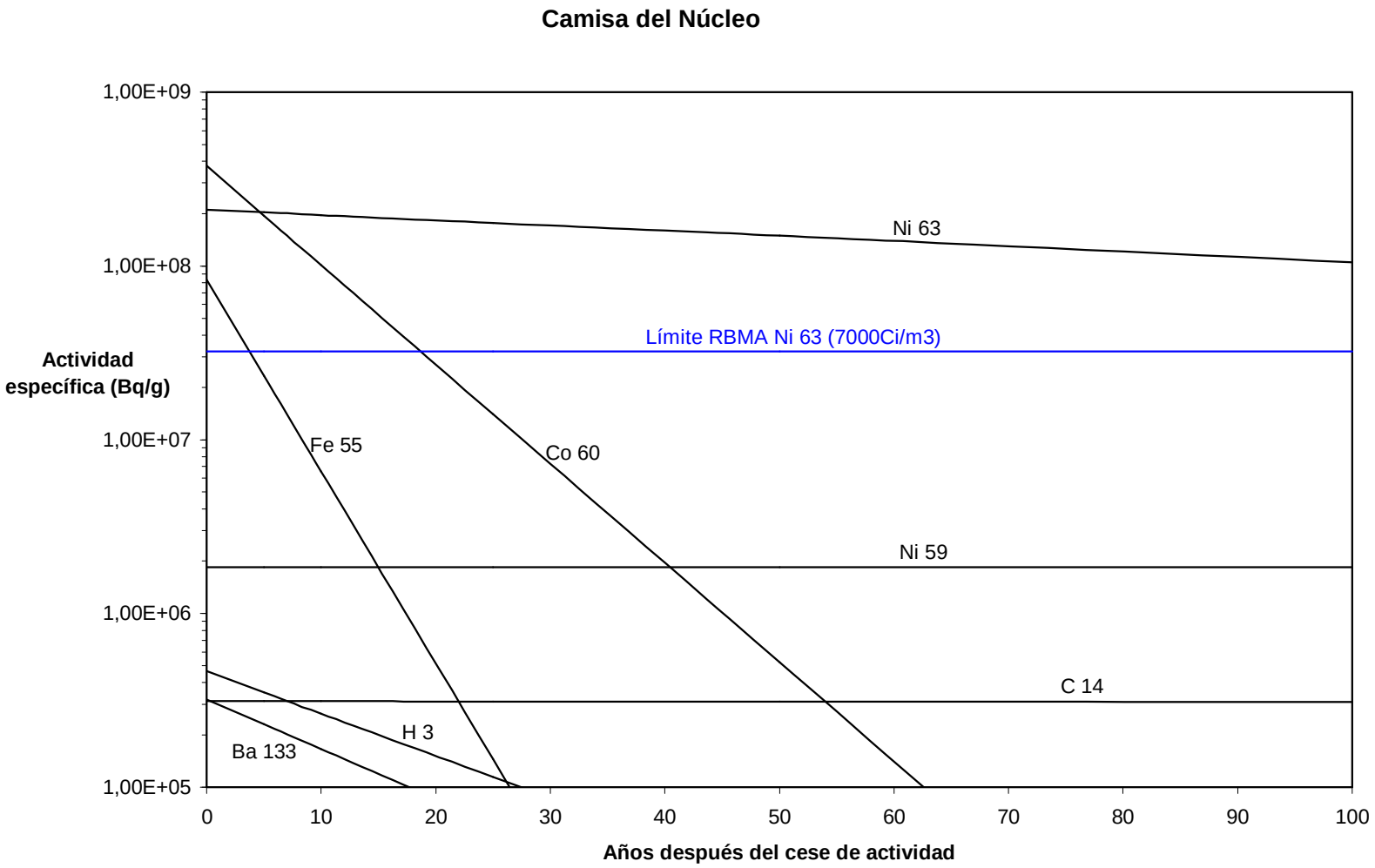

Figura 8.8. Decaimiento Radiactivo de la Camisa del Núcleo

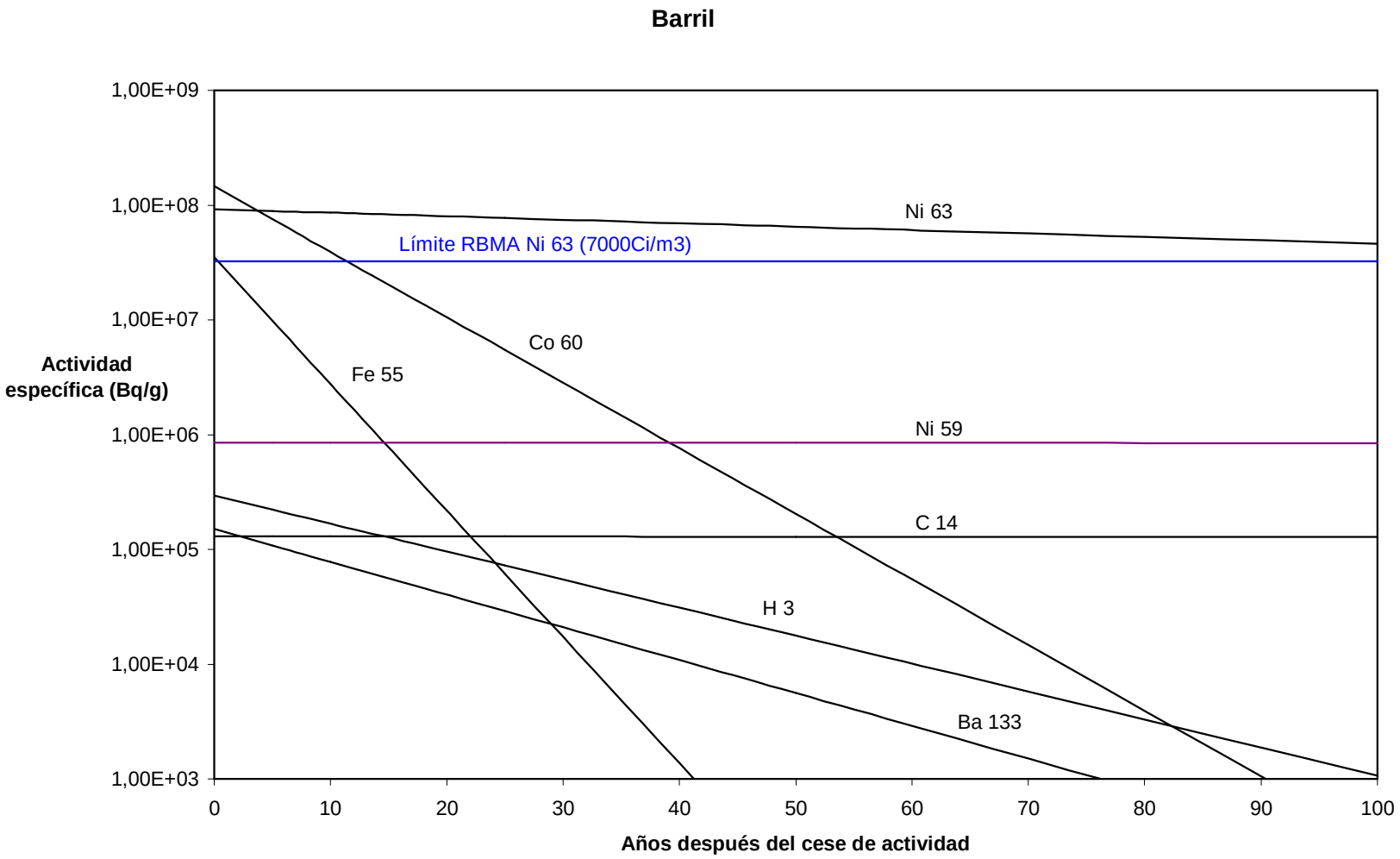

Figura 8.9. Decaimiento Radiactivo del Barril

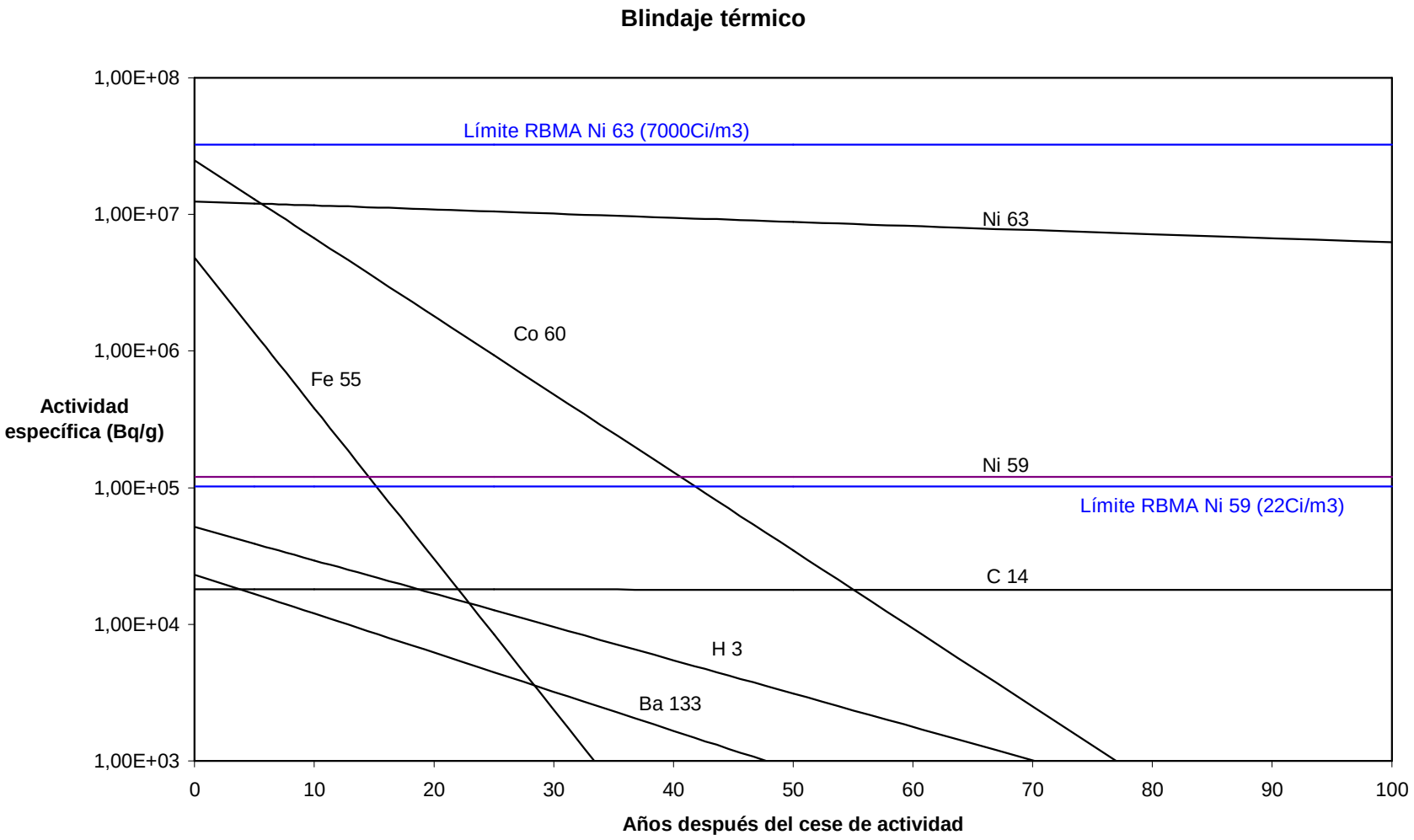

Figura 8.10. Decaimiento Radiactivo del Blindaje Térmico

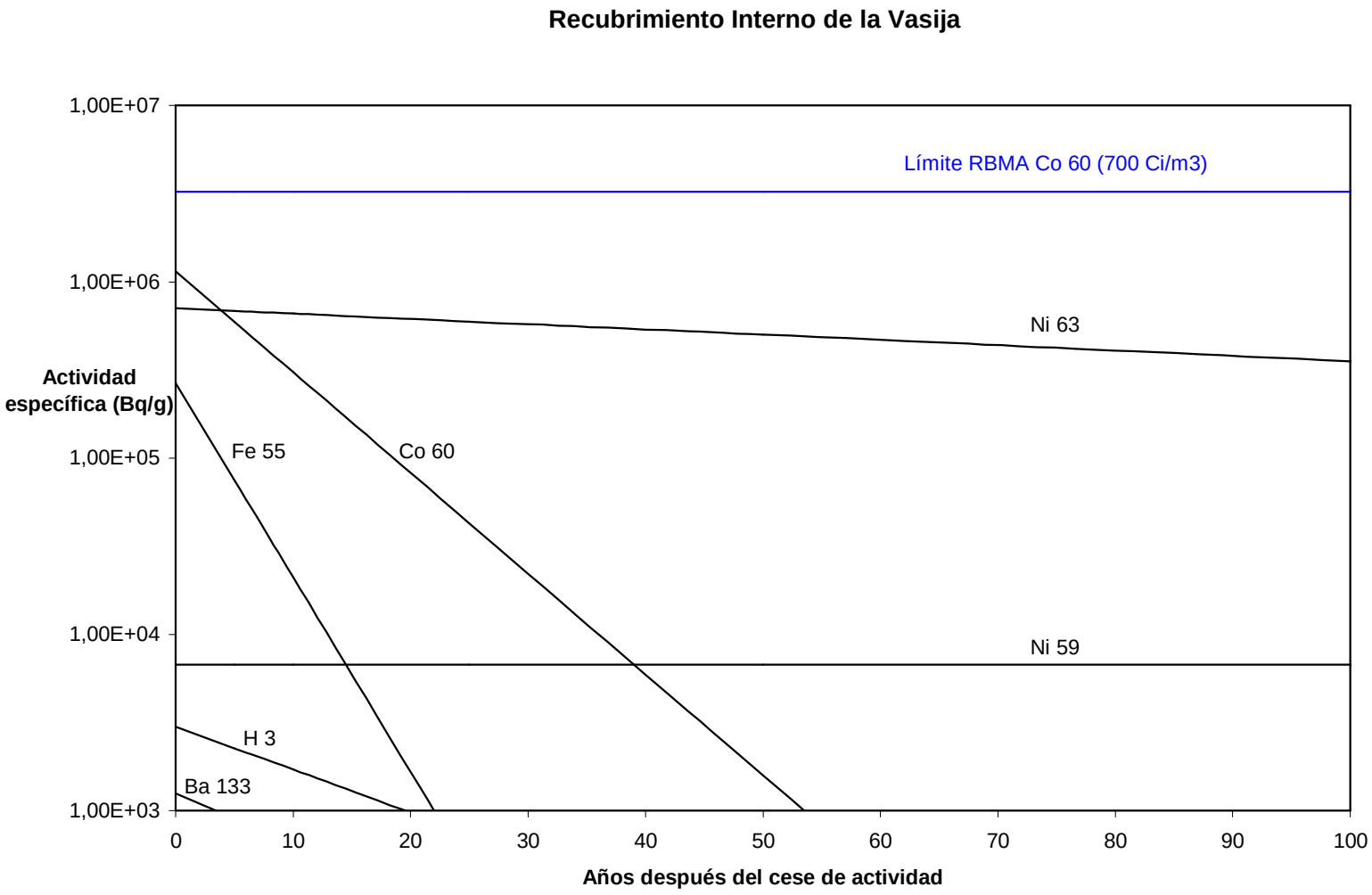

Figura 8.11. Decaimiento Radiactivo del Recubrimiento de la Vasija

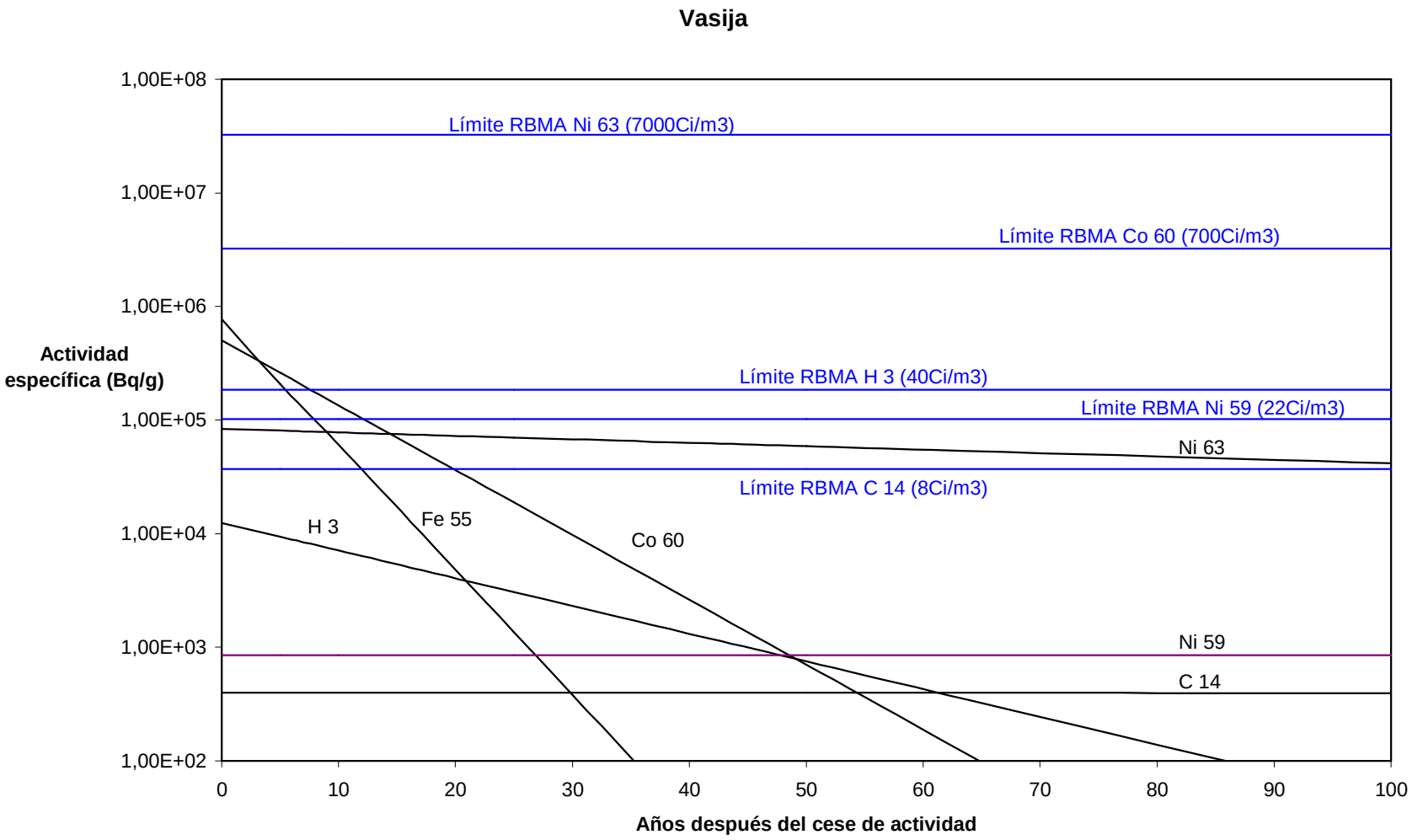

Figura 8.12. Decaimiento Radiactivo de la Vasija del Reactor

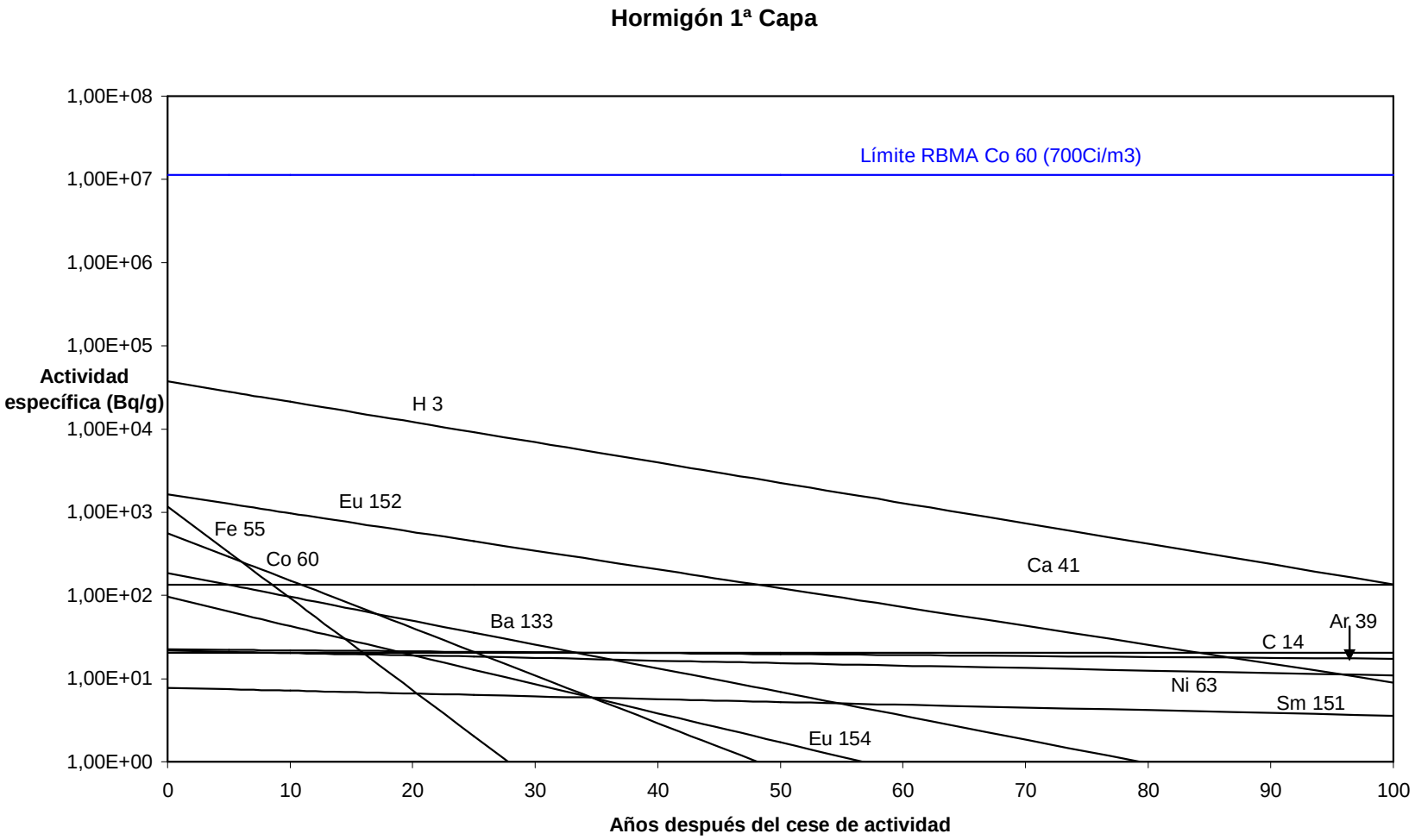

Figura 8.13. Decaimiento Radiactivo de la 1ª capa de Hormigón

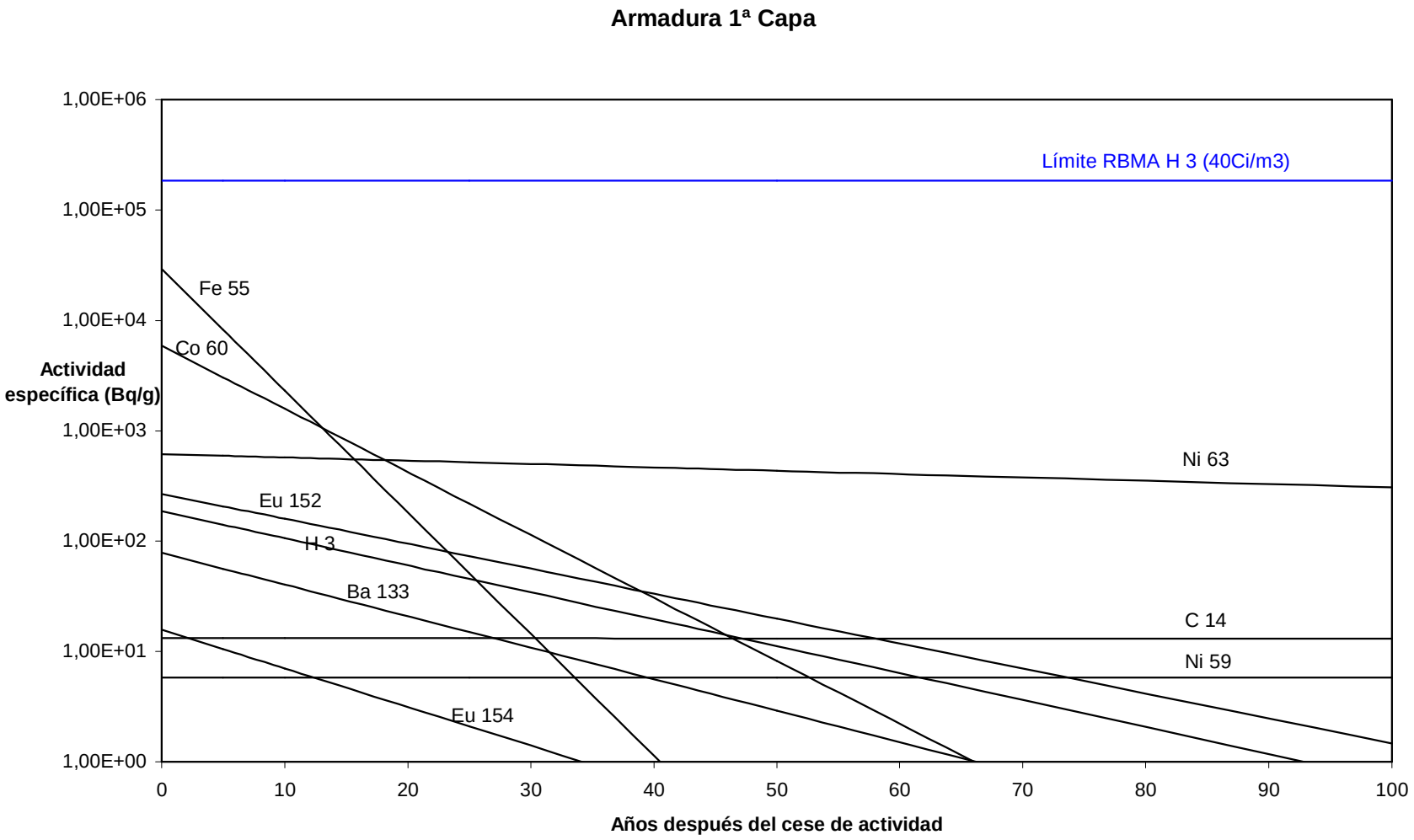

Figura 8.14. Decaimiento Radiactivo 1ª Capa de la Armadura

8.3.2. Desclasificación del Blindaje Biológico

El blindaje biológico se ha estudiado en 9 capas, y su interés reside en el cálculo de la distancia a partir de la cual la profundidad de la pared deja de ser RBMA para convertirse en un residuo desclasificado. A partir de las variables distancia (cm) y tiempo (años) se determina que profundidad de pared debe ser tratada de forma radiactiva y que profundidad no.

El resultado del estudio paralelo del hormigón y de la armadura interna de acero se puede observar en la *figura 8.15.*, donde se han graficado los años que tardaría en desclasificarse el blindaje en función de cada uno de sus componentes. Según la planificación y el ritmo actual del desmantelamiento, el periodo cuatro donde se realiza el tratamiento de este blindaje, se efectuará después del paso de más de 4,5 años. Motivo por el cual la capa numero 8 (entre [170,7-195,1]cm) ya estará desclasificada como exenta de radiactividad. Por lo que la profundidad a tratar como RBMA es de 170,7 cm, el tramo inicial de la pared radial que afecta a las 7 primeras capas. Que representa un 71% del volumen total de hormigón del blindaje biológico. Estos resultados son comprobados experimentalmente mediante sondas y extracciones para evitar errores debidos a incertidumbres intrínsecas a los cálculos.

El destino del blindaje biológico clasificado como RBMA se ve afectado por la Orden de autorización del Cabril (Almacén Temporal de RBMA) [11], ya que esta instalación tiene restricciones de aceptación más estrictas para radio nucleidos de periodos elevados. Concretamente las dos primeras capas de hormigón del blindaje biológico contienen una actividad de Tritio (^{3}H) superior al límite de aceptación del Cabril, que es de $7{,}4 \cdot 10^{3}$ Bq/g. La elevada concentración de Litio inicial y el elevado flujo neutrónico en la 1ª capa del blindaje son los causantes de la producción de Tritio. A priori, esto implicaría que no se pudiese extraer el hormigón hasta que se hubiese rebasado este límite, lo cual no sucederá hasta 31,3 años después del cese de explotación. La opción de esperar no es aceptable ya que se busca un desmantelamiento rápido. Por lo que las 7 primeras capas del blindaje serán extraidas mediante corte o explosiones controladas. Pero las capas de la 3ª a la 7ª irán directamente al Cabril, y la 1ª y la 2ª capa deberán ser diluidas en hormigón no radiado en una proporción de 1 a 5 para ser aceptadas en el Cabril. O directamente la 1ª y la 2ª capa deberán ser almacenadas en el ATI del emplazamiento como si fuesen RAA y así evitar la espera y poder continuar con el desmantelamiento.

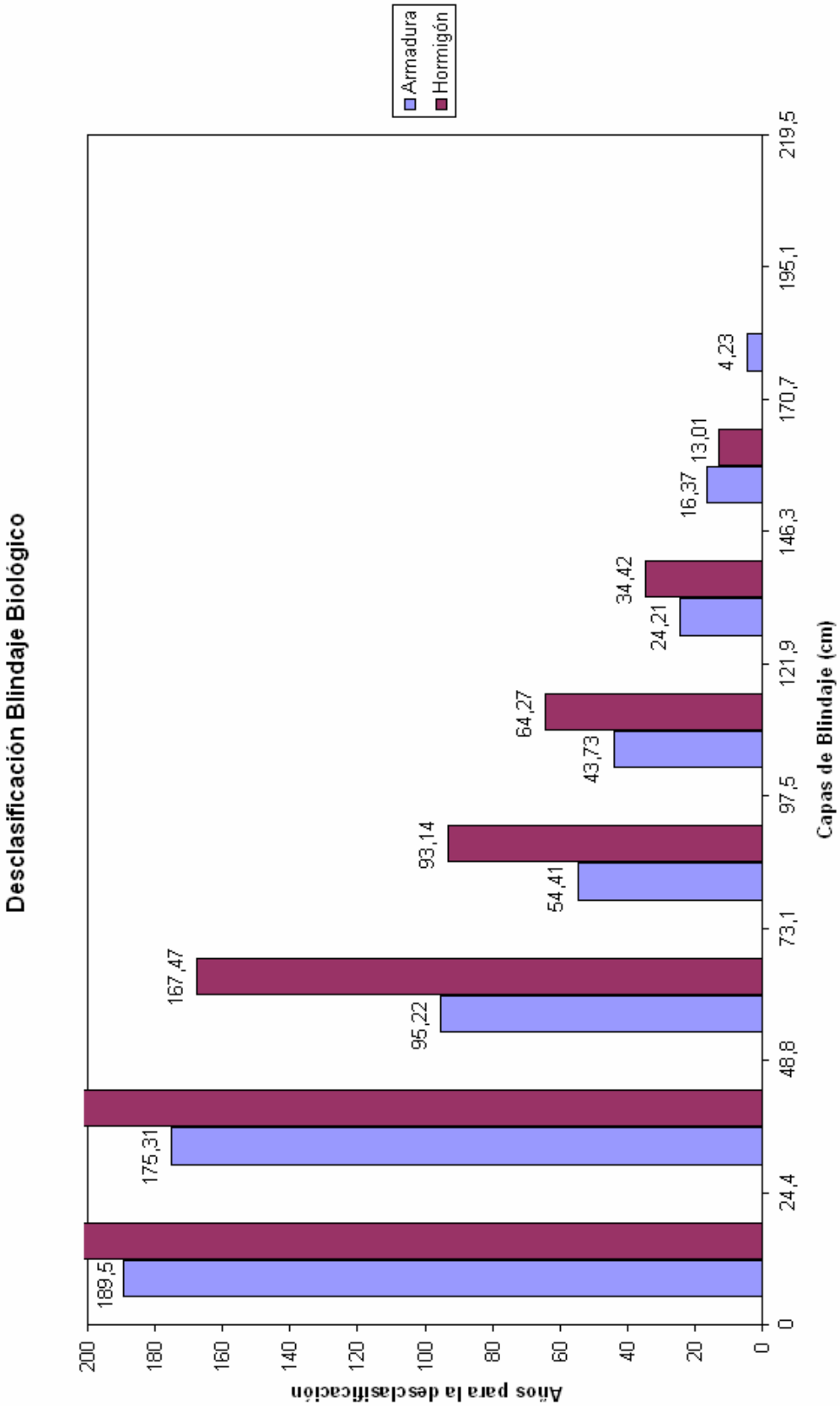

Figura 8.15. Desclasificación del Hormigón Armado

8.4. Descontaminación de estructuras, sistemas y componentes. Tecnología del desmantelamiento.

8.4.1. Extracción de sistemas de proceso y tuberías

La lista de sistemas que deben ser parcial o totalmente extraídos es la siguiente:

- Componentes del agua de refrigeración
- Control químico y volumétrico
- Duchas de la contención
- Tratamiento de residuos radiactivos limpios
- Tratamiento de residuos radiactivos sucios
- Vapor principal, sistema secundario (dentro de la contención)
- Residuos radiactivos gaseosos
- Extracción residual de calor
- Inyección de seguridad
- Refrigeración de combustible gastado
- Tuberías de acero inoxidable

Estos sistemas están formados por distintos componentes que en su mayoría son válvulas y tuberías de acero inoxidable. Las válvulas con diámetros iguales o inferiores a 7,6 cm son extraídas y encapsuladas junto con sus tuberías correspondientes. Por el contrario, debido a su tamaño y peso la mayoría de las válvulas de mayor diámetro serán extraídas y encapsuladas por separado respecto a las tuberías. Existe una gran cantidad de tuberías de acero inoxidable ya sea en el sistema de refrigeración del reactor o en los sistemas de seguridad, y todas ellas están sujetas a soportes en forma de U, de los que pueden llegar a haber más de 1000, y que también deben ser extraídos.

Los intercambiadores de calor de varios sistemas están postulados para ser extraídos, sus capas exteriores son descontaminadas y su parte interior es rellenada con una mezcla de yeso o cal ultra ligera antes de ser transportados. Este proceso sirve para reducir sus niveles de radiación y dispersión de contaminantes radiactivos en caso de accidente durante el transporte. Además previene del posible colapso que pudieran sufrir estos intercambiadores una vez sean almacenados.

Sólo son extraídos los componentes de sistemas requeridos para la finalización de la licencia, como las tuberías relacionadas con el sistema secundario o los recirculadores de aire de la contención. Ya que se asume que sistemas como el servicio de refrigeración de agua, las tuberías que dan servicio a la turbina, agua potable, etc no están contaminados por lo que no es necesaria su extracción y permanecen en el interior del edificio de contención hasta su demolición.

8.4.2. Extracción de la vasija del reactor a presión

Los internos de la vasija se cortan y almacenan en el ATI debido a su clasificación como RAA durante el periodo 2. La extracción de la vasija del edificio de contención requiere cortar, encapsular y transportar por partes los elementos de ésta, hacia un almacén de RBMA. El tiempo estimado de esta operación es de un mes y medio aproximadamente y se realiza en el periodo 4.

8.4.3. Extracción de los generadores de vapor

La extracción de los generadores de vapor del edificio de contención del reactor, su transporte y almacenamiento masivo de sus componentes como residuos de baja y media actividad es la mayor tarea a realizar durante el desmantelamiento.

La forma alargada y el elevado peso de los generadores de vapor hacen necesarias la modificación de la grúa en el edificio de contención, y la rotura del confinamiento de la ventilación durante el movimiento de éstos. Traslado que se realiza desde el edificio de contención al edificio de combustibles, dónde son extraídos por el techo de éste último. La preparación y extracción de los generadores requiere unos 4 meses, y el transporte y almacenamiento posterior sobre unos 2 meses adicionales. En el caso de la C.N. José Cabrera la extracción se hace por la cúpula del edificio de contención, ya que al ser de acero, facilita el corte y las operaciones de mainipulación. Además al ser de un solo lazo solamente se debe desmantelar un generador de vapor.

Figura 8.16. Ejemplo de la extracción y transporte de un GV

8.4.4. Extracción de las Tuberías, Bombas y componentes asociados al RCS

Los componentes considerados en esta sección son los que forman parte del sistema de refrigeración del reactor. Son extraídos después de la vasija del reactor y de los generadores de vapor. Incluye los siguientes componentes: La larga tubería que conecta los GV y las bombas de refrigeración primarias con la vasija, el presionador, el tanque de alivio del presionador, las bombas de refrigeración primarias, y las tuberías de varios tamaños que interconectan el RCS con otros sistemas de la planta. La extracción de las tuberías del RCS contaminadas y de otros componentes del edificio de contención requieren el uso de técnicas de corte, encapsulado y transporte hacia almacenes de baja y media actividad. Consideraciones:

- El tiempo, coste y exposición para cortar las largas tuberías del RCS deben ser considerados a todos sus efectos, incluyendo la separación de las tuberías respecto al RPV, de las bombas primarias y de los generadores de vapor.

- Las tuberías son cortadas para encajar en los contenedores de transporte, en segmentos nominales de unos 4,6m de longitud, en consecuencia se reduce el número de cortes necesarios para su extracción.

- Es necesario un andamio para cortar todas las tuberías y proporcionar un acceso adecuado al trabajo.

- El corte de las tuberías y del tanque de alivio del presionador se realiza con un equipo de arco de plasma, que tiene una relación de corte de 20cm/minuto para las tuberías del circuito primario de grandes espesores. Y de 76cm/minuto para tuberías de diámetros pequeños.

- Durante las operaciones de corte es necesaria la utilización de sistemas de protección respiratoria.

- Las bombas primarias y el presionador son extraídos y transportados hacia el almacén de RBMA de una sola pieza, de igual forma que el generador de vapor.

- El tanque de alivio del presionador es cortado en secciones de 1m x 2,3m.

Se procede inicialmente a la extracción secuencial del edificio del reactor del RPV, generador de vapor, bombas primarias, y presionador una vez han sido separados de sus conexiones con las tuberías. Seguidamente las tuberías primarias, el resto de tuberías, y el tanque de alivio del presionador son cortados y encapsulados para su almacenamiento.

Bombas primarias:

El aislamiento que encierra el cuenco de la bomba es extraído y encapsulado para su almacenamiento. La bomba es separada de la tubería principal, y son sacados lentamente los sistemas de control y cables de sensores, y está es equipada para su alzamiento. Se sueldan planchas a las aberturas de entrada y salida del cuenco de la bomba. Mientras la carga es levantada por la grúa del edificio del reactor, el soporte de la bomba y los tensores sísmicos son extraídos. La bomba y el motor son elevados como una sola pieza, puestos en posición horizontal y preparados para la extracción del edificio de contención y su transporte hacia el almacén de RBMA. En el caso de la C.N.J.C. solamente hay una bomba primaria debido también a que es de un solo lazo.

Presionador:

El aislamiento que encierra el presionador es extraído y encapsulado para su almacenamiento. El presionador es separado de las tuberías, de los cables de los sensores y de control, y de sus conexiones eléctricas para prepararlo para su alzamiento. Las aperturas de la carcasa del presionador que quedan al descubierto son tapadas con planchas soldadas al cuerpo de éste. La carga es subida con la grúa del edificio del reactor y los soportes y tensores del presionador son extraídos. El presionador es alzado en una sola pieza, y colocado horizontalmente para su traslado. La extracción se realiza normalmente por el edificio de combustibles, pero en el caso de la C.N.J.C. se realiza por la cubierta metálica del edificio de contención, con el fin de almacenar el presionador de la forma más eficaz.

Tuberías menores del RCS:

El resto de tuberías que quedan por extraer, comprenden unos 670m de longitud, con diámetros comprendidos entre 1,9cm y 35,5cm. Las actividades de extracción incluyen el encapsulado y su aislamiento, y el corte de las tuberías. Estas tuberías proceden del presionador, del tanque de alivio, de las propias tuberías del sistema primario y de componentes asociados. El corte nominal de estas tuberías es de 4,6m, y los segmentos son colocados en contenedores de transporte con el fin de que sean depositados en el almacén de RBMA.

Tanque de alivio del presionador:

El aislamiento es extraído del tanque, encapsulado y almacenado. El tanque es cortado en segmentos de aproximadamente 1m x 2,3m y encapsulados para el transporte en contenedores hacia el almacén de RBMA.

Tuberías primarias:

Se extrae su aislamiento para realizar porciones de estas tuberías y encapsularlas para su almacenamiento. Cada segmento de tubería es equipada para poder ser alzada. La grúa del edificio es utilizada para levantar estos segmentos, y colocarlos en los contenedores de transporte. Los segmentos que conectan el RPV con el GV y las bombas primarias son

extraídos intactos y colocados también en los contenedores de transporte. La sección que conecta el generador de vapor con la bomba principal es cortada en dos segmentos para garantizar el encaje con el contenedor de transporte.

8.4.5. Extracción del bastidor de elementos combustibles gastados de la piscina

Debido al estancamiento sufrido por el plan de tratamiento de residuos de alta actividad, ya sea en su rama de reprocesado o la de la creación de un ATC, las Centrales Nucleares se han visto obligadas ha almacenar combustibles gastados en las piscinas durante toda la vida útil del reactor y muchas incluso a aumentar su capacidad de almacenamiento. El largo tiempo de exposición ha producido la activación de éste mallado de la piscina encargado de sostener en posición vertical los combustibles.

El mallado de la piscina puede seguir dos metodologías de desmantelamiento. Una es que cada celda del mallado es cortada en una o dos partes para ser descontaminada y encapsulada en contenedores estándar. Y la otra es la extracción, descontaminación y el posterior encapsulado en contenedores especiales, de la pieza sin cortar.

En ambos casos el mallado es elevado por encima de la superficie del agua con las herramientas adecuadas. Para la descontaminación de las superficies interiores se utilizan juegos de herramientas telescópicas, mientras que las superficies exteriores se descontaminan con la técnica del hidrolaser. El mallado es bajado y depositado en un área cercana donde se introduce en bolsas de plástico alargadas, para ser encapsulado en contenedores especiales. Hasta que haya transcurrido un periodo suficiente para su transporte en contenedores estándar hacia el Cabril como RBMA.

8.4.6. Extracción del hormigón activado

El blindaje biológico de hormigón armado que envuelve el reactor de la central nuclear con el paso del tiempo y del flujo neutrónico por el que se ve afectado se activa, es decir, sus componentes sufren transformaciones a niveles nucleares que generan la producción de radioisótopos en su interior. En el desmantelamiento tipo DECON se procede a la extracción del blindaje activado mediante corte o explosiones controladas, debido a que no todo el hormigón se activa. De esta forma se extraen las primeras capas del blindaje, que son las activadas, y se encapsulan para el transporte al almacén de RBMA. Consiguiendo que el resto del blindaje se pueda tratar como un residuo convencional de obra civil.

8.4.7. Extracción del sistema HVAC contaminado

Los sistemas de ventilación y calor de los edificios de contención, de combustible y el auxiliar son los últimos sistemas en ser extraídos durante el proceso de desmantelamiento. Ya que estos son esenciales para evitar la dispersión al exterior de los contaminantes de los demás sistemas ya desmantelados. Es imprescindible que los trabajadores encargados de desmantelar este sistema se equipen con mascaras y trajes adecuados para evitar la inhalación o incorporación de partículas radiantes ya que en los conductos de este sistema se suele acumular polvo contaminado.

Hay unos 50 componentes asociados con los conductos del sistema HVAC que deben ser extraídos, encapsulados y almacenados. Los conductos son cortados para ser encapsulados mediante el corte con oxiacetileno.

Los cuatro refrigeradores de aire del edificio de contención están colocados a unos 60m de altura, por encima del puente grúa. Asumiendo que el reactor no ha sufrido ningún accidente severo, éstos deben permanecer descontaminados. Se accede a ellos para su desmantelamiento mediante unas rejillas del edificio que tienen este propósito.

8.4.8. Descontaminación y extracción de las superficies contaminadas

Una vez se han extraído los equipos y estructuras tipo tanques, bombas, intercambiadores de calor, tuberías, etc. Se genera el vacío en el interior de los edificios para recoger escombros y materiales radiactivos generados en el proceso de extracción de los demás componentes. Seguidamente del vacío se procede a hacer una caracterización radiológica de las estructuras con el fin de descubrir las áreas más contaminadas.

Limpieza de las superficies contaminadas:

Las áreas contaminadas son limpiadas mediante sistemas de agua a presión/vacío, el agua resultante es recogida y tratada. Después de que las superficies se hayan secado, otra inspección radiológica conduce a las áreas aún contaminadas, dónde se procede a hacer otra limpieza adicional mediante agua a presión/vacío, y/o la extracción superficial de 2,5cm a 5cm de profundidad de hormigón, en función del grado de conservadurismo que se desee realizar. El agua es recogida y tratada y con el hormigón recogido de la extracción, se procede a encapsularlo y posteriormente a transportarlo como RBMA. En el edificio de contención se estima que del total de áreas con necesidad de extracción superficial de

hormigón, un 66% son superficies horizontales y un 34% son superficies verticales. Mientras que en los edificios de combustible y el auxiliar se postula que la totalidad de las superficies horizontales necesitarán una extracción de hormigón a más a más de la limpieza de agua a presión/vacío.

Los edificios de contención y de combustible contienen grandes superficies cubiertas con acero inoxidable (la piscina de combustible gastado, el canal de transferencia y la puerta, etc.) estas superficies son extraídas, seccionadas y transportadas al almacén de RBMA. El hormigón situado inmediatamente después de éste acero se postula como no contaminado, aunque puede ser que pequeñas áreas estén contaminadas debido a pequeñas filtraciones o fugas.

Los segmentos de hormigón cortados para dar acceso al desmantelamiento de tanques y otros equipos suelen estar limpios, por lo que se asumen como residuos desclasificados.

Figura 8.17. Ejemplo de extracción superficial de hormigón

Extracción de las estructuras de acero en planta:

Es asumido, que las estructuras de acero en planta (escaleras, plataformas, pasillos de acceso, etc.) estan contaminadas y que por tanto deberán ser extraídas y desmanteladas.

Durante las operaciones de extracción es necesario que los trabajadores sean equipados con protección respiratoria y trajes para evitar la contaminación.

Descontaminación de los pasamanos:

Todas las barandillas y pasamanos son de 5cm de diámetro y de acero al carbono. La descontaminación es realizada a mano utilizando trapos industriales y limpiadores con el fin de diluir la contaminación. Los residuos serán empaquetados con el objetivo de depositarlos. Estas tareas no hacen necesarias las protecciones respiratorias en los trabajadores, pero si el uso de trajes especiales para evitar las posibles contaminaciones en la tarea de limpieza.

8.4.9. Extracción de las grúas de los edificios

Existen cuatro grúas mayores que deben ser extraídas: La grúa polar y el puente-grúa de recarga en el edificio de contención. El puente-grúa del edificio y el puente-grúa de manejo del combustible en el edificio de combustible. Los dos puentes-grúa del edificio de combustible son idénticos a excepción de su longitud.

Las grúas están recubiertas con unas láminas de acero especiales, cada puente se monta sobre un mástil telescópico que se desliza sobre unos raíles de seguridad anclados en la estructura del edificio. Para desmantelarlos se procede a la extracción de los raíles y de la cabina de mando, para posteriormente transportar el puente a una planta operativa a fin de ser cortado y transportado en contenedores adecuados.

8.5. Protección radiológica

Debido a la experiencia internacional relacionada con el desmantelamiento de centrales nucleares comerciales, se han elaborado listados aproximados de las dosis colectivas que supone el desmantelamiento de ciertos equipos y sistemas. De esta manera se puede prever y planificar el número de trabajadores, el tiempo de exposición y las protecciones necesarias para cumplir los límites radiológicos establecidos para trabajadores expuestos.

El límite individual de dosis efectiva absorbida por los trabajadores es de 100 mSv en 5 años, siendo la media de 20 mSv/a y con un máximo de 50 mSv en un solo año. Estos límites están impuestos a partir de estudios tanto deterministas como estocásticos sobre los daños producidos por la radiación en los seres humanos. Es habitual la optimización de estos límites, lo que implica que los trabajadores en la práctica se ven expuestos a submúltiplos de estos valores, como puede ser por ejemplo 10 mSv/a.

El público también está protegido mediante un límite de dosis a la que puede ser expuesto, en este caso es de 1 mSv/a. Por lo cual es muy importante que las purgas estén controladas para no exponer al público a dosis superiores.

La dosis colectiva S [Sv·persona] que implica cada una de las operaciones de desmantelamiento se obtiene mediante la suma del número de trabajadores (Ni) implicados, por la dosis equivalente a la que se ven sometidos (Hi).

$$S = \sum_i N_i \cdot H_i \qquad \text{(Ec. 8.5.)}$$

La dosis colectiva que implica el desmantelamiento y el desglose por periodos es la siguiente, destacando el periodo 1, el cual es básicamente de ingeniería y planificación por lo que no supone un riesgo radiológico para los trabajadores:

Periodo	Dosis Colectiva Estimada (Sv·persona)
1	-
2	2,0876
3	0,2053
4	7,238
Total	9,5309

Tabla 8.7. Dosis colectiva del desmantelamiento [12]

Las distintas actividades que influyen en la dosis colectiva durante el transcurso del periodo 2 son:

Actividad/Sector	Dosis Colectiva Estimada (Sv·persona)
Descontaminación Química	0,4570
Extracción de los Internos RPV	0,6399
Manipulación de la Solución de Boro Concentrada	0,1200
Personal de Soporte	0,8707
Total	2,0876

Tabla 8.8. Dosis colectivas estimadas en el Periodo 2 [12]

El periodo 3 contiene pocas actividades resaltables en lo que se refiere al desmantelamiento, debido a que es un periodo de espera y de decaimiento de actividades. En éste periodo se puede estimar una dosis colectiva de 0,2053 Sv·persona asignable al personal de soporte.

El periodo 4 es el más crítico en lo que a protección radiológica se refiere, debido a las altas dosis colectivas a las que se deben hacer frente al desmantelar la central:

Elemento	Dosis Colectiva Estimada (Sv·persona)
Sistemas Contaminados	5,3336
Vasija del Reactor a Presión	0,1768
Generadores de Vapor	0,6000
RCS Tuberías/Componentes	0,2396
Bastidor del SNF de la Piscina	0,0120
Hormigón Activado	0,3122
Sistema HVAC	0,0259
Superfícias Contaminadas	0,0992
Puentes-Grúa	0,0031
Operaciones No Distribuíbles	0,4010
Tratamiento de los Residuos del Agua	0,0271
Operaciones en Cascada	0,0075
Total	7,2380

Tabla 8.9. Dosis colectiva de las Actividades de Desmantelamiento del Periodo 4 [12]

En la tabla anterior se comprueba que la extracción de los Sistemas Contaminados es el punto más crítico del período 4. Por lo que a continuación se describe con más precisión que sistemas son los más complejos de desmantelar según el criterio de la protección radiológica:

Extracción de:	Dosis Colectiva Estimada (persona·Sv)
Agua de Refrigeración de Componentes	0,1059
Control Químico y Volumétrico	0,2200
Duchas de la Contención	0,0198
Tratamiento Residuos Radiactivos Limpios	0,0546
Tratamiento Residuos Radiactivos Sucios	0,0144
Circuito Secundario (Dentro de la Contención)	0,0770
Residuos Radiactivos Gaseoso	0,0057
Sist. Extracción de Calor Residual	0,0463
Sist. De Inyección de Seguridad	0,0800
Refrigeración Combustible Gastado	0,0639
Otros Materiales	0,0401
Componentes Eléctricos	0,0003
Guías de las Varillas de Control	0,0000
Tuberías de Acero Inoxidable	4,5903
Soportes de Conductos	0,0153
Total	5,3336

Tabla 8.10. Dosis colectivas durante la Extracción de los Sistemas Contaminados [12]

La extracción de las Tuberías de Acero Inoxidable es la actividad de todo el desmantelamiento que conlleva mayor dosis colectiva. Una dosis colectiva tan elevada implica que se necesiten muchos trabajadores que se vayan turnando para realizar esta tarea de forma que no se superen los límites radiológicos individuales. Esta tarea se realiza en el transcurso de un año aproximadamente con lo que respetando el límite optimizado de 10 mSv/a por trabajador se necesitarian 460 personas para esta tarea. Hay distintos métodos para reducir este número, un método es imponiendo el límite no optimizado de 20 mSv/a, con lo que el número de trabajadores se reduce a la mitad. Otro método es robotizar más las tareas o blindar mejor los trabajadores. También se puede intentar trabajar a mayor distancia o aumentar la duración de ésta tarea dentro del periodo 4, etc. La elección del sistema usado depende directamente de las condiciones socio-económicas de cada una de las opciones.

Actualmente la C.N.J.C. prevé una reducción de la dosis colectiva en algunos de los equipos más importantes de la central, utilizando una descontaminación exhaustiva de

estos componentes. En el caso de la descontaminación de las tuberías del circuito primario la empresa Westinghouse, se encarga de realizar un tratamiento químico con ácidos para atacarlas, debido a que han transportado agua contaminada. Buscando siempre el cumplimiento del criterio ALARA, el cual hace referencia a la minimización de las dosis de trabajo y de la utilización de fuentes radiactivas, adecuando estos términos a las posibilidades económicas del proyecto. La siguiente tabla muestra datos de caracterización de la C.N.J.C. y de sus previsiones:

Componente	**Sin descontaminación (Sv·persona)**	**Con descontaminación (Sv·persona)**	**Reducción dosis (Sv·persona)**
Vasija del Reactor	1,117	1,117	0,000
Generador de Vapor	2,105	0,203	1,902
Presionador	0,039	0,004	0,035
Bomba Refrigerante	0,004	0,001	0,003
Tubería Primario	0,280	0,019	0,261
Sistemas Auxiliares	0,626	0,105	0,521
Total	4,171	1,449	2,722

Tabla 8.11. Reducción esperada de las Dosis colectivas [13]

Figura 8.18. Preparación de los contenedores HI-STORM del ATI de la CNJC [13]

9. Costes y presupuesto.

9.1. Coste del desmantelamiento.

El coste estimado del desmantelamiento de una central nuclear comercial de 1000MW de potencia eléctrica y de tecnología PWR es de 300M€. Al ser la C. N. José Cabrera de una potencia inferior al resto de centrales comerciales, y poseer un solo lazo, se hace necesario escalar los costes en función de estos parámetros para poder estimar el coste global del desmantelamiento. En el documento 10 CFR 50.75 [14], se plantea la fórmula para realizar éste cálculo:

$$MFA = (75 + 0{,}0088 \cdot P) \qquad \textit{(Ec. 9.1.)}$$

Dónde MFA (Minium Financial Assurance) son los millones de dólares mínimos necesarios para poder garantizar un desmantelamiento solvente.

P es la potencia térmica del reactor en MW, y por definición si esta potencia es inferior a 1200MW como es el caso (510 MW) se elije el mínimo de 1200 MW.

Con lo que MFA es igual a 85,6 M$. Pero a este coste se le deben añadir las siguientes correcciones: Al ser el documento de 1986, la inflación americana durante 22 años que se estima del 3% anual. El cambio de $ a € en 1,54. Y la construcción y compra de equipamiento para el ATI que es de 35 M€.

$$Coste = \frac{(75 + 0{,}0088 \cdot P) \cdot (1 + 0{,}03)^{22}}{1{,}54} + 35 \qquad \textit{(Ec. 9.2.)}$$

Por lo que el coste estimado adaptando el documento americano [14] a las condiciones concretas de la C.N. José Cabrera es de 141,5 M€. Que se puede comparar con la estimación dada por el Presidente de ENRESA de 170 M€. La cual es un 20% superior a la que predice el modelo americano. Éste aumento del presupuesto se puede atribuir a que el tiempo de realización del desmantelamiento es más largo en el caso de la C.N. José Cabrera del que es esencialmente necesario, con lo que aumentan los costes fijos. También puede influir que cualquier proyecto importado a Europa desde Estados Unidos suele acabar saliendo más caro debido a factores socio-económicos no controlables.

Una vez conocido el coste estimado de todo el desmantelamiento 141,5 M€. Y que las actividades de desmantelamiento sin incluir el ATI tienen un coste de 106,5 M€. Se puede utilizar el NUREG/CR-5884 [12] que desglosa los costes de un desmantelamiento DECON para una central PWR utilizando los factores adecuados de escala para desglosar los costes de la C.N. José Cabrera. En una primera aproximación se describen los costes de cada periodo y el desmantelamiento de la contingencia a parte. Esta separación es únicamente debida a su elevado valor económico ya que la actividad del desmantelamiento de la contingencia está dentro del periodo 4 como ya se ha descrito anteriormente.

Periodo	**Coste Estimado (M€)**
1	7,3
2	23,1
3	5,4
4	49,3
Contingencia	21,4
Total	106,5

Tabla 9.1. Coste del Desmantelamiento CNJC sin el ATI

El presupuesto del periodo 2 se destina a:

Actividad	Coste Estimado (M€)
Descontaminación Química	10,95
Extracción de los Internos RPV	3,56
Manipulación de la Solución de Boro Concentrada	0,88
Personal de Soporte	4,80
Costes Regulados	0,30
Poténcia en Planta	0,59
Monitorización Ambiental	0,02
Residuos Activos Secos	0,14
Pequeñas Herramientas	0,01
Servicios de Lavandería	0,25
Energía (Desmantelamiento Químico)	0,24
Aseguradora Nuclear	1,37
Total	23,11

Tabla 9.2. Desglose de costes del Periodo 2

Los gastos del periodo 3 se desglosan en gran número de actividades con costes inferiores al millón de euros como por ejemplo: Monitorización ambiental, personal de soporte, personal interno, servicios de lavandería, el seguro nuclear, impuestos de propiedad, etc.

El periodo 4 es el que tiene los costes más elevados, siendo su valor aproximado de 49.3 M€ más los 21.4 M€ del desmantelamiento de la contención. El coste estimado de sus actividades es:

Elemento	Coste Estimado (M€)
Sistemas Contaminados	8,0
Vasija del Reactor a Presión	0,8
Generadores de Vapor	9,3
RCS Tuberías/Componentes	1,6
Bastidor del SNF de la Piscina	1,4
Hormigón Activado	0,8
Sistema HVAC	3,0
Superfícias Contaminadas	1,1
Puentes-Grúa	0,5
Operaciones No Distribuíbles	19,8
Finalización inspecciones	1,0
Residuos Activos Secos	0,7
Tratamiento de los Residuos del Agua	1,1
Operaciones en Cascada	0,3
Total	49,3

Tabla 9.3. Desglose del coste del Periodo 4 sin la Contención

Dentro del periodo 4 destaca el coste de dos actividades incluidas en la extracción de sistemas contaminados: La extracción de las tuberías de acero inoxidable con un coste de 2,19 M€. Y la extracción de los soportes de los conductos con un coste de 4,07 M€.

9.2. Presupuesto Proyecto Final de Carrera

El presupuesto del PFC se ha calculado contabilizando las horas de trabajo dedicadas a cada una de las fases en la realización de este proyecto. El precio por hora de cada una de las fases se ha extraído orientativamente del anexo IV de la Orden ITC/593/2006 [15] dónde se hace referencia a los precios por hora que paga el estado a los técnicos en las ayudas que otorga a la pequeña y mediana empresa.

Fase del proyecto	Especialista necesario	Numero de horas aproximadas	Precio por hora (€/h)	Coste estimado (€)
Búsqueda de información	Técnico junior	100,00	29,41	2941,00
Estudio e interpretación de documentos oficiales estatales y americanos	Técnico junior	150,00	29,41	4411,50
Realización de cálculos	Técnico junior	100,00	29,41	2941,00
Redacción del proyecto	Técnico superior	200,00	37,24	7448,00
Dirección y supervisión del PFC	Director técnico/Proyecto	-	45,07	2500,00
Total	-	550,00	-	20241,50

Tabla 9.4. Presupuesto del PFC

El coste aproximado del proyecto es de 20241,50 euros, de un 10 a un 15% es asignable a la dirección del PFC.

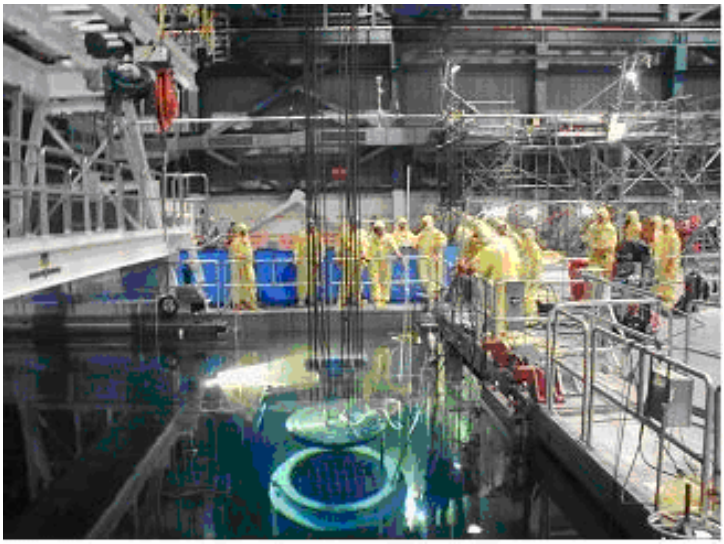

Figura 9.1. Encapsulado de elementos SNF en una piscina de CN [16]

Figura 9.2. Modelo de vehículo de transporte de contenedores HI-STORM [16]

Conclusiones

El desmantelamiento rápido de nivel 3 o tipo DECON es la alternativa más barata y más rápida de todas. Pero como contrapartida es la que tiene mayores dosis colectivas para trabajadores y la que produce más volumen de residuos radiactivos a tratar.

La no existencia del almacén ATC en España condiciona económicamente el desmantelamiento al obligar a la central a construir un almacén ATI que a su vez retardará el libre acceso del emplazamiento de 20 a 40 años, debido a su presencia.

Aunque el ATI utiliza contenedores avanzados que permiten el almacenamiento en seco de SNF con periodos previos de refrigeración en agua de algo más de 5 años, el desmantelamiento se prolongará hasta los 9 años después del cese de la explotación. Unos dos años más de lo que predice el modelo americano con el uso de estos contenedores. Este hecho se debe a que el proyecto ya lleva un retardo inicial en el periodo 2 (Desactivación del reactor para el almacenamiento de seguridad) y que es posible que el periodo 4 (Desmantelamiento) se haya planificado sin tantas actividades en paralelo para evitar el exceso de caminos críticos y de personal especializado en el desmantelamiento de los tres edificios principales.

Cuando una central opera durante muchos años con flujos neutrónicos elevados, todos los materiales internos del RPV se clasifican como RAA. El cálculo de activación de materiales ha permitido confirmarlo. También resolver la clasificación de la vasija y su recubrimiento interno cómo RBMA, lo cual no era evidente al inicio de proyecto. También a permitido la resolución de cual es la distancia del blindaje biológico a partir de la cual, éste pasa a ser residuo exento de radiactividad.

La descontaminación de los sistemas, equipos y componentes permite una reducción del riesgo radiológico para los trabajadores durante las tareas de desmantelamiento.

La existencia de ENRESA y de su forma de financiación permite al estado tener una garantía que el desmantelamiento y la gestión de residuos se llevaran a cabo con solvencia.

Agradecimientos

El principal agradecimiento es para mi director de proyecto Carlos Tapia, el cual me ha ayudado muchísimo, no sólo en la realización del proyecto sino también en la comprensión de todo el plan de desmantelamiento de una central nuclear. Los conocimientos que he adquirido trabajando con el, van más allá de una simple colaboración o supervisión, ya que su vocación por la enseñanza me ha permitido dar un salto cualitativo a nivel personal y profesional. La mayor parte del proyecto y los capítulos más complicados de éste, no se podrían haber llevado acabo sin su ayuda y gran voluntad.

Muy agradecido también, con la sesión por parte del departamento de ingeniería nuclear de la ETSEIB, del perfil del flujo neutrónico de la central nuclear José Cabrera para la realización de los cálculos. Importantísima la ayuda prestada por éste departamento y por su biblioteca, donde he tenido libre acceso para la busqueda de información o resolución de dudas.

Finalmente, agradecer al Consejo de Seguridad Nuclear el interés mostrado por la realización de éste proyecto, así como la beca otorgada para su desarrollo. Creo que esta iniciativa del CSN potencia el interés y la dedicación de los estudiantes de cara a un aprendizaje superior y una buena realización del PFC.

Bibliografía

Referencias bibliográficas

[1] Sexto Plan General de Residuos Radiactivos 2006

[2] Por orden de la JEFATURA DEL ESTADO: REAL DECRETO-LEY 9/2000, de 6 de octubre, de modificación del Real Decreto legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental. (BOE núm. 241 sábado 7 de octubre de 2000)

[3] Por orden del MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE: REAL DECRETO LEGISLATIVO 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos (BOE núm. 23, 26 de enero de 2008)

[4] Por orden del MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGÍA: REAL DECRETO 1836/1999, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas. (BOE núm. 313 viernes 31 de diciembre de 1999)

[5] Por orden del MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO: REAL DECRETO, de 18 de enero, por el que se modifica el Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas, aprobado por el Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre (BOE núm. 42, 18 de febrero de 2008)

[6] Por orden del MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO 1440 RESOLUCIÓN de 15 de diciembre de 2006, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se autoriza a Unión Fenosa Generación, S.A. la ejecución y montaje de la modificación de diseño del sistema de almacenamiento de combustible irradiado de la Central Nuclear José Cabrera. (BOE núm. 20 martes 23 de enero de 2007)

[7] Por orden del MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO ORDEN ITC/1652/2006, de 20 de abril, por la que se declara el cese definitivo de la explotación de la Central Nuclear José Cabrera (Guadalajara) y se establecen las condiciones a las que deben ajustarse las actividades a realizar en la instalación hasta la autorización de desmantelamiento. (BOE núm.128 martes 30 de mayo de 2006)

[8] NUREG/CR-3474 U.S. Nuclear Regulatory Comisión. Long-Lived Activation Products in Reactor Materials.

[9] 10CFR 61.55(a) U.S. Nuclear Regulatory Comisión. Licensing Requirements for Hard Disposal of Radioactive Waste 61.55 Waste Classification.

[10] IAEA-TECDOC-855. Clearance Levels for Radionuclides in Solid Material. Application of Exemption Principles. January 1996.

[11] ORDEN de 9 de octubre de 1992 por la que se otorga a la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos. Sociedad Anónima (ENRESA), el permiso de explotación de la instalación nuclear de almacenamiento de residuos radiactivos sólidos de Sierra Albarrana.

[12] NUREG/CR-5884 U.S. Nuclear Regulatory Comision. Revised Analyses of Decommissioning for the Referente Pressurized Water Reactor Power Station.

[13] ALFA. Revista de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica. Número 1, 1er trimestre 2008.

[14] 10 CFR 50.75 Domestic Licensing of Production and Utilization Facilities. Reporting and Recordkeeping for Decommissioning Planning.

[15] Por orden del MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO ORDEN ITC/593/2006, de 24 de febrero, por la que se establecen las bases reguladoras, se efectúa la convocatoria para 2006, y se regula el sistema de gestión centralizada de las ayudas para proyectos de carácter suprarregional del Plan de Consolidación y Competitividad de la Pequeña y Mediana Empresa.

[16] www.holtecinternational.com

Bibliografia complementaria

A continuación se presentan distintas fuentes bibliográficas, que se han consultado y han servido de ayuda para la comprensión del PFC. También son documentos o fuentes de información adicional relacionada con el desmantelamiento de centrales nucleares o relacionada con el sector de la energía nuclear.

- Revista de la Sociedad Nuclear Espanyola. Central Nuclear José Cabrera. Número 166, julio-agosto de 1997
- Revista de la Sociedad Nuclear Espanyola. Materiales. Número 180, noviembre de 1998.
- Revista de la Sociedad Nuclear Espanyola. Vasijas y Gestión de Vida Útil. Número 194, febrero de 2000.
- Operating experience with nuclear power stations in member status in 2005. IAEA (International Atomic Energy Agency).
- NUREG-1713 U.S. Nuclear Regulatory Comision. Standard Review Plan for Decommissioning Cost Estimates for Nuclear Power Reactors.
- NUREG-1640 U.S. Nuclear Regulatory Comision. Radiological Assessments for Clerance of Materials from Nuclear Facilities.
- www.iaea.org (International Atomic Energy Agency)
- www.csn.es (Consejo de Seguridad Nuclear)
- www.nea.com (Agencia Energía Nuclear)
- www.nrc.gov (Nuclear Regualtory Comision)
- www.enresa .es (Emresa Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos)

Anexo A. Planos de la CN José Cabrera

A.1. Planos del reactor

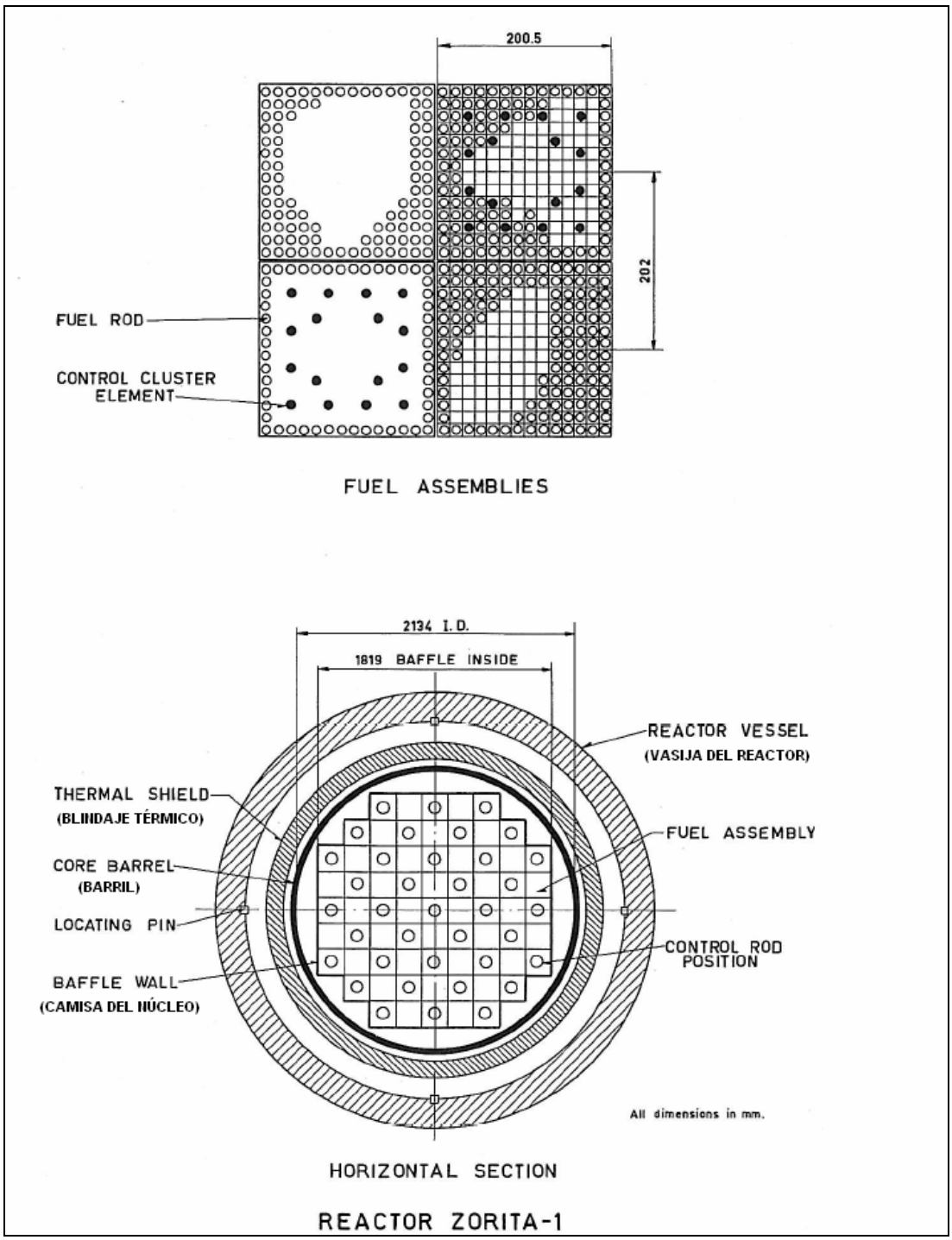

Figura A.1. Esquema de Elementos Combustibles y de la Vasija [www.iaea.org]

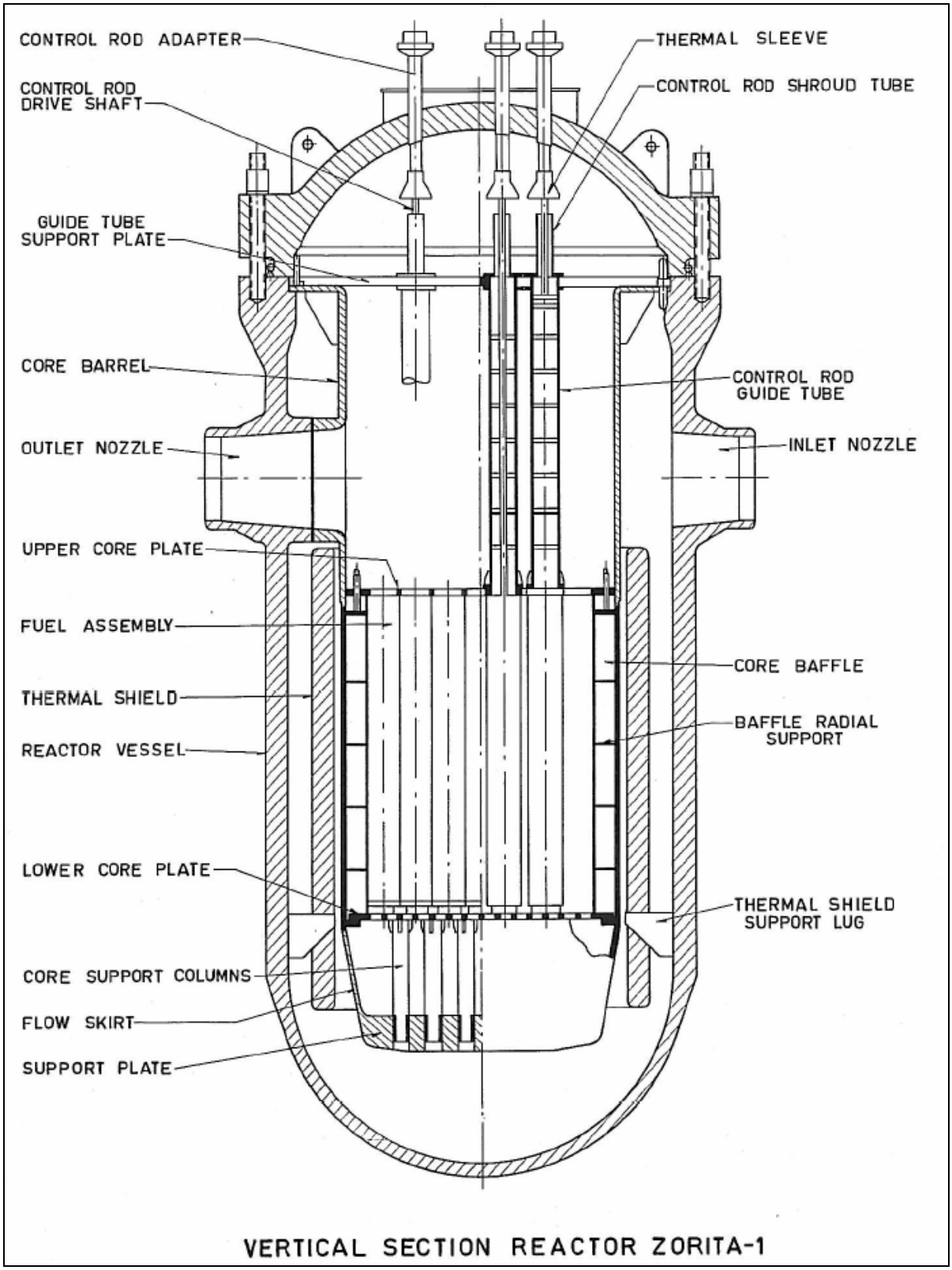

Figura A.2. Esquema vertical de la Vasija del Reactor

A.2 Planos del emplazamiento

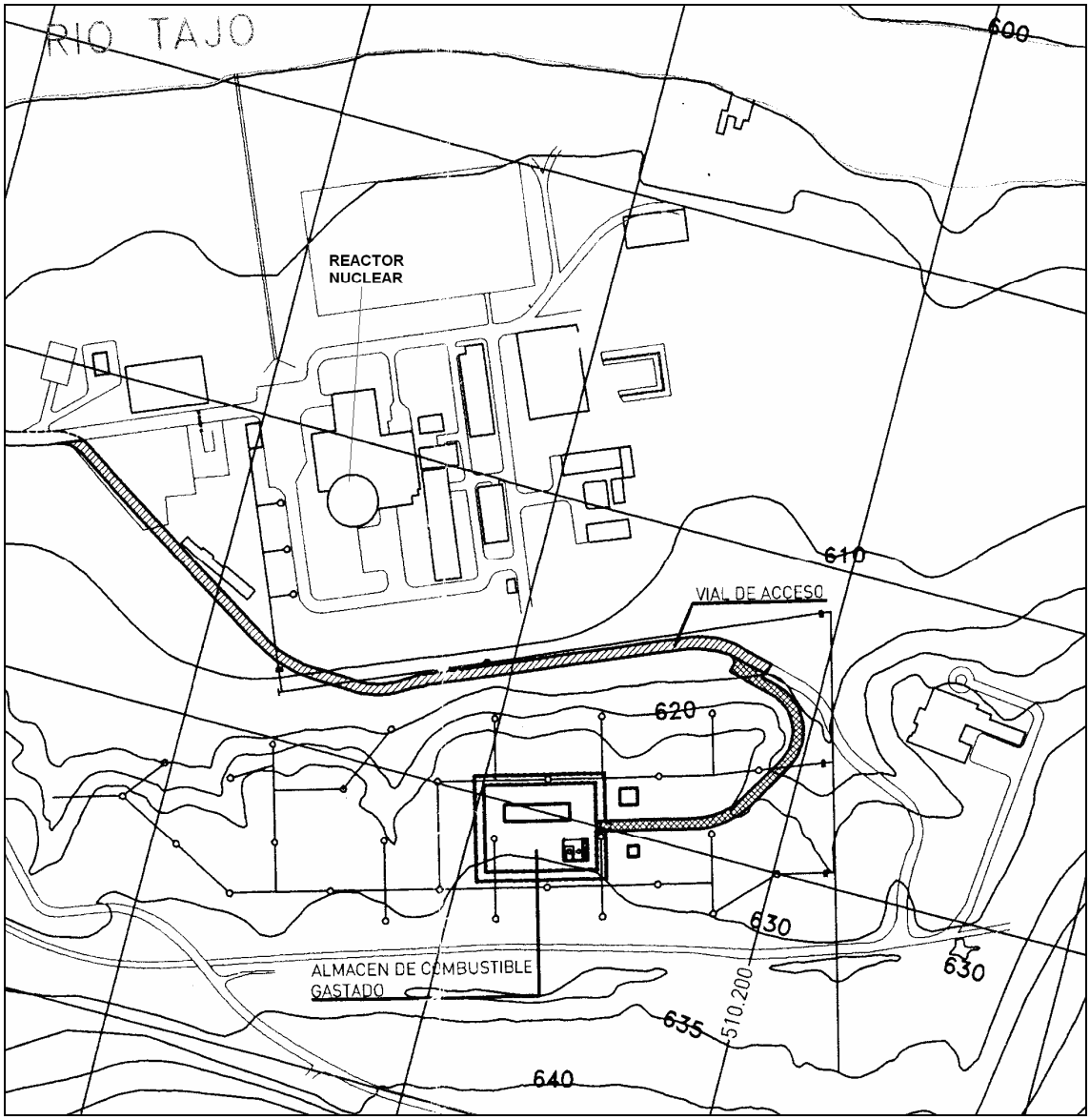

Figura A.3. Esquema de la central y el ATI (Escala 1:2000)

Anexo B. Entradas y Salidas del programa ORIGENS

```
=ORIGENS
0$$  A5 28 E
1$$  1  1T
JOSE CABRERA REACTOR CORE FULL OF W14X14 3,6% 235-U FUEL ASSEMBLIES
3$$  28 A3 0 A16 2 E
4** 0.633 3.05647 1.06515 E
54$$ A12 1 E 2T
35$$ 0  E 4T
56$$ 4  4  1  A13  48  5  3  0  2  1  1  E 5T
IRRADIATION CASE
CAMISA flujo Max
59** 1.65478E13 E
60** 6.17 12.34 18.51 24.68  E
66$$ 2 A5 2 A9 2 E
73$$ 922350 922380 30000 70000 110000 130000 170000 190000 200000
210000 220000 230000 240000 250000 260000 270000 280000 290000
300000 310000 330000 340000 350000 370000 380000 390000 400000
410000 420000 470000 510000 550000 560000 570000 580000 620000
630000 650000 660000 670000 700000 710000 720000 730000 740000
820000 900000 920000
74** 747.299E3 20011.03E3 0.13 452 9.7 100 70 3 19 0.03 600 456
1.84E5 1.53E4 7.06E5 1414 1.00E5 3080 457 129 194 35 2 10 0.2 5
10 89 2600 2 12.3 0.3 500 0.2 371 0.1 0.02 0.47 1 1 2 0.8 2 0.8
186 67 1 2
75$$ 2R2 46R4  E 6T
56$$ 0  7  A10  4  A14  5  3  0  2  1  0  E 5T
POST_IRRADIATION. DECAY CASE
CAMISA flujo max
60** 5 10 25 50 100 200 500  E
65$$ F0 A4 1 A7 3R1 E
61** 5R1.00E-9 2R10000.0 E  6T
56$$ F0 T
END
```

Figura B.1. “Input” de entrada ORIGENS, Camisa del Núcleo

POST_IRRADIATION. DECAY CASE light
elements decay, following irradiation identified by: power= 301.75mw, burnup= 680079.mwd, flux= 1.65E+13n/cm**2-sec

nuclide radioactivity, curies
basis =CAMISA flujo max

	charge	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	0.000E+00	1.259E+01	9.507E+00	7.177E+00	3.088E+00	7.573E-01	4.554E-02	1.647E-04	7.794E-12
c 14	0.000E+00	8.468E+00	8.463E+00	8.458E+00	8.443E+00	8.417E+00	8.366E+00	8.266E+00	7.971E+00
na 22	0.000E+00	1.613E-07	4.257E-08	1.123E-08	2.065E-10	2.645E-13	4.336E-19	1.166E-30	0.000E+00
si 32	0.000E+00	5.597E-07	5.486E-07	5.376E-07	5.061E-07	4.576E-07	3.741E-07	2.501E-07	7.467E-08
p 32	0.000E+00	5.599E-07	5.487E-07	5.378E-07	5.062E-07	4.577E-07	3.742E-07	2.501E-07	7.469E-08
cl 36	0.000E+00	1.589E-01	1.589E-01	1.589E-01	1.589E-01	1.588E-01	1.588E-01	1.588E-01	1.587E-01
ar 39	0.000E+00	2.568E-02	2.536E-02	2.503E-02	2.408E-02	2.258E-02	1.985E-02	1.534E-02	7.081E-03
ar 42	0.000E+00	2.631E-09	2.368E-09	2.131E-09	1.554E-09	9.173E-10	3.198E-10	3.887E-11	6.979E-14
k 40	2.576E-09	1.693E-07	1.693E-07	1.693E-07	1.693E-07	1.693E-07	1.693E-07	1.693E-07	1.693E-07
k 42	0.000E+00	2.631E-09	2.368E-09	2.131E-09	1.554E-09	9.174E-10	3.198E-10	3.887E-11	6.979E-14
ca 41	0.000E+00	1.459E-03	1.459E-03	1.459E-03	1.459E-03	1.459E-03	1.458E-03	1.457E-03	1.455E-03
mn 54	0.000E+00	5.820E-03	1.008E-04	1.747E-06	9.085E-12	1.418E-20	3.460E-38	0.000E+00	0.000E+00
fe 55	0.000E+00	2.250E+03	6.322E+02	1.776E+02	3.938E+00	6.891E-03	2.110E-08	1.979E-19	0.000E+00
co 60	0.000E+00	1.020E+04	5.282E+03	2.736E+03	3.804E+02	1.419E+01	1.975E-02	3.826E-08	2.780E-25
ni 59	0.000E+00	4.991E+01	4.991E+01	4.991E+01	4.990E+01	4.989E+01	4.987E+01	4.982E+01	4.968E+01
ni 63	0.000E+00	5.690E+03	5.496E+03	5.309E+03	4.785E+03	4.025E+03	2.847E+03	1.424E+03	1.784E+02
zn 65	0.000E+00	3.054E-06	1.700E-08	9.459E-11	1.630E-17	8.704E-29	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
se 79	0.000E+00	4.067E-04	4.067E-04	4.067E-04	4.067E-04	4.066E-04	4.066E-04	4.065E-04	4.062E-04
kr 81	0.000E+00	3.847E-05	3.847E-05	3.847E-05	3.847E-05	3.846E-05	3.846E-05	3.844E-05	3.841E-05
kr 85	0.000E+00	1.721E-04	1.246E-04	9.016E-05	3.418E-05	6.787E-06	2.676E-07	4.161E-10	1.564E-18
rb 87	2.423E-07	2.419E-07	2.419E-07	2.419E-07	2.419E-07	2.419E-07	2.419E-07	2.419E-07	2.419E-07
sr 90	0.000E+00	4.780E-08	4.226E-08	3.737E-08	2.583E-08	1.395E-08	4.073E-09	3.471E-10	2.147E-13
y 90	0.000E+00	4.781E-08	4.227E-08	3.738E-08	2.583E-08	1.396E-08	4.074E-09	3.471E-10	2.148E-13
zr 93	0.000E+00	4.281E-06	4.281E-06	4.281E-06	4.281E-06	4.281E-06	4.281E-06	4.281E-06	4.280E-06
nb 91	0.000E+00	1.076E-07	1.070E-07	1.065E-07	1.049E-07	1.022E-07	9.717E-08	8.775E-08	6.463E-08
nb 92	0.000E+00	3.864E-07	3.864E-07	3.864E-07	3.864E-07	3.864E-07	3.864E-07	3.864E-07	3.864E-07
nb 93m	0.000E+00	1.334E-01	1.502E-01	1.638E-01	1.904E-01	2.091E-01	2.160E-01	2.129E-01	2.007E-01
nb 94	0.000E+00	1.215E-01	1.215E-01	1.215E-01	1.214E-01	1.213E-01	1.211E-01	1.207E-01	1.195E-01
mo 93	0.000E+00	2.690E-01	2.687E-01	2.684E-01	2.676E-01	2.663E-01	2.637E-01	2.585E-01	2.436E-01
tc 98	0.000E+00	9.284E-09	9.284E-09	9.284E-09	9.284E-09	9.283E-09	9.283E-09	9.283E-09	9.283E-09
tc 99	0.000E+00	4.110E-02	4.110E-02	4.110E-02	4.110E-02	4.109E-02	4.109E-02	4.107E-02	4.103E-02
ag108	0.000E+00	1.707E-02	1.661E-02	1.617E-02	1.490E-02	1.300E-02	9.893E-03	5.732E-03	1.115E-03
ag108m	0.000E+00	1.963E-01	1.910E-01	1.858E-01	1.712E-01	1.494E-01	1.137E-01	6.588E-02	1.281E-02
ag109m	0.000E+00	2.184E-05	1.415E-06	9.171E-08	2.495E-11	2.849E-17	3.717E-29	0.000E+00	0.000E+00
cd109	0.000E+00	2.184E-05	1.415E-06	9.171E-08	2.495E-11	2.849E-17	3.717E-29	0.000E+00	0.000E+00
cd113m	0.000E+00	8.978E-07	7.022E-07	5.492E-07	2.627E-07	7.686E-08	6.580E-09	4.823E-11	1.899E-17
sb125	0.000E+00	1.128E-03	3.169E-04	8.903E-05	1.974E-06	3.455E-09	1.058E-14	9.920E-26	0.000E+00
te125m	0.000E+00	2.755E-04	7.739E-05	2.174E-05	4.821E-07	8.436E-10	2.583E-15	2.423E-26	0.000E+00
cs134	0.000E+00	5.478E-02	1.020E-02	1.899E-03	1.226E-05	2.744E-09	1.374E-16	3.448E-31	0.000E+00
cs135	0.000E+00	5.584E-06	5.584E-06	5.584E-06	5.584E-06	5.584E-06	5.584E-06	5.584E-06	5.583E-06
cs137	0.000E+00	5.958E-07	5.308E-07	4.729E-07	3.344E-07	1.876E-07	5.910E-08	5.862E-09	5.720E-12
ba133	0.000E+00	8.663E+00	6.231E+00	4.482E+00	1.668E+00	3.212E-01	1.191E-02	1.638E-05	4.262E-14
ba137m	0.000E+00	5.626E-07	5.012E-07	4.466E-07	3.157E-07	1.772E-07	5.581E-08	5.535E-09	5.401E-12
la137	0.000E+00	7.717E-04	7.716E-04	7.716E-04	7.714E-04	7.712E-04	7.708E-04	7.699E-04	7.672E-04
pm145	0.000E+00	6.900E-04	5.673E-04	4.664E-04	2.592E-04	9.737E-05	1.374E-05	2.737E-07	2.162E-12
pm147	0.000E+00	2.474E-08	6.600E-09	1.761E-09	3.346E-11	4.525E-14	8.277E-20	2.769E-31	0.000E+00
sm151	0.000E+00	4.823E-03	4.641E-03	4.466E-03	3.979E-03	3.282E-03	2.233E-03	1.033E-03	1.025E-04
eu152	0.000E+00	2.483E-05	1.915E-05	1.476E-05	6.766E-06	1.844E-06	1.369E-07	7.541E-10	1.262E-16
eu154	0.000E+00	1.738E-01	1.161E-01	7.758E-02	2.312E-02	3.076E-03	5.442E-05	1.703E-08	5.223E-19
eu155	0.000E+00	3.840E-02	1.831E-02	8.731E-03	9.467E-04	2.334E-05	1.419E-08	5.244E-15	2.646E-34
tb157	0.000E+00	1.074E-03	1.049E-03	1.026E-03	9.568E-04	8.524E-04	6.766E-04	4.262E-04	1.066E-04
ho166m	0.000E+00	2.635E-02	2.627E-02	2.620E-02	2.597E-02	2.560E-02	2.487E-02	2.348E-02	1.974E-02

Figura B.2. “Output” de salida ORIGENS, Camisa del Núcleo (Ci/t)

```
=ORIGENS
0$$  A5 28 E
1$$  1  1T
JOSE CABRERA REACTOR CORE FULL OF W14X14 3,6% 235-U FUEL ASSEMBLIES
3$$  28 A3 0 A16 2 E
4** 0.633 1.57051 0.49951 E
54$$ A12 1 E 2T
35$$ 0  E 4T
56$$ 4  4  1  A13  48  5  3  0  2  1  1  E 5T
IRRADIATION CASE
BARRIL flujo Max
59** 7.30051E12 E
60** 6.17 12.34 18.51 24.68  E
66$$ 2 A5 2 A9 2 E
73$$ 922350 922380 30000 70000 110000 130000 170000 190000 200000
210000 220000 230000 240000 250000 260000 270000 280000 290000
300000 310000 330000 340000 350000 370000 380000 390000 400000
410000 420000 470000 510000 550000 560000 570000 580000 620000
630000 650000 660000 670000 700000 710000 720000 730000 740000
820000 900000 920000
74** 747.299E3 20011.03E3 0.13 452 9.7 100 70 3 19 0.03 600 456
1.84E5 1.53E4 7.06E5 1414 1.00E5 3080 457 129 194 35 2 10 0.2 5
10 89 2600 2 12.3 0.3 500 0.2 371 0.1 0.02 0.47 1 1 2 0.8 2 0.8
186 67 1 2
75$$ 2R2 46R4  E 6T
56$$ 0  7  A10  4  A14  5  3  0  2  1  0  E 5T
POST_IRRADIATION. DECAY CASE
BARRIL flujo max
60** 5 10 25 50 100 200 500  E
65$$ F0 A4 1 A7 3R1 E
61** 5R1.00E-9 2R10000.0 E  6T
56$$ F0 T
END
```

Figura B.3. “Input” de entrada ORIGENS, Barril

POST_IRRADIATION. DECAY CASE light elements decay, following irradiation identified by: power= 138.32mw, burnup= 311748.mwd, flux= 7.30E+12n/cm**2-sec

nuclide radioactivity, curies
basis =BARRIL flujo max

	charge	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	0.000E+00	7.964E+00	6.012E+00	4.539E+00	1.953E+00	4.789E-01	2.880E-02	1.042E-04	4.929E-12
c 14	0.000E+00	3.516E+00	3.514E+00	3.512E+00	3.505E+00	3.495E+00	3.474E+00	3.432E+00	3.310E+00
na 22	0.000E+00	7.612E-08	2.009E-08	5.302E-09	9.747E-11	1.248E-13	2.046E-19	5.502E-31	0.000E+00
si 32	0.000E+00	2.490E-08	2.440E-08	2.392E-08	2.251E-08	2.036E-08	1.664E-08	1.112E-08	3.322E-09
p 32	0.000E+00	2.491E-08	2.441E-08	2.392E-08	2.252E-08	2.036E-08	1.665E-08	1.113E-08	3.323E-09
cl 36	0.000E+00	7.029E-02	7.029E-02	7.029E-02	7.029E-02	7.029E-02	7.028E-02	7.026E-02	7.021E-02
ar 39	0.000E+00	7.304E-03	7.211E-03	7.118E-03	6.848E-03	6.421E-03	5.645E-03	4.362E-03	2.014E-03
k 40	2.576E-09	5.782E-08	5.782E-08	5.782E-08	5.782E-08	5.782E-08	5.782E-08	5.782E-08	5.782E-08
ca 41	0.000E+00	6.171E-04	6.171E-04	6.170E-04	6.170E-04	6.169E-04	6.167E-04	6.163E-04	6.150E-04
mn 54	0.000E+00	1.211E-03	2.098E-05	3.635E-07	1.890E-12	2.951E-21	7.037E-39	0.000E+00	0.000E+00
fe 55	0.000E+00	9.471E+02	2.661E+02	7.475E+01	1.657E+00	2.900E-03	8.882E-09	8.329E-20	0.000E+00
co 60	0.000E+00	3.953E+03	2.048E+03	1.061E+03	1.475E+02	5.501E+00	7.656E-03	1.483E-08	1.078E-25
ni 59	0.000E+00	2.292E+01	2.292E+01	2.292E+01	2.292E+01	2.291E+01	2.290E+01	2.288E+01	2.282E+01
ni 63	0.000E+00	2.488E+03	2.404E+03	2.322E+03	2.093E+03	1.760E+03	1.245E+03	6.229E+02	7.801E+01
zn 65	0.000E+00	1.116E-06	6.211E-09	3.457E-11	5.958E-18	3.180E-29	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
se 79	0.000E+00	1.144E-04	1.144E-04	1.144E-04	1.144E-04	1.144E-04	1.143E-04	1.143E-04	1.142E-04
kr 81	0.000E+00	3.753E-06	3.753E-06	3.753E-06	3.753E-06	3.752E-06	3.752E-06	3.750E-06	3.747E-06
kr 85	0.000E+00	3.399E-05	2.460E-05	1.780E-05	6.749E-06	1.340E-06	5.284E-08	8.216E-11	3.088E-19
rb 87	2.423E-07	2.422E-07	2.422E-07	2.422E-07	2.422E-07	2.422E-07	2.422E-07	2.422E-07	2.422E-07
sr 90	0.000E+00	4.151E-09	3.670E-09	3.245E-09	2.242E-09	1.212E-09	3.537E-10	3.013E-11	1.864E-14
y 90	0.000E+00	4.152E-09	3.671E-09	3.245E-09	2.243E-09	1.212E-09	3.538E-10	3.014E-11	1.865E-14
zr 93	0.000E+00	1.378E-06	1.378E-06	1.378E-06	1.378E-06	1.378E-06	1.378E-06	1.378E-06	1.378E-06
nb 91	0.000E+00	4.639E-09	4.616E-09	4.592E-09	4.523E-09	4.409E-09	4.190E-09	3.784E-09	2.787E-09
nb 92	0.000E+00	8.069E-08	8.069E-08	8.069E-08	8.069E-08	8.069E-08	8.069E-08	8.069E-08	8.069E-08
nb 93m	0.000E+00	3.186E-02	3.588E-02	3.911E-02	4.547E-02	4.994E-02	5.160E-02	5.086E-02	4.793E-02
nb 94	0.000E+00	3.687E-02	3.687E-02	3.686E-02	3.684E-02	3.681E-02	3.675E-02	3.662E-02	3.625E-02
mo 93	0.000E+00	6.424E-02	6.418E-02	6.411E-02	6.392E-02	6.361E-02	6.298E-02	6.174E-02	5.818E-02
tc 99	0.000E+00	1.039E-02	1.039E-02	1.039E-02	1.039E-02	1.039E-02	1.039E-02	1.038E-02	1.037E-02
ag108	0.000E+00	7.039E-03	6.849E-03	6.665E-03	6.141E-03	5.358E-03	4.078E-03	2.363E-03	4.595E-04
ag108m	0.000E+00	8.090E-02	7.873E-02	7.661E-02	7.058E-02	6.158E-02	4.687E-02	2.716E-02	5.282E-03
ag109m	0.000E+00	2.519E-06	1.632E-07	1.057E-08	2.876E-12	3.285E-18	4.285E-30	0.000E+00	0.000E+00
cd109	0.000E+00	2.519E-06	1.632E-07	1.057E-08	2.876E-12	3.285E-18	4.285E-30	0.000E+00	0.000E+00
cd113m	0.000E+00	2.630E-08	2.057E-08	1.609E-08	7.695E-09	2.252E-09	1.928E-10	1.413E-12	5.562E-19
sb125	0.000E+00	1.035E-04	2.908E-05	8.169E-06	1.811E-07	3.170E-10	9.707E-16	9.102E-27	0.000E+00
te125m	0.000E+00	2.528E-05	7.101E-06	1.995E-06	4.423E-08	7.741E-11	2.370E-16	2.223E-27	0.000E+00
cs134	0.000E+00	1.810E-02	3.369E-03	6.274E-04	4.050E-06	9.064E-10	4.540E-17	1.139E-31	0.000E+00
cs135	0.000E+00	7.378E-07	7.378E-07	7.378E-07	7.378E-07	7.378E-07	7.378E-07	7.378E-07	7.377E-07
cs137	0.000E+00	6.950E-09	6.192E-09	5.516E-09	3.900E-09	2.189E-09	6.893E-10	6.837E-11	6.672E-14
ba133	0.000E+00	4.068E+00	2.926E+00	2.105E+00	7.835E-01	1.509E-01	5.595E-03	7.695E-06	2.002E-14
ba137m	0.000E+00	6.563E-09	5.847E-09	5.209E-09	3.683E-09	2.067E-09	6.509E-10	6.457E-11	6.300E-14
la137	0.000E+00	2.536E-04	2.536E-04	2.536E-04	2.535E-04	2.535E-04	2.533E-04	2.530E-04	2.521E-04
pm145	0.000E+00	3.026E-04	2.488E-04	2.045E-04	1.137E-04	4.270E-05	6.026E-06	1.200E-07	9.482E-13
sm151	0.000E+00	5.122E-03	4.928E-03	4.742E-03	4.225E-03	3.485E-03	2.371E-03	1.097E-03	1.088E-04
eu152	0.000E+00	1.387E-03	1.069E-03	8.244E-04	3.779E-04	1.030E-04	7.642E-06	4.211E-08	7.047E-15
eu154	0.000E+00	1.173E-01	7.838E-02	5.236E-02	1.561E-02	2.076E-03	3.673E-05	1.150E-08	3.526E-19
eu155	0.000E+00	2.490E-02	1.188E-02	5.663E-03	6.140E-04	1.514E-05	9.203E-09	3.401E-15	1.717E-34
tb157	0.000E+00	5.706E-04	5.576E-04	5.448E-04	5.083E-04	4.529E-04	3.595E-04	2.264E-04	5.661E-05
ho166m	0.000E+00	9.021E-03	8.995E-03	8.969E-03	8.892E-03	8.764E-03	8.515E-03	8.037E-03	6.758E-03
tm171	0.000E+00	2.697E-06	4.436E-07	7.297E-08	3.247E-10	3.910E-14	5.668E-22	1.190E-37	0.000E+00
hf182	0.000E+00	2.748E-09	2.748E-09	2.748E-09	2.748E-09	2.748E-09	2.748E-09	2.747E-09	2.747E-09
ta182	0.000E+00	2.748E-09	2.748E-09	2.748E-09	2.748E-09	2.748E-09	2.748E-09	2.747E-09	2.747E-09
re187	0.000E+00	1.548E-07	1.548E-07	1.548E-07	1.548E-07	1.548E-07	1.548E-07	1.548E-07	1.548E-07

Figura B.4. “Output” de salida ORIGENS, Barril (Ci/t)

```
=ORIGENS
0$$  A5 28 E
1$$  1  1T
JOSE CABRERA REACTOR CORE FULL OF W14X14 3,6% 235-U FUEL ASSEMBLIES
3$$  28 A3 0 A16 2 E
4** 0.633 4.31073 1.10724 E
54$$ A12 1 E 2T
35$$ 0  E 4T
56$$ 4  4  1  A13  48  5  3  0  2  1  1  E 5T
IRRADIATION CASE
BLINDAJE TÉRMICO flujo Max
59** 9.17285E11 E
60** 6.17 12.34 18.51 24.68  E
66$$ 2 A5 2 A9 2 E
73$$ 922350 922380 30000 70000 110000 130000 170000 190000 200000
210000 220000 230000 240000 250000 260000 270000 280000 290000
300000 310000 330000 340000 350000 370000 380000 390000 400000
410000 420000 470000 510000 550000 560000 570000 580000 620000
630000 650000 660000 670000 700000 710000 720000 730000 740000
820000 900000 920000
74** 747.299E3 20011.03E3 0.13 452 9.7 100 70 3 19 0.03 600 456
1.84E5 1.53E4 7.06E5 1414 1.00E5 3080 457 129 194 35 2 10 0.2 5
10 89 2600 2 12.3 0.3 500 0.2 371 0.1 0.02 0.47 1 1 2 0.8 2 0.8
186 67 1 2
75$$ 2R2 46R4  E 6T
56$$ 0  7  A10  4  A14  5  3  0  2  1  0  E 5T
POST_IRRADIATION. DECAY CASE
BLINDAJE TÉRMICO flujo max
60** 5 10 25 50 100 200 500  E
65$$ F0 A4 1 A7 3R1 E
61** 5R1.00E-9 2R10000.0 E  6T
56$$ F0 T
END
```

Figura B.5. “Input” de entrada ORIGENS, Blindaje Térmico

POST_IRRADIATION. DECAY CASE light elements
decay, following irradiation identified by: power= 22.34mw, burnup= 50355.mwd, flux= 9.17E+11n/cm**2-sec

nuclide radioactivity, curies
basis =BLINDAJE TÉRMICO flujo max

	charge	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	0.000E+00	1.394E+00	1.052E+00	7.943E-01	3.418E-01	8.381E-02	5.041E-03	1.823E-05	8.626E-13
c 14	0.000E+00	4.878E-01	4.875E-01	4.872E-01	4.864E-01	4.849E-01	4.820E-01	4.762E-01	4.592E-01
na 22	0.000E+00	1.149E-07	3.031E-08	8.000E-09	1.471E-10	1.883E-13	3.088E-19	8.301E-31	0.000E+00
si 32	0.000E+00	2.032E-09	1.992E-09	1.952E-09	1.838E-09	1.662E-09	1.358E-09	9.080E-10	2.711E-10
p 32	0.000E+00	2.033E-09	1.992E-09	1.953E-09	1.838E-09	1.662E-09	1.359E-09	9.082E-10	2.712E-10
cl 36	0.000E+00	9.542E-03	9.542E-03	9.542E-03	9.542E-03	9.541E-03	9.540E-03	9.538E-03	9.531E-03
ar 39	0.000E+00	2.545E-03	2.513E-03	2.480E-03	2.386E-03	2.238E-03	1.967E-03	1.520E-03	7.017E-04
k 40	2.576E-09	1.253E-08	1.253E-08	1.253E-08	1.253E-08	1.253E-08	1.253E-08	1.253E-08	1.253E-08
ca 41	0.000E+00	8.434E-05	8.434E-05	8.434E-05	8.433E-05	8.431E-05	8.429E-05	8.423E-05	8.406E-05
mn 54	0.000E+00	3.383E-04	5.862E-06	1.016E-07	5.282E-13	8.245E-22	1.759E-39	0.000E+00	0.000E+00
fe 55	0.000E+00	1.306E+02	3.669E+01	1.031E+01	2.285E-01	3.999E-04	1.225E-09	1.148E-20	0.000E+00
co 60	0.000E+00	6.739E+02	3.491E+02	1.809E+02	2.514E+01	9.379E-01	1.305E-03	2.528E-09	1.837E-26
ni 59	0.000E+00	3.230E+00	3.230E+00	3.230E+00	3.229E+00	3.229E+00	3.227E+00	3.224E+00	3.215E+00
ni 63	0.000E+00	3.366E+02	3.252E+02	3.141E+02	2.831E+02	2.381E+02	1.684E+02	8.426E+01	1.055E+01
zn 65	0.000E+00	1.902E-07	1.058E-09	5.890E-12	1.015E-18	5.419E-30	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
se 79	0.000E+00	2.939E-05	2.939E-05	2.939E-05	2.939E-05	2.939E-05	2.939E-05	2.938E-05	2.936E-05
kr 81	0.000E+00	2.003E-07	2.003E-07	2.003E-07	2.003E-07	2.003E-07	2.002E-07	2.002E-07	2.000E-07
kr 85	0.000E+00	9.431E-06	6.825E-06	4.940E-06	1.873E-06	3.719E-07	1.466E-08	2.280E-11	8.569E-20
rb 87	2.423E-07	2.423E-07	2.423E-07	2.423E-07	2.423E-07	2.423E-07	2.423E-07	2.423E-07	2.423E-07
zr 93	0.000E+00	2.747E-07	2.747E-07	2.747E-07	2.747E-07	2.747E-07	2.747E-07	2.747E-07	2.747E-07
nb 92	0.000E+00	2.260E-08	2.260E-08	2.260E-08	2.260E-08	2.260E-08	2.260E-08	2.260E-08	2.260E-08
nb 93m	0.000E+00	1.009E-02	1.136E-02	1.239E-02	1.440E-02	1.582E-02	1.635E-02	1.611E-02	1.518E-02
nb 94	0.000E+00	8.956E-03	8.955E-03	8.953E-03	8.949E-03	8.941E-03	8.926E-03	8.895E-03	8.805E-03
mo 93	0.000E+00	2.035E-02	2.033E-02	2.031E-02	2.025E-02	2.015E-02	1.995E-02	1.956E-02	1.843E-02
tc 99	0.000E+00	3.345E-03	3.345E-03	3.345E-03	3.344E-03	3.344E-03	3.344E-03	3.342E-03	3.339E-03
ag108	0.000E+00	1.314E-03	1.279E-03	1.244E-03	1.147E-03	1.000E-03	7.614E-04	4.412E-04	8.580E-05
ag108m	0.000E+00	1.511E-02	1.470E-02	1.430E-02	1.318E-02	1.150E-02	8.752E-03	5.071E-03	9.862E-04
ag109m	0.000E+00	1.397E-07	9.052E-09	5.865E-10	1.595E-13	1.822E-19	2.376E-31	0.000E+00	0.000E+00
cd109	0.000E+00	1.397E-07	9.052E-09	5.865E-10	1.595E-13	1.822E-19	2.377E-31	0.000E+00	0.000E+00
sb125	0.000E+00	5.723E-06	1.608E-06	4.517E-07	1.001E-08	1.752E-11	5.367E-17	5.033E-28	0.000E+00
te125m	0.000E+00	1.398E-06	3.926E-07	1.103E-07	2.446E-09	4.280E-12	1.311E-17	1.229E-28	0.000E+00
cs134	0.000E+00	4.674E-03	8.703E-04	1.620E-04	1.046E-06	2.341E-10	1.173E-17	2.942E-32	0.000E+00
cs135	0.000E+00	2.682E-08	2.682E-08	2.682E-08	2.682E-08	2.682E-08	2.682E-08	2.682E-08	2.681E-08
ba133	0.000E+00	6.268E-01	4.509E-01	3.243E-01	1.207E-01	2.325E-02	8.621E-04	1.186E-06	3.084E-15
la137	0.000E+00	5.691E-05	5.691E-05	5.690E-05	5.689E-05	5.688E-05	5.684E-05	5.678E-05	5.658E-05
pm145	0.000E+00	4.962E-05	4.079E-05	3.354E-05	1.864E-05	7.002E-06	9.882E-07	1.968E-08	1.555E-13
sm151	0.000E+00	4.158E-03	4.001E-03	3.850E-03	3.430E-03	2.829E-03	1.925E-03	8.909E-04	8.836E-05
eu152	0.000E+00	1.270E-01	9.790E-02	7.548E-02	3.460E-02	9.426E-03	6.997E-04	3.856E-06	6.452E-13
eu154	0.000E+00	3.873E-02	2.587E-02	1.728E-02	5.152E-03	6.853E-04	1.212E-05	3.795E-09	1.164E-19
eu155	0.000E+00	3.272E-03	1.560E-03	7.440E-04	8.067E-05	1.989E-06	1.209E-09	4.468E-16	2.255E-35
tb157	0.000E+00	2.431E-04	2.375E-04	2.321E-04	2.166E-04	1.929E-04	1.531E-04	9.646E-05	2.412E-05
ho166m	0.000E+00	2.055E-03	2.049E-03	2.043E-03	2.026E-03	1.997E-03	1.940E-03	1.831E-03	1.540E-03
tm171	0.000E+00	5.896E-08	9.698E-09	1.595E-09	7.099E-12	8.547E-16	1.239E-23	2.610E-39	0.000E+00
re187	0.000E+00	4.209E-08	4.209E-08	4.209E-08	4.209E-08	4.209E-08	4.209E-08	4.209E-08	4.209E-08
tl204	0.000E+00	9.797E-09	3.917E-09	1.566E-09	1.000E-10	1.022E-12	1.065E-16	1.159E-24	0.000E+00
pb205	0.000E+00	1.844E-08	1.844E-08	1.844E-08	1.844E-08	1.844E-08	1.844E-08	1.844E-08	1.844E-08
total	2.040E+02	1.147E+03	7.164E+02	5.103E+02	3.128E+02	2.429E+02	1.722E+02	8.803E+01	1.429E+01

Figura B.6. “Output” de salida ORIGENS, Blindaje térmico

```
=ORIGENS
0$$  A5 28 E
1$$  1  1T
JOSE CABRERA REACTOR CORE FULL OF W14X14 3,6% 235-U FUEL ASSEMBLIES
3$$  28 A3 0 A16 2 E
4** 0.633 1.65871 0.43616 E
54$$ A12 1 E 2T
35$$ 0  E 4T
56$$ 4  4  1  A13  48  5  3  0  2  1  1  E 5T
IRRADIATION CASE
RECUBRIMIENTO INTERIOR VASIJA flujo Max
59** 5.5055E10 E
60** 6.17 12.34 18.51 24.68  E
66$$ 2 A5 2 A9 2 E
73$$ 922350 922380 30000 70000 110000 130000 170000 190000 200000
210000 220000 230000 240000 250000 260000 270000 280000 290000
300000 310000 330000 340000 350000 370000 380000 390000 400000
410000 420000 470000 510000 550000 560000 570000 580000 620000
630000 650000 660000 670000 700000 710000 720000 730000 740000
820000 900000 920000
74** 747.299E3 20011.03E3 0.13 452 9.7 100 70 3 19 0.03 600 456
1.84E5 1.53E4 7.06E5 1414 1.00E5 3080 457 129 194 35 2 10 0.2 5
10 89 2600 2 12.3 0.3 500 0.2 371 0.1 0.02 0.47 1 1 2 0.8 2 0.8
186 67 1 2
75$$ 2R2 46R4  E 6T
56$$ 0  7  A10  4  A14  5  3  0  2  1  0  E 5T
POST_IRRADIATION. DECAY CASE
RECUBRIMIENTO INTERIOR VASIJA  flujo max
60** 5 10 25 50 100 200 500  E
65$$ F0 A4 1 A7 3R1 E
61** 5R1.00E-9 2R10000.0 E  6T
56$$ F0 T
END
```

Figura B.7. “Input” de entrada ORIGENS, Recubrimiento Interior Vasija

POST_IRRADIATION. DECAY CASE light elements
decay, following irradiation identified by: power= 1.23mw, burnup= 2762.mwd, flux= 5.51E+10n/cm**2-sec

nuclide radioactivity, curies
basis =RECUBRIMIENTO INTERIOR VASIJA flujo max

	charge	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	0.000E+00	8.089E-02	6.107E-02	4.610E-02	1.984E-02	4.865E-03	2.926E-04	1.058E-06	5.006E-14
c 14	0.000E+00	2.655E-02	2.654E-02	2.652E-02	2.647E-02	2.639E-02	2.623E-02	2.592E-02	2.499E-02
na 22	0.000E+00	6.633E-09	1.751E-09	4.620E-10	8.494E-12	1.088E-14	1.783E-20	4.794E-32	0.000E+00
cl 36	0.000E+00	5.445E-04	5.444E-04	5.444E-04	5.444E-04	5.444E-04	5.443E-04	5.442E-04	5.438E-04
ar 39	0.000E+00	6.228E-05	6.148E-05	6.069E-05	5.839E-05	5.475E-05	4.813E-05	3.720E-05	1.717E-05
k 40	2.576E-09	2.985E-09	2.985E-09	2.985E-09	2.985E-09	2.985E-09	2.985E-09	2.985E-09	2.985E-09
ca 41	0.000E+00	4.676E-06	4.676E-06	4.675E-06	4.675E-06	4.674E-06	4.673E-06	4.669E-06	4.660E-06
mn 54	0.000E+00	8.003E-06	1.387E-07	2.402E-09	1.249E-14	1.950E-23	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
fe 55	0.000E+00	7.183E+00	2.018E+00	5.669E-01	1.257E-02	2.200E-05	6.736E-11	6.317E-22	0.000E+00
co 60	0.000E+00	3.082E+01	1.596E+01	8.270E+00	1.150E+00	4.289E-02	5.969E-05	1.156E-10	8.401E-28
ni 59	0.000E+00	1.824E-01	1.824E-01	1.824E-01	1.823E-01	1.823E-01	1.822E-01	1.821E-01	1.815E-01
ni 63	0.000E+00	1.913E+01	1.848E+01	1.785E+01	1.609E+01	1.353E+01	9.572E+00	4.789E+00	5.998E-01
se 79	0.000E+00	8.904E-07	8.903E-07	8.903E-07	8.903E-07	8.903E-07	8.901E-07	8.899E-07	8.893E-07
kr 85	0.000E+00	2.230E-07	1.614E-07	1.168E-07	4.428E-08	8.793E-09	3.467E-10	5.391E-13	2.026E-21
rb 87	2.423E-07	2.423E-07	2.423E-07	2.423E-07	2.423E-07	2.423E-07	2.423E-07	2.423E-07	2.423E-07
zr 93	0.000E+00	1.039E-08	1.039E-08	1.039E-08	1.039E-08	1.039E-08	1.039E-08	1.039E-08	1.039E-08
nb 93m	0.000E+00	2.495E-04	2.810E-04	3.063E-04	3.561E-04	3.912E-04	4.042E-04	3.984E-04	3.754E-04
nb 94	0.000E+00	2.897E-04	2.897E-04	2.896E-04	2.895E-04	2.892E-04	2.887E-04	2.878E-04	2.848E-04
mo 93	0.000E+00	5.032E-04	5.027E-04	5.022E-04	5.007E-04	4.982E-04	4.933E-04	4.836E-04	4.557E-04
tc 99	0.000E+00	8.363E-05	8.363E-05	8.363E-05	8.363E-05	8.362E-05	8.361E-05	8.358E-05	8.350E-05
ag108	0.000E+00	5.701E-05	5.548E-05	5.398E-05	4.974E-05	4.340E-05	3.303E-05	1.914E-05	3.722E-06
ag108m	0.000E+00	6.553E-04	6.377E-04	6.205E-04	5.717E-04	4.988E-04	3.797E-04	2.200E-04	4.278E-05
sb125	0.000E+00	6.279E-09	1.764E-09	4.956E-10	1.099E-11	1.923E-14	5.888E-20	5.522E-31	0.000E+00
cs134	0.000E+00	1.497E-04	2.787E-05	5.189E-06	3.350E-08	7.496E-12	3.755E-19	9.421E-34	0.000E+00
ba133	0.000E+00	3.372E-02	2.426E-02	1.745E-02	6.494E-03	1.251E-03	4.638E-05	6.378E-08	1.659E-16
la137	0.000E+00	2.001E-06	2.000E-06	2.000E-06	2.000E-06	1.999E-06	1.998E-06	1.996E-06	1.989E-06
pm145	0.000E+00	2.456E-06	2.019E-06	1.660E-06	9.225E-07	3.466E-07	4.891E-08	9.741E-10	7.696E-15
sm151	0.000E+00	1.919E-04	1.846E-04	1.776E-04	1.582E-04	1.305E-04	8.881E-05	4.111E-05	4.077E-06
eu152	0.000E+00	1.868E-02	1.441E-02	1.111E-02	5.091E-03	1.387E-03	1.030E-04	5.674E-07	9.494E-14
eu154	0.000E+00	1.518E-03	1.014E-03	6.774E-04	2.019E-04	2.686E-05	4.751E-07	1.487E-10	4.561E-21
eu155	0.000E+00	3.972E-05	1.894E-05	9.033E-06	9.794E-07	2.415E-08	1.468E-11	5.425E-18	2.738E-37
tb157	0.000E+00	7.156E-06	6.992E-06	6.833E-06	6.375E-06	5.680E-06	4.508E-06	2.840E-06	7.099E-07
ho166m	0.000E+00	6.564E-05	6.545E-05	6.526E-05	6.470E-05	6.377E-05	6.195E-05	5.848E-05	4.917E-05
lu176	1.181E-09	1.129E-09	1.129E-09	1.129E-09	1.129E-09	1.129E-09	1.129E-09	1.129E-09	1.129E-09
re187	0.000E+00	1.318E-09	1.318E-09	1.318E-09	1.318E-09	1.318E-09	1.318E-09	1.318E-09	1.318E-09
total	2.040E+02	5.748E+01	3.678E+01	2.698E+01	1.750E+01	1.379E+01	9.783E+00	4.999E+00	8.082E-01

Figura B.8. “Output” de salida ORIGENS, Recubrimiento Interior Vasija (Ci/t)

```
=ORIGENS
0$$  A5 28 E
1$$  1  1T
JOSE CABRERA REACTOR CORE FULL OF W14X14 3,6% 235-U FUEL ASSEMBLIES
3$$  28 A3 0 A16 2 E
4** 0.633 36.20095117 4.89734391 E
54$$ A12 1 E 2T
35$$ 0  E 4T
56$$ 4  4  1  A13  47  5  3  0  2  1  1  E 5T
IRRADIATION CASE
VASIJA flujo Max
59** 5.50546E10 E
60** 6.17 12.34 18.51 24.68  E
66$$ 2 A5 2 A9 2 E
73$$ 922350 922380 30000 70000 110000 130000 170000 190000 200000
210000 220000 230000 240000 250000 260000 270000 280000 290000
300000 310000 330000 340000 350000 370000 380000 390000 400000
410000 420000 470000 510000 550000 560000 570000 580000 620000
630000 650000 670000 700000 710000 720000 730000 740000 820000
900000 920000
74** 747.299E3 20011.03E3 0.3 84 23 330 40 12 14 0.26 2 80 1.70E3
1.02E4 9.80E5 122 6.60E3 1274 100 80 532 0.7 0.85 48 0.15 20 10
18.8 0.56 2 11 0.2 0.1 273 1 0.017 0.031 0.45 0.8 1 0.2 0.21 0.13
5.5 820 0.18 0.2
75$$ 2R2 45R4  E 6T
56$$ 0  7  A10  4  A14  5  3  0  2  1  0  E 5T
POST_IRRADIATION. DECAY CASE
VASIJA flujo max
60** 5 10 25 50 100 200 500  E
65$$ F0 A4 1 A7 3R1 E
61** 5R1.00E-9 2R10000.0 E  6T
56$$ F0 T
END
```

Figura B.9. “Input” de entrada ORIGENS, Vasija

POST_IRRADIATION. DECAY CASE light elements
decay, following irradiation identified by: power= 2.70mw, burnup= 6082.mwd, flux= 5.51E+10n/cm**2-sec

nuclide radioactivity, curies
basis =VASIJA flujo max

	charge	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	0.000E+00	3.376E-01	2.549E-01	1.924E-01	8.279E-02	2.030E-02	1.221E-03	4.416E-06	2.090E-13
c 14	0.000E+00	1.082E-02	1.081E-02	1.081E-02	1.079E-02	1.075E-02	1.069E-02	1.056E-02	1.018E-02
na 22	0.000E+00	1.653E-07	4.363E-08	1.152E-08	2.117E-10	2.711E-13	4.445E-19	1.195E-30	0.000E+00
cl 36	0.000E+00	5.351E-04	5.351E-04	5.351E-04	5.351E-04	5.350E-04	5.350E-04	5.349E-04	5.345E-04
ar 39	0.000E+00	2.824E-03	2.788E-03	2.752E-03	2.648E-03	2.483E-03	2.182E-03	1.687E-03	7.785E-04
k 40	1.031E-08	1.361E-08	1.361E-08	1.361E-08	1.361E-08	1.361E-08	1.361E-08	1.361E-08	1.361E-08
ca 41	0.000E+00	7.113E-06	7.112E-06	7.112E-06	7.111E-06	7.110E-06	7.108E-06	7.103E-06	7.089E-06
mn 54	0.000E+00	1.246E-04	2.159E-06	3.741E-08	1.946E-13	3.037E-22	5.864E-40	0.000E+00	0.000E+00
fe 55	0.000E+00	2.085E+01	5.857E+00	1.645E+00	3.648E-02	6.384E-05	1.955E-10	1.833E-21	0.000E+00
co 60	0.000E+00	1.362E+01	7.057E+00	3.656E+00	5.082E-01	1.896E-02	2.638E-05	5.110E-11	3.713E-28
ni 59	0.000E+00	2.311E-02	2.311E-02	2.311E-02	2.310E-02	2.310E-02	2.309E-02	2.307E-02	2.300E-02
ni 63	0.000E+00	2.255E+00	2.178E+00	2.104E+00	1.896E+00	1.595E+00	1.128E+00	5.645E-01	7.070E-02
se 79	0.000E+00	2.442E-07	2.442E-07	2.442E-07	2.442E-07	2.442E-07	2.442E-07	2.441E-07	2.439E-07
kr 81	0.000E+00	1.188E-08	1.188E-08	1.188E-08	1.188E-08	1.188E-08	1.187E-08	1.187E-08	1.186E-08
kr 85	0.000E+00	1.202E-05	8.698E-06	6.295E-06	2.386E-06	4.739E-07	1.869E-08	2.905E-11	1.092E-19
rb 87	1.163E-06	1.163E-06	1.163E-06	1.163E-06	1.163E-06	1.163E-06	1.163E-06	1.163E-06	1.163E-06
zr 93	0.000E+00	6.953E-08	6.953E-08	6.953E-08	6.953E-08	6.953E-08	6.952E-08	6.952E-08	6.951E-08
nb 93m	0.000E+00	1.055E-06	1.188E-06	1.295E-06	1.506E-06	1.655E-06	1.710E-06	1.687E-06	1.594E-06
nb 94	0.000E+00	7.444E-04	7.442E-04	7.441E-04	7.437E-04	7.431E-04	7.418E-04	7.393E-04	7.318E-04
mo 93	0.000E+00	2.043E-06	2.041E-06	2.039E-06	2.033E-06	2.023E-06	2.003E-06	1.964E-06	1.850E-06
tc 99	0.000E+00	3.462E-07	3.461E-07	3.461E-07	3.461E-07	3.461E-07	3.460E-07	3.459E-07	3.456E-07
ag108	0.000E+00	3.535E-04	3.439E-04	3.347E-04	3.084E-04	2.690E-04	2.048E-04	1.186E-04	2.308E-05
ag108m	0.000E+00	4.063E-03	3.953E-03	3.847E-03	3.545E-03	3.092E-03	2.354E-03	1.364E-03	2.652E-04
ag109m	0.000E+00	1.651E-08	1.070E-09	6.930E-11	1.885E-14	2.153E-20	2.796E-32	0.000E+00	0.000E+00
cd109	0.000E+00	1.651E-08	1.070E-09	6.930E-11	1.885E-14	2.153E-20	2.809E-32	0.000E+00	0.000E+00
sb125	0.000E+00	7.176E-07	2.016E-07	5.664E-08	1.256E-09	2.198E-12	6.730E-18	6.311E-29	0.000E+00
te125m	0.000E+00	1.752E-07	4.923E-08	1.383E-08	3.067E-10	5.367E-13	1.643E-18	1.541E-29	0.000E+00
cs134	0.000E+00	1.261E-03	2.347E-04	4.371E-05	2.822E-07	6.315E-11	3.163E-18	7.936E-33	0.000E+00
ba133	0.000E+00	1.807E-05	1.300E-05	9.350E-06	3.480E-06	6.701E-07	2.485E-08	3.418E-11	8.890E-20
la137	0.000E+00	5.902E-08	5.902E-08	5.901E-08	5.900E-08	5.899E-08	5.895E-08	5.888E-08	5.868E-08
la138	5.953E-09	5.918E-09	5.918E-09	5.918E-09	5.918E-09	5.918E-09	5.918E-09	5.918E-09	5.918E-09
pm145	0.000E+00	1.610E-06	1.323E-06	1.088E-06	6.046E-07	2.271E-07	3.206E-08	6.385E-10	5.044E-15
sm151	0.000E+00	1.193E-04	1.148E-04	1.105E-04	9.841E-05	8.117E-05	5.523E-05	2.556E-05	2.535E-06
eu152	0.000E+00	4.306E-02	3.320E-02	2.560E-02	1.173E-02	3.197E-03	2.373E-04	1.308E-06	2.188E-13
eu154	0.000E+00	1.896E-02	1.267E-02	8.462E-03	2.522E-03	3.355E-04	5.935E-06	1.858E-09	5.697E-20
eu155	0.000E+00	2.217E-04	1.057E-04	5.042E-05	5.467E-06	1.348E-07	8.194E-11	3.028E-17	1.528E-36
ho166m	0.000E+00	6.339E-04	6.321E-04	6.302E-04	6.248E-04	6.158E-04	5.983E-04	5.647E-04	4.749E-04
tl204	0.000E+00	3.270E-08	1.307E-08	5.226E-09	3.339E-10	3.410E-12	3.556E-16	3.867E-24	0.000E+00
pb205	0.000E+00	6.411E-08	6.411E-08	6.411E-08	6.411E-08	6.411E-08	6.411E-08	6.411E-08	6.411E-08
total	3.314E+01	3.717E+01	1.544E+01	7.674E+00	2.581E+00	1.680E+00	1.170E+00	6.031E-01	1.067E-01

Figura B.10. “Output” de salida ORIGENS, Vasija (Ci/t)

```
=ORIGENS
0$$  A5 28 E
1$$  1  1T
JOSE CABRERA REACTOR CORE FULL OF W14X14 3,6% 235-U FUEL ASSEMBLIES
3$$  28 A3 0 A16 2 E
4** 0.633 0.43281 0.01892 E
54$$ A12 1 E 2T
35$$ 0  E 4T
56$$ 4  4  1  A13  56  5  3  0  2  1  1  E 5T
IRRADIATION CASE
HORMIGÓN 191-215.4 flujo Max
59** 4.58325E9 E
60** 6.17 12.34 18.51 24.68  E
66$$ 2 A5 2 A9 2 E
73$$ 922350 922380 10000 30000 50000 70000 110000 130000 140000
150000 160000 170000 190000 200000 210000 220000 230000 240000
250000 260000 270000 280000 290000 300000 310000 330000 340000
350000 370000 380000 390000 400000 410000 420000 460000 470000
480000 500000 510000 550000 560000 570000 580000 620000 630000
650000 660000 670000 700000 710000 720000 730000 740000 820000
900000 920000
74** 747.299E3 20011.03E3 6100 20 20 120 7390 3.10E4 1.68E5 5.00E3
3.10E3 45 7.50E3 1.83E5 6.5 2121 103 109 377 3.90E4 9.8 38 25 75
9 8 0.92 2.4 35 438 18.2 71 4.3 10.3 3 0.2 0.3 7 1.8 1.3 950 13
24.3 2 0.55 0.41 2.3 0.9 1.4 0.27 2.2 0.44 1.4 61 3.5 2.7
75$$ 2R2 54R4  E 6T
56$$ 0  7  A10  4  A14  5  3  0  2  1  0  E 5T
POST_IRRADIATION. DECAY CASE
HORMIGÓN 191-215.4 flujo max
60** 5 10 25 50 100 200 500  E
65$$ F0 A4 1 A7 3R1 E
61** 5R1.00E-9 2R10000.0 E  6T
56$$ F0 T
END
```

Figura B.11. “Input” de entrada ORIGENS, 1ª Capa Hormigón

POST_IRRADIATION. DECAY CASE light elements
decay, following irradiation identified by: power= 9.691E-02mw, burnup=2.1841E+02mwd, flux= 4.58E+09n/cm**2-sec

nuclide radioactivity, curies
basis =HORMIGÓN 191-215.4 flujo max

	charge	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	0.000E+00	1.007E+00	7.605E-01	5.741E-01	2.470E-01	6.058E-02	3.644E-03	1.318E-05	6.235E-13
c 14	0.000E+00	5.568E-04	5.565E-04	5.561E-04	5.551E-04	5.535E-04	5.501E-04	5.435E-04	5.241E-04
na 22	0.000E+00	1.955E-08	5.159E-09	1.362E-09	2.503E-11	3.205E-14	5.255E-20	1.413E-31	0.000E+00
cl 36	0.000E+00	3.007E-05	3.007E-05	3.006E-05	3.006E-05	3.006E-05	3.006E-05	3.005E-05	3.003E-05
ar 39	0.000E+00	6.042E-04	5.965E-04	5.888E-04	5.665E-04	5.312E-04	4.670E-04	3.609E-04	1.666E-04
k 40	6.441E-06	6.505E-06	6.505E-06	6.505E-06	6.505E-06	6.505E-06	6.505E-06	6.505E-06	6.505E-06
ca 41	0.000E+00	3.604E-03	3.604E-03	3.603E-03	3.603E-03	3.602E-03	3.601E-03	3.599E-03	3.592E-03
fe 55	0.000E+00	3.158E-02	8.873E-03	2.493E-03	5.527E-05	9.671E-08	2.962E-13	2.777E-24	0.000E+00
co 60	0.000E+00	1.517E-02	7.858E-03	4.071E-03	5.659E-04	2.111E-05	2.938E-08	5.691E-14	4.135E-31
ni 59	0.000E+00	5.581E-06	5.581E-06	5.581E-06	5.580E-06	5.579E-06	5.576E-06	5.571E-06	5.555E-06
ni 63	0.000E+00	5.892E-04	5.691E-04	5.497E-04	4.955E-04	4.167E-04	2.948E-04	1.475E-04	1.847E-05
se 79	0.000E+00	1.060E-09	1.060E-09	1.060E-09	1.060E-09	1.060E-09	1.060E-09	1.060E-09	1.059E-09
kr 85	0.000E+00	2.819E-09	2.040E-09	1.476E-09	5.597E-10	1.111E-10	4.382E-12	6.814E-15	2.561E-23
rb 87	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07
zr 93	0.000E+00	4.288E-09	4.288E-09	4.288E-09	4.288E-09	4.288E-09	4.288E-09	4.287E-09	4.287E-09
nb 93m	0.000E+00	2.892E-08	3.258E-08	3.552E-08	4.130E-08	4.538E-08	4.693E-08	4.634E-08	4.392E-08
nb 94	0.000E+00	7.008E-07	7.006E-07	7.005E-07	7.002E-07	6.996E-07	6.984E-07	6.960E-07	6.889E-07
mo 93	0.000E+00	5.312E-08	5.306E-08	5.301E-08	5.285E-08	5.259E-08	5.207E-08	5.105E-08	4.811E-08
tc 99	0.000E+00	9.486E-09	9.486E-09	9.486E-09	9.486E-09	9.485E-09	9.483E-09	9.480E-09	9.471E-09
ag108	0.000E+00	3.864E-07	3.760E-07	3.658E-07	3.371E-07	2.941E-07	2.238E-07	1.297E-07	2.522E-08
ag108m	0.000E+00	4.441E-06	4.321E-06	4.205E-06	3.874E-06	3.380E-06	2.573E-06	1.491E-06	2.899E-07
cd113m	0.000E+00	2.618E-06	2.048E-06	1.602E-06	7.661E-07	2.242E-07	1.919E-08	1.406E-10	5.537E-17
sn121	0.000E+00	5.606E-08	5.263E-08	4.942E-08	4.091E-08	2.985E-08	1.590E-08	4.509E-09	1.029E-10
sn121m	0.000E+00	7.223E-08	6.782E-08	6.368E-08	5.271E-08	3.847E-08	2.049E-08	5.810E-09	1.326E-10
sb125	0.000E+00	1.252E-08	3.517E-09	9.879E-10	2.190E-11	3.833E-14	1.174E-19	1.101E-30	0.000E+00
cs134	0.000E+00	3.159E-05	5.883E-06	1.095E-06	7.071E-09	1.583E-12	7.927E-20	1.989E-34	0.000E+00
ba133	0.000E+00	5.015E-03	3.607E-03	2.595E-03	9.657E-04	1.860E-04	6.897E-06	9.485E-09	2.467E-17
la137	0.000E+00	7.288E-09	7.288E-09	7.287E-09	7.286E-09	7.284E-09	7.280E-09	7.271E-09	7.246E-09
pm145	0.000E+00	3.652E-06	3.002E-06	2.469E-06	1.372E-06	5.154E-07	7.273E-08	1.449E-09	1.145E-14
sm147	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09
sm151	0.000E+00	2.085E-04	2.007E-04	1.931E-04	1.720E-04	1.419E-04	9.653E-05	4.468E-05	4.432E-06
eu152	0.000E+00	4.423E-02	3.410E-02	2.629E-02	1.205E-02	3.283E-03	2.437E-04	1.343E-06	2.247E-13
eu154	0.000E+00	2.603E-03	1.739E-03	1.162E-03	3.463E-04	4.606E-05	8.149E-07	2.551E-10	7.822E-21
eu155	0.000E+00	3.755E-05	1.791E-05	8.539E-06	9.259E-07	2.283E-08	1.388E-11	5.129E-18	2.588E-37
tb157	0.000E+00	6.109E-07	5.970E-07	5.833E-07	5.443E-07	4.849E-07	3.849E-07	2.425E-07	6.061E-08
ho166m	0.000E+00	2.956E-06	2.947E-06	2.939E-06	2.913E-06	2.872E-06	2.790E-06	2.633E-06	2.214E-06
total	1.122E+02	1.112E+00	8.223E-01	6.163E-01	2.665E-01	6.942E-02	8.954E-03	4.758E-03	4.351E-03

Figura B.12. “Output” de salida ORIGENS, 1ª Capa Hormigón (Ci/t)

```
=ORIGENS
0$$  A5 28 E
1$$  1  1T
JOSE CABRERA REACTOR CORE FULL OF W14X14 3,6% 235-U FUEL ASSEMBLIES
3$$  28 A3 0 A16 2 E
4** 0.633 0.04808 0.00101 E
54$$ A12 1 E 2T
35$$ 0  E 4T
56$$ 4  4  1  A13  56  5  3  0  2  1  1  E 5T
IRRADIATION CASE
HORMIGÓN 2 flujo Max
59** 3.186E9 E
60** 6.17 12.34 18.51 24.68  E
66$$ 2 A5 2 A9 2 E
73$$ 922350 922380 10000 30000 50000 70000 110000 130000 140000
150000 160000 170000 190000 200000 210000 220000 230000 240000
250000 260000 270000 280000 290000 300000 310000 330000 340000
350000 370000 380000 390000 400000 410000 420000 460000 470000
480000 500000 510000 550000 560000 570000 580000 620000 630000
650000 660000 670000 700000 710000 720000 730000 740000 820000
900000 920000
74** 747.299E3 20011.03E3 6100 20 20 120 7390 3.10E4 1.68E5 5.00E3
3.10E3 45 7.50E3 1.83E5 6.5 2121 103 109 377 3.90E4 9.8 38 25 75
9 8 0.92 2.4 35 438 18.2 71 4.3 10.3 3 0.2 0.3 7 1.8 1.3 950 13
24.3 2 0.55 0.41 2.3 0.9 1.4 0.27 2.2 0.44 1.4 61 3.5 2.7
75$$ 2R2 54R4  E 6T
56$$ 0  7  A10  4  A14  5  3  0  2  1  0  E 5T
POST_IRRADIATION. DECAY CASE
HORMIGÓN 2 flujo max
60** 5 10 25 50 100 200 500  E
65$$ F0 A4 1 A7 3R1 E
61** 5R1.00E-9 2R10000.0 E  6T
56$$ F0 T
END
```

Figura B.13. “Input” de entrada ORIGENS, 2ª Capa Hormigón

POST_IRRADIATION. DECAY CASE light
elements decay, following irradiation identified by: power= 6.650E-02mw, burnup=1.4988E+02mwd, flux= 3.19E+09n/cm**2-sec

nuclide radioactivity, curies
basis =HORMIGÓN 2 flujo max

	charge	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	0.000E+00	6.938E-01	5.238E-01	3.954E-01	1.701E-01	4.172E-02	2.509E-03	9.076E-06	4.294E-13
c 14	0.000E+00	3.821E-04	3.819E-04	3.816E-04	3.809E-04	3.798E-04	3.775E-04	3.730E-04	3.597E-04
cl 36	0.000E+00	2.069E-05	2.069E-05	2.069E-05	2.069E-05	2.069E-05	2.069E-05	2.068E-05	2.067E-05
ar 39	0.000E+00	2.427E-05	2.395E-05	2.365E-05	2.275E-05	2.133E-05	1.875E-05	1.449E-05	6.690E-06
k 40	6.441E-06	6.482E-06	6.482E-06	6.482E-06	6.482E-06	6.482E-06	6.482E-06	6.482E-06	6.482E-06
ca 41	0.000E+00	2.474E-03	2.474E-03	2.474E-03	2.474E-03	2.474E-03	2.473E-03	2.471E-03	2.466E-03
fe 55	0.000E+00	2.168E-02	6.090E-03	1.711E-03	3.793E-05	6.638E-08	2.033E-13	1.906E-24	0.000E+00
co 60	0.000E+00	9.978E-03	5.169E-03	2.678E-03	3.722E-04	1.389E-05	1.933E-08	3.743E-14	2.720E-31
ni 59	0.000E+00	3.839E-06	3.838E-06	3.838E-06	3.838E-06	3.837E-06	3.835E-06	3.832E-06	3.821E-06
ni 63	0.000E+00	4.058E-04	3.920E-04	3.787E-04	3.413E-04	2.871E-04	2.031E-04	1.016E-04	1.272E-05
rb 87	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07
zr 93	0.000E+00	2.717E-09	2.717E-09	2.717E-09	2.717E-09	2.717E-09	2.717E-09	2.717E-09	2.717E-09
nb 93m	0.000E+00	8.899E-09	1.002E-08	1.093E-08	1.271E-08	1.397E-08	1.446E-08	1.431E-08	1.364E-08
nb 94	0.000E+00	3.865E-07	3.864E-07	3.864E-07	3.862E-07	3.858E-07	3.852E-07	3.839E-07	3.800E-07
mo 93	0.000E+00	1.464E-08	1.463E-08	1.461E-08	1.457E-08	1.450E-08	1.435E-08	1.407E-08	1.326E-08
tc 99	0.000E+00	2.714E-09	2.714E-09	2.714E-09	2.714E-09	2.714E-09	2.713E-09	2.712E-09	2.710E-09
ag108	0.000E+00	2.494E-07	2.427E-07	2.361E-07	2.176E-07	1.898E-07	1.445E-07	8.371E-08	1.628E-08
ag108m	0.000E+00	2.866E-06	2.789E-06	2.714E-06	2.501E-06	2.182E-06	1.661E-06	9.622E-07	1.871E-07
cd113m	0.000E+00	1.582E-06	1.237E-06	9.674E-07	4.628E-07	1.354E-07	1.159E-08	8.496E-11	3.345E-17
sn121	0.000E+00	2.981E-08	2.799E-08	2.628E-08	2.176E-08	1.588E-08	8.456E-09	2.398E-09	5.471E-11
sn121m	0.000E+00	3.842E-08	3.607E-08	3.387E-08	2.804E-08	2.046E-08	1.090E-08	3.090E-09	7.050E-11
sb125	0.000E+00	3.661E-09	1.029E-09	2.889E-10	6.407E-12	1.121E-14	3.433E-20	3.219E-31	0.000E+00
cs134	0.000E+00	1.707E-05	3.179E-06	5.920E-07	3.821E-09	8.553E-13	4.284E-20	1.075E-34	0.000E+00
ba133	0.000E+00	3.417E-03	2.458E-03	1.768E-03	6.580E-04	1.267E-04	4.699E-06	6.463E-09	1.681E-17
la137	0.000E+00	4.285E-09	4.284E-09	4.284E-09	4.283E-09	4.282E-09	4.280E-09	4.275E-09	4.260E-09
pm145	0.000E+00	2.450E-06	2.014E-06	1.656E-06	9.203E-07	3.457E-07	4.879E-08	9.718E-10	7.678E-15
sm147	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09
sm151	0.000E+00	1.383E-04	1.331E-04	1.281E-04	1.141E-04	9.412E-05	6.404E-05	2.964E-05	2.940E-06
eu152	0.000E+00	3.060E-02	2.360E-02	1.819E-02	8.338E-03	2.272E-03	1.686E-04	9.293E-07	1.555E-13
eu154	0.000E+00	1.615E-03	1.079E-03	7.207E-04	2.148E-04	2.857E-05	5.055E-07	1.582E-10	4.853E-21
eu155	0.000E+00	2.192E-05	1.045E-05	4.983E-06	5.403E-07	1.332E-08	8.099E-12	2.993E-18	1.511E-37
tb157	0.000E+00	2.584E-07	2.525E-07	2.467E-07	2.302E-07	2.051E-07	1.628E-07	1.025E-07	2.564E-08
ho166m	0.000E+00	1.628E-06	1.623E-06	1.618E-06	1.604E-06	1.581E-06	1.536E-06	1.450E-06	1.219E-06
total	1.122E+02	7.646E-01	5.656E-01	4.239E-01	1.831E-01	4.746E-02	5.855E-03	3.035E-03	2.882E-03

Figura B.14. “Output” de salida ORIGENS, 2ª Capa Hormigón (Ci/t)

```
=ORIGENS
0$$  A5 28 E
1$$  1  1T
JOSE CABRERA REACTOR CORE FULL OF W14X14 3,6% 235-U FUEL ASSEMBLIES
3$$  28 A3 0 A16 2 E
4** 0.633 0.01060 0.00029 E
54$$ A12 1 E 2T
35$$ 0  E 4T
56$$ 4  4  1  A13  56  5  3  0  2  1  1  E 5T
IRRADIATION CASE
HORMIGÓN 3 flujo Max
59** 3.116E8 E
60** 6.17 12.34 18.51 24.68  E
66$$ 2 A5 2 A9 2 E
73$$ 922350 922380 10000 30000 50000 70000 110000 130000 140000
150000 160000 170000 190000 200000 210000 220000 230000 240000
250000 260000 270000 280000 290000 300000 310000 330000 340000
350000 370000 380000 390000 400000 410000 420000 460000 470000
480000 500000 510000 550000 560000 570000 580000 620000 630000
650000 660000 670000 700000 710000 720000 730000 740000 820000
900000 920000
74** 747.299E3 20011.03E3 6100 20 20 120 7390 3.10E4 1.68E5 5.00E3
3.10E3 45 7.50E3 1.83E5 6.5 2121 103 109 377 3.90E4 9.8 38 25 75
9 8 0.92 2.4 35 438 18.2 71 4.3 10.3 3 0.2 0.3 7 1.8 1.3 950 13
24.3 2 0.55 0.41 2.3 0.9 1.4 0.27 2.2 0.44 1.4 61 3.5 2.7
75$$ 2R2 54R4  E 6T
56$$ 0  7  A10  4  A14  5  3  0  2  1  0  E 5T
POST_IRRADIATION. DECAY CASE
HORMIGÓN 3 flujo max
60** 5 10 25 50 100 200 500  E
65$$ F0 A4 1 A7 3R1 E
61** 5R1.00E-9 2R10000.0 E  6T
56$$ F0 T

END
```

Figura B.15. “Input” de entrada ORIGENS, 3ª Capa Hormigón

POST_IRRADIATION. DECAY CASE light elements decay, following irradiation identified by: power= 6.497E-03mw, burnup=1.4642E+01mwd, flux= 3.12E+08n/cm**2-sec

nuclide radioactivity, curies
basis =HORMIGÓN 3 flujo max

	charge	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	0.000E+00	6.780E-02	5.118E-02	3.864E-02	1.663E-02	4.077E-03	2.452E-04	8.869E-07	4.196E-14
c 14	0.000E+00	3.732E-05	3.730E-05	3.728E-05	3.721E-05	3.710E-05	3.687E-05	3.643E-05	3.513E-05
cl 36	0.000E+00	2.022E-06	2.022E-06	2.022E-06	2.022E-06	2.022E-06	2.022E-06	2.021E-06	2.020E-06
ar 39	0.000E+00	6.584E-07	6.499E-07	6.416E-07	6.173E-07	5.788E-07	5.088E-07	3.932E-07	1.815E-07
k 40	6.441E-06	6.445E-06	6.445E-06	6.445E-06	6.445E-06	6.445E-06	6.445E-06	6.445E-06	6.445E-06
ca 41	0.000E+00	2.417E-04	2.417E-04	2.417E-04	2.417E-04	2.416E-04	2.416E-04	2.414E-04	2.409E-04
fe 55	0.000E+00	2.117E-03	5.948E-04	1.671E-04	3.705E-06	6.484E-09	1.986E-14	1.862E-25	0.000E+00
co 60	0.000E+00	9.705E-04	5.027E-04	2.604E-04	3.620E-05	1.351E-06	1.880E-09	3.641E-15	2.646E-32
ni 59	0.000E+00	3.750E-07	3.750E-07	3.750E-07	3.750E-07	3.749E-07	3.747E-07	3.744E-07	3.733E-07
ni 63	0.000E+00	3.966E-05	3.831E-05	3.701E-05	3.335E-05	2.805E-05	1.984E-05	9.928E-06	1.243E-06
rb 87	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07
nb 94	0.000E+00	3.684E-08	3.684E-08	3.683E-08	3.681E-08	3.678E-08	3.672E-08	3.659E-08	3.622E-08
mo 93	0.000E+00	1.222E-09	1.220E-09	1.219E-09	1.216E-09	1.210E-09	1.198E-09	1.174E-09	1.106E-09
ag108	0.000E+00	2.421E-08	2.356E-08	2.292E-08	2.112E-08	1.843E-08	1.402E-08	8.126E-09	1.580E-09
ag108m	0.000E+00	2.782E-07	2.707E-07	2.635E-07	2.427E-07	2.118E-07	1.612E-07	9.340E-08	1.816E-08
cd113m	0.000E+00	1.537E-07	1.202E-07	9.400E-08	4.497E-08	1.316E-08	1.126E-09	8.255E-12	3.250E-18
sn121	0.000E+00	2.829E-09	2.656E-09	2.494E-09	2.065E-09	1.507E-09	8.024E-10	2.276E-10	5.192E-12
sn121m	0.000E+00	3.646E-09	3.423E-09	3.214E-09	2.660E-09	1.941E-09	1.034E-09	2.932E-10	6.690E-12
cs134	0.000E+00	1.623E-06	3.023E-07	5.628E-08	3.633E-10	8.132E-14	4.073E-21	1.022E-35	0.000E+00
ba133	0.000E+00	3.335E-04	2.399E-04	1.726E-04	6.423E-05	1.237E-05	4.587E-07	6.308E-10	1.641E-18
pm145	0.000E+00	2.388E-07	1.963E-07	1.614E-07	8.969E-08	3.369E-08	4.755E-09	9.471E-11	7.483E-16
sm147	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09
sm151	0.000E+00	1.310E-05	1.261E-05	1.213E-05	1.081E-05	8.913E-06	6.064E-06	2.807E-06	2.784E-07
eu152	0.000E+00	3.000E-03	2.313E-03	1.783E-03	8.174E-04	2.227E-04	1.653E-05	9.110E-08	1.524E-14
eu154	0.000E+00	1.562E-04	1.043E-04	6.969E-05	2.077E-05	2.763E-06	4.889E-08	1.530E-11	4.693E-22
eu155	0.000E+00	2.068E-06	9.861E-07	4.702E-07	5.099E-08	1.257E-09	7.642E-13	2.824E-19	1.424E-38
tb157	0.000E+00	2.369E-08	2.315E-08	2.262E-08	2.111E-08	1.880E-08	1.492E-08	9.402E-09	2.351E-09
ho166m	0.000E+00	1.551E-07	1.546E-07	1.542E-07	1.529E-07	1.507E-07	1.464E-07	1.382E-07	1.162E-07
total	1.122E+02	7.472E-02	5.528E-02	4.143E-02	1.790E-02	4.643E-03	5.772E-04	3.019E-04	2.876E-04

Figura B.16. “Output” de salida ORIGENS, 3ª Capa Hormigón (Ci/t)

```
=ORIGENS
0$$  A5 28 E
1$$  1  1T
JOSE CABRERA REACTOR CORE FULL OF W14X14 3,6% 235-U FUEL ASSEMBLIES
3$$  28 A3 0 A16 2 E
4** 0.633 0.00157 0.00005 E
54$$ A12 1 E 2T
35$$ 0  E 4T
56$$ 4  4  1  A13  56  5  3  0  2  1  1  E 5T
IRRADIATION CASE
HORMIGÓN 4 flujo Max
59** 5.039E7 E
60** 6.17 12.34 18.51 24.68  E
66$$ 2 A5 2 A9 2 E
73$$ 922350 922380 10000 30000 50000 70000 110000 130000 140000
150000 160000 170000 190000 200000 210000 220000 230000 240000
250000 260000 270000 280000 290000 300000 310000 330000 340000
350000 370000 380000 390000 400000 410000 420000 460000 470000
480000 500000 510000 550000 560000 570000 580000 620000 630000
650000 660000 670000 700000 710000 720000 730000 740000 820000
900000 920000
74** 747.299E3 20011.03E3 6100 20 20 120 7390 3.10E4 1.68E5 5.00E3
3.10E3 45 7.50E3 1.83E5 6.5 2121 103 109 377 3.90E4 9.8 38 25 75
9 8 0.92 2.4 35 438 18.2 71 4.3 10.3 3 0.2 0.3 7 1.8 1.3 950 13
24.3 2 0.55 0.41 2.3 0.9 1.4 0.27 2.2 0.44 1.4 61 3.5 2.7
75$$ 2R2 54R4  E 6T
56$$ 0  7  A10  4  A14  5  3  0  2  1  0  E 5T
POST_IRRADIATION. DECAY CASE
HORMIGÓN 4 flujo max
60** 5 10 25 50 100 200 500  E
65$$ F0 A4 1 A7 3R1 E
61** 5R1.00E-9 2R10000.0 E  6T
56$$ F0 T
END
```

Figura B.17. “Input” de entrada ORIGENS, 4ª Capa Hormigón

POST_IRRADIATION. DECAY CASE light elements
decay, following irradiation identified by: power= 1.050E-03mw, burnup=2.3671E+00mwd, flux= 5.04E+07n/cm**2-sec

nuclide radioactivity, curies
basis =HORMIGÓN 4 flujo max

	charge	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	0.000E+00	1.096E-02	8.275E-03	6.247E-03	2.688E-03	6.592E-04	3.965E-05	1.434E-07	6.784E-15
c 14	0.000E+00	6.034E-06	6.030E-06	6.027E-06	6.016E-06	5.998E-06	5.961E-06	5.890E-06	5.680E-06
cl 36	0.000E+00	3.269E-07	3.269E-07	3.269E-07	3.269E-07	3.269E-07	3.269E-07	3.268E-07	3.266E-07
ar 39	0.000E+00	1.806E-08	1.783E-08	1.760E-08	1.693E-08	1.587E-08	1.395E-08	1.078E-08	4.978E-09
k 40	6.441E-06	6.441E-06	6.441E-06	6.441E-06	6.441E-06	6.441E-06	6.441E-06	6.441E-06	6.441E-06
ca 41	0.000E+00	3.908E-05	3.908E-05	3.908E-05	3.907E-05	3.906E-05	3.905E-05	3.903E-05	3.895E-05
fe 55	0.000E+00	3.423E-04	9.617E-05	2.702E-05	5.990E-07	1.048E-09	3.210E-15	3.010E-26	0.000E+00
co 60	0.000E+00	1.567E-04	8.119E-05	4.206E-05	5.847E-06	2.181E-07	3.036E-10	5.880E-16	4.272E-33
ni 59	0.000E+00	6.064E-08	6.063E-08	6.063E-08	6.062E-08	6.061E-08	6.058E-08	6.052E-08	6.036E-08
ni 63	0.000E+00	6.412E-06	6.194E-06	5.983E-06	5.393E-06	4.535E-06	3.208E-06	1.605E-06	2.010E-07
rb 87	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07
nb 94	0.000E+00	5.921E-09	5.920E-09	5.919E-09	5.915E-09	5.910E-09	5.900E-09	5.880E-09	5.820E-09
ag108	0.000E+00	3.907E-09	3.802E-09	3.700E-09	3.409E-09	2.974E-09	2.264E-09	1.312E-09	2.551E-10
ag108m	0.000E+00	4.491E-08	4.370E-08	4.253E-08	3.918E-08	3.419E-08	2.602E-08	1.508E-08	2.932E-09
cd113m	0.000E+00	2.478E-08	1.938E-08	1.516E-08	7.251E-09	2.122E-09	1.816E-10	1.331E-12	5.240E-19
cs134	0.000E+00	2.607E-07	4.854E-08	9.039E-09	5.835E-11	1.306E-14	6.541E-22	1.641E-36	0.000E+00
ba133	0.000E+00	5.392E-05	3.878E-05	2.790E-05	1.038E-05	1.999E-06	7.415E-08	1.020E-10	2.653E-19
pm145	0.000E+00	3.858E-08	3.172E-08	2.608E-08	1.449E-08	5.444E-09	7.683E-10	1.530E-11	1.209E-16
sm147	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09
sm151	0.000E+00	2.111E-06	2.031E-06	1.955E-06	1.741E-06	1.436E-06	9.772E-07	4.523E-07	4.486E-08
eu152	0.000E+00	4.852E-04	3.741E-04	2.884E-04	1.322E-04	3.602E-05	2.674E-06	1.473E-08	2.466E-15
eu154	0.000E+00	2.519E-05	1.682E-05	1.124E-05	3.350E-06	4.456E-07	7.883E-09	2.467E-12	7.567E-23
eu155	0.000E+00	3.324E-07	1.585E-07	7.558E-08	8.196E-09	2.021E-10	1.228E-13	4.540E-20	2.249E-39
tb157	0.000E+00	3.770E-09	3.684E-09	3.600E-09	3.359E-09	2.993E-09	2.375E-09	1.496E-09	3.741E-10
ho166m	0.000E+00	2.492E-08	2.485E-08	2.478E-08	2.456E-08	2.421E-08	2.352E-08	2.220E-08	1.867E-08
total	1.122E+02	1.209E-02	8.944E-03	6.705E-03	2.901E-03	7.567E-04	9.936E-05	5.487E-05	5.259E-05

Figura B.18. “Output” de salida ORIGENS, 4ª Capa Hormigón (Ci/t)

```
=ORIGENS
0$$  A5 28 E
1$$  1  1T
JOSE CABRERA REACTOR CORE FULL OF W14X14 3,6% 235-U FUEL ASSEMBLIES
3$$  28 A3 0 A16 2 E
4** 0.633 0.00036 0.00001 E
54$$ A12 1 E 2T
35$$ 0  E 4T
56$$ 4  4  1  A13  56  5  3  0  2  1  1  E 5T
IRRADIATION CASE
HORMIGÓN 5 flujo Max
59** 1.414E7 E
60** 6.17 12.34 18.51 24.68  E
66$$ 2 A5 2 A9 2 E
73$$ 922350 922380 10000 30000 50000 70000 110000 130000 140000
150000 160000 170000 190000 200000 210000 220000 230000 240000
250000 260000 270000 280000 290000 300000 310000 330000 340000
350000 370000 380000 390000 400000 410000 420000 460000 470000
480000 500000 510000 550000 560000 570000 580000 620000 630000
650000 660000 670000 700000 710000 720000 730000 740000 820000
900000 920000
74** 747.299E3 20011.03E3 6100 20 20 120 7390 3.10E4 1.68E5 5.00E3
3.10E3 45 7.50E3 1.83E5 6.5 2121 103 109 377 3.90E4 9.8 38 25 75
9 8 0.92 2.4 35 438 18.2 71 4.3 10.3 3 0.2 0.3 7 1.8 1.3 950 13
24.3 2 0.55 0.41 2.3 0.9 1.4 0.27 2.2 0.44 1.4 61 3.5 2.7
75$$ 2R2 54R4  E 6T
56$$ 0  7  A10  4  A14  5  3  0  2  1  0  E 5T
POST_IRRADIATION. DECAY CASE
HORMIGÓN 5 flujo max
60** 5 10 25 50 100 200 500  E
65$$ F0 A4 1 A7 3R1 E
61** 5R1.00E-9 2R10000.0 E  6T
56$$ F0 T
END
```

Figura B.19. “Input” de entrada ORIGENS, 5ª Capa Hormigón

POST_IRRADIATION. DECAY CASE light elements
decay, following irradiation identified by: power= 2.947E-04mw, burnup=6.6422E-01mwd, flux= 1.41E+07n/cm**2-sec

nuclide radioactivity, curies
basis =HORMIGÓN 5 flujo max

	charge	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	0.000E+00	3.076E-03	2.322E-03	1.753E-03	7.543E-04	1.850E-04	1.112E-05	4.024E-08	1.904E-15
c 14	0.000E+00	1.693E-06	1.692E-06	1.691E-06	1.688E-06	1.683E-06	1.673E-06	1.653E-06	1.594E-06
cl 36	0.000E+00	9.174E-08	9.174E-08	9.174E-08	9.174E-08	9.173E-08	9.172E-08	9.170E-08	9.164E-08
ar 39	0.000E+00	1.029E-09	1.015E-09	1.002E-09	9.644E-10	9.042E-10	7.949E-10	6.143E-10	2.836E-10
k 40	6.441E-06	6.441E-06	6.441E-06	6.441E-06	6.441E-06	6.441E-06	6.441E-06	6.441E-06	6.441E-06
ca 41	0.000E+00	1.097E-05	1.096E-05	1.096E-05	1.096E-05	1.096E-05	1.096E-05	1.095E-05	1.093E-05
fe 55	0.000E+00	9.605E-05	2.698E-05	7.581E-06	1.681E-07	2.941E-10	9.007E-16	8.447E-27	0.000E+00
co 60	0.000E+00	4.397E-05	2.278E-05	1.180E-05	1.640E-06	6.120E-08	8.517E-11	1.650E-16	1.199E-33
ni 59	0.000E+00	1.701E-08	1.701E-08	1.701E-08	1.701E-08	1.701E-08	1.700E-08	1.698E-08	1.694E-08
ni 63	0.000E+00	1.799E-06	1.738E-06	1.679E-06	1.513E-06	1.273E-06	9.002E-07	4.504E-07	5.641E-08
rb 87	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07
nb 94	0.000E+00	1.660E-09	1.660E-09	1.659E-09	1.659E-09	1.657E-09	1.654E-09	1.649E-09	1.632E-09
ag108	0.000E+00	1.096E-09	1.067E-09	1.038E-09	9.564E-10	8.344E-10	6.351E-10	3.680E-10	7.156E-11
ag108m	0.000E+00	1.260E-08	1.226E-08	1.193E-08	1.099E-08	9.591E-09	7.300E-09	4.230E-09	8.226E-10
cd113m	0.000E+00	6.951E-09	5.436E-09	4.252E-09	2.034E-09	5.951E-10	5.095E-11	3.734E-13	1.470E-19
cs134	0.000E+00	7.309E-08	1.361E-08	2.534E-09	1.636E-11	3.661E-15	1.834E-22	4.601E-37	0.000E+00
ba133	0.000E+00	1.513E-05	1.088E-05	7.828E-06	2.913E-06	5.610E-07	2.081E-08	2.861E-11	7.443E-20
pm145	0.000E+00	1.082E-08	8.899E-09	7.317E-09	4.066E-09	1.528E-09	2.156E-10	4.294E-12	3.392E-17
sm147	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09
sm151	0.000E+00	5.921E-07	5.697E-07	5.482E-07	4.884E-07	4.028E-07	2.741E-07	1.269E-07	1.258E-08
eu152	0.000E+00	1.362E-04	1.050E-04	8.094E-05	3.710E-05	1.011E-05	7.503E-07	4.135E-09	6.919E-16
eu154	0.000E+00	7.065E-06	4.719E-06	3.152E-06	9.397E-07	1.250E-07	2.211E-09	6.921E-13	2.123E-23
eu155	0.000E+00	9.320E-08	4.444E-08	2.119E-08	2.298E-09	5.666E-11	3.444E-14	1.273E-20	6.425E-40
tb157	0.000E+00	1.056E-09	1.032E-09	1.008E-09	9.405E-10	8.379E-10	6.650E-10	4.190E-10	1.047E-10
ho166m	0.000E+00	6.987E-09	6.967E-09	6.947E-09	6.887E-09	6.788E-09	6.595E-09	6.225E-09	5.234E-09
total	1.122E+02	3.397E-03	2.515E-03	1.887E-03	8.191E-04	2.176E-04	3.313E-05	2.064E-05	2.000E-05

Figura B.20. “Output” de salida ORIGENS, 5ª Capa Hormigón (Ci/t)

```
=ORIGENS
0$$  A5 28 E
1$$  1  1T
JOSE CABRERA REACTOR CORE FULL OF W14X14 3,6% 235-U FUEL ASSEMBLIES
3$$  28 A3 0 A16 2 E
4** 0.633 0.00027 0.00000 E
54$$ A12 1 E 2T
35$$ 0  E 4T
56$$ 4  4  1  A13  56  5  3  0  2  1  1  E 5T
IRRADIATION CASE
HORMIGÓN 6 flujo Max
59** 3.722E6 E
60** 6.17 12.34 18.51 24.68  E
66$$ 2 A5 2 A9 2 E
73$$ 922350 922380 10000 30000 50000 70000 110000 130000 140000
150000 160000 170000 190000 200000 210000 220000 230000 240000
250000 260000 270000 280000 290000 300000 310000 330000 340000
350000 370000 380000 390000 400000 410000 420000 460000 470000
480000 500000 510000 550000 560000 570000 580000 620000 630000
650000 660000 670000 700000 710000 720000 730000 740000 820000
900000 920000
74** 747.299E3 20011.03E3 6100 20 20 120 7390 3.10E4 1.68E5 5.00E3
3.10E3 45 7.50E3 1.83E5 6.5 2121 103 109 377 3.90E4 9.8 38 25 75
9 8 0.92 2.4 35 438 18.2 71 4.3 10.3 3 0.2 0.3 7 1.8 1.3 950 13
24.3 2 0.55 0.41 2.3 0.9 1.4 0.27 2.2 0.44 1.4 61 3.5 2.7
75$$ 2R2 54R4  E 6T
56$$ 0  7  A10  4  A14  5  3  0  2  1  0  E 5T
POST_IRRADIATION. DECAY CASE
HORMIGÓN 6 flujo max
60** 5 10 25 50 100 200 500  E
65$$ F0 A4 1 A7 3R1 E
61** 5R1.00E-9 2R10000.0 E  6T
56$$ F0 T

END
```

Figura B.21. “Input” de entrada ORIGENS, 6ª Capa Hormigón

```
POST_IRRADIATION. DECAY CASE                                                                    light
elements
decay, following irradiation identified by: power= 7.758E-05mw, burnup=1.7484E-01mwd, flux=
3.72E+06n/cm**2-sec

                                                nuclide radioactivity, curies
                                                basis =HORMIGÓN 6 flujo max
              charge  discharge     5.0 y    10.0 y    25.0 y    50.0 y   100.0 y   200.0 y   500.0 y
     h  3   0.000E+00 8.096E-04 6.112E-04 4.614E-04 1.985E-04 4.869E-05 2.928E-06 1.059E-08 5.011E-16
     c 14   0.000E+00 4.457E-07 4.454E-07 4.451E-07 4.443E-07 4.430E-07 4.403E-07 4.350E-07 4.195E-07
    cl 36   0.000E+00 2.415E-08 2.415E-08 2.415E-08 2.415E-08 2.415E-08 2.414E-08 2.414E-08 2.412E-08
     k 40   6.441E-06 6.441E-06 6.441E-06 6.441E-06 6.441E-06 6.441E-06 6.441E-06 6.441E-06 6.441E-06
    ca 41   0.000E+00 2.886E-06 2.886E-06 2.886E-06 2.886E-06 2.885E-06 2.884E-06 2.882E-06 2.877E-06
    fe 55   0.000E+00 2.528E-05 7.103E-06 1.995E-06 4.424E-08 7.742E-11 2.371E-16 2.223E-27 0.000E+00
    co 60   0.000E+00 1.157E-05 5.996E-06 3.106E-06 4.318E-07 1.611E-08 2.242E-11 4.342E-17 3.155E-34
    ni 59   0.000E+00 4.479E-09 4.478E-09 4.478E-09 4.478E-09 4.477E-09 4.474E-09 4.470E-09 4.458E-09
    ni 63   0.000E+00 4.736E-07 4.575E-07 4.419E-07 3.983E-07 3.350E-07 2.370E-07 1.186E-07 1.485E-08
    rb 87   8.482E-07 8.482E-07 8.482E-07 8.482E-07 8.482E-07 8.482E-07 8.482E-07 8.482E-07 8.482E-07
    ag108m  0.000E+00 3.317E-09 3.227E-09 3.140E-09 2.894E-09 2.524E-09 1.922E-09 1.113E-09 2.165E-10
    cd113m  0.000E+00 1.830E-09 1.431E-09 1.119E-09 5.354E-10 1.566E-10 1.341E-11 9.828E-14 3.869E-20
    cs134   0.000E+00 1.924E-08 3.582E-09 6.670E-10 4.306E-12 9.636E-16 4.827E-23 1.210E-37 0.000E+00
    ba133   0.000E+00 3.982E-06 2.864E-06 2.060E-06 7.669E-07 1.477E-07 5.477E-09 7.532E-12 1.959E-20
    pm145   0.000E+00 2.849E-09 2.342E-09 1.926E-09 1.070E-09 4.021E-10 5.675E-11 1.130E-12 8.929E-18
    sm147   6.779E-09 6.779E-09 6.779E-09 6.779E-09 6.779E-09 6.779E-09 6.779E-09 6.779E-09 6.779E-09
    sm151   0.000E+00 1.558E-07 1.499E-07 1.443E-07 1.285E-07 1.060E-07 7.213E-08 3.339E-08 3.312E-09
    eu152   0.000E+00 3.584E-05 2.763E-05 2.131E-05 9.765E-06 2.661E-06 1.975E-07 1.088E-09 1.821E-16
    eu154   0.000E+00 1.860E-06 1.242E-06 8.298E-07 2.473E-07 3.290E-08 5.820E-10 1.822E-13 5.587E-24
    eu155   0.000E+00 2.453E-08 1.170E-08 5.578E-09 6.048E-10 1.491E-11 9.065E-15 3.350E-21 2.142E-40
    ho166m  0.000E+00 1.839E-09 1.834E-09 1.828E-09 1.813E-09 1.787E-09 1.736E-09 1.638E-09 1.378E-09
  total     1.122E+02 8.995E-04 6.674E-04 5.020E-04 2.210E-04 6.265E-05 1.410E-05 1.081E-05 1.064E-05
```

Figura B.22. “Output” de salida ORIGENS, 6ª Capa Hormigón (Ci/t)

```
=ORIGENS
0$$  A5 28 E
1$$  1  1T
JOSE CABRERA REACTOR CORE FULL OF W14X14 3,6% 235-U FUEL ASSEMBLIES
3$$  28 A3 0 A16 2 E
4** 0.633 0.00026 0.00000 E
54$$ A12 1 E 2T
35$$ 0  E 4T
56$$ 4  4  1  A13  56  5  3  0  2  1  1  E 5T
IRRADIATION CASE
HORMIGÓN 7 flujo Max
59** 1.250E6 E
60** 6.17 12.34 18.51 24.68  E
66$$ 2 A5 2 A9 2 E
73$$ 922350 922380 10000 30000 50000 70000 110000 130000 140000
150000 160000 170000 190000 200000 210000 220000 230000 240000
250000 260000 270000 280000 290000 300000 310000 330000 340000
350000 370000 380000 390000 400000 410000 420000 460000 470000
480000 500000 510000 550000 560000 570000 580000 620000 630000
650000 660000 670000 700000 710000 720000 730000 740000 820000
900000 920000
74** 747.299E3 20011.03E3 6100 20 20 120 7390 3.10E4 1.68E5 5.00E3
3.10E3 45 7.50E3 1.83E5 6.5 2121 103 109 377 3.90E4 9.8 38 25 75
9 8 0.92 2.4 35 438 18.2 71 4.3 10.3 3 0.2 0.3 7 1.8 1.3 950 13
24.3 2 0.55 0.41 2.3 0.9 1.4 0.27 2.2 0.44 1.4 61 3.5 2.7
75$$ 2R2 54R4  E 6T
56$$ 0  7  A10  4  A14  5  3  0  2  1  0  E 5T
POST_IRRADIATION. DECAY CASE
HORMIGÓN 7 flujo max
60** 5 10 25 50 100 200 500  E
65$$ F0 A4 1 A7 3R1 E
61** 5R1.00E-9 2R10000.0 E  6T
56$$ F0 T
END
```

Figura B.23. “Input” de entrada ORIGENS, 7ª Capa Hormigón

POST_IRRADIATION. DECAY CASE light elements
decay, following irradiation identified by: power= 2.605E-05mw, burnup=5.8718E-02mwd, flux= 1.25E+06n/cm**2-sec

nuclide radioactivity, curies
basis =HORMIGÓN 7 flujo max

	charge	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	0.000E+00	2.719E-04	2.053E-04	1.550E-04	6.668E-05	1.635E-05	9.834E-07	3.557E-09	1.683E-16
c 14	0.000E+00	1.497E-07	1.496E-07	1.495E-07	1.492E-07	1.488E-07	1.479E-07	1.461E-07	1.409E-07
cl 36	0.000E+00	8.110E-09	8.110E-09	8.110E-09	8.110E-09	8.109E-09	8.108E-09	8.106E-09	8.101E-09
k 40	6.441E-06	6.441E-06	6.441E-06	6.441E-06	6.441E-06	6.441E-06	6.441E-06	6.441E-06	6.441E-06
ca 41	0.000E+00	9.693E-07	9.693E-07	9.693E-07	9.692E-07	9.690E-07	9.687E-07	9.680E-07	9.661E-07
fe 55	0.000E+00	8.491E-06	2.385E-06	6.702E-07	1.486E-08	2.600E-11	7.963E-17	7.467E-28	0.000E+00
co 60	0.000E+00	3.887E-06	2.014E-06	1.043E-06	1.450E-07	5.410E-09	7.529E-12	1.458E-17	1.060E-34
ni 59	0.000E+00	1.504E-09	1.504E-09	1.504E-09	1.504E-09	1.503E-09	1.503E-09	1.501E-09	1.497E-09
ni 63	0.000E+00	1.591E-07	1.536E-07	1.484E-07	1.338E-07	1.125E-07	7.958E-08	3.982E-08	4.987E-09
rb 87	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07
ag108m	0.000E+00	1.114E-09	1.084E-09	1.055E-09	9.718E-10	8.478E-10	6.453E-10	3.739E-10	7.272E-11
cs134	0.000E+00	6.461E-09	1.203E-09	2.240E-10	1.446E-12	3.236E-16	1.621E-23	4.059E-38	0.000E+00
ba133	0.000E+00	1.337E-06	9.620E-07	6.920E-07	2.575E-07	4.960E-08	1.839E-09	2.529E-12	6.580E-21
sm147	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09
sm151	0.000E+00	5.233E-08	5.036E-08	4.845E-08	4.317E-08	3.561E-08	2.422E-08	1.121E-08	1.112E-09
eu152	0.000E+00	1.204E-05	9.281E-06	7.156E-06	3.280E-06	8.936E-07	6.633E-08	3.655E-10	6.116E-17
eu154	0.000E+00	6.245E-07	4.172E-07	2.787E-07	8.307E-08	1.105E-08	1.955E-10	6.118E-14	1.876E-24
eu155	0.000E+00	8.238E-09	3.928E-09	1.873E-09	2.031E-10	5.008E-12	3.044E-15	1.125E-21	1.071E-40
total	1.122E+02	3.069E-04	2.290E-04	1.734E-04	7.906E-05	2.589E-05	9.580E-06	8.476E-06	8.420E-06

Figura B.24. “Output” de salida ORIGENS, 7ª Capa Hormigón (Ci/t)

```
=ORIGENS
0$$  A5 28 E
1$$  1  1T
JOSE CABRERA REACTOR CORE FULL OF W14X14 3,6% 235-U FUEL ASSEMBLIES
3$$  28 A3 0 A16 2 E
4** 0.633 0.00026 0.00000 E
54$$ A12 1 E 2T
35$$ 0  E 4T
56$$ 4  4  1  A13  56  5  3  0  2  1  1  E 5T
IRRADIATION CASE
HORMIGÓN 8 flujo Max
59** 3.842E5 E
60** 6.17 12.34 18.51 24.68  E
66$$ 2 A5 2 A9 2 E
73$$ 922350 922380 10000 30000 50000 70000 110000 130000 140000
150000 160000 170000 190000 200000 210000 220000 230000 240000
250000 260000 270000 280000 290000 300000 310000 330000 340000
350000 370000 380000 390000 400000 410000 420000 460000 470000
480000 500000 510000 550000 560000 570000 580000 620000 630000
650000 660000 670000 700000 710000 720000 730000 740000 820000
900000 920000
74** 747.299E3 20011.03E3 6100 20 20 120 7390 3.10E4 1.68E5 5.00E3
3.10E3 45 7.50E3 1.83E5 6.5 2121 103 109 377 3.90E4 9.8 38 25 75
9 8 0.92 2.4 35 438 18.2 71 4.3 10.3 3 0.2 0.3 7 1.8 1.3 950 13
24.3 2 0.55 0.41 2.3 0.9 1.4 0.27 2.2 0.44 1.4 61 3.5 2.7
75$$ 2R2 54R4  E 6T
56$$ 0  7  A10  4  A14  5  3  0  2  1  0  E 5T
POST_IRRADIATION. DECAY CASE
HORMIGÓN 8 flujo max
60** 5 10 25 50 100 200 500  E
65$$ F0 A4 1 A7 3R1 E
61** 5R1.00E-9 2R10000.0 E  6T
56$$ F0 T
END
```

Figura B.25. “Input” de entrada ORIGENS, 8ª Capa Hormigón

```
  POST_IRRADIATION. DECAY CASE                                                                                    light
elements
decay, following irradiation identified by: power= 8.008E-06mw, burnup=1.8048E-02mwd, flux=
3.84E+05n/cm**2-sec

                                                nuclide radioactivity, curies
                                                basis =HORMIGÓN 8 flujo max
              charge  discharge     5.0 y    10.0 y    25.0 y    50.0 y   100.0 y   200.0 y   500.0 y
     h  3   0.000E+00 8.357E-05 6.309E-05 4.763E-05 2.049E-05 5.026E-06 3.023E-07 1.093E-09 5.173E-17
     c 14   0.000E+00 4.600E-08 4.598E-08 4.595E-08 4.587E-08 4.573E-08 4.545E-08 4.490E-08 4.330E-08
    cl 36   0.000E+00 2.493E-09 2.493E-09 2.493E-09 2.493E-09 2.492E-09 2.492E-09 2.492E-09 2.490E-09
     k 40   6.441E-06 6.441E-06 6.441E-06 6.441E-06 6.441E-06 6.441E-06 6.441E-06 6.441E-06 6.441E-06
    ca 41   0.000E+00 2.979E-07 2.979E-07 2.979E-07 2.979E-07 2.978E-07 2.977E-07 2.975E-07 2.969E-07
    fe 55   0.000E+00 2.610E-06 7.332E-07 2.060E-07 4.567E-09 7.992E-12 2.447E-17 2.295E-28 0.000E+00
    co 60   0.000E+00 1.195E-06 6.189E-07 3.206E-07 4.457E-08 1.663E-09 2.314E-12 4.482E-18 3.257E-35
    ni 63   0.000E+00 4.889E-08 4.722E-08 4.562E-08 4.112E-08 3.458E-08 2.446E-08 1.224E-08 1.533E-09
    rb 87   8.482E-07 8.482E-07 8.482E-07 8.482E-07 8.482E-07 8.482E-07 8.482E-07 8.482E-07 8.482E-07
    ba133   0.000E+00 4.111E-07 2.957E-07 2.127E-07 7.916E-08 1.524E-08 5.653E-10 7.775E-13 2.022E-21
    sm147   6.779E-09 6.779E-09 6.779E-09 6.779E-09 6.779E-09 6.779E-09 6.779E-09 6.779E-09 6.779E-09
    sm151   0.000E+00 1.609E-08 1.548E-08 1.489E-08 1.327E-08 1.094E-08 7.446E-09 3.446E-09 3.418E-10
    eu152   0.000E+00 3.700E-06 2.853E-06 2.199E-06 1.008E-06 2.746E-07 2.039E-08 1.123E-10 1.880E-17
    eu154   0.000E+00 1.919E-07 1.282E-07 8.565E-08 2.553E-08 3.396E-09 6.008E-11 1.881E-14 5.767E-25
    eu155   0.000E+00 2.532E-09 1.207E-09 5.757E-10 6.243E-11 1.539E-12 9.357E-16 3.458E-22 0.000E+00
  total     1.122E+02 9.939E-05 7.543E-05 5.836E-05 2.935E-05 1.301E-05 7.998E-06 7.659E-06 7.642E-06
```

Figura B.26. “Output” de salida ORIGENS, 8ª Capa Hormigón (Ci/t)

```
=ORIGENS
0$$  A5 28 E
1$$  1  1T
JOSE CABRERA REACTOR CORE FULL OF W14X14 3,6% 235-U FUEL ASSEMBLIES
3$$  28 A3 0 A16 2 E
4** 0.633 0.00026 0.00000 E
54$$ A12 1 E 2T
35$$ 0  E 4T
56$$ 4  4  1  A13  56  5  3  0  2  1  1  E 5T
IRRADIATION CASE
HORMIGÓN 9 flujo Max
59** 1.374E5 E
60** 6.17 12.34 18.51 24.68  E
66$$ 2 A5 2 A9 2 E
73$$ 922350 922380 10000 30000 50000 70000 110000 130000 140000
150000 160000 170000 190000 200000 210000 220000 230000 240000
250000 260000 270000 280000 290000 300000 310000 330000 340000
350000 370000 380000 390000 400000 410000 420000 460000 470000
480000 500000 510000 550000 560000 570000 580000 620000 630000
650000 660000 670000 700000 710000 720000 730000 740000 820000
900000 920000
74** 747.299E3 20011.03E3 6100 20 20 120 7390 3.10E4 1.68E5 5.00E3
3.10E3 45 7.50E3 1.83E5 6.5 2121 103 109 377 3.90E4 9.8 38 25 75
9 8 0.92 2.4 35 438 18.2 71 4.3 10.3 3 0.2 0.3 7 1.8 1.3 950 13
24.3 2 0.55 0.41 2.3 0.9 1.4 0.27 2.2 0.44 1.4 61 3.5 2.7
75$$ 2R2 54R4  E 6T
56$$ 0  7  A10  4  A14  5  3  0  2  1  0  E 5T
POST_IRRADIATION. DECAY CASE
HORMIGÓN 9 flujo max
60** 5 10 25 50 100 200 500  E
65$$ F0 A4 1 A7 3R1 E
61** 5R1.00E-9 2R10000.0 E  6T
56$$ F0 T
END
```

Figura B.27. “Input” de entrada ORIGENS, 9ª Capa Hormigón

POST_IRRADIATION. DECAY CASE light elements
decay, following irradiation identified by: power= 2.864E-06mw, burnup=6.4543E-03mwd, flux= 1.37E+05n/cm**2-sec

nuclide radioactivity, curies
basis =HORMIGÓN 9 flujo max

	charge	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	0.000E+00	2.989E-05	2.256E-05	1.703E-05	7.330E-06	1.797E-06	1.081E-07	3.910E-10	1.850E-17
c 14	0.000E+00	1.645E-08	1.644E-08	1.643E-08	1.640E-08	1.635E-08	1.625E-08	1.606E-08	1.549E-08
k 40	6.441E-06	6.441E-06	6.441E-06	6.441E-06	6.441E-06	6.441E-06	6.441E-06	6.441E-06	6.441E-06
ca 41	0.000E+00	1.066E-07	1.065E-07	1.065E-07	1.065E-07	1.065E-07	1.065E-07	1.064E-07	1.062E-07
fe 55	0.000E+00	9.333E-07	2.622E-07	7.366E-08	1.633E-09	2.858E-12	8.752E-18	8.208E-29	0.000E+00
co 60	0.000E+00	4.273E-07	2.213E-07	1.147E-07	1.594E-08	5.947E-10	8.276E-13	1.603E-18	1.165E-35
ni 63	0.000E+00	1.748E-08	1.689E-08	1.631E-08	1.470E-08	1.237E-08	8.747E-09	4.377E-09	5.481E-10
rb 87	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07	8.482E-07
ba133	0.000E+00	1.470E-07	1.057E-07	7.606E-08	2.831E-08	5.452E-09	2.022E-10	2.780E-13	7.232E-22
sm147	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09	6.779E-09
sm151	0.000E+00	5.752E-09	5.535E-09	5.326E-09	4.745E-09	3.914E-09	2.663E-09	1.233E-09	1.222E-10
eu152	0.000E+00	1.323E-06	1.020E-06	7.865E-07	3.605E-07	9.822E-08	7.291E-09	4.018E-11	6.723E-18
eu154	0.000E+00	6.864E-08	4.585E-08	3.063E-08	9.131E-09	1.214E-09	2.149E-11	6.725E-15	2.062E-25
total	1.122E+02	4.023E-05	3.166E-05	2.556E-05	1.518E-05	9.340E-06	7.547E-06	7.426E-06	7.420E-06

Figura B.28. “Output” de salida ORIGENS, 9ª Capa Hormigón (Ci/t)

```
=ORIGENS
0$$  A5 28 E
1$$  1  1T
JOSE CABRERA REACTOR CORE FULL OF W14X14 3,6% 235-U FUEL ASSEMBLIES
3$$  28 A3 0 A16 2 E
4** 0.63300 0.43281 0.01892 E
54$$ A12 1 E 2T
35$$ 0  E 4T
56$$ 4  4  1  A13  37  5  3  0  2  1  1  E 5T
IRRADIATION CASE
ARMADURA 191-215.4 flujo Max
59** 4.58325E9 E
60** 6.17 12.34 18.51 24.68  E
66$$ 2 A5 2 A9 2 E
73$$ 922350 922380 30000 70000 110000 130000 190000 200000 210000
220000 230000 240000 250000 260000 270000 280000 290000 300000
330000 350000 370000 380000 420000 470000 510000 550000 560000
570000 620000 630000 670000 710000 720000 730000 740000 900000
920000
74** 747.299E3 20011.03E3 0.1 77 7.2 180 40 50 0.1 700 201 1.31E3
9.40E3 9.80E5 103 1070 2980 67 129 1.1 20 0.4 218 4.2 47 0.6 400
0.3 0.04 0.09 0.04 0.6 0.8 0.6 15 0.6 0.9
75$$ 2R2 35R4  E 6T
56$$ 0  7  A10  4  A14  5  3  0  2  1  0  E 5T
POST_IRRADIATION. DECAY CASE
ARMADURA 191-215.4 flujo max
60** 5 10 25 50 100 200 500  E
65$$ F0 A4 1 A7 3R1 E
61** 5R1.00E-9 2R10000.0 E  6T
56$$ F0 T
END
```

Figura B.29. “Input” de entrada ORIGENS, 1ª Capa Armadura

POST_IRRADIATION. DECAY CASE light elements decay, following irradiation identified by: power= 9.691E-02mw, burnup=2.1841E+02mwd, flux= 4.58E+09n/cm**2-sec

nuclide radioactivity, curies
basis =ARMADURA 191-215.4 flujo max

	charge	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	0.000E+00	5.037E-03	3.803E-03	2.871E-03	1.235E-03	3.029E-04	1.822E-05	6.589E-08	3.117E-15
c 14	0.000E+00	3.573E-04	3.571E-04	3.569E-04	3.562E-04	3.551E-04	3.530E-04	3.488E-04	3.363E-04
cl 36	0.000E+00	8.894E-09	8.894E-09	8.894E-09	8.893E-09	8.893E-09	8.892E-09	8.890E-09	8.884E-09
ar 39	0.000E+00	3.204E-06	3.163E-06	3.122E-06	3.004E-06	2.816E-06	2.476E-06	1.914E-06	8.833E-07
k 40	3.435E-08	3.467E-08	3.467E-08	3.467E-08	3.467E-08	3.467E-08	3.467E-08	3.467E-08	3.467E-08
ca 41	0.000E+00	9.846E-07	9.846E-07	9.845E-07	9.844E-07	9.843E-07	9.839E-07	9.833E-07	9.813E-07
fe 55	0.000E+00	7.936E-01	2.230E-01	6.264E-02	1.389E-03	2.430E-06	7.442E-12	6.979E-23	0.000E+00
co 60	0.000E+00	1.594E-01	8.259E-02	4.279E-02	5.948E-03	2.219E-04	3.088E-07	5.981E-13	4.346E-30
ni 59	0.000E+00	1.572E-04	1.571E-04	1.571E-04	1.571E-04	1.571E-04	1.570E-04	1.569E-04	1.564E-04
ni 63	0.000E+00	1.662E-02	1.605E-02	1.551E-02	1.398E-02	1.175E-02	8.315E-03	4.160E-03	5.210E-04
kr 85	0.000E+00	1.611E-09	1.166E-09	8.437E-10	3.198E-10	6.351E-11	2.504E-12	3.894E-15	1.464E-23
rb 87	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07
nb 93m	0.000E+00	5.574E-07	6.278E-07	6.844E-07	7.956E-07	8.740E-07	9.029E-07	8.901E-07	8.388E-07
mo 93	0.000E+00	1.124E-06	1.123E-06	1.122E-06	1.119E-06	1.113E-06	1.102E-06	1.081E-06	1.018E-06
tc 99	0.000E+00	2.008E-07	2.008E-07	2.008E-07	2.008E-07	2.007E-07	2.007E-07	2.006E-07	2.005E-07
ag108	0.000E+00	8.114E-06	7.895E-06	7.683E-06	7.079E-06	6.176E-06	4.701E-06	2.724E-06	5.297E-07
ag108m	0.000E+00	9.326E-05	9.075E-05	8.831E-05	8.136E-05	7.099E-05	5.403E-05	3.130E-05	6.088E-06
cs134	0.000E+00	1.458E-05	2.715E-06	5.055E-07	3.263E-09	7.304E-13	3.659E-20	9.179E-35	0.000E+00
ba133	0.000E+00	2.112E-03	1.519E-03	1.093E-03	4.066E-04	7.831E-05	2.904E-06	3.994E-09	1.039E-17
pm145	0.000E+00	7.304E-08	6.005E-08	4.937E-08	2.744E-08	1.031E-08	1.455E-09	2.897E-11	2.289E-16
sm151	0.000E+00	4.171E-06	4.013E-06	3.862E-06	3.440E-06	2.838E-06	1.931E-06	8.936E-07	8.863E-08
eu152	0.000E+00	7.238E-03	5.580E-03	4.303E-03	1.972E-03	5.373E-04	3.988E-05	2.198E-07	3.678E-14
eu154	0.000E+00	4.260E-04	2.845E-04	1.901E-04	5.666E-05	7.536E-06	1.333E-07	4.173E-11	1.280E-21
eu155	0.000E+00	9.050E-07	4.316E-07	2.058E-07	2.231E-08	5.502E-10	3.345E-13	1.236E-19	6.211E-39
ho166m	0.000E+00	1.313E-07	1.309E-07	1.305E-07	1.294E-07	1.276E-07	1.239E-07	1.170E-07	9.836E-08
total	1.530E+02	9.851E-01	3.334E-01	1.300E-01	2.560E-02	1.350E-02	8.953E-03	4.707E-03	1.025E-03

Figura B.30. “Output” de salida ORIGENS, 1ª Capa Armadura (Ci/t)

```
=ORIGENS
0$$  A5 28 E
1$$  1  1T
JOSE CABRERA REACTOR CORE FULL OF W14X14 3,6% 235-U FUEL ASSEMBLIES
3$$  28 A3 0 A16 2 E
4** 0.63300 0.04808 0.00101 E
54$$ A12 1 E 2T
35$$ 0  E 4T
56$$ 4  4  1  A13  37  5  3  0  2  1  1  E 5T
IRRADIATION CASE
ARMADURA 215.4-239.8 flujo Max
59** 3.186E9 E
60** 6.17 12.34 18.51 24.68  E
66$$ 2 A5 2 A9 2 E
73$$ 922350 922380 30000 70000 110000 130000 190000 200000 210000
220000 230000 240000 250000 260000 270000 280000 290000 300000
330000 350000 370000 380000 420000 470000 510000 550000 560000
570000 620000 630000 670000 710000 720000 730000 740000 900000
920000
74** 747.299E3 20011.03E3 0.1 77 7.2 180 40 50 0.1 700 201 1.31E3
9.40E3 9.80E5 103 1070 2980 67 129 1.1 20 0.4 218 4.2 47 0.6 400
0.3 0.04 0.09 0.04 0.6 0.8 0.6 15 0.6 0.9
75$$ 2R2 35R4  E 6T
56$$ 0  7  A10  4  A14  5  3  0  2  1  0  E 5T
POST_IRRADIATION. DECAY CASE
ARMADURA 215.4-239.8 flujo max
60** 5 10 25 50 100 200 500  E
65$$ F0 A4 1 A7 3R1 E
61** 5R1.00E-9 2R10000.0 E  6T
56$$ F0 T
END
```

Figura B.31. “Input” de entrada ORIGENS, 2ª Capa Armadura

POST_IRRADIATION. DECAY CASE light elements decay, following irradiation identified by: power= 6.650E-02mw, burnup=1.4988E+02mwd, flux= 3.19E+09n/cm**2-sec

nuclide radioactivity, curies
basis =ARMADURA 215.4-239.8 flujo max

	charge	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	0.000E+00	3.469E-03	2.619E-03	1.977E-03	8.507E-04	2.086E-04	1.255E-05	4.538E-08	2.147E-15
c 14	0.000E+00	2.452E-04	2.450E-04	2.449E-04	2.444E-04	2.437E-04	2.422E-04	2.393E-04	2.308E-04
cl 36	0.000E+00	5.950E-09	5.950E-09	5.950E-09	5.950E-09	5.950E-09	5.949E-09	5.948E-09	5.943E-09
ar 39	0.000E+00	1.287E-07	1.270E-07	1.254E-07	1.207E-07	1.131E-07	9.946E-08	7.686E-08	3.548E-08
k 40	3.435E-08	3.457E-08	3.457E-08	3.457E-08	3.457E-08	3.457E-08	3.457E-08	3.457E-08	3.457E-08
ca 41	0.000E+00	6.761E-07	6.761E-07	6.760E-07	6.760E-07	6.759E-07	6.756E-07	6.752E-07	6.738E-07
fe 55	0.000E+00	5.447E-01	1.530E-01	4.299E-02	9.532E-04	1.668E-06	5.108E-12	4.790E-23	0.000E+00
co 60	0.000E+00	1.049E-01	5.433E-02	2.814E-02	3.912E-03	1.460E-04	2.031E-07	3.934E-13	2.859E-30
ni 59	0.000E+00	1.081E-04	1.081E-04	1.081E-04	1.081E-04	1.080E-04	1.080E-04	1.079E-04	1.076E-04
ni 63	0.000E+00	1.143E-02	1.104E-02	1.066E-02	9.612E-03	8.084E-03	5.718E-03	2.861E-03	3.583E-04
rb 87	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07
nb 93m	0.000E+00	1.536E-07	1.730E-07	1.886E-07	2.193E-07	2.409E-07	2.489E-07	2.453E-07	2.312E-07
mo 93	0.000E+00	3.099E-07	3.096E-07	3.093E-07	3.083E-07	3.068E-07	3.038E-07	2.978E-07	2.806E-07
tc 99	0.000E+00	5.745E-08	5.745E-08	5.745E-08	5.744E-08	5.744E-08	5.743E-08	5.741E-08	5.735E-08
ag108	0.000E+00	5.237E-06	5.096E-06	4.959E-06	4.569E-06	3.986E-06	3.034E-06	1.758E-06	3.419E-07
ag108m	0.000E+00	6.019E-05	5.857E-05	5.700E-05	5.252E-05	4.582E-05	3.487E-05	2.021E-05	3.930E-06
cs134	0.000E+00	7.881E-06	1.467E-06	2.732E-07	1.764E-09	3.947E-13	1.977E-20	4.961E-35	0.000E+00
ba133	0.000E+00	1.439E-03	1.035E-03	7.444E-04	2.771E-04	5.335E-05	1.979E-06	2.721E-09	7.078E-18
pm145	0.000E+00	4.899E-08	4.028E-08	3.312E-08	1.841E-08	6.914E-09	9.758E-10	1.944E-11	1.536E-16
sm151	0.000E+00	2.767E-06	2.662E-06	2.562E-06	2.282E-06	1.882E-06	1.281E-06	5.928E-07	5.880E-08
eu152	0.000E+00	5.008E-03	3.861E-03	2.977E-03	1.364E-03	3.718E-04	2.760E-05	1.521E-07	2.545E-14
eu154	0.000E+00	2.643E-04	1.765E-04	1.179E-04	3.515E-05	4.675E-06	8.272E-08	2.589E-11	7.940E-22
eu155	0.000E+00	5.041E-07	2.404E-07	1.146E-07	1.243E-08	3.065E-10	1.863E-13	6.885E-20	3.427E-39
ho166m	0.000E+00	7.232E-08	7.211E-08	7.190E-08	7.128E-08	7.026E-08	6.826E-08	6.443E-08	5.418E-08
total	1.530E+02	6.716E-01	2.265E-01	8.803E-02	1.742E-02	9.275E-03	6.152E-03	3.233E-03	7.029E-04

Figura B.32. “Output” de salida ORIGENS, 2ª Capa Armadura (Ci/t)

```
=ORIGENS
0$$  A5 28 E
1$$  1  1T
JOSE CABRERA REACTOR CORE FULL OF W14X14 3,6% 235-U FUEL ASSEMBLIES
3$$  28 A3 0 A16 2 E
4** 0.63300 0.01060 0.00029 E
54$$ A12 1 E 2T
35$$ 0  E 4T
56$$ 4  4  1  A13  37  5  3  0  2  1  1  E 5T
IRRADIATION CASE
ARMADURA 3 flujo Max
59** 3.116E8 E
60** 6.17 12.34 18.51 24.68  E
66$$ 2 A5 2 A9 2 E
73$$ 922350 922380 30000 70000 110000 130000 190000 200000 210000
220000 230000 240000 250000 260000 270000 280000 290000 300000
330000 350000 370000 380000 420000 470000 510000 550000 560000
570000 620000 630000 670000 710000 720000 730000 740000 900000
920000
74** 747.299E3 20011.03E3 0.1 77 7.2 180 40 50 0.1 700 201 1.31E3
9.40E3 9.80E5 103 1070 2980 67 129 1.1 20 0.4 218 4.2 47 0.6 400
0.3 0.04 0.09 0.04 0.6 0.8 0.6 15 0.6 0.9
75$$ 2R2 35R4  E 6T
56$$ 0  7  A10  4  A14  5  3  0  2  1  0  E 5T
POST_IRRADIATION. DECAY CASE
ARMADURA 3 flujo max
60** 5 10 25 50 100 200 500  E
65$$ F0 A4 1 A7 3R1 E
61** 5R1.00E-9 2R10000.0 E  6T
56$$ F0 T
END
```

Figura B.33. “Input” de entrada ORIGENS, 3ª Capa Armadura

POST_IRRADIATION. DECAY CASE light elements decay, following irradiation identified by: power= 6.497E-03mw, burnup=1.4642E+01mwd, flux= 3.12E+08n/cm**2-sec

nuclide radioactivity, curies
basis =ARMADURA 3 flujo max

	charge	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	0.000E+00	3.390E-04	2.559E-04	1.932E-04	8.313E-05	2.039E-05	1.226E-06	4.434E-09	2.098E-16
c 14	0.000E+00	2.395E-05	2.393E-05	2.392E-05	2.388E-05	2.380E-05	2.366E-05	2.338E-05	2.254E-05
ar 39	0.000E+00	3.491E-09	3.447E-09	3.403E-09	3.274E-09	3.069E-09	2.698E-09	2.085E-09	9.625E-10
k 40	3.435E-08	3.437E-08	3.437E-08	3.437E-08	3.437E-08	3.437E-08	3.437E-08	3.437E-08	3.437E-08
ca 41	0.000E+00	6.604E-08	6.604E-08	6.604E-08	6.603E-08	6.602E-08	6.600E-08	6.595E-08	6.582E-08
fe 55	0.000E+00	5.321E-02	1.495E-02	4.199E-03	9.311E-05	1.629E-07	4.989E-13	4.679E-24	0.000E+00
co 60	0.000E+00	1.020E-02	5.284E-03	2.737E-03	3.805E-04	1.420E-05	1.976E-08	3.827E-14	2.780E-31
ni 59	0.000E+00	1.056E-05	1.056E-05	1.056E-05	1.056E-05	1.056E-05	1.055E-05	1.054E-05	1.051E-05
ni 63	0.000E+00	1.117E-03	1.079E-03	1.042E-03	9.392E-04	7.899E-04	5.587E-04	2.795E-04	3.501E-05
rb 87	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07
nb 93m	0.000E+00	1.282E-08	1.444E-08	1.574E-08	1.830E-08	2.010E-08	2.077E-08	2.047E-08	1.929E-08
mo 93	0.000E+00	2.586E-08	2.583E-08	2.581E-08	2.573E-08	2.560E-08	2.535E-08	2.485E-08	2.342E-08
tc 99	0.000E+00	4.837E-09	4.837E-09	4.837E-09	4.837E-09	4.837E-09	4.836E-09	4.834E-09	4.829E-09
ag108	0.000E+00	5.083E-07	4.947E-07	4.813E-07	4.435E-07	3.869E-07	2.945E-07	1.706E-07	3.319E-08
ag108m	0.000E+00	5.843E-06	5.686E-06	5.533E-06	5.098E-06	4.448E-06	3.385E-06	1.961E-06	3.815E-07
cs134	0.000E+00	7.493E-07	1.395E-07	2.598E-08	1.677E-10	3.753E-14	1.880E-21	4.717E-36	0.000E+00
ba133	0.000E+00	1.404E-04	1.010E-04	7.266E-05	2.704E-05	5.208E-06	1.931E-07	2.656E-10	6.909E-19
pm145	0.000E+00	4.775E-09	3.926E-09	3.228E-09	1.794E-09	6.739E-10	9.511E-11	1.894E-12	1.497E-17
sm151	0.000E+00	2.620E-07	2.521E-07	2.426E-07	2.161E-07	1.783E-07	1.213E-07	5.614E-08	5.568E-09
eu152	0.000E+00	4.909E-04	3.785E-04	2.918E-04	1.338E-04	3.644E-05	2.705E-06	1.491E-08	2.495E-15
eu154	0.000E+00	2.556E-05	1.707E-05	1.140E-05	3.399E-06	4.521E-07	7.999E-09	2.504E-12	7.679E-23
eu155	0.000E+00	4.198E-08	2.002E-08	9.546E-09	1.035E-09	2.552E-11	1.551E-14	5.733E-21	3.212E-40
ho166m	0.000E+00	6.893E-09	6.873E-09	6.853E-09	6.794E-09	6.696E-09	6.506E-09	6.141E-09	5.163E-09
total	1.530E+02	6.556E-02	2.210E-02	8.589E-03	1.701E-03	9.068E-04	6.015E-04	3.163E-04	6.913E-05

Figura B.34. “Output” de salida ORIGENS, 3ª Capa Armadura (Ci/t)

```
=ORIGENS
0$$  A5 28 E
1$$  1  1T
JOSE CABRERA REACTOR CORE FULL OF W14X14 3,6% 235-U FUEL ASSEMBLIES
3$$  28 A3 0 A16 2 E
4** 0.63300 0.00157 0.00005 E
54$$ A12 1 E 2T
35$$ 0  E 4T
56$$ 4  4  1  A13  37  5  3  0  2  1  1  E 5T
IRRADIATION CASE
ARMADURA 4 flujo Max
59** 5.039E7 E
60** 6.17 12.34 18.51 24.68  E
66$$ 2 A5 2 A9 2 E
73$$ 922350 922380 30000 70000 110000 130000 190000 200000 210000
220000 230000 240000 250000 260000 270000 280000 290000 300000
330000 350000 370000 380000 420000 470000 510000 550000 560000
570000 620000 630000 670000 710000 720000 730000 740000 900000
920000
74** 747.299E3 20011.03E3 0.1 77 7.2 180 40 50 0.1 700 201 1.31E3
9.40E3 9.80E5 103 1070 2980 67 129 1.1 20 0.4 218 4.2 47 0.6 400
0.3 0.04 0.09 0.04 0.6 0.8 0.6 15 0.6 0.9
75$$ 2R2 35R4  E 6T
56$$ 0  7  A10  4  A14  5  3  0  2  1  0  E 5T
POST_IRRADIATION. DECAY CASE
ARMADURA 4 flujo max
60** 5 10 25 50 100 200 500  E
65$$ F0 A4 1 A7 3R1 E
61** 5R1.00E-9 2R10000.0 E  6T
56$$ F0 T
END
```

Figura B.35. “Input” de entrada ORIGENS, 4ª Capa Armadura

POST_IRRADIATION. DECAY CASE light elements decay, following irradiation identified by: power= 1.050E-03mw, burnup=2.3671E+00mwd, flux= 5.04E+07n/cm**2-sec

nuclide radioactivity, curies
basis =ARMADURA 4 flujo max

	charge	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	0.000E+00	5.481E-05	4.138E-05	3.124E-05	1.344E-05	3.296E-06	1.982E-07	7.170E-10	3.392E-17
c 14	0.000E+00	3.872E-06	3.869E-06	3.867E-06	3.860E-06	3.848E-06	3.825E-06	3.779E-06	3.645E-06
k 40	3.435E-08	3.435E-08	3.435E-08	3.435E-08	3.435E-08	3.435E-08	3.435E-08	3.435E-08	3.435E-08
ca 41	0.000E+00	1.068E-08	1.068E-08	1.068E-08	1.068E-08	1.067E-08	1.067E-08	1.066E-08	1.064E-08
fe 55	0.000E+00	8.602E-03	2.416E-03	6.789E-04	1.505E-05	2.634E-08	8.066E-14	7.564E-25	0.000E+00
co 60	0.000E+00	1.647E-03	8.533E-04	4.421E-04	6.145E-05	2.293E-06	3.191E-09	6.180E-15	4.490E-32
ni 59	0.000E+00	1.707E-06	1.707E-06	1.707E-06	1.707E-06	1.707E-06	1.706E-06	1.704E-06	1.699E-06
ni 63	0.000E+00	1.805E-04	1.744E-04	1.685E-04	1.518E-04	1.277E-04	9.033E-05	4.520E-05	5.661E-06
rb 87	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07
nb 93m	0.000E+00	1.987E-09	2.238E-09	2.440E-09	2.836E-09	3.116E-09	3.219E-09	3.173E-09	2.990E-09
mo 93	0.000E+00	4.008E-09	4.004E-09	4.000E-09	3.988E-09	3.968E-09	3.929E-09	3.852E-09	3.630E-09
ag108	0.000E+00	8.206E-08	7.985E-08	7.770E-08	7.159E-08	6.246E-08	4.754E-08	2.754E-08	5.357E-09
ag108m	0.000E+00	9.432E-07	9.178E-07	8.931E-07	8.229E-07	7.179E-07	5.465E-07	3.166E-07	6.157E-08
cs134	0.000E+00	1.203E-07	2.241E-08	4.172E-09	2.693E-11	6.027E-15	3.019E-22	7.574E-37	0.000E+00
ba133	0.000E+00	2.270E-05	1.633E-05	1.175E-05	4.372E-06	8.419E-07	3.122E-08	4.294E-11	1.117E-19
sm151	0.000E+00	4.222E-08	4.063E-08	3.909E-08	3.482E-08	2.872E-08	1.954E-08	9.046E-09	8.972E-10
eu152	0.000E+00	7.940E-05	6.122E-05	4.720E-05	2.163E-05	5.894E-06	4.375E-07	2.411E-09	4.034E-16
eu154	0.000E+00	4.121E-06	2.753E-06	1.839E-06	5.482E-07	7.291E-08	1.290E-09	4.038E-13	1.238E-23
eu155	0.000E+00	6.664E-09	3.178E-09	1.515E-09	1.643E-10	4.051E-12	2.463E-15	9.101E-22	0.000E+00
ho166m	0.000E+00	1.108E-09	1.104E-09	1.101E-09	1.092E-09	1.076E-09	1.045E-09	9.867E-10	8.297E-10
total	1.530E+02	1.060E-02	3.573E-03	1.389E-03	2.754E-04	1.470E-04	9.769E-05	5.158E-05	1.161E-05

Figura B.36. “Output” de salida ORIGENS, 4ª Capa Armadura (Ci/t)

```
=ORIGENS
0$$  A5 28 E
1$$  1  1T
JOSE CABRERA REACTOR CORE FULL OF W14X14 3,6% 235-U FUEL ASSEMBLIES
3$$  28 A3 0 A16 2 E
4** 0.63300 0.00036 0.00001 E
54$$ A12 1 E 2T
35$$ 0  E 4T
56$$ 4  4  1  A13  37  5  3  0  2  1  1  E 5T
IRRADIATION CASE
ARMADURA 5 flujo Max
59** 1.414E7 E
60** 6.17 12.34 18.51 24.68  E
66$$ 2 A5 2 A9 2 E
73$$ 922350 922380 30000 70000 110000 130000 190000 200000 210000
220000 230000 240000 250000 260000 270000 280000 290000 300000
330000 350000 370000 380000 420000 470000 510000 550000 560000
570000 620000 630000 670000 710000 720000 730000 740000 900000
920000
74** 747.299E3 20011.03E3 0.1 77 7.2 180 40 50 0.1 700 201 1.31E3
9.40E3 9.80E5 103 1070 2980 67 129 1.1 20 0.4 218 4.2 47 0.6 400
0.3 0.04 0.09 0.04 0.6 0.8 0.6 15 0.6 0.9
75$$ 2R2 35R4  E 6T
56$$ 0  7  A10  4  A14  5  3  0  2  1  0  E 5T
POST_IRRADIATION. DECAY CASE
ARMADURA 5 flujo max
60** 5 10 25 50 100 200 500  E
65$$ F0 A4 1 A7 3R1 E
61** 5R1.00E-9 2R10000.0 E  6T
56$$ F0 T
END
```

Figura B.37. “Input” de entrada ORIGENS, 5ª Capa Armadura

```
    POST_IRRADIATION. DECAY CASE                                                                    light
elements
decay, following irradiation identified by: power= 2.947E-04mw, burnup=6.6422E-01mwd, flux=
1.41E+07n/cm**2-sec

                                                nuclide radioactivity, curies
                                                basis =ARMADURA 5 flujo max
              charge  discharge     5.0 y    10.0 y    25.0 y    50.0 y   100.0 y   200.0 y   500.0 y
     h  3   0.000E+00 1.538E-05 1.161E-05 8.765E-06 3.771E-06 9.249E-07 5.562E-08 2.012E-10 9.518E-18
     c 14   0.000E+00 1.086E-06 1.086E-06 1.085E-06 1.083E-06 1.080E-06 1.073E-06 1.060E-06 1.023E-06
     k 40   3.435E-08 3.435E-08 3.435E-08 3.435E-08 3.435E-08 3.435E-08 3.435E-08 3.435E-08 3.435E-08
    ca 41   0.000E+00 2.996E-09 2.996E-09 2.996E-09 2.995E-09 2.995E-09 2.994E-09 2.992E-09 2.986E-09
    fe 55   0.000E+00 2.414E-03 6.781E-04 1.905E-04 4.224E-06 7.391E-09 2.263E-14 2.122E-25 0.000E+00
    co 60   0.000E+00 4.622E-04 2.394E-04 1.240E-04 1.724E-05 6.432E-07 8.952E-10 1.734E-15 1.260E-32
    ni 59   0.000E+00 4.791E-07 4.791E-07 4.790E-07 4.790E-07 4.789E-07 4.786E-07 4.782E-07 4.769E-07
    ni 63   0.000E+00 5.066E-05 4.894E-05 4.727E-05 4.261E-05 3.584E-05 2.535E-05 1.268E-05 1.588E-06
    rb 87   4.847E-07 4.847E-07 4.847E-07 4.847E-07 4.847E-07 4.847E-07 4.847E-07 4.847E-07 4.847E-07
    mo 93   0.000E+00 1.118E-09 1.117E-09 1.116E-09 1.113E-09 1.107E-09 1.096E-09 1.075E-09 1.013E-09
    ag108   0.000E+00 2.302E-08 2.240E-08 2.180E-08 2.008E-08 1.752E-08 1.334E-08 7.727E-09 1.503E-09
    ag108m  0.000E+00 2.646E-07 2.575E-07 2.505E-07 2.309E-07 2.014E-07 1.533E-07 8.882E-08 1.727E-08
    cs134   0.000E+00 3.373E-08 6.281E-09 1.170E-09 7.550E-12 1.690E-15 8.464E-23 2.124E-37 0.000E+00
    ba133   0.000E+00 6.370E-06 4.582E-06 3.296E-06 1.227E-06 2.362E-07 8.760E-09 1.205E-11 3.134E-20
    sm151   0.000E+00 1.184E-08 1.139E-08 1.096E-08 9.768E-09 8.057E-09 5.481E-09 2.537E-09 2.516E-10
    eu152   0.000E+00 2.228E-05 1.718E-05 1.325E-05 6.071E-06 1.654E-06 1.228E-07 6.766E-10 1.132E-16
    eu154   0.000E+00 1.156E-06 7.722E-07 5.158E-07 1.538E-07 2.045E-08 3.618E-10 1.133E-13 3.473E-24
  total     1.530E+02 2.974E-03 1.003E-03 3.900E-04 7.764E-05 4.163E-05 2.779E-05 1.485E-05 3.632E-06
```

Figura B.38. “Output” de salida ORIGENS, 5ª Capa Armadura (Ci/t)

```
=ORIGENS
0$$  A5 28 E
1$$  1  1T
JOSE CABRERA REACTOR CORE FULL OF W14X14 3,6% 235-U FUEL ASSEMBLIES
3$$  28 A3 0 A16 2 E
4** 0.63300 0.00027 0.00000 E
54$$ A12 1 E 2T
35$$ 0  E 4T
56$$ 4  4  1  A13  37  5  3  0  2  1  1  E 5T
IRRADIATION CASE
ARMADURA 6 flujo Max
59** 3.722E6 E
60** 6.17 12.34 18.51 24.68  E
66$$ 2 A5 2 A9 2 E
73$$ 922350 922380 30000 70000 110000 130000 190000 200000 210000
220000 230000 240000 250000 260000 270000 280000 290000 300000
330000 350000 370000 380000 420000 470000 510000 550000 560000
570000 620000 630000 670000 710000 720000 730000 740000 900000
920000
74** 747.299E3 20011.03E3 0.1 77 7.2 180 40 50 0.1 700 201 1.31E3
9.40E3 9.80E5 103 1070 2980 67 129 1.1 20 0.4 218 4.2 47 0.6 400
0.3 0.04 0.09 0.04 0.6 0.8 0.6 15 0.6 0.9
75$$ 2R2 35R4  E 6T
56$$ 0  7  A10  4  A14  5  3  0  2  1  0  E 5T
POST_IRRADIATION. DECAY CASE
ARMADURA 6 flujo max
60** 5 10 25 50 100 200 500  E
65$$ F0 A4 1 A7 3R1 E
61** 5R1.00E-9 2R10000.0 E  6T
56$$ F0 T
END
```

Figura B.39. “Input” de entrada ORIGENS, 6ª Capa Armadura

```
POST_IRRADIATION. DECAY CASE                                                                    light
elements decay, following irradiation identified by: power= 7.758E-05mw, burnup=1.7484E-01mwd, flux=
3.72E+06n/cm**2-sec

                                                nuclide radioactivity, curies
                                                basis =ARMADURA 6 flujo max
              charge  discharge     5.0 y    10.0 y    25.0 y    50.0 y   100.0 y   200.0 y   500.0 y
     h  3   0.000E+00 4.048E-06 3.056E-06 2.307E-06 9.927E-07 2.435E-07 1.464E-08 5.296E-11 2.505E-18
     c 14   0.000E+00 2.860E-07 2.858E-07 2.856E-07 2.851E-07 2.842E-07 2.825E-07 2.791E-07 2.692E-07
     k 40   3.435E-08 3.435E-08 3.435E-08 3.435E-08 3.435E-08 3.435E-08 3.435E-08 3.435E-08 3.435E-08
    fe 55   0.000E+00 6.353E-04 1.785E-04 5.014E-05 1.112E-06 1.946E-09 5.958E-15 5.587E-26 0.000E+00
    co 60   0.000E+00 1.216E-04 6.302E-05 3.265E-05 4.538E-06 1.693E-07 2.356E-10 4.564E-16 3.316E-33
    ni 59   0.000E+00 1.261E-07 1.261E-07 1.261E-07 1.261E-07 1.260E-07 1.260E-07 1.259E-07 1.255E-07
    ni 63   0.000E+00 1.334E-05 1.288E-05 1.244E-05 1.122E-05 9.433E-06 6.672E-06 3.338E-06 4.181E-07
    rb 87   4.847E-07 4.847E-07 4.847E-07 4.847E-07 4.847E-07 4.847E-07 4.847E-07 4.847E-07 4.847E-07
    ag108   0.000E+00 6.059E-09 5.896E-09 5.738E-09 5.287E-09 4.612E-09 3.511E-09 2.034E-09 3.956E-10
    ag108m  0.000E+00 6.965E-08 6.777E-08 6.595E-08 6.076E-08 5.301E-08 4.035E-08 2.338E-08 4.547E-09
    cs134   0.000E+00 8.879E-09 1.653E-09 3.078E-10 1.987E-12 4.448E-16 2.228E-23 5.590E-38 0.000E+00
    ba133   0.000E+00 1.677E-06 1.206E-06 8.675E-07 3.229E-07 6.218E-08 2.306E-09 3.171E-12 8.249E-21
    sm151   0.000E+00 3.117E-09 2.999E-09 2.886E-09 2.571E-09 2.120E-09 1.443E-09 6.678E-10 6.623E-11
    eu152   0.000E+00 5.865E-06 4.522E-06 3.486E-06 1.598E-06 4.354E-07 3.232E-08 1.781E-10 2.980E-17
    eu154   0.000E+00 3.043E-07 2.033E-07 1.358E-07 4.047E-08 5.383E-09 9.524E-11 2.981E-14 9.142E-25
  total     1.530E+02 7.832E-04 2.644E-04 1.030E-04 2.082E-05 1.134E-05 7.697E-06 4.291E-06 1.339E-06
```

Figura B.40. “Output” de salida ORIGENS, 6ª Capa Armadura (Ci/t)

```
=ORIGENS
0$$  A5 28 E
1$$  1  1T
JOSE CABRERA REACTOR CORE FULL OF W14X14 3,6% 235-U FUEL ASSEMBLIES
3$$  28 A3 0 A16 2 E
4** 0.63300 0.00026 0.00000 E
54$$ A12 1 E 2T
35$$ 0  E 4T
56$$ 4  4  1  A13  37  5  3  0  2  1  1  E 5T
IRRADIATION CASE
ARMADURA 7 flujo Max
59** 1.250E6 E
60** 6.17 12.34 18.51 24.68  E
66$$ 2 A5 2 A9 2 E
73$$ 922350 922380 30000 70000 110000 130000 190000 200000 210000
220000 230000 240000 250000 260000 270000 280000 290000 300000
330000 350000 370000 380000 420000 470000 510000 550000 560000
570000 620000 630000 670000 710000 720000 730000 740000 900000
920000
74** 747.299E3 20011.03E3 0.1 77 7.2 180 40 50 0.1 700 201 1.31E3
9.40E3 9.80E5 103 1070 2980 67 129 1.1 20 0.4 218 4.2 47 0.6 400
0.3 0.04 0.09 0.04 0.6 0.8 0.6 15 0.6 0.9
75$$ 2R2 35R4  E 6T
56$$ 0  7  A10  4  A14  5  3  0  2  1  0  E 5T
POST_IRRADIATION. DECAY CASE
ARMADURA 7 flujo max
60** 5 10 25 50 100 200 500  E
65$$ F0 A4 1 A7 3R1 E
61** 5R1.00E-9 2R10000.0 E  6T
56$$ F0 T
END
```

Figura B.41. “Input” de entrada ORIGENS, 7ª Capa Armadura

POST_IRRADIATION. DECAY CASE light elements
decay, following irradiation identified by: power= 2.605E-05mw, burnup=5.8718E-02mwd, flux= 1.25E+06n/cm**2-sec

nuclide radioactivity, curies
basis =ARMADURA 7 flujo max

	charge	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	0.000E+00	1.360E-06	1.026E-06	7.749E-07	3.334E-07	8.176E-08	4.917E-09	1.778E-11	8.414E-19
c 14	0.000E+00	9.604E-08	9.598E-08	9.593E-08	9.575E-08	9.546E-08	9.489E-08	9.375E-08	9.040E-08
k 40	3.435E-08	3.435E-08	3.435E-08	3.435E-08	3.435E-08	3.435E-08	3.435E-08	3.435E-08	3.435E-08
fe 55	0.000E+00	2.134E-04	5.994E-05	1.684E-05	3.734E-07	6.534E-10	2.001E-15	1.876E-26	0.000E+00
co 60	0.000E+00	4.085E-05	2.116E-05	1.096E-05	1.524E-06	5.686E-08	7.913E-11	1.533E-16	1.114E-33
ni 59	0.000E+00	4.235E-08	4.235E-08	4.235E-08	4.234E-08	4.233E-08	4.231E-08	4.227E-08	4.216E-08
ni 63	0.000E+00	4.479E-06	4.326E-06	4.179E-06	3.767E-06	3.168E-06	2.241E-06	1.121E-06	1.404E-07
rb 87	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07	4.847E-07
ag108	0.000E+00	2.035E-09	1.980E-09	1.927E-09	1.775E-09	1.549E-09	1.179E-09	6.831E-10	1.329E-10
ag108m	0.000E+00	2.339E-08	2.276E-08	2.215E-08	2.041E-08	1.780E-08	1.355E-08	7.852E-09	1.527E-09
ba133	0.000E+00	5.631E-07	4.050E-07	2.914E-07	1.084E-07	2.088E-08	7.744E-10	1.065E-12	2.770E-21
sm151	0.000E+00	1.047E-09	1.007E-09	9.691E-10	8.633E-10	7.121E-10	4.845E-10	2.243E-10	2.224E-11
eu152	0.000E+00	1.970E-06	1.519E-06	1.171E-06	5.367E-07	1.462E-07	1.085E-08	5.981E-11	1.001E-17
eu154	0.000E+00	1.022E-07	6.826E-08	4.560E-08	1.359E-08	1.808E-09	3.199E-11	1.001E-14	3.070E-25
total	1.530E+02	2.634E-04	8.914E-05	3.495E-05	7.338E-06	4.154E-06	2.930E-06	1.787E-06	7.952E-07

Figura B.42. “Output” de salida ORIGENS, 7ª Capa Armadura (Ci/t)

```
=ORIGENS
0$$  A5 28 E
1$$  1  1T
JOSE CABRERA REACTOR CORE FULL OF W14X14 3,6% 235-U FUEL ASSEMBLIES
3$$  28 A3 0 A16 2 E
4** 0.63300 0.00026 0.00000 E
54$$ A12 1 E 2T
35$$ 0  E 4T
56$$ 4  4  1  A13  37  5  3  0  2  1  1  E 5T
IRRADIATION CASE
ARMADURA 8 flujo Max
59** 3.842E5 E
60** 6.17 12.34 18.51 24.68  E
66$$ 2 A5 2 A9 2 E
73$$ 922350 922380 30000 70000 110000 130000 190000 200000 210000
220000 230000 240000 250000 260000 270000 280000 290000 300000
330000 350000 370000 380000 420000 470000 510000 550000 560000
570000 620000 630000 670000 710000 720000 730000 740000 900000
920000
74** 747.299E3 20011.03E3 0.1 77 7.2 180 40 50 0.1 700 201 1.31E3
9.40E3 9.80E5 103 1070 2980 67 129 1.1 20 0.4 218 4.2 47 0.6 400
0.3 0.04 0.09 0.04 0.6 0.8 0.6 15 0.6 0.9
75$$ 2R2 35R4  E 6T
56$$ 0  7  A10  4  A14  5  3  0  2  1  0  E 5T
POST_IRRADIATION. DECAY CASE
ARMADURA 8 flujo max
60** 5 10 25 50 100 200 500  E
65$$ F0 A4 1 A7 3R1 E
61** 5R1.00E-9 2R10000.0 E  6T
56$$ F0 T
END
```

Figura B.43. “Input” de entrada ORIGENS, 8ª Capa Armadura

```
    POST_IRRADIATION. DECAY CASE                                                                    light
elements
decay, following irradiation identified by: power= 8.008E-06mw, burnup=1.8048E-02mwd, flux=
3.84E+05n/cm**2-sec

                                                nuclide radioactivity, curies
                                                basis =ARMADURA 8 flujo max
              charge  discharge     5.0 y    10.0 y    25.0 y    50.0 y   100.0 y   200.0 y   500.0 y
     h  3   0.000E+00 4.179E-07 3.155E-07 2.382E-07 1.025E-07 2.513E-08 1.511E-09 5.466E-12 2.586E-19
     c 14   0.000E+00 2.952E-08 2.950E-08 2.948E-08 2.943E-08 2.934E-08 2.916E-08 2.881E-08 2.779E-08
     k 40   3.435E-08 3.435E-08 3.435E-08 3.435E-08 3.435E-08 3.435E-08 3.435E-08 3.435E-08 3.435E-08
    fe 55   0.000E+00 6.558E-05 1.842E-05 5.176E-06 1.148E-07 2.008E-10 6.150E-16 5.767E-27 0.000E+00
    co 60   0.000E+00 1.256E-05 6.505E-06 3.370E-06 4.685E-07 1.748E-08 2.432E-11 4.711E-17 3.423E-34
    ni 59   0.000E+00 1.302E-08 1.302E-08 1.302E-08 1.301E-08 1.301E-08 1.301E-08 1.299E-08 1.296E-08
    ni 63   0.000E+00 1.377E-06 1.330E-06 1.284E-06 1.158E-06 9.737E-07 6.887E-07 3.446E-07 4.316E-08
    rb 87   4.847E-07 4.847E-07 4.847E-07 4.847E-07 4.847E-07 4.847E-07 4.847E-07 4.847E-07 4.847E-07
    ag108m  0.000E+00 7.189E-09 6.996E-09 6.807E-09 6.272E-09 5.472E-09 4.165E-09 2.413E-09 4.693E-10
    ba133   0.000E+00 1.731E-07 1.245E-07 8.955E-08 3.333E-08 6.418E-09 2.380E-10 3.274E-13 8.515E-22
    eu152   0.000E+00 6.054E-07 4.668E-07 3.599E-07 1.649E-07 4.494E-08 3.336E-09 1.838E-11 3.076E-18
    eu154   0.000E+00 3.141E-08 2.098E-08 1.402E-08 4.178E-09 5.557E-10 9.831E-12 3.077E-15 9.437E-26
  total     1.530E+02 8.131E-05 2.776E-05 1.110E-05 2.616E-06 1.637E-06 1.261E-06 9.093E-07 6.046E-07
```

Figura B.44. “Output” de salida ORIGENS, 8ª Capa Armadura (Ci/t)

```
=ORIGENS
0$$  A5 28 E
1$$  1  1T
JOSE CABRERA REACTOR CORE FULL OF W14X14 3,6% 235-U FUEL ASSEMBLIES
3$$  28 A3 0 A16 2 E
4** 0.63300 0.00026 0.00000 E
54$$ A12 1 E 2T
35$$ 0  E 4T
56$$ 4  4  1  A13  37  5  3  0  2  1  1  E 5T
IRRADIATION CASE
ARMADURA 9 flujo Max
59** 1.374E5 E
60** 6.17 12.34 18.51 24.68  E
66$$ 2 A5 2 A9 2 E
73$$ 922350 922380 30000 70000 110000 130000 190000 200000 210000
220000 230000 240000 250000 260000 270000 280000 290000 300000
330000 350000 370000 380000 420000 470000 510000 550000 560000
570000 620000 630000 670000 710000 720000 730000 740000 900000
920000
74** 747.299E3 20011.03E3 0.1 77 7.2 180 40 50 0.1 700 201 1.31E3
9.40E3 9.80E5 103 1070 2980 67 129 1.1 20 0.4 218 4.2 47 0.6 400
0.3 0.04 0.09 0.04 0.6 0.8 0.6 15 0.6 0.9
75$$ 2R2 35R4  E 6T
56$$ 0  7  A10  4  A14  5  3  0  2  1  0  E 5T
POST_IRRADIATION. DECAY CASE
ARMADURA 9 flujo max
60** 5 10 25 50 100 200 500  E
65$$ F0 A4 1 A7 3R1 E
61** 5R1.00E-9 2R10000.0 E  6T
56$$ F0 T
END
```

Figura B.45. “Input” de entrada ORIGENS, 9ª Capa Armadura

```
    POST_IRRADIATION. DECAY CASE                                                                    light
elements
decay, following irradiation identified by: power= 2.864E-06mw, burnup=6.4543E-03mwd, flux=
1.37E+05n/cm**2-sec

                                                nuclide radioactivity, curies
                                                basis =ARMADURA 9 flujo max
              charge  discharge     5.0 y    10.0 y    25.0 y    50.0 y   100.0 y   200.0 y   500.0 y
     h  3   0.000E+00 1.494E-07 1.128E-07 8.517E-08 3.665E-08 8.987E-09 5.405E-10 1.955E-12 9.249E-20
     c 14   0.000E+00 1.056E-08 1.055E-08 1.054E-08 1.052E-08 1.049E-08 1.043E-08 1.030E-08 9.937E-09
     k 40   3.435E-08 3.435E-08 3.435E-08 3.435E-08 3.435E-08 3.435E-08 3.435E-08 3.435E-08 3.435E-08
    fe 55   0.000E+00 2.345E-05 6.589E-06 1.851E-06 4.104E-08 7.182E-11 2.199E-16 2.062E-27 0.000E+00
    co 60   0.000E+00 4.491E-06 2.326E-06 1.205E-06 1.675E-07 6.250E-09 8.698E-12 1.685E-17 1.224E-34
    ni 59   0.000E+00 4.655E-09 4.655E-09 4.655E-09 4.654E-09 4.653E-09 4.651E-09 4.647E-09 4.634E-09
    ni 63   0.000E+00 4.923E-07 4.755E-07 4.594E-07 4.140E-07 3.482E-07 2.463E-07 1.232E-07 1.543E-08
    rb 87   4.847E-07 4.847E-07 4.847E-07 4.847E-07 4.847E-07 4.847E-07 4.847E-07 4.847E-07 4.847E-07
    ag108m  0.000E+00 2.571E-09 2.502E-09 2.435E-09 2.243E-09 1.957E-09 1.490E-09 8.631E-10 1.679E-10
    ba133   0.000E+00 6.190E-08 4.452E-08 3.203E-08 1.192E-08 2.295E-09 8.512E-11 1.171E-13 3.045E-22
    eu152   0.000E+00 2.165E-07 1.669E-07 1.287E-07 5.899E-08 1.607E-08 1.193E-09 6.575E-12 1.100E-18
    eu154   0.000E+00 1.123E-08 7.504E-09 5.012E-09 1.494E-09 1.987E-10 3.516E-12 1.101E-15 3.375E-26
  total     1.530E+02 2.941E-05 1.026E-05 4.304E-06 1.269E-06 9.195E-07 7.850E-07 6.592E-07 5.503E-07
```

Figura B.46. “Output” de salida ORIGENS, 9ª Capa Armadura (Ci/t)

Anexo C. Cálculos relacionados con el decaimiento de materiales

El método utilizado con cada una de las fichas “output” de salida del código de cálculo ORIGENS, es el siguiente:

- Selección de los radioisótopos más destacados, que representan aproximadamente el 98% de la actividad total del material.

- Conversión de los valores de éstos radioisótopos de Ci/t a Bq/g, donde 1 Ci = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Bq.

- Representación gráfica de los radioisótopos más destacados, y comparación con los límites individuales de RBMA *(Tabla 8.5.)*, para su posterior clasificación como RBMA o RAA.

- En el caso de cada una de las capas del hormigón o la armadura del blindaje biológico, se calcula el sumatorio de desclasificación *(Ec. 8.3.)*, utilizando los límites de desclasificación *(Tabla 8.6.)* extraídos mediante la *Ec. 8.4.* en cada año posterior al cese de explotación estudiado con el código ORIGENS (0, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500). A partir de estos valores se busca mediante interpolación la fecha aproximada de desclasificación de la capa y el material estudiados, con el objetivo de realizar la *Figura 8.15.*

A continuación se presentan los distintos radioisótopos elegidos y los límites de actividad para cada material y para cada año. Además en el caso del blindaje biológico, también se presenta el estudio del sumatorio de desclasificación, entre los años que hay cambio con respecto a su clasificación.

Radioisótopo	0	5	10	25	50	100	200	500
H 3	4,658E+05	3,518E+05	2,655E+05	1,143E+05	2,802E+04	1,684E+03	6,094E+00	2,884E-07
C 14	3,133E+05	3,131E+05	3,129E+05	3,124E+05	3,114E+05	3,095E+05	3,058E+05	2,949E+05
Fe 55	8,325E+07	2,339E+07	6,571E+06	1,457E+05	2,550E+02	7,807E-04	7,322E-15	0,000E+00
Co 60	3,774E+08	1,954E+08	1,012E+08	1,407E+07	5,250E+05	7,308E+02	1,416E-03	1,029E-20
Ni 59	1,847E+06	1,847E+06	1,847E+06	1,846E+06	1,846E+06	1,845E+06	1,843E+06	1,838E+06
Ni 63	2,105E+08	2,034E+08	1,964E+08	1,770E+08	1,489E+08	1,053E+08	5,269E+07	6,601E+06
Ba 133	3,205E+05	2,305E+05	1,658E+05	6,172E+04	1,188E+04	4,407E+02	6,061E-01	1,577E-09
Limite Ni 63	3,2375E+07	3,2375E+07	3,2375E+07	3,2375E+07	3,2375E+07	3,2375E+07	3,2375E+07	3,2375E+07

Tabla C.1. Decaimiento de la Camisa del Núcleo (Bq/g)

Radioisótopo	0	5	10	25	50	100	200	500
h 3	2,9467E+05	2,2244E+05	1,6794E+05	7,2261E+04	1,7719E+04	1,0656E+03	3,8554E+00	1,8237E-07
c 14	1,3009E+05	1,3002E+05	1,2994E+05	1,2969E+05	1,2932E+05	1,2854E+05	1,2698E+05	1,2247E+05
fe 55	3,5043E+07	9,8457E+06	2,7658E+06	6,1309E+04	1,0730E+02	3,2863E-04	3,0817E-15	0,0000E+00
co 60	1,4626E+08	7,5776E+07	3,9257E+07	5,4575E+06	2,0354E+05	2,8327E+02	5,4871E-04	3,9886E-21
ni 59	8,4804E+05	8,4804E+05	8,4804E+05	8,4804E+05	8,4767E+05	8,4730E+05	8,4656E+05	8,4434E+05
ni 63	9,2056E+07	8,8948E+07	8,5914E+07	7,7441E+07	6,5120E+07	4,6065E+07	2,3047E+07	2,8864E+06
ba 133	1,5052E+05	1,0826E+05	7,7885E+04	2,8990E+04	5,5833E+03	2,0702E+02	2,8472E-01	7,4074E-10
Limite Ni 63	3,2375E+07	3,2375E+07	3,2375E+07	3,2375E+07	3,2375E+07	3,2375E+07	3,2375E+07	3,2375E+07

Tabla C.2. Decaimiento del Barril del Reactor (Bq/g)

Radioisótpo	0	5	10	25	50	100	200	500
h 3	5,1578E+04	3,8924E+04	2,9389E+04	1,2647E+04	3,1010E+03	1,8652E+02	6,7451E-01	3,1916E-08
c 14	1,8049E+04	1,8038E+04	1,8026E+04	1,7997E+04	1,7941E+04	1,7834E+04	1,7619E+04	1,6990E+04
fe 55	4,8322E+06	1,3575E+06	3,8147E+05	8,4545E+03	1,4796E+01	4,5325E-05	4,2476E-16	0,0000E+00
co 60	2,4934E+07	1,2917E+07	6,6933E+06	9,3018E+05	3,4702E+04	4,8285E+01	9,3536E-05	6,7969E-22
ni 59	1,1951E+05	1,1951E+05	1,1951E+05	1,1947E+05	1,1947E+05	1,1940E+05	1,1929E+05	1,1896E+05
ni 63	1,2454E+07	1,2032E+07	1,1622E+07	1,0475E+07	8,8097E+06	6,2308E+06	3,1176E+06	3,9035E+05
ba 133	2,3192E+04	1,6683E+04	1,1999E+04	4,4659E+03	8,6025E+02	3,1898E+01	4,3882E-02	1,1411E-10
Limite Ni 63	3,2375E+07	3,2375E+07	3,2375E+07	3,2375E+07	3,2375E+07	3,2375E+07	3,2375E+07	3,2375E+07
Limite Ni 59	1,0175E+05	1,0175E+05	1,0175E+05	1,0175E+05	1,0175E+05	1,0175E+05	1,0175E+05	1,0175E+05

Tabla C.3. Decaimiento del Blindaje Térmico (Bq/g)

Radiisótopo	0	5	10	25	50	100	200	500
h 3	2,9929E+03	2,2596E+03	1,7057E+03	7,3408E+02	1,8001E+02	1,0826E+01	3,9146E-02	1,8522E-09
c 14	9,8235E+02	9,8198E+02	9,8124E+02	9,7939E+02	9,7643E+02	9,7051E+02	9,5904E+02	9,2463E+02
fe 55	2,6577E+05	7,4666E+04	2,0975E+04	4,6509E+02	8,1400E-01	2,4923E-06	2,3373E-17	0,0000E+00
co 60	1,1403E+06	5,9052E+05	3,0599E+05	4,2550E+04	1,5869E+03	2,2085E+00	4,2772E-06	3,1084E-23
ni 59	6,7488E+03	6,7488E+03	6,7488E+03	6,7451E+03	6,7451E+03	6,7414E+03	6,7377E+03	6,7155E+03
ni 63	7,0781E+05	6,8376E+05	6,6045E+05	5,9533E+05	5,0061E+05	3,5416E+05	1,7719E+05	2,2193E+04
ba133	1,2476E+03	8,9762E+02	6,4565E+02	2,4028E+02	4,6287E+01	1,7161E+00	2,3599E-03	6,1383E-12
eu152	6,9116E+02	5,3317E+02	4,1107E+02	1,8837E+02	5,1319E+01	3,8110E+00	2,0994E-02	3,5128E-09
Límite Co 60	3,2375E+06	3,2375E+06	3,2375E+06	3,2375E+06	3,2375E+06	3,2375E+06	3,2375E+06	3,2375E+06

Tabla C.4. Decaimiento del Recubrimiento Interno de la Vasija (Bq/g)

Radioisótopo	0	5	10	25	50	100	200	500
h 3	1,2491E+04	9,4313E+03	7,1188E+03	3,0632E+03	7,5110E+02	4,5177E+01	1,6339E-01	8,1030E-09
c 14	4,0034E+02	3,9997E+02	3,9997E+02	3,9923E+02	3,9775E+02	3,9553E+02	3,9072E+02	3,7666E+02
fe 55	7,7145E+05	2,0672E+05	6,0865E+04	1,3498E+03	2,3621E+00	7,2335E-06	6,7821E-17	0,0000E+00
co 60	5,0394E+05	2,6111E+05	1,3527E+05	1,8803E+04	7,0152E+02	9,7606E-01	1,8907E-06	1,3738E-23
ni 59	8,5507E+02	8,5507E+02	8,5507E+02	8,5470E+02	8,5470E+02	8,5433E+02	8,5359E+02	8,5100E+02
ni 63	8,3435E+04	8,0586E+04	7,7848E+04	7,0152E+04	5,9015E+04	4,1736E+04	2,0887E+04	2,6159E+03
ba 133	6,6859E-01	4,8100E-01	3,4595E-01	1,2876E-01	2,4794E-02	9,1945E-04	1,2647E-06	3,2893E-15
Limite Ni 63	3,2375E+07	3,2375E+07	3,2375E+07	3,2375E+07	3,2375E+07	3,2375E+07	3,2375E+07	3,2375E+07
Limite Ni 59	1,0175E+05	1,0175E+05	1,0175E+05	1,0175E+05	1,0175E+05	1,0175E+05	1,0175E+05	1,0175E+05
Limite Co 60	3,2375E+06	3,2375E+06	3,2375E+06	3,2375E+06	3,2375E+06	3,2375E+06	3,2375E+06	3,2375E+06
Límite H3	1,8500E+05	1,8500E+05	1,8500E+05	1,8500E+05	1,8500E+05	1,8500E+05	1,8500E+05	1,8500E+05
Límite C 14	3,7000E+04	3,7000E+04	3,7000E+04	3,7000E+04	3,7000E+04	3,7000E+04	3,7000E+04	3,7000E+04

Tabla C.5. Decaimiento de la Vasija del Reactor (Bq/g)

Como se puede observar a continuación, la vasija es RBMA incluso pasados los 500 años, ya que en el cálculo del sumatorio de decaimiento el resultado es 2,4 valor superior al 1, necesario para ser residuo exento de clasificación.

Desclasificación vasija	Nivel Desclasificación (Bq/g)	Año 500	
		Actividad (Bq/g)	Actividad / NivelDes
h 3	3000,00	8,1030E-09	2,7010E-12
c 14	300	3,7666E+02	1,2555E+00
fe 55	300	0,0000E+00	0,0000E+00
co 60	0,3	1,3738E-23	4,5794E-23
ni 59	3000	8,5100E+02	2,8367E-01
ni 63	3000	2,6159E+03	8,7197E-01
ba 133	0,3	3,2893E-15	1,0964E-14
Total		3,8436E+03	2,4112E+00

Tabla C.6. Clasificación de la Vasija a los 500 años

Radioisótopo	0	5	10	25	50	100	200	500
h 3	3,7259E+04	2,8139E+04	2,1242E+04	9,1390E+03	2,2415E+03	1,3483E+02	4,8766E-01	2,3070E-08
c 14	2,0602E+01	2,0591E+01	2,0576E+01	2,0539E+01	2,0480E+01	2,0354E+01	2,0110E+01	1,9392E+01
ar 39	2,2355E+01	2,2071E+01	2,1786E+01	2,0961E+01	1,9654E+01	1,7279E+01	1,3353E+01	6,1642E+00
ca 41	1,3335E+02	1,3335E+02	1,3331E+02	1,3331E+02	1,3327E+02	1,3324E+02	1,3316E+02	1,3290E+02
fe 55	1,1685E+03	3,2830E+02	9,2241E+01	2,0450E+00	3,5783E-03	1,0959E-08	1,0275E-19	0,0000E+00
co 60	5,6129E+02	2,9075E+02	1,5063E+02	2,0938E+01	7,8107E-01	1,0871E-03	2,1057E-09	1,5300E-26
ni 59	2,0650E-01	2,0650E-01	2,0650E-01	2,0646E-01	2,0642E-01	2,0631E-01	2,0613E-01	2,0554E-01
ni 63	2,1800E+01	2,1057E+01	2,0339E+01	1,8334E+01	1,5418E+01	1,0908E+01	5,4575E+00	6,8339E-01
ba133	1,8556E+02	1,3346E+02	9,6015E+01	3,5731E+01	6,8820E+00	2,5519E-01	3,5095E-04	9,1279E-13
sm151	7,7145E+00	7,4259E+00	7,1447E+00	6,3640E+00	5,2503E+00	3,5716E+00	1,6532E+00	1,6398E-01
eu152	1,6365E+03	1,2617E+03	9,7273E+02	4,4585E+02	1,2147E+02	9,0169E+00	4,9691E-02	8,3139E-09
eu154	9,6311E+01	6,4343E+01	4,2994E+01	1,2813E+01	1,7042E+00	3,0151E-02	9,4387E-06	2,8941E-16
Limite Ni 63	1,1261E+07	1,1261E+07	1,1261E+07	1,1261E+07	1,1261E+07	1,1261E+07	1,1261E+07	1,1261E+07
Limite Co 60	1,1261E+07	1,1261E+07	1,1261E+07	1,1261E+07	1,1261E+07	1,1261E+07	1,1261E+07	1,1261E+07
Límite H3	6,4348E+05	6,4348E+05	6,4348E+05	6,4348E+05	6,4348E+05	6,4348E+05	6,4348E+05	6,4348E+05
Límite C 14	1,2870E+04	1,2870E+04	1,2870E+04	1,2870E+04	1,2870E+04	1,2870E+04	1,2870E+04	1,2870E+04

Tabla C.7. Decaimiento de la 1ª Capa de Hormigón (Bq/g)

Desclasificación vasija	NivelDesclasificación (Bq/g)	Año 500	
		Actividad (Bq/g)	Act/NivelDes
h 3	3000,00	2,3070E-08	7,6898E-12
c 14	300	1,9392E+01	6,4639E-02
ar 39	30	6,1642E+00	2,0547E-01
ca 41	30	1,3290E+02	4,4301E+00
fe 55	300	0,0000E+00	0,0000E+00
co 60	0,3	1,5300E-26	5,0998E-26
ni 59	3000	2,0554E-01	6,8512E-05
ni 63	3000	6,8339E-01	2,2780E-04
ba 133	0,3	9,1279E-13	3,0426E-12
sm 151	30	1,6398E-01	5,4661E-03
eu152	0,3	8,3139E-09	2,7713E-08
eu154	0,3	2,8941E-16	9,6471E-16
Total		1,5951E+02	4,7060E+00

Tabla C.8. Clasificación de la 1ª Capa de Hormigón a los 500 años

Radioisótopo	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	2,5671E+04	1,9381E+04	1,4630E+04	6,2937E+03	1,5436E+03	9,2833E+01	3,3581E-01	1,5888E-08
c 14	1,4138E+01	1,4130E+01	1,4119E+01	1,4093E+01	1,4053E+01	1,3968E+01	1,3801E+01	1,3309E+01
ar 39	8,9799E-01	8,8615E-01	8,7505E-01	8,4175E-01	7,8921E-01	6,9375E-01	5,3613E-01	2,4753E-01
ca 41	9,1538E+01	9,1538E+01	9,1538E+01	9,1538E+01	9,1538E+01	9,1501E+01	9,1427E+01	9,1242E+01
fe 55	8,0216E+02	2,2533E+02	6,3307E+01	1,4034E+00	2,4561E-03	7,5221E-09	7,0522E-20	0,0000E+00
co 60	3,6919E+02	1,9125E+02	9,9086E+01	1,3771E+01	5,1393E-01	7,1521E-04	1,3849E-09	1,0064E-26
ni 59	1,4204E-01	1,4201E-01	1,4201E-01	1,4201E-01	1,4197E-01	1,4190E-01	1,4178E-01	1,4138E-01
ni 63	1,5015E+01	1,4504E+01	1,4012E+01	1,2628E+01	1,0623E+01	7,5147E+00	3,7592E+00	4,7064E-01
ba133	1,2643E+02	9,0946E+01	6,5416E+01	2,4346E+01	4,6879E+00	1,7386E-01	2,3913E-04	6,2197E-13
sm151	5,1171E+00	4,9247E+00	4,7397E+00	4,2217E+00	3,4824E+00	2,3695E+00	1,0967E+00	1,0878E-01
eu152	1,1322E+03	8,7320E+02	6,7303E+02	3,0851E+02	8,4064E+01	6,2382E+00	3,4384E-02	5,7535E-09
eu154	5,9755E+01	3,9923E+01	2,6666E+01	7,9476E+00	1,0571E+00	1,8704E-02	5,8534E-06	1,7956E-16

Tabla C.9. Decaimiento de la 2ª Capa de Hormigón (Bq/g)

Desclasificación vasija	Nivel Desclasificación (Bq/g)	Año 500 Actividad (Bq/g)	Act/NivelDes
h 3	3000,00	1,5888E-08	5,2959E-12
c 14	300	1,3309E+01	4,4363E-02
ar 39	30	2,4753E-01	8,2510E-03
ca 41	30	9,1242E+01	3,0414E+00
fe 55	300	0,0000E+00	0,0000E+00
co 60	0,3	1,0064E-26	3,3547E-26
ni 59	3000	1,4138E-01	4,7126E-05
ni 63	3000	4,7064E-01	1,5688E-04
ba 133	0,3	6,2197E-13	2,0732E-12
sm 151	30	1,0878E-01	3,6260E-03
eu152	0,3	5,7535E-09	1,9178E-08
eu154	0,3	1,7956E-16	5,9854E-16
Total		1,0552E+02	3,0978E+00

Tabla C.10. Clasificación de la 2ª Capa de Hormigón a los 500

Radioisótpo	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	2,5086E+03	1,8937E+03	1,4297E+03	6,1531E+02	1,5085E+02	9,0724E+00	3,2815E-02	1,5525E-09
c 14	1,3808E+00	1,3801E+00	1,3794E+00	1,3768E+00	1,3727E+00	1,3642E+00	1,3479E+00	1,2998E+00
ar 39	2,4361E-02	2,4046E-02	2,3739E-02	2,2840E-02	2,1416E-02	1,8826E-02	1,4548E-02	6,7155E-03
ca 41	8,9429E+00	8,9429E+00	8,9429E+00	8,9429E+00	8,9392E+00	8,9392E+00	8,9318E+00	8,9133E+00
fe 55	7,8329E+01	2,2008E+01	6,1827E+00	1,3709E-01	2,3991E-04	7,3482E-10	6,8894E-21	0,0000E+00
co 60	3,5909E+01	1,8600E+01	9,6348E+00	1,3394E+00	4,9987E-02	6,9560E-05	1,3472E-10	9,7902E-28
ni 59	1,3875E-02	1,3875E-02	1,3875E-02	1,3875E-02	1,3871E-02	1,3864E-02	1,3853E-02	1,3812E-02
ni 63	1,4674E+00	1,4175E+00	1,3694E+00	1,2340E+00	1,0379E+00	7,3408E-01	3,6734E-01	4,5991E-02
ba133	1,2340E+01	8,8763E+00	6,3862E+00	2,3765E+00	4,5769E-01	1,6972E-02	2,3340E-05	6,0717E-14
sm151	4,8470E-01	4,6657E-01	4,4881E-01	3,9997E-01	3,2978E-01	2,2437E-01	1,0386E-01	1,0301E-02
eu152	1,1100E+02	8,5581E+01	6,5971E+01	3,0244E+01	8,2399E+00	6,1161E-01	3,3707E-03	5,6388E-10
eu154	5,7794E+00	3,8591E+00	2,5785E+00	7,6849E-01	1,0223E-01	1,8089E-03	5,6610E-07	1,7364E-17

Tabla C.11. Decaimiento de la 3ª Capa de Hormigón (Bq/g)

Desclasificación vasija	Nivel Desclasificación (Bq/g)	Año 100 Actividad (Bq/g)	Act/NivelDes	Año 200 Actividad (Bq/g)	Act/NivelDes
h 3	3000,00	9,0724E+00	3,0241E-03	3,2815E-02	1,0938E-05
c 14	300	1,3642E+00	4,5473E-03	1,3479E+00	4,4930E-03
ar 39	30	1,8826E-02	6,2752E-04	1,4548E-02	4,8495E-04
ca 41	30	8,9392E+00	2,9797E-01	8,9318E+00	2,9773E-01
fe 55	300	7,3482E-10	2,4494E-12	6,8894E-21	2,2965E-23
co 60	0,3	6,9560E-05	2,3187E-04	1,3472E-10	4,4906E-10
ni 59	3000	1,3864E-02	4,6213E-06	1,3853E-02	4,6176E-06
ni 63	3000	7,3408E-01	2,4469E-04	3,6734E-01	1,2245E-04
ba 133	0,3	1,6972E-02	5,6573E-02	2,3340E-05	7,7799E-05
sm 151	30	2,2437E-01	7,4789E-03	1,0386E-01	3,4620E-03
eu152	0,3	6,1161E-01	2,0387E+00	3,3707E-03	1,1236E-02
eu154	0,3	1,8089E-03	6,0298E-03	5,6610E-07	1,8870E-06
Total		2,0997E+01	2,4154E+00	1,0816E+01	3,1762E-01

Tabla C.12. Cambio de Clasificación de la 3ª Capa de Hormigón

Radioisótpo	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	4,0552E+02	3,0618E+02	2,3114E+02	9,9456E+01	2,4390E+01	1,4671E+00	5,3058E-03	2,5101E-10
c 14	2,2326E-01	2,2311E-01	2,2300E-01	2,2259E-01	2,2193E-01	2,2056E-01	2,1793E-01	2,1016E-01
ar 39	6,6822E-04	6,5971E-04	6,5120E-04	6,2641E-04	5,8719E-04	5,1615E-04	3,9886E-04	1,8419E-04
ca 41	1,4460E+00	1,4460E+00	1,4460E+00	1,4456E+00	1,4452E+00	1,4449E+00	1,4441E+00	1,4412E+00
fe 55	1,2665E+01	3,5583E+00	9,9974E-01	2,2163E-02	3,8776E-05	1,1877E-10	1,1137E-21	0,0000E+00
co 60	5,7979E+00	3,0040E+00	1,5562E+00	2,1634E-01	8,0697E-03	1,1233E-05	2,1756E-11	1,5806E-28
ni 59	2,2437E-03	2,2433E-03	2,2433E-03	2,2429E-03	2,2426E-03	2,2415E-03	2,2392E-03	2,2333E-03
ni 63	2,3724E-01	2,2918E-01	2,2137E-01	1,9954E-01	1,6780E-01	1,1870E-01	5,9385E-02	7,4370E-03
ba133	1,9950E+00	1,4349E+00	1,0323E+00	3,8406E-01	7,3963E-02	2,7436E-03	3,7740E-06	9,8161E-15
sm151	7,8107E-02	7,5147E-02	7,2335E-02	6,4417E-02	5,3132E-02	3,6156E-02	1,6735E-02	1,6598E-03
eu152	1,7952E+01	1,3842E+01	1,0671E+01	4,8914E+00	1,3327E+00	9,8938E-02	5,4501E-04	9,1242E-11
eu154	9,3203E-01	6,2234E-01	4,1588E-01	1,2395E-01	1,6487E-02	2,9167E-04	9,1279E-08	2,7998E-18

Tabla C.13. Decaimiento de la 4ª Capa de Hormigón (Bq/g)

Desclasificación vasija	Nivel Desclasificación (Bq/g)	Año 50		Año 100	
		Actividad (Bq/g)	Act/NivelDes	Actividad (Bq/g)	Act/NivelDes
h 3	3000,00	2,4390E+01	8,1301E-03	1,4671E+00	4,8902E-04
c 14	300	2,2193E-01	7,3975E-04	2,2056E-01	7,3519E-04
ar 39	30	5,8719E-04	1,9573E-05	5,1615E-04	1,7205E-05
ca 41	30	1,4452E+00	4,8174E-02	1,4449E+00	4,8162E-02
fe 55	300	3,8776E-05	1,2925E-07	1,1877E-10	3,9590E-13
co 60	0,3	8,0697E-03	2,6899E-02	1,1233E-05	3,7444E-05
ni 59	3000	2,2426E-03	7,4752E-07	2,2415E-03	7,4715E-07
ni 63	3000	1,6780E-01	5,5932E-05	1,1870E-01	3,9565E-05
ba 133	0,3	7,3963E-02	2,4654E-01	2,7436E-03	9,1452E-03
sm 151	30	5,3132E-02	1,7711E-03	3,6156E-02	1,2052E-03
eu152	0,3	1,3327E+00	4,4425E+00	9,8938E-02	3,2979E-01
eu154	0,3	1,6487E-02	5,4957E-02	2,9167E-04	9,7224E-04
Total		2,7713E+01	4,8298E+00	3,3921E+00	3,9060E-01

Tabla C.14. Cambio de Clasificación de la 4ª Capa de Hormigón

Radioisótpo	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	1,1381E+02	8,5914E+01	6,4861E+01	2,7909E+01	6,8450E+00	4,1144E-01	1,4889E-03	7,0448E-11
c 14	6,2641E-02	6,2604E-02	6,2567E-02	6,2456E-02	6,2271E-02	6,1901E-02	6,1161E-02	5,8978E-02
ar 39	3,8073E-05	3,7555E-05	3,7074E-05	3,5683E-05	3,3455E-05	2,9411E-05	2,2729E-05	1,0493E-05
ca 41	4,0589E-01	4,0552E-01	4,0552E-01	4,0552E-01	4,0552E-01	4,0552E-01	4,0515E-01	4,0441E-01
fe 55	3,5539E+00	9,9826E-01	2,8050E-01	6,2197E-03	1,0882E-05	3,3326E-11	3,1254E-22	0,0000E+00
co 60	1,6269E+00	8,4286E-01	4,3660E-01	6,0680E-02	2,2644E-03	3,1513E-06	6,1050E-12	4,4363E-29
ni 59	6,2937E-04	6,2937E-04	6,2937E-04	6,2937E-04	6,2937E-04	6,2900E-04	6,2826E-04	6,2678E-04
ni 63	6,6563E-02	6,4306E-02	6,2123E-02	5,5981E-02	4,7101E-02	3,3307E-02	1,6665E-02	2,0872E-03
ba133	5,5981E-01	4,0256E-01	2,8964E-01	1,0778E-01	2,0757E-02	7,6997E-04	1,0586E-06	2,7539E-15
sm151	2,1908E-02	2,1079E-02	2,0283E-02	1,8071E-02	1,4904E-02	1,0142E-02	4,6953E-03	4,6546E-04
eu152	5,0394E+00	3,8850E+00	2,9948E+00	1,3727E+00	3,7407E-01	2,7761E-02	1,5300E-04	2,5600E-11
eu154	2,6141E-01	1,7460E-01	1,1662E-01	3,4769E-02	4,6250E-03	8,1807E-05	2,5608E-08	7,8551E-19

Tabla C.15. Decaimiento de la 5ª Capa de Hormigón (Bq/g)

Desclasificación vasija	Nivel Desclasificación (Bq/g)	Año 50		Año 100	
		Actividad (Bq/g)	Act/NivelDes	Actividad (Bq/g)	Act/NivelDes
h 3	3000,00	6,8450E+00	2,2817E-03	4,1144E-01	1,3715E-04
c 14	300	6,2271E-02	2,0757E-04	6,1901E-02	2,0634E-04
ar 39	30	3,3455E-05	1,1152E-06	2,9411E-05	9,8038E-07
ca 41	30	4,0552E-01	1,3517E-02	4,0552E-01	1,3517E-02
fe 55	300	1,0882E-05	3,6272E-08	3,3326E-11	1,1109E-13
co 60	0,3	2,2644E-03	7,5480E-03	3,1513E-06	1,0504E-05
ni 59	3000	6,2937E-04	2,0979E-07	6,2900E-04	2,0967E-07
ni 63	3000	4,7101E-02	1,5700E-05	3,3307E-02	1,1102E-05
ba 133	0,3	2,0757E-02	6,9190E-02	7,6997E-04	2,5666E-03
sm 151	30	1,4904E-02	4,9679E-04	1,0142E-02	3,3806E-04
eu152	0,3	3,7407E-01	1,2469E+00	2,7761E-02	9,2537E-02
eu154	0,3	4,6250E-03	1,5417E-02	8,1807E-05	2,7269E-04
Total		7,7772E+00	1,3556E+00	9,5158E-01	1,0960E-01

Tabla C.16. Cambio de Clasificación de la 5ª Capa de Hormigón

Radioisótpo	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	2,9955E+01	2,2614E+01	1,7072E+01	7,3445E+00	1,8015E+00	1,0834E-01	3,9183E-04	1,8541E-11
c 14	1,6491E-02	1,6480E-02	1,6469E-02	1,6439E-02	1,6391E-02	1,6291E-02	1,6095E-02	1,5522E-02
ca 41	1,0678E-01	1,0678E-01	1,0678E-01	1,0678E-01	1,0675E-01	1,0671E-01	1,0663E-01	1,0645E-01
fe 55	9,3536E-01	2,6281E-01	7,3815E-02	1,6369E-03	2,8645E-06	8,7727E-12	8,2251E-23	0,0000E+00
co 60	4,2809E-01	2,2185E-01	1,1492E-01	1,5977E-02	5,9607E-04	8,2954E-07	1,6065E-12	1,1674E-29
ni 59	1,6572E-04	1,6569E-04	1,6569E-04	1,6569E-04	1,6565E-04	1,6554E-04	1,6539E-04	1,6495E-04
ni 63	1,7523E-02	1,6928E-02	1,6350E-02	1,4737E-02	1,2395E-02	8,7690E-03	4,3882E-03	5,4945E-04
ba133	1,4733E-01	1,0597E-01	7,6220E-02	2,8375E-02	5,4649E-03	2,0265E-04	2,7868E-07	7,2483E-16
sm151	5,7646E-03	5,5463E-03	5,3391E-03	4,7545E-03	3,9220E-03	2,6688E-03	1,2354E-03	1,2254E-04
eu152	1,3261E+00	1,0223E+00	7,8847E-01	3,6131E-01	9,8457E-02	7,3075E-03	4,0256E-05	6,7377E-12
eu154	6,8820E-02	4,5954E-02	3,0703E-02	9,1501E-03	1,2173E-03	2,1534E-05	6,7414E-09	2,0672E-19

Tabla C.17. Decaimiento de la 6ª Capa de Hormigón (Bq/g)

Desclasificación vasija	Nivel Desclasificación (Bq/g)	Año 25		Año 50	
		Actividad (Bq/g)	Act/NivelDes	Actividad (Bq/g)	Act/NivelDes
h 3	3000,00	7,3445E+00	2,4482E-03	1,8015E+00	6,0051E-04
c 14	300	1,6439E-02	5,4797E-05	1,6391E-02	5,4637E-05
ar 39	30		0,0000E+00		0,0000E+00
ca 41	30	1,0678E-01	3,5594E-03	1,0675E-01	3,5582E-03
fe 55	300	1,6369E-03	5,4563E-06	2,8645E-06	9,5485E-09
co 60	0,3	1,5977E-02	5,3255E-02	5,9607E-04	1,9869E-03
ni 59	3000	1,6569E-04	5,5229E-08	1,6565E-04	5,5216E-08
ni 63	3000	1,4737E-02	4,9124E-06	1,2395E-02	4,1317E-06
ba 133	0,3	2,8375E-02	9,4584E-02	5,4649E-03	1,8216E-02
sm 151	30	4,7545E-03	1,5848E-04	3,9220E-03	1,3073E-04
eu152	0,3	3,6131E-01	1,2044E+00	9,8457E-02	3,2819E-01
eu154	0,3	9,1501E-03	3,0500E-02	1,2173E-03	4,0577E-03
Total		7,9038E+00	1,3889E+00	2,0469E+00	3,5680E-01

Tabla C.18. Cambio de Clasificación de la 6ª Capa de Hormigón

Radioisótpo	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	1,0060E+01	7,5961E+00	5,7350E+00	2,4672E+00	6,0495E-01	3,6386E-02	1,3161E-04	6,2271E-12
c 14	5,5389E-03	5,5352E-03	5,5315E-03	5,5204E-03	5,5056E-03	5,4723E-03	5,4057E-03	5,2133E-03
ca 41	3,5864E-02	3,5864E-02	3,5864E-02	3,5860E-02	3,5853E-02	3,5842E-02	3,5816E-02	3,5746E-02
fe 55	3,1417E-01	8,8245E-02	2,4797E-02	5,4982E-04	9,6200E-07	2,9463E-12	2,7628E-23	0,0000E+00
co 60	1,4382E-01	7,4518E-02	3,8591E-02	5,3650E-03	2,0017E-04	2,7857E-07	5,3946E-13	3,9220E-30
ni 59	5,5648E-05	5,5648E-05	5,5648E-05	5,5648E-05	5,5611E-05	5,5611E-05	5,5537E-05	5,5389E-05
ni 63	5,8867E-03	5,6832E-03	5,4908E-03	4,9506E-03	4,1625E-03	2,9445E-03	1,4733E-03	1,8452E-04
ba133	4,9469E-02	3,5594E-02	2,5604E-02	9,5275E-03	1,8352E-03	6,8043E-05	9,3573E-08	2,4346E-16
sm151	1,9362E-03	1,8633E-03	1,7927E-03	1,5973E-03	1,3176E-03	8,9614E-04	4,1477E-04	4,1144E-05
eu152	4,4548E-01	3,4340E-01	2,6477E-01	1,2136E-01	3,3063E-02	2,4542E-03	1,3524E-05	2,2629E-12
eu154	2,3107E-02	1,5436E-02	1,0312E-02	3,0736E-03	4,0885E-04	7,2335E-06	2,2637E-09	6,9412E-20

Tabla C.19. Decaimiento de la 7ª Capa de Hormigón (Bq/g)

Desclasificación vasija	Nivel Desclasificación (Bq/g)	Año 10		Año 25	
		Actividad (Bq/g)	Act/NivelDes	Actividad (Bq/g)	Act/NivelDes
h 3	3000,00	5,7350E+00	1,9117E-03	2,4672E+00	8,2239E-04
c 14	300	5,5315E-03	1,8438E-05	5,5204E-03	1,8401E-05
ar 39	30		0,0000E+00		0,0000E+00
ca 41	30	3,5864E-02	1,1955E-03	3,5860E-02	1,1953E-03
fe 55	300	2,4797E-02	8,2658E-05	5,4982E-04	1,8327E-06
co 60	0,3	3,8591E-02	1,2864E-01	5,3650E-03	1,7883E-02
ni 59	3000	5,5648E-05	1,8549E-08	5,5648E-05	1,8549E-08
ni 63	3000	5,4908E-03	1,8303E-06	4,9506E-03	1,6502E-06
ba 133	0,3	2,5604E-02	8,5347E-02	9,5275E-03	3,1758E-02
sm 151	30	1,7927E-03	5,9755E-05	1,5973E-03	5,3243E-05
eu152	0,3	2,6477E-01	8,8257E-01	1,2136E-01	4,0453E-01
eu154	0,3	1,0312E-02	3,4373E-02	3,0736E-03	1,0245E-02
Total		6,1478E+00	1,1342E+00	2,6550E+00	4,6651E-01

Tabla C.20. Cambio de Clasificación de la 7ª Capa de Hormigón

Radioisótpo	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	3,0921E+00	2,3343E+00	1,7623E+00	7,5813E-01	1,8596E-01	1,1185E-02	4,0441E-05	1,9140E-12
c 14	1,7020E-03	1,7013E-03	1,7002E-03	1,6972E-03	1,6920E-03	1,6817E-03	1,6613E-03	1,6021E-03
ca 41	1,1022E-02	1,1022E-02	1,1022E-02	1,1022E-02	1,1019E-02	1,1015E-02	1,1008E-02	1,0985E-02
fe 55	9,6570E-02	2,7128E-02	7,6220E-03	1,6898E-04	2,9570E-07	9,0539E-13	8,4915E-24	0,0000E+00
co 60	4,4215E-02	2,2899E-02	1,1862E-02	1,6491E-03	6,1531E-05	8,5618E-08	1,6583E-13	1,2051E-30
ni 63	1,8089E-03	1,7471E-03	1,6879E-03	1,5214E-03	1,2795E-03	9,0502E-04	4,5288E-04	5,6721E-05
ba133	1,5211E-02	1,0941E-02	7,8699E-03	2,9289E-03	5,6388E-04	2,0916E-05	2,8768E-08	7,4814E-17
sm151	5,9533E-04	5,7276E-04	5,5093E-04	4,9099E-04	4,0478E-04	2,7550E-04	1,2750E-04	1,2647E-05
eu152	1,3690E-01	1,0556E-01	8,1363E-02	3,7296E-02	1,0160E-02	7,5443E-04	4,1551E-06	6,9560E-13
eu154	7,1003E-03	4,7434E-03	3,1691E-03	9,4461E-04	1,2565E-04	2,2230E-06	6,9597E-10	2,1338E-20

Tabla C.21. Decaimiento de la 8ª Capa de Hormigón (Bq/g)

Desclasificación vasija	Nivel Desclasificación (Bq/g)	Año 0 Actividad (Bq/g)	Act/NivelDes
h 3	3000,00	3,0921E+00	1,0307E-03
c 14	300	1,7020E-03	5,6733E-06
ar 39	30		0,0000E+00
ca 41	30	1,1022E-02	3,6741E-04
fe 55	300	9,6570E-02	3,2190E-04
co 60	0,3	4,4215E-02	1,4738E-01
ni 59	3000		0,0000E+00
ni 63	3000	1,8089E-03	6,0298E-07
ba 133	0,3	1,5211E-02	5,0702E-02
sm 151	30	5,9533E-04	1,9844E-05
eu152	0,3	1,3690E-01	4,5633E-01
eu154	0,3	7,1003E-03	2,3668E-02
Total		3,4072E+00	6,7983E-01

Tabla C.22. Clasificación de la 8ª Capa de Hormigón después de la Parada

Radioisótpo	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	1,1059E+00	8,3472E-01	6,3011E-01	2,7121E-01	6,6489E-02	3,9997E-03	1,4467E-05	6,8450E-13
c 14	6,0865E-04	6,0828E-04	6,0791E-04	6,0680E-04	6,0495E-04	6,0125E-04	5,9422E-04	5,7313E-04
ca 41	3,9442E-03	3,9405E-03	3,9405E-03	3,9405E-03	3,9405E-03	3,9405E-03	3,9368E-03	3,9294E-03
fe 55	3,4532E-02	9,7014E-03	2,7254E-03	6,0421E-05	1,0575E-07	3,2382E-13	3,0370E-24	0,0000E+00
co 60	1,5810E-02	8,1881E-03	4,2439E-03	5,8978E-04	2,2004E-05	3,0621E-08	5,9311E-14	4,3105E-31
ni 63	6,4676E-04	6,2493E-04	6,0347E-04	5,4390E-04	4,5769E-04	3,2364E-04	1,6195E-04	2,0280E-05
ba133	5,4390E-03	3,9109E-03	2,8142E-03	1,0475E-03	2,0172E-04	7,4814E-06	1,0286E-08	2,6758E-17
sm151	2,1282E-04	2,0480E-04	1,9706E-04	1,7557E-04	1,4482E-04	9,8531E-05	4,5621E-05	4,5214E-06
eu152	4,8951E-02	3,7740E-02	2,9101E-02	1,3339E-02	3,6341E-03	2,6977E-04	1,4867E-06	2,4875E-13
eu154	2,5397E-03	1,6965E-03	1,1333E-03	3,3785E-04	4,4918E-05	7,9513E-07	2,4883E-10	7,6294E-21

Tabla C.23. Decaimiento de la 9ª Capa de Hormigón (Bq/g)

Radioisótpo	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	5,6906E-01	4,2957E-01	3,2431E-01	1,3953E-01	3,4221E-02	2,0579E-03	7,4444E-06	3,5217E-13
c 14	4,0182E-02	4,0182E-02	4,0145E-02	4,0071E-02	3,9960E-02	3,9701E-02	3,9220E-02	3,7851E-02
fe 55	8,9318E+01	2,5090E+01	7,0485E+00	1,5629E-01	2,7347E-04	8,3731E-10	7,8514E-21	0,0000E+00
co 60	1,7101E+01	8,8578E+00	4,5880E+00	6,3788E-01	2,3798E-02	3,3122E-05	6,4158E-11	4,6620E-28
ni 59	1,7727E-02	1,7727E-02	1,7723E-02	1,7723E-02	1,7719E-02	1,7708E-02	1,7693E-02	1,7645E-02
ni 63	1,8744E+00	1,8108E+00	1,7490E+00	1,5766E+00	1,3261E+00	9,3795E-01	4,6916E-01	5,8756E-02
ba133	2,3569E-01	1,6953E-01	1,2195E-01	4,5399E-02	8,7394E-03	3,2412E-04	4,4585E-07	1,1596E-15
eu152	8,2436E-01	6,3566E-01	4,9025E-01	2,2463E-01	6,1198E-02	4,5436E-03	2,5034E-05	4,1884E-12
eu154	4,2772E-02	2,8571E-02	1,9085E-02	5,6906E-03	7,5665E-04	1,3387E-05	4,1921E-09	1,2850E-19
Limite Ni 63	3,2375E+07	3,2375E+07	3,2375E+07	3,2375E+07	3,2375E+07	3,2375E+07	3,2375E+07	3,2375E+07
Limite Ni 59	1,0175E+05	1,0175E+05	1,0175E+05	1,0175E+05	1,0175E+05	1,0175E+05	1,0175E+05	1,0175E+05
Limite Co 60	3,2375E+06	3,2375E+06	3,2375E+06	3,2375E+06	3,2375E+06	3,2375E+06	3,2375E+06	3,2375E+06
Límite H3	1,8500E+05	1,8500E+05	1,8500E+05	1,8500E+05	1,8500E+05	1,8500E+05	1,8500E+05	1,8500E+05
Límite C 14	3,7000E+04	3,7000E+04	3,7000E+04	3,7000E+04	3,7000E+04	3,7000E+04	3,7000E+04	3,7000E+04

Tabla C.24. Decaimiento de la 1ª Capa de Armadura (Bq/g)

Desclasificación vasija	Nivel Desclasificación (Bq/g)	Año 100		Año 200	
		Actividad (Bq/g)	Act/NivelDes	Actividad (Bq/g)	Act/NivelDes
h 3	3000,00	6,7414E-01	2,2471E-04	2,4379E-03	8,1264E-07
c 14	300	1,3061E+01	4,3537E-02	1,2906E+01	4,3019E-02
fe 55	300	2,7535E-07	9,1785E-10	2,5822E-18	8,6074E-21
co 60	0,3	1,1426E-02	3,8085E-02	2,2130E-08	7,3766E-08
ni 59	3000	5,8090E+00	1,9363E-03	5,8053E+00	1,9351E-03
ni 63	3000	3,0766E+02	1,0255E-01	1,5392E+02	5,1307E-02
ba 133	0,3	1,0745E-01	3,5816E-01	1,4778E-04	4,9259E-04
eu152	0,3	1,4756E+00	4,9185E+00	8,1326E-03	2,7109E-02
eu154	0,3	4,9321E-03	1,6440E-02	1,5440E-06	5,1467E-06
Total		3,2880E+02	5,4795E+00	1,7264E+02	1,2387E-01

Tabla C.25. Cambio de Clasificación de la 1ª Capa de Armadura

Radioisótpo	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	1,2835E+02	9,6903E+01	7,3149E+01	3,1476E+01	7,7182E+00	4,6435E-01	1,6791E-03	7,9439E-11
c 14	9,0724E+00	9,0650E+00	9,0613E+00	9,0428E+00	9,0169E+00	8,9614E+00	8,8541E+00	8,5396E+00
fe 55	2,0154E+04	5,6610E+03	1,5906E+03	3,5268E+01	6,1716E-02	1,8900E-07	1,7723E-18	0,0000E+00
co 60	3,8813E+03	2,0102E+03	1,0412E+03	1,4474E+02	5,4020E+00	7,5147E-03	1,4556E-08	1,0578E-25
ni 59	3,9997E+00	3,9997E+00	3,9997E+00	3,9997E+00	3,9960E+00	3,9960E+00	3,9923E+00	3,9812E+00
ni 63	4,2291E+02	4,0848E+02	3,9442E+02	3,5564E+02	2,9911E+02	2,1157E+02	1,0586E+02	1,3257E+01
ba133	5,3243E+01	3,8295E+01	2,7543E+01	1,0253E+01	1,9740E+00	7,3223E-02	1,0068E-04	2,6189E-13
eu152	1,8530E+02	1,4286E+02	1,1015E+02	5,0468E+01	1,3757E+01	1,0212E+00	5,6277E-03	9,4165E-10
eu154	9,7791E+00	6,5305E+00	4,3623E+00	1,3006E+00	1,7298E-01	3,0606E-03	9,5793E-07	2,9378E-17

Tabla C.26. Decaimiento de la 2ª Capa de Armadura (Bq/g)

Desclasificación vasija	Nivel Desclasificación (Bq/g)	Año 100		Año 200	
		Actividad (Bq/g)	Act/NivelDes	Actividad (Bq/g)	Act/NivelDes
h 3	3000,00	4,6435E-01	1,5478E-04	1,6791E-03	5,5969E-07
c 14	300	8,9614E+00	2,9871E-02	8,8541E+00	2,9514E-02
fe 55	300	1,8900E-07	6,2999E-10	1,7723E-18	5,9077E-21
co 60	0,3	7,5147E-03	2,5049E-02	1,4556E-08	4,8519E-08
ni 59	3000	3,9960E+00	1,3320E-03	3,9923E+00	1,3308E-03
ni 63	3000	2,1157E+02	7,0522E-02	1,0586E+02	3,5286E-02
ba 133	0,3	7,3223E-02	2,4408E-01	1,0068E-04	3,3559E-04
eu152	0,3	1,0212E+00	3,4040E+00	5,6277E-03	1,8759E-02
eu154	0,3	3,0606E-03	1,0202E-02	9,5793E-07	3,1931E-06
Total		2,2609E+02	3,7852E+00	1,1871E+02	8,5228E-02

Tabla C.27. Cambio de Clasificación de la 2ª Capa de Armadura

Radioisótpo	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	1,2543E+01	9,4683E+00	7,1484E+00	3,0758E+00	7,5443E-01	4,5362E-02	1,6406E-04	7,7626E-12
c 14	8,8615E-01	8,8541E-01	8,8504E-01	8,8356E-01	8,8060E-01	8,7542E-01	8,6506E-01	8,3398E-01
fe 55	1,9688E+03	5,5315E+02	1,5536E+02	3,4451E+00	6,0273E-03	1,8459E-08	1,7312E-19	0,0000E+00
co 60	3,7740E+02	1,9551E+02	1,0127E+02	1,4079E+01	5,2540E-01	7,3112E-04	1,4160E-09	1,0286E-26
ni 59	3,9072E-01	3,9072E-01	3,9072E-01	3,9072E-01	3,9072E-01	3,9035E-01	3,8998E-01	3,8887E-01
ni 63	4,1329E+01	3,9923E+01	3,8554E+01	3,4750E+01	2,9226E+01	2,0672E+01	1,0342E+01	1,2954E+00
ba133	5,1948E+00	3,7370E+00	2,6884E+00	1,0005E+00	1,9270E-01	7,1447E-03	9,8272E-06	2,5563E-14
eu152	1,8163E+01	1,4005E+01	1,0797E+01	4,9506E+00	1,3483E+00	1,0009E-01	5,5167E-04	9,2315E-11
eu154	9,4572E-01	6,3159E-01	4,2180E-01	1,2576E-01	1,6728E-02	2,9596E-04	9,2648E-08	2,8412E-18

Tabla C.28. Decaimiento de la 3ª Capa de Armadura (Bq/g)

Desclasificación vasija	Nivel Desclasificación (Bq/g)	Año 50		Año 100	
		Actividad (Bq/g)	Act/NivelDes	Actividad (Bq/g)	Act/NivelDes
h 3	3000,00	7,5443E-01	2,5148E-04	4,5362E-02	1,5121E-05
c 14	300	8,8060E-01	2,9353E-03	8,7542E-01	2,9181E-03
fe 55	300	6,0273E-03	2,0091E-05	1,8459E-08	6,1531E-11
co 60	0,3	5,2540E-01	1,7513E+00	7,3112E-04	2,4371E-03
ni 59	3000	3,9072E-01	1,3024E-04	3,9035E-01	1,3012E-04
ni 63	3000	2,9226E+01	9,7421E-03	2,0672E+01	6,8906E-03
ba 133	0,3	1,9270E-01	6,4232E-01	7,1447E-03	2,3816E-02
eu152	0,3	1,3483E+00	4,4943E+00	1,0009E-01	3,3362E-01
eu154	0,3	1,6728E-02	5,5759E-02	2,9596E-04	9,8654E-04
Total		3,3341E+01	6,9568E+00	2,2091E+01	3,7081E-01

Tabla C.29. Cambio de Clasificación de la 3ª Capa de Armadura

Radioisótpo	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	2,0280E+00	1,5311E+00	1,1559E+00	4,9728E-01	1,2195E-01	7,3334E-03	2,6529E-05	1,2550E-12
c 14	1,4326E-01	1,4315E-01	1,4308E-01	1,4282E-01	1,4238E-01	1,4153E-01	1,3982E-01	1,3487E-01
fe 55	3,1827E+02	8,9392E+01	2,5119E+01	5,5685E-01	9,7458E-04	2,9844E-09	2,7987E-20	0,0000E+00
co 60	6,0939E+01	3,1572E+01	1,6358E+01	2,2737E+00	8,4841E-02	1,1807E-04	2,2866E-10	1,6613E-27
ni 59	6,3159E-02	6,3159E-02	6,3159E-02	6,3159E-02	6,3159E-02	6,3122E-02	6,3048E-02	6,2863E-02
ni 63	6,6785E+00	6,4528E+00	6,2345E+00	5,6166E+00	4,7249E+00	3,3422E+00	1,6724E+00	2,0946E-01
ba133	8,3990E-01	6,0421E-01	4,3475E-01	1,6176E-01	3,1150E-02	1,1551E-03	1,5888E-06	4,1329E-15
eu152	2,9378E+00	2,2651E+00	1,7464E+00	8,0031E-01	2,1808E-01	1,6188E-02	8,9207E-05	1,4926E-11
eu154	1,5248E-01	1,0186E-01	6,8043E-02	2,0283E-02	2,6977E-03	4,7730E-05	1,4941E-08	4,5806E-19

Tabla C.30. Decaimiento de la 4ª Capa de Armadura (Bq/g)

Desclasificación vasija	Nivel Desclasificación (Bq/g)	Año 50		Año 100	
		Actividad (Bq/g)	Act/NivelDes	Actividad (Bq/g)	Act/NivelDes
h 3	3000,00	1,2195E-01	4,0651E-05	7,3334E-03	2,4445E-06
c 14	300	1,4238E-01	4,7459E-04	1,4153E-01	4,7175E-04
fe 55	300	9,7458E-04	3,2486E-06	2,9844E-09	9,9481E-12
co 60	0,3	8,4841E-02	2,8280E-01	1,1807E-04	3,9356E-04
ni 59	3000	6,3159E-02	2,1053E-05	6,3122E-02	2,1041E-05
ni 63	3000	4,7249E+00	1,5750E-03	3,3422E+00	1,1141E-03
ba 133	0,3	3,1150E-02	1,0383E-01	1,1551E-03	3,8505E-03
eu152	0,3	2,1808E-01	7,2693E-01	1,6188E-02	5,3958E-02
eu154	0,3	2,6977E-03	8,9922E-03	4,7730E-05	1,5910E-04
Total		5,3901E+00	1,1247E+00	3,5717E+00	5,9971E-02

Tabla C.31. Cambio de Clasificación de la 4ª Capa de Armadura

Radioisótpo	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	5,6906E-01	4,2957E-01	3,2431E-01	1,3953E-01	3,4221E-02	2,0579E-03	7,4444E-06	3,5217E-13
c 14	4,0182E-02	4,0182E-02	4,0145E-02	4,0071E-02	3,9960E-02	3,9701E-02	3,9220E-02	3,7851E-02
fe 55	8,9318E+01	2,5090E+01	7,0485E+00	1,5629E-01	2,7347E-04	8,3731E-10	7,8514E-21	0,0000E+00
co 60	1,7101E+01	8,8578E+00	4,5880E+00	6,3788E-01	2,3798E-02	3,3122E-05	6,4158E-11	4,6620E-28
ni 59	1,7727E-02	1,7727E-02	1,7723E-02	1,7723E-02	1,7719E-02	1,7708E-02	1,7693E-02	1,7645E-02
ni 63	1,8744E+00	1,8108E+00	1,7490E+00	1,5766E+00	1,3261E+00	9,3795E-01	4,6916E-01	5,8756E-02
ba133	2,3569E-01	1,6953E-01	1,2195E-01	4,5399E-02	8,7394E-03	3,2412E-04	4,4585E-07	1,1596E-15
eu152	8,2436E-01	6,3566E-01	4,9025E-01	2,2463E-01	6,1198E-02	4,5436E-03	2,5034E-05	4,1884E-12
eu154	4,2772E-02	2,8571E-02	1,9085E-02	5,6906E-03	7,5665E-04	1,3387E-05	4,1921E-09	1,2850E-19

Tabla C.32. Decaimiento de la 5ª Capa de Armadura (Bq/g)

Desclasificación vasija	Nivel Desclasificación (Bq/g)	Año 25		Año 50	
		Actividad (Bq/g)	Act/NivelDes	Actividad (Bq/g)	Act/NivelDes
h 3	3000,00	1,3953E-01	4,6509E-05	3,4221E-02	1,1407E-05
c 14	300	4,0071E-02	1,3357E-04	3,9960E-02	1,3320E-04
fe 55	300	1,5629E-01	5,2096E-04	2,7347E-04	9,1156E-07
co 60	0,3	6,3788E-01	2,1263E+00	2,3798E-02	7,9328E-02
ni 59	3000	1,7723E-02	5,9077E-06	1,7719E-02	5,9064E-06
ni 63	3000	1,5766E+00	5,2552E-04	1,3261E+00	4,4203E-04
ba 133	0,3	4,5399E-02	1,5133E-01	8,7394E-03	2,9131E-02
eu152	0,3	2,2463E-01	7,4876E-01	6,1198E-02	2,0399E-01
eu154	0,3	5,6906E-03	1,8969E-02	7,5665E-04	2,5222E-03
Total		2,8438E+00	3,0466E+00	1,5127E+00	3,1557E-01

Tabla C.33. Cambio de Clasificación de la 5ª Capa de Armadura

Radioisótpo	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	1,4978E-01	1,1307E-01	8,5359E-02	3,6730E-02	9,0095E-03	5,4168E-04	1,9595E-06	9,2685E-14
c 14	1,0582E-02	1,0575E-02	1,0567E-02	1,0549E-02	1,0515E-02	1,0453E-02	1,0327E-02	9,9604E-03
fe 55	2,3506E+01	6,6045E+00	1,8552E+00	4,1144E-02	7,2002E-05	2,2045E-10	2,0672E-21	0,0000E+00
co 60	4,4992E+00	2,3317E+00	1,2081E+00	1,6791E-01	6,2641E-03	8,7172E-06	1,6887E-11	1,2269E-28
ni 59	4,6657E-03	4,6657E-03	4,6657E-03	4,6657E-03	4,6620E-03	4,6620E-03	4,6583E-03	4,6435E-03
ni 63	4,9358E-01	4,7656E-01	4,6028E-01	4,1514E-01	3,4902E-01	2,4686E-01	1,2351E-01	1,5470E-02
ba133	6,2049E-02	4,4622E-02	3,2098E-02	1,1947E-02	2,3007E-03	8,5322E-05	1,1733E-07	3,0521E-16
eu152	2,1701E-01	1,6731E-01	1,2898E-01	5,9126E-02	1,6110E-02	1,1958E-03	6,5897E-06	1,1026E-12
eu154	1,1259E-02	7,5221E-03	5,0246E-03	1,4974E-03	1,9917E-04	3,5239E-06	1,1030E-09	3,3825E-20

Tabla C.34. Decaimiento de la 6ª Capa de Armadura (Bq/g)

Desclasificación vasija	Nivel Desclasificación (Bq/g)	Año 10		Año 25	
		Actividad (Bq/g)	Act/NivelDes	Actividad (Bq/g)	Act/NivelDes
h 3	3000,00	8,5359E-02	2,8453E-05	3,6730E-02	1,2243E-05
c 14	300	1,0567E-02	3,5224E-05	1,0549E-02	3,5162E-05
fe 55	300	1,8552E+00	6,1839E-03	4,1144E-02	1,3715E-04
co 60	0,3	1,2081E+00	4,0268E+00	1,6791E-01	5,5969E-01
ni 59	3000	4,6657E-03	1,5552E-06	4,6657E-03	1,5552E-06
ni 63	3000	4,6028E-01	1,5343E-04	4,1514E-01	1,3838E-04
ba 133	0,3	3,2098E-02	1,0699E-01	1,1947E-02	3,9824E-02
eu152	0,3	1,2898E-01	4,2994E-01	5,9126E-02	1,9709E-01
eu154	0,3	5,0246E-03	1,6749E-02	1,4974E-03	4,9913E-03
Total		3,7902E+00	4,5869E+00	7,4870E-01	8,0191E-01

Tabla C.35. Cambio de Clasificación de la 6ª Capa de Armadura

Radioisótpo	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	5,0320E-02	3,7962E-02	2,8671E-02	1,2336E-02	3,0251E-03	1,8193E-04	6,5786E-07	3,1132E-14
c 14	3,5535E-03	3,5513E-03	3,5494E-03	3,5428E-03	3,5320E-03	3,5109E-03	3,4688E-03	3,3448E-03
fe 55	7,8958E+00	2,2178E+00	6,2308E-01	1,3816E-02	2,4176E-05	7,4037E-11	6,9412E-22	0,0000E+00
co 60	1,5115E+00	7,8292E-01	4,0552E-01	5,6388E-02	2,1038E-03	2,9278E-06	5,6721E-12	4,1218E-29
ni 59	1,5670E-03	1,5670E-03	1,5670E-03	1,5666E-03	1,5662E-03	1,5655E-03	1,5640E-03	1,5599E-03
ni 63	1,6572E-01	1,6006E-01	1,5462E-01	1,3938E-01	1,1722E-01	8,2917E-02	4,1477E-02	5,1948E-03
ba133	2,0835E-02	1,4985E-02	1,0782E-02	4,0108E-03	7,7256E-04	2,8653E-05	3,9405E-08	1,0249E-16
eu152	7,2890E-02	5,6203E-02	4,3327E-02	1,9858E-02	5,4094E-03	4,0145E-04	2,2130E-06	3,7037E-13
eu154	3,7814E-03	2,5256E-03	1,6872E-03	5,0283E-04	6,6896E-05	1,1836E-06	3,7037E-10	1,1359E-20

Tabla C.36. Decaimiento de la 7ª Capa de Armadura (Bq/g)

Desclasificación vasija	Nivel Desclasificación (Bq/g)	Año 10		Año 25	
		Actividad (Bq/g)	Act/NivelDes	Actividad (Bq/g)	Act/NivelDes
h 3	3000,00	2,8671E-02	9,5571E-06	1,2336E-02	4,1119E-06
c 14	300	3,5494E-03	1,1831E-05	3,5428E-03	1,1809E-05
fe 55	300	6,2308E-01	2,0769E-03	1,3816E-02	4,6053E-05
co 60	0,3	4,0552E-01	1,3517E+00	5,6388E-02	1,8796E-01
ni 59	3000	1,5670E-03	5,2232E-07	1,5666E-03	5,2219E-07
ni 63	3000	1,5462E-01	5,1541E-05	1,3938E-01	4,6460E-05
ba 133	0,3	1,0782E-02	3,5939E-02	4,0108E-03	1,3369E-02
eu152	0,3	4,3327E-02	1,4442E-01	1,9858E-02	6,6193E-02
eu154	0,3	1,6872E-03	5,6240E-03	5,0283E-04	1,6761E-03
Total		1,2728E+00	1,5399E+00	2,5140E-01	2,6931E-01

Tabla C.37. Cambio de Clasificación de la 7ª Capa de Armadura

Radioisótpo	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	1,5462E-02	1,1674E-02	8,8134E-03	3,7925E-03	9,2981E-04	5,5907E-05	2,0224E-07	9,5682E-15
c 14	1,0922E-03	1,0915E-03	1,0908E-03	1,0889E-03	1,0856E-03	1,0789E-03	1,0660E-03	1,0282E-03
fe 55	2,4265E+00	6,8154E-01	1,9151E-01	4,2476E-03	7,4296E-06	2,2755E-11	2,1338E-22	0,0000E+00
co 60	4,6472E-01	2,4069E-01	1,2469E-01	1,7335E-02	6,4676E-04	8,9984E-07	1,7431E-12	1,2665E-29
ni 59	4,8174E-04	4,8174E-04	4,8174E-04	4,8137E-04	4,8137E-04	4,8137E-04	4,8063E-04	4,7952E-04
ni 63	5,0949E-02	4,9210E-02	4,7508E-02	4,2846E-02	3,6027E-02	2,5482E-02	1,2750E-02	1,5969E-03
ba133	6,4047E-03	4,6065E-03	3,3134E-03	1,2332E-03	2,3747E-04	8,8060E-06	1,2114E-08	3,1506E-17
eu152	2,2400E-02	1,7272E-02	1,3316E-02	6,1013E-03	1,6628E-03	1,2343E-04	6,8006E-07	1,1381E-13
eu154	1,1622E-03	7,7626E-04	5,1874E-04	1,5459E-04	2,0561E-05	3,6375E-07	1,1385E-10	3,4917E-21

Tabla C.38. Decaimiento de la 8ª Capa de Armadura (Bq/g)

Desclasificación vasija	Nivel Desclasificación (Bq/g)	Año 0		Año 5	
		Actividad (Bq/g)	Act/NivelDes	Actividad (Bq/g)	Act/NivelDes
h 3	3000,00	1,5462E-02	5,1541E-06	1,1674E-02	3,8912E-06
c 14	300	1,0922E-03	3,6408E-06	1,0915E-03	3,6383E-06
fe 55	300	2,4265E+00	8,0882E-03	6,8154E-01	2,2718E-03
co 60	0,3	4,6472E-01	1,5491E+00	2,4069E-01	8,0228E-01
ni 59	3000	4,8174E-04	1,6058E-07	4,8174E-04	1,6058E-07
ni 63	3000	5,0949E-02	1,6983E-05	4,9210E-02	1,6403E-05
ba 133	0,3	6,4047E-03	2,1349E-02	4,6065E-03	1,5355E-02
eu152	0,3	2,2400E-02	7,4666E-02	1,7272E-02	5,7572E-02
eu154	0,3	1,1622E-03	3,8739E-03	7,7626E-04	2,5875E-03
Total		2,9891E+00	1,6571E+00	1,0073E+00	8,8009E-01

Tabla C.39. Cambio de Clasificación de la 8ª Capa de Armadura

Radioisótpo	discharge	5.0 y	10.0 y	25.0 y	50.0 y	100.0 y	200.0 y	500.0 y
h 3	5,5278E-03	4,1736E-03	3,1513E-03	1,3561E-03	3,3252E-04	1,9999E-05	7,2335E-08	3,4221E-15
c 14	3,9072E-04	3,9035E-04	3,8998E-04	3,8924E-04	3,8813E-04	3,8591E-04	3,8110E-04	3,6767E-04
fe 55	8,6765E-01	2,4379E-01	6,8487E-02	1,5185E-03	2,6573E-06	8,1363E-12	7,6294E-23	0,0000E+00
co 60	1,6617E-01	8,6062E-02	4,4585E-02	6,1975E-03	2,3125E-04	3,2183E-07	6,2345E-13	4,5288E-30
ni 59	1,7224E-04	1,7224E-04	1,7224E-04	1,7220E-04	1,7216E-04	1,7209E-04	1,7194E-04	1,7146E-04
ni 63	1,8215E-02	1,7594E-02	1,6998E-02	1,5318E-02	1,2883E-02	9,1131E-03	4,5584E-03	5,7091E-04
ba133	2,2903E-03	1,6472E-03	1,1851E-03	4,4104E-04	8,4915E-05	3,1494E-06	4,3327E-09	1,1267E-17
eu152	8,0105E-03	6,1753E-03	4,7619E-03	2,1826E-03	5,9459E-04	4,4141E-05	2,4328E-07	4,0700E-14
eu154	4,1551E-04	2,7765E-04	1,8544E-04	5,5278E-05	7,3519E-06	1,3009E-07	4,0737E-11	1,2488E-21

Tabla C.40. Decaimiento de la 9ª Capa de Armadura (Bq/g)

Desclasificación vasija	Nivel Desclasificación (Bq/g)	Año 0	
		Actividad (Bq/g)	Act/NivelDes
h 3	3000,00	5,5278E-03	1,8426E-06
c 14	300	3,9072E-04	1,3024E-06
fe 55	300	8,6765E-01	2,8922E-03
co 60	0,3	1,6617E-01	5,5389E-01
ni 59	3000	1,7224E-04	5,7412E-08
ni 63	3000	1,8215E-02	6,0717E-06
ba 133	0,3	2,2903E-03	7,6343E-03
eu152	0,3	8,0105E-03	2,6702E-02
eu154	0,3	4,1551E-04	1,3850E-03
Total		1,0688E+00	5,9251E-01

Tabla C.41. Clasificación de la 9ª Capa de Armadura después de la Parada