

Aspectos técnicos del proceso de segmentación y embalaje de la vasija del reactor de la central nuclear José Cabrera

J. M. Valdivieso y R. García Castro

Westinghouse está llevando a cabo los trabajos de segmentación de la vasija en el marco del Proyecto de Desmantelamiento y Clausura de la central nuclear José Cabrera. El concepto de segmentación y embalaje aplicado está basado en la amplia experiencia de Westinghouse en el campo de la segmentación de vasija e internos de reactores de agua ligera, particularmente en los trabajos previos de segmentación de los internos de la vasija de José Cabrera. En este artículo se presentan las actividades incluidas dentro de los trabajos de segmentación y embalaje: selección del método de corte, actividades preparatorias, actividades de segmentación, caracterización de residuos y actividades de embalaje de residuos.

Westinghouse is carrying out the segmentation of the reactor pressure vessel (RPV) within the framework of the Dismantling & Decommissioning Project of the José Cabrera NPP. The final concept is based on the comprehensive Westinghouse experience in the field of LWR pressure vessel and internals segmentation, and particularly in previous reactor internals segmentation project for José Cabrera NPP. This article shows the development of all the activities included: cutting method selection, preparatory works, cutting activities, waste characterization and packaging activities.

En 1964 comienza la construcción de la Central Nuclear José Cabrera (CNJC), en Zorita; del tipo agua a presión, con una potencia instalada de 160 MW. Los componentes principales y, en particular, la vasija y los internos de la vasija fueron fabricados y suministrados por Westinghouse.

A mediados de 2010, Enresa, dentro de los trabajos del Plan de Desmantelamiento y Clausura (PDC) de la central nuclear José Cabrera, adjudicó a Westinghouse la segmentación de los internos de la vasija, proyecto finalizado en otoño de 2013.

La tecnología de corte mecánico bajo agua aplicada en la segmentación de los internos ha demostrado su seguridad y eficacia en el corte de materiales de mayor resistencia y dureza que los de la vasija y con geometrías más complejas. Por todo ello, se decidió aplicar la misma metodología para el corte de la vasija: métodos mecánicos de segmentación bajo agua.

Los trabajos de segmentación de la vasija fueron adjudicados por Enresa a Westinghouse en septiembre de 2013 y estarán finalizados en el segundo trimestre de 2015.

ELECCIÓN DEL MÉTODO DE SEGMENTACIÓN

Para todas las actividades de desmantelamiento y segmentación de la vasija de la central nuclear José Cabrera, Westinghouse preconiza el uso de técnicas de segmentación puramente mecánicas, es decir, sierras de banda, sierras de disco, herramientas de corte por cizallamiento, máquinas de perforación, etc. Esta tecnología se está utilizando extensivamente por Westinghouse en proyectos de segmentación de los internos en los países nórdicos, en España, etc., con resultados ampliamente satisfactorios.

La elección de este tipo de tecnología está fundamentada en lo siguiente:

- a) Westinghouse ha desechado desde hace mucho tiempo el uso de cualquier tecnología de segmentación o corte que esté basada en el uso de métodos de corte térmicos, debido a los problemas asociados a la generación de gases y aerosoles radiactivos y a la turbulencia del agua que se produce dificultando la visibilidad.



JOSÉ MIGUEL VALDIVIESO RAMOS
Servicio de Ingeniería del Proyecto de Desmantelamiento y Clausura de CN José Cabrera
WESTINGHOUSE ELECTRIC SPAIN

Ingeniero de Minas y licenciado en Ciencias Empresariales. Ha desarrollado, desde 1991, su actividad profesional en el área de gestión de residuos radiactivos y desmantelamiento de instalaciones nucleares.



RAFAEL GARCÍA CASTRO
Jefe de Proyecto y Site Manager para los trabajos de segmentación de los internos y de la vasija dentro del Proyecto de Desmantelamiento y Clausura de CN José Cabrera.
WESTINGHOUSE TECHNOLOGY SYSTEMS

Licenciado en Electrónica. Ha desarrollado su actividad profesional en el área de Servicios de Campo a Centrales Nucleares.

b) Para este proyecto, Westinghouse también ha descartado el uso de otras tecnologías de corte “en frío”, como el corte con chorro de agua a alta presión con abrasivos (AWJC) que genera un gran volumen de residuos secundarios en forma de grano pulverizado contaminado con partículas de metales altamente activadas. Esto conlleva la generación de un gran número de contenedores de residuos secundarios, con un alto coste en cuanto al volumen y su disposición final.

c) El corte mecánico genera subproductos insolubles, como lanas y virutas metálicas. Este tipo de material se puede recuperar fácilmente mediante equipos de recogida, haciendo acopio previo de la viruta en el fondo de la piscina mediante soplado con chorro de agua, recogida de la viruta con cucharas bivalva y carga en cestillos de viruta, todo ello realizado bajo agua. Posteriormente, la viruta más fina se aspira con un equipo de filtrado quedando retenida la misma en los filtros de dicho equipo.

Además, durante los trabajos de corte, se produce un aumento en la turbidez del agua de la piscina debido sobre todo a la dilución en la misma de la contaminación desprendible de la parte interior de la vasija, por ello, es necesario complementar la limpieza del agua con un equipo de filtración específico para tal fin, que permitirá la clarificación del agua, fundamental para poder realizar los trabajos de segmentación. Los filtros se gestionarán como residuos en cestas tipo CE-2b.

La viruta se recoge dentro de recipientes apropiados de acero inoxidable que posteriormente serán introducidos junto con los residuos primarios en las cestas tipo CE-2a/b.

ELECCIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

Todas las actividades de segmentación de la vasija y la tapa de la misma se desarrollan bajo agua, dentro del foso de combustible gastado, mientras que la cavidad de recarga sólo se utilizará como área de almacenamiento temporal de cestas metálicas tipo CE-2a/b.

La central nuclear José Cabrera presenta la peculiaridad de disponer la cavidad de recarga y el foso de combustible gastado anexas dentro del Edificio de Contención. Durante las actividades de segmentación de los internos se abrió un acceso entre ambas cavidades para el traslado de dichos internos, y diseñado para que pudiese utilizarse para el traslado de la vasija, en su caso.

Las bases de la elección del foso de combustible gastado como área de trabajo son:

a) La profundidad máxima del agua en el foso de combustible gastado es mayor que para la cavidad de recarga, en unos seis metros aproximadamente. Esta profundidad adicional de agua conlleva unas tasas de dosis aceptables en la superficie del agua durante el desarrollo y control local de las actividades de segmentación.

b) Para cumplir con los requisitos Alara, se mantendrá un espesor mínimo de agua de 2,20 m por encima de los elementos más activados en todo momento durante todas las operaciones relacionadas con la segmentación (movimientos de cestas, manejo de equipos, corte, etc.).

El desarrollo y control local de los trabajos se lleva a cabo desde una plataforma puente situada en el foso de combustible gastado. La plataforma puente está equipada con un sistema de cámara subacuática y un monitor, sistema de manipulación de herramientas de corte y medios de manutención, sistema de iluminación subacuática y conexiones neumáticas y eléctricas.

PRUEBAS CON MAQUETA

Con objeto de asegurar la fiabilidad de la ejecución del proyecto, se han realizado dos pruebas previas específicas: una sobre la tapa de la vasija montada en el foso de combustible en su configuración de corte y otra en Vasteras (Suecia) donde se ha ensayado el corte de las toberas con hilo de diamante en una maqueta con la misma configuración que se ha adoptado en planta.

Adicionalmente, el uso de equipos probados en el foso de combustible durante los trabajos de segmentación de los internos, en condiciones idénticas a las que se prevén durante el corte de la vasija, proporciona la mejor prueba y experiencia de que las herramientas propuestas son una garantía para el éxito del proyecto de segmentación de la vasija.

ACTIVIDADES PREPARATORIAS

La retirada de la vasija del reactor de su posición en la cavidad del reactor así como la segmentación de la misma en el foso de combustible gastado implica la realización de una serie de actividades previas que tienen que llevarse a cabo antes del proceso de segmentación:

- Instalación de un nuevo equipo de movimiento de cargas pesadas, ya que el peso combinado de la vasija sin su tapa, herramienta de izado,

la tapa de blindaje y/o el volumen de agua alojada en la misma excede la capacidad de carga de la grúa pórico existente.

- Preparación del suelo del foso de combustible gastado, con objeto de regularizar la superficie disponible al mismo nivel, e instalar chapas de protección del *liner* en acero inoxidable.
- Instalación de una estructura soporte de la vasija en el foso de combustible gastado, que la mantenga en posición vertical y de forma estable durante los trabajos de segmentación.
- Retirada de aislamiento en la zona inferior de la vasija.
- Sellado con resina y corte de las penetraciones de la instrumentación intranuclear.
- Retirada del anillo de sellado de la cavidad del reactor.
- Retirada del anillo de blindaje neutrónico.
- Retirada de soportes del blindaje neutrónico, ya que interfieren con algunas partes de la vasija (toberas, soporte vasija, etc) de cara a las maniobras de izado.

Corte de las tuberías de conexión de la vasija

- Toberas de las ramas principales. Se han cortado con un equipo de corte con hilo de diamante.
- Corte de las líneas de inyección de seguridad. También se han cortado con un equipo de corte con hilo de diamante.
- Corte de los tubos del monitor de fugas. Mediante una herramienta de corte por cizallamiento se han seccionado lo más próximo posible al aislamiento reflectivo o a la pared de la vasija.

Traslado de la vasija al foso de combustible gastado

- Montaje de los elementos de izado en la brida de la vasija. Montaje de los accesorios para el izado y traslado de la vasija sobre la brida de la misma.
- Traslado de la vasija. Una vez retirado el aislamiento reflectivo de la vasija, se procede al izado y traslado de la misma hasta su posición final en el foso de combustible gastado.
- Asegurar la instalación de la vasija en su soporte en el foso de combustible gastado. Se hace descender la vasija verticalmente hasta su posición final en su soporte en el foso de combustible gastado. Posteriormente se asegura con una serie de gatos de empuje hidráulicos.

- Sellado de la cavidad del reactor. Posteriormente al traslado de la vasija a su posición final en el foso de combustible gastado, la cavidad del reactor se ha sellado de forma estanca mediante el montaje de una tapa diseñada para ese cometido. Una vez montada la tapa, se ha impermeabilizado toda la superficie afectada.
- Retirada del equipo de izado. Una vez la vasija se encuentra situada en su soporte en el foso de combustible gastado, se procede a la retirada del útil de izado.
- Subida del nivel de agua en el foso de combustible gastado. Previamente al inicio de la segmentación de la vasija, el nivel del agua en el foso de combustible gastado ha de incrementarse hasta la cota 609, aproximadamente.

OPERACIONES DE SEGMENTACIÓN

La mayor parte de los trabajos previstos para esta actividad se llevan a cabo de forma remota, realizando cortes bajo agua en el foso de combustible gastado. La vasija y los residuos resultantes se manejan con útiles de izado y manipulación específicos para esta tarea. También se utilizan algunas estructuras especiales para facilitar una buena posición de corte. Las piezas cortadas se manipulan con utillaje de izado específico, pinzas con accionamiento hidráulico y se empaquetan en diferentes cestas en función del nivel de actividad. Los operarios utilizan cámaras subacuáticas para visualizar los movimientos mediante monitores situados sobre el puente de trabajo, supervisando que todas las operaciones se realicen de acuerdo con la secuencia planificada.

El trabajo de segmentación se realiza mediante herramientas de corte mecánico, de fácil manejo, rápido y que proporciona gran flexibilidad de uso. Las técnicas de corte mecánico no producen aerosoles y facilitan una completa visibilidad en el agua de la piscina durante todas las operaciones. Las virutas de metal procedentes del proceso de corte caen al fondo por gravedad y pueden ser recogidas fácilmente con herramientas diseñadas a tal fin.

Segmentación de la tapa de la vasija

El trabajo de segmentación de la tapa de la vasija se realiza en el foso de combustible gastado. La tapa de la vasija se monta sobre la mesa giratoria, que incluye un soporte instalado que sujeta la tapa durante el trabajo de segmentación garantizando la estabilidad de la misma durante el corte.

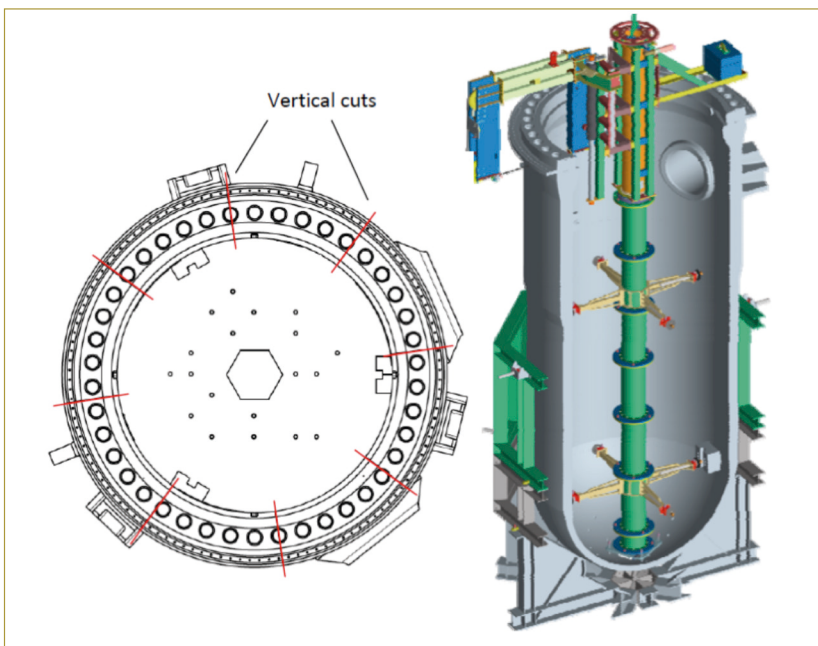


Figura 1. Cortes verticales en la pared de la vasija con sierra de banda.

Para la operación de corte se utiliza una sierra de banda en un soporte de suelo para segmentar la tapa de la vasija en piezas de tamaño adecuado para su embalaje.

Segmentación de la vasija del reactor

Una vez instalada la vasija en su posición de corte, en un primer paso, se llevan a cabo una serie de operaciones para la instalación de las herramientas propias y auxiliares de corte:

- Corte de las penetraciones de instrumentación en el interior de la vasija. Existen veinte penetraciones de instrumentación situadas en el fondo de la vasija que deben ser cortadas con sierra de disco y retiradas para dejar espacio al equipo de segmentación de vasija.
- Realización de hueco en el fondo de la vasija del reactor. Para anclar la herramienta principal de sierra de banda a la vasija, se necesita realizar un agujero en el fondo.
- Instalación de la columna para la sierra de banda. Posteriormente a la apertura del agujero hexagonal en el fondo de la vasija, la base de la columna se puede instalar y fijar al soporte de vasija. Dicha apertura se realiza mediante el corte con una sierra de disco.

Las zonas superior (brida y zona de soportes y toberas) e intermedia (zona del barrilete del núcleo) de la vasija del reactor se cortan utilizando la sierra de banda soportada en el pilar central. Se ha previsto la realización de taladros para el paso de la hoja de sierra, o bien, al inicio de la segmentación de cada fila, se realiza el corte de la primera pieza mediante sierra de disco. Con ello, se deja espacio para realizar el corte horizontal con la sierra de banda.

La mayor parte de la vasija del reactor (zonas superior e intermedia)

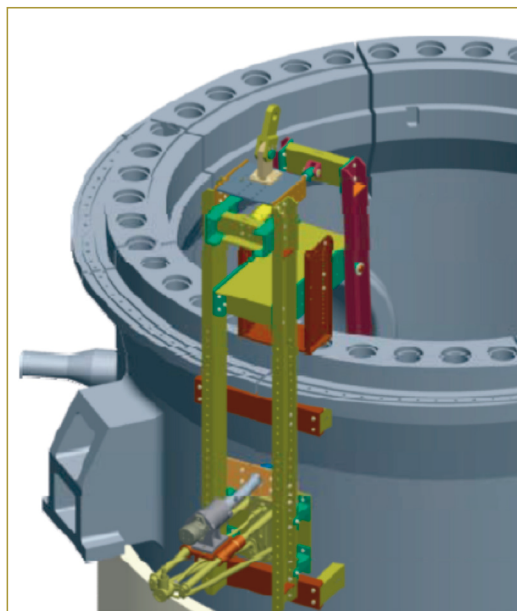


Figura 2. Taladros verticales en las paredes de la vasija.

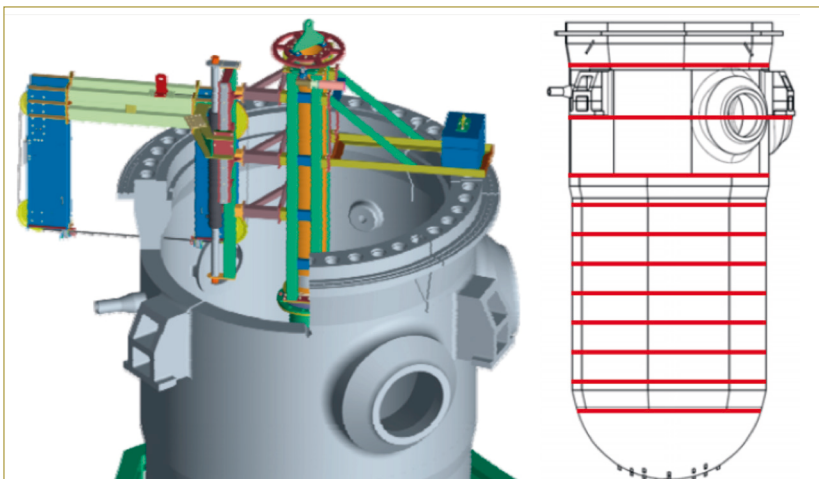


Figura 3. Cortes horizontales.

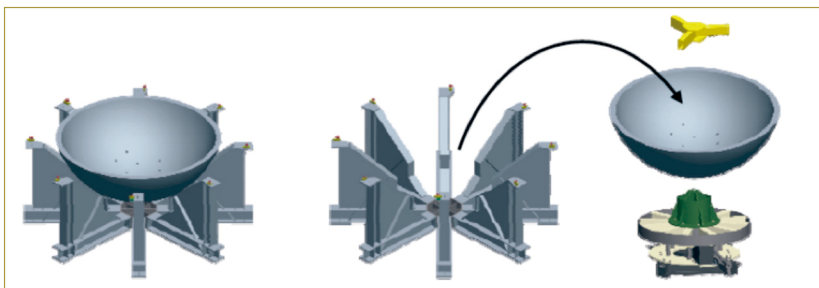


Figura 4. Traslado del fondo de la vasija a la mesa giratoria.

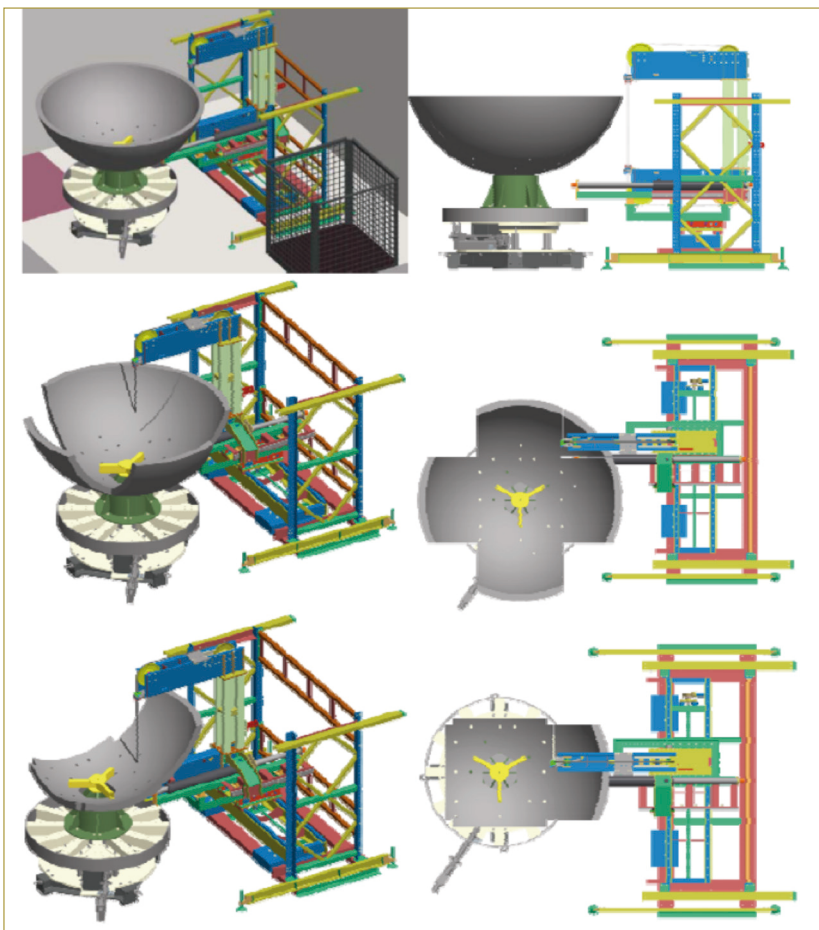


Figura 5. Corte del fondo de la vasija.

se segmentan repitiendo la siguiente operación de tres pasos de forma iterativa:

1. Cortes verticales en la pared de la vasija con la sierra de banda. Con la columna central fijada al interior de la vasija del reactor y configurada a la altura apropiada, se soporta el pilar principal giratorio y la sierra de banda. El pilar principal giratorio posee una conexión hidráulica rápida y sencilla a la columna, facilitando que las operaciones de mantenimiento y cambio de cuchilla precisen poco tiempo. El pilar principal giratorio puede rotar 360° sin limitación permitiendo cualquier posición a la sierra de banda para realiza cortes verticales (Figura 1).

2. Taladros radiales en paredes de la vasija. Cada vez que la sierra de banda deba realizar un corte horizontal alrededor de la vasija del reactor, se necesita habilitar un espacio para girar la hoja de sierra. Se utiliza una máquina de taladrar, posicionada de tal manera que el agujero se localice bajo la línea del corte vertical. La altura del taladro se ajusta en su soporte de acuerdo a lo previsto en el plan de corte. Las características de la broca son tales que permiten realizar el agujero y retirar el trozo cortado sin necesidad de subir la herramienta a la superficie (Figura 2).

3. Corte horizontal alrededor de la vasija del reactor. Con el giro de la hoja de sierra en el agujero se puede realizar el corte en dirección horizontal. El pilar principal guiará la sierra alrededor de la vasija del reactor hasta completar el giro de 360°. A medida que se liberen las piezas, éstas son retiradas con el útil de izado apropiado, colocándose en los contenedores previstos. Si fuese necesario, el útil de izado puede aplicar una fuerza de izado antes de finalizar el corte para evitar que la hoja de sierra quede aprisionada por el peso de la pieza.

Estas operaciones continúan hasta que únicamente quede la parte inferior de la vasija del reactor, estando el límite estimado dónde comienza la parte esférica (Figura 3).

La parte restante del fondo de la vasija no puede ser cortada en el soporte de la vasija y debe trasladarse y montarse en la mesa giratoria. La parte más baja de la vasija tiene un peso aproximado de 7 t (Figura 4).

La mesa giratoria está equipada con un soporte y una fuerza especial que se utilizan para fijar el fondo de

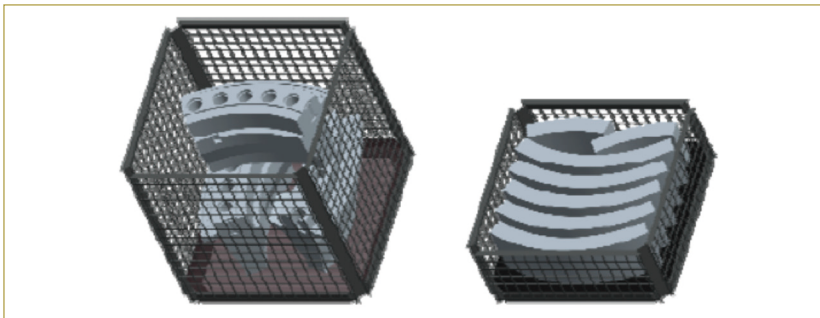


Figura 6. Ejemplo de embalaje de la vasija en contenedores tipo CE-2a/b.

la vasija. La segmentación del fondo de la vasija se realiza con la herramienta de sierra de banda montada en un soporte de suelo. Dicho soporte en combinación con la mesa giratoria dan a la sierra de banda gran flexibilidad para cortar el resto de la vasija (Figura 5).

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS PRIMARIOS

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

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

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

Todas las piezas segmentadas que, según el Plan de Embalaje, se dispondrán en contenedores tipo CE-2a/b, estarán sujetas, al menos, a una medición bajo agua a través de una sonda sumergible dispuesta desde el centro de control de trabajo. Los datos así obtenidos se contrastan con los datos preliminares de activación disponibles. Las medidas realizadas en campo se combinan con los modelos de blindaje específicos para piezas y cestas, con el fin de estimar los inventarios radiactivos correspondientes y confirmar los requisitos para estas unidades de almacenamiento.

EMBALAJE DE LA VASIJAS DEL REACTOR

Las piezas cortadas de la vasija y de la tapa de la vasija serán empaquetadas de acuerdo al Plan de Embalaje. Las piezas cortadas pueden ser inmediatamente almacenadas en la cavidad del reactor y/o en el foso de combustible gastado.



Figura 7. Ejemplo de embalaje de la tapa de la vasija en contenedores tipo CE-2a.

Si el plan de embalaje lo permite las piezas cortadas serán inmediatamente posicionadas directamente en el contenedor reduciendo el tiempo de operación.

Vasija del reactor

La siguiente figura muestra un ejemplo de cómo se realiza el embalaje de la vasija. Se utilizarán diferentes tipos de contenedores dependiendo del tamaño, peso y nivel de irradiación de las piezas. Se tienen previstas ocho cestas CE-2a con una carga de entre 6.700 y 7.700 kg., y nueve cestas CE-2b con una carga de entre 3.500 y 5.200 kg (Figura 6).

Tapa de la vasija del reactor

La siguiente figura muestra un ejemplo de piezas cortadas de la tapa de la vasija embaladas en una cesta CE-2a. Se tienen previstas tres cestas CE-2a con una carga de entre 5.500 y 6.900 kg. (Figura 7). ■