

# TRATAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO DE RESIDUOS PROCEDENTES DE INCIDENTES EN ACERÍAS

M. NAVARRO - F. GÓMEZ

Como consecuencia del incidente de fundición de fuentes de Cs-137 en acerías, se han generado unos residuos radiactivos distintos de los que se producen habitualmente en la operación de las instalaciones nucleares, lo que ha requerido la adaptación de algunas instalaciones del C.A. El Cabril, así como la implantación de nuevos equipos y sistemas.

*As a consequence of the incident of the smelting sources of Cs-137 in steel mills, there have been generated radioactive waste a few different from which habitually they are produced in the nuclear facilities operation, which has needed the adjustment of some facilities of the C.A. El Cabril and the implantation of new equipments and systems.*

## ANTECEDENTES

Ante la necesidad de dar respuesta a la situación planteada como consecuencia de los incidentes ocurridos en dos acerías con motivo de la fundición de dos fuentes de Cs-137, en la que se contaminaron las citadas acerías y cuatro instalaciones más, ha habido que realizar diferentes modificaciones en las instalaciones del C. A. El Cabril.

En dichos incidentes se generaron aproximadamente un total de 2.400 m<sup>3</sup> de residuos.

Los residuos retirados han sido principalmente polvo de humo de acería extraídos de los sistemas de depuración y filtrado de la acería (1.500 m<sup>3</sup>) e inertizado formado por la mezcla de polvo de humo con cemento, cal y agua, originando un producto de baja resistencia (400 m<sup>3</sup>), y adicionalmente cantidades menores de residuos compactables, lodos y chatarras.

El polvo de humo y el inertizado han sido retirados en sacas de aproximadamente un metro cúbico de capacidad. Por ser el sistema más idóneo para estos productos y la necesidad de actuación urgente de recuperación de las instalaciones. Si bien al no ser el estándar

utilizado habitualmente en la gestión de residuos radiactivos, y unido a las características físico-químicas de los mismos, ha originado la necesidad de adaptación y adquisición de nuevos sistemas de tratamiento y acondicionamiento de residuos en la Instalación de El Cabril.

Tras el proceso de caracterización de los residuos se determinó la viabilidad de acondicionamiento de los mismos con un conglomerante hidráulico en base cemento.

Asimismo se fijó la necesidad de minimizar el volumen ocupado por los residuos acondicionados en las celdas de almacenamiento, por lo cual se estudió la posibilidad de incorporarlos como relleno de los huecos que quedan en el interior de los contenedores de almacenamiento una vez llenos de bultos de residuos, en sustitución del mortero limpio que actualmente se utiliza para esta función. De esta forma el residuo queda inmovilizado en una matriz sólida, se optimiza la gestión de residuos (pues como tal no ocupa volumen de almacenamiento definitivo) y no se altera la configuración de la unidad de almacenamiento con contenedor CE-2a aprobada.

Para la consecución de estos objetivos, se analizó y concluyó con resultados satisfactorios, la compatibilidad de estos residuos con los contenedores de hormigón y su no afectación en la durabilidad de los mismos.

Se vio que de todos los elementos que forman el polvo de humo únicamente las concentraciones presentes de iones cloruro no eran compatibles con el hormigón armado de los contenedores, por lo que se estableció un plan de trabajo encaminado a determi-

nar la manera más conveniente de reducir a concentraciones admisibles el contenido de cloruros de estos residuos radiactivos, cuyas conclusiones se volcaron en el diseño final de los sistemas implantados.

Los sistemas de tratamiento y acondicionamiento implantados tienen como función la manipulación y descarga de las unidades de contención, la trituración de los residuos, la reducción del contenido de cloruros de los mismos cuando sea necesario, su acondicionamiento y posterior incorporación a contenedores de almacenamiento.

## BASES DE DISEÑO DE LOS SISTEMAS

- El acondicionamiento de los residuos polvo e inertizado se realiza con mortero y con agua, en una cantidad de aproximadamente 1.000 kg por contenedor, mediante el sistema de bloqueo de residuos existente en la Instalación.

- Este acondicionamiento estará de acuerdo con lo establecido en el Programa de Control de Proceso del Sistema de Acondicionamiento de Residuos Asimilables a Áridos.

- El diseño de los sistemas es coherente con los Criterios Generales del Proyecto, y con los Criterios Generales de Protección Radiológica en vigor, para la operación del C.A. El Cabril.

- La parte del sistema relacionada con el confinamiento de la actividad y la protección radiológica del operador estará clasificada como de nivel de calidad II y III, según el Manual de Garantía de Calidad de ENRESA.

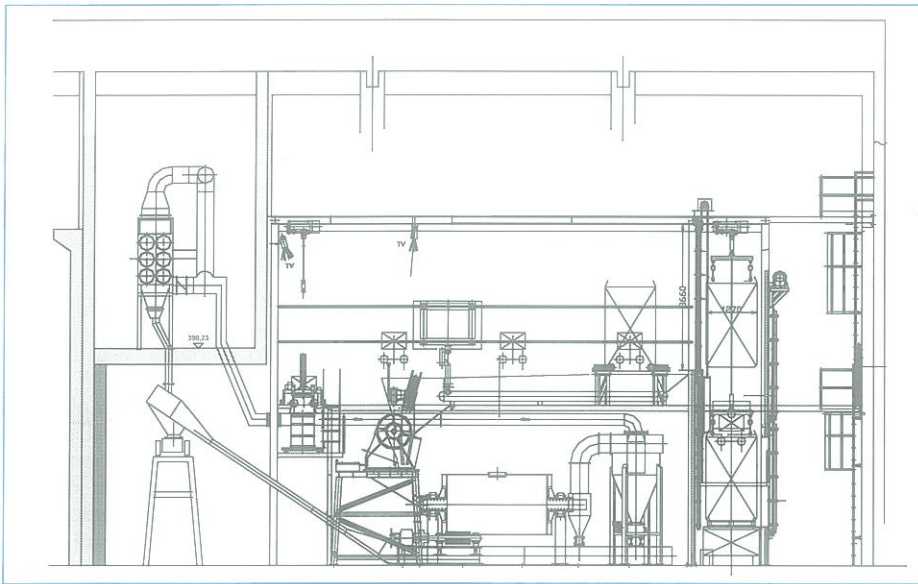


Figura 1. Recinto de Manipulación y Trituración.

- El sistema se diseñará cumpliendo los criterios ALARA; las operaciones que puedan generar contaminación se realizarán bajo confinamiento.

- Se minimizará la capacidad de almacenamiento definitivo ocupada por los residuos, así como la generación de residuos secundarios.

### DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO DE LOS RESIDUOS

#### Proceso de Manipulación y Trituración:

Las sacas de residuos son transportadas una a una con carretilla y sobre sus palets, desde los contenedores ISO de almacenamiento temporal, hasta introducir las en la Nave de Tratamientos Auxiliares en el edificio de Acondicionamiento del C. A. El Cabril.

El operador rompe la parte superior del envoltorio plástico de la saca, y extrae los cuatro asideros de la misma para posibilitar su posterior manipulación, y la deposita en la esclusa de entrada al Recinto de Manipulación y Trituración de Residuos (figura 1), fabricado para tal fin. Este Recinto de 12,5 m de longitud, 8,75 m de altura y 3,4 m de ancho, está construido en acero inoxidable, sin puntos de acumulación de suciedad, y con estanqueidad clase 3 según la norma AFNOR, admitiéndose una fuga igual o menor a 0,1 V/H. Está mantenido a 250 Pa de depresión y dispone de un sistema de ventilación controlada propio (filtro de alta eficacia y filtro HEPA), con un filtro de cartuchos previo.

El operador engancha los cuatro asideros de la saca en el útil de enganche del polipasto monorraíl, que dispone el recinto e iza la saca hasta situarla en la posición elevada, frente a la compuerta de entrada al recinto principal (área de operación). A continuación abre la compuerta interior de la esclusa y traslada la saca hasta introducirla en el recinto principal situándola en posición predeterminada sobre la tolva-cinta de descarga de residuos.

Mediante un brazo robotizado existente en el interior del recinto, y empleando una herramienta de corte, se realiza un corte controlado de la saca, cayendo el residuo sobre la tolva-cinta. Para facilitar el vaciado de la saca, un dispositivo rompedor neumático golpea horizontalmente la parte inferior de la misma. El operador acciona y supervisa la operación desde un cuadro local con visión directa a través de ventana blindada y mediante cámaras de TV (foto 1).

Si durante la descarga el operador observase materiales distintos a los considerados óptimos para triturar: (piezas metálicas, plásticos, trapos, etc.), el operador los segregará, con la ayuda del brazo robotizado, a un bidón acoplado al recinto.

El residuo depositado en la cinta es transportado por ésta, hasta un triturador de mandíbulas (10 t/h de capacidad), en donde es triturado a granulometría inferior a 40 mm. Un rompedor de bloques, previo a este triturador, rompe los trozos grandes, hasta un tamaño admisible para el mismo. Desde este triturador, el residuo se descarga a un molino de bolas (700 Kg/h de capacidad) que lo tritura a una granulometría aproximada de 1 mm.

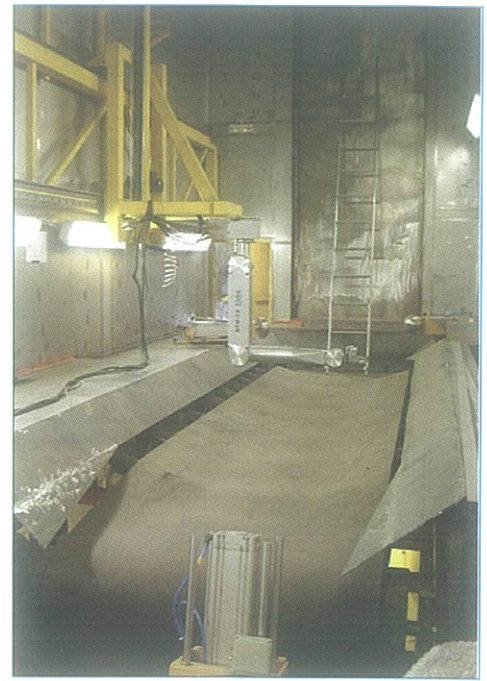


Foto 1. Zona de Segregación y Manipulación.

El residuo ya triturado es transportado a un transportador de cadena (2 t/h), que evacua el residuo desde la Nave de Tratamientos Auxiliares a la Nave de Contenedores hasta descargarlo en un Tanque Móvil (puesto de llenado), que va a transportar los residuos a la siguiente etapa del proceso (foto 2).

Una vez lleno, el Tanque Móvil de Residuos (4,5 m<sup>3</sup> de capacidad) es aislado, y trasladado al puesto de vaciado. En esta posición se acopla sobre un transportador sinfín de plano inclinado,



Foto 2. Sistema de Transferencia.

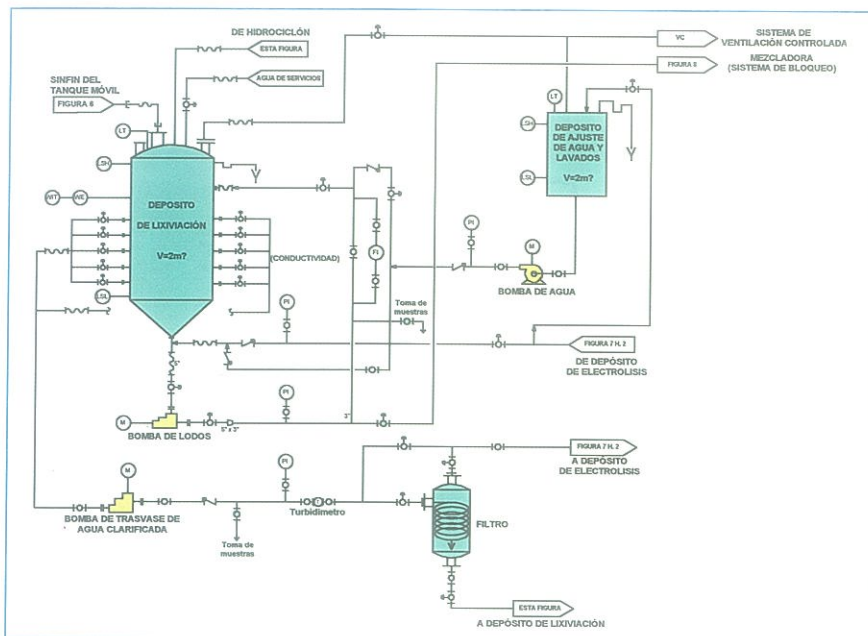


Figura 2. Etapa de Lixiviación.

transporta los residuos hasta el Depósito de Lixiviación del sistema de reducción de cloruros.

Todas las operaciones asociadas al funcionamiento del Tanque Móvil se realizan desde la Sala de Control.

#### Proceso de reducción de cloruros del residuo:

Este proceso es necesario para reducir la concentración de iones cloruro en el residuo por debajo de los límites aceptables y sin generación adicional de efluentes secundarios. El proceso se efectúa en dos etapas:

- Lixiviación de cloruros, o fase físico-química.
- Electrólisis del agua de lixiviación para eliminación de cloruros mediante su transformación a  $Cl_2$  gas, o fase electroquímica.

##### a) Etapa de Lixiviación (figura 2)

La lixiviación de cloruros tiene lugar en un depósito (Depósito de Lixiviación) con una capacidad de  $15 m^3$ , en el que tiene lugar un proceso de lixiviado de los residuos por tandas. El agua necesaria aportada para lixiviación (en función de la concentración de cloruros en el residuo) y el residuo sólido se mantienen en recirculación, mediante una bomba de lodos de manera que los residuos se someten a un proceso de agitación, homogeneización y lixiviación. El tiempo de lixiviación de los cloruros es inferior a una hora.

Finalizado este proceso el sistema queda en reposo, y se inicia el proceso de decantación por gravedad del resi-

duo (sin cloruros) en el Depósito de Lixiviación, este proceso tiene una duración aproximada de 2 horas.

Se produce a continuación la evacuación del agua clarificada lixiviada con cloruros, que es enviada mediante bombeo al proceso de electrólisis (Depósito de Electrólisis) para reducir los cloruros con el fin de reutilizarla como agua de lixiviación para la jornada posterior.

Finalmente, mediante la bomba de recirculación de lodos, el lodo (residuo y agua) del Depósito de Lixiviación es

bombeado para su acondicionamiento con mortero al Sistema de Bloqueo de la Instalación, y, posteriormente, es inyectado al contenedor. Este envío se realizará por tandas según las capacidades de acondicionamiento con mortero en aquel sistema.

##### b) Etapa de electrólisis (figura 3)

El proceso de electrólisis tiene lugar en una segunda fase para la reducción de los iones cloruro oxidándose a  $Cl_2$  (gas).

La electrólisis es un proceso continuo y en recirculación. Desde el Depósito de Electrólisis y mediante bombeo, el lixiviado con la carga de cloruros correspondiente al contenido de éstos en los residuos, se recircula, atravesando una batería de celdas electrolíticas con una superficie de electrodos de aproximadamente  $10 m^2$  (en adelante Reactor Electroquímico).

En este Reactor Electroquímico tiene lugar la formación de  $Cl_2(g)$  y de  $O_2(g)$  en el ánodo, y de  $H_2(g)$  en el cátodo, que son arrastrados por la corriente líquida en el propio lixiviado. El desprendimiento de estos gases tiene lugar en el Depósito de Electrólisis, donde se produce una desgasificación del fluido al caer en el depósito, y un arrastre y dilución de los gases mediante introducción de aire (foto 3).

Los gases se envían posteriormente a un lavador de vapores atravesando una torre rellena de anillos, en contracorriente con una disolución de sosa cáustica  $NaOH$ . El cloro gas es eliminado, produciendo hipoclorito sódico

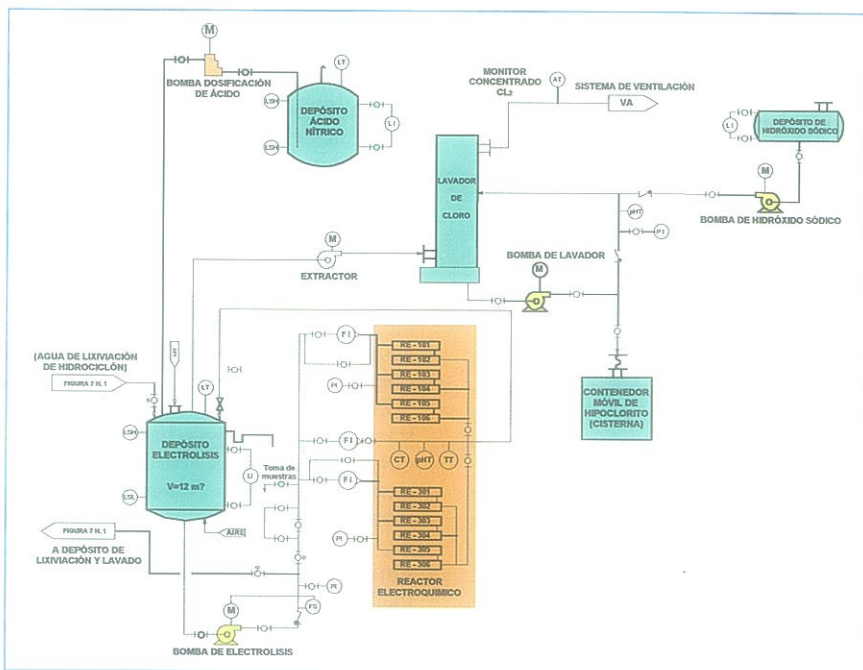


Figura 3. Etapa de Electrólisis.

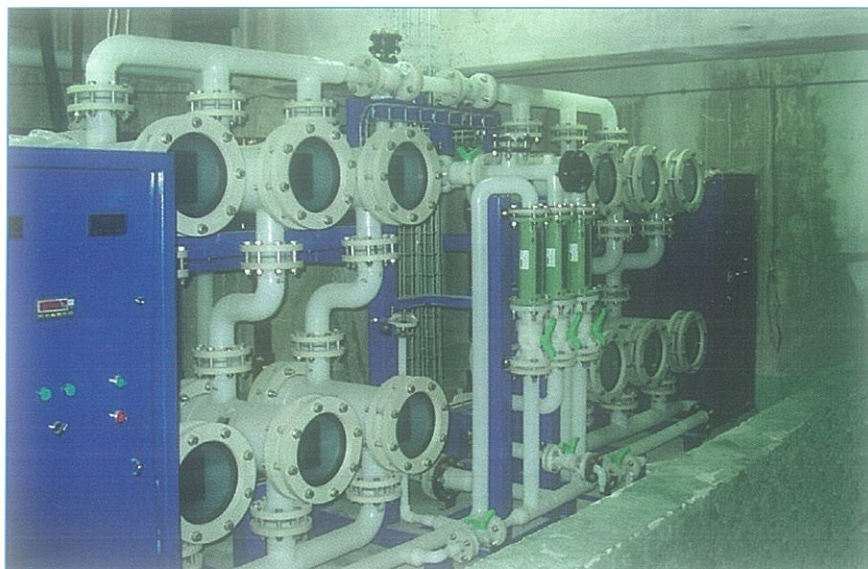


Foto 3. Reactor Electroquímico.

como residuo secundario convencional La descarga de gases del lavador ( $H_2$ ,  $O_2$  y aire de dilución) se dirige al exterior a través de la descarga general de la ventilación del edificio.

El sistema de electrólisis está diseñado para la reducción de los iones cloruro a concentraciones inferiores a 500 ppm en un tiempo inferior a 17 horas. Dicho sistema dispone de los enclavamientos para corte de la tensión en caso de mal funcionamiento y desviación de las consignas de los parámetros a controlar.

El sistema de reducción de cloruros se controla y supervisa desde un terminal específico en la Sala de Control del Edificio de Acondicionamiento.

La implantación de los equipos y sistemas principales se puede ver en la figura 5.

#### Acondicionamiento de los residuos con mortero (figura 4)

El acondicionamiento de los residuos con mortero se realiza en el sistema de bloqueo HB existente. El residuo más agua es descargado a la Mezcladora del sistema HB desde el Depósito de Lixiviación mediante la bomba de lodos. La bomba para automáticamente al alcanzarse en la Mezcladora el peso de la mezcla agua + residuo predeterminado para la amasada, de acuerdo al PCP en vigor.

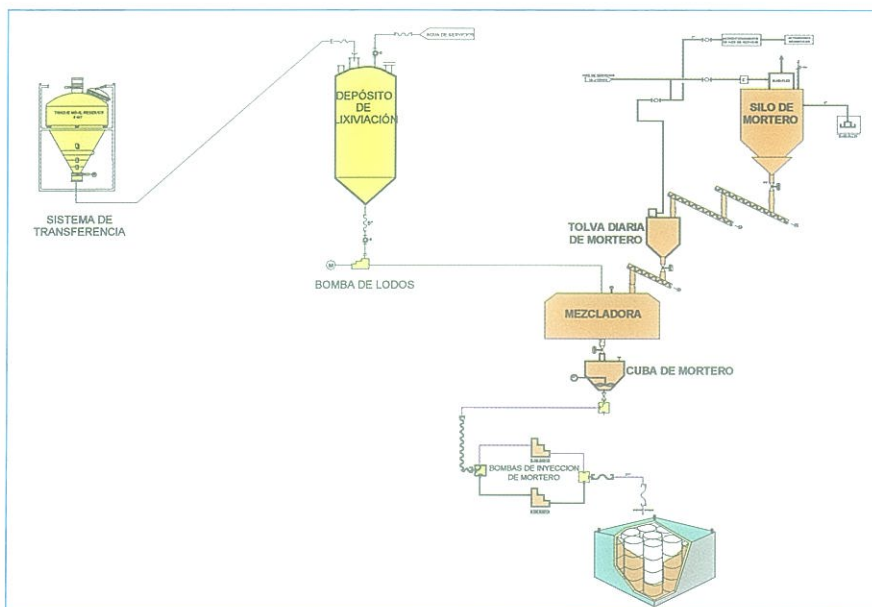


Figura 4. Acondicionamiento de Residuos.

La Mezcladora va provista de células de pesaje para control de las dosificaciones. El aditivo se incorpora a continuación a la Mezcladora bombeado y dosificado por un contador volumétrico. El mortero seco es a continuación dosificado a la Mezcladora desde la Tolva Diaria de Mortero mediante sifón. El residuo acondicionado descarga desde la Mezcladora a la Caba de Mortero y se inyecta en el contenedor con los medios disponibles en el sistema de bloqueo HB existente (foto 4).

Toda la operación se controla desde el terminal del sistema HB en la Sala de Control.

#### PRINCIPALES MODIFICACIONES FÍSICAS REALIZADAS

Todos los sistemas se implantan en el Edificio de Acondicionamiento del C.A. El Cabril.

La Nave de Descarga de Bultos al Laboratorio de Caracterización (pasa a denominarse Nave de Tratamientos Auxiliares) se ha modificado transfiriéndose las funciones y los equipos en ella existentes a otra nave adyacente, para permitir en esta nave la implantación del Recinto de Manipulación y Trituración. Y se ha construido un local al final de la nave, que se ha comunicado con el Laboratorio de Caracterización, para ubicar el filtro de cartuchos del sistema de ventilación controlada del citado Recinto.

El Sistema de Reducción de cloruros se ubica, por una parte, en el local del



Foto 4. Sistema de Bloqueo (HB).

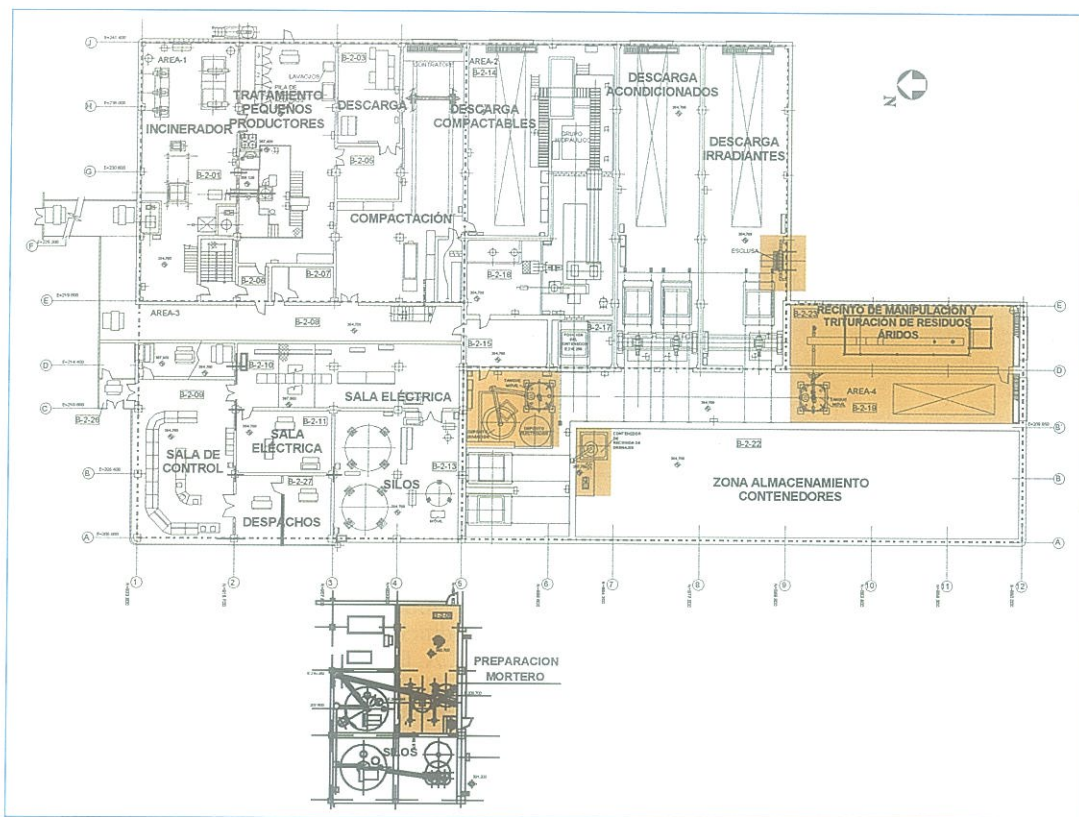


Figura 5. Edificio de Acondicionamiento.

Sistema de Bloqueo HB el Reactor Electroquímico y Lavador de Gases, para lo que se ha tenido que modificar parte de los equipos de este sistema, y, por otra, en la Nave de Contenedores los Depósitos de Lixiviación y Electrólisis y equipos asociados en la zona donde se ubicaba el contenedor de decantación del Sistema de Bloqueo (utilizado para recoger el agua de limpieza de dicho sistema).

Dicho contenedor de decantación y equipos asociados se han reubicado dentro de la Nave de Contenedores en un espacio dentro de la zona de almacenamiento de proceso de contenedores.

Los reactivos químicos convencionales del sistema de electrólisis se han implantado en el oeste del edificio de Acondicionamiento, en áreas exteriores.

## REFERENCIAS

1. Plan de actuación para tratamiento de residuos de ACERINOX (Carta 035-CR-IS-1999-0006 de ENRESA al CSN de 26 de enero de 1999).
2. Programa de Control de Proceso del Sistema de Acondicionamiento de Residuos Asimilables a Áridos. Rev. 0.
3. Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes. B.O.E. nº 178 de 26 julio 2001.
4. Criterios de Protección Radiológica del Proyecto. 33-1N-D-G0001. Rev. F1.

5. Guía de ventilación de las instalaciones nucleares (CETREVE).

6. Acuerdo europeo sobre transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR), hecho en Ginebra el 30 de septiembre de 1957. Publicado en el B.O.E. nº 224 de 18 de septiembre de 1997.

7. Datos de residuos. 33-1D-D-G0004. Rev. F1.
8. Especificaciones de Funcionamiento A32-EF-EN-0001 Rev. 3.
9. Manual de Protección Radiológica A32-PR-EN-0001 Rev. 4.
10. Documento 33-1N-I-G0007, Edición 6. "Manual de cálculo de dosis al exterior por emisiones gaseosas".
11. Regulatory Guide 1.4, Rev. 2. "Assumptions used for evaluating the potential radiological consequences of a loss of Coolant Accident for Pressurized Water Reactors" (Jun. 74).
12. NUREG/CR 3585. De minimus waste impacts analysis methodology.
13. NUREG/CR 1759. "Data base for Radioactive Waste Management. Waste Source Options Report" (Nov. 81).
14. NUREG 945. Final Environmental Impact Statement on 10 CRF 61 "Licensing Requirement for Hand Disposal of Radioactive Waste" (Nov. 1982).
15. RTM-96 Response Technical Manual (NUREG / BR-0150, Vol. 1, Rev. 4). March 1996.
16. Estudio de Seguridad. A32-ES-EN-0001 Rev. 3.
17. Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas. B.O.E. nº 313 de 31 de diciembre de 1999.



Mariano NAVARRO SANTOS es ingeniero industrial por la E.T.S. de Ingenieros Industriales de Madrid y Master en Economía y Dirección de Empresas por el I.E.S.E. En 1982 inicia su actividad profesional en la empresa Empresarios Agrupados como ingeniero de sistemas en proyectos de centrales térmicas y nucleares. En 1991 se incorpora a ENRESA como apoyo técnico a la operación del C.A. El Cabril. Desde 1996 es el jefe de Proyecto de El Cabril, dentro del Departamento de Ingeniería de RBMA. Ha participado en diferentes reuniones, proyectos y asesorías técnicas en el ámbito de la OIEA.



Fernando GÓMEZ LÓPEZ es ingeniero industrial por la E.T.S. de Ingenieros Industriales de Madrid. En 1981 inicia su actividad profesional en GEA Ibérica como ingeniero de diseño térmico de cambiadores de calor. De 1982 a 1988 desarrolla su actividad en Empresarios Agrupados, primero en el aprovisionamiento de equipos para centrales nucleares y posteriormente en la implantación de modificaciones de diseño (CN Almaraz). Desde 1988 desarrolla su actividad en ENRESA, primero en el Departamento de Gestión de Calidad y luego en el Departamento de Ingeniería RBMA. Ha participado en proyectos de asesoría técnica del OIEA.