

Diseño del centro de almacenamiento de residuos radiactivos de Bulgaria

I. Stefanova, I. Petrov, M. Navarro, M. Sánchez y G. Medinilla

En Octubre de 2011 un consorcio de Westinghouse Engineering Spain S.A.U., Enresa y DBE Technology GmbH obtuvo un contrato para realizar el diseño del centro de almacenamiento de residuos radiactivos de Bulgaria. El diseño, inspirado en la instalación española de El Cabril propiedad de Enresa, consiste en un almacenamiento en superficie de 66 celdas de hormigón armado, con capacidad para recibir 18600 contenedores de 20 t con residuos ya acondicionados, a lo largo de 60 años, y los edificios e instalaciones auxiliares asociados. El proyecto, que por plazo y nivel de detalle requerido supone un desafío, marcha cumpliendo los principales hitos y con la satisfacción del cliente.

In October 2011 a consortium composed by Westinghouse Engineering Spain SAU, ENRESA and DBE Technology GmbH was awarded a contract for the design of the Bulgaria radwaste repository. The facility, inspired in the spanish centre of El Cabril owned by ENRESA, will consist of a 66 reinforced concrete cells surface repository capable of receiving 18600 already conditioned waste containers of 20 t each, during 60 years, and the related auxiliary facilities and buildings. The project, representing a challenge because of the schedule and required level of detail, goes on fulfilling main milestones and getting customer satisfaction.

INTRODUCCIÓN:

WESTINGHOUSE ELECTRIC SPAIN EN EL ÁMBITO INTERNACIONAL

Westinghouse Electric Spain, S.A.U. (WES), anteriormente Initec Nuclear, S.A., es una Compañía integrada en Westinghouse Electric Company, que a su vez forma parte de la multinacional Toshiba.

Hoy, WES pone a disposición de sus clientes españoles e internacionales unas experiencias inigualables en el sector nuclear de la ingeniería española, tanto en el área de servicios de ingeniería y servicios en campo para centrales nucleares como en el área de desmantelamiento y gestión de residuos así como en instalaciones de la parte inicial del ciclo de combustible nuclear.

La actividad de WES en proyectos de centrales nucleares comienza en 1967, con la participación en el desarrollo de la ingeniería de la central nuclear de Santa María de Garoña, que prosiguió con la colaboración en la ingeniería del proyecto de la central nuclear de Vermont Yankee, en Estados Unidos.

Los conocimientos y experiencia de WES fueron enriqueciéndose a medida que se desarrollaba el progra-

ma nuclear español a través de los proyectos de las centrales nucleares de Ascó I y II y Lemóniz I y II, en la década de los 70, hasta alcanzar la plena madurez con el proyecto de la Vandellós II, en los 80, en la que WES fue el arquitecto/ingeniero del proyecto, responsable del diseño de la Planta.

La experiencia en gestión de residuos, se inicia en 1988 con la participación en el proyecto del Centro Nacional de Almacenamiento de El Cabril, mientras que la participación en 1977 en el desmantelamiento de la fábrica de uranio de Andújar constituye el inicio de una amplia experiencia en desmantelamiento de instalaciones del ciclo de combustible nuclear. (Vandellós I, Pimic, Zorita,...)

La homologación internacional de la tecnología de WES es corroborada por su presencia en varios proyectos de evaluación de la seguridad de las centrales del Este de Europa y mejora de las mismas, promovidos por la Comisión de la Unión Europea y el Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA).

WES ha realizado individualmente o en consorcio con otras compañías europeas, distintos trabajos para varias

IRA STEFANOVA

Head of the National Disposal Facility project at State Enterprise Radioactive Waste. Background as scientist in Institute for Nuclear Research and Nuclear Energy of Bulgarian Academy of Sciences. More than 60 articles in the field of radioactive waste management and disposal, including two books on LILW and HLW disposal.

IVAN PETROV

Chief Technology officer of the National Disposal Facility. Background as an officer responsible for research and technology development at the SERAW Specialized Division of "RAW-Kozloduy"

MARIANO NAVARRO

Mariano Navarro Santos es ingeniero industrial por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid, y diplomado en Dirección y Administración de empresas por el IESE. Actualmente 2009 jefe del Departamento de Ingeniería de residuos de BMA en ENRESA.

MOISÉS SÁNCHEZ

Ingeniero industrial por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid. Posee más de 25 años de experiencia en D&D y Gestión de Residuos siendo actualmente es jefe de producto de residuos y desmantelamiento en Westinghouse Electric Spain

GONZALO MEDINILLA TÉLLEZ

Ingeniero Industrial, con más de 20 años de experiencia en INITEC y Westinghouse. En la actualidad es director de proyectos de desmantelamiento y residuos, y coordinador técnico para el proyecto del almacenamiento de residuos de Bulgaria.



Figura 1. Emplazamiento de la instalación.

instalaciones en Europa. En particular, viene trabajando en el proyecto de desmantelamiento del Centro de Investigación Nuclear de Ispra, en Italia, en consorcio con Ansaldo desde 2009 como ingeniería principal bajo un contrato marco de ocho años de duración.

También ha participado en los estudios de cierre y confinamiento de la Unidad IV de Chernobyl (Ucrania), en la evaluación de seguridad de la central nuclear de Bohunice (Eslovaquia), evaluación del estado de los reactores de investigación en países comprendidos dentro del Pro-

grama Phare, estudio de impacto ambiental en la central nuclear de Kozloduy (Bulgaria) y en otras de distinto alcance para Bulgaria, Rumanía, Polonia, Hungría, Rusia, Ucrania, Gabón y Lituania.

El presente artículo describe el diseño de la Instalación Nacional Búlgara para el almacenamiento de residuos radiactivos, que representa un ejemplo como la experiencia española, en este caso la adquirida en El Cbril, puede ser considerada como referencia internacional para otras instalaciones como la presente en Bulgaria y culmina una serie de experiencias internacionales basadas en El Cbril, en Elovauquia, Corea, Letonia y Rumania.

ANTECEDENTES

En octubre de 2011 un consorcio de empresas liderado por Westinghouse Engineering Spain S.A.U., y en el que participan como socios Enresa y la empresa alemana DBE Technology GmbH, firmó un contrato con la agencia nacional búlgara de gestión de residuos radiactivos (SERAW) para realizar el diseño básico y de detalle, el licenciamiento y el apoyo para la construcción del centro de almacenamiento de residuos radiactivos de Bulgaria (*National Disposal Facility, NDF*). Esta firma culminaba un proceso de oferta que se había iniciado

meses antes, en mayo de 2011, cuando Westinghouse recibió la petición de oferta para este proyecto, y que continuó cuando el consorcio descrito se constituyó y presentó su oferta en julio de 2011.

Entre el conjunto de razones por las cuales se obtuvo esta adjudicación hay que destacar el enorme prestigio internacional de Enresa y de su Centro de Almacenamiento de residuos de El Cbril, instalación que constituye, por su diseño y operación, uno de los mejores modelos a considerar para cualquier nación que aborde el problema del almacenamiento definitivo de residuos radiactivos; y, muy relacionado con esto, la enorme experiencia acumulada por Westinghouse en España, anteriormente como Initec, en el diseño, apoyo a explotación y licenciamiento de El Cbril durante más de veinticinco años. No menos relevante es, además, la presencia de la firma alemana DBE Technology GmbH, empresa a cargo de la construcción y operación de almacenamientos de residuos, con más de 30 años de experiencia en este campo y que aporta referencias tales como las de Morsleben y Konrad, en Alemania. Las compañías búlgaras EQE Bulgaria AD y KK Proekt Ltd., como subcontratistas, aportan gran experiencia en proyectos en el campo nuclear en Bulgaria y, por supuesto, el conocimiento de las características específicas de la realización de proyectos de ingeniería en Bulgaria.

Pero a pesar de contar con la experiencia citada y, sobre todo, con el conocimiento de El Cbril como instalación aceptada por el cliente como de referencia, el trabajo dista mucho de estar hecho de antemano. Los principales retos que plantea el proyecto son los siguientes:

- Un calendario muy exigente, con unos plazos muy ajustados, debido a que la fecha de comienzo de la operación del almacenamiento ha sido fijada por el Gobierno búlgaro para 2015.
- Un proceso de permisos y licencias y una estructura documental del proyecto de ingeniería diferente a la habitual en España, así como la necesidad de utilizar y generar documentos en idioma búlgaro.
- Unos retos técnicos debidos fundamentalmente, por una parte, a las características geológicas y geotécnicas del emplazamiento seleccionado por Seraw y, por otra, a las características de los bultos de residuos que se prevé almacenar en la instalación.

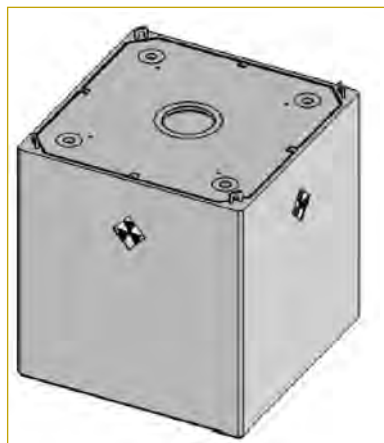


Figura 2. Contenedor de residuos.

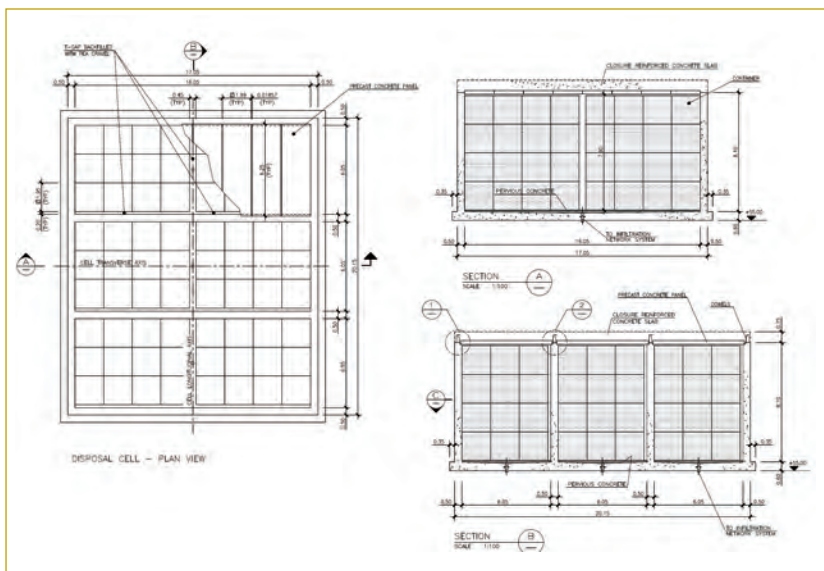


Figura 3. Celdas de almacenamiento de residuos.

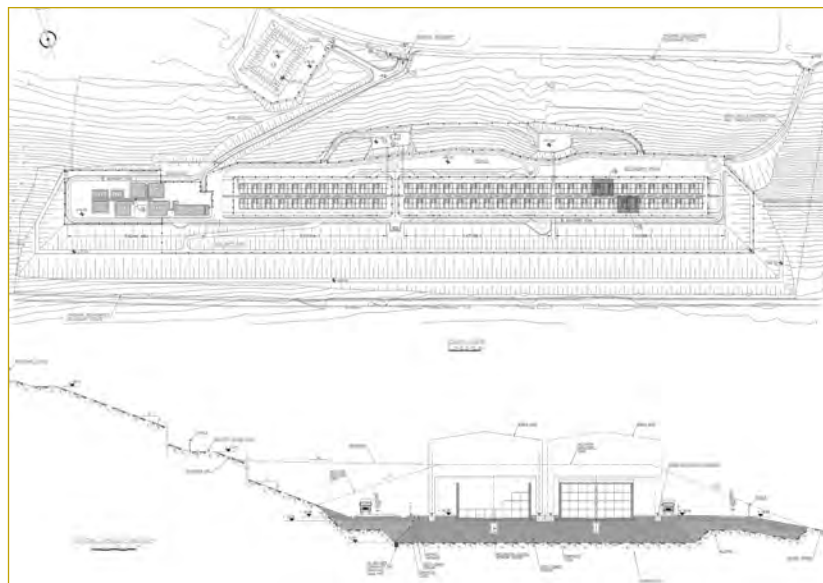


Figura 4. Instalación de almacenamiento.

REQUISITOS DE DISEÑO

Los principales requisitos del diseño del almacenamiento se exponen a continuación:

- El emplazamiento de la instalación está ya fijado: una parcela de aproximadamente 46 Ha de extensión, al sur de la central nuclear de Kozloduy (Figura 1).
- La instalación debe tener capacidad para almacenar 18.600 bultos de residuos radiactivos de baja y media actividad, consistentes en contenedores cúbicos de hormigón de 1,95 m de lado (Figura 2), apilables a cuatro alturas. Los residuos en su interior están ya acondicionados. La recepción de bultos se extenderá a lo largo de 60 años de explotación de la instalación. Los bultos tienen una

tasa de dosis máxima de 0,1 mSv/h a 1 m de distancia, 20 t de peso bruto máximo, e integridad estructural durante un mínimo de 50 años.

- Tras el periodo de explotación de la instalación previsto (2015-2075), la instalación entrará en un periodo de 300 años de vigilancia institucional, durante el cual los residuos quedarán aislados del medio ambiente por una cubierta multicapa, y las instalaciones auxiliares no necesarias para este periodo serán desmanteladas.
- Las actividades a realizar en la instalación durante la fase de explotación son, fundamentalmente, las de recepción de bultos de residuos, inspección de los mismos y ubicación en su posición de almacenamiento. A pesar de la aparente simplicidad,

ello implica la necesidad de contar con:

- Zona controlada y zonas de control de acceso a la misma, descontaminación de personal, etc.
- Equipos de medida para inspección de bultos.
- Laboratorio radioquímico.
- Laboratorios convencionales.
- Locales para descarga e inspección de bultos y para su almacenamiento en espera, con los medios de manipulación necesarios.
- Sistema de recogida de efluentes radiactivos.
- Edificios para albergar la sala de control, sistemas de instrumentación y control, sistemas de seguridad física y controles de acceso a la instalación, sistemas auxiliares (sistemas eléctricos, calefacción y aire acondicionado, generador Diesel, agua, etc.), talleres de mantenimiento, laboratorios convencionales, archivo, etc.
- Las dosis al público en operación normal del almacenamiento debe ser inferiores a 0,1 mSv/a, mientras que, en accidentes base de diseño, debe ser inferior a 5 mSv. Las dosis a los trabajadores deben ser inferiores a 8 mSv.

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

Para responder a todas estas necesidades, la instalación se ha diseñado de la forma siguiente:

Los bultos de residuos se ubicarán en celdas de hormigón armado prismáticas (Figura 3) de dimensiones exteriores en planta de 20,15 x 17,05 m y 50 cm de espesor de las paredes laterales, divididas cada una en tres subceldas por dos paredes transversales. De esta forma, cada celda albergará 288 contenedores en cuatro alturas (96 por subcelda). Una vez llenas, las celdas se cubren con losas prefabricadas de 25 cm de espesor, que se apoyan sobre los muros perimetrales y los intermedios de las celdas, y sobre las cuales se hormigona una losa superior de cierre de hormigón armado de 60 cm de espesor a la que, posteriormente, se le da un tratamiento impermeabilizante por su cara superior. La existencia de estas losas evita la carga del peso de la losa de hormigón armado y del terreno que, posteriormente, enterrará la celda sobre los contenedores, y evita así futuros asentamientos si éstos perdieran su integridad estructural con el paso del tiempo.

Las 66 celdas necesarias para completar la capacidad de almacenamiento se disponen en tres grupos, cada uno de dos filas paralelas de 11 celdas

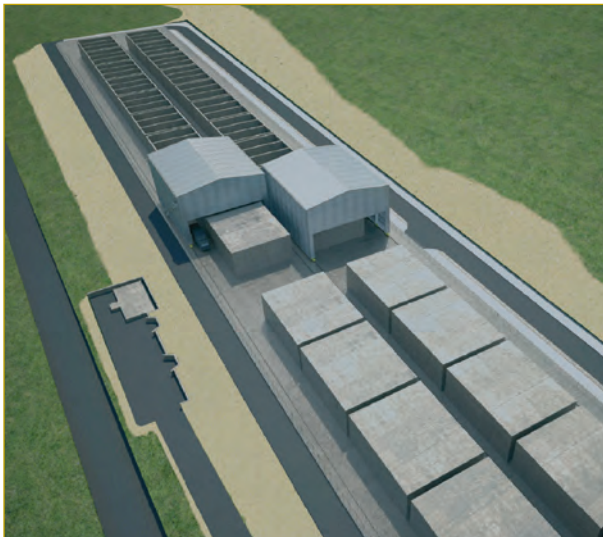


Figura 5. Perspectiva de la zona de celdas.

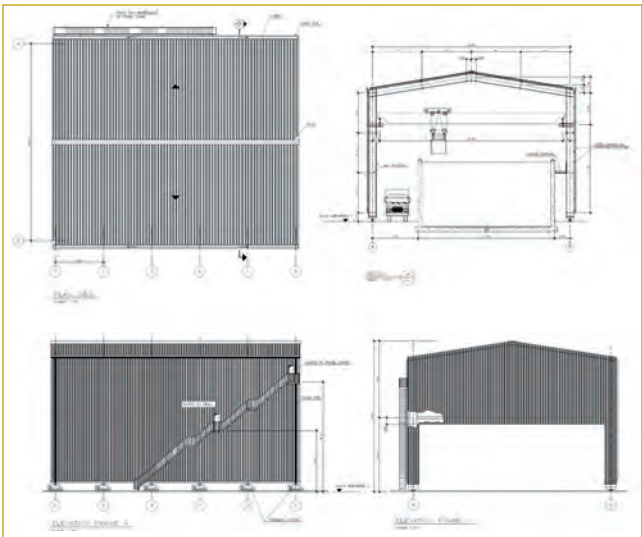


Figura 6. Techado móvil.



Figura 7. Perspectiva techados móviles.

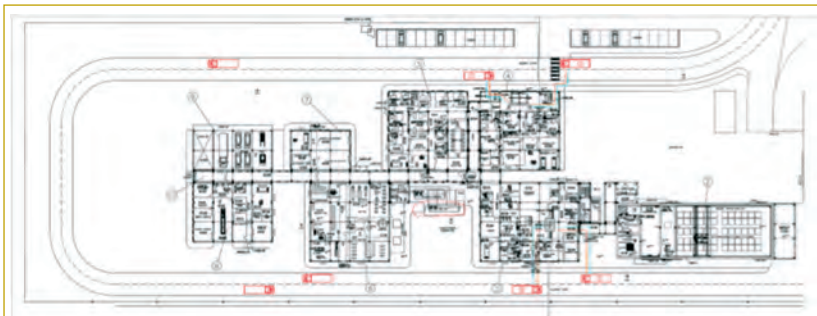


Figura 8. Edificios auxiliares.

(Figuras 4 y 5), orientadas de este a oeste. Cada una de estas celdas es estructuralmente independiente de las demás.

La plataforma en la que se ubican las celdas se prepara mediante una excavación de los materiales cuaternarios pertenecientes a las terrazas aluviales del Danubio, de propiedades geotécnicas pobres: loess y los propios materiales aluviales, hasta alcanzar las arcillas sobreconsolidadas del sustrato Plioceno, más consistentes. Sobre éstas se creará un colchón de loess-cemento

de 5 m de espesor, que permite soportar las cargas debidas a las celdas con unos asentamientos aceptables. El talud que se genera hacia el sur se ejecutará con una pendiente promedio de 3(H):1(V) (ver parte inferior de la Figura 4 y Figura 13).

Para ubicar los bultos de residuos en las celdas y también para ejecutar la construcción de la losa de cierre de las mismas contando con una protección para la intemperie, existirán dos techados móviles con una grúa incorporada, que se desplazarán sobre

raíles instalados a ambos lados de cada fila de celdas (Figuras 6 y 7).

Bajo cada fila de celdas existirá una galería (ver Figura 4, parte inferior) que permitirá, mediante tuberías de drenaje, recoger las aguas que pudieran aparecer en el interior de las celdas. Ello sirve para vigilar la eficacia de las barreras que tratan de impedir la infiltración de agua de lluvia, bien se trate de la losa de cierre de una celda llena o bien de la cobertura de terreno a largo plazo durante el periodo de vigilancia institucional de 300 años posterior a la explotación.

En el extremo oeste de las filas de celdas se ubica la zona de edificios auxiliares, que comprende los necesarios para todas las funciones descritas anteriormente. Son siete edificios de una planta, estructuralmente independientes y comunicados por un pasillo para circulación de personas (Figura 8). Estos edificios albergarán entre 45 y 55 trabajadores, que será la plantilla permanente de la instalación, y que no incluye el personal dedicado a las actividades de cierre de celdas cuando éste se esté ejecutando (estimado en 15-20 personas más).

Entre los edificios auxiliares, el denominado de recepción y almacenamiento transitorio es singular, ya que constituye el lugar en el que se descarga el bulto del camión de transporte exterior, se inspecciona y se almacena temporalmente hasta que se carga de nuevo en un camión de uso interior para su traslado y ubicación en las celdas. Este almacén temporal con capacidad para 120 bultos proporciona flexibilidad de operación para recibir bultos y ubicarlos en las celdas. Cuenta con los espacios y blindajes necesarios, y con la correspondiente grúa para manejo de los bultos.



Figura 9. Perspectivas zona edificios auxiliares.

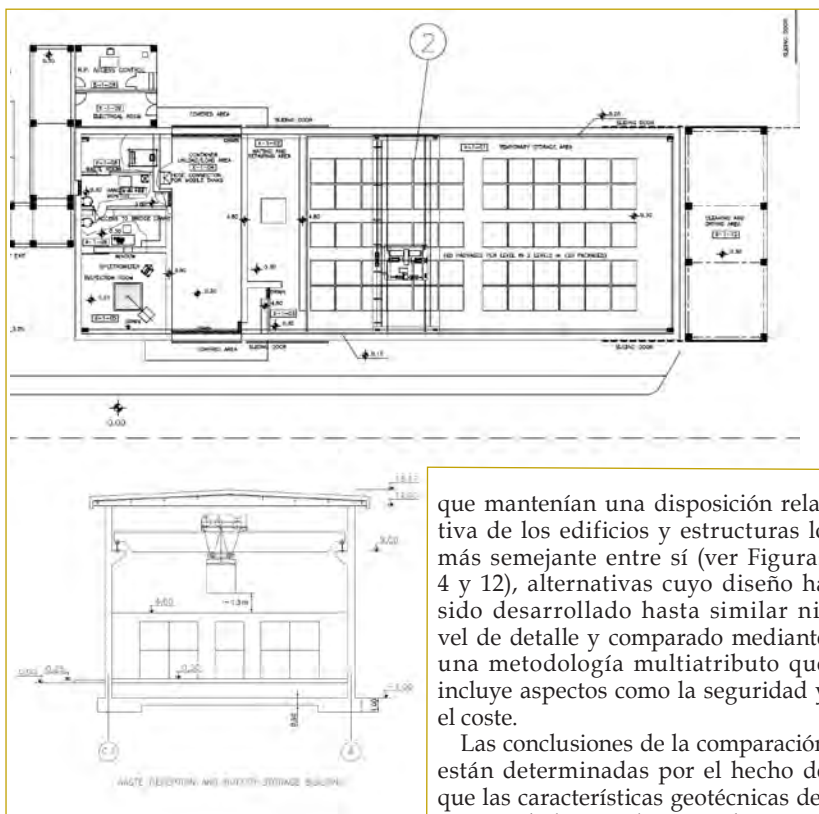


Figura 10. Edificio buffer.

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

Por requisito contractual, el diseño conceptual debía plantear dos alternativas de ubicación de la instalación en la parcela, una en la parte más baja y otra en la parte más elevada, al sur. Ello se concretó en dos alternativas

nativa en la parte alta, esta alternativa resulta en conjunto menos costosa y menos arriesgada, al poder alcanzar los materiales del sustrato, que la de la parte baja, que aunque requiriendo menor excavación incurre en costes mayores para mejorar, mediante tratamientos, el terreno en el que se cimentarían las estructuras (ver Figuras 13 y 14). Por ello la alternativa de la parte alta ha sido la recomendada.

PRINCIPALES HITOS DEL PROYECTO

El requisito establecido por el Gobierno búlgaro de que la operación de la instalación comience en 2015, junto con las normas búlgaras referentes al proceso de autorizaciones y licencias para un proyecto de este tipo, imponen un ajustado programa que incluye como fechas principales las que se muestran en la Tabla 1.

CIFRAS

El esfuerzo que requiere el cumplimiento del programa establecido por el cliente, con el elevado grado de detalle que exigen las normas búlgaras para este tipo de proyectos incluso en las fases iniciales de diseño conceptual, queda resumido en las siguientes cifras, que se refieren a la preparación del diseño conceptual.

En 7 meses:

- Coordinación del trabajo simultáneo de cinco empresas diferentes, más apoyos puntuales de empresas y consultores especializados adicionales.
- Coordinación, solo en Westinghouse, del trabajo de un equipo promedio de 25 personas pertenecientes a seis disciplinas diferentes (mecánica, eléctrica, instrumentación y control, civil, geotécnica, nuclear) para dar un esfuerzo de más de 17.000 horas de ingeniería (solo en Westinghouse).
- Producción de dos documentos (uno por alternativa) de más de 2.000 páginas de texto y más de 100 planos.
- Más de 30 viajes (individuales) a Bulgaria.

SITUACIÓN ACTUAL DEL PROYECTO

A fecha de elaboración de este artículo (septiembre de 2012) el proyecto avanza cumpliendo los hitos previstos: de entre las alternativas de diseño que, según exige el contrato, es obligatorio plantear y comparar, se ha seleccionado la alternativa óptima; y tanto esta selección como el diseño básico de la misma, que incluye una estimación de costes y un programa preliminar de construcción, han sido ya aceptados por Seraw; el denominado Estudio Intermedio de Seguridad (ISAR, In-



Figura 11. Módulos de ensayo de la envoltura regeneradora de ITER.

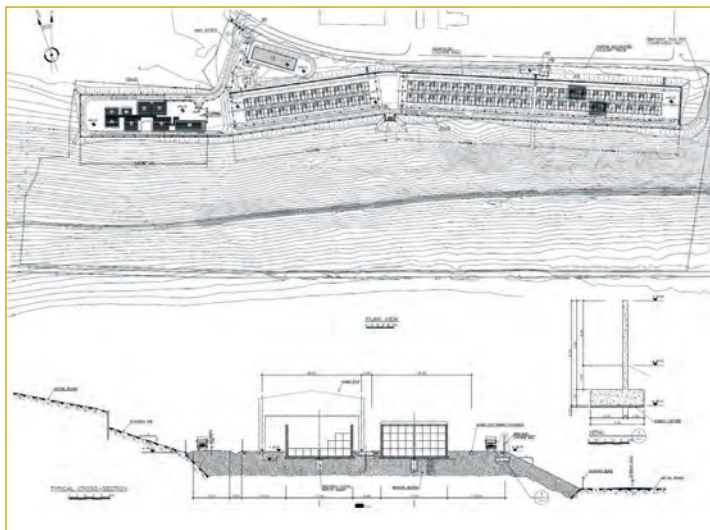


Figura 12. Alternativa 2 de ubicación de la instalación.

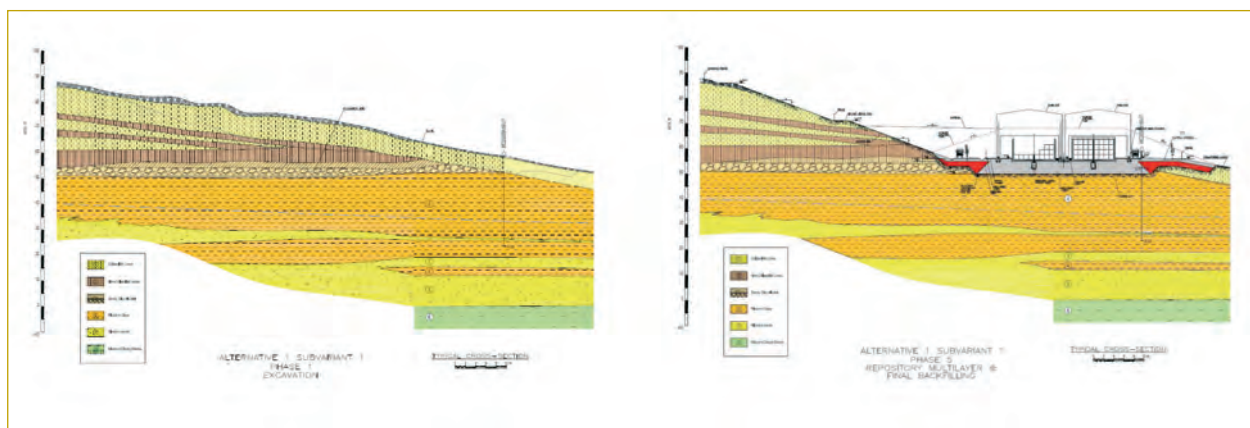


Figura 13. Perfil de excavación de la alternativa 1.

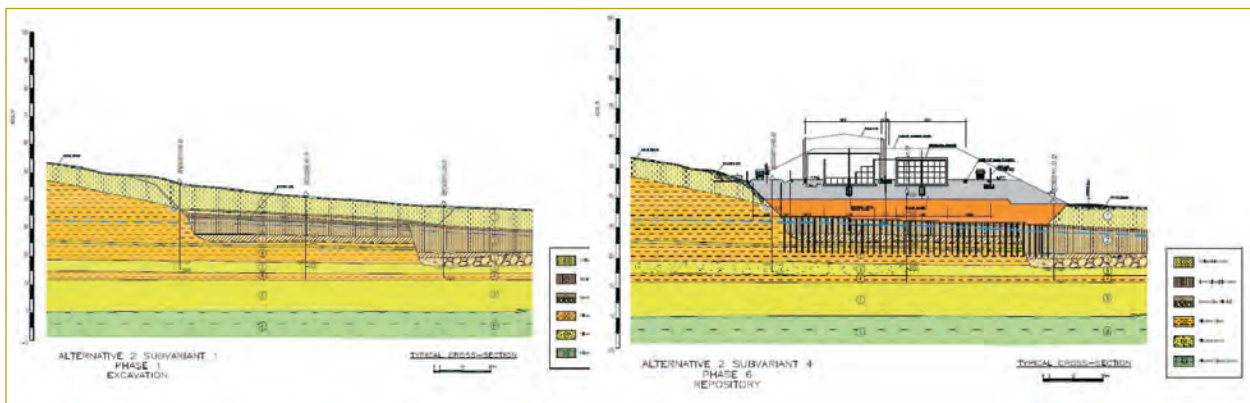


Figura 14. Perfil de excavación de la alternativa 2.

Documento	Plazo
Diseño conceptual (incl. estudio de alternativas, selección de alternativa óptima, presupuesto y programa preliminar de construcción).	Marzo 2012 (borrador) Mayo 2012 (definitivo)
Diseño técnico de detalle de la alternativa seleccionada	Septiembre 2012 (borrador) Noviembre 2012 (definitivo)
Estudio intermedio de seguridad	Septiembre 2012 (borrador) Noviembre 2012 (definitivo)

Tabla 1.

intermediate Safety Assessment Report) y el diseño de detalle están en marcha. Seraw ha expresado en repetidas ocasiones su satisfacción e incluso su admiración por el nivel de calidad y detalle del trabajo hasta ahora realizado en el poco tiempo disponible, y por el enorme esfuerzo que el consorcio liderado por Westinghouse está realizando para cumplir los ambiciosos objetivos del proyecto.■