

Informe

Edición nº 2

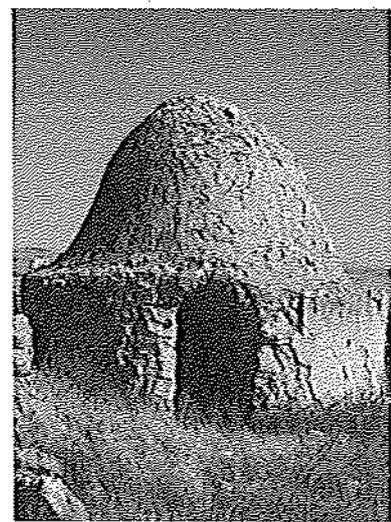
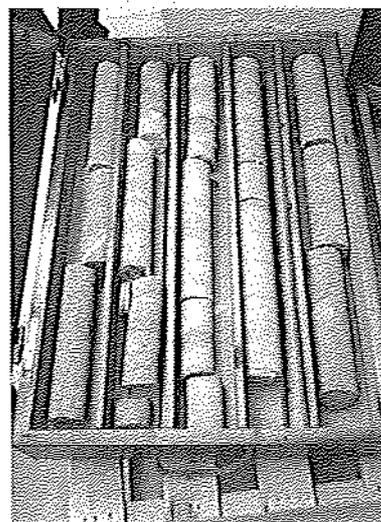
ESPAÑA Y
PORTUGAL



Informe de evaluación

9 de Julio, 2015

Preparado para: Consejo de Seguridad Nuclear



LIMITACIONES

URS* ha preparado este Informe para el uso exclusivo de Consejo de Seguridad Nuclear y de acuerdo con lo establecido en el contrato bajo el que URS presta sus servicios. Estos servicios se han llevado a cabo con la diligencia debida y ninguna otra garantía, expresa o implícita se puede derivar del consejo profesional realizado por URS. Nadie, excepto el cliente, puede utilizar, o basarse en este Informe, sin el previo y expreso consentimiento por escrito de URS. Así mismo, se prohíbe expresamente la reproducción de todo o cualquier parte del mismo por cualquier método, sin la aprobación expresa del Consejo de Seguridad Nuclear.

Las conclusiones y recomendaciones contenidas en este Informe están basadas en información proporcionada por terceras partes. A menos que se especifique lo contrario, la información obtenida por terceras partes no ha sido verificada independientemente por URS.

NOTA ADICIONAL

Responsabilidad Nuclear. URS España entiende que la responsabilidad civil respecto a incidentes nucleares en España está sometida a la Convención de París (responsabilidad de terceras partes en el campo de la energía nuclear) de 1960, completado por la Convención Suplementaria de Bruselas de 1963 ("Convenciones de París/Bruselas") (La última modificación se firmó en febrero de 2004, y se prevé su entrada en vigor cuando los Estados Europeos que son parte del Convenio depositen conjuntamente el instrumento de ratificación. España es parte contratante de este Convenio.), que fueron incorporadas a la legislación española por la Ley 25/1964, de 29 de abril, sobre energía nuclear. URS ha preparado el presente informe sobre la base de que:

- URS España solo ha suministrado servicios de consultoría consistentes en la evaluación de documentos técnicos y la entrega del presente informe al CSN, y no es responsable de las decisiones que el CSN tome al respecto de la instalación nuclear objeto de los documentos revisados por URS España
- URS España no es operador de instalaciones nucleares en España de acuerdo al término según las convenciones de París/Bruselas. URS España no será responsable de ninguna reclamación o daño que pudieran producirse a partir de cualquier incidente nuclear en la futura instalación basado en cualquier presunta relación con los servicios prestados por URS en el marco del presente contrato

COPYRIGHT

© El copyright de este Informe pertenece a URS*. Cualquier reproducción o uso no autorizado por cualquier persona diferente del destinatario está estrictamente prohibida.

* United Research Services España S.L.

ÍNDICE

Sección	Página nº
1. INTRODUCCIÓN	1
2. TRABAJOS REALIZADOS	4
3. EQUIPO TÉCNICO Y ESTRUCTURA	6
4. GEOLOGÍA.....	7
4.1. Documentación evaluada y objetivos	7
4.2. Evaluación.....	11
4.2.1. Estudios geológicos regionales y comarcales y locales.....	11
4.2.2. Estudio geológico del emplazamiento.....	14
4.2.3. Estudios geológico-estructurales regionales y comarcales.....	20
4.3. Conclusiones	26
5. MINERALOGÍA, PETROLOGÍA Y GEOQUÍMICA	32
5.1. Documentación evaluada y objetivos	32
5.2. Evaluación.....	33
5.2.1. Fases minerales y síntesis geoquímica y mineralógica	33
5.2.2. Caracterización THM y geoquímica del sustrato.....	35
5.2.3. Estudio diagenético	37
5.3. Conclusiones	39
6. GEOTECNIA.....	42
6.1. Documentación evaluada y objetivos.....	42
6.2. Evaluación.....	43
6.2.1. Resistencia	43
6.2.2. Deformabilidad	43
6.2.3. Impermeabilidad.....	44
6.2.4. Evaluación de los datos de expansividad	44
6.2.5. Características geotécnicas en condiciones dinámicas	54
6.3. Conclusiones	59
7. PROSPECCIÓN GEOFÍSICA.....	64
7.1. Documentación evaluada y objetivos.....	64
7.2. Evaluación.....	65
7.2.1. Tomografía eléctrica	65
7.2.2. Testificación geofísica	66
7.2.3. Ensayos MASW	67
7.2.4. Campaña sísmica 2D.....	67
7.2.5. Tomografía Sísmica	68
7.3. Conclusiones	71
8. SISMOLOGÍA	73

ÍNDICE

Sección	Página nº
8.1. Documentación evaluada y objetivos	73
8.2. Evaluación.....	74
8.2.1. Paleosismicidad	74
8.2.2. Sismicidad y peligrosidad sísmica.....	75
8.3. Conclusiones	85
9. METEOROLOGÍA, HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA	88
9.1. Documentación evaluada y objetivos.....	88
9.2. Evaluación.....	90
9.2.1. Meteorología	90
9.2.2. Precipitación máxima probable.....	91
9.2.3. Hidrología superficial	92
9.2.4. Inundabilidad	93
9.2.5. Dispersión de efluentes	95
9.3. Conclusiones	95
10. HIDROGEOLOGÍA	99
10.1. Documentación evaluada y objetivos.....	99
10.2. Evaluación.....	101
10.2.1. Recopilación de información hidrogeológica.....	101
10.2.2. Marco geológico regional, estratigrafía y estructura	103
10.2.3. Sondeos de investigación	104
10.2.4. Parámetros hidrogeológicos	109
10.2.5. Piezometría	112
10.2.6. Balance hídrico.....	116
10.2.7. Esquema conceptual de funcionamiento	117
10.2.8. Modelo matemático de simulación.....	122
10.3. Conclusiones	126
11. HIDROQUÍMICA	130
11.1. Documentación evaluada y objetivos.....	130
11.2. Evaluación.....	131
11.2.1. Aguas meteóricas y superficiales	131
11.2.2. Aguas subterráneas	132
11.3. Conclusiones	141
12. DOCUMENTACIÓN REVISADA	144
12.1. Documentos en soporte de DVD.....	144
12.2. Otros Documentos	146

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe constituye la evaluación técnica de la documentación presentada por Enresa hasta su fecha de emisión, correspondiente al desarrollo del Plan de Caracterización del emplazamiento del ATC [REDACTED] en Villar de Cañas (Cuenca).

En el apartado final se recogen los informes revisados. Además de los archivos listados se cuenta con la información presentada por Enresa en las visitas de campo que tuvieron lugar el día 28 de julio de 2014 y el 22 de septiembre de 2014 y con la información facilitada en la visita a [REDACTED] el día 2 de octubre de 2014 y la reunión mantenida en el CSN el día 3 de octubre de 2014.

Con fecha 17 de septiembre se entregó a Enresa una Petición de Información Adicional (PIA) [REDACTED] consecuencia de la revisión de la documentación y orientada a plantear los aspectos a mejorar para mejorar el nivel de caracterización, desde el punto de vista del área de Ciencias de la Tierra, del emplazamiento seleccionado. Esta PIA fue respondida por Enresa en Noviembre de 2014 [REDACTED]

Con fecha 15 de Octubre de 2014 Enresa remitió el "Plan de Acción de Caracterización del emplazamiento del ATC derivado de la PIA del CSN" [REDACTED] en el que presentó el alcance, contenido y plazos de entrega de información adicional, con entregas de informes en los meses de noviembre y diciembre de 2014. Además, Enresa propuso una reunión técnica sobre Hidrología que tuvo lugar el 22 de octubre [REDACTED] En Abril de 2015 se realizó una reunión monográfica sobre geotecnia [REDACTED] quedando pendientes las de otras áreas.

Entre los meses de Noviembre de 2014 y Enero de 2015 Enresa remitió un gran volumen de documentación sobre todas las áreas técnicas, que finalmente quedaron integradas en el "Informe Resumen de Integración para la Caracterización del Emplazamiento del ATC de Villar de Cañas (Cuenca)" [REDACTED]

Los días 23 y 24 de febrero de 2015 tuvo lugar la inspección del CSN al ATC a la que también asistieron técnicos del equipo que ha elaborado el presente informe.

Durante 2015, Enresa ha continuado con las investigaciones en el emplazamiento, y en mayo de 2015 ha presentado al Consejo de Seguridad Nuclear el "Estudio de caracterización del emplazamiento del ATC en Villar de Cañas (Cuenca) y de la zona de influencia de la instalación" [REDACTED] que forma parte de la documentación elaborada para dar cumplimiento a la Solicitud de Autorización Previa o de Emplazamiento del ATC y recoge las actividades y resultados obtenidos entre Septiembre de 2012 y Abril de 2015

Este último estudio indica que el desarrollo de las actividades del Plan de Caracterización se ha justado al marco legal y a las normativas específicas que se describen a continuación, y recoge, además, una relación completa de la normativa utilizada.

Marco legal de soporte del Plan de Caracterización

- RD 1836/1999 Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas (modificado por RD 35/2008), que exige la adecuada caracterización de una instalación independiente de almacenamiento de combustible gastado.
- IS-26 del CSN (Requisitos Básicos de Seguridad Nuclear en Instalaciones Nucleares)
- IS-29 del CSN (Instalaciones de Almacenamiento Temporal de Combustible Gastado y Residuos Radiactivos de Alta Actividad).
- OIEA Safety Standards N° NS-R-3 - "Site Evaluation for Nuclear Installations - Safety Requirements.
- Apreciación favorable del diseño genérico del CSN:
 - Normativa USNRC recogida en el 10 CFR 72 "Licensing Requirements for the Independent Storage of Spent Nuclear Fuel and High-Level Radioactive Waste".
 - NUREG-1567 "Standard Review Plan for Spent Fuel Dry Storage Facilities"
 - USNRC RG 3.48 "Standard Format and Content for the Safety Analysis Report for an Independent Spent Fuel Storage Installation (Dry Storage)".
 - Conjunto de Guías Regulatoras de la USNRC y demás códigos y normas, ANSI/ANS, ACI, NFPA aplicables.

Normativa específica para la caracterización de emplazamientos

- USNRC RG 1.132, "Site Investigations for Foundations of Nuclear Power Plants", Rev. 2, Oct/2003.
- USNRC RG 1.23, "Meteorological Monitoring Programs for Nuclear Power Plants", Rev. 1, Marzo 2007.
- USNRC RG 1.59, "Design basis floods for nuclear power plants", Rev. 2 -Ago/1977.
- USNRC RG 1.76, "Design-Basis Tornado and Tornado Missiles for Nuclear Power Plants", Rev. 1 -Mar/2007.
- USNRC RG 1.78, "Evaluating the Habitability of a Nuclear Power Plant Control Room During a Postulated Hazardous Chemical Release", Rev. 1 -Dic/2001.
- USNRC RG 1.91, "Evaluating of Explosions Postulated To Occur on Transportation Routes Near Nuclear Power Plants", Rev. 2 -Abril/2013.
- USNRC RG 1.111, "Methods for Estimating Atmospheric Transport and Dispersion of Gaseous Effluents in Routine Releases from Light-Water-Cooled Reactors", Rev. 1 - Julio/1977.

- USNRC RG 1.138, "Laboratory Investigations of Soils and Rocks for Engineering Analysis and Design of Nuclear Power Plants", Rev. 2, Dic/2003.
- USNRC RG 1.145, "Atmospheric Dispersion Models for Potential Accident Consequence Assessments at Nuclear Power Plants", Rev. 1 –Febrero/1983.
- USNRC RG 1.208, "A Performance-Based Approach to Define the Site-Specific Earthquake Ground Motion", Rev. 0, Marz/2007.
- USNRC RG 3.73, "Site Evaluations and Design Earthquake Ground Motion for Dry Cask Independent Spent Fuel Storage and Monitored Retrievable Storage Installations", de Oct/2003.
- ANSI/ANS 2.8-1992, "Determining Design-Basis Flooding at Power Reactor Sites."
- NUREG-0800, "Standard Review Plan for the Review of Safety Analysis Report for Nuclear Power Plants: LWR Edition".
- OIEA SSG-18, Specific Safety Guide, "Meteorological and Hydrological Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations", de Nov/2011.
- OIEA SSG-9, Specific Safety Guide, "Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations", de Ago/2010.

2. TRABAJOS REALIZADOS

Los trabajos objeto del presente informe han sido los siguientes:

1. Reunión de lanzamiento del proyecto con el CSN tras la adjudicación del contrato. Recogida de documentación existente [REDACTED]
2. Revisión, por áreas del conocimiento, de la documentación presentada por Enresa hasta junio de 2014 [REDACTED]
3. Visita técnica al emplazamiento ATC el día 28 de julio de 2014 con personal técnico del CSN y Enresa.
4. Elaboración del "Informe Preliminar de evaluación", de fecha 18 de Agosto de 2014.
5. Elaboración de la Petición de Información Adicional (PIA) que el CSN entregó a Enresa el día 17/09/2014. Revisión de las cuestiones planteadas por Enresa al mismo y su respuesta a todos los puntos.
6. Visita técnica al emplazamiento ATC el día 22 de septiembre de 2014 con personal técnico del CSN y Enresa para supervisión de la última campaña de sondeos en el emplazamiento.
7. Visita a las instalaciones del [REDACTED] el día 2 de octubre de 2014. Presentación del programa de caracterización de laboratorio, con énfasis en la determinación de expansividad y mineralogía.
8. Reunión en el CSN el día 3 de octubre de 2014 con Enresa, para comentar las Aclaraciones a la PIA, a partir de las notas remitidas por Enresa y comentar el borrador del Plan de Acción de respuesta a las cuestiones de la PIA. Ref. CSN/ART/GSNA/ATC/1410/06.
9. Revisión del "Plan de Acción de Caracterización del emplazamiento del ATC derivado de la PIA del CSN" de fecha 15 de Octubre de 2014 remitido por Enresa.
10. Reunión técnica sobre Meteorología, Climatología e Hidrología en el CSN el día 22 de octubre de 2014 con personal técnico del CSN, Enresa y sus colaboradores. Ref. CSN/ART/GSNA/ATC/1411/07.
11. Reunión técnica en el CSN el día 28/10/2014 sobre "Propuestas sobre análisis sísmico, interacción suelo-estructura y cimentación del ATC". Ref. CSN/ART/GSNA/ATC/1411/08.
12. Elaboración del "Informe de Avance de Evaluación", entregado el día 3 de noviembre de 2014, confeccionado sobre la base de la documentación presentada por Enresa hasta esa fecha.

13. Revisión de documentación adicional presentada por Enresa desde noviembre de 2014 a Enero de 2015 sobre distintos aspectos técnicos.
14. Apoyo a la Inspección llevada a cabo por el CSN los días 22 (en Villar de Cañas) y 23 de febrero de 2015 (en reunión en las instalaciones de Enresa en Madrid). Elaboración de notas para el Acta de Inspección del CSN y revisión de comentarios por parte de Enresa.
15. Revisión de la documentación presentada por Enresa en Abril de 2015 sobre distintos aspectos técnicos.
16. Reunión técnica en el CSN el día 14 de Abril de 2015 sobre temas de Geotecnia con técnicos del CSN, Enresa y empresas colaboradoras. Ref. CSN/ART/GSNA/ATC/ 1504/02.
17. Revisión de la documentación elaborada por Enresa hasta mayo de 2015, incluyendo el "Estudio de caracterización del emplazamiento del ATC en Villar de Cañas (Cuenca) y de la zona de influencia de la instalación", de 7 de mayo de 2015
18. Redacción de una versión preliminar de Informe de Evaluación, sobre la que se efectuaron comentarios por parte del CSN y redacción de la presente versión final del Informe de Evaluación.

Durante el desarrollo del proyecto, los equipos técnicos del CSN y URS han mantenido un contacto constante por vía telefónica, correo electrónico y mediante reuniones periódicas.

3. EQUIPO TÉCNICO Y ESTRUCTURA

El equipo técnico de URS que ha evaluado la documentación elaborada por Enresa ha sido el propuesto en la Oferta Técnica elaborada para el Consejo de Seguridad Nuclear, y ha constado de [REDACTED]

No se han producido cambios en los especialistas propuestos inicialmente.

Estos especialistas han cubierto las siguientes áreas de conocimiento:

- Geología. Cartografía
- Geoquímica, Petrología y Sedimentología
- Geología Estructural, Sismología y Geofísica
- Hidrología y Meteorología
- Hidráulica. Inundabilidad
- Geotecnia
- Hidrogeología
- Hidroquímica

La dedicación del Equipo Técnico para la realización de los trabajos ha estado en el rango de la prevista en la Oferta Técnica presentada.

En los apartados siguientes se describen, para cada una de las especialidades, los siguientes aspectos:

1. Documentación evaluada, que incluye informes de Enresa y sus empresas colaboradoras, actas de reunión y otros documentos (recogidos en el apartado 12). También se incluyen los objetivos planteados por Enresa en cada informe o en el Plan de Caracterización del emplazamiento.
2. Evaluación de los datos disponibles, desde el punto de vista técnico
3. Conclusiones, tanto generales como las principales conclusiones sobre las condiciones del emplazamiento relacionadas con las bases de diseño de la instalación

4. GEOLOGÍA

4.1. Documentación evaluada y objetivos

En este apartado se realiza la evaluación de los Estudios Geológicos, (geológicos, estructurales y geomorfológicos) realizados por ENRESA para definir las características geológicas, de estabilidad y seguridad del emplazamiento del ATC y su entorno. En su conjunto estos estudios aportan una información básica y necesaria para acometer otros estudios específicos paralelos como son la hidrogeología, la geotecnia y la sismicidad.

La evaluación se ha realizado sobre los siguientes apartados:

- 1) Cartografías geológicas y geomorfológicas y estudios asociados locales.
- 2) Estudio geológico del emplazamiento
- 3) Estudios geológico-estructurales y neotectónicos regionales y comarcales.

Respecto a las Cartografías geológicas y geomorfológicas y estudios asociados locales, los trabajos realizados por Enresa han sido:

- Mapa Geológico, representado a escala 1:25.000, de la zona de radio de 8 km. Elaboración de 5 cortes geológicos, 1 de ellos es un corte E-O de la parte somera (sólo el Terciario) del mencionado sinclinal; los otros 4, son cortes profundos (3 OSO-ENE, y 1 NNO-SSE) realizados (para un ámbito mayor al radio de 8 km) con ayuda de la interpretación de líneas sísmicas, y su calado con la geología de superficie y los sondeos de exploración de hidrocarburos más cercanos. [REDACTED]
- Mapa de isobatas de la base del Terciario y un modelo 3D de la misma [REDACTED]
- Mapa Geomorfológico a escala 1:25.000 [REDACTED] derivado de éste, el correspondiente Mapa de Procesos Activos. [REDACTED]
- Cartografía geológico-estructural y geomorfológica del sector norte de la cuenca del río Záncara a escala 1:25.000, integrando las cartografías locales (geológica y geomorfológica) realizados a escala 1:25.000 de la zona con radio de 8 km en torno al emplazamiento del ATC. [REDACTED]
- "Análisis geomorfológico del paraje de Las Balanzas" [REDACTED] y estudio de trincheras [REDACTED]
- Análisis topográfico sobre fotografía aérea del año 1966 en el entorno del emplazamiento de ATC en Villar de Cañas (Cuenca). [REDACTED]
- Digitalización de red de drenaje histórica en el ATC en Villar de Cañas (Cuenca). [REDACTED]

Los objetivos planteados por Enresa en la documentación presentada y el alcance de los mismos para este apartado son:

- El estudio de la neotectónica de la zona del emplazamiento, que pondrá de manifiesto la existencia de procesos de deformación que puedan influir en la sismicidad regional/local y/o afectar a la estabilidad del emplazamiento.
- Estudio y descripción de las fallas que se puedan consideren como capaces en entorno próximo al emplazamiento, con especial atención a su historial de desplazamientos y su relación con cualquier estructura tectónica regional.
- Revisión de la información proporcionada por la dimensión de la falla y su relación con las estructuras tectónicas regionales (desplazamientos durante el Cuaternario), así como la magnitud del máximo evento de desplazamiento durante el Cuaternario.

Respecta al estudio geológico del emplazamiento, los estudios presentados por Enresa son los siguientes:

- Mapa geológico de afloramientos de la zona de radio 1 km, representado a escala 1:2.500; un estudio sedimentológico que incluye la correlación de las columnas de los sondeos y un análisis de facies. (mapa GE-18 y mapa GE-025 de [REDACTED])
- Confección de 4 cortes geológicos y la elaboración del correspondiente modelo geológico 3D del emplazamiento. (Mapa MG-02 [REDACTED])
- 3 perfiles geofísicos (tomografía eléctrica) [REDACTED] [REDACTED] análisis geoquímicos de muestras de suelo y roca, y un estudio petrográfico de determinadas litologías identificadas en sondeos.
- Revisión geológico-estructural en zonas con sismicidad e identificación de posibles deformaciones recientes. Síntesis de las unidades litoestratigráficas a partir de las trincheras. [REDACTED]
- Modelo Geológico Interpretativo del conjunto de la cuenca [REDACTED] Nov. 2014) [REDACTED]
- Síntesis Litoestratigráfica y sedimentológica. [REDACTED] Nov. 2014. [REDACTED] incluyendo un Bloque-diagrama 3D del emplazamiento
- Informe resumen de integración para la caracterización del emplazamiento del ATC de Villar de Cañas (Cuenca). ENRESA, 30/Dic/2014. [REDACTED]
- Estudio de caracterización del emplazamiento del ATC en Villar de Cañas (Cuenca) y de la zona de influencia de la instalación. Mayo-2015. [REDACTED]

Los objetivos planteados en la documentación presentada y el alcance de los mismos son los especificados en el Plan de Caracterización del Emplazamiento de marzo y octubre de 2012 [REDACTED]

- Determinar las características geológico-geotécnicas específicas del emplazamiento, y evaluar su influencia y condicionantes principales para el proyecto y construcción de la instalación.
- Conocer las características geológicas de los tipos principales de materiales del subsuelo.
- Para planificar los aspectos del terreno relacionados con la construcción de la instalación, se precisará disponer de las características litológico-estratigráficas, estructurales, físicas y químicas, así como de la interpretación de los tipos de materiales que aparecerán en el subsuelo y sobre todo a las cotas de explanación y/o excavación, reflejando la geometría y estructura de los mismos tanto en planta como en cortes representativos del subsuelo, e incluyendo en ellos la posición del nivel freático.
- Realizar prospecciones geofísicas, del tipo que se considere adecuado, para la deducción de las características físicas de los materiales del subsuelo (contenido en agua, velocidad de onda en suelo-roca, etc.) y la detección de posibles huecos, rellenos o estructuras enterradas.
- La excavación y estudio geológico de calicatas y registros, representando la información a una escala con suficiente detalle para la identificación de las estructuras del suelo y la interacción suelo/roca que sean de interés para el análisis de las características constructivas del emplazamiento.
- Toma de muestras alteradas en las calicatas para ensayos de identificación y, si es posible, muestras inalteradas. Donde se alcance el sustrato rocoso, se medirá su estructura y fracturación. En todas las calicatas se informará sobre la estabilidad de las paredes, la presencia de agua y la dificultad de excavación.
- Realizar el reconocimiento de los testigos de sondeos y los resultados de los ensayos de pozo, con el fin de realizar las observaciones relativas a las características geomecánicas de los materiales.

Los objetivos particulares del "Modelo Geológico Interpretativo del conjunto de la cuenca" son la elaboración del mismo con los datos estructurales más relevantes y la evolución geológico estructural de esta estructura

Por otra parte, los objetivos del Estudio de Síntesis Litoestratigráfica y sedimentológica son establecer la correlación estratigráfica de los sondeos, elaborar un modelo tridimensional y hacer un estudio de las facies presentes y su evolución espacial mediante un estudio sedimentológico de detalle, elaborando un modelo sintético genético.

Por último, en lo que respecta a los Estudios geológico-estructurales y neotectónicos regionales y comarcales, se han revisado los siguientes documentos:

- Mapa de Síntesis Geológico-Estructural Regional (de R 320 km), representado a escala 1:1.000.000, a modo de marco regional para el resto del estudio, a partir del cual se han identificado y descrito los dominios geológicos con presencia en la región. [REDACTED]
- Se ha revisado la información disponible e integrada en un Mapa Neotectónico Regional (de R 160 km) [REDACTED] representada a escala 1:500.000, que es básicamente una adaptación y actualización (cartográfica) del Mapa Neotectónico de España realizado por el IGME (1998), catalogada en la base de datos QAFI. A partir del mapa elaborado, se han identificado y descrito los dominios neotectónicos.
- En el ámbito Comarcal, utilizando como base la cartografía Geode del IGME, se ha elaborado un Mapa Geológico Comarcal representado a escala 100.000 de la zona de R 40 km [REDACTED]. El mapa se acompaña de 3 cortes geológicos representativos de la estructura [REDACTED]. Se ha descrito la estratigrafía, la estructura y la historia geológica de la zona involucrada.
- Empleando la misma metodología desarrollada para el Mapa Neotectónico Regional, se ha confeccionado un Mapa Neotectónico Comarcal a escala 100.000, y se ha añadido un análisis morfo-neotectónico sobre un modelo digital del terreno de alta resolución (Lidar del IGN). [REDACTED]

El objetivo principal de estos estudios planteados por Enresa es determinar y analizar todos los eventuales problemas de carácter geológico que de alguna manera puedan afectar al área del emplazamiento en la actualidad o en un futuro. En este sentido, además, se han de cumplir los siguientes propósitos:

- Realizar una síntesis geológica-estructural que apoye el estudio sismotectónico del emplazamiento, así como al estudio del régimen tectónico pasado y actual (cuaternario).
- A partir de la geología regional deben delimitar los bordes de las grandes unidades geológicas, su génesis y actividad a través de los tiempos geológicos, y su posible relación con la actividad tectónica más reciente (movimientos corticales y volcanismo).
- El informe de síntesis geológico-estructural describirá las características estructurales que proporcionen información sobre la estabilidad tectónica del emplazamiento, además de las características estructurales que han constituido los mayores límites tectónicos en la historia geológica y que pueden ser reactivadas creando alguna inestabilidad tectónica.

4.2. Evaluación

4.2.1. Estudios geológicos regionales y comarcales y locales

La información contenida en los mapas y memorias correspondientes a los estudios geológico representados a escalas 1:1.000.000; 1:500.000; 1:100.000 y 1:25.000 corresponden a las últimas ediciones realizadas por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME). No obstante, de la información elaborada por Enresa entre 2013 y 2015, quedan insuficientemente contemplados los aspectos que se enumeran a continuación:

- No se hace referencia a las velocidades de deformación regional, elevaciones y subsidencias, tal como se especifican en el "Plan de caracterización del emplazamiento del ATC" [REDACTED]
- En los mapas regionales, comarcales y locales, y en las memorias presentadas no quedan descritas con suficiente detalle las características, clasificación en orden de importancia y por familias de los accidentes tectónicos; fallas, cabalgamientos, pliegues etc., sobre todo, las que delimitan la cuenca donde se ubica el emplazamiento, y que puedan ser reactivados creando alguna inestabilidad tectónica (ver apartado de Estudios Geológico-Estructurales)
- En los mapas de neotectónica falta información sobre la clasificación en cuanto importancia e historia de las fallas significativas indicando; origen, distribución tamaño (longitud/espesor) y orientación y cuando sea posible, la geometría de la zona de falla y la dirección de rotura.
- Enresa no aporta los reconocimientos en campo sobre la obtención de las características de los accidentes tectónicos, sobre todo, de las posibles nuevas fracturas neotectónicas obtenidas a partir de la superposición de la cartografía 1:50.000 y modelos digitales del terreno, así como del estudio neotectónico y geomorfológico de todos los materiales del Mioceno Superior, aunque estén algo más alejados, como se especifica en la página 75 del Plan de Caracterización [REDACTED]
- Enresa no incluye los datos en campo de los recorridos por ambos márgenes del Záncara, así como de los levantamientos de columnas de campo de las unidades adyacentes a las que serán afectadas por la cimentación del ATC. En el entorno del emplazamiento, sobre todo de los yesos y lutitas superiores de Balanzas.
- En el tramo rectilíneo del río Záncara, al norte del emplazamiento, el denominado lineamiento del Záncara, en el "Mapa Estructural a escala local 1:25:000, GE-22, aparece la simbología de dos lineamientos: Uno que termina en el propio cauce y otro que continúa hasta el propio almacenamiento situándose aproximadamente en la zona central.

En la memoria del "Informe Resumen de Integración para la caracterización del ATC se Villar de Cañas" [REDACTED] en el apartado de "posible actividad neotectónica", se

comenta, "que, si bien, pudo ser interpretado como posible falla, investigaciones posteriores han revelado que debe tratarse de una adaptación del curso fluvial al sustrato, y quizás favorecido por alguna fractura profunda"

En el mismo informe resumen, en el apartado de "Geomorfología del emplazamiento y su entorno" se presenta la figura 1.6.5. Mapa de Procesos Activos en el Área Cartografiada a Escala 1:5000, en la que se observan otros tipos de procesos activos, exagerados y/o inexistentes a partir de los estudios realizados más recientemente.

- Depresión por disolución y/o subsidencia (puntual y con grado de atención notable, en yesos)
- Actividad neotectónica junto al lineamiento del Záncara (inexistente según se conoce ahora).

Para la investigación e interpretación de este lineamiento, junto con otros de aproximadamente la misma dirección y también interpretados como posibles zonas de fractura, se han realizado trincheras y geofísica, que no han mostrado indicios de fracturación y han llevado a Enresa a descartarlas como zonas de fractura. No obstante es posible que dadas las características de los materiales excavados, tipo de suelo y formación infrayacente alterada, no haya sido posible detectar dichas zonas como fracturas en las trincheras. La relevancia de esta posible ausencia de fracturación en superficie se discute en el apartado de Estudios geológico-estructurales.

Por otra parte, en los perfiles sísmicos realizados, por ejemplo en la "Figura 1.5.8.- perfil sísmico de la línea VCN2D_3 y su interpretación", en la zona central se observan fracturas subverticales que afectando a los yesos no llegan a la superficie, y que son las fallas que se representan en el "Panel de Cortes Geológicos a escala 1:5:000". En cuanto a las características de estas fallas, Enresa no aporta información suficiente en cuanto a su espesor, relleno y eventual circulación de agua.

Recientemente, Enresa ha realizado estudios topográficos y de comparación de fotografías aéreas de varias fechas [REDACTED] pero éstas no tienen el suficiente nivel de detalle para haber permitido obtener conclusiones respecto a movimientos del suelo en las últimas décadas. También, Enresa ha establecido una red de 11 puntos de nivelación de alta precisión [REDACTED] pero al situar los hitos en dados de hormigón anclados en profundidad (en "suelo firme"), y al haber compactado el terreno con maquinaria pesada (ap. 3.1, [REDACTED]) se comportarán como una edificación anclada con pilotes y se duda su efectividad para detectar movimientos.

Por tanto, a pesar de las investigaciones realizadas y teniendo en cuenta los comentarios realizados en el párrafo anterior, existen incertidumbres sobre la posible disolución de yesos, formación de cavidades kársticas y consiguiente circulación de agua a través de diaclasas, fracturas o zonas disgregadas a través de los yesos desde el cauce del Río Záncara hasta la zona del emplazamiento.

A este respecto, en el informe de Enresa de "Correlación estratigráfica de sondeos en el emplazamiento del ATC de Villar de Cañas (Cuenca) diciembre 2014" [REDACTED] se indica en el apartado 5 que no hay evidencia de la presencia de fallas o diaclasas:

"En la revisión de las descripciones de los sondeos, principalmente en la unidad de Yesos de Balanzas, se han encontrado descripciones que podrían indicar o ser reflejo de actividad tectónica (brechas, etc.) o disolución y posterior colapso. Se han revisado sobre el testigo de sondeo todos estos tramos por su potencial impacto en el diseño y construcción del ATC. La Tabla 5.1 presenta, para todos estos tramos, la descripción inicial y la revisada; en general, varios de los tramos descritos como posibles brechas de falla son típicas brechificaciones paleoedáficas, y las descritas como brechas yesíferas y disgregaciones son básicamente gipsarenitas y gipsiruditas poco o nada cementadas, bien por circulación de agua en niveles menos impermeables, o incluso a veces modificadas por la acción de la máquina de sondeos (rotación, circulación de fluidos a presión, etc.). En las páginas siguientes se muestran los ejemplos más representativos de tramos singulares:

- *Brecha pedogénica producida por la acción de raíces, desecación, nodulización, etc. Ejemplo tipo: sondeo SVC6 14,70 a 14,87 (Fig. 5.1).*
- *Gipsarenita no cementada. Ejemplo tipo: sondeo SVC6 de 33,10 a 33,60 (Fig. 5.2).*
- *Yeso macrocristalino formado por grandes cristales en matriz lutítico-margosa. Ejemplo tipo: sondeo DG4, 32,30 a 32,80 (Fig. 5.3 y 5.4).*

A la vista de los datos apuntados por Enresa y de los testigos de los sondeos, se considera que esos tramos de las columnas de no mucha longitud (hasta 0.50 m) pueden ser, no obstante, posibles zonas de circulación de agua subterránea en conexión hidráulica con las fracturas verticales y con las aguas superficiales del río Záncara.

En la inspección llevada a cabo el día 23 de febrero de 2015 se han comprobado los tramos de sondeo indicados, constatando que no parecen zonas de fractura, aunque sí pueden tener una mayor permeabilidad que el resto del medio.

A este respecto es importante reseñar la existencia de una zona de fractura de unos 5 m (entre los 45 y 50 m de profundidad) en el sondeo SG-61b (situado en la zona nuclear), interpretada a partir de los módulos elásticos y una disminución del índice RQD (Conclusiones en [REDACTED]). Igualmente, en la columna de testificación geológica del sondeo SVC-6, situado en la zona nuclear [REDACTED] se describe la presencia de una brecha de falla, con estrías de falla a 14,7 m de profundidad, cuando en el resto de informes Enresa ha afirmado la no existencia de fracturas en la zona.

Como resultado final de las investigaciones de carácter regional, comarcal y local Enresa no adjunta una relación (en memoria y mapa) de todos los condicionantes que puedan afectar, bien en la actualidad o en un futuro a las instalaciones del emplazamiento, indicando tipo de problema (neotectónico, tectónico, llanuras de inundación, posibilidad de colapsos por hundimiento de cavidades, fenómenos de disolución-karstificación,

zonas de erosión y sedimentación, zonas de encharcamiento etc. tratando de clasificarlos en orden de importancia, como se planteó en el Plan de Caracterización del Emplazamiento [REDACTED]

En lo que respecta a los estudios de geomorfología, se considera que presentan deficiencias en los siguientes aspectos:

- No se han representado las formaciones rocosas susceptibles de tener problemas de disolución o hinchamiento como se establecía en el Plan de Caracterización, en relación directa con la estabilidad y seguridad del emplazamiento del ATC.
- En la zona del emplazamiento y alrededores existen ciertas formas morfológicas que estaban presentes en cartografías previas del IGME y que no han sido representadas, como las zonas de dolinas, la morfología de los cursos fluviales y su morfología, etc. que podrían aportar información sobre aspectos neotectónicos y procesos activos.
- No se han realizado cartografías de unidades morfodinámicas sintéticas, que considera el territorio como un todo susceptible de ser subdividido en unidades homogéneas y caracterizadas por una serie de rasgos comunes.

4.2.2. Estudio geológico del emplazamiento

En general los estudios geológicos realizados en la zona del emplazamiento y sus alrededores están de acuerdo con lo especificado en las normativas técnicas, aunque muchos de los sondeos no alcanzan la profundidad de 50 – 100 m que especificaba el Plan de Caracterización del emplazamiento, lo que ha conducido a una insuficiente caracterización de las zonas más profundas bajo el mismo.

No obstante, en los mapas y memorias revisados, incluyendo los más recientes de Noviembre 2014 [REDACTED] y Enero de 2015 [REDACTED], no se han contemplado de forma suficiente los aspectos que se enumeran a continuación:

- Respecto a la evolución del modelado del terreno, Enresa no ha realizado un análisis de la evolución del modelado en función de la transferencia de materiales entre las zonas erosionables y las acumulativas (zonas de dolinas), así como un cálculo de las masas transferidas y las tasas de erosión.
- En el "Informe Resumen para la Caracterización del emplazamiento" [REDACTED] en los apartados de Procesos Activos y Geomorfología del área de Emplazamiento y su Entorno, respecto a las zonas endorreicas existentes en la franja, relativamente hundida en la parte oriental del emplazamiento, se hacen los comentarios siguientes:
 - *"En cuanto a la posible karstificación en yesos, solo parecen algo importantes las pequeñas depresiones por disolución superficial de los mismos por las aguas meteóricas."*

- *“Se observan otros tipos de procesos activos, exagerados y/o inexistentes a partir de los estudios realizados más recientemente”.*
- *“Depresión por disolución y/o subsidencia (puntual y con grado de atención notable, en yesos)”.*

Los datos presentados sobre la posible disolución de yesos y arcillas superiores de Balanzas introducen ciertas incertidumbres en cuanto a fenómenos de karstificación. Así, mientras que en los informes últimos se especifica que los fenómenos de karstificación son de escasa importancia y que corresponden a fenómenos de disolución superficial, en el informe “Campaña de trincheras para el análisis de potenciales zonas de disolución de yesos en el paraje de las Balanzas [REDACTED]”, se concluía que “una porción importante del emplazamiento de las Balanzas está afectada por dolinas de subsidencia generadas por la karstificación de los yesos subyacentes”. Las hipótesis y resultados de este informe fueron posteriormente descartadas por Enresa [REDACTED] por estudios posteriores, indicando que “la karstificación es prácticamente inexistente, habiéndose localizado tan solo áreas con cierta alteración meteórica en las zonas más bajas y algunas cavidades de tamaño decimétrico cerca de la superficie, sin relevancia para la estabilidad”

Los aspectos de disolución de yesos adquieren especial relevancia en los contactos entre las estructuras de las instalaciones propuestas, por cuanto pueden ser vías preferentes de circulación de aguas de escorrentía con una elevada capacidad de disolución de los yesos presentes en elevados porcentajes dentro de la unidad LBS y, por supuesto, en la unidad de Yesos de Balanzas, a menos que el titular tome las medidas oportunas (durante la construcción y operación de la instalación) para evitar este impacto.

Las figuras siguientes recogen tramos concretos extraídos de los cortes C-3i y C-10i del mapa GE-21 [REDACTED] en los que se observa que las excavaciones llegan a atravesar completamente la unidad LBS. Ello supone la posibilidad de acceso directo de agua de lluvia tanto durante la excavación como tras la construcción a materiales altamente solubles





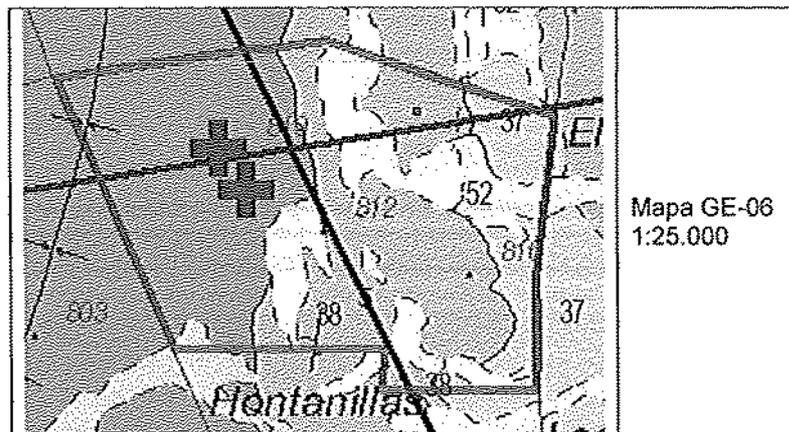
Respecto a los datos obtenidos en la ejecución de las trincheras y en los testigos de los sondeos en las zonas deprimidas, es importante tener en cuenta la dificultad de su interpretación por los técnicos de campo, máxime cuando han sido realizadas por diferentes autores y épocas, por las propias características de los terrenos excavados. Sin embargo, dada la posibilidad de que haya una subsidencia continua por la disolución de los yesos en estas zonas deprimidas, estos aspectos se consideran de gran relevancia por las implicaciones que tienen en la geoquímica, hidroquímica, hidrogeología y propiedades geotécnicas de los materiales del emplazamiento.

En la zona Sur del emplazamiento Enresa ha representado un contacto de "zona endorreica" que está situado sobre la unidad de Lutitas Superiores de Balanzas, pero no especifica si ésta se debe a disolución de los yesos contenidos en las lutitas o bien a disolución en la unidad Yesos de Balanzas una vez disuelta la unidad superior LBS porque el contorno de la zona endorreica oculta el contacto entre LBS y YB. La relevancia de este aspecto radica en la facilidad o posibilidad de que en la unidad LBS se estén produciendo actualmente procesos de disolución.

La figura siguiente recoge la ubicación de esa "zona endorreica", que oculta el contacto entre las unidades de Lutitas Superiores de Balanzas (LBS) y Yesos de Balanzas (YB)



Respecto a la definición de los contactos geológicos, la Inspección realizada en febrero de 2015 constató que la información de detalle que proporcionan los sondeos no ha sido trasladada a la cartografía geológica de mayor detalle elaborada por Enresa. Así, constató que los contactos de la cartografía geológica próxima del emplazamiento contienen el mismo detalle de información en las diferentes escalas de representación de los mapas consultados, a saber: GE-06 a escala 1:25.000; GE-18 a escala 1:5.000; GE-20 y GE-23 a escala 1:2.000; y GT-01 a escala 1:500. La figura siguiente recoge la misma zona en los mapas a distintas escalas en los que se observa que los contactos entre unidades no varían.





Respecto a los estudios elaborados por Enresa de Síntesis Litoestratigráfica y Sedimentológica [REDACTED] [REDACTED] se pueden hacer las siguientes valoraciones particulares:

La correlación de las unidades litoestratigráficas de los sondeos se pueden considerar, en su conjunto, adecuados y su integración en el análisis de facies permite tener una visión más precisa de los cambios litológicos a gran escala.

Por otra parte la caracterización de las facies sedimentológicas es aceptable y el modelo sedimentológico propuesto de evolución de ambientes de sedimentación es válido. El estudio sedimentológico presentado por Enresa [REDACTED] ha supuesto una mejora en el conocimiento e integración de los sistemas deposicionales de las diferentes unidades litoestratigráficas, y es esencial para comprender la posición espacial de las diferentes facies litológicas y sus cambios laterales de facies. Además, el estudio sedimentológico es fundamental para el análisis diagenético aportando un marco en la integración de datos mineralógicos, petrológicos y geoquímicos. No obstante, falta la integración de un estudio petrográfico y los datos mineralógicos aportados por [REDACTED] [REDACTED] a fin de conseguir una mayor precisión en la localización de depósitos con posibles y previsibles problemas constructivos (arcillas expansivas, yesos, etc.).

Existen, no obstante, algunas carencias relevantes, como la existencia de un salto importante entre las descripciones de las facies sedimentológicas y la caracterización mineral y geoquímica, faltando entre medias la caracterización petrográfica de las rocas (análisis de las correspondientes laminas delgadas bajo el microscopio petrográfico).

Respecto a las características del terreno, Enresa asegura [REDACTED] que "Las características petrológicas y mineralógicas, junto con las características geológicas y estratigráficas (...) permanecen estables mucho más allá del periodo operativo de dicha instalación". Este aspecto tiene que ser considerado por Enresa en el diseño de la instalación, para evitar procesos de disolución o hinchamiento que afecten a las propiedades de los materiales.

Enresa presenta en las tablas 4.1-1 y 4.1-2 [REDACTED] elaboradas para la UI (y para el resto de las unidades litoestratigráficas) valores promedio de la mineralogía y geoquímica de la UI que no aportan información relevante.

Por otra parte, se considera que la denominación de las unidades litoestratigráficas que realiza Enresa tiene de ser mucho más sencilla. Por ejemplo, la Unidad LBI es denominada como "Lutitas margoso-yesíferas (LBI)", para decir a continuación que está formada *pese a su nombre*, por "margas dolomíticas yesíferas", insistiendo en denominar la unidad con el término Lutitas. Sería más adecuado identificarlas sólo como UI, LBI, YB y LBS, y en la descripción de cada una de estas unidades detallar después al máximo las tipologías de las facies. Lo mismo ocurre con la LBS (pg. 31), sin utilizar términos litológicos para definir estas unidades debido a la alta complejidad composicional.

Enresa indica que se han revisado y validado las descripciones de los sondeos (clasificaciones de visu), comprobando la correcta y detallada descripción de los sondeos. Sin embargo, llama la atención el hecho de que no coinciden los términos de los sondeos con la caracterización mineralógica realizada posteriormente (ver comentario del párrafo anterior), mostrando una importante imprecisión en la terminología. Así, presenta los porcentajes de los principales minerales (filosilicatos, yeso, carbonato, etc.) propios de una marga dolomítica con yeso, pero se dice que son "coherentes" con lo descrito en la descripción de los testigos (lutitas yesíferas). En varias ocasiones también da a entender, de forma errónea, que la moscovita es un mineral de la arcilla.

En el informe Resumen [REDACTED] en lo relativo a la Unidad Inferior, se indica que los resultados de la DRX (porcentajes de los tipos de minerales) refleja la variabilidad de los ambientes de formación. Esta afirmación se considera incorrecta, sobre todo en ambientes de sedimentación tan complejos. Por ejemplo: un determinado porcentaje de carbonatos puede estar presente como clastos extracuencales (fragmentos de roca), componentes intracuencales (micrita o granos), como cementos (calcita) o como reemplazamientos, en los que los ambientes de formación son totalmente diferentes. La génesis de los componentes minerales (cristales o clastos) se infiere del estudio petrográfico analizando la procedencia y el origen de los componentes. Sin embargo, Enresa no ha analizado los tipos de componentes minerales en los tipos de facies.

Igualmente, en la Unidad LBS, sobre la que se han realizado estudios específicos del fenómeno de expansividad, Enresa no presenta una discusión petrológica en las facies sedimentológicas descritas: lutitas dolomíticas con yeso, margas dolomíticas con yeso y gypsicretas. Sería de mayor utilidad haber descrito en cada litofacies los rasgos petrológicos más importantes (texturas, componentes y procesos diagenéticos) así como los % en minerales de la arcilla y sus tipologías. Los resultados presentados indican la falta de coordinación entre los trabajos de sedimentología-petrología con los realizados para la caracterización mineral y geoquímica (aplicada a geotecnia).

Se considera que Enresa no hace una presentación adecuada de los datos en la unidad YB y la información se presenta desordenada, recogiendo primero la descripción de los tipos de facies y después los datos mineralógicos y geoquímicos, pero no relaciona los datos mineralógicos con los tipos de facies, de modo que se establezca con claridad en qué facies aparece la anhidrita, tipologías de minerales de la arcilla, carbonatos, etc., porque no hay un estudio petrográfico y diagenético suficiente.

Enresa no ha realizado la diferenciación de litofacies en las unidades: yeso (y si es primario o deposicional indicar el tipo: laminados, cumulus, etc.), lutitas (con o sin cristales de yeso,...), margas (con o sin cristales de yeso), etc. y la descripción posterior de los componentes de la fábrica y sus relaciones espaciales, en cada una de las litofacies para finalmente establecer las litofacies que se han caracterizado en los ciclos y la comparación con todos los datos de mineralogía y petrología.

La relevancia de la integración de litofacies con mineralogía y petrología es importante para conseguir una mayor precisión en la localización de aquellos depósitos que pueden suponer problemas durante y tras la construcción de las instalaciones previstas por la presencia de arcillas expansivas o disolución de yesos. Dada la gran complejidad composicional y la heterogeneidad espacial de las unidades LBS y YB es fundamental entender la ordenación espacial de las diferentes fases minerales y los posibles procesos diagenéticos que pueden operar tanto en superficie como en profundidad.

4.2.3. Estudios geológico-estructurales regionales y comarcales.

Marco Regional

El marco regional presenta una revisión bastante completa de la bibliografía y cartografía existentes, que parece suficiente para enmarcar el emplazamiento. No obstante hay algunos aspectos que conviene remarcar, ya que su consideración puede tener consecuencias en cuanto a la evaluación sobre la idoneidad del emplazamiento:

a) Ausencia de datos de esfuerzos activos en las proximidades el emplazamiento:

En el Informe Resumen de Integración (Enresa, Dic., 2014. [REDACTED]) referente a los aspectos neotectónicos, se indica: *“Los escasos datos de esfuerzos medidos in situ, procedentes del World Stress Map-Project (Figura 1.2-13) son algo heterogéneos, con direcciones de esfuerzo que varían entre E-O y NE-SO, debido a que se trata de datos puntuales condicionados por perturbaciones locales del campo de esfuerzo, poco*

significativos en relación con el campo de esfuerzos regional De Vicente et al, 1996¹ [13] y proyecto SIGMA, 1998 [7]).”

Existen trabajos más recientes sobre los esfuerzos recientes en el área, con más y mejores datos (De Vicente et al., 2008²; Olaiz et al., 2009³; Muñoz Martín et al., 2012⁴), que permiten definir el estado de esfuerzos en la corteza superior en un régimen de desgarre NO-SE. Dado que las magnitudes de Sigma 1 y Sigma 2 son bastante parecidas (régimen de desgarre próximo a extensión uniaxial) este régimen puede activar tanto fallas de desgarre puras como oblicuas (normal direccionales e inverso direccionales).

Enresa no ha aportado, tal y como indicaba en su Plan de Caracterización (██████████) lo siguiente: *“Se realizarán ensayos mecánicos y/o geofísicos que determinen la interpretación estructural de los esfuerzos tectónicos actuales en el emplazamiento. Las medidas de esfuerzos y deformabilidad de la roca en pozo servirán de apoyo a los estudios geológicos de superficie para aproximar al conocimiento del campo de esfuerzos actuales”.*

Esta información sobre las orientaciones y régimen de los esfuerzos cerca de la superficie en las proximidades del emplazamiento es básica para comprobar qué tipos de fallas pueden ser reactivadas, y/o el estado tensional de las mismas, y se considera muy importante por dos aspectos:

- Su posible reactivación bajo el estado de esfuerzos actual.
- Analizar el estado tensional de las mismas. Si estas son paralelas al máximo esfuerzo horizontal, estas fallas presentarían una mayor permeabilidad, y podrían ser vías preferentes de flujo subterráneo. Este hecho favorecería que las aguas provenientes de superficie alcancen las unidades de yesos masivos infrayacentes.

b) Ausencia de fallas activas en el área comarcal del emplazamiento.

La última frase del apartado mencionado del Informe Resumen de Integración (██████████) expresa: *“Hay que resaltar, como resumen de todo lo anterior, que el área comarcal (radio de 40 km) no presenta fallas activas ni manifestaciones volcánicas recientes”.*

Esta afirmación debe tomarse con muchas reservas, pues existe actividad sísmica en el entorno de 40 km, lo que demuestra que sí hay fallas activas. El hecho de que no se

¹ De Vicente, G.; Giner Robles, J.L.; Muñoz Martín, A.; González, J.M. y Lindo, R. (1996). Determination of present-day stress tensor and neotectonic interval in the Spanish Central System and Madrid basin, Central Spain. *Tectonophysics*, 266 (1-4), pp.: 405-442

² De Vicente, G., Cloetingh, S., Muñoz-Martín, A., Olaiz, A., y Stich, D., Vegas, R., Galindo-Zaldívar, J. y Fernández-Lozano, J. (2008). Inversion of moment tensor focal mechanisms for active stresses around the Microcontinent Iberia: Tectonic implications, *Tectonics*, 27 (TC1009): 1-22. DOI: 10.1029/2008TC002093.

³ A.J. Olaiz, A. Muñoz-Martín, G. De Vicente, R. Vegas, S. Cloetingh (2009). European continuous active tectonic strain-stress map, *Tectonophysics*, 474: 33-40. doi: 10.1016/j.tecto.2008.06.023

⁴ Muñoz Martín, Alfonso y De Vicente Muñoz, Gerardo y Olaiz Campos, Antonio José y Antón López, Loreto y Vegas, Ramón y Granja Bruña, José Luis (2012). Mapa de esfuerzos activos en línea de la Península Ibérica a partir de Mecanismos Focales calculados desde el Tensor de Momento Sísmico (2012). *Geotemas*, 13: 1-4. ISSN 1576-5172

hayan observado deformaciones que afecten a unidades sedimentarias recientes y/o en superficie, no implica que no haya fallas activas. Hay dos datos que demuestran actividad tectónica reciente en el entorno del área de estudio:

- La presencia de deformaciones frágiles y dúctiles que afectan a materiales de la 4ª Unidad Neógena
- Existencia de sismicidad activa.

De hecho, en las series sísmicas analizadas no se ha podido identificar la falla o fallas que han generado la sismicidad, debido a que se trata de fallas de basamento sin expresión morfológica ni evidencias superficiales. En el Informe "Estudio Neotectónico-Sismotectónico y Paleosísmico de Fuentes Sismológicas" [REDACTED] se afirma que el terremoto de Pedro Muñoz (Mw 4.8) y su secuencia de réplicas se deba "a la reactivación de una pequeña falla de muy pequeña longitud, en el interior de la corteza, que no presenta evidencias en superficie".

Estructura Profunda

La estructura en profundidad se ha definido mediante la interpretación de perfiles sísmicos de los primeros años 70 y la cartografía geológica de superficie (IGME, 2010). Llama la atención que Enresa no haya aportado información nueva y de mejor calidad que permita establecer la geometría del techo del basamento, y si ésta se encuentra afectada por estructuras frágiles. Sin embargo se han estimado las profundidades de los reflectores mediante un valor promedio único para cada reflector analizado, obtenido de los sondeos existentes. Este cálculo de profundidades es muy aproximado, ya que no considera variaciones laterales y verticales de velocidad, tal y como se observan en los valores de velocidades dinámicas para el mismo reflector en las líneas analizadas.

Estas líneas sísmicas, además, llevan una orientación principal E-O, por lo que es altamente improbable detectar fallas de orientación E-O. Si se dispusiera de líneas sísmicas N-S se podrían detectar, como ocurre en el sector septentrional de la Cuenca de Loranca.

Esta información sísmica tiene una calidad media-baja y una baja resolución. Su orientación no permite analizar la presencia de estructuras E-O en el entorno del emplazamiento.

Enresa no proporciona un mapa de isobatas de basamento, tal y como se solicitaba en la Petición de Información Adicional [REDACTED] en su punto G.3. Este mapa se puede obtener mediante la restitución de los reflectores interpretados en las líneas sísmicas utilizando los valores de velocidades dinámicas. En lugar de eso se han construido cortes geológicos utilizando para las estimaciones de profundidad los valores medios de velocidad extrapolados de los sondeos. Estos valores de velocidad dinámica muestran variaciones para un mismo Tiempo Doble muy importantes. Si esta variación no se tiene en cuenta, resultan artefactos como son el ascenso del basamento por debajo de los núcleos anticlinales (efecto "pull up"). Esto no ha sido corregido por Enresa y se mantiene una interpretación que mantiene la geometría de la sección en Tiempos a

Profundidades. Trabajos de modelización gravimétrica sobre secciones sísmicas en la Sierra de Altomira (Perucha et al., 1996⁵; De Vicente et al., 2009⁶), implican que existe un despegue de la cobertera y que las fallas inversas no afectan significativamente al basamento. Si Enresa indica lo contrario debería aportar datos geofísicos que lo demuestre.

El carácter compresivo de las estructuras del basamento debe poder comprobarse en las secciones sísmicas restituídas. Se citan fallas normales que afectan al basamento de orientaciones E-O a NO-SE, pero es necesario hacer una interpretación cartográfica con información geofísica, ya que sólo se cita su orientación. Una de estas fallas puede coincidir con el valle del arroyo de la Fuente del Villar, y ha sido propuesta en trabajos previos (ZT de Zafra, Muñoz Martín y De Vicente, 1998⁷).

En la caracterización de la estructura del basamento sólo se describen las estructuras de deformación compresivas, cuya existencia se ha discutido en los párrafos anteriores, pero no se describe su variación lateral. Al norte del emplazamiento (zonas central y septentrional de la Cuenca de Loranca y Sierra de Altomira) se ha comprobado cómo la presencia de fallas en el basamento, oblicuas y/o transversales a la dirección de los cabalgamientos, desarrollan zonas de transferencia con diferentes rangos de acortamiento, cambios en la vergencia, y/o relevo de estructuras compresivas en la cobertera (Muñoz Martín, 1997⁸; Muñoz Martín y De Vicente, 1998). Este tipo de zonas de transferencia son similares a la que, con una dirección E-O, separa los sectores septentrional y meridional del anticlinal de Zafra de Záncara, y que ha sido propuesta como una falla de basamento (Muñoz Martín y De Vicente, 1998).

Enresa no ha proyectado sobre las cartografías geológicas las estructuras de basamento deducidas por otros autores, ni los mapas de isobatas del techo del basamento como se indicó expresamente en la PIA (punto G.3) 

La ausencia de información suficiente para establecer la estructura en profundidad tiene consecuencias respecto a los siguientes aspectos, que tienen relevancia a la hora de analizar la idoneidad del emplazamiento:

- a) La posibilidad de que existan fallas no conocidas en el basamento por debajo o en las proximidades del emplazamiento, lo que tiene implicaciones en el análisis de la peligrosidad sísmica, especialmente desde un punto de vista determinista.
- b) Posición del bedrock, Este aspecto tiene especial importancia a la hora de definir la posición del "bedrock", y el espesor de la cobertera sedimentaria, que tiene influencia en el acoplamiento suelo-estructura.

⁵ Perucha, M.A.; Muñoz Martín, A.; Tejero, R. y Bergamín, J.F. (1995). Estudio de una transversal entre la cuenca de Madrid y la Cordillera Ibérica a partir de datos estructurales, sísmicos y gravimétricos. *Geogaceta*, 18: 15-18.

⁶ G. De Vicente, R. Vegas, A. Muñoz-Martín, J.D. Van Wees, A. Casas-Sáinz, A. Sopeña, Y. Sánchez-Moya, A. Arche, J. López-Gómez, A. Olaiz, J. Fernández-Lozano. (2009). Oblique strain partitioning and transpression on an inverted rift: The Castilian Branch of the Iberian Chain. *Tectonophysics*, 470, 224-242. doi:10.1016/j.tecto.2008.11.003.

⁷ Muñoz Martín, A. y De Vicente, G. (1998). Origen y relación entre las deformaciones y esfuerzos alpinos en la zona centro-oriental de la Península Ibérica. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 11 (1-2): 57-70.

⁸ Muñoz Martín, A. (1997) Evolución geodinámica del borde oriental de la cuenca del Tajo desde el Oligoceno hasta la actualidad. Tesis Doctoral, Univ. Complutense 480 pp.

Por los motivos expuestos, se concluye que existe un déficit de información respecto a la estructura del basamento en el entorno del emplazamiento, ya que la información geofísica adquirida para la caracterización del mismo no alcanza una penetración suficiente (el techo del basamento).

Estructura de la cobertera

Enresa ha proporcionado en el Informe Resumen de Integración [REDACTED] un modelo geológico del entorno del emplazamiento, integrando los datos de los sondeos, de la cartografía de superficie y de la geofísica realizada hasta unos 200 m de profundidad. Este modelo muestra una estructura de un sinclinal suave, en cuyo flanco oriental está situado el emplazamiento, definido por las unidades lito-estratigráficas terciarias. Esta estructura monoclinal se encuentra afectada por una serie de fracturas de escaso salto vertical, que parecen más desarrolladas en las unidades inferiores (YB). Así mismo, Enresa describe cuatro ámbitos o problemáticas bien a nivel de superficie (Figura 2.4-22 [REDACTED])

- Las fracturas NO-SE aparentemente dextrales de la Sierra del anticlinal de Záncara de Záncara
- La fracturación asociada al borde occidental de la misma,
- El lineamiento N-S del río Záncara
- La presencia de alguna fractura (inversa) en el flanco oriental del sinclinal, al este del emplazamiento.

En respuesta a la PIA, Enresa ha realizado una síntesis estructural, que responde parcialmente a las cuestiones planteadas en la PIA. En general se realiza una descripción exhaustiva, fundamentalmente cartográfica, de las diferentes estructuras frágiles y dúctiles que afectan a la cobertera, pero sin aplicar técnicas de análisis estructural frágil ni de inversión de esfuerzos, tal y como se indica en el Plan de Caracterización [REDACTED]

Enresa no ha presentado ningún estudio micro ni meso-estructural que incluya análisis geométrico, cinemático y dinámico, especialmente con técnicas de análisis poblacional de fallas y de inversión de esfuerzos, indicando que no hay estaciones de medida. Enresa no ha realizado esta caracterización ni en las unidades de la 4ª unidad neógena ni en la cobertera mesozoico-paleógena. En los informes se indica la presencia de deformaciones que afectan a la 4ª Unidad neógena, pero no se describe que tipo de estructuras, ni se analizan desde un punto de vista cinemático y dinámico.

Enresa no ha establecido los campos de paleoesfuerzos responsables de la fracturación en el entorno de trabajo y a una escala adecuada. Los trabajos más recientes que caracterizan los paleoesfuerzos y esfuerzos recientes en el área (Muñoz Martín et al.,

2003⁹), se sitúan justo al norte del emplazamiento. La caracterización del emplazamiento necesitaría haber aumentado la información sobre este aspecto con una mayor resolución para completar y/o discutir lo publicado.

El campo de esfuerzos actual se ha tomado de bibliografía reciente, pero Enresa no dispone de información de ensayos de deformación y/o medida de esfuerzos "in situ" para poder estimar magnitudes y ver posibles variaciones de pequeña escala. Igualmente, no ha tenido en cuenta los datos de deformación en superficie (GPS) que ya existen en el centro peninsular (ej. Gárate et al, 2014¹⁰; Pérez-Peña et al., 2010¹¹).

La cobertera mesozoica presenta mayoritariamente estructuras compresivas, pero también existen numerosas fallas direccionales y oblicuas, especialmente en las zonas de transferencia del cinturón de pliegues y cabalgamientos, y también estructuras extensionales, si bien con menor salto vertical. Los datos de fracturas generadas por sobrepresión hidráulica en el estudio de testificación geofísica con *televiwer* indican dirección de extensión próxima a N-S, que coinciden con las propuestas por Muñoz Martín et al. (2003), a partir del análisis de estructuras frágiles.

Caracterización de la fracturación en el entorno del emplazamiento

Tanto los datos geofísicos como los cortes geológicos y el modelo geológico final aportados por Enresa, muestran la presencia de fracturas subverticales de escaso salto vertical, y alguna falla inversa que afecta a las unidades neógenas. Estas fracturas se han deducido básicamente a partir de los datos de tomografía eléctrica, y, en menor medida de la sísmica de reflexión y los sondeos.

La tomografía eléctrica detecta la presencia de zonas conductoras de alto buzamiento que atraviesan las unidades LBS y YB. Estas zonas conductoras pueden estar relacionadas con diferentes factores (brechas de fallas, zonas de rellenos arcillosos, presencia de agua, etc...). Por otra parte, y dado el elevado buzamiento de las estructuras, resulta muy poco probable su detección mediante sondeos verticales.

En la Petición de Información Adicional [REDACTED] se recomendó a Enresa la aplicación de técnicas geofísicas complementarias de alta resolución, que aportaran información independiente (GT.23). La técnica para definir mejor su geometría y posible naturaleza desde el punto de vista geofísico, dadas las necesidades de penetración y resolución es la tomografía sísmica con disparos y registros en superficie y en pozo. Los resultados de esta campaña (todavía parciales) se describen en el apartado de geofísica [REDACTED].

Respecto a las consideraciones para las bases de diseño recogidas por Enresa en el Informe de Caracterización [REDACTED] se indica la: "Ausencia de discontinuidades

⁹ Muñoz Martín, A.; G. de Vicente y J.L. Giner (2003) Análisis de las deformaciones y esfuerzos recientes y su relación con la sismicidad en el borde oriental de la cuenca del Tajo España Central) (2003). Boletín Geológico y Minero, 114, 103-120

¹⁰ J. Garate, J. Martín-Davila, G. Khazaradze, A. Echeverría, E. Asensio, A. J. Gil, M. C. de Lacy, J. A. Armenteros, A. M. Ruiz, J. Gallastegui, F. Alvarez-Lobato, C. Ayala, G. Rodríguez-Caderot, J. Galindo-Zaldívar, A. Rimi, M. Harnafi (2014). Topo-Iberia project: CGPS crustal velocity field in the Iberian Peninsula and Morocco. GPS Solut. DOI 10.1007/s10291-014-0387-3.

¹¹ Pérez-Peña A., Martín-Davila J, Gárate J; M. Berrocoso, E. Buforn (2010) Velocity field and tectonic strain in southern Spain and surrounding areas derived from GPS episodic measurements. J Geodyn., 49:232–240. Doi:10.1016/j.jog.2010.01.015

verticales, atribuibles a fracturas, en o inmediatamente bajo el emplazamiento, estando las más próximas en los bordes noroeste y centro-este, pero a importante profundidad bajo el emplazamiento (a más de 50 y 100 m, respectivamente)".

Esta frase niega inicialmente la existencia de fracturas, para posteriormente decir que se encuentran en los bordes y a más de 50 metros de profundidad. Además los datos más recientes indican la presencia de una fractura en el sondeo SG-61b, a unos 45 m de profundidad, confirmada por datos de testificación y de RQD [REDACTED]. Igualmente, en la columna de testificación geológica del sondeo SVC-6, situado en la zona nuclear [REDACTED] se describe la presencia de una brecha de falla, con estrias de falla a 14,7 m de profundidad.

Por otra parte, Enresa también resalta la "Ausencia de tectónica reciente, no solo en el emplazamiento sino, también, en su entorno inmediato", afirmación que no tiene en cuenta la presencia de sismicidad en el entorno del emplazamiento, y deformaciones que afectan al Mioceno Superior en el entorno del emplazamiento.

La sismicidad se debe a actividad tectónica actual, y las deformaciones recientes no han sido caracterizadas del modo que definía el plan de caracterización, mediante técnicas de análisis estructural frágil ni mediante medidas de esfuerzos activos y paleoesfuerzos.

Las deformaciones del Mioceno superior

En el informe de Caracterización [REDACTED] se han revisado los afloramientos de las unidades de Mioceno Superior que afloran al N del emplazamiento. Los datos proporcionados indican la presencia de deformaciones dúctiles y frágiles que han interpretado como no tectónicas. Las razones de esta interpretación son:

"Las dispersiones de las direcciones y el carácter siempre puntual de pliegues y fracturas, tanto en observaciones de pequeña escala (trincheras) como de escala mayor (fotogeología), indica que estas deformaciones pueden obedecer a la adaptación de estas capas a las arcillas y yesos infrayacentes, como se ha indicado anteriormente. Los pliegues observados, menos frecuentes que las fracturas, parecen presentar una pauta más constante (NO-SE)". Y, finalmente se argumenta una razón adicional: *"Cabe, por tanto, concluir que las deformaciones del Mioceno superior junto a la terminación noroeste de la Sierra de Zafra de Záncara, presentan datos o características que cuestionan su origen tectónico, lo cual estaría avalado por la ausencia de deformaciones en litologías de la misma edad de la zona".*

Esta conclusión es discutible, pues han sido descritas y publicadas deformaciones recientes en la Cuenca de Lorca y en la Cuenca de Madrid, afectando a materiales del Mioceno Superior y Cuaternario bajo el campo de esfuerzos reciente NO-SE.

4.3. Conclusiones

Respecto a los aspectos geológicos y geomorfológicos, en la información aportada por Enresa existen incertidumbres en aspectos relevantes que sirven de base a otras áreas de conocimiento, tales como geoquímica, sismicidad (neotectónica), hidrogeología y geotecnia, y que se refieren fundamentalmente a los temas siguientes:

1. Identificación de zonas endorreicas en el Emplazamiento del ATC y su entorno, en general y particularmente la zona al S del emplazamiento ubicada en la unidad LBS
2. Identificación y análisis de lineamientos del tramo del río Záncara en la zona del propio emplazamiento y aguas arriba del mismo continuando por el tramo rectilíneo del río Záncara.

Ambos aspectos están relacionados con la posible circulación de aguas subterráneas a través de diaclasas, fracturas y/o zonas de disolución existentes en los yesos, así como con la posible actividad neotectónica.

Para tratar de resolver estas incertidumbres, sobre todo la relativa a la posible circulación de agua procedente del Záncara a través de fracturas no observadas en superficie, pero detectados por la sísmica de reflexión, Enresa no ha evaluado la posibilidad de realizar sondeos inclinados que permitieran detectar la presencia de dichas fracturas y sus características, espesor, presencia de agua, etc., así como realizar el seguimiento de una red de hitos topográficos de alta precisión posible para poder detectar zonas y tasas de hundimiento relativo, como se solicitó en la PIA [REDACTED]. Esta red ya ha sido instalada por Enresa pero aún no ha proporcionado datos.

Otros aspectos importantes en el emplazamiento que no han sido considerados por Enresa son:

- Análisis de la evolución del modelado del terreno en función de la transferencia de materiales entre las zonas erosionables y las acumulativas, así como un cálculo de las masas y las tasas de erosión.
- Representación de las formaciones rocosas susceptibles de tener problemas de disolución o hinchamiento.

La correlación de las unidades litoestratigráficas presentada por Enresa se puede considerar, en conjunto, adecuada y su integración en el análisis de facies permite tener una visión más precisa de los cambios litológicos a gran escala.

Se presenta un análisis de facies, en las diferentes unidades litoestratigráficas, aceptable pero se observan imprecisiones, carencias y erratas, así como datos superfluos que no son resolutivos ni aportan información adicional al análisis de facies.

Enresa no ha integrado los datos petrológicos y mineralógicos en el modelo sedimentológico. La integración es la clave para conseguir una mayor precisión en la localización de depósitos con posibles y previsibles problemas constructivos (arcillas expansivas, yesos, etc.). Dada la gran complejidad composicional y la heterogeneidad espacial (especialmente en las unidades LBS y YB) es fundamental entender la ordenación espacial de las diferentes fases minerales, y los posibles procesos diagenéticos que pueden operar tanto en superficie como en profundidad.

La nomenclatura utilizada por Enresa en la caracterización litológica de los sondeos no coincide, en muchos casos, con la de la caracterización de los análisis mineralógicos y

petrográficos. No se consigue una caracterización clara de los términos composicionales de las facies sedimentológicas. Así, en la unidad LBS, considerada como lutítica, los componentes minerales son, de mayor a menor contenido porcentual: carbonatos (dolomita, magnesita), sulfato cálcico (yeso, anhidrita), minerales de la arcilla, y otros tipos de sulfatos y sales (thenardita, celestina, etc.), de modo que deberían haberse tratado como margas yesíferas o yesos margosos.

Respecto a los estudios geológico-estructurales, la información de Enresa presenta algunos aspectos de relevancia que no ha resuelto de forma suficiente. Estos aspectos son:

1. La tomografía eléctrica identifica la presencia de zonas conductoras de alto buzamiento que atraviesan las unidades LBS y YB. Estas zonas conductoras pueden estar relacionadas con diferentes factores (brechas de fallas, zonas de rellenos arcillosos, presencia de agua, etc...). Dado el elevado buzamiento de las estructuras resulta muy poco probable su detección mediante sondeos verticales. La técnica para definir mejor su geometría y posible naturaleza desde el punto de vista geofísico, dadas las necesidades de penetración y resolución es la tomografía sísmica, cuyos resultados se describen en detalle en el apartado de Geofísica. Los datos de sísmica de reflexión también sugieren la presencia de estas fracturas, pero con un grado de resolución insuficiente.

No hay información suficiente sobre la red de fracturación en el entorno del emplazamiento, debido a la escasa profundidad de las trincheras, a las características reológicas de los materiales, a que todos los sondeos son verticales. Este déficit de información tiene consecuencias respecto a tres aspectos importantes desde el punto de vista del análisis de la idoneidad del emplazamiento:

- a) Si estas fracturas son zonas de flujo subterráneo preferente, existe la posibilidad de que pongan en contacto aguas no saturadas con las unidades de yesos masivos infrayacentes, favoreciendo los procesos de disolución.
 - b) Que estas fracturas controlen las importantes variaciones laterales en las propiedades geotécnicas de los materiales, tal y como muestran los datos de distribución de velocidad de propagación de las ondas de cizalla V_s obtenidos en los ensayos Down-hole, cross-hole, sónicos y MASW.
 - c) Existe la posibilidad de que no se hayan detectado fracturas que pudieran haber sido activas en el periodo neotectónico (9 Ma - actualidad).
2. La ausencia de datos micro y meso-estructurales para caracterizar las deformaciones que afectan a las unidades del Mioceno Superior y posteriores, tal y como se indicó en la PIA [REDACTED] (hasta alcanzar los afloramientos de la 4ª Unidad neógena), para caracterizar la evolución de los estados de paleoesfuerzos recientes para ser comparados con los datos de esfuerzos in situ en los sondeos, y con los datos provenientes de mecanismos focales de

terremotos. Estos estudios venían incluidos en el Plan de Caracterización propuesto por Enresa [REDACTED] y no se ha aportado información nueva.

La relevancia de esta ausencia de información tectónica/estructural es que resulta necesario asumir unas condiciones de esfuerzos activos obtenidos exclusivamente con datos de mecanismos focales de terremotos. Aunque esto es asumible para trabajos regionales, es imprescindible conocer cómo es el estado de esfuerzos cerca de la superficie para una correcta caracterización sismotectónica.

Esta ausencia de información sobre el estado tensional, tiene importancia en dos aspectos:

- a) El estado tensional de las fracturas N-S por debajo del emplazamiento, puede tener influencia en la permeabilidad de dichas fracturas.
 - b) Conocer el estado tensional cerca de superficie y en el entorno del emplazamiento es un dato clave para determinar si estas fracturas pueden ser activas en la actualidad.
3. El desconocimiento de la estructura en Profundidad. Es importante el desconocimiento de estructura y geometría del techo del basamento por debajo del emplazamiento y en un entorno próximo (especialmente al sur del mismo). Este aspecto es fundamental para definir la presencia de fallas "capaces" a la hora de estimar la peligrosidad sísmica en el emplazamiento. Como se indica en el apartado de Sismología, el análisis determinista de la peligrosidad sísmica sólo tiene en cuenta estructuras presentes en el catálogo QAFI y el Mapa Neotectónico del IGME. Enresa no utiliza información previa que complementa estos datos (Proyecto Prior), ni publicaciones donde se proponen cartografías del techo del basamento, incluyendo las fracturas que lo afectan. Algunas de estas fracturas de basamento pueden ser activas bajo el campo de esfuerzos actual, y por tanto deben considerarse como fallas capaces.

Conceptualmente se considera relevante asumir que solo hay fallas activas si éstas tienen expresión en superficie. El análisis sismotectónico de las series sísmicas de la zona demuestra que las fallas que han generado los mayores terremotos registrados instrumentalmente fueron producidas por estructuras desconocidas, sin expresión superficial, y que afectan al basamento. Existe la posibilidad de que estructuras de tamaño kilométrico bien orientadas en el entorno del emplazamiento pudieran reactivarse y generar un terremoto de tamaño moderado incluso debajo del emplazamiento, y al norte del mismo está demostrada la presencia de numerosas estructuras de basamento de longitudes superiores a los 10 km, y bien orientadas para ser reactivadas como fallas de desgarre y/o oblicuas bajo el campo de esfuerzos actual. Por ello, y como se recomendó en la PIA, Enresa en el análisis de la Peligrosidad Sísmica ha asumido un cálculo determinista que incluye la ocurrencia de terremotos de magnitud moderada ($M_w = 6.0$) en una zona próxima al emplazamiento (11,4 km) y superficiales (2 km).

En lo que respecta a las principales conclusiones sobre las condiciones del emplazamiento, relacionadas con las bases de diseño de la instalación, extraídas de los estudios de geología, se pueden realizar las siguientes valoraciones:

- *Ausencia de tectónica reciente, no solo en el emplazamiento sino, también, en su entorno inmediato (la falla activa catalogada más próxima es la falla de Albalate o de Escopete, que está a más de 60 km al NO del emplazamiento).*

No se comparte esta afirmación en su totalidad. Es correcto afirmar que la falla de Albalate es la más próxima que aparece como falla activa en el catálogo QAF1. Sin embargo en el Mapa Neotectónico del IGN (utilizado en el análisis determinista de peligrosidad sísmica), se han descrito fallas con actividad neotectónica (Post-Mioceno superior) en superficie. Como también se indica en el apartado de sismología, a unos 10-12 km del emplazamiento Enresa describe fallas y pliegues afectando al Mioceno superior, si bien se explican como "no tectónicos".

No se puede afirmar que no hay fallas activas en el entorno inmediato, ya que existe sismicidad asociada a fallas de basamento "sin expresión superficial", que son las responsables de la sismicidad, y la principal fuente de peligrosidad sísmica tal y como se dice en los propios informes de caracterización sismotectónica.

Estas características geológicas, unidas a la casi total ausencia de información sobre la estructura del techo del basamento en el entorno del emplazamiento, impide asegurar que no existen fallas activas sin expresión superficial por debajo del mismo, que puedan ser activadas por un régimen de esfuerzos con S_{max} orientado NO-SE y régimen de desgarre próximo a extensión uniaxial (ej. terremotos de Pedro Muñoz o el de Ossa de Montiel, ambos de magnitud próxima a 5 y a distancias epicentrales inferiores a 90 km).

- *No existen manifestaciones volcánicas próximas que puedan incidir en la idoneidad del emplazamiento (Campo de Calatrava, de edad cuaternaria, a unos 120 km al SO).*

Se está de acuerdo con esta afirmación.

- *El emplazamiento se ubica sobre litologías terciarias, prácticamente sub-horizontales, con un cierto contraste litológico en la vertical pero con muy escasas (y controladas) variaciones laterales, a nivel de unidades lito-estratigráficas.*

Se está de acuerdo con esta afirmación, en lo que se refiere a las principales unidades definidas, pero dentro de las mismas, y sobre todo en LBS, hay grandes variaciones laterales, visibles incluso a nivel de zanja.

- *Ausencia de discontinuidades verticales, atribuibles a fracturas, en o inmediatamente bajo el emplazamiento, estando las más próximas en los bordes NO y E, pero a importante profundidad bajo el emplazamiento (a más de 50 y 100 m, respectivamente).*

En lo que respecta a la presencia de fracturas, no se está de acuerdo con la afirmación, pues recientemente se ha identificado una zona de fractura a 45 m de

profundidad y 5 m de espesor en la zona del emplazamiento, interpretada a partir de los módulos elásticos y una disminución del índice RQD, así como identificable en los festigos del sondeo. Por otra parte, Enresa no ha realizado sondeos inclinados, así como pozos o catas más profundas como para poder descartar la presencia de discontinuidades entre la superficie y los primeros 50-100 m.

- *Solo son esperables riesgos derivados de algunos desprendimientos de bloques, posibles y pequeños deslizamientos, y esporádicos y muy localizados encharcamientos, y todos ellos muy poco probables y nunca en la zona del emplazamiento.*

Se está de acuerdo con esta afirmación en lo relativo a los desprendimientos y a los encharcamientos en la zona del emplazamiento. Sin embargo, no se pueden considerar esporádicos ni muy poco probables en el entorno cercano del mismo, donde los encharcamientos y posterior lavado son responsables de procesos de disolución.

- *Solamente hay riesgos de inundaciones inherentes a procesos de inundación-sedimentación en la llanura del Záncara (grado de atención notable) y en algunas vaguadas afluentes a la misma (grado de atención medio) pero no en la zona donde se prevé la instalación nuclear.*

Se está de acuerdo con esta afirmación

5. MINERALOGÍA, PETROLOGÍA Y GEOQUÍMICA

5.1. Documentación evaluada y objetivos

Respecto a mineralogía, petrología y geoquímica, se cuenta con los estudios siguientes:

- Reconocimiento de las fases minerales principales del subsuelo en el emplazamiento del ATC en Villar de Cañas (Cuenca). [REDACTED] El objetivo de este estudio es *“caracterizar la mineralogía, petrografía y geoquímica de las rocas del sustrato del área donde está prevista la instalación del Almacén Temporal Centralizado (ATC) de Villar de Cañas, y aplicar sus resultados al resto de estudios relacionados con las características geológicas del emplazamiento. Este estudio se complementa con informes previos realizados por Enresa con anterioridad”*
- Síntesis geoquímica y mineralógica del sustrato geológico del ATC; análisis de testigos de los sondeos SG y SVC del entorno de Villar de Cañas (Cuenca). ANEXO III. [REDACTED] En este informe se recogen las características geoquímicas y mineralógicas de un total de 45 testigos obtenidos en los sondeos SVC y SG situados en la Zona de las Balanzas.
- ATC: termo-hidro-mecánica y geoquímica del sustrato. Síntesis de resultados. [REDACTED] El objetivo principal del trabajo es el estudio de los aspectos relacionados con el comportamiento termo-hidro-mecánico y geoquímico del sustrato geológico del ATC y de los parámetros que condicionan y permiten establecer la repuesta de los mismos al impacto térmico y mecánico de la instalación. Para ello se están realizando una serie de actividades de las que en este informe se documentan las siguientes:
 - Caracterización de los materiales del subsuelo en condiciones representativas: humedad, densidad del sólido, límites de plasticidad, peso específico y distribución granulométrica.
 - Análisis de la capacidad de hinchamiento y la presión de hinchamiento.
 - Caracterización térmica de las capas superficiales: determinación de los parámetros que influyen en el transporte de calor y por tanto en la temperatura del sustrato, que a su vez condiciona el transporte y migración de fluidos y solutos (conductividad térmica).

Posteriormente, se ha contado con los siguientes estudios e informes:

- ATC: Caracterización básica y termo-hidro-mecánica del sustrato. Informe de progreso 10/1/13 A 30/11/14. [REDACTED] (Este documento es un avance posterior al aportado con carta del 27/Junio/2014, nº. reg. 10289, y título: “ATC: Termo-hidro-mecánica y Geoquímica del sustrato. Síntesis de resultados. Informe de progreso 10/1/13 a 30/4/14”. [REDACTED])

- Modelo Geológico Interpretativo del conjunto de la cuenca [REDACTED]. Los objetivos particulares del "Modelo Geológico Interpretativo del conjunto de la cuenca" son la elaboración del mismo con los datos estructurales más relevantes y la evolución geológico estructural de esta estructura
- Síntesis Litoestratigráfica y sedimentológica. [REDACTED] El objetivo de este estudio es establecer la correlación estratigráfica de los sondeos, elaborar un modelo tridimensional y hacer un estudio de las facies presentes y su evolución espacial mediante un estudio sedimentológico de detalle, elaborando un modelo sintético genético.
- Informe resumen de integración para la caracterización del emplazamiento del ATC de Villar de Cañas (Cuenca). ENRESA, 30/Dic/2014. [REDACTED]
- Estudio de caracterización del emplazamiento del ATC en Villar de Cañas (Cuenca) y de la zona de influencia de la instalación. Mayo-2015. [REDACTED]

En la caracterización termohidromecánica, el objetivo principal del trabajo es el estudio de los aspectos relacionados con el comportamiento termo-hidro-mecánico y geoquímico del sustrato geológico del ATC y de los parámetros que condicionan y permiten establecer la repuesta de los mismos al impacto térmico y mecánico de la instalación. Además se caracterizan una serie de "litotipos" en la unidad LBS.

En los aspectos puramente mineralógicos y geoquímicos, los objetivos son caracterizar la mineralogía, petrografía y geoquímica de las rocas del sustrato del área donde está prevista la instalación del Almacén Temporal Centralizado (ATC) de Villar de Cañas, y aplicar sus resultados al resto de estudios relacionados con las características geológicas del emplazamiento.

5.2. Evaluación

5.2.1. Fases minerales y síntesis geoquímica y mineralógica

Los resultados obtenidos de los análisis mineralógicos y petrográficos de las muestras tomadas en los sondeos (SVC y SG), y realizados por Enresa en diferentes laboratorios: [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] Síntesis Geoquímica, Mineralógica y Petrográfica, Junio 2014 [REDACTED] y Diciembre 2014 [REDACTED] resultan muy diferentes entre sí, existiendo notables diferencias en los resultados analíticos, tal y como se muestra en el informe [REDACTED].

Enresa no justifica estas diferencias analíticas, aun mostrando los resultados en una tabla comparativa de datos. Así, por ejemplo, se puede comprobar la disparidad de datos en una misma muestra (ver diversos ejemplos en la Tabla A3-1).

Por ejemplo, se pueden comparar en la tabla siguiente (extraída de la referencia indicada) los porcentajes de yeso en la muestra de SVC-4 de 10.97 a 11.08 m (entre 21 y 75 %) o de filosilicatos en la muestra de SVC-3 (entre 3 y 38 % según el informe)

Tabla A3- 1. Comparativa de los análisis petrográfico por microscopio óptico y mineralógico por DRX realizados por [REDACTED], reinterpretación de los mismos difractogramas con la metodología [REDACTED] (análisis semicuantitativo, % en masa)

Muestras / Unidad	Sulfatos			Carbonatos					Terrigenos		FT
	Yeso	Anh	Cel	Dol	Mag	Cc	Sid	Qz	Ed-K	Pg	
SVC3 m. 68.34-68.46 / YB1											
Yeso rojo											
Estudio Petrográfico [REDACTED]	56			37				7	< 1		
Estudio DRX [REDACTED]	75			19				3			3
Estudio DRX [REDACTED]	58		1	20				4			12
SVC3 m. 84.14-84.27 / UI											
Lutita marrón claro algo yesifera con venas de yeso											
Estudio Petrográfico [REDACTED]	35			62				2			
Estudio DRX [REDACTED]	32			46				19			3
Estudio DRX [REDACTED]	18		2	34				9			39
SVC4 m. 10.97-11.03 / 155mic-mod											
Lutita yesifera (15-35% yeso)											
Estudio Petrográfico [REDACTED]	43			55				2			
Estudio DRX [REDACTED]	79			19				4			11
Estudio DRX [REDACTED]	21			18				5			58
SVC4 m. 41.82-41.94 / YB3											
Yeso masivo especular con matriz											
Estudio Petrográfico [REDACTED]	63			1							16
Estudio DRX [REDACTED]	88			10							2
Estudio DRX [REDACTED]	66			5				12			28
SVC6 m. 7.20-7.32 / 163mic											
Lutita yesifera (15-35% yeso)											
Estudio Petrográfico [REDACTED]	31			65				3			
Estudio DRX [REDACTED]	64			20				7			9
Estudio DRX [REDACTED]	33			14				6			46
SVC6 m. 26.59-26.69 / YB3											
Marga dolomítica gris (lutita yesifera)											
Estudio Petrográfico [REDACTED]	35										62
Estudio DRX [REDACTED]	77							12			11
Estudio DRX [REDACTED]	13			2				3			81

Igualmente, la clasificación litológica de las muestras de la unidad LBS representadas en la Tabla 1 del informe [REDACTED] no se corresponde con la descripción y clasificación obtenidas en los estudios petrográficos sobre láminas delgadas, ni con la caracterización mineral a partir del estudio de difracción de rayos-X. Así, las muestras LD-1403, LD-1405, LD-1409, LD-1410, LD-1411, LD-1418, LD-1419 y LD-1421, que han sido clasificadas como lutitas con cristales de yeso (Tabla 1), son clasificadas por [REDACTED] como lutitas-dolomías? (análisis de las láminas delgadas) y como yesos dolomíticos.

Debido a la importancia tanto de los análisis petrográficos (estudio de láminas delgadas con microscopio óptico, [REDACTED]) como de la caracterización mineralógica y geoquímica del sustrato geológico del futuro emplazamiento del ATC [REDACTED] habría sido de gran utilidad haber coordinado estas disciplinas para conseguir mejores resultados. Los resultados presentados por Enresa en ambos informes, al no estar justificados, crean una gran incertidumbre.

Los estudios de Difracción de Rayos X y geoquímica realizados por [REDACTED] son más precisos y detallados que los previos realizados por [REDACTED] pero carecen de información petrográfica (análisis de láminas delgadas con Microscopía Óptica). En estos informes [REDACTED] únicamente se han estudiado las muestras bajo el Microscopio Electrónico de Barrido, pero no se ha realizado un estudio previo de análisis de láminas delgadas al Microscopio Óptico. En cambio [REDACTED] aporta un estudio petrográfico que se tenía que haber

contrastado con los estudios mineralógicos realizados [REDACTED]. Enresa no ha contrastado estas diferencias, sobre todo en la unidad LBS.

Por todo ello, se constatan las siguientes deficiencias:

- Enresa no ha elaborado un estudio diagenético en detalle y su integración en una secuencia diagenética en la que se relacionen los diferentes procesos y productos diagenéticos en todas las rocas muestreadas, principalmente en las de las unidades LBS y YB. Únicamente se presenta un capítulo dedicado al estudio diagenético [REDACTED] que es insuficiente y poco preciso.
- En la Petición de Información Adicional [REDACTED] se indicó la necesidad de realizar este estudio diagenético por su utilidad para poder localizar los procesos de disolución de evaporitas (karstificación), reemplazamientos minerales (anhidritización-yesificación), cementación, etc., tanto en profundidad como en superficie. Parte de los procesos diagenéticos que operan en estas unidades (LBS y YB) pueden ser responsables de problemas de estabilidad que se pueden dar en el área del emplazamiento.
- En los análisis de caracterización realizados por [REDACTED] la selección de los puntos de muestreo puede ser correcta para los ensayos geotécnicos y mineralógicos (DRX), pero no es del todo correcta para análisis petrográficos. Esto es debido a que la metodología de muestreo se realiza de manera sistemática a unas medidas de longitud fijas sobre el sondeo, quedando la elección al margen de otros criterios petrológicos, mineralógicos y geoquímicos más adecuados para los análisis petrológicos (caracterización mineral y diagenética).
- En relación a la unidad LBS, es necesario que se lleve a cabo un estudio más detallado petrográfico y diagenético dada la gran complejidad de facies litológicas. Enresa no hace una descripción ordenada y detallada de las principales litofacies (gypsicretas encontradas a 5 m de profundidad, lutitas con nódulos de yeso, margas dolomíticas yesíferas, etc.). Los trabajos realizados han conducido a la obtención de un gran volumen de datos pero, no obstante, éstos no han sido integrados por tipos de facies, como habría sido de utilidad.
- Enresa ha presentado un estudio sedimentológico [REDACTED] que, aunque aceptable, podría mejorar sustancialmente la caracterización del emplazamiento si se integrase con los datos mineralógicos [REDACTED] en los tipos de facies propuestos por [REDACTED] y enmarcarlos en el modelo sedimentológico. De esta manera se facilitaría la localización espacial de niveles de mineralogía inestables relacionados con potenciales problemas constructivos (esmectitas, yesos, anhidrita, etc.).

5.2.2. Caracterización THM y geoquímica del sustrato

En primer lugar, los datos de caracterización textural presentados por [REDACTED] no se consideran apropiados dado que se han empleado técnicas analíticas utilizadas

para la caracterización textural de suelos (que sería un material detrítico no consolidado) en muestras que corresponden a rocas sedimentarias químicas (yesos, carbonatos, etc.) y depósitos evaporíticos híbridos (margas yesíferas, lutitas yesíferas, etc.). Estos resultados llevan a confusión.

Se considera un error el realizar granulometrías (técnica analítica para caracterizar y clasificar suelos, clasificación ASTM), debido a que el sustrato geológico corresponde a rocas sedimentarias químicas (yesos, carbonatos, etc.) y depósitos evaporíticos híbridos (margas yesíferas, lutitas yesíferas, etc.). Además, la metodología utilizada es impropia para la realización de las granulometrías. Así, los diferentes porcentajes en fracción arena, limo y arcilla se han obtenido por tamizado de una muestra previamente molida (rocas químicas o detríticas), por lo que los resultados son artificiales, no corresponden a valores reales, no son representativos de la textura de la roca y no son por tanto utilizables. Debe tenerse en cuenta que en todas las muestras el yeso (que es un mineral de precipitación química) está presente en más de un 30% y se encuentra como cristales, y no como clastos. Por ello, la clasificación ASTM, normalmente utilizada en suelos, no es válida para este tipo de rocas.

Enresa debía haber prescindido de estos resultados pues, lejos de aportar algún dato útil, únicamente provoca mayor confusión a los resultados.

Por otra parte la propuesta de litotipos realizada por no se considera resolutive desde el punto de vista mineralógico debido a que los tres tipos (LBSlut, LBSmic y LBSmac) son prácticamente iguales (lutitas yesíferas dolomíticas), con diferencias porcentuales muy reducidas (ver tabla siguiente, extraída de la mencionada referencia).

Tabla 2.3-7: Mineralogía media (%) de las muestras analizadas para la Unidad LBS y los litotipos (LBSlut, LBSmic, LBSmac y LBSgypcreta).

	Cuarzo	Feldespato	Yeso	Anhidrita	Calcita	Dolomita	Magnesita	Filosilicatos totales
LBS Total	4,6	0,4	39,3	0,0	0,0	17,0	0,0	38,4
LBS Gypc	0,3	0,0	81,0	0,0	0,0	10,7	0,0	7,7
LBS lut	5,5	0,6	29,2	0,0	0,0	17,6	0,0	46,4
LBS mac	5,0	0,5	35,3	0,0	0,0	20,3	0,0	36,2
LBS mic	3,9	0,0	45,7	0,0	0,0	13,9	0,0	36,2

Esta misma tabla es revisada en el informe resumen de Caracterización del Emplazamiento, en la que se aumenta el porcentaje de yeso y se disminuye el de filosilicatos en los tres litotipos de LBS. Igualmente, el porcentaje de yeso en YB3 es revisado a la baja de un informe a otro, pasando del 73 % al 63%.

TABLA 2.4-10- MINERALOGÍA MEDIA (%) DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS PARA LA UNIDAD LBS Y LOS LITOTIPOS (LBSLUT, LBSMIC, LBSMAC Y LBSGYPCRETA).

	Cuarzo	Feldespato	Yeso	Anhidrita	Calcita	Dolomita	Magnesita	Filosilicatos totales
LBS Total	5,32	0,22	39,11	0,0	0,0	18,21	0,0	32,23
LBS Gypc	0,30	0,02	81,00	0,0	0,0	10,70	0,0	7,7
LBS lut	6,19	0,28	33,91	0,0	0,0	19,25	0,0	37,41
LBS mac	6,35	0,30	35,70	0,0	0,0	19,61	0,0	30,68
LBS mic	2,31	0,00	53,53	0,0	0,0	14,35	0,0	29,53

Los litotipos serían representativos si las diferencias porcentuales en yeso y/o arcilla fueran significativas así como si se especificasen los porcentajes de los distintos minerales de la arcilla (esmectitas, paligorskitas, etc.), por cuanto no se llega a identificar si las esmectitas, en relación con los fenómenos de hinchamiento, se encuentran con más frecuencia en un litotipo u otro, como habría sido de utilidad.

Enresa considera los litotipos como tipos litológicos, pero esto no es del todo correcto, pues se han construido con datos mineralógicos (DRX) y geoquímicos, pero no ha tenido en cuenta rasgos petrológicos, como texturas y composición (componentes de la fábrica en la roca: cristales o clastos), básicos para una caracterización litológica. Únicamente el tamaño y tipología de los cristales de yeso (textura cristalina) parece variar entre los tipos caracterizados. Las diferencias reales en litotipos se encuentran en los tipos de facies, en las que la caracterización de componentes minerales, la textura de las rocas, el modo de aparición del yeso (cristales y/o clastos y sus relaciones espaciales en la fábrica de la roca), así como el porcentaje en minerales de la arcilla y su caracterización (esmectitas, paligorskitas, illita, etc.) pueden aportar mucha más información.

Por el contrario, los litotipos presentados por Enresa no precisan los porcentajes de los distintos minerales de la arcilla y sus tipologías, así como la localización en los tipos de facies. De hecho, Enresa indica [REDACTED] que "las características de depósito de los tres litotipos (...) responden a microambientes muy locales de muy difícil, si no imposible, correlación".

Enresa no ha integrado los datos mineralógicos (DRX) y los geoquímicos en el estudio de facies sedimentarias y, por el contrario, trabaja de manera aislada los datos mineralógicos y geoquímicos para caracterizar unos litotipos que no aportan ningún valor añadido a la caracterización mineralógica, en vez de integrar la información mineral y geoquímica en los tipos de facies y en un estudio diagenético detallado. Esta información ya está recogida en los tipos de facies y es mucho más completa (litología, texturas, estructuras, composición mineral, procesos diagenéticos, etc.). Por lo tanto habría sido muy útil haber puesto en común los resultados de los análisis mineralógicos y geoquímicos con el análisis de las facies sedimentarias llevados a cabo por [REDACTED], realizando un estudio diagenético detallado, que habría aportado mucho más valor al estudio.

Por tanto, se considera que Enresa ha realizado una caracterización de litotipos que no aporta información relevante al estudio en lugar de tratar directamente con los tipos de facies sedimentológicas, que engloban mucha más información.

5.2.3. Estudio diagenético

En cuanto al estudio diagenético presentado por Enresa en el Informe Resumen de Integración [REDACTED] como ya se ha indicado es escaso y no aborda un análisis detallado de los procesos y productos diagenéticos, soportado con datos petrológicos concretos de muestras. Debe mencionarse que este estudio no aparece en informes previos, sino sólo en los mencionados Informes de Resumen.

En su contestación a la PIA [REDACTED] Enresa indicó que se llevaría a cabo un análisis diagenético en las diferentes unidades litoestratigráficas "para poder controlar los posibles procesos de disolución de sales así como transformaciones de los minerales de la arcilla en las unidades litoestratigráficas". Posteriormente, en el Informe Resumen [REDACTED] señala, en el capítulo de objetivos (pag. 157), que se profundizará en "el estudio diagenético de las unidades estratigráficas", e incluye un capítulo 2.5 (Historia diagenética), en el que se recoge muy poca información petrológica. Este capítulo no recoge un estudio diagenético completo que esté soportado por análisis petrográficos de láminas delgadas de las facies sedimentológicas más características. Enresa no ha realizado una secuencia temporal de todos los procesos y productos diagenéticos más relevantes relacionados en el espacio y tiempo.

En los informes elaborados no se abordan los procesos diagenéticos de interés como la génesis de la anhidrita y otros tipos de sales, procesos de dedolomitización, procesos de disolución, etc. que proporcionan información sobre el tipo de porosidad existente o la neoformación de minerales que han tenido lugar en el pasado y actualmente, y permiten inferir los procesos futuros.

El texto se considera poco elaborado y se utilizan términos poco adecuados (por ej: "descomposición" de la dolomita en calcita, en vez de dedolomitización). Aspectos potencialmente importantes como la formación de anhidrita y otros tipos de sales, así como procesos de disolución no se llegan a justificar dentro del estudio diagenético.

En lo que respecta a los procesos de disolución de minerales tras la exhumación, Enresa indica [REDACTED] que "disolución de minerales, especialmente sales muy solubles, inferida (no medida) a partir de la química de las aguas subterráneas, enriquecidas en ciertos iones. No se observan, sin embargo ni en afloramiento, ni en los trabajos de exploración, oquedades por disolución destacables". A este respecto, se echa en falta una valoración de las masas disueltas (como se indica también en el apartado hidroquímico) y una relación con la importante zona permeable situada al este del cerro nuclear que se atribuye a procesos de disolución. Igualmente, hay procesos de disolución que afectan al nivel de gypsicreta en LBS a 5 m de profundidad pueden justificar el proceso de karstificación que en la actualidad se ha observado en esta unidad (zanja), y que puede llegar a ser un potencial problema constructivo.

En el informe de caracterización [REDACTED] al respecto de los procesos de disolución, Enresa añade: "No es un proceso que se haya identificado en los materiales estudiados (baja permeabilidad, escasa fracturación, etc.), aunque por el contenido de solutos en las aguas subterráneas si se puede inferir una disolución de aquellas fases más solubles (cloruros y sulfatos de sodio, sulfatos de calcio, etc.) en los niveles más superficiales (pocos metros)."

En este contexto, es chocante e induce a una clara confusión la afirmación, incluida en el apartado de Consideraciones para las bases de diseño [REDACTED] y referida a la unidad de Yesos de Balanzas: "Las litologías yesíferas (Unidad YB) no presentan sales solubles, salvo algunos indicios de sulfato y cloruro sódicos".

Igualmente, se afirma que *"En los yesos del subsuelo del emplazamiento, la disolución es prácticamente inexistente, habiéndose localizado tan solo algunas cavidades de tamaño decimétrico cerca de la superficie, según lo cual no son esperables posibilidades de colapsos"*. Enresa no ha facilitado una tabla con el inventario y características de las cavidades, pero tiene que poner los medios necesarios para evitar que aguas diluidas, de cualquier origen, accedan a las mismas durante la construcción y operación del emplazamiento, para evitar su desarrollo.

5.3. Conclusiones

Respecto al reconocimiento de fases minerales, la información aportada por Enresa es en muchos casos contradictoria, y en otros insuficiente e incompleta. Como resultado no se presenta una identificación clara de las mineralogías y litologías presentes en la zona.

Enresa no ha realizado una correcta clasificación de las muestras, cuya composición varía notablemente según la técnica petrográfica utilizada. En el mismo sentido, realiza distribuciones granulométricas en materiales no detríticos (rocas químicas) cuya justificación y objeto final no son presentados.

La caracterización petrográfica (análisis de láminas delgadas bajo el microscopio petrográfico) es escasa y en ella no se aborda un análisis diagenético preciso, lo que se traduce en un salto importante entre las descripciones de las facies sedimentológicas y la caracterización mineral y geoquímica. El estudio diagenético es fundamental para poder caracterizar los procesos de disolución de evaporitas (karstificación), reemplazamientos minerales (anhidritización-yesificación), cementación, etc., tanto en profundidad como en superficie en toda el área del emplazamiento del ATC. Los minerales evaporíticos (principalmente yeso) están presentes en todas las litologías de las diferentes unidades litoestratigráficas, especialmente en las unidades superiores (LBS y YB). Estos minerales presentan un alto potencial diagenético y son susceptibles de sufrir procesos de disolución en contacto con aguas meteóricas. En cuanto a la presencia de anhidrita no se establece un modelo genético que justifique su formación, siendo importante controlar posibles reemplazamientos minerales sufridos por el yeso. Parte de los procesos diagenéticos (disolución, reemplazamiento mineral, deshidratación, etc.), que operan en estas unidades (LBS y YB) pueden ocasionar problemas en el área del emplazamiento del ATC. Las fases minoritarias y traza han sido insuficientemente caracterizadas pese a ser de gran relevancia al ser las inductoras finales de los procesos de movilización de masa, como se pone de relevancia en los estudios hidroquímicos.

La caracterización de litotipos en la unidad LBS presentada no es resolutive y no sirve para discriminar tipos de facies con posibles problemas constructivos, ya que no reflejan su composición mineral (tipos de minerales de la arcilla) y representatividad (% en el total de la roca) en cada tipo de facies. Por ello, de forma conservadora tiene que considerarse la distribución de materiales más desfavorable posible, al menos en lo que respecta a contenidos de filosilicatos (particularmente esmectitas), yesos y anhidrita.

Por último, Enresa indica la existencia de cavidades por disolución "escasas y de tamaño decimétrico cerca de la superficie" cuya evolución debe ser controlada, evitando el acceso de agua diluida a las mismas.

En lo que respecta a las principales conclusiones sobre las condiciones del emplazamiento, relacionadas con las bases de diseño de la instalación, extraídas de los estudios de petrología y geoquímica, se pueden realizar las siguientes valoraciones:

- *La lutitas sobre las que se apoya la instalación nuclear (LBS) presentan importantes concentraciones de yeso, aunque siempre dentro de la estructura interna de la roca sedimentaria, sin aparecer nunca como niveles de yesos masivos intercalados.*

Esta afirmación no se considera correcta. Aunque algunos de los litotipos definidos en LBS presentan, de media, contenidos en yeso superiores al 50 %, la infiltración del agua de lluvia

Pero, además, en la unidad LBS aparece un nivel de gypsicreta (yeso masivo edáfico) de nivel métrico, que habría que tener en cuenta como posible problema constructivo, por su posible disolución telogenética (por exposición directa a aguas dulces). Además, la unidad LBS presenta una gran complejidad de facies litológicas (lutitas con nódulos de yeso, margas dolomíticas yesíferas, gypsicretas, etc.), y existen importantes lagunas en cuanto al control lateral de las facies sedimentológicas

- *Las litologías yesíferas (Unidad YB) no presentan sales solubles, salvo algunos indicios de sulfato y cloruro, sódicos, a bastante profundidad (en la subunidad YB1)*

No se está de acuerdo con esta afirmación, por cuanto el yeso es en sí mismo una sal soluble con un potencial de disolución muy elevado.

Por otro lado, la disolución de otras mineralogías minoritarias (cloruros y sulfatos de sodio, magnesio o calcio), cuyos porcentajes no han sido valorados, así como la precipitación inducida de otros, supone variaciones de masa y volumen en el sistema, con potenciales efectos sobre las características geotécnicas que no han sido suficientemente caracterizados y cuantificados por Enresa.

- *Las litologías yesíferas tampoco presentan anhidrita (mineral potencialmente hinchable), bajo la zona nuclear. Fuera de ésta, sólo aparece al Oeste del emplazamiento y siempre a profundidades superiores a los 55 metros, y en la subunidad YB1.*

Se está de acuerdo parcialmente con esta afirmación, por cuanto se ha identificado anhidrita en los sondeos y profundidades indicados, pero la escasez de sondeos profundos en la zona del emplazamiento ausencia de un muestreo sistemático no permiten descartar de forma tajante la presencia de anhidrita.

- *La Unidad de yesos (YB) está afectada por muy débiles procesos de disolución de escasa penetración vertical en superficie, que origina depresiones endorreicas casi*

imperceptibles, localizadas preferentemente en los afloramientos de la unidad yesífera, al E de la zona nuclear del emplazamiento.

- *En los yesos del subsuelo del emplazamiento, la disolución es prácticamente inexistente, habiéndose localizado tan solo algunas cavidades de tamaño decimétrico cerca de la superficie, según lo cual no son esperables posibilidades de colapsos.*

Respecto a las afirmaciones anteriores, no se puede estar de acuerdo. La zona presenta diferentes rasgos de disolución kárstica activa. Los estudios hidroquímicos realizados han justificado la composición actual de las aguas subterráneas como resultado del proceso de disolución de sales en el recorrido del agua subterránea, y los estudios hidrogeológicos han descrito zonas de muy alta permeabilidad asociadas a los procesos de disolución en la unidad YB.

En lo referente a la zona del emplazamiento, además de los yesos presentes dentro de los distintos litotipos de la unidad LBS (y particularmente el mencionado Gypsicreta), los yesos de la unidad YB presentan fracturación, como se ha identificado en los sondeos SVC-6 a 14,7 m de profundidad y SG-61b a 45 m, y en esta zona puede haber circulación preferente de agua. La presencia de cavidades decimétricas implica necesariamente disolución y precipitación por la circulación del agua. Se puede estar de acuerdo en que no es esperable que existan colapsos, pero si es muy probable la existencia de fenómenos de hundimiento progresivo mediante flexión por disolución.

6. GEOTECNIA

6.1. Documentación evaluada y objetivos

De manera complementaria a la información deducida de las visitas realizadas al emplazamiento, así como de las diferentes reuniones mantenidas con los técnicos de ENRESA, desde el punto de vista estricto de la Geotecnia, se han utilizado los siguientes documentos:

- "Información geotécnica. Fase II de la caracterización del emplazamiento del ATC. Villar de Cañas (Cuenca)", elaborada por [REDACTED] en junio de 2014. [REDACTED]
- "Estudio geotécnico. Emplazamiento del ATC. Villar de Cañas (Cuenca)", elaborado por [REDACTED] en Abril de 2013 [REDACTED] Consta de 10 figuras y, dos apéndices:
 - "Análisis geomorfológico del paraje de Las Balanzas". [REDACTED] [REDACTED] Noviembre 2012 [REDACTED]
 - "Investigación de campo y ensayos de laboratorio", elaborado por [REDACTED] [REDACTED]

Adicionalmente, se ha dispuesto de la siguiente información:

- Investigación de las características del terreno para el diseño de detalle y futura construcción del ATC de Villar de Cañas (Cuenca) (Rev. 2, 29/12/2014) Informe Geotécnico [REDACTED] Dic/2014. [REDACTED]
- Estudio de la expansividad de la unidad LBS. Informe [REDACTED] Rev. 0, Dic/2014. [REDACTED]
- ATC: Caracterización básica y termo-hidro-mecánica del sustrato. informe de progreso 10/1/13 A 30/11/14. Informe [REDACTED] Rev. 0, Dic/2014 [REDACTED] Este documento es un avance posterior al aportado con carta del 27/Junio/2014 [REDACTED], de título: "ATC: Termo-hidro-mecánica y Geoquímica del sustrato. Síntesis de resultados. Informe de progreso 10/1/13 a 30/4/14".
- Informe resumen de integración para la caracterización del emplazamiento del ATC de Villar de Cañas (Cuenca). [REDACTED]
- Estudio de caracterización del emplazamiento del ATC en Villar de Cañas (Cuenca) y de la zona de influencia de la instalación. [REDACTED]

Las exigencias geotécnicas para una correcta cimentación se deben contemplar desde una triple perspectiva:

- Resistencia, es decir que el terreno disponga de una capacidad portante suficiente para que las sollicitaciones de trabajo que las estructuras imponen al terreno se encuentren alejadas de la rotura del mismo.
- Deformabilidad, es decir, que los movimientos absolutos y/o diferenciales sean admisibles. Estos movimientos, que inevitablemente se producen como consecuencia del proceso constructivo y de la instalación de los edificios correspondientes, deben no obstante conocerse y deben estar acotados, con la mayor precisión razonablemente posible, para garantizar el correcto servicio de las instalaciones.
- Estabilidad del terreno, entendida en esta ocasión, muy en particular, desde el punto de vista de los movimientos que se pueden producir en el terreno como consecuencia de un doble mecanismo problemático, a saber:
 - Expansividad, es decir cambios de volumen como consecuencia de los cambios de humedad.
 - Disolución y/o arrastre, consecuencia de los procesos de la acción del agua en los materiales que constituyen el subsuelo.

La importancia de los aspectos geotécnicos en la idoneidad de un emplazamiento es puesta de manifiesto en la guía regulatoria USNRC RG 1.132, "Site Investigations for Foundations of Nuclear Power Plants", Rev. 2, Oct/2003, que indica que la presencia de aspectos como la subsidencia o el hinchamiento que pueden generar desplazamientos permanentes del terreno pueden hacer más complicado el diseño de la instalación y requieren extensas investigaciones adicionales (...). Aunque la instalación del ATC no es una central nuclear, Enresa ha incluido los requisitos de esta norma en el Plan de Caracterización del Emplazamiento.

En los siguientes apartados se analizan cada uno de los aspectos más relevantes de manera independiente.

6.2. Evaluación

6.2.1. Resistencia

Los aspectos relacionados con la resistencia, en sus distintas modalidades, de las diferentes unidades geotécnicas que constituyen el terreno de cimentación se encuentran razonable y suficientemente estudiados. Los resultados obtenidos muestran en general una resistencia de los materiales suficiente como para poder garantizar, también de manera razonable, la ausencia de problemas vinculados con este aspecto.

6.2.2. Deformabilidad

De la misma manera que en el aspecto anterior, los aspectos relacionados con la deformabilidad del terreno se encuentran razonable y suficientemente estudiados. Obviamente, se pueden hacer nuevos ensayos y se pueden aplicar nuevas técnicas de investigación (con equipo presiométrico autopercutor) de esta propiedad en el terreno,

pero la información disponible en este sentido se considera suficiente para efectuar un diseño adecuadamente ajustado y preciso.

6.2.3. Impermeabilidad

La baja permeabilidad saturada de las diferentes formaciones arcillosas presentes en el terreno se ha constatado con los ensayos realizados por Enresa. La única excepción está vinculada con la presencia de materiales constituidos por yesos masivos, o por cristales de yeso en el interior de las lutitas (en proporciones elevadas dependiendo de los distintos litotipos), que pueden disolverse con la entrada de aguas diluidas, modificando de manera muy significativa las características geotécnicas vinculadas con la conductividad hidráulica.

6.2.4. Evaluación de los datos de expansividad

Se entiende por estabilidad volumétrica del terreno, tanto los fenómenos de expansividad debidos a los cambios (aumentos de volumen y disminución por retracción) vinculados a los cambios de humedad, o por generación de cristales en los yesos masivos, como a los procesos de disminución de material, por disolución y arrastre de partículas por el agua que se pueden presentar en los materiales naturales que constituyen la cimentación de los diferentes edificios, fundamentalmente las llamadas "Lutitas Superiores de Balanzas" (LBS en adelante).

Cabe señalar que la cuantificación de este fenómeno efectuada por Enresa ha ido evolucionando de manera significativa, hacia valores cada vez más bajos, desde los primeros documentos de 2013 [REDACTED] hasta el Informe de Caracterización del Emplazamiento [REDACTED].

Respecto de la plasticidad y su relación con la expansividad

Enresa presenta en la tabla XI del informe [REDACTED] (diciembre 2014, [REDACTED]) los rangos de valores de la plasticidad de la unidad LBS, para el límite líquido de 49 ± 11 que no se corresponden con los que se muestran en un gráfico de plasticidad que se presenta en la figura 17 del mismo informe, según el cual el Límite Líquido para esta Unidad presenta valores superiores, entre 33 y 75; aproximadamente.

Posteriormente (en mayo de 2015, [REDACTED]) Enresa revisa los rangos de valores de la plasticidad de la unidad LBS, con un límite líquido variable entre 0 – 98 con valor medio y desviación típica de 59 ± 15 y un rango de valores del Índice de Plasticidad de 0-61 con un valor medio y desviación típica de 28 ± 12 .

La consideración de este aspecto en ambas tablas es relevante porque está aceptado en general que la expansividad está vinculada con la plasticidad del material.

En este sentido, de acuerdo a criterios generales la expansividad estimada, y en particular usando el propio criterio que Enresa propone, debería calificarse como de "moderada", predominantemente "alta" [REDACTED] [REDACTED] e incluso "muy alta", dependiendo de los valores de partida que se consideren.

Respecto del hinchamiento libre

Se dispone de un relativamente abundante volumen de información en este aspecto. A modo de síntesis en la tabla adjunta se resumen los resultados estadísticos más relevantes [REDACTED]

Resultados de los ensayos de laboratorio de la unidad LBS: hinchamiento libre				
Nº	Máximo	Mínimo	Media	Desv. Estándar
40	5,0 %	0,0 %	0,72 %	1,12 %

Nota: En Informes previos [REDACTED] los valores máximos eran de 9,1 % y 6 %, respectivamente

Se considera que este tipo de ensayo es adecuado para conocer el porcentaje de hinchamiento esperable, bajo carga nula o muy reducida y no se considera que lo sobrestime.

Aunque las dispersiones obtenidas en los datos son muy altas ($CoV > 1$), se estima que este parámetro está adecuadamente caracterizado con los estudios y ensayos realizados

Respecto de la presión máxima de hinchamiento

Respecto a la presión máxima de hinchamiento, debe tenerse en cuenta en primer lugar que los resultados de los ensayos de laboratorio dependen del tipo de prueba efectuada, de la trayectoria de tensiones y de humedades, y por lo tanto del concepto que subyace al mismo.

[REDACTED] (Dic, 2014, [REDACTED] recoge los datos de expansividad obtenidos con 34 muestras de la Unidad Lutitas de Balanzas Superiores (LBS) y que arrojaron valores máximos de presión de hinchamiento de 4,14 MPa.

Por otra parte, se cuenta también con las determinaciones del laboratorio de geotecnia de [REDACTED] efectuadas también sobre muestras de la unidad Lutitas de Balanzas Superiores (LBS), con 10 determinaciones de la presión máxima de hinchamiento. El valor máximo obtenido es de 0,783 MPa.

Estos datos de partida, se encuentran recogidos en el informe [REDACTED] de junio de 2014 [REDACTED] de la siguiente manera:

- La primera realizada por [REDACTED] efectuada con las LSB, con:
 - 23 determinaciones de presión (máxima) de hinchamiento. El valor máximo obtenido es de 4,14 MPa.
 - 15 determinaciones de hinchamiento libre. (Estos ensayos no se encuentran totalmente estabilizados, si bien las magnitudes alcanzadas

A este respecto, se considera correcto que la aplicación de una presión vertical muy elevada produce cambios en la estructura de la muestra, pero también es cierto que el fenómeno de la expansividad de la arcilla es consecuencia de la mineralogía, que no cambia aunque la carga aplicada sea elevada. Por lo tanto los valores numéricos obtenidos bajo presiones muy elevadas, en sentido estricto, no son utilizables en cuanto tales; pero su manifestación sí debe ser tomada en cuenta como referente cualitativo de una elevada expansividad.

Por ello, la afirmación de Enresa es muy importante en la medida en que es razonable, pero su alcance "cuantitativo" no está demostrado de manera fehaciente. Enresa no ha facilitado ningún valor de la presión de preconsolidación de esta unidad. Por lo tanto las posibilidades de discernir qué muestras han sufrido modificaciones en su estructura de aquellas que no lo han sufrido, no están claras. En el documento [REDACTED] parece deducirse que la modificación de la estructura es a partir de 3 MPa. En cualquier caso se deberían utilizar al menos para calificar, o para no olvidarlos, los órdenes de magnitud que reflejan.

En definitiva, la no consideración de los resultados de los ensayos de laboratorio efectuados por [REDACTED] (con máximos superiores a 4 MPa), puede considerarse razonable, pero su eliminación total (esto es, no considerarlos de ninguna manera) no está suficientemente justificada, porque no se ha cuantificado el efecto de aplicar a las muestras una presión estática superior a los 3 MPa.

En informe previo [REDACTED] Enresa afirmó: "Se ha comprobado que la aplicación o no de esta presión inicial no tiene influencia sobre el comportamiento posterior de la muestra, lo que se explica por su elevada preconsolidación". Durante la inspección llevada a cabo en febrero de 2015 [REDACTED] indicó que dicha frase no era adecuada porque no estaba soportada por evidencias de laboratorio.

Por otra parte, la tabla 5.3 (Resultados de los ensayos de laboratorio relacionados con la expansividad. [REDACTED] Dic. 2014. [REDACTED] indica que las presiones máximas obtenidas presentan un valor medio de 29 kPa y una desviación estándar de 32 kPa. Sobre estos datos puede observarse lo siguiente:

- Hay 10 resultados de ensayos mineralógicos en los que también hay resultados de ensayos que determinan esta presión hinchamiento. Un 10% de estas muestras presenta esmectitas y otro 10% "indicios".
- Hay otros 16 resultados de ensayos mineralógicos (y en todas ellas hay entre el indicios, y el 20 % de esmectitas) pero en los que no se han determinado las presiones de hinchamiento.

Enresa no ha justificado los criterios de selección de muestras en las que realizar los ensayos para determinar la presión de hinchamiento. Por ello, se considera que es necesario disponer de más pares de datos "presión de hinchamiento / % de esmectita" para una adecuada caracterización.

Respecto a los contenidos de esmectitas, Enresa indica [REDACTED] que "Las esmectitas presentan unos porcentajes bajos en todos los casos", pero en el valor medio descrito en la tabla es del 5 % con una desviación típica del 8 % y un valor máximo del 35%. Debe recordarse que basta un pequeño porcentaje de presencia de este mineral para que sus efectos sean importantes, dado que se trata de un mineral altamente expansivo.

Asimismo, Enresa [REDACTED] afirma que los resultados de presión máxima de hinchamiento que se obtienen con posterioridad a la medición del hinchamiento libre también sobrestiman la misma.

Respecto a esta afirmación, cabe señalar dos aspectos:

- Si bien es cierto que los valores que se alcanzan pueden ser superiores, no es menos cierto que se desconoce en qué medida (cuantitativa) están magnificados los resultados obtenidos.
- Los valores medios de la presión de hinchamiento P_{post} que se obtienen de los ensayos efectuados por este procedimiento son relativamente similares, en cuanto al orden de magnitud que ofrecen, respecto de los resultados que se obtienen mediante los tres ensayos ASTM D4546-2014 (procedimiento por el que parece decantarse la nueva información presentada por Enresa).

A pesar de que Enresa [REDACTED] parece considerar este último tipo de ensayo como el más representativo, la información que proporciona para los sólo 3 ensayos realizados hasta entonces con esta técnica es una información muy limitada (en cuanto al número de ensayos), confusa y contradictoria en la medida en que:

- Enresa no adjunta los estadillos correspondientes del laboratorio que permitan confirmar la interpretación que se efectúa.
- No se justifica por qué respecto del ensayo de hinchamiento libre de la muestra 22 se ha optado por un valor de 1.0% y no 2,62 % (o la media de ambos) cuando la diferencia entre la cota en la posición del testigo de una muestra y otra es sólo de 2 cm. (Véase en este sentido la figura nº 33 del informe [REDACTED])
- Se afirma que la extrapolación al hinchamiento nulo ha sido efectuada con escala semilogarítmica. No obstante las magnitudes de los valores que se ofrecen parecen concordar con una escala normal, no semilogarítmica (fig. 33).

En el documento [REDACTED] de Diciembre de 2014 [REDACTED] se proporciona una síntesis de los resultados de los ensayos en la tabla XVII. Al respecto de la misma, Enresa afirma: "la nueva norma, ASTM D4546 (2014) propone como método de determinación de la presión de hinchamiento la realización de ensayos de saturación bajo diferentes cargas y su representación para obtener el valor de presión para deformación nula. Los valores obtenidos hasta el momento por este último procedimiento (...) están entre 180 y 542 kPa (según el procedimiento de cálculo)" (sic, página 53/71) aunque previamente había afirmado (sic, página 47/71) "Si se representan los puntos en escala semilogarítmica los valores serían 153, 382 y 253 kPa, respectivamente."

Finalmente, no parece claro que estos valores hayan sido considerados en el Estudio de la Expansividad de la Unidad LBS [REDACTED], en el que se afirma: "A la vista del conjunto de datos y con un criterio conservador, teniendo en cuenta que el número de datos disponibles es reducido, se propone un valor de la presión máxima de hinchamiento $p_H - CV$ de 500 a 600 kPa. Este valor no es muy relevante dado que sólo una pequeña proporción del terreno tendrá hinchamientos próximos a este valor, por lo que influirá poco en el comportamiento del conjunto". (sic, página 31/61).

A modo de síntesis, y como resumen de los valores presentados, la tabla siguiente recoge los diferentes valores proporcionados por Enresa, dependiendo del documento e incluso de la página consultada.

Resultados de los ensayos de laboratorio aplicando la norma ASTM D4546 (2014)			
	SG22 T4	SG28 T2	SG29 T3
[REDACTED] (página 47)	153 kPa	383 kPa	253 kPa
[REDACTED] (página 53)	180 – 542 kPa		
[REDACTED] (página 27)	248 kPa	459 kPa	
[REDACTED] (página 28)	153 kPa	379 kPa	260 kPa
[REDACTED] (página 31)	< 500 - 600 kPa		

El documento de [REDACTED] no proporciona, en sus conclusiones, ningún valor numérico preciso que represente la presión máxima de hinchamiento de la unidad LBS y sus variaciones.

Respecto a la valoración realizada en este informe, no se comparte la opinión de que no sea "muy relevante", porque sólo "una pequeña proporción del terreno tendrá hinchamiento próximos a ese valor". Al contrario, ello es significativo que la heterogeneidad del terreno es importante y que puede aparecer en cualquier punto, tanto en profundidad como en planta, y por lo tanto puede producir asientos diferenciales entre cualquier tipo de cimentación que, por simplificar, no transmita al terreno presiones superiores a estos valores.

Se considera que no hay información suficiente para afirmar categóricamente que "influirá poco en el comportamiento del conjunto". Por el contrario, es la heterogeneidad de terreno el aspecto que más influye. Téngase en cuenta, también contra y por simplificar, que si todos los edificios de todas las instalaciones y de todos los servicios se expandiesen por igual no habría comportamiento diferencial y por lo tanto no habría daños. Es esta hipótesis de homogeneidad la que no es técnicamente consistente.

En mayo de 2015, Enresa ha proporcionado datos adicionales [REDACTED] obtenidos de muestras en dos sondeos (SG-10C y SG-24), lo que incrementa el número total de ensayos. Así, el resumen de valores de ensayos de hinchamiento [REDACTED] es el siguiente:

Descripción	Tipo 1		Tipo 2		Tipo 3	
	Presión de hinchamiento post hinchamiento libre (p_H -post HL)		Presión de hinchamiento, p_H		Presión de hinchamiento a volumen constante p_H (CV)	
Norma de ensayo	UNE 103 601, similar a Método A de ASTM D4546-03		UNE 103 602		Método B la norma ASTM D4546-14	
Unidad o Litotipo	Nº	Valor (kPa)	Nº	Valor (kPa)	Nº	Valor (kPa)
SEL	9	0-185	-		-	
LBSAlt	4	0-110	9	0-150	3	0-63
LBSLut	14	20-640	6	23-132	9	29-379
LBSMac	5	50-610	5	21-320	1	171
LBSMic	1	80	4	0-70	1	247
LBS (ND)			20	0-110		
YB-A	8	0-180	8	0-30	7	2-92
YB-B y YB1	1	783			-	
LBI	1	0			-	
SUMA	43	0-783	52	0-320	21	0-379

Debe resaltarse que de las 21 determinaciones de "tipo 3", consideradas por Enresa las más representativas, 18 proceden de sólo dos sondeos (11 de SG-10c y 7 de SG-24B)

Así mismo, Enresa recoge una tabla en la que se muestra una nueva síntesis de la presión máxima de hinchamiento deducida de cualquiera de los tres procedimientos de laboratorio más en uso, para la unidad LBS.

TABLA 2.8-24- PRINCIPALES RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PRESIÓN DE HINCHAMIENTO				
	Nº	p_H -post HL (kPa)	p_H (kPa)	p_H (CV) (kPa)
		Total LBS		23
	Rango	0 a 640	0 a 320	0 a 379
	\pm	207 \pm 195 _i	52 \pm 64	115 \pm 105

Del análisis de la misma se pueden desprender las siguientes consideraciones:

- Los valores de presión de hinchamiento son sensiblemente inferiores a los presentados por Enresa en informes previos. A este respecto, Enresa no ha justificado los criterios de selección de las nuevas muestras en las que ha realizado los nuevos ensayos para determinar la presión de hinchamiento en sólo dos sondeos.
- Existen unas variaciones en los resultados muy grandes que dan lugar a coeficientes de variación del orden de (o superiores a) la unidad. Ello obliga a tener en cuenta esta particularidad en el momento de identificar los valores de cálculo en unas instalaciones como las que nos ocupan.
- La expansividad se puede considerar, sobre la base de los datos presentados, como media, e incluso baja, pero en ocasiones puede ser alta o muy alta.

En lo que respecta a la estimación del valor a considerar en el proyecto, está asociada al percentil de riesgo que no se quiera superar, aunque también depende de la función de densidad que se quiera adoptar como válida para las variaciones de este parámetro, al respecto de lo cual el estudio de expansividad [REDACTED] recomendaba la distribución log normal.

La tabla siguiente indica que para una probabilidad del no ser superada del orden del 1% harían falta 4 desviaciones estándar. Para el 5% del orden de 2-3 desviaciones estándar.

Valor	Probabilidad de ser superado (%)
Media (μ)	40 - 52
Media + Desv. Estándar ($\mu + \sigma$)	20 - 25
Media + 2 Desv. Estándar ($\mu + 2\sigma$)	6 - 10
Media + 3 Desv. Estándar ($\mu + 3\sigma$)	2,5 - 4,5
Media + 4 Desv. Estándar ($\mu + 4\sigma$)	0,3 - 1,5

Estimación de las deformaciones

Enresa [REDACTED] calcula teóricamente las deformaciones que se obtendrían al cabo de 100 años en cada muestra, pero estos fenómenos no se traducen a la realidad de la cimentación de la obra.

En el Informe Resumen de Integración de diciembre de 2014 [REDACTED] en el apartado 4.8.2, Enresa estima un levantamiento medio de un edificio (sin especificar) de 30 mm.

En mayo de 2015 [REDACTED] el cálculo se estima en unos levantamientos medios de entre 2 y 9 mm para seis edificios.

Respecto de este aspecto, tan importante desde el punto de vista práctico (y para cuya valoración "en detalle" Enresa remite al proyecto), y que condiciona el correcto funcionamiento de las diferentes instalaciones y servicios, se pueden efectuar las siguientes consideraciones:

- Para la valoración de los parámetros de partida de estos cálculos que describen la expansividad del terreno, Enresa, en base al Eurocódigo UNE EN 1997, parece decantarse por utilizar "una estimación prudente" vinculada con el valor característico y que lo identifica con el valor correspondiente a un percentil del 95%. Se considera que para el proyecto del ATC los niveles de tolerancia aceptables deben ser sensiblemente inferiores a los que se utilizan en instalaciones convencionales. Los valores a utilizar deberían tener en cuenta las muy fuertes dispersiones que se obtienen en los resultados de los ensayos de laboratorio y acotar las probabilidades que existen de que sea superados.
- El cálculo es muy simplificado, impropio de ser utilizada para unos edificios tan relevantes y tan importantes como son todos los vinculados con elementos "nucleares".

- La explicación de sus bases teóricas de cálculo se desarrolla en menos de 4 líneas (penúltimo párrafo de la página 2.8-66).
- Tal como indica el documento: *"no se tiene en cuenta que pueda haber fenómenos asociados a movimientos de masa por disolución y recristalización de sales"*, lo cual no está suficientemente justificado.
- No se valoran las probabilidades que existen de que estos valores de los levantamientos por expansividad sean superados.
- No se justifica por qué el nivel freático no pueda encontrarse en un futuro por debajo de la cota 806,4, cuando en algunas zonas se pronostica que el nivel freático pudiera alcanzar la cota 802-803 m s.n.m.
- Por lo tanto, no están suficientemente justificados los valores de 0,9 y 1,9 m del espesor de la capa activa bajo la cimentación.

Enresa no ha realizado cálculos de los levantamientos, (absolutos o diferenciales, inmediatos o a largo plazo, etcétera), esperables en la superficie del terreno (sin carga exterior) o en todas las cimentaciones por ejecutar (para diferentes cotas y diferentes cargas) de todos y cada uno de los edificios nucleares o que estén conectados con ellos, ni ha justificado que los valores calculados estén asociados a probabilidades asumibles de que no sean superados.

Además, Enresa no ha demostrado la inexistencia de anhidrita pues, aunque indica que no ha sido encontrada *"en el terreno bajo la zona nuclear"* [REDACTED] no ha sido descartada su presencia de manera taxativa. Documentos previos [REDACTED] afirman *"por otro lado también se podrán producir fenómenos de hinchamiento asociados a la presencia de anhidrita (...). Este riesgo solo afectaría a las unidades LSB y a las lutitas existentes en la unidad YB"*. La expansividad asociada a este mineral es potencialmente muy elevada y, como indica Enresa, existen experiencias españolas problemáticas, en las cuales *"la anhidrita ha sido responsable de elevadas expansiones del terreno en túneles y en otras grandes obras"*.

Valoración global de la expansividad

Respecto a la valoración global de la expansividad, [REDACTED] se afirma que: *"el conjunto de la información expuesta en este informe ha permitido concluir que la expansividad del terreno estudiado puede calificarse como "moderada". Se puede matizar y calificar la expansividad de la unidad LBSlut como moderada y ocasionalmente alta."*

En el informe de Caracterización [REDACTED] se concluye de forma similar: *"cabe esperar que la unidad LBS tenga una expansividad variable, predominantemente moderada, que puede ser alta en una, relativamente pequeña, proporción de su volumen."*

En la medida en que se trata de calificativos que acompañan un comportamiento, se pudiera estar de acuerdo en esta afirmación.

En el documento [REDACTED] se efectúa un estudio de "la distribución en el terreno (en planta y el alzado) de los diferentes litotipos", recogidos en los planos 2 y 3 del citado informe. Ahora bien, existen múltiples casos en la campaña de investigación llevada a cabo en laboratorio, en donde se ha puesto de manifiesto que con muestras que se encuentran muy próximas una de otra, unos cuantos centímetros en algunos casos, la expansividad encontrada es muy diferente entre ellas. De hecho, el propio informe [REDACTED] reconoce (página 42/51), que si "se analiza la variación de la expansividad con la profundidad, con la profundidad bajo el nivel freático y con la cota relativa sobre el contacto de la unidad LBS con la YB, no se aprecia una correlación con ninguno de los tres parámetros de profundidad".

Se está de acuerdo en esta última valoración, en la medida en que la expansividad está vinculada con la presencia de minerales de la familia de las esmectitas. Por lo tanto su presencia no se puede traducir en planos, a escala de proyecto o de obra, y puede afirmarse que tiene un carácter ubicuo. En consecuencia, los planos presentados carecen de utilidad y pueden llevar a confusión.

Por otra parte, el documento [REDACTED] [REDACTED] traslada al proyecto la evaluación de los movimientos y las eventuales consecuencias de la superación de los valores admisibles de deformabilidad.

En resumen, a pesar del notable esfuerzo de estudio llevado a cabo por Enresa, no obstante, existen todavía unos déficits importantes de conocimiento que impiden valorar con precisión la expansividad potencial que presentarán los materiales y que condicionarán las respuestas de las diferentes cimentaciones. En particular:

- Se desconocen los valores estadísticos más representativos de la expansividad de la unidad LBS y las probabilidades asociadas de ser superados.
- El marco teórico utilizado para la estimación de levantamientos en el terreno debidos a la expansividad del mismo es excesivamente simplificado para ser aplicado en unas instalaciones como las del ATC.
- No se dispone por el momento de información alguna relativa al comportamiento de estos materiales en condiciones de saturación parcial. Este marco teórico (comportamiento de los suelos parcialmente saturados) hubiera sido aconsejable ser utilizado para unos edificios de almacenamiento de residuos nucleares.
- No se conocen las tolerancias en movimientos (absolutos, diferenciales, a corto y/o a largo plazo, etcétera) de los diferentes edificios, instalaciones, conducciones, conexiones y servicios que constituyen el ATC ni su comparación, para los diferentes niveles de tolerancia asumibles, con los resultados de los levantamientos debidos a los cambios de volumen en el terreno.
- No se elimina de manera taxativa la posibilidad de encontrar anhidrita y que ésta pueda afectar al comportamiento de las instalaciones.

Capa Activa

El espesor de la capa activa es fundamental para el cálculo de movimientos debidos a la expansividad del terreno. Hay que tener en cuenta que el espesor de la capa activa no afectará sólo a la deformabilidad de los edificios sino también a la diferente deformabilidad entre las cimentaciones profundas y las semiprofundas, o las simplemente superficiales. La mayor parte de los edificios tendrán conexiones con edificios o servicios próximos y no toda la instalación irá cimentada a la misma profundidad. Son los asientos diferenciales los que provocan los daños y por lo tanto todas las conexiones entre unas y otras instalaciones deben soportar estos movimientos diferenciales. Además, el espesor de capa activa no depende solo y principalmente de la expansividad del material, sino que depende de las condiciones naturales (atmosféricas, climatológicas, hidrogeológicas, etcétera).

Enresa no ha podido precisar, ni sobre la base de datos experimentales ni en base a estudios en profundidad, los espesores de la capa activa bajo diferentes supuestos. Se han efectuado unas primeras estimaciones a este respecto basadas casi exclusivamente en el uso de un índice climático (Thorntwaite), que para una instalación como la que nos ocupa se consideran insuficientes. La cota mínima del nivel freático a largo plazo (a 802-803 m s.n.m.) no parece ser tenida en cuenta. Ello aconseja tener que contemplar como documento de referencia el Manual Técnico de la Army de los EEUU (TM 5-818-7), denominado "Foundations in Expansive Soils", ("Cimentaciones en suelos expansivos"), en su apartado 5.4c 2a del Capítulo 5º, respecto de la identificación de la profundidad de la capa activa.

6.2.5. Características geotécnicas en condiciones dinámicas

Los datos proporcionados en el Informe Resumen de Integración [REDACTED] Y EN EL Informe de Caracterización [REDACTED] han proporcionado datos adicionales en respuesta a la PIA (puntos GF.1, GF.2) [REDACTED] que permiten caracterizar los valores de módulos elásticos con mucha mayor fiabilidad.

Para la caracterización de las propiedades dinámicas del terreno, en el Informe final [REDACTED] se proporcionan los resultados obtenidos a partir de:

- 8 ensayos Down-hole
- 3 ensayos Cross-Hole
- 6 Testificaciones sónicas en sondeos
- 33 ensayos MASW de superficie dentro de la zona nuclear.

Todos estos trabajos de caracterización se han realizado siguiendo la normativa y el Plan de Caracterización, y se consideran suficientes para caracterizar las propiedades dinámicas del emplazamiento.

Valores de V_p

En lo que respecta a los valores de velocidades de propagación de las ondas compresionales V_p obtenidos son coherentes tanto por cada ensayo, como por unidades geotécnicas.

Distribución de las V_s

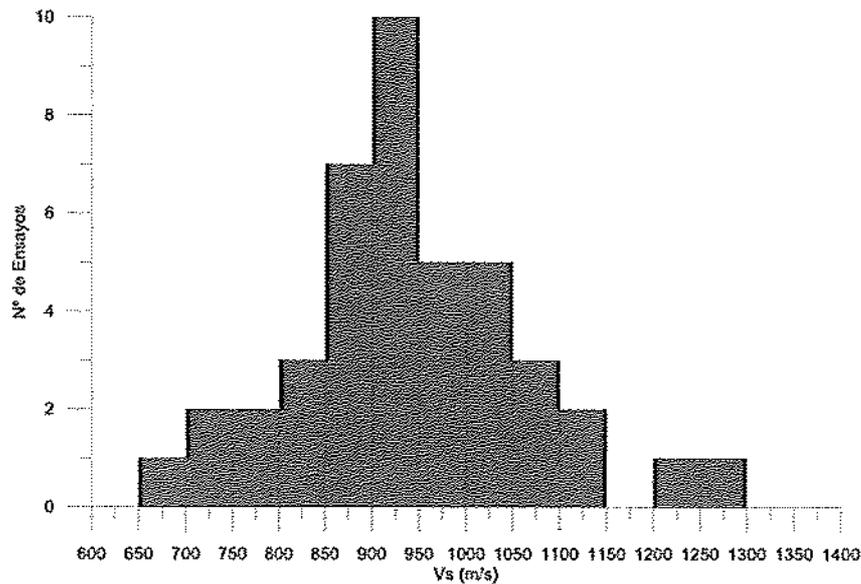
En primer lugar, debe aclararse que la norma IBC especifica claramente que esta clasificación se realiza con la Velocidad media de los primeros 30 m desde la superficie. La correlación entre estas clases y otros parámetros y/o ensayos como son SPT, o resistencia al corte está realizada con medidas desde la superficie.

Por ello, si se aplica eliminando unos metros de terreno natural en superficie (por ejemplo quitar 5 m y calcular valores) habría que medir de nuevo, pues la Vs puede variar al eliminar carga por encima).

IBC TABLE 15.1.1: Site Class Definitions				
Site class	Soil profile name	Average properties in top 30m, per section 1615.1.5		
		Soils shear wave velocity Vs (m/s)	Standard penetration resistance, N	Soil undrained shear strength, Su (psf)
A	Hard Rock	Vs>1524	Not applicable	Not applicable
B	Rock	762<Vs<1524	Not applicable	Not applicable
C	Very dense soil & soft rock	365.7<Vs<762	N>50	Su>2000
D	Stiff soil profile	182.9<Vs<365.7	15<N<50	1000<Su<2000
E	Soft soil profile	Vs<182.9	N<15	Su<1000
E	-	Any profile with more than 10 feet of soil having the following characteristic: 1. Plasticity index PI > 20 2. Moisture content w > 40% 3. Undrained shear strength < 1000		
F	-	Any profile containing soils having one or more of the following characteristics: 1. Soils vulnerable to potential failure or collapse under seismic loading such as liquefiable soils, quick and highly sensitive clays, collapsible weakly cemented soils 2. Peat's and/or highly organic clays (H > 3,048m of peat and/or highly organic clay where H= thickness of the soil) 3. Very high plasticity clays (H > 7,62m with plasticity index PI > 75) 4. Very thick soft / medium stiff clays (H > 36.576m)		

Valores de Vs30 en el entorno del emplazamiento

Valores de Vs30 en el entorno del emplazamiento (medidos desde la superficie, como dice la norma), oscilan entre 677 m/s y los 1256 m/s, lo que supone un 54 % de variación. 3 Valores de Vs se corresponden con la Clase C (< 762 m/s) y el resto es clase B (entre 762 m/s y 1524 m/s).



Distribución de Vs en cotas de apoyo de las cimentaciones

Analizando la distribución de Vs (los valores de los ensayos de Vs en planta y perfiles) frente a las diferentes cotas de apoyo de las cimentaciones, se obtiene lo siguiente:

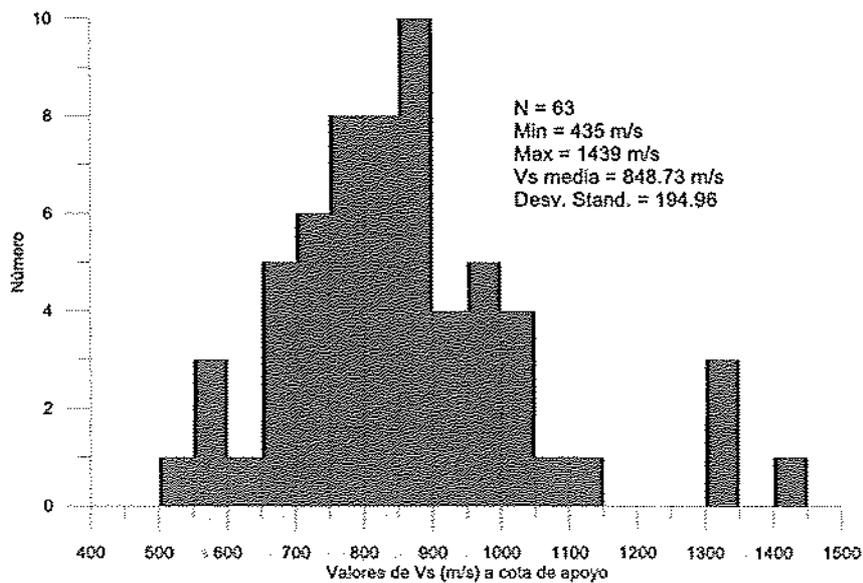
EDIFICIO	Vs cota apoyo (m/s)	Vs media cota apoyo (m/s)	Vs 30 m rango (m/s)	Vs 30 m media	Litología
ALMACÉN DE ESPERA	669 a 944	811.7	792 a 872	830.9	SEL, LBS ALT, LBS
RECEPCIÓN	698 a 725	711.5	794 a 878	836.0	LBS ALT, LBS
SERVICIOS TÉCNICOS	474 a 859	665.7	736 a 943	864.3	LBS ALT
PROCESOS	547 a 790	681.7	918 a 938	926.3	LBS ALT, LBS
BÓVEDAS F1	1031 a 1439	1235	929 a 960	944.5	LBS
BOVEDAS F2	673 a 1320	952.8	1002 a 1056	1029.0	LBS
BOVEDAS F3	784 a 1067	917.0	956 a 1076	1023.3	LBS ALT, LBS
MARE-AFU-ARE	961 a 1029	995.0	885 a 926	905.5	LBS ALT
MARE-AFO	435 a 865	650.0	677 a 982	829.5	LBS ALT
MARE-ARO	617 a 896	756.5	878 a 1102	990.0	LBS
TALLER MANT. CONTEN.	768 a 807	787.5	950.0	950.0	LBS
TRAT. RESID. RADIOACT.	845 a 878	861.5	892.0	892.0	LBS
LAB. COMBUS. GAST.	572 a 1336	793.3	812 a 1034	966.8	LBS, NGYBA
SERV. GENERALES	670 a 1115	863.0	945 a 994	969.5	LBSALT, LBS
SERV. AUXILIARES	953.0	953.0	1062.0	1062.0	LBS
OFIC. ENRESA	795.0	795.0	1146.0	1146.0	LBS ALT,

EDIFICIO	Vs cota apoyo (m/s)	Vs media cota apoyo (m/s)	Vs 30 m rango (m/s)	Vs 30 m media	Litología
ELECTRICO	813 a 845	829.0	1029.0	1029.0	LBS
CONTROL ACCESO AEC	-	-	-	-	LBS ALT
CONTROL ACCESO MARE	586 a 877	731.5	1027 a 1256	1141.5	LBS ALT.

los valores marcados en amarillo corresponden a valores inferiores a 762 m/s, es decir clase c. destacan especialmente por los valores bajos de vs en las cotas de apoyo de las cimentaciones los edificios de Recepción, Servicios técnicos, pRocesos, Mare-afo, Mare-aro, Laboratorio de combustible gastado, Servicios generales y Control de acceso mare.

Los edificios Almacén de espera y Bóvedas f2 presenta algún valor por debajo de 672 m/s, pero los valores medios lo superan.

Los edificios que presentan una fuerte variación de valores de Vs (alta heterogeneidad) son: Servicios técnicos, Procesos, Mare-afo, Mare-aro, Laboratorio de combustible gastado, Servicios Generales y Control de acceso-mare.



Como se observa en este histograma la moda está entre 850 y 900 m/s, y el valor medio de Vs a cota de apoyo es de 848 m/s. Hay 16 valores por debajo de 750 m/s.

Por tanto, la afirmación de Enresa "siendo típicamente 1.000 a 1.200 m/s a la cota de apoyo de las edificaciones" no se comparte.

Módulo elástico de deformación transversal y coeficiente de Poisson

Para el cálculo de módulos elásticos y coeficiente de Poisson se han utilizado los valores de densidad media de cada unidad geotécnica [REDACTED] y los valores medios de V_p y V_s de cada unidad.

En la Tabla 2.8-18 [REDACTED] se indican los rangos de valores para el módulo de deformación transversal (G) y el coeficiente de Poisson (ν) para cada unidad geotécnica, así como los valores de densidad natural media determinados para cada unidad a partir de ensayos de laboratorio.

Los resultados obtenidos para el módulo de deformación transversal (G) y el coeficiente de Poisson (ν) para cada unidad geotécnica parecen razonables y no hay valores reseñables. Sin embargo existen fuertes variaciones laterales de V_p y V_s en el entorno del emplazamiento que, al realizar los valores medios se suavizan, pero que deben tenerse en cuenta en el diseño de las cimentaciones. Estas fuertes variaciones laterales en los valores de V_s que hace suponer la existencia de valores de módulo de Rigidez inferiores a los obtenidos con los valores medios. Enresa no ha calculado los módulos más desfavorables y su localización en cada unidad. En la documentación aportada [REDACTED] se indica que existe una tendencia con valores más desfavorables en la zona Oeste del emplazamiento.

Existen numerosas inversiones de velocidad V_s en profundidad. La figura [REDACTED] muestra el carácter general de estas inversiones, especialmente concentradas entre los 10 y 17 m de profundidad.

Se han obtenido valores medios de los módulos de deformación transversal a bajo nivel de deformación, crecientes conforme profundizan las unidades geotécnicas entre SEL y YB-B, manteniéndose aproximadamente constantes en las unidades más profundas. Se han obtenido valores del módulo G de 1,05 GPa en la unidad SEL, 1,71 GPa en LBSalt, 2,19 GPa en LBS, 6,44 GPa en YB-A y aproximadamente 10 GPa en el resto de las unidades.

Todos estos valores se han realizado con valores medios, existiendo zonas donde los valores de V_s son más bajos, donde son esperables valores claramente inferiores.

Además, es importante reseñar la existencia de una zona de fractura de unos 5 m (entre los 45 y 50 m de profundidad) en el sondeo SG-61b, interpretada a partir de los módulos elásticos y una disminución del índice RQD (Conclusiones en [REDACTED]). Igualmente, en la columna de testificación geológica del sondeo SVC-6, situado en la zona nuclear [REDACTED] se describe la presencia de una brecha de falla, con estrías de falla a 14,7 m de profundidad, cuando en el resto de informes Enresa ha afirmado la no existencia de fracturas en la zona. Este dato, obtenido en uno de los dos sondeos más profundos con caracterización dinámica realizados, demuestra que existen zonas de fractura y/o cavidades por debajo del emplazamiento

6.3. Conclusiones

Características geotécnicas en condiciones dinámicas

En lo que respecta a las características geotécnicas en condiciones dinámicas, los datos proporcionados por Enresa permiten caracterizar el comportamiento de los materiales por debajo del emplazamiento, mediante el cálculo de los módulos dinámicos hasta la profundidad de cimentación. Desde este punto de vista, los valores obtenidos permiten diseñar una cimentación adecuada dentro de los límites de seguridad, aunque hay que mencionar la existencia de fuertes variaciones de V_s tanto en profundidad como lateralmente que hace suponer la existencia de valores de Módulo de Rigidez inferiores a los obtenidos con los valores medios.

Es de resaltar la existencia de una zona de fractura de unos 5 m (entre los 45 y 50 m de profundidad) en el sondeo SG-61b y de una brecha de falla con estrías a sólo 14,7 m de profundidad en SVC-6, que demuestra que existen zonas de fractura y/o cavidades por debajo del emplazamiento.

Resistencia y deformabilidad

En lo que respecta a la resistencia y deformabilidad del terreno, los estudios y datos presentados se consideran razonados y suficientes.

Impermeabilidad

En el emplazamiento se ha descrito la presencia de materiales constituidos por yesos masivos, o por cristales de yeso en el interior de las lutitas (en proporciones elevadas dependiendo de los distintos litotipos) que podrían disolverse con la entrada de aguas diluidas, modificando de manera muy significativa las características geotécnicas vinculadas con la conductividad hidráulica.

Expansividad

Sobre la base de los datos disponibles, si bien la expansividad del terreno no es excepcionalmente alta, como lo era con los datos inicialmente aportados por Enresa, sí es calificada como "ocasionalmente alta". Se estima que este calificativo ("alto") se corresponde con valores de la presión máxima de hinchamiento del orden de 500 a 600 kPa.

El hecho de que su presencia sea ocasional, dota al fenómeno de un carácter de heterogeneidad que, al contrario de lo que parece afirmar Enresa, lo hace más impredecible. Además, la presencia indiferenciada (en planta y en profundidad) de minerales de la familia de las esmectitas hace imposible poder localizar geográficamente su situación, desde el punto de vista práctico de la ejecución de la obra.

Enresa no ha justificado el criterio utilizado para la selección de las muestras con las que ha realizado los nuevos ensayos para determinar la presión máxima de hinchamiento. Las muestras utilizadas presentan un sesgo a la baja en su contenido de esmectitas que puede haber condicionado los resultados obtenidos.

La heterogeneidad del terreno, entendida como la posibilidad de que la expansividad de los materiales no se puede presentar de manera homogénea y que puede aparecer en cualquier punto, tanto en planta como en profundidad, obliga a considerarla como un problema geotécnico.

En el Informe Resumen de Integración de diciembre de 2014 [REDACTED] [REDACTED] Enresa estima un levantamiento medio de un edificio (sin especificar) de 30 mm. Posteriormente [REDACTED] este valor se reduce a 2-9 mm. Este valor, que se califica sin justificación suficiente como máximo, se considera muy elevado y requiere de un análisis de detalle que no se ha realizado y que Enresa remite a la fase de Proyecto.

Enresa no justifica los movimientos esperables en la superficie del terreno o en todas y cada una de las cimentaciones, (totales, diferenciales, etc.), como consecuencia de los cambios de volumen de los materiales implicados, así como las probabilidades que existen de que sean superados

Enresa no elimina taxativamente la posibilidad de presencia de anhidrita, cuya presencia podría ser muy nociva. Por el contrario, el documento [REDACTED] en su Apartado 3.4 "Expansividad" afirma "*pero por otro lado también se podrán producir fenómenos de hinchamiento asociados a la presencia de anhidrita... Este riesgo solo afectaría a las unidades LSB y a las lutitas existentes en la unidad YB*".

La expansividad está vinculada con la presencia de minerales de la familia de las esmectitas, y por lo tanto su presencia no se puede traducir en planos, a escala de proyecto o de obra, y puede afirmarse que tiene un carácter ubicuo. Por tanto, los planos presentados por Enresa no se consideran de utilidad práctica y pueden llevar a confusión.

Existen todavía unos déficits importantes de conocimiento que impiden valorar con precisión la expansividad potencial que presentarán los materiales y que condicionarán las respuestas de las diferentes cimentaciones y servicios. En particular:

- Enresa no ha podido precisar, ni sobre la base de datos experimentales ni en base a estudios en profundidad, el espesor de la capa activa. Se han efectuado unas primeras estimaciones a este respecto que para una instalación como la que nos ocupa se consideran insuficientes.
- No se conocen las tolerancias en movimientos (absolutos, diferenciales, a corto y/o a largo plazo, etcétera) de los diferentes edificios, instalaciones, conducciones, conexiones y servicios que constituyen el ATC.

Para la valoración de los parámetros que describen la expansividad del terreno, Enresa, en base al Eurocódigo UNE EN 1997, parece decantarse por utilizar una "*una estimación prudente del valor que produce la aparición del estado límite que se desea comprobar*" y que lo identifica con el valor medio. Se considera que para el proyecto del ATC los niveles de tolerancia aceptables deben ser sensiblemente inferiores a los que se utilizan en instalaciones convencionales. Por lo tanto los valores a utilizar deberían tener en cuenta las dispersiones que se obtienen en los resultados de los ensayos de laboratorio.

Por ello, el diseño de la instalación deberá tener en cuenta todas estas consideraciones.

Por último, y de manera complementaria a como se ha realizado por parte de Enresa el estudio de expansividad en los documentos presentados, se debería haber ensayado y conocido, tanto de manera experimental como teórica, el comportamiento de los materiales arcillosos de la unidad LSB como elementos semisaturados. En este sentido hubiese sido necesario, e incluso imprescindible para unas instalaciones como las que nos ocupa, conocer en laboratorio los cambios volumétricos que se producen para diferentes potenciales de succión y sus consecuencias en presiones y deformaciones.

En la PIA de septiembre de 2014 se solicitaba de manera específica: "*Efectuar ensayos de succión, por el momento y a expensas de nuevos datos, en particular para conocer:*

1. *La relación entre la humedad y el potencial de succión. Las funciones de almacenamiento de agua, es decir la relación entre el contenido de humedad volumétrico y la presión de poro.*
2. *La deformabilidad en edómetro con diferentes trayectorias de humedad.*
3. *La conductividad hidráulica con el material semisaturado".*

En lo que respecta a las principales conclusiones sobre las condiciones del emplazamiento, relacionadas con las bases de diseño de la instalación, extraídas de los estudios geotécnicos del emplazamiento, se pueden realizar las siguientes valoraciones¹²:

- *El terreno está formado por rocas blandas arcillosas y yesíferas que, en superficie están alteradas a suelos duros a muy duros*

Esta afirmación se considera parcialmente correcta. La unidad de Lutitas Superiores de Balanzas contienen, además de cantidades muy elevadas de yesos soluble (hasta el 53 % en el litotipo LBSLut y el 81 % en el nivel de Gypsicreta), cantidades de carbonatos cercanas al 20 %. No obstante, desde el punto de vista de resistencia, el terreno del emplazamiento se considera aceptable

- *El terreno es estable ante las cargas transmitidas por los edificios. Presenta una elevada resistencia al hundimiento y una baja deformabilidad antes las cargas que apliquen las cimentaciones. Los asentamientos esperables debidos a la aplicación de las cargas previstas son generalmente menores de 10 mm.*

Se está de acuerdo con esta valoración. Como se ha indicado, los resultados obtenidos muestran en general una resistencia de los materiales suficiente como para poder garantizar, también de manera razonable, la ausencia de problemas vinculados con este aspecto. Igualmente, la información disponible respecto a deformabilidad se considera suficiente para efectuar un diseño adecuadamente ajustado y preciso,

- *Las lutitas presentan una expansividad, generalmente moderada aunque puntualmente puede llegar a ser alta.*

¹² No se valoran en este estudio las conclusiones relativas a la cimentación o excavación

No se está de acuerdo con esta afirmación. Los valores de presión de hinchamiento obtenidos indican que las Lutitas Superiores de Balanzas presentan una expansividad generalmente moderada y alta que puede llegar a ser muy alta.

El denominado como valor "característico" que proporciona Enresa para la lutitas LBS de 400 kPa no está debidamente justificado. Se desconoce el valor medio y la desviación estándar (parámetros mínimos imprescindibles que es necesario conocer y precisar para un análisis de riesgos). Enresa no precisa para qué percentil está identificado el valor "característico" indicado.

- *La profundidad de la capa activa en terreno expuesto a la intemperie presenta un valor de cálculo de 4,6 m y en terreno protegido con la impermeabilización superficial prevista, será de 3,1 m.*

No se está de acuerdo con esta afirmación. Los valores indicado son están suficientemente justificados y el marco teórico utilizado para su cálculo es excesivamente simplificado. Enresa no ha proporcionado datos reales del propio emplazamiento ni de situaciones (geológicas, climáticas) similares.

- *Los levantamientos de cálculo causados por la expansividad del terreno en los edificios que se cimenten suficientemente por encima del nivel freático futuro, de forma que en condiciones climáticas muy adversas desarrollen todo el espesor de la capa activa de proyecto resultan menores de 10 mm.*

No se comparte esta afirmación. El marco teórico utilizado para estas valoraciones se considera excesivamente simple para unas instalaciones como el ATC. Enresa no ha facilitado las probabilidades que existen de que los valores proporcionados sean superados.

- *Tras las abundantes investigaciones realizadas en campo y los análisis de gabinete de la hidroquímica y la geoquímica, se ha concluido que no debe haber huecos (por disolución de yesos) significativos en el terreno, ni es de esperar que se produzcan durante la vida útil de la instalación. Para confirmar este hecho, se ha planteado una campaña de investigaciones del terreno durante la construcción (una vez realizadas las excavaciones) y unos sistemas de control de su comportamiento durante la vida útil de la instalación.*

No se comparte esta afirmación en su totalidad. En otros apartados de definición de las bases de diseño se indica la existencia de cavidades de tamaño decimétrico, aunque no se indica su número y posición. Por otra parte, los estudios de hidroquímica han puesto de manifiesto que la entrada de aguas diluidas y la presencia de determinados minerales minoritarios pueden acelerar los procesos de disolución y/o neoformación de minerales.

- *Se han determinado las propiedades dinámicas del terreno para su caracterización como posible amplificador de las ondas sísmicas y se ha concluido que el valor de V_{s30} es mayor de 760 m/s, siendo típicamente 1.000 a 1.200 m/s a la cota de apoyo de las edificaciones.*

Esta afirmación se comparte parcialmente pues, aunque se han obtenido dos valores de V_{s30} inferiores a 760 m/s, los valores obtenidos permiten diseñar una cimentación adecuada dentro de los límites de seguridad, aunque hay que mencionar la existencia de fuertes variaciones de V_s tanto en profundidad como lateralmente que hacen suponer la existencia de valores de Módulo de Rigidez inferiores a los obtenidos con los valores medios

- *Se han determinado las propiedades dinámicas del terreno para su caracterización en los estudios de interacción terreno-estructura. Se han obtenido valores medios de los módulos de deformación transversal a bajo nivel de deformación, crecientes conforme profundizan las unidades geotécnicas entre SEL y YB-B, manteniéndose aproximadamente constantes en las unidades más profundas. Se han obtenido valores del módulo G de 1,05 GPa en la unidad SEL, 1,71 GPa en LBSalt, 2,19 GPa en LBS, 6,44 GPa en YB-A y aproximadamente 10 GPa en el resto de las unidades.*

La afirmación se comparte parcialmente. Los valores aportados son valores medios, existiendo zonas donde los valores de V_s son más bajos, y donde son esperables valores claramente inferiores (sobre todo en LBS). Así, los datos realmente aportados son: SEL = $1,05 \pm 0,60$; LBSalt = $1,71 \pm 0,63$; LBS = $2,19 \pm 1,39$; $YB_A = 6,44 \pm 3,08$.

Además, es importante reseñar la existencia de una zona de fractura de unos 5 m (entre los 45 y 50 m de profundidad) en el sondeo SG-61b, interpretada a partir de los módulos elásticos y una disminución del índice RQD. Este dato, obtenido en uno de los dos sondeos más profundos con caracterización dinámica realizados, demuestra que existen zonas de fractura y/o cavidades por debajo del emplazamiento. Igualmente, en uno de los primeros sondeos efectuados en la zona nuclear (SVC-6, [REDACTED]) se describe una brecha de falla con estrías a 14,7 m de profundidad.

- *Tabla de resultados 2.9-2*

Respecto a esta tabla, además de las valoraciones previas, se considera relevante mencionar la ausencia de las desviaciones estándar junto a los valores medios de un buen número de parámetros

7. PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

7.1. Documentación evaluada y objetivos

En lo que respecta a la prospección Geofísica se cuenta con la siguiente información:

- Cuatro informes de tomografía eléctrica en 2D [REDACTED] y un informe sobre ensayos geofísicos para la estimación de velocidades de ondas en sondeos
- Informe de campaña sísmica 2D Villar de Cañas [REDACTED] revisado en Diciembre de 2014, que incluye correcciones y aporta información solicitada en la PIA [REDACTED]: Campaña Sísmica 2D Villar de Cañas. [REDACTED] Identificación y verificación de métodos geofísicos para la caracterización de discontinuidades en medios sedimentarios. [REDACTED] Diciembre 2014. [REDACTED]
- Testificación geofísica en pozo, ensayos cross-hole, down-hole, y MASW, y testificación geofísica en sondeos con televisores óptico y acústico, se ha evaluado el informe "Ensayos geofísicos para la estimación de velocidades de ondas en sondeos en el emplazamiento del ATC", [REDACTED] Mayo 2014 y el Informe resumen [REDACTED]. En este informe se recogen los resultados de:
 - Seis sondeos analizados con testificación Gamma-natural, Resistividad, Resistividad del fluido, Sónico de onda completa. SVC 6: 122 m; SVC 7: 90 m; SVC 8: 49 m; SVC 9: 88 m; SVC10: 64 m; SVC11: 47 m
 - Un ensayo Cross-hole, entre dos sondeos (SVC6 y SVC6bis, situados en la "zona nuclear") de 63 m separados 8.2 m (descrito en el informe "Realización de sondeos y estudios en pozo del emplazamiento del Almacén Temporal Centralizado (ATC) de Villar de Cañas", Marzo, 2013)
 - 3 sondeos (SVC 6; SVC 8 y SVC 9) con testificación sondas OBI 40 (optical televiewer) y ABI 40 (Acoustic Televiewer)
 - 10 ensayos MASW (análisis multicanal de ondas superficiales), en el entorno de la zona nuclear.
- Informe Resumen de Integración para la caracterización del emplazamiento del ATC de Villar de Cañas (Cuenca) [REDACTED]
- Estudio de caracterización del emplazamiento del ATC en Villar de Cañas (Cuenca) y de la zona de influencia de la instalación. Mayo-2015. [REDACTED]

El Plan de Caracterización del emplazamiento [REDACTED] planteaba como objetivos: *"Se realizarán estudios geofísicos apropiados (gravedad, magnetismo, reflexión y refracción sísmica, radar,...) con el fin de revelar la presencia o ausencia de estructuras enterradas, especialmente en aquellas zonas donde las investigaciones geológicas previas proporcionen alguna evidencia de que puedan existir materiales o estructuras que potencialmente puedan producir inestabilidad en el emplazamiento.*

La selección de estudios geofísicos se enfocará principalmente en la detección de estructuras en profundidad y de posibles estructuras producidas por disolución de yesos."

7.2. Evaluación

7.2.1. Tomografía eléctrica

En general los informes cubren los objetivos de caracterización mediante el método de ERT (tomografía eléctrica) hasta una profundidad de penetración inferior a los 100 m (con fiabilidad hasta los 50 m). Aunque se han utilizado diferentes dispositivos electródicos en los diferentes informes, incluyendo dispositivos asimétricos (dipolo-dipolo), que deben ser tomados con reservas. Los valores de resistividad obtenidos con dispositivos asimétricos presentan un sesgo en la inclinación de las anomalías de resistividad que deben compensarse disponiendo el electrodo en infinito en ambos extremos de la sección. El buzamiento de las fracturas detectadas puede estar afectado por este hecho.

La presencia de zonas conductoras de alto buzamiento que afectan a la serie neógena, que se interpretan como zonas de falla parece justificada, si bien su geometría no está bien definida. Estas zonas conductoras pueden considerarse como posibles zonas de flujo preferente en los modelos hidrogeológicos.

La interpretación de cavidades rellenas de finos de las áreas con baja resistividad es dudosa. Estas anomalías de baja resistividad también pueden deberse a variaciones laterales de facies entre yesos y arcillas y/o limos. Enresa no ha contrastado estas opciones con otras técnicas geofísicas como la microgravimetría. La interpretación como "lulitas" de litologías de más de 50 Ohm*m (incluso de más de 100 Ohm*m) de resistividad no está justificada. Esta interpretación en términos litológicos incorrecta debe corregirse con el resto de información petrológica, mineralógica y sedimentológica.

El informe no hace referencia a la influencia del nivel freático en la distribución de resistividades. La correlación de valores de resistividad con datos petrológicos e hidrogeológicos puede ayudar a constreñir la presencia del nivel freático, o de la zona activa.

Enresa no ha completado los estudios con una sección transversal al río Záncara elaborada con otra técnica geofísica independiente, y calibrada con sondeos, que permita dilucidar el espesor de los aluviales del Záncara, así como variaciones laterales y/o saltos en la secuencia (se estima que puede alcanzar los 30 m). Técnicas de tomografía sísmica y/o sísmica basada en ondas superficiales (ReMi, MASW,...) hubiesen permitido estimar la posición del contacto entre los depósitos Cuaternarios y Neógenos, y la posible presencia de saltos de falla afectando a los depósitos cuaternarios en profundidad.

Los datos de estructura se complementan con una campaña de tomografía eléctrica de mayor resolución, en la zona nuclear del emplazamiento, con un mallado de perfiles más denso (perfiles SO-NE y NO-SE cada 25 m) y con una resolución hasta los 35 m de

profundidad. El objetivo era doble: determinar la estructura geológica de forma más precisa debajo del emplazamiento y detectar posibles zonas de disolución de yesos. La interpretación de los resultados indica la ausencia de ninguna estructura apreciable.

7.2.2. Testificación geofísica

Los trabajos de caracterización geofísica en sondeo han consistido en:

- Determinación de las velocidades de ondas sísmicas P y S en el subsuelo del emplazamiento en seis sondeos (SVC-3, SVC-4, SVC-6, SG-28, SG-29 y SG-30), mediante ensayos down-hole y sónico de onda completa en todos ellos.
- Un ensayo cross-hole en el sondeo SVC-6 [REDACTED]
- En tres sondeos (SVC-6, SVC-8 y SVC-9) se realizó testificación mediante televIEWER óptico y acústico, lo que unido a medidas directas en los testigos, permitió obtener información geológico-estructural, mostrando que las distintas unidades se disponen con buzamientos de entre 10°-20° hacia N250-296°E (media 12° hacia los N260°E). En el Informe Resumen de Integración [REDACTED] se dice que se diferencian "hasta cuatro familias de juntas: Familia 1 N302°-15°E/20-43°, Familia 2 N80°-120°E/24-30°, y Familia 3 N194°-235°E/17-39°." Enresa sólo facilita datos de tres familias pero estos datos no se incluyen..

En lo que respecta a la testificación geofísica, las sondas utilizadas parecen apropiadas para el estudio geológico e hidrogeológico, con excepción de las sondas de resistividad con electrodos de contacto, y los resultados de Potencial Espontáneo (SP). Estas dos sondas no se han podido obtener por encontrarse entubados los dos sondeos. Tanto el equipo como el modo de operación parecen adecuados.

Los ensayos down-hole y cross-hole se han realizado con equipos y siguiendo la normativa de referencia, y los resultados parecen coherentes.

Como respuesta a la PIA, se han proporcionado la siguiente información adicional:

- Datos de distribución de Vs media en los 30 primeros metros (ISBC code), proyectados conjuntamente con los valores de Vs obtenidos en los tres sondeos con Down-Hole, el Cross-hole y la testificación sónica.
- Valores medios de Vs por unidades litoestratigráficas, y distribución de Vs a diferentes intervalos de profundidad (10, 20, 30 m.).

No se ha realizado como estaba previsto en el Plan de Caracterización [REDACTED] lo siguiente: "Se realizarán ensayos mecánicos y/o geofísicos que determinen la interpretación estructural de los esfuerzos tectónicos actuales en el emplazamiento. Las medidas de esfuerzos y deformabilidad de la roca en pozo servirán de apoyo a los estudios geológicos de superficie para aproximar al conocimiento del campo de esfuerzos actuales".

7.2.3. Ensayos MASW

Los ensayos MASW realizados en las campañas de geofísica específica [REDACTED] (2014) [REDACTED] y los posteriormente incluidos en el Informe de Caracterización [REDACTED] [REDACTED] son descritos en el apartado de "Características geotécnicas en condiciones dinámicas".

7.2.4. Campaña sísmica 2D

Los datos de la campaña sísmica proceden de la adquisición de 4 secciones sísmicas de reflexión multicanal en 2D de entre 2 y 3 km de longitud aproximada utilizando dos fuentes mecánicas de tipo caída de peso acelerado distintas (de 100 kg y 250 kg).

El principal problema de esta campaña es que, dadas sus características, no alcanza ni la resolución ni la penetración necesaria para completar o mejorar significativamente el resto de información geológica y/o geofísica previa. Los motivos son varios:

- Fuente de energía insuficiente. Además se de emplear dos fuentes distintas, con diferente energía, debido a las numerosas averías sufridas por la intensidad de la campaña, la caída de pesos acelerada es una fuente no demasiado indicada en estos casos. Podría haberse solucionado detonando la energía con otra fuente impulsiva, sistemas tipo vibroseis, etc.
- Escaso contraste de impedancia acústica entre las unidades neógenas, que además presentan muchas variaciones laterales y verticales entre las diferentes litologías.
- Mal acoplamiento de los geófonos en algunas parcelas labradas.
- La presencia de un tendido eléctrico que inducía una señal parásita.

Además de los problemas técnicos, las secciones obtenidas no proporcionan casi ninguna información sobre la estructura del basamento, debido a su escasa penetración (0.4 s).

En respuesta a la PIA [REDACTED] [REDACTED], el informe revisado (Dic. 2014) [REDACTED] [REDACTED] ha proporcionado información adicional en las siguientes cuestiones:

- Los valores de distribución de velocidades (pregunta GF.5). Estos valores demuestran importantes variaciones laterales en los valores de V_p (hasta el 25 %) (figs 7-6 a 7-9 de la revisión del informe campaña sísmica 2d, dic. 2014. [REDACTED] [REDACTED])
- Si se han descrito los algoritmos de tratamiento de la señal (GF.6).
- Si se han proporcionado la posición de los Shotpoints sobre la cartografía geológica, con las diferentes fuentes (GF. 7, GF.8, GF.9).

Por el contrario, la información adicional proporcionada por Enresa (Dic, 2014. [REDACTED]), no responde adecuadamente a las siguientes cuestiones planteadas en la PIA:

- Se ha proporcionado una restitución de los reflectores a profundidad en una única sección (Pregunta Línea 3, fig. 8-5 pág. 37), pero esta transformación presenta graves problemas geométricos.
- Enresa no ha proporcionado un mapa de isobatas del techo de basamento, ni se utilizan los mapas publicados en la bibliografía. No se han utilizado los valores de velocidades dinámicas de las secciones sísmicas antiguas que es la única información, junto con los sondeos, disponible para conocer la posición del basamento en el área del emplazamiento (GF.5).

A la vista de la información aportada por Enresa respecto a la sísmica de reflexión, se dispone de poca o nula información de la zona sobre:

- La posición del techo del basamento, así como de la posible presencia de estructuras que afecten al mismo en las inmediaciones del emplazamiento.
- Posibles estructuras por disolución en yesos y/o variaciones importantes en las propiedades mecánicas de los materiales.

En el primer caso por no alcanzar el basamento, y en el segundo caso por la escasa resolución y calidad. Estos aspectos podrían haberse resuelto utilizando una sísmica de mayor penetración, con fuentes más adecuadas, y en el segundo caso mediante la tomografía sísmica (superficie y pozos), que debería haberse realizado con una fuente de energía suficiente en superficie y en pozo.

Por tanto Enresa no ha logrado alcanzar estos objetivos previstos en el Plan de Caracterización [REDACTED] y se considera que no ha utilizado los escasos datos previos y/o publicados de manera suficiente. Este aspecto tiene especial importancia a la hora de definir la posición del "bedrock", y el espesor de la cobertera sedimentaria, que tiene influencia en el acoplamiento suelo-estructura.

Se echa en falta algún tipo de información adicional a la sísmica de reflexión y al resto de técnicas geofísicas (fundamentalmente tomografía eléctrica), que han tenido una escasa penetración, como la Gravimetría, que puede ayudar a definir posibles estructuras en el basamento o un análisis más completo mediante Tomografía sísmica

La interpretación geológica que se proporciona en el apartado de estructura del Área de Villar de Cañas no se justifica en absoluto con los datos de sísmica de reflexión 2D. La interpretación de los autores no tiene nada que ver con la interpretación del estudio geológico-estructural, ni con el de peligrosidad sísmica, que se apoyan en numerosos datos, ni con la numerosa bibliografía existente. La interpretación como un único proceso de deformación parece excesivamente simple, cuando en la zona se ha propuesto una evolución tectónica compleja desde el Oligoceno hasta la actualidad.

7.2.5. Tomografía Sísmica

El informe Campaña Tomografía Sísmica 3D Villar de Cañas [REDACTED], con los resultados obtenidos a partir de dos campañas de adquisición:

- la primera etapa, del 27 de noviembre al 9 de diciembre de 2013, en la que se realizaron 2 despliegues;
- la segunda etapa, del 20 de enero al 30 de enero de 2014, en la que se realizaron los 3 despliegues restantes.

El dispositivo de adquisición disponía únicamente de 240 canales activos, lo que obligó a realizar cinco despliegues (swaths) para cubrir toda el área de estudio. Cada despliegue cubrió un 1/5 del área planeada y para cada despliegue se repitieron los 676 puntos de disparo, lo que resultó en un total de 3.380 disparos.

Cabe destacar que en informes anteriores se indicaba que se había realizado Tomografía Sísmica, pero es en éste donde se muestran los primeros resultados.

El informe recoge una serie de incidencias que pueden haber influido en la calidad de los resultados finales:

- El efecto de la presencia de barro durante la adquisición se puede reflejar en la calidad del acoplamiento de la base de la fuente sobre la que impacta el peso acelerado y transmite la señal al suelo.
- La presencia de viento durante la adquisición afectó a la calidad de los datos al introducir gran cantidad de ruido. Este tipo de ruido es difícil de eliminar y afecta mucho a la precisión con la que pueden ser determinadas las primeras llegadas, especialmente para offset lejanos donde la energía sísmica ha sido atenuada.
- La presencia de lluvia o nieve pueden variar ligeramente los valores de las velocidades de propagación de las capas más someras, variando ligeramente los tiempos de llegada según las circunstancias meteorológicas.
- La pérdida de un tramo de cable de adquisición a causa de mordeduras de un animal silvestre que impidió completar el despliegue planeado teniendo que eliminar del esquema de adquisición 12 geófonos (Figura 6-1). Para minimizar los efectos de la pérdida de estos sensores la geometría se adaptó para dejar la zona sin cobertura de estos geófonos aquellas que se encontraban más alejadas de la zona de interés, la zona suroeste.
- Otro inconveniente más fue la presencia de arbustos y tallos de girasoles que dificultaron sobremanera el despliegue del "trigger" (que da el tiempo cero y pone el equipo en modo registro, y en nuestro caso es un sensor que une la fuente sísmica con la línea de receptores mediante un cable de 150 m) que hay que desplazar con cada disparo.

En el informe se describe la secuencia de procesado y la justificación del dispositivo de adquisición.

En lo que respecta a los resultados, el informe [REDACTED] incluye los modelos de velocidades independientes correspondientes a los dos primeros despliegues de los

cinco proyectados, mostrando modelos bastante consistentes en ambos casos. Además, se ha realizado la inversión conjunta de estos dos dispositivos proporcionando el primer modelo conjunto.

Debe tenerse en cuenta que el objetivo de los trabajos es, como indica el informe, la detección de cavidades u oquedades que pudieran suponer problemas de asentamiento para las instalaciones del ATC, sin indicar la búsqueda de fracturas en el entorno del emplazamiento, y que para ello se desarrolla un estudio teórico del comportamiento de cavidades en entornos de alta velocidad, asumiendo que las zonas de baja velocidad, correspondientes a huecos, deben quedar pobremente cubiertas por las trayectorias de los rayos (poco "iluminadas"), que viajarán preferentemente por las zonas de alta velocidad.

Los resultados proporcionados corresponden al procesado del 40% de la información adquirida.

Debido a la geometría para los dos primeros dispositivos (Figura 8.1) la discretización del modelo de velocidades tiene una densidad menor en la dirección N-S que en la E-O. Esta distribución irregular afecta a la resolución del modelo, las zonas más cercanas a las líneas de receptores están bien iluminadas por la cobertura de rayos. El modelo de velocidades de entrada se construyó con una malla de 10x25x5 m, siendo esa la máxima resolución del mismo.

La máxima penetración alcanzada en los modelos de velocidades obtenidos nos proporcionan es de unos 50 m.

Los resultados de los modelos obtenidos muestran un fuerte control del nivel de alteración superficial, que queda definido como una banda de baja velocidad.

Los autores realizan una correlación, indicando que los valores de los niveles lutíticos son inferiores a 2000 m/s, mientras que los niveles de yesos presentan valores superiores a 2500 m/s.

El modelo de cobertura de rayos para la inversión conjunta de los dos dispositivos realizados, los autores indican (Figura 8.6) que no se observa ningún indicio que pueda indicar la presencia de cavidades, al menos a la resolución actual del modelo (10*25*5 m). Para la detección de las cavidades, uno de los indicios sería una disminución significativa del valor de la cobertura en zonas anómalas que estuvieran localizadas dentro del nivel de la capa de yesos.

Por tanto, los resultados obtenidos parecen indicar que la adquisición en Villar de Cañas no permite detectar la presencia de cavidades. Sin embargo, los autores indican que, sin embargo, existe otro indicador indirecto, la cobertura de rayos. De este modo, si una cavidad importante en los yesos quedará detectada por el modelo de cobertura de rayos (Figuras 7-6: 1C, 2C y 3C).

Los autores indican la presencia de notables heterogeneidades de la estructura tabular hacia el O, donde aparecen relieves anómalos relativamente pronunciados, con forma alargada en dirección E-O, en el cuadrante NO de la zona investigada (Figuras 9-4 y 9-

5). Estas heterogeneidades posiblemente indiquen cambios en el grado de litificación de las lutitas, o diferencias en las proporciones de Yesos y Lutitas-Margas en el tramo de tránsito entre LBS y YB3, o incluso que estas formas alargadas sean un artefacto de geometría de adquisición ya que coinciden con la dirección de mayor resolución.

En lo que respecta a la correlación con la tomografía eléctrica 2D, Enresa ha realizado una correlación cualitativa entre las imágenes, obtenidas a partir de la campaña de tomografía eléctrica 2D de detalle, realizada en la zona nuclear del emplazamiento, los modelos de resistividad y, el modelo de velocidades sísmicas determinado por la tomografía sísmica 3D. Las zonas de alta resistividad coinciden con la localización y geometría de las anomalías de baja velocidad sísmica en los niveles superiores (LBS). La resistividad disminuye y aumenta la velocidad sísmica con la profundidad (YB). Este hecho no se explica en términos geológicos. En la capa de yesos se observan variaciones laterales de ambas propiedades físicas, atribuidas en la interpretación a cambios laterales de facies yesíferas y lutíticas.

Por último, los autores intentan correlacionar los datos de velocidades del modelo obtenido con los cortes geológicos, pero no existe una correlación evidente, y el modelo indica fundamentalmente el grado de alteración de los niveles superficiales y un aumento en profundidad de las velocidades sísmicas.

7.3. Conclusiones

A la vista de la información geofísica aportada por Enresa, se conoce razonablemente bien la estructura general cerca de la superficie y la disposición de la serie estratigráfica en el entorno del emplazamiento. Sin embargo, se dispone de información insuficiente de:

- La red de fracturación en profundidad en el entorno del emplazamiento
- La posible presencia de rellenos kársticos en profundidad y bajo el río Záncara
- La estructura en profundidad.

Esta ausencia de información se debe a dos factores:

- La utilización de un único método de investigación (ERT) con alta resolución en una serie estratigráfica con muchos cambios laterales de facies.
- La escasa resolución y penetración del estudio de sísmica de reflexión en 2-D.

Los datos de testificación y ensayos sísmicos en pozo y MASW son fundamentales para el cálculo de módulos dinámicos que se describen el apartado de Geotecnia. Estos datos muestran unos valores de velocidad de propagación de ondas de cizalla, V_s media en los 30 primeros metros inferiores a los 1000 m/s, con fuertes variaciones laterales y verticales de V_s .

La presencia de zonas de baja velocidad V_s en profundidad puede deberse a:

- a. Cambios laterales de facies.
- b. Presencia de fracturas.

c. Zonas de rellenos kársticos.

Para discriminar entre estas posibilidades es necesario el empleo de técnicas geofísicas de alta resolución como la Tomografía Sísmica, tal y como se indicó en la Petición de Información Adicional [REDACTED], pero ésta sólo se ha realizado parcialmente y con insuficiente resolución.

Enresa no ha aportado datos de los esfuerzos tectónicos actuales en el emplazamiento, y no se han realizado (o no se describen) medidas de esfuerzos y deformabilidad de la roca en pozo, que pueden servir de apoyo a los estudios geológicos de superficie para aproximar al conocimiento del campo de esfuerzos actuales. Los únicos datos son bibliográficos y proceden del análisis regional de mecanismos focales de terremotos.

Los datos geofísicos aportados por Enresa no son suficientes para establecer la posición y geometría del techo del basamento ni se ha utilizado bibliografía previa relativa a tal estructura. La ausencia de información relativa a la estructura en profundidad, tiene consecuencias en cuanto a dos aspectos fundamentales:

- Cálculo de la Peligrosidad sísmica mediante de tipo determinista. Ver apartado de Sismología.
- Se desconoce la posición del "bedrock", el espesor de la cobertera sedimentaria y los valores de velocidades de ondas sísmicas (V_p y V_s) por debajo del emplazamiento. Estos aspectos son clave a la hora de definir la atenuación/amplificación de las ondas sísmicas y tiene influencia en el estudio del acoplamiento suelo-estructura.

En lo que respecta a la campaña de Tomografía Sísmica, Enresa ha procesado el 40 % de la información adquirida. La densidad de información y la resolución del mismo es anisótropa, debido a que no se han procesado todos los dispositivos.

Aunque el objetivo planteado en el plan de caracterización era definir las fracturas y/o cavidades que pudieran suponer problemas al emplazamiento, el método empleado no permite definir directamente la presencia de cavidades, y sólo indirectamente, y con una resolución de 10x25x5 m, la posible presencia de fracturas y/o cavidades.

Los resultados del modelo no proporcionan zonas con poca cobertura de rayos mayores de las dimensiones del bloque mínimo. Sin embargo se ha detectado al menos una fractura y/o cavidad en el final del sondeo SG-61b [REDACTED] a unos 45 m de la superficie, que está en el límite de alcance de la Tomografía realizada, y muy por debajo de la resolución del mismo.

Por estos motivos el estudio de Tomografía sísmica proporcionado por Enresa no logra cumplir los objetivos fundamentales planteados en el Plan de Caracterización.

8. SISMOLOGÍA

8.1. Documentación evaluada y objetivos

Los aspectos sísmicos se han evaluado inicialmente sobre el Informe "Estudio geológico y paleosísmico en el entorno del emplazamiento del ATC en Villar de Cañas (Cuenca) de [REDACTED] 2014" [REDACTED] así como, respecto a sismicidad y peligrosidad sísmica, un informe [REDACTED] 2013) [REDACTED] que incluye los siguientes aspectos: Análisis de la sismicidad, Estudio sismotectónico, Estudio de fallamiento superficial, Estudio de peligrosidad sísmica y Conclusiones.

Posteriormente se ha contado con estudios adicionales:

- Estudio neotectónico-sismotectónico y paleosísmico de fuentes sísmológicas. Estudio específico de modelos y fuentes sísmológicas en el entorno del emplazamiento del ATC en Villar de Cañas (Cuenca). [REDACTED] Dic/2014. [REDACTED]
- Informe resumen de integración para la caracterización del emplazamiento del ATC de Villar de Cañas (Cuenca). Enresa, 30/Dic/2014. [REDACTED]
- Estudio de caracterización del emplazamiento del ATC en Villar de Cañas (Cuenca) y de la zona de influencia de la instalación. Mayo-2015. [REDACTED]

El objetivo del estudio de paleosismicidad es triple:

- Verificar, y en su caso, caracterizar la existencia de fallas próximas al emplazamiento del ATC deducidas y marcadas de informes anteriores.
- Argumentar la edad de las fallas verificadas o puestas de manifiesto, y realizar datación de las mismas.
- Ponderar y evaluar las implicaciones sismogénicas de las fallas existentes, una vez verificadas, caracterizadas y datadas

El Plan de Caracterización del Emplazamiento [REDACTED] indica que "se proporcionará la información necesaria para la evaluación de la peligrosidad sísmica del emplazamiento". Esta evaluación incluirá los aspectos siguientes:

- Revisión y evaluación de los terremotos más importantes ocurridos en la región e estudio (catálogos sísmicos) y evaluación preliminar de la aceleración según norma NCSE-02 [19].
- Descripción de la sismotectónica (zonificación sismotectónica) y, si existen, accidentes tectónicos que puedan condicionar la peligrosidad sísmica de cada emplazamiento.

- Evaluación de la aceleración sísmica de cálculo y el espectro de respuesta de diseño, según los procedimientos establecidos inicialmente por la norma USNCR RG 1.60 y más recientemente por la norma USNCR RG 1.208

8.2. Evaluación

8.2.1. Paleosismicidad

El informe está bien estructurado y presenta una metodología apropiada para un estudio paleosísmico, con el objeto de caracterizar estructuras recientes en superficie. Las conclusiones del mismo están respaldadas por las observaciones realizadas.

Los trabajos responden de manera razonable a los objetivos del Plan de Caracterización

Las estructuras que se observan y describen en las trincheras se corresponden con fallas inversas asociadas a la deformación compresiva, generadas durante la formación del cinturón de pliegues y cabalgamientos de la Sierra de Altomira. Estas estructuras de deformación compresiva se encuentran fosilizadas por los depósitos sedimentarios del Mioceno Medio y Superior. Estos datos corroboran las publicaciones previas (Muñoz Martín, 1997¹³; Cartografías Magna), y no se observan evidencias significativas de deformaciones recientes en superficie.

No obstante existe la posibilidad de que, debido a la escasa profundidad de las trincheras de observación (< 2 m), junto con las litologías aflorantes, el grado de alteración, y el hecho de que la mayor parte sean terrenos de cultivo, no se hayan podido observar todas las estructuras próximas a superficie

Además, la zona presenta para el periodo neotectónico (9 Ma – actualidad), las siguientes características sismotectónicas:

- Una baja tasa de deformación en superficie (Datos de GPS, Serpelloni et al., 2007¹⁴; Gárate et al. 2014¹⁵).
- El régimen de deformación de esta parte del centro peninsular es próximo a desgarre con una dirección de acortamiento NO-SE (De Vicente et al., 2008; Muñoz Martín et al., 2012¹⁶).

¹³ Muñoz Martín, A. (1997) Evolución geodinámica del borde oriental de la cuenca del Tajo desde el Oligoceno hasta la actualidad. Tesis Doctoral, Univ. Complutense 480 pp.

¹⁴ Serpelloni, E., Vannucci, G., Pondrelli, S., Argnaní, A., Casula, G., Anzidei, M., Baldi, P., Gasperini, P., 2007. Kinematics of the Western Africa–Eurasia plate boundary from focal mechanisms and GPS data. *Geophys. J. Int.* 169, 1180–1200.

¹⁵ J. Garate, J. Martín-Davila, G. Khazaradze, A. Echeverría, E. Asensio, A. J. Gil, M. C. de Lacy, J. A. Armenteros, A. M. Ruiz, J. Gallastegui, F. Alvarez-Lobato, C. Ayala, G. Rodríguez-Caderot, J. Galindo-Zaldivar, A. Rimi, M. Harnafi (2014). Topo-Iberia project: CGPS crustal velocity field in the Iberian Peninsula and Morocco. *GPS Solut.* DOI 10.1007/s10291-014-0387-3.

¹⁶ Muñoz Martín, Alfonso y De Vicente Muñoz, Gerardo y Olaiz Campos, Antonio José y Antón López, Loreto y Vegas, Ramón y Granja Bruña, José Luis (2012). Mapa de esfuerzos activos en línea de la Península Ibérica a partir de Mecanismos Focales calculados desde el Tensor de Momento Sísmico (2012). *Geotemas*, 13: 1-4. ISSN 1576-5172

- Las litologías neógenas aflorantes en los alrededores del ATC presentan una baja competencia y un comportamiento a la deformación dúctil.
- Los terremotos instrumentales en el centro peninsular tienen focos con profundidades mayores de 2-3 km, lo que implica que las fallas activas se sitúan en el basamento, y no se generan en la cobertera mesozoico-neógena.
- La poca competencia de la cobertera puede absorber, mediante deformación dúctil los posibles desplazamientos generados en las estructuras frágiles que afectan al basamento. Este hecho es más acusado debido a que si las fallas son de desgarre presentan escaso salto vertical.

Por estos motivos los resultados del análisis paleosísmico no proporcionan, debido a las especiales características geológicas y tectónicas de área descritas, información relevante sobre el periodo neotectónico en el área del emplazamiento.

8.2.2. Sismicidad y peligrosidad sísmica

La documentación sísmica consultada es exhaustiva, y la elección del catálogo del IGN como base para el estudio, completada con publicaciones y trabajos específicos, parece lógico y está justificado.

La información aportada por Enresa en respuesta a la PIA (Estudio neotectónico y paleosísmico de fuentes sismológicas, Dic. 2014, [REDACTED]), ha proporcionado información adicional a los estudios previos, especialmente en el "Análisis sismotectónico de series sísmicas". Sin embargo otros aspectos abordados en este informe, como son la "Evaluación de estructuras que podrían caracterizarse capaces", y el "Análisis morfotectónico de las zonas epicentrales de las series", si bien han aportado información nueva, no logran responder completamente a los objetivos planteados.

El análisis general de las fuentes sismogénicas establece, exclusivamente a partir de datos bibliográficos, la orientación y régimen de esfuerzos regional (desgarre, S_{\max} NO-SE), enumera unas tasas de deformación modelizadas con valores en torno a $10\text{--}17\text{s}^{-1}$ por Jiménez-Munt et al., (2003)¹⁷ y establece un espesor de corteza sismogénica máximo de 20 km.

Aunque estos datos parecen en la bibliografía y se han utilizado en otros estudios similares, se dispone de poca información de la zona relativa a:

- Estados de esfuerzos actuales y recientes en el entorno del emplazamiento y cerca de la superficie.

¹⁷ I. Jiménez-Munt, R. Sabadini, A. Gardi and G. Bianco. Active deformation in the Mediterranean from Gibraltar to Anatolia inferred from numerical modeling and geodetic and seismological data. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* (1978–2012). Volume 108, Issue B1, pages ETG 2-1–ETG 2-24, January 2003. DOI: 10.1029/2001JB001544

- Datos de rangos de deformación más actualizados que los utilizados. Trabajos más recientes (ej. Gárate et al., 2014¹⁸) permiten calcular tasas de deformación diferentes en zonas relativamente próximas al emplazamiento. Enresa no ha proporcionado datos nuevos, por lo que la no utilización de estos datos publicados más recientes puede afectar a la estimación de la tasa de deformación (hasta en un orden de magnitud).

Dentro de la descripción general de las fuentes sismogénicas:

- La asunción de un espesor sismogénico de 20 km parece razonable, en ausencia de datos sísmicos profundos en el entorno del emplazamiento. El reciente terremoto de Ossa de Montiel (M= 5.2) cuyo foco se sitúa a 17 km, indican que ese espesor de Schizosfera es mínimo.
- Enresa indica que *“la existencia de fallas activas de decenas de km de longitud y al menos 10 km en profundidad (es decir con potenciales sismogénicos >6.0) y con recurrencia sismogénica en el tiempo es poco probable que no hayan generado deformaciones visibles en la cobertera”*. Esta afirmación es sólo una posibilidad, ya que hay muchas variables geológicas que no se conocen.
- En el informe se presenta otra posibilidad, que es, al menos, tan probable: *“La existencia de fallas activas que afectan solo al basamento, que no corten la cobertera mesozoica-terciaria, y que no presenten evidencias de actividad en superficie. Este tipo de fallas solo pueden ser analizadas con métodos geofísicos y con sismicidad instrumental”*. Enresa no aporta información geofísica nueva sobre la estructura del basamento, y no se han utilizado datos bibliográficos previos con información relevante sobre estructuras que afectan al basamento en el entorno del emplazamiento.

Aunque Enresa ha revisado muchas fuentes bibliográficas, finalmente sólo se han utilizado el Mapa Neotectónico de España y la base de datos QAFI. Se indica que no se utilizan otras fuentes como los Mapas de Fallas de primer y segundo Orden del proyecto Prior (Enresa-CSN)¹⁹ porque *“procede de un análisis morfotectónico visual de un modelo digital del terreno con una resolución visual”*. Esta afirmación no es cierta, ya que en ese proyecto se integraron datos morfológicos, geológicos y geofísicos. El propio mapa final separa los diferentes tipos de información en la leyenda. A pesar de no usar la información morfológica previa, se realiza un nuevo análisis morfotectónico de las zonas epicentrales de las series sísmicas de Pedro Muñoz y el Romeral, donde las conclusiones son que *“no se pueden atribuir a ninguna fallas concretas, ya que no presentan evidencias en superficie”*.

¹⁸ J. Garate, J. Martín-Davila, G. Khazaradze, A. Echeverría, E. Asensio, A. J. Gil, M. C. de Lacy, J. A. Armenteros, A. M. Ruiz, J. Gallastegui, F. Alvarez-Lobato, C. Ayala, G. Rodríguez-Caderot, J. Galindo-Zaldívar, A. Rimi, M. Hamafi (2014). Topo-Iberia project: CGPS crustal velocity field in the Iberian Peninsula and Morocco. GPS Solut. DOI 10.1007/s10291-014-0387-3.

¹⁹ Proyecto Prior. Determinación de fallas de Primer Orden mediante el análisis integrado de datos geológicos (1998). Colección Otros Documentos I+D 15, 2006. Consejo de Seguridad Nuclear: 318 pp.

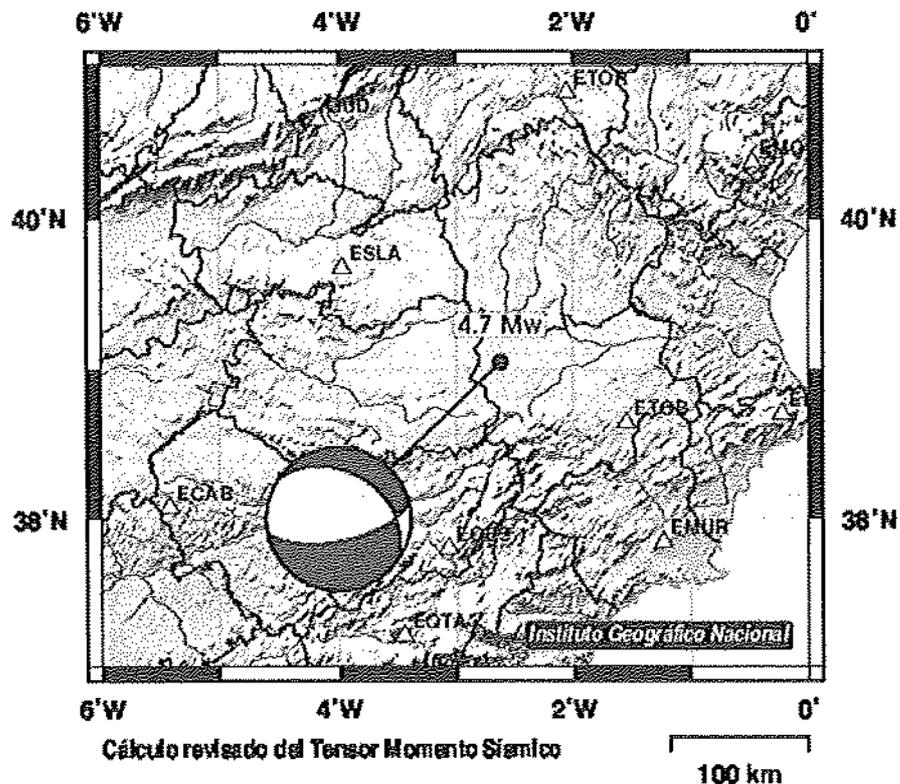
La no utilización del Proyecto Prior, o de otros trabajos previos que establecen estructuras frágiles que afectan al basamento, puede tener consecuencias en la minusvaloración de estructuras potencialmente sismogénicas. Esto puede llevar a un análisis determinista del espectro de aceleración infraestimado, especialmente en lo relativo a las altas frecuencias y la directividad.

En el Informe de Caracterización [REDACTED] se han completado algunas referencias que faltaban sobre mecanismos focales, estado de esfuerzos regional, datos de GPS y la asignación de algunos enjambres sísmicos al frente de la Sierra de Altomira, aunque se mantienen el estudio de las series sísmicas analizadas, no incluyéndose el terremoto reciente de Ossa de Montiel (Albacete).

Evaluación de Estructuras que podrían considerarse capaces:

Asumiendo los criterios 10CFR100(USA) y SSG-09 (IAEA), y tal y como se cita en el propio informe de diciembre de 2014, no es descartable que se pueda producir en la zona un terremoto de magnitud M_w 5.5 sin romper la Schizosfera en cualquier falla bien orientada respecto al campo de esfuerzos, o bien la creación de una nueva falla en el caso de que no existan estructuras previas bien orientadas.

El reciente terremoto de Ossa de Montiel ($m_bLg = 5.2$; $M_w = 4.7$) del 23/02/2015 y su serie de réplicas, en una zona sin evidencias de rupturas superficiales, corrobora la poca información sobre estructuras potencialmente activas en el basamento en el centro peninsular.



La información aportada por ENRESA analiza algunas estructuras singulares (3): 1) F fallas NO-SE del anticlinal de Zafrá de Záncara, 2) sistema de fallas E-O que desplaza la traza del anticlinal, y 3) Fallas de Cigüela y Horcajo.

Lamentablemente para las dos primeras (fallas NO-SE del anticlinal de Zafrá de Záncara, y el sistema de fallas E-O que desplaza la traza del anticlinal), no existen información adicional que permita constreñir la presencia de fallas en el basamento, tal y como se ha comprobado en sectores septentrionales de la Cuenca de Loranca y Sierra de Aitomira: Las zonas de transferencia en la cobertera (como es el caso del límite entre los sectores septentrional y meridional del anticlinal de Zafrá de Záncara) se desarrollan sobre fallas oblicuas y/o transversales en el basamento, que además controlan el espesor de las series triásicas pre-Keuper.

La tercera estructura (Cigüela y Horcajo) NE-SO, se descarta porque no hay evidencias de actividad cuaternaria. Se debería haber añadido "en superficie". La no existencia de evidencias de deformación cuaternaria en superficie no elimina la posibilidad de que tales estructuras en el basamento, bien orientadas para su reactivación como fallas en dirección bajo un régimen de esfuerzos de desgarre NO-SE, sean consideradas como fallas capaces. En este sentido deberían haberse tenido en cuenta las fallas de basamento cartografiadas a partir de información geofísica (Muñoz Martín y de Vicente, 1998²⁰).

En el cap. 4 (pág 15) de la Specific Safety Guide SSG-9, se especifica: 4.3. *The seismogenic structures identified may not explain all the observed earthquake activity. This is because seismogenic structures may exist without recognized surface or subsurface manifestations, and because of the timescales involved; for example, fault displacements may have long recurrence intervals with respect to seismological observation periods.*

En el Plan de Caracterización [REDACTED] se indica: "Se describirán todas aquellas "fallas capaces" significativas alrededor del emplazamiento, para su consideración como fuente sísmica independiente". En esta misma página se indica que "para la determinación de la aceleración del terreno se realizará un conjunto de métodos deterministas, incluyendo aquellos estudios requeridos para proporcionar la información sísmológica, geofísica y geológica básica regional y de detalle del emplazamiento". A continuación se afirma que "este análisis se determinará para cada falla capaz o activa".

Un punto crítico es que en el estudio solamente se utilizan como fallas capaces las que aparecen en QUAFI, y en el Mapa Neotectónico de España a escala 1:1.000.000, pero no se han considerado otras fuentes de información disponibles, complementarias con las anteriores, como son el Proyecto Prior (Enresa-CSN), o publicaciones relativas a la estructura del techo del basamento en las proximidades del ATC (ej. Muñoz Martín, 1997, Muñoz Martín y De Vicente, 1998).

²⁰ Muñoz Martín, A. y De Vicente, G. (1998). Origen y relación entre las deformaciones y esfuerzos alpinos en la zona centro-oriental de la Península Ibérica. Revista de la Sociedad Geológica de España, 11 (1-2): 57-70

La no consideración de estas fuentes de información puede tener consecuencias, especialmente a la hora de identificar y caracterizar fallas potencialmente capaces, y, por lo tanto estimar la peligrosidad sísmica desde el punto de vista determinista minusvalorando la presencia de fallas capaces cerca del emplazamiento.

Enresa no aporta información de esfuerzos recientes, ni datos meso-estructurales sobre la deformación y/o cinemática de las deformaciones que afectan al Mioceno superior, salvo una breve descripción (pliegues N140° a 160°E, fallas OSO-ENE y en menor medida NNO-SSE). En los anexos de los informes no se recogen ni se cita si se han adquirido datos estructurales, ni si se han aplicado métodos de análisis estructural frágil.

Por otra parte, la asignación de la serie sísmica de Pedro Muñoz a la falla del Alto Guadiana, no está justificada. Efectivamente existe un importante escalón morfotectónico y una estructura ESE, claramente de tipo extensional, que puede haber sido parcialmente invertida. No hay datos geofísicos suficientes para asegurar este hecho, pero en cualquier caso esta falla no es compatible con el terremoto (situado al NO) y cuyo mecanismo focal presenta con planos nodales de desgarre oblicuos a la falla del Alto Guadiana. Ambos datos sugieren la presencia de una o varias estructuras de tipo desgarre con una orientación NE-SO.

En el más reciente informe de Caracterización (Mayo, 2015, [REDACTED]) se distinguen las evidencias de desplazamientos de fallas cerca de superficie, de las fallas de basamento sin expresión superficial, y recoge y sintetiza los datos obtenidos en los estudios realizados.

El análisis utiliza los datos bibliográficos más recientes en el entorno, y establece que:

- El techo del basamento se encuentra entre los 2.5 y los 3.5 km de profundidad.
- La reactivación sísmica de los cabalgamientos implicaría movimientos en fallas que generalmente no profundizan mucho (entorno a los 2-3 km), por lo que no están sometidas a cargas de esfuerzos importantes, y por tanto no cabría esperar grandes terremotos asociados a ellas.
- los terremotos de mayor magnitud que se pueda dar en el futuro probablemente se asocien a las fallas de zócalo más que a las fallas superficiales.

Enresa ha considerado 4 tipos de estructuras en el entorno del emplazamiento (8 km), incluyendo Fallas normales y desgarre E-O a NO-SE relacionadas con la extensión intramesozoica que afectan al basamento. Sin embargo la consideración de estas estructuras se limita a los siguientes párrafos:

“Aparte de las fallas de basamento relacionadas con las estructuras anticlinales N-S a NO-SE, en los perfiles de sísmica de reflexión que cruzan la zona de estudio no se ha reconocido la existencia fallas E-O de basamento, que probablemente funcionaron durante la deformación alpina como fallas de transferencia en otras zonas de la cuenca de Loranca; excepto una pequeña falla, en la línea sísmica C-26-PT1, que aparece como una flexión o pequeñas roturas (salto acumulado entorno a los 150 m) y se ha interpretado con falla directa con dirección SO-NE y labio hundido al NO”.

“En cuanto a la falla de basamento E-O relacionada con la lineación del arroyo del Villar, interpretada por Muñoz-Martín (1997), no se ha interpretado como tal en este estudio, ya que además de presentar expresión superficial e interpretada como falla que afecta a la cobertura mesozoica, no se han observado evidencias de deformación en el basamento (perfiles FF, C-16 y C-10)”.

Las razones que argumenta Enresa para no considerar esta falla de basamento no tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- La línea sísmica FF se localiza justo en el límite de la prolongación de la falla
- La línea sísmica C-16 está fuera de la traza de la falla propuesta.
- En la Línea Sísmica C-10 se interpreta la geometría del basamento directamente de la sección en tiempos, sin tener en cuenta el efecto de “pull-up” que sufren los reflectores al aumentar las velocidades sísmicas en los anticlinorios. Si se utilizan las variaciones de velocidades, y se comprueba con gravimetría, tal y como describe el autor citado, se deduce un salto en el basamento que se corresponde con la zona de transferencia en la cobertera situada por encima.

El hecho de que haya una zona de transferencia desarrollada en la cobertera no impide, sino que sugiere, la presencia de una discontinuidad en el basamento, como está demostrado en el norte de la Cuenca de Loranca.

Una de las conclusiones del estudio del fallamiento y su relación con la peligrosidad sísmica incluida en el informe es:

“En resumen la correlación entre la sismicidad y el fallamiento en la comarca de la instalación no está bien establecida. En muchos casos, no se ha podido encontrar sismicidad asociada a las fallas que se han identificado, por criterios geológicos, como capaces, ni se han identificado fallas a las que asociar los terremotos registrados”.

En este Informe de Caracterización [REDACTED], Enresa no ha aportado información nueva que sea suficiente para conocer y caracterizar las estructuras de basamento en el entorno del emplazamiento. Para la caracterización de la estructura profunda Enresa se ha limitado a mostrar interpretaciones, en algún caso discutibles, sobre datos antiguos, de baja calidad, e insuficientes para caracterizar la estructura del basamento en el entorno del emplazamiento.

Análisis sismotectónico de las series sísmicas

Se han detectado 53 series sísmicas registradas en las últimas décadas hasta 100 km del emplazamiento, de las cuales se han analizado dos. La elección de estas dos series se deben a que existe mecanismo focal calculado mediante Tensor de Momento Sísmico, porque incluyen un terremoto de $M_w > 4$ y porque presentan un clúster de más de 10 km. La metodología de análisis parece razonable, si bien llama la atención que sólo se hayan representado las series sobre el mapa con las trazas de fallas de la base de datos QAFI y del Mapa Neotectónico de España, y no sobre los mapas de fallas de basamento publicados.

La elección de estas series está justificada, pero existen otras series próximas al emplazamiento que parecen tener relación con estructuras de basamento cartografiadas que no se han analizado, y que, al menos alguna de ellas (la situada sobre la falla de Bólliga, Fig. 1) parece tener una clara relación espacial con la falla, incluyendo la nube de réplicas.

Los resultados de las dos series analizadas indican que se trata claramente de fallas de desgarre, a las que no se ha podido asociar una falla concreta. Ambas series parecen estar asociadas a la actividad de fallas situadas en el interior de la corteza que no muestran expresión en superficie.

La reciente serie sísmica de Ossa de Montiel de febrero-marzo de 2015 ($M = 5.2$) no se ha analizado debido a que es posterior a la realización del informe. En la zona próxima al epicentro no se han observado evidencias fallas recientes con expresión superficial. Este hecho, unido a la profundidad del foco, corrobora las conclusiones del análisis sismotectónico: las principales series sísmicas están generadas por fallas de basamento no conocidas sin evidencias de expresión superficial.

Análisis morfotectónico de las series sísmicas

Si bien el análisis parece adecuado, y ya se habían aplicado técnicas similares en estudios previos, los resultados del mismo no proporcionan información relevante en cuanto a explicar las posibles fuentes sísmicas.

En la serie de El Romeral se describen lineamientos en superficie NO-SE y ESE-ONO, que ya aparecían en el proyecto Prior, pero sin una relación directa con los datos de sismicidad.

El análisis morfológico de la serie de Pedro Muñoz destaca un sistema de fallas E-O ya conocida en trabajos previos (falla del Alto Guadiana) con tramos en superficie superiores a los 10 km. Sin embargo la serie sísmica no se relaciona con esta estructura, ni por la orientación de los planos nodales del Mecanismo focal, ni por la orientación de la nube de réplicas. En el propio informe se dice que *"el terremoto de Pedro Muñoz (M_w 4.8) y su secuencia de réplicas se deba a la reactivación de una pequeña falla de muy pequeña longitud, en el interior de la corteza, que no presenta evidencias en superficie"*.

En el apartado de conclusiones Enresa afirma: *"del análisis neotectónico del entorno de la serie no se puede deducir la existencia de ninguna fuente sismogénica que pueda generar eventos de gran magnitud ($M_w > 6.0$)..."*. Esta frase se debería completar añadiendo "en superficie". A este respecto, se considera que Enresa también debería añadir "se desconocen las estructuras que han generado las series sísmicas analizadas, porque no presentan evidencias de deformación superficial, y porque no existen datos suficientes en profundidad".

Análisis probabilístico

Los cálculos y resultados del análisis realizado por Enresa parecen correctos. Falta por conocer la variación que supondrían los siguientes aspectos sobre los cálculos y espectros de aceleración estimados.

- La depuración de réplicas y premonitorios es siempre complicada y subjetiva. A pesar de que para el cálculo de probabilidades se sigue un modelo Poissoniano debería hacerse el cálculo con todo el catálogo excluyendo los sismos profundos. No deberían eliminarse los terremotos premonitorios.
- La división entre Corteza Continental Estable y Corteza Activa es un artificio, por lo que es necesario aplicar ambos tipos de modelos y quedarse con el más conservador.
- La excesiva división en zonas para el análisis probabilístico que se hace en la ATC13 puede tener influencia en el cálculo de los parámetros en relación a unificar las zonas 5, 6 y 7.
- Se ha estimado una profundidad de la parte superior de la ruptura de 5 km, mientras que en el cálculo determinista es de 2 km. Debería utilizarse también una profundidad de 2 km para el probabilista, ya que es la profundidad media del basamento cristalino en los alrededores de la zona de estudio.

Enresa no ha discutido el efecto de estas modificaciones ni en el Informe resumen de integración [REDACTED], ni en el estudio Neotectónico-Sismotectónico y Paleosísmico de fuentes sismológicas (Dic, 2014) [REDACTED], ni se han modificado los cálculos originales del informe de "Estudios de sismicidad y peligrosidad sísmica del emplazamiento del almacén temporal centralizado (ATC) de Villar de Cañas [REDACTED] Julio 2013) [REDACTED] [REDACTED]. La no consideración de esta posibilidad puede dar lugar a variaciones en el espectro de respuesta elástica de peligrosidad calculado con el método probabilista.

En el informe de Caracterización [REDACTED], Enresa no realiza modificaciones sobre el análisis probabilista, analizado en informes anteriores, empleando las mismas fuentes sísmicas (provincias sismotectónicas) de los informes anteriores (GM12 y la ATC13), y Enresa no ha utilizado los datos contenidos en las publicaciones recientes de velocidades de deformación en superficie obtenidas por GPS en el interior de la Península que sugieren unas tasa de deformación mayores que las supuestas.

Los resultados confirman que los terremotos que más contribuyen a la peligrosidad del Terremoto Base de Diseños son:

- En los periodos estructurales bajos, SA (0,0s)=PGA y SA (0,1s), los terremotos que controlan la peligrosidad son eventos próximos (distancia epicentral 0-15 km) y de baja magnitud (MW=4,0-5,0).
- En los periodos estructurales altos SA (1,0s), los terremotos que más controlan la peligrosidad son también eventos próximos (distancia epicentral 0-15 km) y de baja magnitud (MW=4,0-5,0) y en menor medida eventos lejanos (distancia epicentral 200-300 km) y de magnitud media (MW>6,5).

Análisis Determinista:

El análisis determinista contempla exclusivamente las fallas incluidas en QUAFI y el Mapa Neotectónico de España (IGME-Enresa). No se han utilizado fuentes de

información existente, algunas generadas por la propia Enresa y el CSN (Proyecto Prior), que aporta información complementaria a la utilizada. Debe recordarse que en este tipo de análisis la parte más crítica es la definición de Fuentes sísmicas, que consiste en definir las posibles Fallas Capaces en una región circular de hasta 160 km del emplazamiento.

En la SSG-9 se afirma (Pag. 19): "4.21. *The incorporation of seismogenic structures into a seismotectonic model should be done firmly on the basis of the available data and should incorporate uncertainties in the identification of these structures. Unsupported assumptions or opinions with regard to the association between earthquakes and geological features should not be considered an appropriate assessment of uncertainty. However, the lack of data on a geological feature should not by itself be considered a sufficient reason to treat the feature as not seismogenic.*"

Las fuentes sísmicas utilizadas en el Estudio de Caracterización [REDACTED] son las mismas de estudios previos, excepto en la Falla del Alto Guadiana, que se ha añadido como resultado del estudio de fuentes sismogénicas [REDACTED]

Para las fuentes sísmicas situadas a distancia de 160 a 320 km del emplazamiento se han utilizado datos de dos procedencias básicamente de las fallas activas de la base de datos QAFI [6] y fallas pliocenas y cuaternarias del Mapa Neotectónico (IGME-ENRESA, 1998)

Enresa no ha utilizado toda la información disponible, pues la no existencia de fallas en los catálogos analizados (QUAFI, y Mapa Neotectónico) no significa que no existan, cuando hay otras fuentes de información que sí las contienen.

De hecho, la falla que se cita como más próxima (Escopete-Albalate) en la base de datos QAFI, está reconocida a partir de datos geofísicos (isobatas del techo del basamento, y espesores de unidades del Mioceno), y de análisis mesoestructural frágil en materiales del Mioceno Superior. Dado que hay numerosas fallas similares a las de Escopete (desde el punto de vista de su orientación, del tipo de basamento) y que el régimen de esfuerzos debe ser similar, es necesario asumir que cualquier falla de características similares puede ser considerada como falla capaz. Un ejemplo de la posible actividad de estas fallas que no se ha tenido en cuenta es la Serie sísmica situada sobre la Falla de Bólliga (Muñoz Martín y De Vicente, 1998)²¹.

Por otra parte, aunque en informes previos Enresa no contempló la posibilidad de fuentes sísmicas en el basamento en las proximidades del emplazamiento a una profundidad de 2 km, en el Informe de Caracterización [REDACTED] Enresa ha considerado en el proceso de cálculo que la profundidad de la ruptura mínima es de 2 km (el techo del basamento), lo que se considera adecuado.

²¹ Muñoz Martín, A. y De Vicente, G. (1998). Cuantificación del acortamiento y estructura en profundidad del extremo Sur-Occidental de la Cordillera Ibérica (Sierras de Atómira y Bascañana). Revista de la Sociedad Geológica de España, 11 (3-4): 233-252.

En base a la distribución de la combinación Mecanismo-Magnitud-Distancia (Figura 2.5-24) los autores han seleccionado las siete fallas o fuentes sísmicas más desfavorables (Tabla 2.5-11 y Figura 2.5-25 de). De estas fuentes sísmicas seleccionadas, dos están en el ámbito próximo (<25 km) obtenidas del estudio neotectónico, dos en el ámbito medio-próximo (25-80 km) obtenidas del estudio neotectónico y el estudio de fuentes sísmogénicas, dos en el ámbito medio-lejano (80-160 km) obtenidas de la base de datos QAFI, y una en el ámbito lejano (160-320 km) obtenida de la base de datos QAFI.

La asignación de una magnitud de Mw 6.0 a las fallas más próximas, situadas a menos de 25 km, se considera justificado con las características de la sismicidad y las condiciones sismotectónicas del área de estudio, y con la ausencia de información en profundidad por debajo del emplazamiento.

Esta asignación de una magnitud superior a las establecidas en los informes previos (Mw 6.0 frente a 5.43) es una mejora respecto a los cálculos anteriores () y cubre con un cálculo más conservador la ausencia de información sobre posibles fallas de basamento en las proximidades del emplazamiento.

Los cálculos realizados indican que los valores más altos de todas las ordenadas espectrales proceden de la falla F-123, falla neotectónica localizada a 11,4 km al NNO del emplazamiento, cuando se le asigna MW = 6,0. Esto implica que la mayor peligrosidad sísmica para el emplazamiento está asociada a fallas de basamento próximas, que no tienen evidencias de rotura en superficie y que no se conocen lo suficiente. No obstante la asunción de un escenario donde ocurra un terremoto de Mw 6,0 en las proximidades del emplazamiento (11 km) parece razonable desde el punto de vista sismotectónico.

Las fallas lejanas que mayores efectos producen en el emplazamiento son fallas activas (QAFI) localizadas a unos 125-130 km al SE del emplazamiento (Béticas) con MW = 7,1; y el mayor terremoto correspondería al producido por la falla de Carboneras (QAFI-ES-630) con MW = 7,4.

La GMPE que condiciona el espectro determinista es casi exclusivamente la de Idriss para suelo muy duro, con Vs30 de 500 a 900 m/s.

En lo que respecta al establecimiento del espectro de diseño, Enresa ha comparado los espectros de respuesta horizontal resultantes de los estudios probabilista y determinista, y también se han comparado con otras formas espectrales de referencia, con la de la UNSR RG 1.60 [28], la del Eurocódigo UNE EN 1998, la del Diseño Genérico del ATC y la del utilizado en el proyecto AP1000 (denominado RG 1.60 HF).

Los espectros de respuesta envolvente horizontal y vertical adoptados (Figura 2.5-30 de) superan con exceso en todas las frecuencias obtenidas en los resultados de los estudios realizados (probabilista y determinista), por lo que cumplen lo establecido en el Plan de Caracterización.

8.3. Conclusiones

Los datos sismológicos y del análisis de series sísmicas indican que en el área de estudio, pese a ser una zona con depósitos neógenos con una tectónica poco significativa desde el punto de vista del relieve, podría activarse cualquier falla bien orientada en el basamento, que no tiene porqué expresar ninguna evidencia en superficie, bajo un régimen de desgarre NO-SE y unas tasa de deformación bajas, pero desconocidas. Dada la ausencia de datos de esfuerzos cerca de la superficie no puede descartarse la reactivación de fallas normales con orientaciones paralelas y/o oblicuas a las trayectorias del máximo esfuerzo horizontal. El reciente terremoto de Ossa de Montiel, con un mecanismo focal de falla normal-direccional y los datos del Mapa de esfuerzos activos de la Península Ibérica (Muñoz Martín et al., 2012) sugieren la posibilidad de un régimen tectónico de desgarre próximo a extensional, por lo que no se debe excluir esta posibilidad, en ausencia de datos de detalle en el entorno del emplazamiento.

En el análisis probabilista deben discutirse los efectos cuantitativos, con los cálculos necesarios, y que no han sido contestados en la información aportada por Enresa.

Enresa no ha presentado el suficiente nivel de conocimiento de la estructura del basamento que se tiene en su entorno y al sur del emplazamiento. Al norte del mismo está demostrada la presencia de numerosas estructuras de basamento de longitudes superiores a los 10 km, y bien orientadas para ser reactivadas como fallas de desgarre bajo el campo de esfuerzos actual.

No se han utilizado fuentes de información disponibles y complementarias a las utilizadas (Proyecto Prior, Mapas de fallas de basamento, Muñoz Martín y De Vicente, 1998), lo que puede tener consecuencias a la hora identificar y caracterizar fallas potencialmente capaces.

No obstante, y a pesar de que Enresa no ha aportado información suficiente sobre las estructuras de basamento en el entorno del emplazamiento, el análisis de la Peligrosidad Sísmica ha cubierto este déficit con la asunción de un cálculo determinista que incluye la ocurrencia de terremotos de magnitud moderada ($M_w = 6.0$) en una zona próxima al emplazamiento (11,4 km) y superficiales (2 km). Esta solución parece razonable y suficiente, ya que esta fuente sísmica es la que produce unas mayores aceleraciones en todo el espectro, y el espectro de respuesta del terremoto base de diseño es más conservador que si se consideran exclusivamente los terremotos máximos asociados a las fallas incluidas en las dos bases de datos utilizadas (QAFI e IGN).

En lo que respecta a las principales conclusiones sobre las condiciones del emplazamiento, relacionadas con las bases de diseño de la instalación, extraídas de los estudios de sismicidad y peligrosidad sísmica del emplazamiento, se pueden realizar las siguientes valoraciones:

- *El emplazamiento se encuentra situado en una zona de baja sismicidad histórica, no hay ningún terremoto catalogado de magnitud $MW > 5,0$ a menos de 120 km de distancia.*

Esta afirmación se considera correcta. No obstante existen terremotos recientes de magnitudes próximas a 5, e incluso superiores, según la escala de magnitud utilizada, a distancias inferiores a los 100 km:

- Terremoto de Pedro Muñoz (Ciudad Real, 2007), $M_w = 4.7$ a una distancia de 60 km.
- Terremoto de Ossa de Montiel (Albacete, 2015), $mbLg = 5.2$, $M_w = 4.7$ a una distancia de 82 km.

Por ello, se considera más adecuado completar la afirmación anterior precisando "aunque hay terremotos instrumentales recientes de magnitud próxima a 5 a distancias inferiores a los 100 km".

- *Los estudios sismotectónicos y paleosismológicos en la zona próxima al emplazamiento no han revelado estructuras que puedan indicar la existencia de ninguna falla activa, al igual que no se ha evidenciado actividad asociada a fallas profundas en el entorno del emplazamiento.*

Esta afirmación no se puede considerar correcta por cuanto existen deformaciones (pliegues y fallas) que afectan al Mioceno Superior a unos 10-12 km del emplazamiento que han sido interpretadas, de manera discutible, como no formadas por actividad tectónica. Además, hay sismicidad asociada a fallas de basamento que no tienen expresión superficial, tal y como muestra el catálogo del IGN.

Estas fallas de basamento "sin expresión superficial" son la principal fuente de peligrosidad sísmica tal y como indica Enresa en su Informe de Caracterización (pag. 2.5-14 y 15): "En resumen, la correlación entre la sismicidad y el fallamiento en la comarca de la instalación no está bien establecida. En muchos casos, no se ha podido encontrar sismicidad asociada a las fallas que se han identificado, por criterios geológicos, como capaces, ni se han identificado fallas a las que asociar los terremotos registrados.

Por otro lado, la tectónica de piel de la Cuenca de Loranca enmascara el fallamiento del zócalo, al que se considera un candidato más adecuado para ser el causante de la sismicidad de la zona, sobre todo, de los terremotos un poco mayores ocurridos y de los más grandes que puedan ocurrir en el futuro. También es probable que las fallas superficiales con mayor actividad reciente sean el reflejo de otras de zócalo que también se estén moviendo y que sean las de mayor potencial sismogénico."

- *Las fallas capaces más próximas, identificadas por fotointerpretación e interpretación cartográfica en materiales del Mioceno superior, se sitúan a unos 12 km de distancia del emplazamiento.*

Esta afirmación es correcta, siempre y cuando solamente se consideren como capaces sólo aquellas fallas con expresión superficial.

No obstante, y dadas las especiales características geológicas de la zona, cualquier falla de basamento bien orientada para ser activada por un estado de esfuerzos NO-SE en régimen de desgarre próximo a extensión uniaxial, en el entorno del emplazamiento puede considerarse como falla capaz. Enresa no ha aportado

información nueva con el suficiente grado de resolución y penetración para conocer la estructura del basamento por debajo del emplazamiento.

- *Los terremotos más importantes para la peligrosidad calculada en el emplazamiento proceden de las fallas capaces más próximas; pueden producir movimiento vibratorio del terreno de aceleración sísmica relativamente alta y con mayor contenido de energía en las altas frecuencias y menor en las bajas.*

Esta afirmación se considera correcta.

- *En las frecuencias más bajas pueden tener también una influencia relevante los terremotos destructores procedentes de distancias del orden de 200 km, como podrían ser los del Levante español.*

Esta afirmación es correcta.

- *Las fuentes sísmicas más importantes para la peligrosidad en el emplazamiento y las características de la sismicidad asociada, tamaños y cantidad de los terremotos que se pueden producir, fueron tenidas en cuenta para definir el espectro de respuesta del Terremoto Base de Diseño, el cual es suficiente conservador como para garantizar la estabilidad del emplazamiento respecto a movimientos vibratorios.*

Esta afirmación es cierta, ya que en el análisis determinista se ha incluido la posibilidad de un terremoto pésimo de Magnitud 6 a 11,4 km del emplazamiento. Este escenario parece razonable y realista con la información disponible.

No obstante cabe la duda, debido a la ausencia de información en profundidad, de que exista una falla por debajo del emplazamiento que pueda generar un terremoto de magnitud moderada ($M \leq 6$) a unos 2 km de profundidad.

- *El Terremoto Base de Diseño (DBE) ha quedado caracterizado por el espectro de respuesta elástica denominado RG 1.60 HF, para un amortiguamiento del 5%, obtenido a partir del espectro definido por la RG 1.60 ampliado en la rama de frecuencias altas (factor de 1,30 en la frecuencia de 25 Hz), y anclado a una PGA de 0,325 g.*

Esta afirmación es cierta, con la salvedad del párrafo anterior.

9. METEOROLOGÍA, HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

9.1. Documentación evaluada y objetivos

La evaluación de las características meteorológicas, hidrológicas e hidráulicas del emplazamiento se ha realizado en dos fases. La primera, basada en la documentación entregada por ENRESA hasta octubre de 2014 [REDACTED]. La segunda, se ha apoyado en el informe "Estudio de la afección de la Avenida Máxima Probable del río Záncara en el emplazamiento del Almacén Temporal Centralizado de Villar de Cañas (Cuenca), Revisión 2", [REDACTED] Diciembre de 2014 [REDACTED], realizado como consecuencia de las aclaraciones y trabajos adicionales solicitados en el documento de Petición de Información Adicional [REDACTED] y respondidas en el documento de ENRESA "Respuesta a la Petición de Información Adicional [REDACTED]". Las preguntas y respuestas se analizaron en dos reuniones CSN – ENRESA, una general que tuvo lugar el 3 de octubre y otra específica sobre Meteorología, hidrología e hidráulica el día 22 de octubre de 2014 [REDACTED].

Los trabajos concretos sobre los que se pidió ampliación de los análisis en la Reunión Técnica fueron los siguientes:

- Respecto a la estimación de la Precipitación Máxima Probable (PMP)
 - ✓ Aumento del número de tormentas observadas usadas como muestra para la estimación de la PMP
 - ✓ Comparación de los resultados obtenidos por el método determinístico con los de una estimación estadística
 - ✓ Comparación de los resultados obtenidos por el método determinístico con la precipitación diaria correspondiente al periodo de retorno de 10.000 años
- Respecto de la hidrología
 - ✓ Análisis de sensibilidad de hidrograma de la avenida máxima probable a la duración de la tormenta.
 - ✓ Análisis de sensibilidad del efecto de las abstracciones iniciales consideradas en el modelo precipitación - escorrentía para adoptar un escenario más conservador
- Respecto de la hidráulica
 - ✓ Análisis de la influencia de la condición de contorno de aguas abajo en el modelo bidimensional.
 - ✓ Análisis de sensibilidad de los resultados a las rugosidades consideradas en el modelo

En lo que respecta a información meteorológica, se cuenta con los informes:

- Estudio meteorológico del emplazamiento del Almacén Temporal Centralizado (ATC) de Villar de Cañas. Rev. 4 de Sep. 2013. [REDACTED]
- Informe meteorología local. Rev. 0 de mayo de 2014 [REDACTED]
- Estudio de diseño de una torre meteorológica en el emplazamiento del ATC de Villar de Cañas (Cuenca). Rev. 1 junio 2014. [REDACTED]
- Análisis Comparativo de los datos meteorológicos de la estación de Villar de Cañas y del observatorio de AEMET de la localidad de Cuenca. [REDACTED] (Dic. 2014) [REDACTED]
- Informe resumen de integración para la caracterización del emplazamiento del ATC de Villar de Cañas (Cuenca). Enresa, 30/Dic/2014. [REDACTED]
- Estudio de la afección de la avenida máxima probable del río Záncara en el emplazamiento del ATC de Villar de Cañas (Cuenca). [REDACTED] [REDACTED] Rev. 2, Dic/2014. [REDACTED]
- Estudio de caracterización del emplazamiento del ATC en Villar de Cañas (Cuenca) y de la zona de influencia de la instalación. Mayo-2015. [REDACTED]

Los trabajos que llevan al cálculo de la Precipitación Máxima Probable (PMP) en el emplazamiento fueron presentados por Enresa en el informe "Estudio de la afección de la Avenida Máxima Probable del río Záncara en el emplazamiento del Almacén Temporal Centralizado de Villar de Cañas (Cuenca)", Revisión 1, [REDACTED] enero de 2013 [REDACTED] [REDACTED], que actualiza otro anterior fechado en mayo de 2012 [REDACTED]. El apartado 2 del informe está dedicado al cálculo de la PMP. El apartado 3 del informe está dedicado específicamente al estudio hidrológico, que calcula la Avenida Máxima Probable en el Río Záncara partiendo de la precipitación obtenida en el apartado.

El informe que contiene todos los trabajos realizados sobre inundabilidad y dispersión de efluentes es el titulado "Estudio hidrológico del emplazamiento del Almacén Temporal Centralizado (ATC) de Villar de Cañas" [REDACTED] [REDACTED] dic. 2013". En el Anejo 5 incluye el documento específico sobre la cota previsible de inundación, "Estudio de la afección de la Avenida Máxima Probable del río Záncara en el emplazamiento del Almacén Temporal Centralizado de Villar de Cañas (Cuenca), Revisión 1", [REDACTED] enero de 2013, versión actualizada de otro de fecha de mayo 2012 [REDACTED]. La evaluación final se ha realizado analizando la Revisión 2 del informe anterior, presentada en diciembre de 2014 [REDACTED].

El informe [REDACTED] [REDACTED] dedica dos capítulos a la inundabilidad de la parcela del ATC. En el primero describe el historial de avenidas e inundaciones a través de los registros históricos recogidos en documentos oficiales.

Enresa presenta la determinación de la PMP en 24 horas en Villar de Cañas como uno de los objetivos a satisfacer (apartado 1. Introducción), para su empleo en la determinación de la Avenida Máxima Probable del río Záncara en Villar de Cañas que

más adelante sirve como base de cálculo para la determinación de la cota de inundación y de la afección del río a la parcela del ATC.

Por otra parte, el objetivo del estudio hidrológico es proporcionar los caudales de cálculo al modelo hidráulico que permite conocer los niveles de inundación en el emplazamiento. El cálculo se hace para la avenida máxima probable apoyado en los resultados del cálculo de la PMP.

En lo relativo a inundabilidad, y en el marco del Plan de Caracterización del emplazamiento del ATC en Villar de Cañas (Cuenca) (██████████), el objetivo relativo a la inundabilidad, según establece el capítulo 2 del informe (██████████) (2013) (██████████) es la evaluación del riesgo por inundaciones del ATC que se concreta en la definición de la cota máxima previsible de inundación en las condiciones hidrológicas establecidas por la Normativa, o más específicamente "determinar si la parcela donde se ubicará el futuro ATC cumple con los requisitos de un emplazamiento seco".

Por último, el objetivo planteado en relación con la dispersión de efluentes es realizar "una estimación preliminar del potencial dispersión de efluentes líquidos del río Záncara, por considerarse el medio de dispersión más relevante en la zona de estudio". Un objetivo más ambicioso es el establecido por la guía US-NRC 1.113²², que se refiere específicamente a reactores pero debe ser aplicable también a instalaciones como el ATC y pide definir las dosis radiactivas accidentales que podría recibir la población de aguas abajo. No obstante, este objetivo no se ha contemplado ni es por tanto, tratado en el estudio

9.2. Evaluación

9.2.1. Meteorología

El informe sobre meteorología deduce los parámetros meteorológicos característicos del emplazamiento mediante un análisis regional que utiliza las estaciones más próximas de una zona de recubrimiento que facilitan la información no disponible localmente.

El criterio de datos base para la regionalización es adecuado: para caracterizar la temperatura y precipitación se emplearon todas las estaciones activas con series de longitud superior a 30 años situadas a menos de 40 km del emplazamiento. A estas series se añade la de Villar de Cañas, a pesar de no cumplir el criterio de longitud especificado.

En cuanto al viento, se utilizaron las cuatro estaciones completas existentes con series de más de 30 años a menos de 110 km del emplazamiento (Cuenca, Guadalajara, Madrid y Albacete). Además se emplean otras cuatro estaciones más próximas con serie más corta.

²² "Estimating aquatic dispersion from effluents from accidental and routine reactor releases for the purpose of implementing Appendix 1", U.S. Nuclear Regulatory Commission, Regulatory Guide 1.113, 1977

El informe sobre meteorología local detalla precisamente los datos procedentes de las 3 estaciones meteorológicas instaladas (una completa y dos satélites) desde su puesta en funcionamiento en diciembre de 2012 hasta abril de 2014 buscando mejorar la caracterización con datos en el propio emplazamiento, y específicamente del viento. Las estaciones se han construido siguiendo las recomendaciones de la OMM.

Sobre la metodología de cálculo de dispersión, los métodos empleados para los cálculos de dispersión atmosférica son adecuados.

Los parámetros de viento se emplean para caracterizar la dispersión atmosférica de partículas en operación normal a través de los parámetros de difusión tanto para el caso de emisión a nivel del suelo como de chimenea con la aplicación XOQDOQ de la NUREG. Para la dispersión de contaminantes a corto plazo en caso de accidente -de 0 a 2 h- se empleó el código PAVAN de la NUREG que calcula los factores de difusión a partir de la matriz viento-estabilidad para distancias de 750 m (zona de exclusión) y 2000 m (zona de baja población)

Finalmente, se analizó la dispersión a gran escala y mesoescala con el código FLEXPART. El informe menciona como una de las debilidades del cálculo la ausencia de datos locales de viento, que obligan a trabajar con los de la estación de Cuenca, y recomienda repetir los análisis cuando se disponga de ello.

Finalmente, en lo relativo a la torre meteorológica, el diseño de la torre meteorológica de 87 m de altura sigue las normas de la UNSRC RG 1.23. Desde el punto de vista meteorológico el diseño de la torre es correcto. Sin embargo, y teniendo en cuenta que aún no está definida la ubicación final de los diferentes elementos del ATC, será necesario situar la torre en el proyecto definitivo teniendo en cuenta la dirección de los vientos dominantes y la distancia mínima requerida por las normas.

9.2.2. Precipitación máxima probable

La Precipitación Máxima Probable se ha calculado con el método determinístico enunciado en el punto b del apartado 1.4.2.2²³ del manual de la Organización Mundial Meteorológica (Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP) WMO-No. 1045, 2009). El procedimiento empleado es correcto desde el punto de vista metodológico.

La selección de tormentas de cálculo se realiza siguiendo el procedimiento indicado en el manual. Los límites de trasponibilidad de tormentas quedan definidos correctamente, ya que se excluyen específicamente las tormentas del área mediterránea y las próximas al Sistema Central o al Norte del mismo.

La Revisión 2 del informe [REDACTED] de diciembre de 2014 mejora notablemente el cálculo de la PMP en relación al primer informe [REDACTED] de Diciembre de 2013), ya que se realiza sobre las 12 tormentas extremas registradas (sobre 5 del primer informe), que acumularon al menos 100 mm en 24h en la zona pluviométricamente homogénea, en un

²³ Transposition method (storm transposition or transposition model)

radio de 300 km. El número de tormentas empleado es suficiente para que los resultados alcanzados se puedan considerar fiables, y sólo puede pasar por alto la inclusión de alguna tormenta extrema con precipitación diaria superior a 100 mm cuyo valor máximo se hubiese producido en una zona carente de pluviómetros, aunque con los datos disponibles resulta imposible de detectar.

Con el recálculo de la PMP se obtiene una precipitación máxima de 410,6 mm en 24 horas, valor notablemente superior al del primer informe (238,1 mm en 24 horas), lo cual responde a las recomendaciones realizadas a Enresa.

El nuevo cálculo aclara también la contradicción existente en el primer informe, según la cual la precipitación zonal en 24 horas de período de retorno 10,000 años²⁴ (275,3 mm) supera la PMP.

Finalmente se realiza una comparación de la PMP meteorológica con la obtenida por el método estadístico de Hershby y Hershfield, resultando 351,2 mm, precipitación que resulta inferior al valor determinístico anteriormente obtenido, y que servirá como base para cálculos posteriores.

9.2.3. Hidrología superficial

El documento del estudio hidrológico indica que para los cálculos, dada la ausencia de una serie de datos de aforo fiables en la cuenca²⁵, se ha empleado el modelo HEC-HMS (Hydrologic Modeling System del U.S. Army Corps of Engineers), en la hipótesis de modelación de suceso meteorológico con un esquema arborescente de subcuencas agregadas. El método es el adecuado teniendo en cuenta la tipología del problema y la universalidad del modelo.

La revisión 2 del informe [REDACTED] corrige los coeficientes de pérdidas empleados en el informe inicial, adoptando para el cálculo el número de curva del SCS que exige el modelo en lugar del umbral de escorrentía P_0 , que producía dudas en la conversión que necesariamente se tenía que realizar. La revisión incluye cuadros que muestran los valores de los parámetros de pérdidas empleados en el cálculo, tanto para las condiciones medias de humedad antecedente AMC-II como para las condiciones de saturación del terreno AMC-III que son las empleadas en la hipótesis final. Las abstracciones iniciales del terreno no se consideran nulas, se han obtenido de las correspondientes a las condiciones AMC-III, lo cual es suficientemente conservador y aceptable.

El hietograma que se emplea, de intensidad máxima es muy conservador y es aceptable según las normativas vigentes.

Además, en respuesta a las peticiones de aclaración realizadas a Enresa [REDACTED], la revisión [REDACTED] incluye un análisis de sensibilidad del caudal máximo de avenida con

²⁴ Apartado 4.1.3 del estudio meteorológico

²⁵ En los estudios hidrológicos no se recogen datos de aforos directos, que sí son incluidos en los estudios hidroquímicos [REDACTED]. El diseño de la estación de aforos en el río Zancara se encuentra en el estudio hidrogeológico de Mayo de 2014 [REDACTED].

la duración de la tormenta. Los cálculos realizados demuestran que los caudales aumentan con la duración alcanzándose prácticamente un valor asintótico para tormentas de 24 horas de duración, lo cual es razonable teniendo en cuenta que el núcleo central del hietograma empleado -de intensidad máxima- es siempre el mismo y las tormentas más largas únicamente añaden pequeñas precipitaciones en los períodos iniciales y finales del hietograma.

Finalmente, Enresa adopta como caudal de cálculo el correspondiente a una tormenta de 24 horas de duración, igual a 5.320,8 m³/s. Este valor resulta muy superior al obtenido en el informe inicial (3.040 m³/s) y es consecuencia fundamentalmente de las nuevas consideraciones en altura de precipitación y duración de la tormenta de proyecto.

9.2.4. Inundabilidad

La recopilación del historial de avenidas e inundaciones se ha realizado correctamente. Es un trabajo obligado por la normativa pero que no es crítico para la idoneidad del ATC dado que la escala a que se realiza es demasiado grande. La conclusión es que el emplazamiento propuesto se encuentra en una zona con bajo potencial de inundación.

La definición de la cota máxima de inundación se ha realizado mediante un modelo hidráulico bidimensional que simula el paso del hidrograma de la avenida máxima probable (estudio hidrológico) en régimen transitorio. El procedimiento se considera correcto y adecuado para el análisis de un problema donde se combinan un relieve suave y una avenida de gran magnitud. Específicamente, hay que resaltar los siguientes aspectos:

En primer lugar, aunque el proyecto constructivo²⁶ recoge que la cota de explanación se ha previsto en 809-810 m s.n.m., con excavaciones hasta 801,1 m s.n.m., el estudio de inundación indica que el criterio utilizado para definir si la parcela es inundable es la "explanación a cota 810". Más adelante se hacen unas consideraciones sobre la corrección de considerar como objetivo la cota de explanación en lugar de la excavación máxima.

El modelo digital del terreno usado como base tiene la precisión adecuada al estudio de inundabilidad. Se ha utilizado regionalmente el del Instituto Geográfico Nacional (PNOA) con paso de malla de 5 m, con resolución altimétrica de 25 a 50 centímetros por píxel, combinado con uno más detallado a escala 1:1000 en la zona de la parcela.

El procedimiento de análisis es correcto, pues se ha realizado a través de una simulación bidimensional del flujo del hidrograma producido por la PMP en régimen transitorio y el método utilizado, el GUAD 2D, también es correcto. La simulación se ha realizado en régimen pseudopermanente, simulando en régimen transitorio con caudales constantes

²⁶

e iguales al máximo del hidrograma en los ríos Záncara, Blanco y Peñuelas²⁷. Esta hipótesis es conservadora, del lado de la seguridad, puesto que produce niveles de agua más altos que en una simulación del paso de los hidrogramas.

En cuanto a las hipótesis de cálculo, la Revisión 2 del informe [REDACTED] mejora notablemente las usadas en los anteriores. Por una parte, se ha hecho un análisis de sensibilidad a los coeficientes de rugosidad, cuyos valores base, estimados mediante tablas teóricas, se consideraban bajos. Como resultado se presentan los resultados para la hipótesis base (en la que, como referencia, el coeficiente de Manning de la llanura de inundación es de 0.030) y para dos hipótesis extremas de máximo y mínimo con n de 0.049 y 0.024, respectivamente. La cota máxima de agua en las cercanías de la parcela que se estima en 800.9 m s.n.m. en la hipótesis base, podría alcanzar los 801.8 m con la rugosidad máxima y 800.6 m s.n.m. con la mínima.

La conclusión es que la cota 810 m s.n.m. de explanación no se vería afectada por la inundación en el caso de que se produjera la avenida correspondiente a la PMP. En el peor de los casos, la cota de agua podría quedar 70 cm por encima de la cota mínima de excavación, de 801.1 m s.n.m. Sin embargo, considerar esta última cota como objetivo para la afección implica un conservadurismo excesivo, porque la probabilidad de que la PMP se presente en el periodo en que se realizará la excavación es muy baja.

No ha sido necesario considerar en el modelo la lluvia directa sobre la superficie simulada (NUREGCR-7046 Design-Basis Flood Estimation for Site Characterization at Nuclear Power Plants in the United States of America apartado 1.2.3 pág 1-5), porque el caudal generado en la cuenca I10, última del modelo hidrológico, se introduce en su cabecera, aguas arriba del emplazamiento. Por lo tanto, la lluvia directa sobre éste ya se ha considerado en el hidrograma y no es necesario incluirla de nuevo en el modelo hidráulico.

Por último, la Revisión 2 del informe dedica el apartado 4.4.9 a justificar la independencia de los resultados a la condición de contorno de salida del modelo (supuesta como sección crítica) como respuesta al punto HyM20 planteado en la PIA [REDACTED]. Para ello, demuestra que unos 1.500 m aguas arriba del límite inferior del modelo se produce una caída hidráulica con sección crítica.

Aunque no se han comprobado numéricamente los resultados obtenidos, no se detectan incoherencias en los mismos, por lo que se suponen correctos. Por lo tanto, el estudio realizado es adecuado en su planteamiento, hipótesis de cálculo y ejecución y se acepta la conclusión expresada en el apartado 5.1: *“En el escenario de rugosidades más conservador planteado, la lámina libre en el entorno de la parcela de Las Balanzas no supera la cota de inundación de 801,8 m, siendo nula la afección a la parcela, y muy por debajo de una posible cota de explanación a 810 m”*

²⁷ Esta hipótesis de cálculo no se describe explícitamente en el informe, pero los técnicos autores del trabajo lo aclararon por escrito en la respuesta a la PIA HyM14 a las dudas planteadas (ENRESA, nov. 2014. [REDACTED] y verbalmente en la Reunión Técnica de 22 de octubre

9.2.5. Dispersión de efluentes

La capacidad de dispersión se ha estudiado mediante el modelo matemático Visual Plumes de la EPA, del que se hace una descripción detallada. Los resultados obtenidos son de carácter cualitativo, dada la falta casi absoluta de los datos específicos necesarios para un análisis preciso de la zona reconocida en el propio informe.

Sin embargo, la conclusión alcanzada, de que "en general, el río Záncara no presenta un potencial de dilución significativo" es correcta y se podría haber deducido sin necesidad de elaborar un modelo matemático. En efecto, tanto por los bajos caudales medios (y mínimos o nulos en estiaje) como por las dimensiones del cauce, sólo se podría producir alguna dilución si el vertido coincidiera con caudales de avenida en el río, que, según el informe, se presentarían en "menos del 5% del tiempo".

El problema es que el análisis se detiene en esa conclusión sin definir la magnitud de la afección potencial a los usuarios del agua, que debería ser el objetivo final del estudio de la dispersión. Efectivamente, el Záncara probablemente no diluye los vertidos pero no se aborda su transporte posterior, si se infiltran a los acuíferos aguas abajo (el importante acuífero de La Mancha Occidental) o circulan movidos por el escaso caudal del río hasta puntos de captación de agua para uso humano o agrícola y a qué población afectarían.

9.3. Conclusiones

Los estudios meteorológicos son la base de los estudios hidrológico e hidráulico posteriores, por lo que su ejecución y resultados condicionan los cálculos de caudales circulantes y la altura máxima de inundación. Además, la suave topografía de la zona y las características de los materiales presentes hacen que estos aspectos tengan una relación también estrecha con la hidrogeología y, en conjunto, con el balance hidráulico.

La primera parte, la caracterización meteorológica del emplazamiento a partir del análisis estadístico de las series es correcta en términos generales. Es de destacar que en la Revisión 2 [REDACTED] 2014. [REDACTED] del informe se ha recalculado la PMP de forma más apropiada que en el documento original, teniendo en cuenta 12 tormentas extremas en lugar de cinco. Con este criterio, la PMP se estima en 410.6 mm en 24 horas, muy por encima de los 238,1 mm que no estaba acorde con la magnitud obtenida en las evaluaciones estadísticas.

Aunque el período de comparación es poco extenso, la revisión 2 del estudio meteorológico [REDACTED] 2014. [REDACTED] recoge una primera comparación entre la estación ER-01 instalada en el emplazamiento y las de largo período de registro que se emplearon en la caracterización general, sobre todo del viento –Madrid-Barajas, Cuenca y Los Llanos-Albacete-. Las conclusiones del estudio indican que los datos de precipitación y viento de las estaciones lejanas apenas se parecen a los registrados junto al emplazamiento.

Como conclusión del cálculo de la Precipitación Máxima Probable, y teniendo en cuenta que los resultados obtenidos sirven como punto de partida al cálculo hidrológico y por lo tanto al hidráulico, se concluye que el estudio realizado es metodológicamente y

formalmente correcto. Es suficiente para asegurar la idoneidad del emplazamiento frente al riesgo de inundación, ya que ha seguido los criterios conservadores establecidos en la normativa.

Respecto al estudio hidrológico, Enresa ha realizado en la Revisión 2 [REDACTED] las modificaciones y análisis solicitados en la Petición de Información Adicional [REDACTED] y las reuniones técnicas respecto a los coeficientes de pérdidas, la abstracción inicial y sensibilidad a la duración de la tormenta. El resultado del estudio es un hidrograma con un caudal punta de 5.321 m³/s en el Záncara, sin contar con la aportación de las cuencas de los ríos Blanco y Peñuelas, muy superior al estimado en el informe original que era de 3.040 m³/s. En el desagüe de la cuenca el caudal punta asciende a 8.013 m³/s.

El estudio hidráulico realizado es correcto, una vez que Enresa ha realizado las aclaraciones y revisiones solicitadas en la Petición de Información Adicional. En primer lugar, la calidad del MDT usado como base topográfica para el modelo hidráulico bidimensional es suficiente, con 25 a 50 cm de precisión altimétrica. Además, se ha realizado un análisis de sensibilidad a las hipótesis de cálculo y los parámetros empleados que ha acotado correctamente el máximo nivel y la extensión de la zona inundable en los alrededores de la parcela del ATC. La conclusión es que el emplazamiento puede considerarse adecuado desde el punto de vista de la inundabilidad, puesto que, en la hipótesis más desfavorable, el nivel máximo alcanzaría los 801,8 m s.n.m., por debajo de la cota [REDACTED] m s.n.m. de la explanación.

Finalmente, como conclusión del estudio de la dispersión de vertidos accidentales, se considera correcto respecto a los objetivos planteados en el estudio pero incompleto porque no define la población potencialmente afectada ni la magnitud de la afección y tiene que ser ampliado para considerar estos aspectos.

Respecto al "Resumen de condiciones del emplazamiento y bases de diseño" presentado por Enresa, se pueden hacer las siguientes valoraciones en lo relativo a los aspectos meteorológicos, hidrológicos e hidráulicos

- *Meteorología*

La caracterización meteorológica del emplazamiento a partir del análisis estadístico de las series es correcta en términos generales. Sin embargo, en lo relativo a la precipitación se indica: "La precipitación diaria media es de 18,5 mm/día (Cuenca) y 28,8 mm/día (Villar de Cañas)", lo que no es correcto, dado que se trata de la Precipitación media anual de las máximas diarias.

- *La red hidrográfica está formada por arroyos tributarios del río Záncara, muy poco encajados y en su mayoría drenados por zanjas para facilitar el aprovechamiento agrícola de las tierras.*
- *No hay presas, ni otras obras hidráulicas destacables, salvo algunos canales de drenaje de tierras de cultivo y el trasvase del Tajo-Segura, que no afectan al emplazamiento.*
- *Tampoco existen lagos ni costas próximas, la laguna más próxima es la de El Hito, a más de 10 km, y la costa está a más de 150 km.*

- *La población no consume aguas superficiales, solo existen pequeños pozos para uso agrícola.*
Se está de acuerdo con la afirmación y las tres anteriores
- *Aunque el emplazamiento podría ser claramente considerado un emplazamiento a salvo de inundaciones (régimen de precipitaciones, historia de avenidas, inexistencia de presas,...), se ha realizado el análisis de inundación.*
- *Los únicos eventos de inundación dentro de la comarca del estudio, se identifican a unos 45 km aguas abajo del emplazamiento (término municipal de El Provencio, Cuenca).*

Se comparte esta afirmación

- *El estudio de Avenida Máxima Probable (AMP) se ha realizado para el río Záncara siguiendo las directrices recogidas en la norma ANSI/ANS 2.8-1992, obteniéndose una Precipitación Máxima Probable (PMP) de 409,7 mm/24h, un caudal de pico en el Río Záncara asociado a la PMP de 5.321 m³/s, y una cota de inundación inferior a 802 msnm (en el caso más desfavorable de rugosidades del terreno) y no hay afección (cota mínima del emplazamiento 803 msnm).*

Los valores obtenidos son adecuados, toda vez que Enresa ha revisado el cálculo inicial de PMP, análisis del efecto de la duración de la tormenta y distintas opciones de rugosidad del cauce para la estimación del caudal pico.

- *Para altas intensidades de precipitación existen actualmente sistemas de drenaje que derivan hacia el cauce del río Záncara, solamente se producen pequeñas charcas en áreas de cota baja (inferior a 804 msnm) mal drenadas.*

Se comparte esta afirmación. Enresa, en el informe de caracterización, resalta dentro de las últimas etapas de la evolución geomorfológica de la zona, el desarrollo de lapiazes en los extensos afloramientos de niveles de yesos y la formación de suaves dolinas y áreas de encharcamiento promovidas por la disolución de los mismos materiales

- *El desbordamiento del río Záncara se produce por rotura (mala conservación) de los bordes de los canales de drenaje. En el entorno próximo al emplazamiento no hay cauces (red muy poco encajada).*
- *En cuanto a los fallos potenciales de presas (por actividad sísmica), en la zona de estudio las infraestructuras hidráulicas son escasas, no existiendo presas o embalses sobre el río Záncara.*
- *El canal del trasvase Tajo-Segura (11 km al NE del núcleo urbano de Villar de Cañas), con una capacidad máxima de 33 m³/s, lo que supone a menos del 1% del caudal de pico de la AMP, no supone influencia apreciable en los niveles de inundación. No se ha postulado, de conformidad con la norma ANSI/ANS, la potencial rotura del canal como un evento combinado con la AMP.*

- *La actividad de olas de viento coincidentes no aplica (no hay masas de agua próximas).*
- *Los riesgos de inundación debido a otros fenómenos oleaje, mareas y elevación anormal del nivel del mar, tsunami e inundación debido a hielo, se consideran nulos dadas las condiciones del emplazamiento.*
- *No aplica calcular cargas por inundación, ni requisitos de protección contra inundaciones (no se considera que exista inundación).*

Se está de acuerdo con esta afirmación y las cinco anteriores

10. HIDROGEOLOGÍA

10.1. Documentación evaluada y objetivos

Se evalúa la información aportada por Enresa, que se resume a continuación.

La caracterización hidrogeológica del emplazamiento se presenta básicamente en el informe [REDACTED] "Estudio hidrogeológico del emplazamiento del Almacén Temporal Centralizado (ATC) de Villar de Cañas", de septiembre de 2013 [REDACTED], posteriormente actualizado en el informe "Integración de la información de tipo hidrogeológico generada durante las fases I y II de la caracterización del emplazamiento del ATC en Villar de Cañas (Cuenca) de [REDACTED] (mayo 2014) [REDACTED].

Los modelos de simulación de flujo iniciales se recogen en los informes "Modelos matemáticos de flujo subterráneo en el emplazamiento del almacén temporal centralizado (ATC) en Villar de Cañas (Cuenca) [REDACTED] Versión 0 de junio 2014 y versión 1 de Julio 2014 [REDACTED]

La actualización de los datos piezométricos se recoge en "Medidas piezométricas de la red de control de aguas subterráneas en el entorno del ATC" [REDACTED] Nov/2014) y "Instalación de piezómetros eléctricos en los sondeos de la 2ª campaña de investigación geotécnica SG y Dg" (Enresa, Nov/2014) [REDACTED]

La actualización e integración final de los datos se recoge en el informe "Revisión y actualización del estudio hidrogeológico del emplazamiento del ATC en Villar de Cañas (Cuenca) [REDACTED] Dic/2014 [REDACTED] y el modelo de simulación de flujo en "Modelos matemáticos de flujo subterráneo en el emplazamiento del ATC en Villar de Cañas (Cuenca): versión actualizada y revisada". [REDACTED] Rev. 1 y 2, Dic/2014 [REDACTED]

Además:

- Informe resumen de integración para la caracterización del emplazamiento del ATC de Villar de Cañas (Cuenca). Enresa, 30/Dic/2014. [REDACTED]
- Instalación de piezómetros en el ATC de Villar de Cañas. [REDACTED] Feb/2015. [REDACTED]
- Modelos matemáticos de flujo subterráneo en el emplazamiento del ATC EN Villar de Cañas (Cuenca): Versión 2. Informe [REDACTED] Enero/2015. [REDACTED]
- Modelos matemáticos de flujo subterráneo en el emplazamiento del ATC en Villar de Cañas (Cuenca): versión actualizada y revisada. [REDACTED] Rev. 1, Dic/2014. [REDACTED]
- Estudio de caracterización del emplazamiento del ATC en Villar de Cañas (Cuenca) y de la zona de influencia de la instalación. Mayo-2015. [REDACTED]

Los informes se acompañan de un conjunto de mapas, así como la memoria y apéndices del modelo de simulación de flujo.

Los objetivos adoptados por Enresa para el estudio de 2013 son los que derivan del Plan de Caracterización del emplazamiento del ATC en Villar de Cañas (Cuenca) [REDACTED], están basados en 10 CFR 72.122 y son los siguientes:

- A. Definir el marco hidrogeológico regional, mediante la recopilación de información bibliográfica, incluyendo acuíferos subterráneos, las unidades hidrogeológicas asociadas, las áreas de recarga/descarga y la geometría de los acuíferos.
- B. Establecer el comportamiento de los acuíferos presentes en la zona del emplazamiento, incluyendo la definición geométrica de los mismos (superficie y potencia), los diferentes niveles independizados y/o conectados, los límites y sustrato impermeable, etc.
- C. Proporcionar información sobre las características hidráulicas verticales y horizontales para cada unidad hidrogeológica del emplazamiento mediante las técnicas propias de las investigaciones hidrogeológicas (ensayos en sondeos).
- D. Agrupar la información del estudio de las características hidráulicas de las formaciones en secciones separadas para cada unidad hidrogeológica diferenciada, incluyendo las siguientes características:
 - Porosidad total/efectiva (intersticial, fracturado, disuelto, y distinguir porosidad primaria y secundaria).
 - Conductividad y transmisividad del flujo hidráulico (saturado o no saturado).
 - Permeabilidad intrínseca (fracturas, meteorización, disolución).
 - Coeficiente de Flujo de almacenamiento (saturado o no saturado).
- E. Realizar estudios del funcionamiento hidrogeológico local de los niveles acuíferos, indicando el origen y localización de las recargas, descargas, y de las direcciones de flujo de las aguas subterráneas.
- F. Definir el esquema de funcionamiento hidrogeológico de la zona, representándolo en cortes hidrogeológicos
- G. Caracterizar el tipo y calidad e las aguas superficiales y subterráneas, describiendo la composición química de los cuerpos de agua adyacentes que potencialmente podrían verse afectados por las emisiones de la instalación
- H. Conocer las posibles vías de flujo y transporte para lo cual será necesario la elaboración de modelos preliminares del flujo subterráneo para la zona de influencia del emplazamiento

- I. Identificar las posibles vías de transferencia desde el sector de almacenamiento hacia el entorno, en particular hacia acuíferos o arroyos cercanos, así como acotar los niveles máximos que podrían alcanzar las aguas subterráneas en la zona del emplazamiento.
- J. Estimar los flujos de agua subterránea asociados y los tiempos de viaje al entorno accesible para describir el sistema de flujo de aguas subterráneas utilizando las características hidráulicas conocidas, identificando la ubicación, las tasas de recarga-descarga y las fugas para las principales unidades hidrogeológicas. Se incluirán los gradientes hidráulicos, direcciones de flujo y el potencial de variaciones; para la zona no saturada, se proporcionará información similar sobre el potencial negativo, características del caudal y flujos de filtración.
- K. Refinar el modelo conceptual de comportamiento hidrogeológico del medio basado en todos los datos descritos hasta ahora, en el que se tendrán en cuenta todos los rasgos geométricos que se consideren importantes para la reproducción de las observaciones con el modelo numérico (sondeos, galerías, arroyos, afloros, manantiales, recargas, formaciones, diques, fracturas, etc.).
- L. Elaborar un modelo numérico con el que determinar los máximos niveles bajo el emplazamiento e identificar las posibles vías de transferencia de masas desde el emplazamiento a acuíferos y/o arroyos (comportamiento frente al transporte de solutos).

Por último, el estudio hidrogeológico presentado por Enresa en diciembre de 2014 [REDACTED] [REDACTED] indica como objetivos tanto los derivados del Plan de Caracterización [REDACTED] como proporcionar la información hidrogeológica requerida para el diseño de la instalación y para el estudio de seguridad del emplazamiento, además de actualizar e integrar la información previa

10.2. Evaluación

10.2.1. Recopilación de información hidrogeológica

La recopilación bibliográfica realizada por los autores del informe se ha realizado sobre bases de datos y documentos del IGME y la Confederación del Guadiana, así como la propia Enresa (cartografía) y distintos Sistemas de Información Geográfica.

El informe final [REDACTED] mejora la recopilación realizada por Enresa en los informes previos, como consecuencia de las indicaciones realizadas en la PIA [REDACTED].

No obstante, en este informe no se han consultado a los siguientes documentos que se recomendaron en la citada PIA:

- MAGRAMA. "Estudio Hidrogeológico de la UH Sierra de Altomira", 1995 (entonces SGOP). M. A. G^o Jiménez. Resumido como artículo en "García Jiménez, M. A, Iglesias López, P. (1995). Estudio de la Unidad hidrogeológica de la Sierra de Altomira en la Cuenca del río Guadiana". VI Simposio de Hidrogeología (pp. 391-404). Sevilla. Asoc. Española de Hidrología Subterránea.

- Confederación Hidrográfica del Guadiana. Plan Hidrológico de la cuenca del Guadiana.
- IGME. "Mejora del conocimiento en las MASb Sierra de Altomira (041.001) y Rus Valdelobos (041.005)".

Por otra parte, aunque se ha consultado la referencia de "Protección y mejora de la calidad de las aguas subterráneas en las Unidades Hidrogeológicas de la cuenca alta". Eptisa-Inima (CHG, 2004), no se incluye en el informe referencia al mapa piezométrico de la masa de agua, que incluye los niveles de los acuíferos mesozoicos y que debería haber sido empleado como una referencia para establecer las condiciones de borde del modelo de simulación.

Aunque los estudios hidrogeológicos generales de la masa de agua subterránea se centran en los acuíferos explotables del mesozoico, la consulta de toda la información bibliográfica disponible y el intercambio de opiniones con los técnicos de IGME y CHG, principalmente, habría permitido definir con mejor criterio el marco hidrogeológico regional y las relaciones de flujo entre las distintas unidades mesozoicas y cenozoicas. A este respecto, en la inspección realizada en febrero de 2015, Enresa puso de manifiesto que la información elaborada en esos documentos, en particular los mapas piezométricos, no la consideraba suficientemente representativa para ser aplicada al emplazamiento, razón por la cual Enresa había empleado los datos en bruto proporcionados en las bases de datos.

Por tanto, la recopilación realizada se considera aceptable salvo en el uso final dado a la misma.

El inventario de puntos de agua existentes se considera que se ha realizado correctamente a escala regional y de emplazamiento, aunque los datos no se explotan en su totalidad, dado que no ha permitido la elaboración de un mapa piezométrico, ni siquiera aproximado, de los puntos más profundos y otro de los menos profundos y, al mismo tiempo, se han descartado documentos previos ya elaborados por otros organismos.

Por ello, se estima que los resultados del inventario no aportan información de valor para el estudio de detalle al que debían alimentar, al no marcar los rasgos piezométricos generales ni las direcciones de flujo en la zona de emplazamiento, límites y relaciones con otras unidades y el marco hidrogeológico regional.

En este aspecto, es notable el uso que se da a los datos del punto 222640007, que es el abastecimiento de Villar de Cañas y que es uno de los bordes del modelo de simulación elaborado, por controlar los tramos mesozoicos de base del terciario. Pese a que el nivel medio registrado en el punto es de 835 m s.n.m. en el modelo se adopta una cota piezométrica de más de 860 m s.n.m. (según la información aportada por Enresa durante la Inspección), correspondiente a otro punto alejado 2 km del límite del modelo de simulación puesto que el punto, del que se abastece Villar de Cañas, se bombea regularmente.

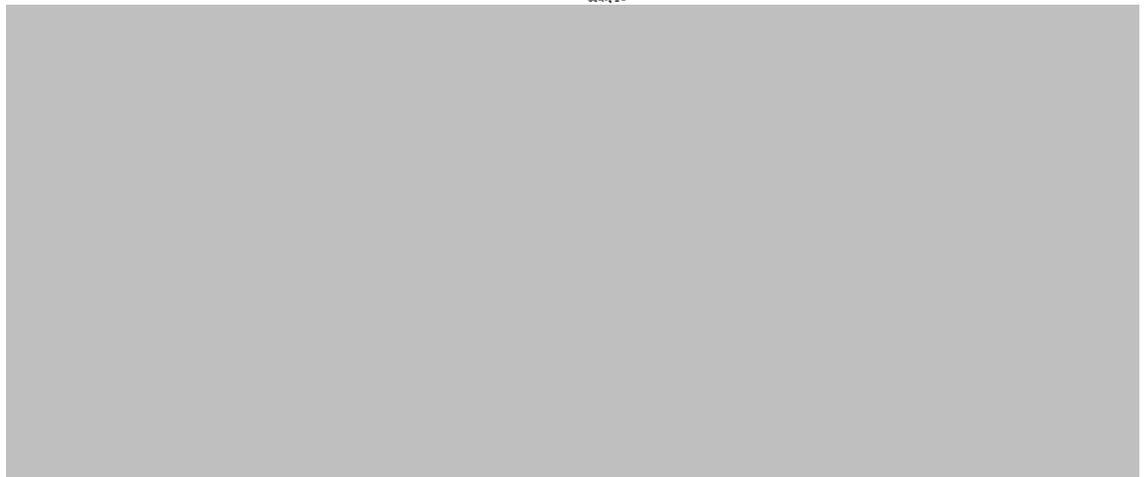
Aunque esta apreciación es correcta y no se debe utilizar de forma estricta un nivel dinámico, se considera que debía haberse realizado un registro continuo de nivel en este punto para identificar su nivel estático, así como una estimación de la afección de su extracción en los niveles de agua en el emplazamiento. Además, y como se constató en la Inspección llevada a cabo en febrero de 2015, el sondeo dispone de un registrador de caudal que puede proporcionar datos de interés para el diseño del sondeo que Enresa pretende realizar para el abastecimiento del ATC.

10.2.2. Marco geológico regional, estratigrafía y estructura

El marco geológico, así como la litoestratigrafía y la estructura recogidas en el documento para las escalas regional y de emplazamiento (80x80 km y 16x16 km, respectivamente) son, en general, adecuadas para los objetivos perseguidos, aunque los cortes que se presentan en el informe (como en los informes previos) son poco legibles y carecen de leyenda, lo que dificulta su comprensión.

A escala de detalle, sin embargo, la documentación recogida en el informe incluye cortes hidrogeológicos con la cota del nivel de agua (mapas HG-009 a HG-013) que proceden de los cortes geológicos pero en los que no se incluye la diferenciación de varios niveles en la unidad Yesos de Balanzas (YB); se han agrupado las unidades LBI y UI.

La figura siguiente recoge el corte geológico original (extraído del estudio geológico; mapa GE-019 rev. 1) y el hidrogeológico HG-009 correspondiente . Como se observa en el corte inferior, la unidad YB es única, mientras que en el superior está dividida en tres subunidades, y la unidad BLI está agrupada con la UI, mientras que en el superior están separadas. Además, en el corte hidrogeológico no se han incluido las excavaciones de los edificios previstos.



Para la visualización del emplazamiento en 3D, Enresa presenta un bloque diagrama en el estudio geológico a escala de detalle (plano MG-002, a escala 1:5.000 y 1:2.500), pero se echa en falta la inclusión del mismo en el estudio hidrogeológico como base para el esquema conceptual que elabora.

10.2.3. Sondeos de investigación

Número de sondeos y distribución espacial

El número de sondeos ejecutados en la zona desde mayo de 2012 a junio de 2014 ascendió a 58 (tabla 1.5-1 de [REDACTED], de los cuales 15 (los sondeos SVC-6bis, 7, 8, 9, 9bis, 9C, 10, 11, 11B, 12 a 17 y SG-16) han sido construidos para, entre otras funciones, permitir el control hidrogeológico del emplazamiento. Posteriormente, en el segundo semestre de 2014 se ejecutaron 91 sondeos más en la "zona nuclear" con fines fundamentalmente geotécnicos, como se describe en el informe de [REDACTED]. Además, algunos sondeos de investigación geológica - geotécnica han sido también entubados para servir como piezómetros.

Tabla 1.5-1- Campañas de sondeos

Sondeos	Campaña	Fecha Informe	Prof. (m)	Prof. Total (m)
SVC-1 a SVC-5	[REDACTED]	Mayo 2012	50-86	353,3
SVC-6 a SV-11	[REDACTED]	Marzo 2013	50-124	740,6
SG-1 a SG-21	[REDACTED]	Abril 2013	20-30	500,1
SVC-11B a SVC-17	[REDACTED]	Mayo 2014	10-194	530,4
SG-22 a SG-30	[REDACTED]	Junio 2014	50-68	494,5
DG-1 a DG-8 ^(*)	[REDACTED]	Junio 2014	32-50	382,0
SG-31 a SG-119 ^(**)	[REDACTED]	Diciembre 2014	20 a 35 m	2169,4

^(*) Sondeos a destroza excepto el DG-4.
^(**) Tres sondeos reperforados a 50 m para ensayos sísmicos y diez sondeos reperforados por debajo del nivel de cementación para construcción de piezómetros abiertos.

Respecto a la ejecución de los piezómetros realizados, así como los sondeos geotécnicos adaptados a este fin, la documentación presentada por Enresa en diciembre de 2014 cita el empleo de la guía regulatoria 1.132 (US NRC), así como las normas ASTM D5092, relativa al diseño de sondeos de control de aguas subterráneas y D5521, relativa al desarrollo de piezómetros. Los documentos previos a la fecha mencionada no indican la aplicación de ninguna normativa ni guía.

Sin embargo, no parece que tales guías se hayan aplicado en la red definida. Así, la guía 1.132 indica, respecto a la densidad y distribución de los puntos de control, que *deben ser suficientes para justificar todas las conclusiones presentadas*. Enresa no detalla el procedimiento y criterios seguidos para la ubicación de los mismos y durante la inspección llevada a cabo en febrero de 2015 no presentó ningún plan de investigación hidrogeológica previo al comienzo de los trabajos que sirviera de guía para la caracterización inicial de la zona. En un emplazamiento en el que el inventario de puntos de agua existentes no ha aportado un soporte hidrogeológico de base, la ubicación de los puntos de control hidrogeológico debe hacerse con criterios más amplios que los estrictamente geotécnicos.

Se observa que la red de sondeos construida está orientada hacia la zona en la que se ha previsto la construcción de las instalaciones y en la zona en que inicialmente se detectaron procesos de disolución de yesos, investigándose con mucha menos intensidad zonas algo más alejadas al oeste y norte de la instalación, necesarias para definir con claridad las condiciones de borde del sistema hidrogeológico y el dominio de

flujo, esencial para conocer el funcionamiento del sistema y evaluar la evolución de los niveles de agua en el emplazamiento.

En ausencia de otros datos, se considera que una distribución regular en superficie habría sido deseable para caracterizar la piezometría en planta, con instalación de puntos de control a distintas profundidades para identificar componentes verticales de flujo.

En consecuencia, la red de puntos disponibles no se considera suficientemente representativa para caracterizar el sistema de flujo ni para permitir una adecuada caracterización hidroquímica.

Ejecución de los sondeos

En lo que respecta a la construcción de los sondeos, el informe indica que se ha seguido la norma ASTM D5092 para el diseño e instalación de los mismos, pero se precisa que la norma fue adaptada con el criterio experto del equipo de trabajo dado que no es aplicada a terrenos como el del emplazamiento, que tiene contenidos en arcillas en ocasiones superiores al 20 %.

A este respecto, la norma D5092 indica que si no es aplicable la norma por elevados contenidos en arcillas, deben usarse otras tecnologías, pero Enresa no presenta ni discute entre varias tecnologías de perforación u otros métodos de medición de niveles y muestreo a varias profundidades, como habría sido deseable. De hecho, durante la inspección de febrero de 2015 se constató que Enresa no dispuso de un plan de investigación previo y carece de procedimientos propios de ejecución de piezómetros, y en los estudios para el ATC se han empleado los procedimientos de cada una de las empresas adjudicatarias.

En particular, el informe de Enresa de diciembre de 2014 [REDACTED] indica que los sondeos perforados por completo en los yesos masivos de la unidad YB nunca fue necesario revestirlos. Esta ausencia de empaque de grava y aislamiento de tramos con bentonita puede haber conducido a una mezcla de agua a lo largo de toda la columna del sondeo y la posible entrada de agua de escorrentía superficial, lo que no da garantías sobre la calidad de las muestras de agua tomadas en los sondeos así instalados y la representatividad de sus resultados.

Por otra parte, el empleo de agua para la perforación se considera un grave defecto constructivo, pues sus características geoquímicas son distintas al agua intersticial original y puede haber generado disoluciones o creación de vía preferentes de flujo con la superficie.

El uso de agua de perforación también puede haber alterado la calidad de algunas muestras de agua, pues hay puntos en los que la renovación en el interior del sondeo es muy lenta. Este aspecto pudo ser comprobado en la visita al emplazamiento realizada el 22 de septiembre de 2014, con motivo de la campaña de perforación de los sondeos SG-31 a SG-109 de investigación geotécnica en la zona de las instalaciones previstas. En este caso se observó la utilización de agua durante la perforación y pese a que algunos

de ellos se iban a instalar como piezómetros, se mantuvieron abiertos, sin entubar, durante un tiempo superior a tres meses en el que ese agua de perforación debió, necesariamente, percolar a los distintos niveles de litologías atravesadas por el sondeo, reaccionando con los minerales presentes produciendo hinchamientos o disoluciones no deseados.

Este uso de agua en la perforación también ha podido alterar el testigo en las muestras tomadas para ensayos geotécnicos y mineralógicos.

Otro aspecto constatado en la documentación presentada por Enresa y durante la inspección realizada es la no utilización de centradores de la tubería piezométrica. Esta ausencia es justificada por Enresa [REDACTED] por la profundidad, normalmente inferior a 100 m, de los sondeos. Esta justificación no se considera tal pues una desviación de sólo un grado en un sondeo de 25 m implica un desplazamiento en la horizontal de 44 cm, muy superior al diámetro del sondeo, y que supone, necesariamente, que la tubería se pegue a la pared del sondeo, limitando o anulando la eficacia de los taponos de bentonita y el aislamiento que debe haber entre tramos para la obtención de muestras de agua o medidas de nivel a distintas profundidades.

En lo que respecta a la limpieza y desarrollo del sondeo, Enresa indica que ésta se ha realizado de acuerdo con la norma ASTM D5521, pero no consta en la información presentada ni el método empleado ni la duración del mismo, así como el control de parámetros inestables durante el mismo.

Por último, también se considera un grave defecto constructivo el empleo de tuberías ranuradas manualmente (en varios sondeos de la serie SVC, como se recoge en el anejo fotográfico nº 6 de la [REDACTED]), en lugar de ranurados de fábrica que proporcionan una mayor superficie de paso y mejores características para la conexión hidráulica con la formación.

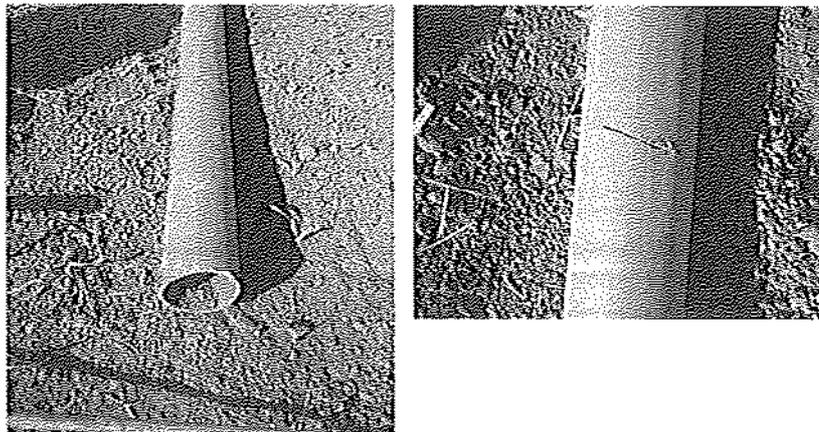


Foto 6: Tubería ranurada PVC instalada en sondeos SG (Octubre 2013).

Una correcta caracterización de la zona desde el punto de vista de la piezometría necesita de un amplio conjunto de puntos de control a distintas profundidades que, además, puedan muestrearse regularmente. En esta línea, el empleo de puntos

ranurados en toda su longitud como el uso de piezómetros eléctricos en tramos cementados se consideran poco apropiados por cuanto los primeros no permiten identificar los gradientes verticales que existen en el emplazamiento, y los segundos no permiten el muestreo ni la sustitución o comprobación manual en caso de mal funcionamiento.

Según la información aportada durante la inspección, Enresa decidió el uso de piezómetros eléctricos en tramos cementados por la necesidad de obtener datos con una cierta urgencia dado el tiempo que algunos piezómetros tardaron en dar un nivel estable, y no valoró la posibilidad del empleo de otras tecnologías, como los piezómetros multitubo abiertos en tramos de pequeña longitud.

Según la información aportada por Enresa [REDACTED], existen varios sondeos instalados con piezómetros eléctricos que han sido eliminados de las redes de control debido a eventuales defectos constructivos:

- SVC-7, afectado por el ensayo de bombeo cercano en SG-16, presenta zonas de pérdida total del agua de perforación a 7, 10 y 20 m de profundidad cuando la zona de admisión se fijó entre 55 y 83,6 m de profundidad. Enresa justifica esta conexión entre los niveles superiores y la zona de control por una mala unión de las tuberías, aunque este mal funcionamiento puede también ser debido a un fallo en el tapón de bentonita, derivado de la mencionada ausencia de centradores de la tubería, lo que conduciría a una comunicación en vertical en todo el interior del sondeo.
- Enresa emplea el mismo argumento para el sondeo SVC-9, pero también puede haber ocurrido que un defectuoso tapón de bentonita entre 76 y 82 m de profundidad por ausencia de centrado haya conducido a la comunicación del agua en todos los niveles del sondeo.
- Respecto a los sondeos SVC-9C, 11 y 12, Enresa indica problemas en la entubación pero manifiesta que "no tiene claro" el motivo del comportamiento piezométrico registrado. Estos puntos presentan cotas piezométricas muy bajas que pueden indicar flujos descendentes y zonas de descarga regionales muy alejadas del emplazamiento.

Los puntos eliminados, todos ellos instrumentados con piezómetros eléctricos a varias profundidades, presentan valores de piezometría que no se ajustan a los esperados según el esquema conceptual previo planteado por Enresa, y no han sido sustituidos por otros equivalentes en el momento de la redacción de este informe.

Así, del total de 38 puntos de control con piezómetros eléctricos, Enresa ha descartado por distintos motivos 11 puntos, lo que supone un porcentaje del 29 % de datos anómalos.

Los motivos aducidos por Enresa no quedan, por tanto, claramente explicados o justificados, y los datos aportados por algunos de estos puntos pueden modificar el esquema conceptual de flujo en el que se basa Enresa. La instalación de piezómetros

sustitutivos, así como la ampliación de la red de piezometría, deben aclarar estos aspectos.

Las deficiencias constructivas de los sondeos son tales que, por ejemplo, el sondeo SVC 5 (de 50 m), que pertenece a la red de control de piezometría, no tiene tramo cementado ni emboquille y la tubería de PVC instalada está ranurada a mano, por lo que la escorrentía superficial puede entrar a la zona de control con agua de lluvia y elevada capacidad de disolución. Lo mismo aplica a la construcción de los sondeos SVC-3 y 4, de 86 y 72 m, aunque estos no forman parte de la red de control de piezometría establecida por Enresa dado que fueron sellados en 2012.

Respecto a la distribución espacial de los puntos de control de la piezometría, Enresa ha eliminado de la red de control presentada en su informe de junio de 2014 varios puntos. Tras esta eliminación de los datos de los sondeos SVC-7, 9, 9C, 11B y 12 y los sondeos puestos por Enresa "en cuarentena", de los 61 puntos de media en 36 sondeos que había se ha pasado a 37 puntos en 31 sondeos [REDACTED].

De los puntos restantes, sólo 8 sondeos se encuentran fuera del "sector nuclear" y en el "alforamiento yesífero al este de la zona nuclear". Este número de puntos se considera insuficiente para definir con claridad los límites del dominio de flujo y las condiciones de borde.

La figura siguiente recoge el número de puntos de control de piezometría por sectores de 250x250 m en la zona del emplazamiento y alrededores, de acuerdo con la información presentada por Enresa (Informe trimestral de medidas piezométricas de noviembre de 2014. [REDACTED]). No se han considerado los puntos que Enresa ha descartado por distintos motivos. Como se observa, hay una mayor densidad de puntos en la zona prevista para las instalaciones, aun sin considerar los piezómetros que Enresa tiene "en cuarentena" por datos no suficientemente justificados, pero es muy reducida en cualquier caso en las zonas exteriores.



10.2.4. Parámetros hidrogeológicos

En lo que respecta a los parámetros hidrogeológicos a escala de emplazamiento el documento de Enresa indica que "*apenas existe información*" sobre los parámetros hidráulicos y se recogen los datos de los ensayos a escala de detalle. En este punto, Enresa no aporta cortes hidrogeológicos con los parámetros asignados a cada unidad litológica definida, para su empleo posterior en el esquema conceptual de flujo y modelo matemático de simulación. Es en el informe de modelación cuando se realiza ese ejercicio de síntesis. Igualmente, Enresa no ha elaborado mapas de distribución en planta ni en perfil de parámetros hidrogeológicos, como se indicó en el Plan de Caracterización [REDACTED].

En la inspección llevada a cabo en febrero de 2015, Enresa explicó que los ensayos realizados solo permiten obtener la conductividad hidráulica horizontal y que no era posible trazar isóneas, aunque la Inspección evidenció que, con los datos de las figuras que el titular incluye en sus informes (figura 6.2 "parámetros hidráulicos en el entorno del futuro emplazamiento del ATC" del informe [REDACTED]), es posible trazar isóneas de conductividad hidráulica y mostró un esquema de esa posible distribución espacial.

A escala de detalle, el estudio de Enresa valora los distintos tipos de ensayos, concluyendo que los ensayos de tipo Lugeon no aportan datos "cuantitativamente fiables" de la conductividad hidráulica, y en la contestación a la PIA indica "Como es sabido el ensayo Lugeon es un ensayo indicador que no permite cuantificar la conductividad hidráulica". Como consecuencia de esta valoración, de los 106 ensayos realizados se descartan los 71 Lugeon, lo que deja como resultado 35 ensayos realizados en 27 sondeos para la valoración de las propiedades de un emplazamiento que se caracteriza como de "elevada heterogeneidad litológica". Enresa no presenta un programa previo de ensayos, con una metodología previamente definida y una estrategia a seguir.

Respecto a los ensayos hidráulicos (24 slug tests, 3 de pulso y 8 de bombeo/inyección), la gran mayoría se concentran en el cerro previsto para las instalaciones. De todos ellos, sólo uno es un ensayo de bombeo con piezómetros (SG-16), mientras que los demás son ensayos en piezómetro que, dado su poco alcance en horizontal, aportan una información muy local.

Por otra parte, algunos de estos ensayos presentan defectos de ejecución que conllevan resultados discutibles que no se contrastan de forma suficiente:

- Los ensayos slug-test deben realizarse, como indica la norma ASTM D4044 mediante modificación instantánea del nivel. Enresa ha realizado varios ensayos de este tipo modificando el nivel estático con una bomba de aspiración, lo que ha llevado en ocasiones varios minutos, incumpliendo la recomendación de la norma. Este es el caso de SVC-17, en que la depresión duró 1 minuto y la recuperación 4,



- Enresa documenta ensayos de bombeo de duración insuficiente²⁸ (por ejemplo en SVC-9C, de 45 minutos). Más duración del ensayo implica que el radio de influencia del mismo será mayor, afectando a un mayor volumen de medio y proporcionando una valor promedio más representativo del flujo en la zona y, por tanto, de los parámetros hidrogeológicos.

Por otra parte, Enresa hace valoraciones erróneas, como que el modelo de Theis para la interpretación de ensayos de bombeo supone un acuífero libre (cuando es confinado); que no existen ensayos slug-test de larga duración (algunos duran días), o que la introducción de un objeto dentro del sondeo para realizar la variación del nivel sólo se puede hacer en sondeos abiertos (en la tubería de acceso de un sondeo obturado con packers se puede hacer igualmente).

La valoración global que Enresa hace de la conductividad hidráulica en el emplazamiento es de valores bajos, entre 10^{-3} y 10^{-9} m/d, aunque en la figura 6.e de la [REDACTED] figuran valores superiores. El valor más elevado fue el obtenido del ensayo de bombeo realizado en la unidad de Yesos de Balanzas (sondeo SG-16) con un resultado de 100 m/d sobre el que informe indica: *“todo hace pensar que se trata de una formación acuífera superficial de poca entidad”* debido a la existencia de un cierto vaciado. Enresa no justifica por qué una formación acuífera que aporta esos caudales de 12,5 l/s no es muy relevante en el marco de un conjunto que se valora globalmente como de baja permeabilidad y que debería entonces calificarse como acuitardo. Un contraste de conductividad tan importante supone que un muy elevado porcentaje del agua subterránea circulante lo hará por esas zonas más transmisivas, y que estas zonas recogerán buena parte de las aguas de escorrentía superficial.

²⁸ EPA, Technical guidance manual for hydrogeologic investigations and ground water monitoring. Chapter 4. Slug and pumping tests. February 1995

Respecto a este ensayo (el de mayor caudal y duración de toda la campaña y llevado a cabo en SG-16 entre el 10 y 13/12/2013), la ficha presentada tiene las siguientes deficiencias:

- El caudal medio de bombeo de 12.65 l/s (45.5 m³/h), es superior al rango del caudalímetro empleado (0-25 m³/h) en el ensayo.
- El tercer escalón de bombeo Q3 se extiende entre el minuto 82 y el 35936, lo que supone casi 25 días de bombeo, cuando en realidad fue inferior a 2 días.
- El nivel freático inicial se indica como 1.25 m, y el final 2.58 (1.33 m de diferencia), pero se indica que el descenso al final de bombeo es 1.93 m
- No se indica el punto de descarga del agua bombeada (para asegurar que no se ha producido recirculación) ni se controló la conductividad y temperatura del agua bombeada, ni se adjuntan curvas de isodescensos para una correcta evaluación de eventuales anisotropías. Durante la Inspección de febrero de 2015 Enresa indicó que el vertido se realizó a 150 m del bombeo, mediante manguera pero que, no obstante, este ensayo se repetirá durante 2015.

Una vez eliminados los ensayos Lugeon como pruebas válidas para caracterizar la conductividad hidráulica de los materiales, los valores de este parámetro en los distintos materiales del emplazamiento [REDACTED] no se corresponden con la tabla que presenta Enresa como resumen [REDACTED]. En esta tabla, Enresa asigna un valor inferior a 10⁻⁵ m/d para la unidad LBS pese a que los resultados de las pruebas de permeabilidad válidas en esta unidad dan una media aritmética de 0,14 m/d y una media geométrica de 0,01, muy alejados del valor medio asignado por Enresa.

Sondeo	Tramo	Ensayo	T (m ² /d)	K (m/d)
SG-10	1.75-20.2	Slug	1.70E-04	8.40E-05
SG-13	1.74-29.8	Slug	3.00E-03	1.10E-03
SG-15	2.49-20.2	Slug	2.10E-01	5.50E-02
SG-20	2.17-15.2	Slug	6.90E-01	2.50E-01
SG-21	1.92-15.2	Slug	1.80E+00	5.60E-01
SVC-3	3.47-86.4	Bombeo	1.70E-02	1.60E-03

En lo que respecta a la valoración de la anisotropía de los materiales, y pese a que al describir el funcionamiento hidráulico del sistema Enresa indica que se trata de "un medio poroso, heterogéneo y anisótropo", y que los resultados del modelo de simulación elaborado por Enresa indican que "los niveles calculados en la unidad LBS son sensibles a la anisotropía vertical ya que en esta formación los niveles son sensibles a cualquier cambio de la conductividad hidráulica" todas las unidades consideradas son isotropas tanto en la tabla resumen del estudio hidrogeológico como en los valores empleados en el propio modelo de simulación [REDACTED].

En lo relativo a los coeficientes de almacenamiento, los valores que aporta el estudio son bibliográficos, no aportando ningún resultado de ensayos de campo salvo los que se desprenden del ensayo de bombeo en SG-16 (entre $1,8 \times 10^{-2}$ y $6,1 \times 10^{-1}$), e incluso en la valoración de los descensos del sondeo de abastecimiento proyectado para las instalaciones del ATC se emplea un coeficiente de almacenamiento de 1,8 (que se obtuvo del ajuste de los datos del ensayo de bombeo sin piezómetros en SVC-10) que está muy alejado de los 10^{-3} - 10^{-4} supuestos a partir de la bibliografía.

A este respecto, los efectos potenciales de un sondeo de abastecimiento para el ATC no son mencionados en los Informes de junio y diciembre de 2014, ni en ninguna de las modelaciones. Sólo el primer informe, de 2013 indica que este bombeo produciría descensos de entre 12 y 38 m para 18 horas de bombeo, pero no se valora el comportamiento del medio ante un funcionamiento periódico de arranque-parada, como hacen normalmente los sondeos de abastecimiento, ni los efectos que esos elevados descensos tendrían en el sistema hidrogeológico.

Durante la inspección de febrero de 2015, Enresa indicó que la Confederación del Guadiana les ha otorgado una concesión para la extracción de 15.000 m^3 anuales, pero solicitarán su ampliación a 50.000 m^3 , lo que supone $1,6 \text{ l/s}$ de bombeo en continuo. Este caudal de extracción y sus efectos sobre los niveles de la zona no se ha considerado en la modelación, aunque Enresa indicó que lo incluiría en las modelaciones posteriores.

En conjunto, los procedimientos de ensayo y la representatividad de los resultados aportados por el estudio no se pueden considerar suficientes para caracterizar el sistema de flujo en el emplazamiento.

10.2.5. Piezometría

La definición de la piezometría, espacialmente y a distintas profundidades es un elemento fundamental de un estudio hidrogeológico y una herramienta básica para establecer condiciones de borde del dominio de flujo y para definir la zona de interacción del agua subterránea con la zona de ubicación de las instalaciones del ATC, así como para establecer las condiciones para un hipotético transporte de contaminantes desde la instalación.

Cuando existen componentes verticales de flujo, como es el caso, el movimiento del agua subterránea es tridimensional y los mapas de isopiezas deben realizarse teniendo éste hecho en cuenta. Sólo en sistemas bidimensionales, más simples conceptualmente, en los que el flujo es básicamente plano, es suficiente presentar un único plano o mapa de isopiezas.

Además, en las zonas en que el flujo es tridimensional es esencial disponer de datos de piezometría a distinta profundidad, para poder representar mapas a esas diferentes profundidades, o separados para cada unidad en la que se ha controlado la piezometría y, por diferencia, se presentan también mapas de gradientes verticales. De esta forma es posible identificar claramente las zonas de recarga y descarga y las direcciones de flujo.

Así se considera también en el Plan de Caracterización del Emplazamiento [REDACTED], que indica como objetivo establecer las “direcciones generales de flujos” y “cortes donde se representará adecuadamente el funcionamiento hidrogeológico general a escala regional”

La documentación presentada en el informe a escala regional incluye sólo un plano piezométrico de un modelo de todo el alto Guadiana, pese a que están disponibles en las fuentes bibliográficas consultadas por Enresa planos para la Masa de Sierra de Altomira (por ejemplo el documento de CHG, 2004, “Protección y Mejora de la calidad de las aguas subterráneas en las Unidades Hidrogeológicas de la cuenca alta”). Como ya se ha indicado, en la inspección realizada en febrero de 2015, Enresa puso de manifiesto que la información elaborada en esos documentos, en particular los mapas piezométricos, no la consideraba suficientemente representativa para ser aplicada al emplazamiento, razón por la cual Enresa había empleado los datos en bruto proporcionados en las bases de datos.

A escala de emplazamiento la información es también insuficiente, y se limita a una descripción semicuantitativa. El plano HG-005 [REDACTED] presenta direcciones de flujo pero, aun así, en el informe se declara que “no ha sido posible dibujar unas isopiezas fiables en el mapa hidrogeológico”. Esta carencia de información impide establecer condiciones de borde que limiten el esquema de flujo en el detalle del emplazamiento.

Esta situación se considera un serio déficit que tiene que ser subsanado mediante la ampliación de la red de piezometría hasta zonas suficientemente alejadas de las instalaciones como para definir límites hidrogeológicos razonables.

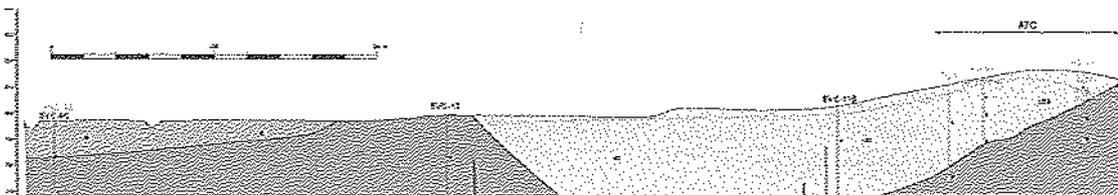
A escala de detalle, los datos proporcionados por la red piezométrica indican la existencia de importantes componentes verticales de flujo tanto dentro de las unidades litológicas terciarias (p. ej. Sondeos SG-11, SG-13, SVC-8), como entre éstas y los acuíferos mesozoicos (si se comparan los datos del emplazamiento con los mapas regionales referidos en el apartado de recopilación bibliográfica). Estas diferencias de piezometría deberían haberse representado en forma de equipotenciales en los cortes hidrogeológicos, que Enresa no ha incluido para dar soporte al esquema conceptual.

Por todo ello, la piezometría recogida en el informe se considera insuficiente para definir las direcciones de flujo del agua subterráneas, los gradientes hidráulicos y las relaciones entre unidades. En los mapas presentados por Enresa la superficie en que la piezometría y las líneas de flujo no son supuestas nunca es superior a 1 km² de un área total de 4 km² que se considera como dominio del sistema hidrogeológico en conexión con la instalación.

En lo que respecta a los datos de piezometría medida en los sondeos hidrogeológicos, y hechas las salvedades antes mencionadas respecto a su posible falta de representatividad por sus características constructivas, Enresa no aclara, por su gran relevancia, la piezometría en el entorno del río Záncara, que invalida su consideración como zona de descarga en el esquema conceptual propuesto por Enresa. Así, tras la eliminación por parte de Enresa de los datos de los piezómetros instalados en SVC-9 y

SVC-9C, en esa zona sólo queda un punto (SVC-9B) de 13 m de profundidad, que aporta un dato de piezometría del aluvial cuaternario pero no permite definir esa zona como área de descarga ni establece la relación con la piezometría de los materiales terciarios sobre los que se apoya la instalación

Este aspecto se considera muy importante pues, como se indica, gran parte del esquema conceptual de flujo en el emplazamiento y el modelo matemático de simulación (con todas sus predicciones) están basados en la hipótesis de considerar que el río Zancara es el punto de descarga final de todo el sistema acuífero mesozoico y terciario, y esta hipótesis no tiene, por ahora, datos que la sustenten. Así como el flujo radial desde el área nuclear y el efecto de drenaje que se produce en la vaguada al este del mismo sí están soportados por datos piezométricos, al oeste del área nuclear únicamente se cuenta con un punto de control (SVC-9C), situado a más de 1 km de distancia, que controla unos depósitos aluviales diferentes a los de la zona nuclear (ver figura siguiente, extraída del mapa HG-009). Este único dato es insuficiente para justificar el esquema conceptual de flujo propuesto por Enresa.



Otro dato especialmente relevante es la existencia de medidas de cota piezométrica de 770 m s.n.m. en el punto SVC-11 que no está discutida ni justificada, y que implicaría la existencia de una descarga regional por debajo del río Zancara no contemplada en el esquema de flujo. Enresa justifica esta piezometría por la escasa permeabilidad de los materiales atravesados por el sondeo, que ha impedido la obtención de un nivel real. Esta suposición puede ser correcta pero debe ser contrastada. A este respecto, Enresa indicó durante la inspección de febrero de 2015 que tiene previsto instalar un nuevo sondeo en sustitución del sondeo SVC-11B eliminado.

Igualmente, en los datos presentados por Enresa hasta el informe hidrogeológico de mayo de 2014 [REDACTED] se encuentran varios datos de piezometría en torno a la cota 785 m s.n.m. (en los sondeos SVC-9C, SVC-12 T1 y SVC-11B) que no se justifican en el marco del esquema conceptual de flujo planteado por Enresa y que son los únicos puntos al oeste de la "zona nuclear". Al igual que SVC-11, estos datos han sido descartados por no ajustarse al esquema conceptual previo sin que hasta ahora existan puntos sustitutivos que precisen la piezometría profunda en esa zona.

En lo referente a los cortes hidrogeológicos, Enresa aporta cortes hidrogeológicos E-O transversales a la estratificación y N-S con isopiezas (mapas HG-009 a HG-013 de [REDACTED]), pero esos cortes no incluyen las líneas de flujo que son fundamentales para dar soporte al esquema conceptual de flujo, y en éstos no se encaja la piezometría observada en los sondeos a distinta profundidad. Estos perfiles tienen que ser realizados a una escala tal (1:500 o 1:100) ya que servirán de base para la calibración del modelo de simulación. Es de reseñar que los dos puntos más occidentales de la red de control

(SVC.9B y SVC-11) presentan datos que sólo aportan incertidumbre al esquema presentado, toda vez que se han eliminado muchos puntos de control en esa zona.

Otro aspecto importante es que Enresa no presenta estimaciones de los valores máximos y mínimos de la cota piezométrica en el emplazamiento, necesarias para estimar la capa activa desde el punto de vista del comportamiento geotécnico del área de ubicación de las instalaciones.

Respecto a los dos mapas piezométricos presentados por Enresa [REDACTED] para Abril y Septiembre de 2014 (mapas HG-007 y 008, respectivamente) y los perfiles hidrogeológicos (HG-009 a HG-013) incorporan la distribución litológica, pero no incluyen ni piezometrías profundas ni descripciones en planta y perfil de la permeabilidad de los materiales, dejando ese trabajo para el informe de modelación, lo que lo limita a la distribución de conductividades hidráulicas a un insuficiente perfil vertical.

Respecto a los mapas piezométricos elaborados con los datos de Abril de 2014, debe mencionarse la distinta interpretación que Enresa ha efectuado en dos informes diferentes: Informe de caracterización de Mayo de 2015 [REDACTED] diferente al del "Informe de Actualización de datos y resultados" elaborado en enero de 2015 [REDACTED]. Tanto el trazado de las isopiezas (ver figuras siguiente) como el valor de cota piezométrica de algunos sondeos (p.ej SVC-14, SVC-13) son diferentes.





Respecto a los cortes, algunos de ellos, como los C1, C3i y C5i ponen de manifiesto, como indica el informe, que la divisoria piezométrica está desplazada al oeste respecto a la topográfica. Ello es indicativo del efecto de drenaje que ejerce la vaguada situada al este por su muy superior conductividad hidráulica. Este desplazamiento al oeste es similar al que producen extracciones de agua subterránea y se observa, por ejemplo, en la divisoria entre las cuencas del Guadiana y el Júcar, que se ubica mucho más al oeste de la divisoria topográfica por las fuertes extracciones de aguas subterráneas que se hacen en la cuenca del Júcar para regadío. Por ello, un drenaje acusado en esa vaguada por un incremento en la disolución de los yesos de esa zona inducirá un drenaje en el área nuclear y un desplazamiento del domo piezométrico cada vez más hacia el oeste.

Esta eventualidad, junto con la posible reducción en la recarga por la reducción en infiltración tras la construcción en la zona nuclear y el eventual descenso producido por una captación de abastecimiento de las instalaciones tiene que ser considerada por Enresa en el diseño de la instalación por cuanto condiciona una importante variación diferencia de la potencia de la zona no saturada.

10.2.6. Balance hídrico

En el Plan de Caracterización del Emplazamiento [REDACTED] se indica "Se identificarán las vías creíbles para el transporte de agua subterránea desde el diseño conceptual al medio ambiente, identificando la ubicación, las tasas de recarga-descarga y las fugas para las principales unidades hidrogeológicas. Se incluirán los gradientes hidráulicos, direcciones de flujo y el potencial de variaciones; para la zona no saturada, se

proporcionará información similar sobre el potencial negativo, características del caudal y flujos de filtración”.

El estudio elaborado recoge un balance hídrico a escala regional a nivel de la masa de agua subterránea pero a escala de emplazamiento no se aporta información, y a escala de detalle se presentan resultados medios para el periodo 2004-2014 estimados a partir del ajuste de los niveles piezométricos en tres puntos entre 2012 y 2014 mediante el modelo Visual Balan.

Los resultados obtenidos por este modelo arrojan valores medios de tasas de recarga, evapotranspiración y escorrentía superficial, pero no se valoran los caudales totales anuales correspondientes y los ajustes no han sido calibrados con datos de caudales además de con los datos de los tres piezómetros. Esta relevancia es puesta de manifiesto en el análisis de incertidumbres del informe del modelo de simulación realizado por Enresa, que concluye que la recarga calculada puede estar afectada por errores importantes.

Es destacable también la importante discrepancia entre los valores estimados por este método (Visual Balan) y las estimaciones del balance de cloruro en la unidad de Lutitas de Balanzas Superiores (2 mm en un caso y entre 0,2-65 en otro). Estas variaciones, calificadas de “pequeñas incoherencias” no quedan resueltas ni caracterizadas en el análisis de sensibilidad

En lo que respecta a la selección de puntos de control para el cálculo, Enresa no se justifica la selección del punto SG-13 para la unidad LBS cuando SG-2 se encuentra en la misma unidad y su serie piezométrica es más larga, con un mayor rango de oscilación y una respuesta más acusada frente a las precipitaciones.

La existencia de un balance hídrico de la zona, junto con los esquemas piezométricos son elementos fundamentales para el establecimiento de un esquema conceptual y un posterior modelo matemático de simulación que, sin estos datos, no será posible calibrar adecuadamente.

Sobre la base de lo anterior, se estima que Enresa no ha cumplido el objetivo planteado y la información proporcionada es insuficiente, de modo que debe aportar un balance hídrico, aunque sea tentativo, a escala de emplazamiento y escala de detalle del que puedan extraerse unos caudales de agua circulantes en cada unidad litológica, aportes/salidas externos, evapotranspiración, y todos los componentes que puedan ser representativos de la circulación subterránea en el dominio de flujo.

10.2.7. Esquema conceptual de funcionamiento

El Plan de Caracterización del Emplazamiento [REDACTED] indica, entre otras cosas:

- *“Se identificarán las posibles vías de transferencia desde el sector de almacenamiento hacia el entorno, en particular hacia acuíferos o arroyos cercanos, así como acotar los niveles máximos que podrían alcanzar las aguas subterráneas en la zona del emplazamiento.”*

- *“Se incluirán los gradientes hidráulicos, direcciones de flujo y el potencial de variaciones; para la zona no saturada, se proporcionará información similar sobre el potencial negativo, características del caudal y flujos de filtración”*
- *“Se describirá el método de determinación y los rangos de los valores de las velocidades intersticiales promedio”*

El esquema conceptual de funcionamiento hidrogeológico es, junto con el balance, un elemento clave para aplicar después un modelo predictivo de simulación y plantear tanto el transporte de especies en disolución como los procesos que intervienen en la relación agua-suelo-estructuras.

A escala regional, el esquema general de funcionamiento está descrito cualitativamente en el informe aunque se echa en falta un apoyo en forma de perfiles verticales, bloques diagrama y esquemas en los que se recojan los conceptos (recarga, aportes laterales, evapotranspiración, salidas a ríos, etc.) y los valores (rangos) de volumen de agua circulante. Los juicios y valoraciones son, en general, cualitativos, y no se adjuntan mapas piezométricos que puedan justificar un esquema conceptual de flujo.

El único perfil regional que Enresa incluye en el informe es un corte geológico con 4 km de escala vertical (Figura 5.1 Estructuras sinclinales definidas en la zona de estudio a escala de emplazamiento), para pasar finalmente, sin cortes a escalas intermedias, a un único corte a escala de detalle (figura 6.22 en ).

En este sentido, y por su relevancia de cara a los objetivos finales del estudio, el esquema conceptual regional debe aportar información sobre el intercambio lateral o vertical entre las formaciones mesozoicas y terciarias, así como el papel que, en el entorno de la zona de estudio, juega el río Záncara.

A escala de emplazamiento Enresa no proporciona información adicional, de modo que se menciona la recarga por infiltración del agua de lluvia y la descarga de corto recorrido a cursos de agua superficial cercanos, pero no se incluyen aportes externos o las zonas de descarga, la posibilidad de evapotranspiración, etc..

A escala de detalle, un modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico debe también estar apoyado tanto con un esquema de entradas-salidas como con valores de piezometría, caudales circulantes y líneas de flujo.

El esquema que plantea Enresa es, en síntesis, el siguiente:

- El medio presenta una elevada heterogeneidad litológica y variabilidad de las propiedades hidráulicas
- La permeabilidad es en general baja o muy baja, salvo en zonas concretas
- El medio es poroso, heterogéneo y anisótropo, con flujos de aguas subterráneas fundamentalmente someros y de carácter local junto a otros más profundos y con mayor recorrido

- Los flujos divergen desde la "zona nuclear" hacia el río Záncara y hacia la vaguada situada al este, en la que hay yesos afectados por procesos de disolución y una conductividad hidráulica mucho más elevada que el resto. Esta zona actúa como colector de flujos locales que se dirigen al N y NO
- Existen flujos verticales descendentes en la "zona nuclear"
- La recarga se produce por infiltración del agua de lluvia y por aporte lateral desde las formaciones del mesozoico, aunque este aporte debe ser reducido
- La descarga de los flujos locales y profundos se produce en el Záncara al oeste y en la vaguada al este de la "zona nuclear", desde donde también circula al Záncara

Enresa aporta en este apartado un único corte hidrogeológico esquemático de la zona (figura 6.22) para apoyar el esquema planteado y la hipótesis planteada por Enresa durante la inspección de febrero de 2015 de que el flujo subterráneo es principalmente este-oeste y que las componentes sur-norte son despreciables.

Así mismo, el informe proporciona en este apartado valores medios de la conductividad hidráulica para los distintos materiales, y se citan valores muy elevados, de hasta 10^{-1} m/s, para las lutitas inferiores de Balanzas que no habían sido mencionadas en el apartado de parámetros hidráulicos.

En apartados anteriores de esta evaluación ya se han comentado las incertidumbres en lo que respecta a la piezometría y los parámetros hidráulicos del emplazamiento, pero sobre el esquema conceptual planteado por Enresa deben comentarse los siguientes aspectos:

- El medio en la zona del emplazamiento no es poroso, aunque se trate como tal para simplificar. Se trata de un medio compuesto en elevadas proporciones por material soluble en el que se pueden desarrollar vías preferentes de circulación del agua subterránea y en el que la porosidad y permeabilidad del medio pueden variar con el tiempo si se cambian las condiciones actuales.
- El esquema conceptual planeado no está acompañado de un balance hidráulico tentativo con el que puedan compararse los resultados del modelo de simulación posterior. Por tanto, no se estima el volumen de recarga, evapotranspiración, aporte lateral desde el mesozoico, o el volumen de descarga final.
- El perfil planteado no aclara el sentido de flujo al este del área nuclear y del sondeo SG-13. Así, el flujo superficial tiene dirección este mientras que el profundo es hacia el oeste. Esta configuración requiere de zonas de estancamiento, que Enresa no ha incluido en este informe, y sí aparecen en los resultados del modelo de simulación.
- El esquema planteado no resuelve el papel del río Záncara en el esquema de flujo, puesto que incluye el sondeo SVC-9C, que ponía de manifiesto la existencia de un flujo con sentido descendente, pero ha sido eliminado de la red

por Enresa. Así, la existencia de un único sondeo de 13 m en esa zona no garantiza que el río Zánacara sea el eje de descarga regional, y no puede descartarse con los datos presentados que el flujo subterráneo pase bajo el río Zánacara a otros puntos de descarga más alejados. A este respecto, en el informe del sondeo SVC-9C [REDACTED], recogía en sus conclusiones: *“Según el registro de los piezómetros instalados, los gradientes hidráulicos verticales en la zona situada en el río Zánacara son descendentes. Este hecho coincide con las tendencias de los niveles piezométricos durante las obturaciones llevadas a cabo en el sondeo SVC-9 en los ensayos de caracterización hidráulica de la campaña anterior, aunque es contrario a lo que cabría esperar en este sector, por considerar, a priori, el río Zánacara como una zona descarga de los flujos subterráneos del entorno”*

- Al no estar evaluados los volúmenes circulantes, no se puede descartar que el flujo sur-norte sea despreciable en el conjunto del emplazamiento, como resulta posible atendiendo a varios hechos:
 - La vaguada al este de la “zona nuclear” drena hacia el norte y, de acuerdo con el estudio hidroquímico [REDACTED] [REDACTED] apt. 4.3.2.3 y conclusiones) este drenaje se manifiesta claramente en la calidad del río Zánacara e incluso en su caudal. [REDACTED]
 - Existencia de un tramo rectilíneo del río Zánacara, al norte del emplazamiento, que continúa hasta el propio almacenamiento situándose aproximadamente en la zona central y por el que no es descartable que exista un flujo preferente
 - Los sondeos al sur del área nuclear (DG-2 y DG-6) presentan flujos horizontales y más al sur (sondeos DG-7 y SG-25) ya hay componentes ascendentes que parecen descargar en la zona de SG-8 y DG-8. En la figura siguiente se ha representado con D, H y A las zonas con flujos descendentes, horizontales y ascendentes, respectivamente, en dirección N-S.



- Esta ausencia de balance tiene como consecuencia que no se puedan definir los porcentajes del flujo que se producen en las distintas zonas y a distintas profundidades.
- El esquema planteado no aclara los mecanismos que han producido el desplazamiento de la divisoria de aguas subterráneas situada en la zona nuclear hacia el oeste
- En relación con el funcionamiento hidráulico del sistema durante las fases de construcción y operación del ATC, el esquema conceptual de flujo no evalúa las posibles modificaciones del mismo por la reducción de recarga o por procesos de disolución, el destino final de un contaminante o los mecanismos de transporte de solutos dominantes. A este respecto, durante la inspección llevada a cabo en febrero de 2015 Enresa indicó que el proceso dominante es el transporte por difusión, pero esta posibilidad no es discutida ni justificada en el informe.

Las mencionadas incertidumbres no son asumidas por Enresa en las "Consideraciones para las bases de diseño" [REDACTED], donde asume valores de conductividad hidráulica en la unidad LBS muy inferiores a los obtenidos en los ensayos hidráulicos, una descarga de agua subterránea en el río Záncara y su aluvial no soportada por datos de campo y que las aguas subterráneas carecen de capacidad de disolución de yesos al estar saturadas. Enresa tiene que asegurarse de que estas condiciones no varíen durante la construcción y operación de la instalación.

En este contexto, es chocante e induce a una clara confusión la afirmación, incluida en el apartado de Consideraciones para las bases de diseño [REDACTED], que se refiere a la unidad de Yesos de Balanzas: "Las litologías yesíferas (Unidad YB) no presentan sales solubles, salvo algunos indicios de sulfato y cloruro sódicos".

Con los datos recogidos el esquema conceptual de flujo no queda suficientemente definido y no hay argumentos de juicio suficientes para aclarar el destino del agua que procede del este ni para la infiltrada por recarga del agua de lluvia en la zona de emplazamiento, así como los puntos o zonas de descarga. Esta falta de concreción del esquema conceptual se deriva de la falta de mapas piezométricos suficientemente representativos a distintas profundidades.

10.2.8. Modelo matemático de simulación

Generalidades

Para la simulación del flujo de agua subterránea, Enresa ha elaborado un modelo de simulación vertical a lo largo de una línea de flujo de dirección Este-Oeste que considera representativa del flujo en la zona del emplazamiento, de acuerdo con su esquema conceptual previo, ya que no considera significativo el flujo que pueda producirse en otras direcciones.

El modelo conceptual planteado por Enresa indica supone que "el esquema de flujo subterráneo en la zona tiene un carácter tridimensional", y que "las litologías se caracterizan por su elevada heterogeneidad y los cambios de facies tanto en sentido horizontal como vertical", así como una posible anisotropía en la conductividad hidráulica.

Sin embargo, la modelación matemática realizada se ha hecho sobre perfiles verticales que no representan la verdadera complejidad del emplazamiento y que impide la estimación de un balance global para el emplazamiento. Para poder considerar el modelo una herramienta predictiva aplicable, Enresa no ha analizado y justificado que la traza del mismo sea una línea de flujo clara y estable a lo largo del tiempo.

El modelo de simulación en perfil vertical presenta una falta de continuidad con el estudio hidrogeológico en el que debe basarse. Así, ni el estudio hidrogeológico de integración de las fases I y II [REDACTED] ni el más reciente de "Revisión y actualización del estudio hidrogeológico del emplazamiento del ATC en Villar de Cañas [REDACTED] Dic/2014, [REDACTED] son referidos en el informe, lo que supone una desventaja en un proceso que consiste en la integración de información.

En lo que respecta al funcionamiento hidrogeológico supuesto para la elaboración del modelo matemático, Enresa asume que tanto los flujos locales como los profundos descargan en el río Záncara y su aluvial. Como se ha indicado anteriormente respecto al estudio hidrogeológico de base, Enresa no ha aportado datos que sustenten esta hipótesis.

Enresa define un aporte de agua subterránea desde el este y desde las formaciones mesozoicas del anticlinal de Zafra, justificado con los datos piezométricos de los

sondeos SVC-8 y 7, aunque éste último ha sido eliminado de la red de control por fallos en su entubación. En este sentido, ya se ha comentado que hay mapas piezométricos de las formaciones mesozoicas que no han sido consultados ni referidos en la bibliografía y que podrían comportar un funcionamiento hidrogeológico diferente al utilizado como soporte del modelo matemático.

En la aproximación a la modelización matemática, se considera adecuado el planteamiento de Enresa de elaborar un modelo a escala local y otro, a partir de éste, de detalle, a lo largo de una línea de flujo de dirección E-O, con el objetivo de ilustrar los principales mecanismos de flujo en la zona. Sin embargo, no se encuentra sentido a la modelación de un perfil de dirección N-S que no parece responder a una dirección de flujo significativa según el modelo conceptual planteado por Enresa.

En lo que respecta al modelo conceptual de flujo en perfiles verticales, Enresa asume varios aspectos no contrastados:

- El rango de oscilación de la superficie freática. Enresa indica que, en condiciones naturales, son pequeñas y no suelen superar los 1 ó 2 m, pero carece de series de datos piezométricos que justifiquen esta afirmación. De hecho, los resultados obtenidos después con el modelo matemático superan los 7 m en algunos puntos [REDACTED].
- La relación entre los sistemas del mesozoico y terciario-cuaternario es con mucha probabilidad reducida, como indica Enresa. Sin embargo, no se han empleado datos de mapas piezométricos bibliográficos que están disponibles para evaluarla.
- La definición del Záncara como "*elemento drenante final de descarga del sistema hidrogeológico del emplazamiento del ATC*" es una apreciación muy importante que no se ha justificado con datos reales, como ya se ha indicado anteriormente.

Estimación de la recarga

Ver comentarios en apartados anteriores

Ámbito del Modelo.

Se considera razonable extender el ámbito del modelo local hasta la cota 450, lo que supone una profundidad de unos 350 m, pues es posible que los flujos relacionados con el emplazamiento a esa cota sean despreciables, aunque habría sido deseable extenderlo al techo de las formaciones mesozoicas. Sin embargo, no se considera razonable suponer que la superficie freática tiene una forma convexa en la zona que se extiende desde el último sondeo con datos (SVC-8) hasta los afloramientos mesozoicos. Como se ha indicado, existen mapas de piezometría de los materiales mesozoicos que están disponibles pero no han sido empleados.

Anteriormente se ha hecho referencia a la representatividad del punto de inventario 222640007, que es el abastecimiento de Villar de Cañas, y que se sitúa en el límite oriental del modelo elaborado. Como se ha indicado, Enresa no ha realizado un

seguimiento continuo de la evolución real del nivel en este punto para definir un nivel estático fiable en ese límite.

Parámetros Hidráulicos

La asignación de valores de conductividad hidráulica también se ha realizado, en ocasiones, de manera arbitraria, modificando el rango de valores para ajustar el comportamiento observado de la piezometría en algunos puntos. Este es el caso de la variación de conductividad hidráulica, asignando dos órdenes de magnitud menos que los del entorno bajo los sondeos DG-5 y DG-6 para que éstos muestren un flujo horizontal en esa zona. Esta variación en los parámetros no se justifica con los datos disponibles y genera una importante modificación del régimen de flujo bajo la zona de las instalaciones propuestas. Además, el sondeo DG-5 estaba puesto "en cuarentena" por Enresa por cuanto sus datos piezométricos presentaban anomalías [REDACTED].

Además, los parámetros hidráulicos que presenta Enresa en su Informe Resumen de Integración [REDACTED] en la tabla 3.4-4 difieren en algunas unidades notablemente de los empleados en el modelo de simulación (tabla 3.4-7 del mismo informe). Así, para la Unidad BLS la primera da un valor inferior a 10^{-5} m/d mientras que para el modelo se han empleado valores mucho más altos, entre 5×10^{-3} y 2×10^{-5} m/d. Para los depósitos cuaternarios también hay dos órdenes de magnitud de diferencia, pero esta vez más bajos (5×10^{-1} m/d en una tabla y 5×10^{-3} m/d en la otra). Estas diferencias arrojan incertidumbres sobre el proceso de calibración del modelo y la fiabilidad de sus predicciones.

El coeficiente de almacenamiento específico es estimado para el modelo, debido a la ausencia de datos de campo, a partir del módulo de compresibilidad del terreno, K, que se puede relacionar a su vez con el módulo de Young, E, y el coeficiente de Poisson, ν . Los valores así obtenidos oscilan entre $3,6 \times 10^{-5}$ m⁻¹ para la unidad Yesos de Balanzas (5×10^{-2} en su capa superficial) 6×10^{-5} m⁻¹ para la unidad Inferior (UI) y 7×10^{-5} m⁻¹ para la unidad de Lutitas Superiores de Balanzas. Esta aproximación se considera adecuada dados los escasos datos de campo, pero los valores obtenidos son, sobre todo en el caso de LBS, muy diferentes a los que otros autores²⁹ indican para materiales arcillosos, por lo que se echa en falta una comparación con valores bibliográficos.

Condiciones de borde

Respecto a las condiciones de contorno aplicadas, también se considera que no está suficientemente justificado el empleo de condiciones mixtas (Cauchy) para ajustar las depresiones piezométricas existentes en el perfil (a la altura de SG-20 y SVC-8). Con esta opción es posible ajustar con más facilidad los niveles calculados a los valores reales, pero los caudales que es necesario extraer del modelo por esos puntos para ajustar los niveles no son comprobables con datos reales en campo.

²⁹ Domenico & Mifflin, 1965. Recogido en Batu, V., 1998. Aquifer Hydraulics: A Comprehensive Guide to Hydrogeologic Data Analysis, John Wiley & Sons, New York, 727p.

En el modelo a escala de detalle, los límites establecidos se consideran razonables, teniendo en cuenta lo anteriormente dicho respecto a las incertidumbres introducidas al considerar la descarga en el Záncara al Oeste y la piezometría del extremo mesozoico al Este. En el modelo de detalle, derivado del general, aplican las mismas valoraciones e incertidumbres realizadas anteriormente respecto a la distribución de la conductividad hidráulica y las condiciones de borde en el contorno superior y los nudos de descarga necesarios para ajustar la piezometría en el entorno de SG-20. No obstante, Enresa no ha realizado un análisis de sensibilidad al tipo de borde oeste del modelo.

Calibración y Resultados

Para la calibración del modelo se emplean, entre otros puntos, los datos de los sondeos SVC-7 y SVC-9, que habían sido eliminados de la red de control de piezometría por presentar valores anómalos.

Los resultados del modelo calibrado incluyen la distribución piezométrica y la representación de vectores de velocidad que no son proporcionales a su magnitud, con lo que no se identifican las zonas de flujo preferente.

Por sus propias limitaciones, el balance hídrico obtenido en el dominio modelado no es extrapolable al resto del emplazamiento, por cuanto representa una línea de flujo E-O.

Además, los resultados de las simulaciones realizadas con el modelo en régimen transitorio no contemplan las siguientes situaciones

- Calibración de las series piezométricas medidas en los puntos de control. Dado que el modelo, al ser un perfil vertical, impide la generación de un mapa en planta de isopiezas, al menos debe calibrar los registros de campo existentes desde 2012.
- Simulación del proceso de ejecución de la obra, de acuerdo con el cronograma del proyecto de ejecución. Impacto de las obras superficiales (carreteras, pasos, túneles, drenajes, canalizaciones).
- Oscilación del nivel en la zona nuclear tras la construcción de las instalaciones

Los resultados de las oscilaciones en régimen natural arrojan un rango de variación de nivel muy superior al obtenido en las series reales de campo, y llegan a ser superiores a 7 m (posición de cálculo E1) y más de 4 m en otros puntos (C1 y D1) situados en la superficie freática (p. ej. Figura 8.42 en .

La definición de este rango de oscilación del nivel freático, tanto en condiciones naturales como una vez construida la instalación, es de gran relevancia, por cuanto define la capa activa en la que se pueden producir variaciones de humedad que pueden afectar a las propiedades geotécnicas de los materiales.

Ya se ha comentado anteriormente que los cortes C1, C3i y C5i indican que la divisoria piezométrica está desplazada al oeste respecto a la topográfica, lo que es indicativo del efecto de drenaje que ejerce la vaguada situada al este por su muy superior

conductividad hidráulica asociada a materiales yesíferos con fenómenos de disolución. El resultado de las simulaciones tanto con drenes como sin ellos prevé la práctica desaparición del "domo piezométrico" que actualmente se define en la "zona nuclear". Esta situación hará que los flujos locales que se dirigen desde éste hacia la vaguada al este del mismo desaparezcan o se vean muy reducidos, y la zona de yesos afectados por disolución pase de ser una zona de descarga a una zona de transición o incluso de recarga. Así, el agua de esta zona dejaría de fluir hacia el norte y se modificaría todo el sistema de flujo para pasar por debajo de las instalaciones previstas, con una calidad química y una capacidad de disolución de yesos que podría ser muy diferente a la actual, máxime en épocas de avenida o niveles altos.

Esta apreciación junto con la posibilidad de que los niveles piezométricos en la zona de descarga se sitúen en un rango de cotas muy inferior a la del río Záncara en la zona de las instalaciones no ha sido contemplada por el modelo de simulación.

En la documentación presentada por Enresa no se evalúa ni se modela la eventual afección del sondeo de abastecimiento del ATC en los términos de la concesión que Enresa ha solicitado a la Confederación Hidrográfica del Guadiana.

Finalmente, Enresa no plantea los mecanismos de transporte de contaminantes que pueden ser relevantes en la zona ni la posibilidad de que los procesos de disolución activa de minerales se modifiquen o incrementen con las obras previstas.

A este respecto, en el Estudio de Caracterización [REDACTED], Enresa valora que el transporte advectivo y dispersivo de solutos es muy poco relevante, mientras que la difusión molecular es un proceso muy lento, pero no presenta valoraciones de velocidad de flujo en las zonas más permeables o las consecuencias de procesos de disolución de yesos y otras sales solubles.

Se echa en falta una relación más estrecha con los estudios hidroquímicos que, si bien establecen que el agua subterránea se encuentra en equilibrio con los minerales del medio, no aborda los efectos de una eventual disolución producida por aguas de lluvia o de otras procedencias más diluidas. Debe recordarse la errónea afirmación, incluida en el apartado de Consideraciones para las bases de diseño [REDACTED], referida a la unidad de Yesos de Balanzas: "*Las litologías yesíferas (Unidad YB) no presentan sales solubles, salvo algunos indicios de sulfato y cloruro sódicos*".

10.3. Conclusiones

El estudio hidrogeológico no cumple los requerimientos planteados en el Plan de Caracterización del Emplazamiento que presentó Enresa [REDACTED] en 2012, y carece del nivel de detalle necesario para dar respuesta a un esquema conceptual de funcionamiento hidrogeológico lo suficientemente sólido (y con datos fiables) que permita elaborar un modelo matemático que simule adecuadamente flujo subterráneo en el medio y pueda emplearse como herramienta predictiva.

Los métodos constructivos de los piezómetros y sondeos geotécnicos adaptados no son los mejores, de entre los disponibles, para disponer de una red de piezometría

suficientemente fiable, y los frecuentes defectos de construcción ponen en cuestión los valores de nivel piezométrico y los parámetros hidráulicos obtenidos de ellos. De hecho, son invocados por Enresa defectos en la construcción o en la instalación para descartar un buen número de piezómetros cuyos datos no encajan con el esquema conceptual previo.

Enresa aporta cortes hidrogeológicos pero éstos no son suficientes para justificar el esquema conceptual de flujo, y carecen de líneas de flujo que ilustren el funcionamiento hidráulico del sistema. No se justifican ni valoran las relaciones de flujo con otras unidades y la relación de flujo con el río Záncara, que es considerado como un límite de descarga del sistema hidrogeológico, sin aportar datos de apoyo suficientes para establecer la relación del medio de flujo con el río.

En cuanto al número y distribución de los datos de piezometría no son suficientes para elaborar mapas que indiquen los límites del sistema, los rangos de oscilación piezométrica y las direcciones de flujo del agua subterránea. Algunos datos son confusos y no son justificados, introduciendo incertidumbres y contradicciones con la descripción hecha del sistema de flujo.

Los estudios llevados a cabo no acotan la variabilidad natural y el rango de oscilación del nivel freático, que es un dato importante en la relación entre las aguas subterráneas y el comportamiento geotécnico del terreno, ya que determinan el espesor de la capa activa bajo las instalaciones.

La eliminación de puntos de control ha reducido la ya escasa red de control de piezometría. Con esta eliminación de datos de piezometría y la no consideración de los ensayos Lugeon como ensayos hidráulicos s.s., la caracterización del emplazamiento se limita a 31 sondeos con datos de piezometría (y de ellos sólo 8 se encuentran fuera del área nuclear) y se dispone de 35 ensayos hidráulicos realizados en 27 sondeos, y casi todos ellos en sondeo único. Estos números de sondeos y ensayos son insuficientes para caracterizar una zona de elevada heterogeneidad y variabilidad litológica.

El cálculo realizado por Enresa del efecto de un bombeo de abastecimiento genera descensos muy elevados con caudales que no se ha comprobado que puedan ser aportados por los materiales de la zona. Este aspecto no ha sido valorado en el modelo de simulación, aunque en la Inspección llevada a cabo Enresa indicó que se prevé un impacto muy reducido y lo incorporará a su modelo.

El modelo matemático de simulación de flujo elaborado es bidimensional sobre dos cortes verticales cuando en el propio informe de la modelación se describe el flujo como tridimensional. Las condiciones de borde supuestas no están soportadas con datos reales ni apoyadas en datos piezométricos suficientes.

Respecto al "Resumen de condiciones del emplazamiento y bases de diseño" presentado por Enresa, se pueden hacer las siguientes valoraciones:

- *Permeabilidad del subsuelo bajo el emplazamiento: los ensayos hidráulicos en los sondeos emboquillados en la unidad LBS, en la que se sitúa la zona nuclear del*

ATC, han puesto de manifiesto la baja permeabilidad tanto de la propia unidad LBS como de la YB subyacente. En la unidad LBS los valores de conductividad hidráulica son inferiores a 10^5 m/día. En la YB bajo la LBS el rango de variación de la conductividad hidráulica es de 10^7 a 10^3 m/día. Ninguno de los ensayos hidráulicos realizados en la zona (incluidos los de tipo Lugeon) ha mostrado indicios de la posible existencia de oquedades ni zonas de elevada permeabilidad equivalentes a las identificadas en la vaguada al este del sector nuclear, por lo que se descarta el riesgo de colapso por disolución en la zona nuclear.

Esta afirmación no se considera justificada sobre la base de los datos presentados. Excluyendo los numerosos ensayos Lugeon, que no se consideran ensayos hidráulicos representativos, el número de ensayos realizados es muy reducido, y el valor medio de los mismos en la unidad LBS es de 10^{-2} m/día o superior. Se considera que 10^{-1} - 10^{-2} m/día es un valor más conservador para las zonas más permeables de esta unidad.

En lo que respecta a la unidad Yesos de Balanzas (YB), no hay ensayos representativos bajo las instalaciones, pero en la cercana vaguada al este de las instalaciones proyectadas, en zonas afectada por procesos de disolución, se han obtenido valores superiores a 100 m/día. Además, es de resaltar la identificación de una zona de fractura en esta unidad a 45 m de profundidad en el sondeo SG-61b, cuya conductividad hidráulica y conexión con no han sido evaluados.

- *La profundidad del nivel freático, en general, se encuentra muy somera en la zona que ocupan los edificios nucleares. La profundidad media anual se sitúa entre 2,5 y 4 m de profundidad, y las oscilaciones piezométricas temporales observadas en este sector son del orden de $\pm 1,0$ -1,5 m. Conforme al modelo hidrogeológico elaborado, si se elimina la infiltración en la zona nuclear, el nivel freático descenderá, aunque estará controlado por el nivel en la vaguada al este del emplazamiento y por el del río Záncara y se mantendrá, bajo la zona nuclear, a cota aproximada 802-803 en el borde Oeste del conjunto de edificios y a 805-806 en el borde Este. Es posible que el agua ascienda por capilaridad, manteniendo saturado el terreno, incluso por encima de ese futuro nivel freático.*

Sobre la base de los datos disponibles, y teniendo en cuenta que la limitación de que la serie de datos históricos de piezometría es muy reducida (la más extensa comienza en septiembre de 2012) y, por tanto, no cubre un conjunto de años secos y húmedos, se considera aceptable la valoración sobre la profundidad y rango de oscilación del nivel freático.

La estimación de la posición del nivel freático tras la construcción no se considera suficientemente justificada dadas las importantes reservas existentes sobre el modelo de simulación, cuyas condiciones de borde y parámetros hidráulicos no se consideran apoyadas en datos de campo contrastados

- *Velocidad de circulación del agua y caudales circulantes: las velocidades de flujo estimadas bajo el emplazamiento (Figura 2.7-42) varían entre 10-5 m/día y 10-6 m/día (velocidades de Darcy). Asimismo, el caudal circulante en condiciones*

naturales en la zona de influencia del sector nuclear es de $3,27 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{día/m}$. Se ha analizado la modificación de estas condiciones como consecuencia de las excavaciones previstas, concluyéndose que no serán significativas dada la baja permeabilidad de los materiales

Esta afirmación no se considera soportada por datos suficientes. Tanto las velocidades de flujo como la estimación de caudal han sido calculados mediante un modelo en perfil vertical que no contempla el flujo tridimensional y cuyo esquema conceptual de partida no es suficientemente sólido. Los valores indicados por Enresa pueden ser superiores si la conductividad hidráulica es superior como se indicó anteriormente, aunque sea en zonas de circulación preferente y en zonas afectadas por procesos de disolución.

- *Dirección de flujo: el agua infiltrada en la zona nuclear se dirige hacia el río Záncara directamente en la zona oeste o a través de la vaguada en la que afloran los yesos de la unidad YB. Las excavaciones previstas producirán ligeros cambios en el esquema de flujo, siendo el más significativo el desplazamiento de unos 80 m hacia el este de la divisoria de aguas subterráneas existente entre la zona nuclear y la vaguada.*

La dirección de flujo horizontal se considera, efectivamente, que se dirige en parte hacia el oeste, hacia el río Záncara. Los datos aportados, sin embargo, no justifican que se produzca en esta zona la descarga de las aguas subterráneas, dado que no hay información piezométrica suficiente.

11. HIDROQUÍMICA

11.1. Documentación evaluada y objetivos

La valoración de la hidroquímica de la zona se basa en el estudio "Estudio Hidrogeoquímico del emplazamiento del almacén centralizado temporal (ATC) en Villar de Cañas (Cuenca)" [REDACTED] de Diciembre, [REDACTED] de mayo de 2014, y su actualización del mes de diciembre de 2014 [REDACTED].

Además, en febrero de 2015 Enresa remitió la primera versión de dichos informes, [REDACTED]

Los estudios hidrogeológicos [REDACTED] también incluyen datos hidroquímicos como apoyo a la definición del esquema de flujo subterráneo, pero estos apartados no han sido evaluados por entenderse que son extraídos de los informes de [REDACTED]

Así mismo, el Informe Resumen de Integración [REDACTED] incluye un apartado de hidroquímica (apartado 3.5) dentro de la parte C, Características hidrológicas, hidrogeológicas e hidroquímicas, al igual que el Estudio de caracterización del emplazamiento del ATC en Villar de Cañas (Cuenca) y de la zona de influencia de la instalación. Mayo-2015. [REDACTED]

También se ha revisado el informe "Disolución de yesos durante la explanación del ATC por efecto de la precipitación". [REDACTED]

Respecto a la aplicación de criterios normativos, el estudio hidrogeoquímico no está regulado por normativa específica, aunque su utilización como apoyo a la hidrogeología y a la geoquímica, hace que pueda integrarse en sus exigencias técnicas. En este sentido, la información hidroquímica debe dar soporte al esquema conceptual de flujo de aguas subterráneas y, por otro lado, debe ser la consecuencia de la interacción de los distintos tipos de aguas con un medio sólido. Este medio sólido es el resultado de unos procesos geológicos, y particularmente sedimentológicos, que han originado el subsuelo actualmente presente en la zona del emplazamiento del ATC, en el que se han descrito fenómenos tanto de disolución de sales como de hinchamiento de arcillas, que deberían reflejarse en las características geoquímicas e hidroquímicas.

El objetivo que [REDACTED] plantea en el estudio hidroquímico [REDACTED], además de actualizar los informe previos de 2013 y 2014, es "dar soporte y apoyar el establecimiento del funcionamiento hidrogeológico, así como establecer las características de los procesos de interacción agua-roca, con especial énfasis a la capacidad de disolución de las aguas subterráneas y su evolución a lo largo de los caminos de flujo con su relación con la seguridad del emplazamiento".

Para ello, el alcance de los trabajos es doble: 1.- La caracterización de las aguas subterráneas a escala local y del emplazamiento donde se ubicará el ATC y de los procesos de interacción agua-roca que generan dichas composiciones, y 2.- La modelación preliminar del sistema de funcionamiento hidrogeoquímico acoplado a la

información geológica, e hidrogeológica³⁰ existente hasta la fecha de entrega del documento.

Por otra parte, el Plan de Caracterización del Emplazamiento [REDACTED] indica, entre otros aspectos, que *“Se describirá la composición química de los cuerpos de agua adyacentes que potencialmente podrían verse afectados por las emisiones de la instalación. Los datos químicos deberán ser suficientes para determinar la tipología y calidad de las aguas, e incluir referencia a los datos de base derivados de los registros históricos.”* Y finalmente, *“Una vez se disponga de las determinaciones analíticas, se procederá a la interpretación de los diferentes tipos de aguas presentes en el entorno del emplazamiento, así como a determinar la calidad de las mismas. A partir de estos trabajos se abordará la interpretación de las posibles relaciones entre la disposición espacial de los diferentes tipos de aguas y funcionamiento hidrogeológico.”*

11.2. Evaluación

11.2.1. Aguas meteóricas y superficiales

El estudio dispone de 24 muestras de aguas de lluvia desde septiembre de 2013 a octubre de 2014. Sus características químicas e isotópicas son típicas de este tipo de aguas.

La mineralización de estas aguas es débil, con valores de conductividad eléctrica bajos, y pH en un rango amplio, de 5,3 a 8,6. Algunos episodios parecen reflejar presencia de polvo en la atmósfera.

Desde el punto de vista isotópico, los valores se encuentran muy próximos a la Línea Meteorica Mundial (LMM).

El estudio relativo a estas aguas se considera aceptable y la caracterización es adecuada.

En lo que respecta a las aguas superficiales, Enresa aborda también la caracterización de diversos tramos del río Záncara (principal eje de drenaje de la zona), con el fin de poder identificar las zonas donde es probable que descarguen las formaciones reconocidas en el subsuelo del emplazamiento. Es relevante la referencia al drenaje de aguas subterráneas desde la vaguada al este de la “zona nuclear” hacia el norte el cual, de acuerdo con el estudio hidroquímico [REDACTED] se manifiesta claramente en la calidad del río Záncara e incluso en su caudal.

En una primera fase se monitorizaron 5 puntos de control en 25 km de río identificándose variaciones de calidad, sin que se pudiera discriminar bien si se debían a aportes de escorrentía superficial o a descargas subterráneas.

Por esta razón, se pasó a una segunda fase, con 11 puntos de control en 23 km de río. En esta ocasión, se pudo identificar que el agua de los tramos aguas arriba de dos

³⁰ En el informe [REDACTED] de mayo, 2014, [REDACTED] se añadía “mineralógica”

estaciones, denominadas "Puente Chapela" y "Villarejo de las Fuentes" (al Norte del emplazamiento), mostraban indicadores de descarga de las formaciones estudiadas. En especial, la primera de estas estaciones mostraba un mayor porcentaje de componente de descarga, con un aumento de cloruros (considerado como parámetro conservativo) de entre un 40 a 60% con respecto a estaciones aguas arriba.

Algunos trazadores naturales, como boro, litio o flúor también corroboran aportes subterráneos procedentes de zonas evaporíticas en los mismos tramos.

Estas aportaciones de las aguas subterráneas no han sido descritas en los estudios hidrogeológicos, que asumen que el flujo se produce exclusivamente hacia el oeste del emplazamiento, y podrían tener relación con la zona de alta permeabilidad identificada al este del mismo y los lineamientos del Zánzara descritos en la valoración de los estudios geológicos.

11.2.2. Aguas subterráneas

A escala local (12 km alrededor del emplazamiento propuesto), el estudio indica la escasa importancia como recurso hídrico de las formaciones geológicas bajo el emplazamiento que albergaría el ATC.

Enresa ha inventariado un buen número de puntos de agua en formaciones adyacentes principalmente localizados en materiales mesozoicos, terciarios y cuaternarios. La heterogeneidad en la naturaleza de estas formaciones se refleja también en la heterogeneidad de las facies hidrogeoquímicas encontradas. Abundan los tipos bicarbonatado-cálcico, asociados a mesozoicos calcáreos, y los sulfatado-cálcico, relacionados con las formaciones yesíferas y evaporíticas.

La valoración de los datos disponibles se considera correcta.

A escala del emplazamiento, se describen a continuación los aspectos más relevantes de los estudios llevados a cabo.

Representatividad de las muestras

Los muestreos hidroquímicos se han realizado sobre la red de puntos de control hidrogeológicos, respecto a los que se ha comentado anteriormente su reducida densidad.

El número y en especial, la distribución de estos puntos (con amplias áreas sin caracterizar), son mejorables. La red de muestreo debería haberse establecido de manera más homogénea, tratando de evitar zonas y profundidades sin información, con el fin de reducir las incertidumbres propias de un medio de alta heterogeneidad litológica e hidrogeológica (con contrastes muy marcados de permeabilidad entre tramos).

Además, Enresa no ha definido puntos de muestreo a varias profundidades mediante nidos de piezómetros o piezómetros multinivel, y no ha evaluado la posibilidad del uso de técnicas de muestreo como los muestreadores pasivos.

Los sondeos disponibles en la parcela del emplazamiento se encuentran ranurados en toda su longitud. En el estudio, para salvar la imposibilidad de tomar muestras puntuales, se monitorizaron parámetros químicos a lo largo de toda la columna de agua, y con esta información se decidió la profundidad de muestreo, que se efectuó con bombeo de bajo caudal.

Uno de los sondeos que presenta una estratificación más clara en la columna de agua es SVC-9, situado en zona de descarga, cerca del río Záncara. La conductividad en la parte somera es de unos 3,5 mS/cm, y en profundidad de unos 100 mS/cm. Durante el estudio hidroquímico, este sondeo se muestreó 5 veces entre enero de 2013 y septiembre de 2014.

Los datos aportados indican que todas las muestras eran mezclas entre los dos términos finales, por la dificultad de aislar las dos calidades en un sondeo ranurado de su total longitud. Esto es, el bombeo de muestreo atrae antes al agua almacenada en la columna de agua que al agua dentro la formación geológica. Esta observación puede ser común al resto de sondeos, si bien en muchos de ellos no se aprecia una nítida estratificación de calidades.

Este hecho no invalida las muestras tomadas, si bien es preciso tener en cuenta que en la interpretación, las características hidroquímicas pueden ser mezclas.

Los sondeos se perforaron utilizando un volumen no controlado de agua superficial no trazada. Una vez instalados, y también para cada evento de muestreo, fueron purgados con el fin de extraer el agua previamente introducida. No obstante, los sondeos localizados en materiales de baja permeabilidad son muy difíciles de limpiar, ya que se quedan secos con el bombeo y es preciso interrumpir la extracción hasta que recuperan el nivel de agua.

Esta práctica no se considera muy adecuada para obtener una muestra representativa, en especial en medios de permeabilidad reducida, por la imposibilidad de decidir cuándo se ha eliminado toda el agua externa. Así lo reconoce el propio Estudio Hidroquímico [REDACTED], donde se indica que pudo quedar agua remanente en los sondeos perforados en la formación LBS (p. 75) después de las labores de purgado.

No obstante, la alta reactividad de las fases minerales existentes en el sustrato geológico hace que el agua de entrada se equilibre con ellas con rapidez y sólo puedan tenerse indicios indirectos de la presencia de agua de perforación (p.e. Eh, Oxígeno Disuelto).

Características hidroquímicas e isotópicas

El Estudio establece la relación entre la calidad química del agua subterránea y las formaciones geológicas por donde ha circulado.

No obstante, la terminología utilizada en el informe para las diferentes formaciones no es común al resto de estudios consultados y lleva a confusión. Así, en la página 88 del informe [REDACTED] se indica la equivalencia entre denominaciones de las "formaciones geológicas" y lo que el informe considera "litotipos hidroquímica". No hay buena correlación entre términos, lo que dificulta la correspondencia con otros estudios en la

zona. Así mismo, no se consideran los distintos "litotipos" descritos dentro de LBS en la síntesis geoquímica [REDACTED]

De este modo, Enresa se refiere a "Agua de la Lutita roja" al referirse al agua de la unidad LBS y "Agua de la lutita roja-gris" al referirse al agua del sondeo SG-19, dentro de la subunidad YB1. El empleo de estos "litotipos hidroquímica" lleva, además, a inferir una relación entre calidad del agua y el color de la lutita.

Formaciones Geológicas	Equivalencia litotipos hidroquímica	
LBS: Lutitas yesíferas dolomíticas	LBS: Lutita roja [REDACTED]	
YB: Yesos	No hay equivalencia entre YB1-3 y los litotipos de hidroquímica	
YB3: Yesos, lutitas y margas		YB: Yeso alterado [REDACTED]
YB2: Yesos macrocristalinos y laminados		Lutita yesífera gris [REDACTED]
YB1: Yesos con niveles lutítico-margosos y yesos alabastrinos		Lutita gris [REDACTED] Lutita roja-gris [REDACTED]
LBI: Lutitas margoso yesíferas	LBI: Arenas, arcillas y margas [REDACTED]	
UI: Lutitas, margas y areniscas yesíferas	No hay muestras de agua	

Tabla 9. Equivalencia entre las Formaciones Geológicas definidos para el ATC y los litotipos adoptados para el estudio hidrogeoquímico del sistema, basados en la descripción de visu de los testigos a pie de sondeo durante la perforación.

Los principales tipos de agua subterránea se resumen en la tabla siguiente, según la cual los tipos hidroquímicos son reflejo de la litología por la que circulan.

Principales tipos de agua subterránea

Litotipos hidroquímica	Unidad	Tipología de agua	TDS medio (g/L)
Aguas en arenas, arcillas y margas	LBI	SO ₄ -Ca	1,45
Yeso alterado	YB	SO ₄ -Ca	3,18
Lutita roja	LBS	SO ₄ -Ca/Mg	4,17
Lutita roja-gris	YB	SO ₄ -Mg/Ca	4,76
Lutita gris	YB	SO ₄ -Mg/Ca	5,18
Lutita yesífera gris	YB	SO ₄ -Mg/Na	10,64
Yeso con lutita yesífera (SVC-9)		SO ₄ -Na/Mg	105 (*)

* media de valores concentraciones muy variables, entre 9 y 154 g/L [REDACTED]

En relación con la composición isotópica, el estudio es correcto, y encuentra que el rango de variación del $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ en las aguas subterráneas puede relacionarse con procesos de disolución mineral, sin que apenas se reconozcan procesos de evaporación durante la infiltración.

Por otra parte, las condiciones del equilibrio carbonatado (sistema abierto o cerrado) pueden ser caracterizadas según el rango en el que se encuentran los valores de $\delta^{13}\text{C}$, lo que es de gran ayuda a la hora de contrastar los modelos de reacción posteriores.

Muestras de roca y ensayos de lixiviación

Los estudios mineralógicos efectuados dentro del Estudio Hidrogeoquímico se plantearon con el fin de identificar fases minerales mayoritarias, minoritarias o incluso traza, capaces de justificar la composición química de las aguas subterráneas, y no presentan relación con los otros estudios mineralógicos recogidos en los informes de Geoquímica

En un primer análisis por DRX se establecieron 4 asociaciones principales dentro del litotipo yesífero:

1. Anhidrita con magnesita
2. Yeso con magnesita
3. Yeso y anhidrita con magnesita
4. Eugsterita o glauberita con yeso (y/o también anhidrita y magnesita)

En dos muestras del litotipo lutítico se encontraron las asociaciones:

1. Cuarzo, yeso y paligorskita
2. Yeso, magnesita y cuarzo (sin paligorskita)

Por otra parte, se aplicaron técnicas microanálisis y microestructura por MEB/EDX. De esta manera se pudieron identificar la presencia de fases minoritarias fuentes de sodio:

- Sulfato de sodio (thenardita),
- Sulfatos dobles de sodio y calcio (eugsterita y glauberita)
- Sulfatos dobles de sodio y magnesio (bloedita)
- cloruros de sodio y/o potasio (más raramente).

Y fuentes de magnesio:

- Sulfatos dobles de magnesio y sodio (bloedita)
- Sulfatos de magnesio

Se efectuaron 8 ensayos de lixiviación entre el agua del sondeo SVC-10, considerado como término de recarga y diversas muestras sólidas seleccionadas de diversos sondeos, representativos de las diferentes litologías. Los resultados indicaron que las aguas reaccionan rápidamente con los minerales más solubles, donde adquieren gran importancia los sulfatos de magnesio y sodio en las características hidrogeoquímicas finales.

Estos ensayos de lixiviación no han tenido relación con el estudio de las variaciones en porosidad o propiedades geotécnicas que pueden producirse en los materiales como consecuencia de la infiltración de aguas meteóricas.

Procesos de interacción roca-agua

Enresa hace una evaluación exhaustiva de las relaciones entre los principales componentes de la calidad del agua.

En primer lugar analiza las relaciones entre parámetros mayoritarios, para pasar al estudio por separado los sistemas de sulfatos, cloruros, carbonatos y silicatos.

Posteriormente, estudia parámetros minoritarios y traza, así como el estado pH y redox de las aguas.

La interpretación conjunta de todo este análisis indica:

- El predominio de la disolución de yeso en aguas con concentraciones inferiores a 30 meq/l.
- A partir de esa concentración, es preciso acudir a la disolución de fases magnésicas y sódicas para explicar las características hidroquímicas de las aguas subterráneas, que llegan a alcanzar un grado de mineralización muy elevado.
- Los procesos de disolución y/o precipitación de fases carbonatadas y la alteración de silicatos controlan el pH y la alcalinidad de las aguas, si bien tiene un papel muy secundario en la mineralización global del agua.
- Los silicatos más estables en las condiciones existentes son la paligorskita y la esmectita.
- En zonas de recarga, el potencial redox es elevado. El par Fe^{2+}/Fe^{3+} es el que controla la mayoría de las aguas más oxidadas. Mientras, las aguas más evolucionadas son cada vez más reducidas y pueden llegar a estadios de reducción de sulfatos.
- Algunos componentes minoritarios (B, Li, Sr) pueden utilizarse como trazadores del movimiento del agua por diversas litotipos.

Modelo de funcionamiento hidrogeoquímico

A partir de las observaciones efectuadas, y que han venido siendo comentadas anteriormente, el estudio establece un modelo conceptual de funcionamiento hidrogeoquímico, que se refleja en las siguientes figuras .

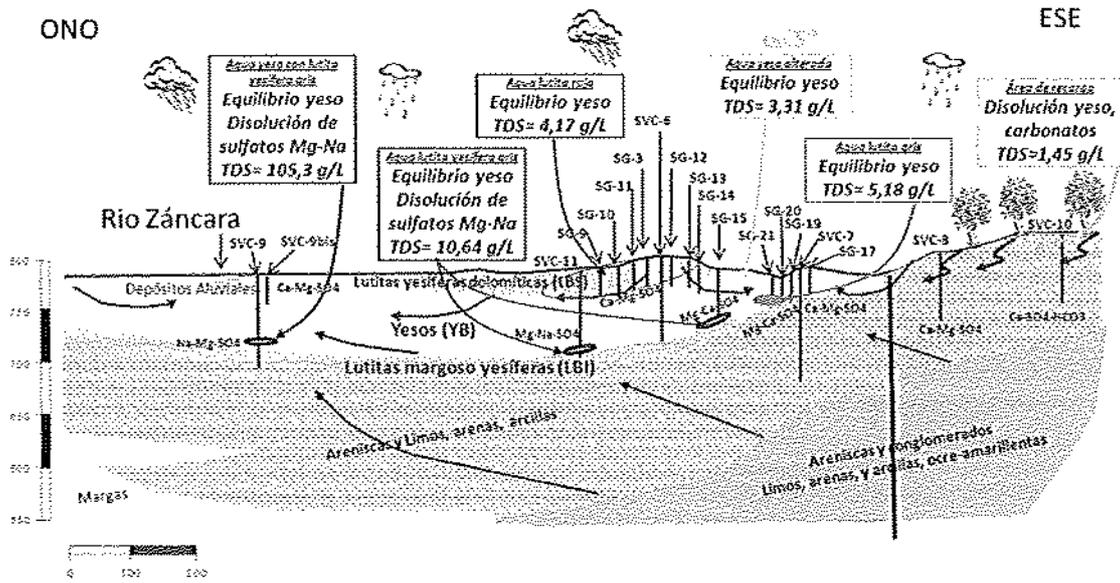


Figura 174.- Modelo conceptual de funcionamiento hidrogeoquímico en una sección ONO-ESE del emplazamiento del ATC.

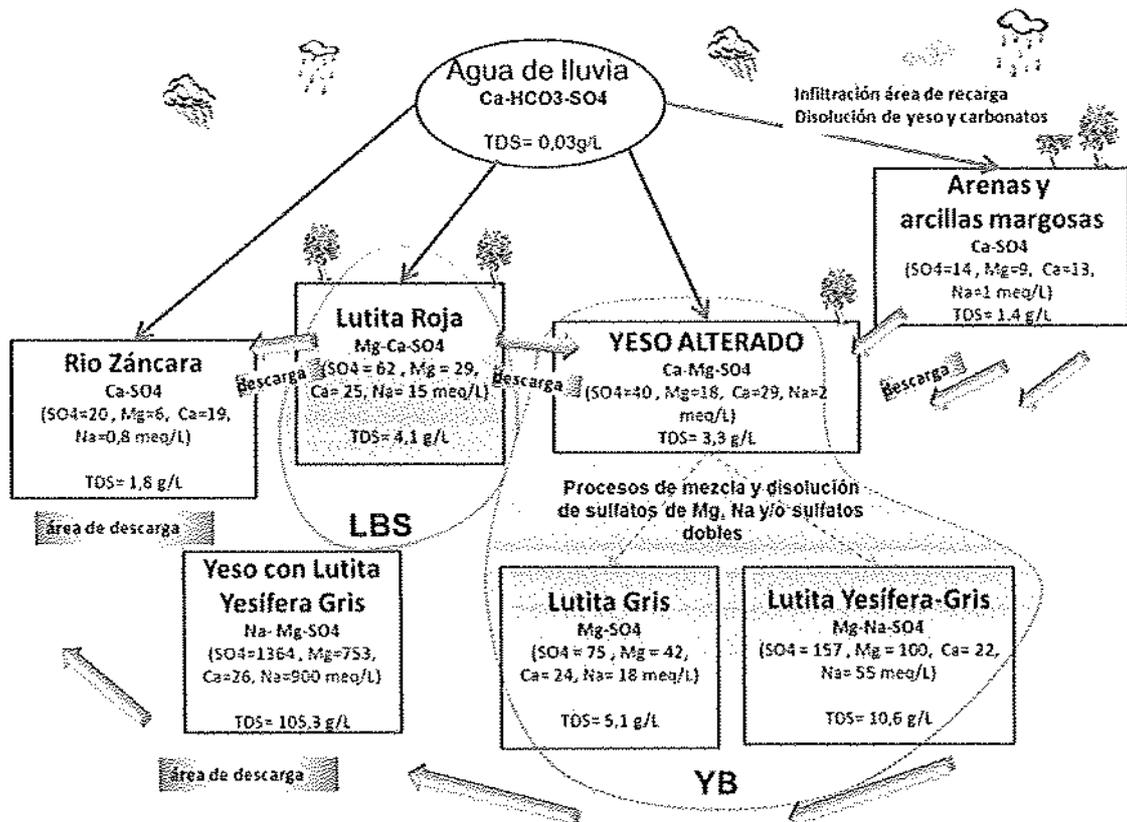


Figura 175.- Esquema del modelo de funcionamiento hidrogeoquímico.

A partir de este modelo cualitativo, Enresa realiza una modelización cuantitativa con el objetivo de tratar de reproducir la variabilidad de la composición química observada en las muestras de agua.

El proceso de modelización ha sido llevado a cabo con la ayuda del código geoquímico PHREEQC y la base de datos termodinámicos Pitzer.dat, adecuada para sistemas de elevada concentración salina.

Se procedió a simular la evolución de un agua inicial, haciéndola reaccionar con diversas cantidades de varias fases de minerales. La variable de progreso químico fue el sulfato, elemento clave en el funcionamiento geoquímico del medio.

Inicialmente, se modelizaron tres caminos de reacción:

- Disolución de eugsterita, halita y kieserita
- Disolución de kieserita y halita
- Disolución de bloedita y halita

Estos modelos han permitido definir, con muy aceptable aproximación, un patrón común en la mineralización de las aguas subterráneas, de modo que las aguas de menor mineralización disuelven yeso hasta alcanzar su saturación. Las cantidades disueltas son pequeñas, del orden de 0,01 moles/kgw. Posteriormente, cuando se alcanza la saturación, el yeso comienza a precipitar (cantidades que pueden llegar a 0,35 moles/kgw), pero de manera acoplada se produce la disolución de otras fases minerales de alta solubilidad. Los gráficos presentados indican que los procesos de disolución de estos minerales pueden ser muy intensos, pero Enresa no ha procedido a su cuantificación.

Es de hacer notar que en estos tres primeros modelos no se hizo intervenir ninguna fase carbonatada. En un cuarto modelo de reacción química se incluyeron fases carbonatadas, en concreto magnesita y calcita.

Este último modelo indica que un agua de recarga en el sistema mineral existente empezaría disolviendo pequeñas cantidades de yeso y en menor medida, magnesita y bloedita.

Al combinarse estas reacciones en un único sistema químico, el proceso neto que se observa es la calcitización de la magnesita, que el estudio señala que podría explicar el funcionamiento hidroquímico en las aguas subterráneas más cerca de la superficie del ATC (esto es, en un estadio no muy evolucionado).

No obstante, al avanzar el proceso de disolución se llega a alcanzar la saturación con el yeso. En ese momento se desencadena un proceso acoplado de precipitación intensiva de yeso, con disolución inducida de calcita y bloedita. Los gráficos presentados indican una fuerte variación de masa (tanto en las fases precipitadas como en las disueltas), pero esa variación no se llega a cuantificar [REDACTED] como habría sido deseable.

Comparando las concentraciones medidas con las calculadas, el modelo parece simular de forma muy aceptable el comportamiento hidrogeoquímico de las aguas subterráneas en el área. Sin embargo, la falta de cuantificación de las variaciones de masa que predice este modelo crea una gran incertidumbre a la hora de valorar las consecuencias prácticas que puede tener este hecho.

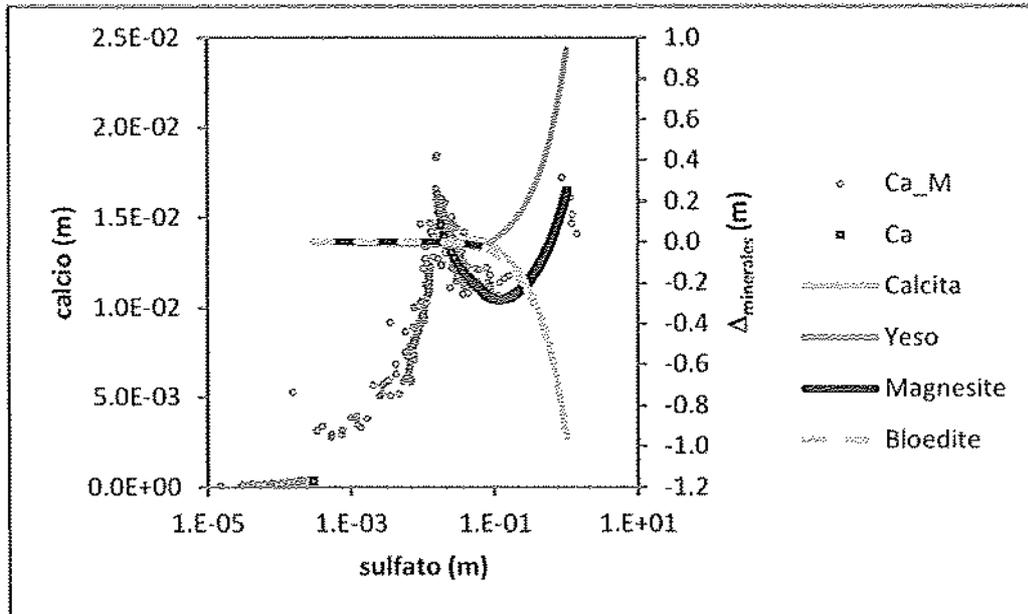


Figura 188. Representación del calcio frente al sulfato en la simulación del proceso de calcificación de la magnesita. Los puntos azules representan la concentración de Ca en las aguas subterráneas, los puntos rojos la concentración de calcio calculada con la simulación y las líneas verde, naranja, negra y azul los moles/Kg de agua de mineral disuelto (negativo) y precipitado (positivo).

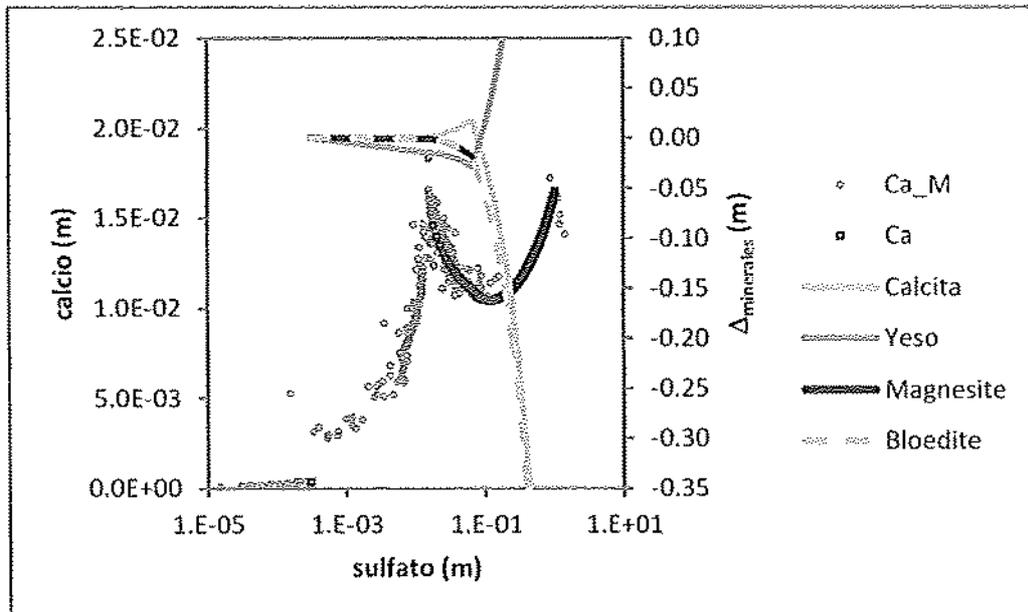


Figura 189. Detalle de la figura anterior.

Como complemento a los estudios geoquímicos e hidrogeoquímicos ya efectuados, [REDACTED] elaboró el informe "Disolución de yesos durante la explanación del ATC por efecto de la precipitación", de abril de 2015 [REDACTED].

En este informe se procede a efectuar un ejercicio teórico sobre las cantidades de yeso que podrían disolverse durante los trabajos de explanación del ATC, en el caso de que lloviera durante los 115 días de excavación, antes de instalar la losa de cimentación, momento en que se supone que queda inhibido el proceso de disolución por agua de lluvia. El objetivo del ejercicio es tratar de acotar las cantidades de yeso que podrían movilizarse en las condiciones más desfavorables.

La estimación no posee ninguna comprobación experimental, y se desliga completamente del informe "Estudio hidrogeoquímico del emplazamiento del almacén temporal centralizado (ATC) en Villar de Cañas (Cuenca)", de diciembre de 2014, por lo que no tiene en cuenta el quimismo real de las aguas subterráneas.

La estimación está basada en diversos supuestos, entre los que cabe destacar:

- ✓ Se supone que el contenido de yeso en la formación LBS es de un 30%, pero en ningún caso se considera la presencia de otras fases solubles en la matriz sólida, como eugsterita, halita, kieserita, bloedita, etc. Estas fases de elevada solubilidad fueron identificadas en el estudio previo como responsables últimas del quimismo observado en las aguas subterráneas de la zona. Hay que recordar que la calidad química de las aguas se caracteriza por tipos de elevadísima fuerza iónica, donde se inducen intensos procesos de disolución/precipitación mineral. Así tampoco se tienen en cuenta las impurezas del propio yeso, otro factor de relevancia para acelerar procesos de disolución.
- ✓ Como superficie de contacto para la reacción de disolución la estimación incluye la que se genera por la propia porosidad de la formación. En ningún momento se consideran heterogeneidades como grietas, macroporos, discontinuidades, huecos de disolución previamente existentes, etc. Tampoco se consideran las modificaciones que podrían producirse durante las labores de construcción: generación de polvo, grietas y asentamientos diferenciales inducidos por el paso de vehículos, etc., factores que aumentan de forma considerable la superficie reactiva.
- ✓ Los resultados de la estimación no se han calibrado con datos reales previamente obtenidos por [REDACTED] como los obtenidos por las pruebas de lixiviación, o los concluidos en la modelización hidroquímica basada en los análisis de muestras de agua subterránea.

Respecto a los parámetros hidráulicos empleados en los cálculos, existen valores de slug tests ($5,5 \times 10^{-2}$ m/d en SG-15) realizados en la unidad LBS (tablas 2.7-4 y 2.7-5 de [REDACTED] superiores al que [REDACTED] indica como umbral bajo el cual no se produce disolución de yeso. También se encuentran valores muy superiores a ese límite en la zona de lutitas/yesos afectados por disolución ($2,5-5,6 \times 10^{-1}$ m/d en SG-20 y SG-21), y superiores a 100 m/d en las zonas de yesos, también afectados por procesos de disolución, de la unidad YB.

En cuanto a los valores de dispersividad empleados, y al ser éste un parámetro con una fuerte dependencia escalar, se considera que deben emplearse valores más elevados que los utilizados, como deben ser los de la zona de disolución de yesos de la vaguada situada al este del emplazamiento. [REDACTED] no ha realizado ningún ensayo en campo para determinar este parámetro en el emplazamiento, pero la aplicación de la fórmula que propone Fetter (2001) arroja, para la misma distancia de flujo, un valor de dispersividad (0,27 m), casi un orden de magnitud superior al propuesto por [REDACTED] (0,038) y algo superior al máximo considerado en sus cálculos (0,2)

Así pues, tanto desde el punto de vista hidrogeológico como el hidroquímico, los cálculos de disolución de yeso presentado no se consideran conservadores, ni siquiera realistas de lo que podría producirse en un futuro.

En cuanto a los tiempos modelizados, la estimación sólo considera que el subsuelo del ATC puede estar expuesto a fenómenos de disolución por agua de lluvia durante los 115 días de las obras de explanación, hasta la instalación de la losa de cimentación. No obstante, Enresa no ha precisado qué pasaría durante el periodo de operación de la instalación si se produjeran infiltraciones de aguas de la red de pluviales o de drenajes de otro tipo (aguas sanitarias, red contraincendios, etc.), y que pudieran llegar a circular en el límite, o incluso bajo, el emplazamiento.

11.3. Conclusiones

El Estudio Hidroquímico aporta una valiosa información sobre los procesos que regulan el sistema hidrogeoquímico en el subsuelo del emplazamiento destinado al ATC.

Se ha realizado una descripción exhaustiva de las características generales de las aguas existentes y ha llegado a definir un modelo de comportamiento hidrogeoquímico que encaja relativamente bien con las observaciones hidrogeológicas efectuadas hasta el momento.

El número y, en especial, la distribución de puntos de muestreo (con amplias áreas sin caracterizar), son mejorables. La red de muestreo debería haberse establecido de manera más homogénea, tratando de evitar zonas y profundidades sin información, con el fin de reducir las incertidumbres propias de un medio de alta heterogeneidad litológica e hidrogeológica (con contrastes muy marcados de permeabilidad entre tramos).

Para una adecuada caracterización hidroquímica, la instalación de los sondeos, con ranurados en toda la longitud, no es la más adecuada. Hubiera sido preferible contar con información por tramos reducidos, con el fin de que las características hidroquímicas no queden enmascaradas al mezclar diversos tipos de aguas. Para este tipo de captaciones, el método de muestreo a bajo flujo tiene problemas para caracterizar de forma correcta el medio, por lo que hubiera sido más correcto emplear técnicas avanzadas, como el muestreo con dispositivos pasivo.

En cualquier caso, en un medio tan reactivo como este, las muestras obtenidas pueden considerarse suficientemente representativas para conseguir una caracterización hidroquímica genérica.

En los informes de caracterización se efectúa una descripción completa de los tipos de agua presentes en el área de influencia del ATC, y se llega a identificar las fases reactivas que controlan la movilización y precipitación de fase minerales. Algunas de estas fases, a pesar de ser muy escasas en la matriz sólida, juegan un papel muy importante en los procesos de transferencia y transporte de solutos. En los modelos de reacción presentados se describen algunos procesos que implican variaciones de masa (disolución/precipitación) muy importantes.

Por otra parte, la información hidrogeológica sobre caudales de flujo subterráneo y velocidades de movilización no se ha incorporado al estudio de caracterización global, por lo que no puede estimarse el transporte neto de masa que se puede estar produciendo ni a qué velocidad se está efectuando.

El alto potencial químico que se alcanza en algunas de las muestras recogidas en campo (con conductividades eléctricas superiores a la del agua marina), les confiere una alta capacidad de movilización de solutos (incluidos metales y elementos radiactivos).

Por otra parte, Enresa no ha completado la caracterización con predicciones de situaciones que pudieran encontrarse durante la construcción y el funcionamiento de la instalación.

Así, se desconoce dónde podrían producirse, en el modelo de flujo general, los importantes procesos de disolución-precipitación mineral que prevén los modelos obtenidos, y sus consecuencias en el aumento o disminución de volumen en los materiales o en sus propiedades geotécnicas, como también se ha mencionado anteriormente en los aspectos de geomorfología (tasas y zonas de erosión/sedimentación) y petrografía/diagénesis. Más concretamente, Enresa no precisa si es posible que estos procesos pudieran llegar a inducirse en la zona nuclear, durante un periodo de actividad donde pudieran producirse incidentes relacionados con la infiltración accidental de aguas pluviales, sanitarias, red contra incendios, etc.

Este hecho es de tanta relevancia que puede invalidar las conclusiones del estudio en lo que respecta a la idoneidad del emplazamiento, respecto a lo cual Enresa concluye: *“los procesos de disolución derivados de la interacción agua-roca en la zona del emplazamiento nuclear no van a afectar a la estabilidad del terreno que está en equilibrio con el agua que lo atraviesa”, y “Los procesos de disolución – precipitación observados no afectan a la seguridad del emplazamiento”.*

El informe posterior sobre la disolución de yeso durante la explanación se presenta una aproximación cuantitativa teórica muy simplificada de las cantidades de yeso que podrían llegar a disolverse durante las obras e explanación y antes de instalar la losa de cimentación. Esta estimación es independiente de los datos experimentales (ensayos de lixiviación, calidad química de las aguas subterráneas), y está desligada de los resultados obtenidos en los informes anteriores, donde se identifican las fases minerales que controlan la transferencia de masa. Las simplificaciones efectuadas hacen que la estimación final no pueda considerarse conservadora, ni siquiera representativa de las condiciones previsibles.

Respecto al "Resumen de condiciones del emplazamiento y bases de diseño" presentado por Enresa, se pueden hacer las siguientes valoraciones en lo relativo a la caracterización hidroquímica:

- *Las aguas subterráneas están saturadas en sulfato cálcico a partir de la vaguada situada al este de la zona nuclear anulando su capacidad de disolución de yesos en el sentido del flujo subterráneo. Estas condiciones no se verán afectadas por las excavaciones previstas.*

Teniendo en cuenta las limitaciones de la representatividad de la red de control de aguas subterráneas establecida, esta afirmación se considera sólo parcialmente correcta. Si bien las aguas saturadas en yeso no tienen en principio capacidad de disolución de este mineral, es probable que en el subsuelo se produzcan, de acuerdo con las simulaciones presentadas, la disolución de otros minerales (cloruros y sulfatos de sodio, magnesio o calcio, cuyos porcentajes no han sido valorados) y/o la precipitación inducida de otros, lo que supone variaciones de masa y volumen en el sistema, con potenciales efectos sobre las características geotécnicas.

Además, el impacto más relevante en la calidad de las aguas y su influencia en los procesos de disolución/precipitación podría proceder de la entrada en el sistema de aguas diluidas (p.e. sanitarias, red de pluviales, etc.) que pudieran llegar al subsuelo ocasionalmente.

- *Composición química de las aguas subterráneas del emplazamiento: en el subsuelo de la zona nuclear del emplazamiento el agua subterránea está en equilibrio con el medio rocoso por lo que los procesos de disolución derivados de la interacción agua-roca no generarán en consecuencia riesgo de subsidencia apreciable.*

No se comparte esta afirmación. El agua subterránea puede estar en equilibrio con una fase mineral, pero no con todas las que se han identificado como minoritarias, y que ejercen una fuerte influencia sobre el quimismo de las aguas subterráneas.

Durante la construcción y operación del ATC debe tenerse en cuenta que pueden producirse cambios (generación de polvo por el trasiego de maquinaria, asentamientos diferenciales de terreno, etc.) que favorezcan la disolución de sales solubles y la precipitación y/o neoformación de otros minerales.

[Redacted text block]

12.2. Otros Documentos

[Redacted text block]

- [Redacted list item]

[Redacted text block containing multiple paragraphs of obscured content]

[Redacted text block containing multiple paragraphs of obscured content]

[Redacted text block containing multiple paragraphs of obscured content]

[Redacted text block]

[Redacted text block containing multiple paragraphs and bulleted lists, all obscured by black bars.]

La documentación relativa a Cimentaciones incluida en algunos de los documentos listados no ha sido evaluada por estar fuera del alcance del presente informe

