

IDENT.: CSN/IEV/IMES/ATC/1507/45

	REV.: 0
	SUPL:
SUPLEMENTOS	

TITULO: Evaluación del Estudio General de Cimentaciones y del informe Descripción de las Actividades y obras preliminares de infraestructuro, presentados por Enresa como documentación soporte a la solicitud de autorización previa del Almatén Temporal Centralizado (ATC).

CÓDIGO DE IMPUTACIÓN: 5.02.10.02.03.01

CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA: SI

СОМСЕРТО	NOMBRE	PUESTO DE TRABAJO	FIRMA	FECHA
AUTOR		Jefe de Área IMES		9/02/12
REVISADO		Jefe de Área IMES		9/07/11
APROBADO		Subdirector SIN		69/03/1

# INDICE

- 1. OBJETO
- 2. ALCANCE
- 3. ANTECEDENTES
- 4. NORMATIVA APLICABLE Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN
  - 4.1.- NORMATIVA APLICABLE
  - 4.2.- CRITERIOS DE ACEPTACIÓN
- 5. EVALUACIÓN
  - 5.1.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN
  - 5.2.- CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO
    - 5.2.1.- Trabajos realizados
    - 5.2.2.- Unidades geotécnicas
    - 5.2.3.- Mineralogía
    - 5.2.4.- Nivel Freático.- Esquema hidrogeológico
    - 5.2.5.- Características mecánicas del terreno
    - 5.2.6.- Análisis del fenómeno de la expansividad
      - 5.2.6.1.- Posibilidad de presencia de anhidrita
      - 5.2.6.2.- Análisis experimental. Evaluación del potencial expansivo.
      - 5.2.6.3.- Capa activa
    - 5.2.7.- Disolución de yesos
  - 5.3.- METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CIMENTACIONES DEL ATC
    - 5.3.1.- Evaluación de la capacidad portante del terreno
    - 5.3.2.- Estimación de asientos/levantamientos
    - 5.3.3.- Metodología de obtención de la tensión admisible
    - 5.3.4.- Análisis de esfuerzos en las losas y pantallas.- Módulo de Balasto
    - 5.3.5.- Empujes de tierras
    - 5.3.6.- Análisis de la interacción suelo-estructura
    - 5.3.7.- Verificación de la resistencia y estabilidad de las cimentaciones
    - 5.3.8.- Verificación de Estados limites de servicio (ELS)
  - 5.4.- DISEÑO BÁSICO DE CIMENTACIONES Y OBRA CIVIL DEL ATC
    - 5.4.1.- Edificios con zapatas
    - 5.4.2.- Capacidad portante del terreno

- 5.4.3.- Fases de construcción
- 5.4.4.- Taludes de excavación
- 5.4.5.- Relleno
- 5.4.6.- Tuberías y zanjas
- 5.4.7.- Drenaje subterráneo
- 5.4.8.- Plataforma del área protegida
- 5.5.- SOLUCION PRELIMINAR FRENTE A FENÓMENOS DE EXPANSIVIDAD Y DISOLUCIÓN DE YESOS
  - 5.5.1.- Expansividad
  - 5.5.2.- Disolución de yesos
- 5.6.- ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD FRENTE A SITUACIONES EXTREMAS
- 5.7.- SOLUCIÓN DE DISEÑO ENVOLVENTE FRENTE A FENÓMENOS DE EXPANSIVIDAD Y DISOLUCIÓN DE YESOS
  - 5.7.1.- Expansividad
  - 5.7.2.- Disolución de yesos
  - 5.7.3.- Valoración de IMES de la solución de diseño envolvente
- 5.8.- RECOMENDACIONES DURANTE LA EJECUCIÓN
- 5.9.- NUEVAS INVESTIGACIONES Y VIGILANCIA EN EL FUTURO
- 5.10.- ESTUDIO DE LA FUNCIONALIDAD DE LA INSTALACIÓN
- 5.11.- CONCLUSIONES DE ENRESA SOBRE LA IDONEIDAD DE LAS CIMENTACIONES
- 5.12.- DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y OBRAS PRELIMINARES DE INFRAESTRUCTURA

#### 6. CONCLUSIONES

- 6.1.- CONSIDERACIONES PREVIAS
- 6.2.- CONCLUSIONES SOBRE EL CONTENIDO DEL ESTUDIO GENERAL DE CIMENTACIONES
- 6.3.- CONCLUSIONES DE LA VALORACIÓN DEL INFORME DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y OBRAS PRELIMINARES DE INFRAESTRUCTURA.
- 6.4.- CONCLUSIÓN FINAL SOBRE LA IDONEIDAD DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN DE DISEÑO ENVOLVENTE

#### 7. REFERENCIAS

## ANEXO I: Informe de Valoración de la Universidad de Cantabria

- 1.- Nivel freático.
- 2.- Presencia de anhidrita.
- Evaluación del potencial expansivo.
- 4.- Conclusiones.

#### 1. OBJETO

El Ministerio de Industria, Energía y Turismo (MINETUR), remitió al CSN, mediante carta de fecha 14/01/2014, la solicitud de las autorizaciones previa y de construcción de la instalación nuclear del Almacén Temporal Centralizado de combustible gastado y residuos de alta actividad (ATC), presentada por Enresa acompañada de la documentación soporte de las mismas.

Entre la documentación de apoyo a la solicitud de autorización previa, y de acuerdo con el artículo 14 del Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas (RINR), Enresa incluía el preceptivo Estudio de caracterización del emplazamiento.

Durante el proceso de evaluación del CSN de dicho Estudio a lo largo del año 2014, Enresa continuó realizando diferentes ensayos relacionados con el desarrollo de su Plan de Caracterización. Dado el volumen y heterogeneidad de la información generada en el desarrollo de dicho Plan, el CSN solicitó a Enresa la presentación de un informe resumen de la misma. Para dar cumplimiento a la solicitud, Enresa presentó el documento 042-IF-SU-0018. Dic. 2014. Informe Resumen de Integración para la caracterización del emplazamiento del ATC de Villar de Cañas (Cuenca) [Ref. 1], y posteriormente, en mayo de 2005, realizó una revisión, presentando el documento 042-IF-TC-0008.- Rev.1.- Estudio de Caracterización del Emplazamiento del ATC en Villar de Cañas (Cuenca) y de la Zona de Influencia de la Instalación. [Ref. 2], en el que incorporaba los resultados de las últimas campañas de ensayos.

Durante el desarrollo de los trabajos de caracterización del emplazamiento llevados a cabo por Enresa, se puso de manifiesto la existencia de una problemática asociada a ciertas características del terreno del emplazamiento, especialmente al carácter expansivo de las arcillas y la posible activación de disolución de yesos, así como las incertidumbres en la determinación de su efecto en el comportamiento del terreno. El CSN solicitó a Enresa, la presentación de una propuesta de diseño conceptual técnicamente viable y seguro de la cimentación, para cada uno de los diferentes edificios del ATC, y que fuese aplicable en los previsibles escenarios del terreno que pudieran resultar del estudio de caracterización. Para ello, la propuesta debía estar basada en unos valores razonablemente conservadores y envolventes de aquellos parámetros específicos del emplazamiento que no hubieran podido ser determinados o fijados con la suficiente precisión en la última edición del Estudio de caracterización.

En contestación a dicha solicitud, y como soporte para la solicitud de Autorización previa del ATC, Enresa presentó el documento 042-L1-F-C-00011 Estudio General de Cimentaciones. Idoneidad del emplazamiento en Rev. 1 de 21/01/2015 [Ref. 3], y posteriormente la Rev. 2 del mismo, aunque pasó a denominarse Estudio General de Cimentaciones, de 20/05/2015 [Ref. 4], donde expone las soluciones propuestas para la cimentación de los diferentes edificios del ATC. El documento se ha incluido como referencia en el preceptivo documento para la autorización previa, Anteproyecto de Construcción.

El objeto del presente informe es la evaluación, por parte del Área IMES, de la información presentada en la última revisión de dicho estudio [Ref. 4], con el fin de valorar la idoneidad de las soluciones constructivas de las cimentaciones propuestas por Enresa, considerando los condicionantes derivados del Estudio de caracterización del emplazamiento [Ref. 2].

La evaluación del Estudio de caracterización [Ref. 2] no es objeto de la presente evaluación ya que es competencia del Área de Ciencias de la Tierra (CITI), y se encuentra recogida en los informes:

- CSN/IEV/CITI/ATC/1505/36: Evaluación de los estudios de caracterización del emplazamiento del ATC en Villar de Cañas (Cuenca), presentados por Enresa con la solicitud de autorización previa de la instalación.
- CSN/IEV/CITI/ATC/1506/42: Evaluación de la idoneidad del emplazamiento del ATC en Villar de Cañas (Cuenca) en relación con la autorización previa solicitada por Enresa.

Hay que indicar también que, para llevar a cabo la presente evaluación, el Área IMES ha contado con la colaboración del Grupo de Geotecnia, liderado por el profesor

de la Universidad de Cantabria, con la que se estableció el correspondiente contrato de servicio de asesoramiento el pasado mes de marzo. Los resultados de la valoración realizada en el marco de dicho contrato se encuentran recogidos en el documento Informe de valoración de la solución de cimentación de la instalación nuclear ATC [GG-ATC-01 en revisión 0 de mayo 2015 [Ref. 5], y en su revisión 1 de junio de 2015 [Ref. 6].

Como consecuencia del mismo, en la evaluación realizada en el presente informe sobre el estudio de cimentaciones [Ref. 4], se incorporan aquellas observaciones derivadas de la valoración realizada por la Universidad de Cantabria [Ref. 6] que se han considerado relevantes para el objeto de la evaluación.

#### 2. ALCANCE

El alcance de la presente evaluación se centra principalmente en el documento Estudio General de Cimentaciones [Ref. 4] presentado por Enresa como soporte documental de la solicitud de autorización previa de la instalación del ATC en el documento de Anteproyecto de Construcción 042-IF-DT-0004 Rev.2 [Ref. 17].

Se incluye también en el alcance, aunque parcialmente, el documento de Enresa, Descripción de las Actividades y obras preliminares de infraestructura, 042-IF-TC-0009 Rev. 2 [Ref.18], que da cumplimiento al apartado f) del artículo 14 del RINR.

Dentro del alcance de la evaluación, como documentación de referencia, al no ser objeto directo de la misma, se ha considerado la información referenciada por Enresa como lista de datos de partida para la elaboración del documento [Ref. 4], y que se relaciona a continuación:

- 042-IF-TC-0008.- Rev.1.- Estudio de Caracterización del Emplazamiento del ATC en Villar de Cañas (Cuenca) y de la Zona de Influencia de la Instalación. Enresa. [Ref. 2].
  - Sección 2.8.- Estabilidad, geotecnia y soluciones constructivas.

Se considera en su totalidad. Incluye el resumen de las investigaciones geotécnicas realizadas en campo y laboratorio, la definición de unidades geotécnicas y sus características, condiciones locales del nivel freático, propiedades dinámicas del terreno, comportamiento geotécnico relacionado con la expansividad y con la disolución de yesos, estabilidad del terreno frente a cargas transmitidas por las cimentaciones, estabilidad de taludes de excavación y de relleno, implicaciones del terreno en el proyecto y la construcción, y una serie de consideraciones sobre las características geotécnicas relevantes para establecer las bases de diseño de construcción.

Contiene la información base con la que ha sido redactado el apartado 4.-Caracterización geológica del terreno de [Ref. 4].

Sección 2.9.- Resumen de condiciones del emplazamiento y bases de diseño.

Recoge las características del emplazamiento, soporte de los criterios de diseño, obtenidas hasta el momento.

Para la redacción del presente IEV, de esta sección solo se han considerado las subsecciones:

- 2.9.4. Geología y geomorfología.
- 2.9.5. Sismología.
- 2.9.7. Hidrogeología e hidrogeoquímica.
- 2.9.8. Estabilidad, geotécnica y soluciones constructivas.
- 2.9.9. Tabla resumen de las bases de diseño del emplazamiento.
- GVCIF001.- Rev.2.- Investigación de las Características del Terreno para el Diseño de detalle y futura construcción del Almacén Temporal Centralizado (ATC) de Villar de Cañas (Cuenca). Realizado por [Ref. 7].

Del documento se han considerado los apartados:

- Capitulo 5.- Caracterización geotécnica de los materiales.
- Tabla 6.1.- Parámetros geotécnicos medios adoptados.
- Sección 8.2.- Metodología de cálculo de cimentación.
- Sección 8.3.- Estudio detallado de cada edificio.
- Tabla 8.5.1.- Cuadro resumen de condiciones de cimentación.
- 258-L1-R-C-00001.- Rev.4.- Criterios de Diseño Civil del Almacén Temporal Centralizado (ATC). Realizado por [Ref. 8].
  - Normativa aplicable.
  - Requisitos de seguridad estructural, estabilidad, servicio y utilización.
  - Combinaciones de carga.
- 258-L1-ENR-01319.- Rev. 1 Plan de Vigilancia del Emplazamiento del ATC en Villar de Cañas (Cuenca) [Ref. 9].

También se han considerado, como documentación de referencia adicional, los informes:

- 1409-2, Rev. 0, Diciembre 2014, Estudio de Expansividad de la unidad LBS. [Ref. 10].
- 042-CO-TC-2013-0016. Investigación de las características del terreno para el diseño de detalle y futura construcción de la Instalación Nuclear del Almacén Temporal Centralizado (ATC) de Villar de Cañas (Cuenca).
   , Diciembre 2014. [Ref. 11].

Por último, como se ha mencionado en el último párrafo del apartado 1.-Objeto, se ha considerado como documentación de referencia, incluyendo dentro de la propia evaluación parte de su contenido, el documento de la Universidad de Cantabria Informe de valoración de la solución de cimentación de la instalación nuclear ATC. [Ref. 6].

#### 3. ANTECEDENTES

La puesta en marcha del Almacén Temporal Centralizado (ATC) fue encomendada al Gobierno por el Congreso de los Diputados, en los años 2004 y 2006, y se definió como objetivo prioritario en el vigente 6º Plan General de Residuos Radiactivos (PGRR), aprobado por el Consejo de Ministros en junio de 2006.

El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) acordó en junio de 2006 la apreciación favorable del Diseño Genérico del ATC, sobre cuya base se desarrolla el proyecto de esta instalación.

Tras una convocatoria pública para la selección de los municipios candidatos a albergar el emplazamiento del AT Centralizado, el Consejo de Ministros, mediante acuerdo de 30 de diciembre de 2011, basándose en las conclusiones de la Comisión Interministerial encargada del emplazamiento del ATC, designó el municipio de Villar de Cañas (Cuenca) para albergar el emplazamiento del ATC y su Centro Tecnológico Asociado (CTA).

De acuerdo a la definición del Artículo 11 del RINR, el Almacén Temporal Centralizado de combustible gastado y residuos de alta actividad (ATC) es una Instalación Nuclear. El proceso de licenciamiento de la instalación nuclear del ATC hasta su puesta en servicio, según el artículo 12.1 del RINR, comprenderá las autorizaciones siguientes:

- · Autorización previa o de emplazamiento,
- · Autorización de construcción, y
- Autorización de explotación.

Conforme a lo dispuesto en el artículo 12.2 del RINR, la solicitud de autorización previa y la solicitud de construcción de la instalación nuclear del ATC pueden ser solicitadas simultáneamente ante el MINETUR, tal como hizo Enresa con fecha 13 de enero de 2014. No obstante, aunque se realiza una sola solicitud, se tramitarán dos autorizaciones independientes.

En enero de 2014, Enresa presentó ante el MINETUR la solicitud para la Autorización Previa y la Autorización de Construcción, junto con la documentación soporte que exige el RINR para dichas autorizaciones.

El 15 de septiembre de 2014 el CSN realizó a Enresa una Petición de Información Adicional (PIA-1-AP) en relación con la documentación de la solicitud de Autorización Previa del ATC.

El 30 de diciembre de 2014, Enresa presentó al CSN el Informe Resumen de Integración para la Caracterización del Emplazamiento del ATC de Villar de Cañas (Cuenca) [Ref.1] para dar respuesta a lo solicitado en la PIA-1-AP.

El 21 de enero de 2015, Enresa presentó al CSN la Rev.1 del Estudio General de las Cimentaciones. Idoneidad del Emplazamiento [Ref. 3].

El 12 de mayo de 2015, Enresa presentó ante el MINETUR el Estudio de Caracterización del Emplazamiento del ATC [Ref.2] junto con la revisión del resto de documentación requerida para la Autorización Previa.

El 21 de mayo de 2015, Enresa presentó al CSN la Rev.2 del Estudio General de las Cimentaciones, [Ref. 4], cuya evaluación es el objeto del presente IEV.

Esta revisión 2 de [Ref. 4] incluye la actualización, de acuerdo al Estudio de Caracterización del Emplazamiento del ATC [Ref. 2], de algunos aspectos importantes, como son la obtención de los valores característicos de deformación de hinchamiento y la actualización de los resultados de los ensayos geotécnicos realizados e incorpora los comentarios y acuerdos de las actas de reunión: CSN/ART/GSNA/ATC/1504/02 y CSN/ART/GSNA/ATC/1504/03.

### 4. NORMATIVA APLICABLE Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

### 4.1.- NORMATIVA APLICABLE

A continuación se relaciona la normativa de referencia considerada en la presente evaluación, coincidente con la indicada por Enresa en el Estudio General de Cimentaciones [Ref. 4], y de acuerdo con el documento Criterios de Diseño Civil del Almacén Temporal Centralizado (ATC) [Ref. 8].

### > Normativa del CSN:

 15-29, "Instrucción sobre instalaciones de almacenamiento temporal de combustible gastado y residuos radiactivos de alta actividad". CSN. 2010.

### Normativa del Ministerio de Fomento:

- EHE-08, "Instrucción de Hormigón Estructural", Ministerio de Fomento. 2008.
- CTE DB SE-C, "Código Técnico de la Edificación. Seguridad Estructural Cimientos".
   Ministerio de Fomento. 2007. [Ref. 15]
- "Guía de cimentaciones en obras de carretera". Ministerio de Fomento del Gobierno de España. 2009.
- ROM 0.5-05, "Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas y Portuarias".
   Ministerio de Fomento. 2005.
- PG-3, "Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes".
   Ministerio de Fomento. 2011. [Ref. 16].

### Normativa del OIEA:

- NS-R-3. "Site Evaluation for Nuclear Installations" (OIEA). 2003.
- NS-G-3.6. "Geotechnical aspects of site evaluation and foundations for nuclear power plants" (OIEA). 2005.

### Eurocódigos:

- UNE-EN 1997-1, "Euracode 7: Geotechnical Design, Part 1: General rules". 2010.
- UNE-EN 1997-2, "Eurocode 7: Geotechnical Design, Part 2: Ground investigation and testing". 2010.

#### Normativa de la U.S.NRC:

- RG 1.132. "Site investigations for foundations of nuclear power plants". U.S.NRC. 2003
- RG 1.138. "Laboratory investigations of sails for engineering analysis and design of nuclear power plants". U.S.NRC. 2003.
- NUREG-1567, "Standard Review Plan for Spent Fuel Dry Storage Facilities". U.S.NRC. 2000.
- NUREG-1536, "Standard Review Plan for Dry Cask Storage Systems". U.S.NRC. 2010.
- NUREG-0800, "Standard Review Plan". U.S.NRC. 2007/2013.
- NUREG/CR-5738, "Field investigations for foundations of nuclear power facilities". 1999.

 NUREG/CR-5739, "Laboratory Investigations of soils and rocks for Engineering Analysis". 2000.

### Otra normativa U.S.A.:

- ACI 349, "Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures". 2006.
- ACI 336.2R-88, "Suggested Analysis and Design Procedures for Combined Footings and Mats". 2002.
- ACI 224R-01, "Control of Cracking in Concrete Structures". 2001.
- ASCE, "Settlement Analysis. Technical Engineering and Design Guide", American Society of Civil Engineers, 1994.
- ASCE 4-14, "Seismic Analysis of Safety-Related Nuclear Structures and Commentary". (Enborrador).

### Normativa francesa:

AFNOR NF P94-110-1, "Norme pressiometrique".

### 4.2.- CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

El criterio de aceptación general utilizado en la presente evaluación es el cumplimiento de los requisitos de la normativa anteriormente mencionada y el juicio de ingeniería en aquellos aspectos no recogidos explicitamente en la normativa.

Cabe reseñar que el objeto y alcance de la presente evaluación no incluye la revisión de los cálculos de cimentación, ya que éstos serán objetos de evaluación en la fase correspondiente a la autorización de construcción. Por tanto la aplicabilidad en la evaluación de la normativa referenciada se considera limitada a la determinación de aquellos parámetros de diseño que serán datos de partida para el cálculo de las cimentaciones de acuerdo con los Criterios de Diseño Civil del ATC, y a su consideración en la metodología de cálculo propuesta por Enresa.

El alcance de la evaluación se centra en determinar si las soluciones de cimentación propuestas por Enresa, pueden considerarse aceptables, desde un punto de vista conceptual, teniendo en cuenta los parámetros geotécnicos determinados en los trabajos de caracterización del emplazamiento, y considerando las posibles incertidumbres derivadas de los mismos, especialmente aquellas ligadas al fenómeno de expansividad de las arcillas, la disolución de yesos o la eventual existencia y aparición futura de oquedades.

Dados los condicionantes de la presente evaluación, que trata de valorar la propuesta de cimentación de Enresa elaborada a partir de los datos obtenidos del estudio de la caracterización del emplazamiento [Ref. 2], cuya evaluación no es objeto del presente informe al ser competencia del Área CITI, hace que tenga un peso importante el juicio de ingeniería como criterio de aceptación. Conviene realizar una breve descripción del planteamiento del estudio de cimentaciones [Ref. 4] presentado por Enresa, dividido por capítulos, e indicar los criterios de aceptación aplicados en la presente evaluación para cada uno ellos:

 El estudio de cimentaciones [Ref. 4], objeto de la evaluación, en sus capítulos 4 y 5, refleja la metodología seguida para la caracterización geotécnica, y a partir de los parámetros obtenidos, desarrolla la metodología de diseño propuesta para los cálculos estructurales de detalle de las cimentaciones y estructuras enterradas. En relación con estos apartados, hay que indicar que la caracterización geotécnica y la bondad o calidad de los parámetros obtenidos es objeto de la evaluación de CITI. No obstante se han considerado y analizado especialmente los relacionados con la expansividad del terreno y la disolución de yesos por su repercusión en la metodología de diseño para los cálculos estructurales de las cimentaciones.

El criterio de aceptación utilizado en la evaluación de dicha metodología es el cumplimiento de los criterios establecidos en la normativa aplicable y si ésta se ha seleccionado adecuadamente. Hay ciertos aspectos de la metodología del cálculo estructural, no contemplados expresamente en la normativa, en los que se ha utilizado como criterio de aceptación el juicio de ingeniería basado en el estado del conocimiento. Como ejemplos de esta circunstancia se pueden citar la determinación del empuje lateral por hinchamiento o el análisis de la interacción suelo-estructura.

 A continuación en el capítulo 6 del estudio, se presenta un diseño básico de las cimentaciones, consistente en losas continuas para todas las estructuras relacionadas con la seguridad y para algunas de las convencionales, y una solución mediante zapatas aisladas para el resto de edificios convencionales. Incluye también una descripción de las fases de construcción y otros aspectos asociados a la misma, como los taludes de excavación, características de los diferentes rellenos, precauciones con las tuberías y zanjas, y la protección de la plataforma del área protegida.

Para este apartado se ha considerado como criterio de aceptación el Juicio de ingeniería basado en prácticas reconocidas para cimentaciones sobre terrenos expansivos, así como para la adopción de medidas dirigidas a limitar los efectos de la posible existencia de oquedades o de impedir que lleguen a producirse en el futuro.

Adicionalmente, con el fin de evitar los efectos asociados a las arcillas expansivas y a la posible existencia o aparición de oquedades no detectadas en la caracterización, Enresa presenta en su informe dos soluciones de cimentación a las que denomina "solución preliminar" y solución de "diseño envolvente" que se comentan en los párrafos siguientes.

En el capítulo 7, se describe la "solución preliminar" frente a fenómenos de expansividad y
de disolución de yesos. Esta solución preliminar, cumpliría lógicamente con los requisitos
estrictos derivados de la normativa aplicable, y se presenta como una solución
razonablemente más conservadora respecto a las condiciones más probables deducidas de
los datos de los estudios de caracterización del emplazamiento.

En relación con el fenómeno de expansividad, Enresa identifica aquellos edificios que estarán cimentados en la capa activa y presenta la propuesta para tener en cuenta en los mismos el posible levantamiento y empuje lateral del terreno debido a la expansividad. También realiza un estudio preliminar de los posibles desplazamientos verticales en los edificios derivados del fenómeno.

En relación con la disolución de yesos, Enresa mantiene que, las investigaciones geotécnicas de detalle del estudio de caracterización, confirman la no existencia de huecos y que no se considera probable su aparición en el futuro, por lo que no considera necesario su consideración en esta solución preliminar. No obstante propone la realización de una investigación sobre la presencia de huecos bajo las cimentaciones cuando se realice la excavación para la cimentación y, en caso necesario, la adopción de acciones para contrarrestar los efectos.

- Además de la "solución preliminar" definida en los párrafos anteriores, en el capítulo 8, Enresa plantea un estudio de sensibilidad frente a la aparición de situaciones extremas situadas más allá de los requisitos normativos y de los datos obtenidos en su caracterización del emplazamiento. Para ello analiza los dos aspectos que pudieran dar como resultado la aparición de esas acciones extremas, por un lado la existencia de arcillas de alta expansividad y por otro la existencia o nueva aparición de huecos de gran tamaño no detectados durante la caracterización.
- Como resultado de dicho análisis de sensibilidad, en el capítulo 9, Enresa define una "solución de diseño envolvente" con objeto de conseguir una cimentación robusta, capaz de soportar no solo los requisitos de las bases de diseño, sino también que sea capaz de soportar con mayores márgenes de seguridad la hipotética aparición de situaciones extremas inicialmente descartadas por los reconocimientos.
  - El criterio de aceptación utilizado para la evaluación de las dos soluciones propuestas por Enresa, además del lógico cumplimiento de la normativa aplicable, es nuevamente el juicio de ingeniería, basado en la práctica para cimentaciones sobre terrenos expansivos, aplicado para la valoración de las medidas adoptadas en el diseño y para la propuesta de investigación adicional para detectar la posible presencia de huecos bajo las cimentaciones.
- Por último en los capítulos 10, 11 y 12 del estudio, Enresa presenta una serie de recomendaciones para llevar a cabo durante la ejecución, el plan de vigilancia del emplazamiento y un estudio de funcionalidad de la instalación.
  - Dado que no hay normativa directamente aplicable, el criterio de aceptación utilizado para la evaluación de estos capítulos ha sido el juicio de ingeniería.

Una vez identificados aquellos apartados en los que se utiliza el juicio de ingeniería como criterio de aceptación en la evaluación, y antes de describir el proceso de la misma, se presentan algunas premisas que se han considerado en la aplicación de dicho juicio de ingeniería.

- Conviene resaltar nuevamente que el Estudio General de Cimentaciones [Ref.4] presentado por Enresa y objeto de la presente evaluación, no estaba inicialmente incluido en la versión original del documento de anteproyecto de construcción en cuyo lugar había una sucinta descripción de los sistemas de cimentación (apdo. 3.16.2.1). La inclusión de dicho Estudio General de Cimentaciones es consecuencia de una petición adicional por parte del CSN a la vista de los resultados de la primera fase de los trabajos de caracterización del emplazamiento. El hecho de constituir un documento descriptivo preliminar y a la espera de la evaluación de detalle a realizar en el marco de la autorización de construcción, refuerza la necesidad de utilizar criterios de aceptación basados en juicio de ingeniería a la hora de evaluar la propuesta presentada por Enresa, tanto desde el punto de vista de la justificación técnica de la misma para cubrir las posibles incertidumbres detectadas, como sobre el límite requerido en su alcance para la Autorización previa del emplazamiento.
- La existencia en el terreno natural de ciertos materiales que producen efectos adversos en las construcciones puede considerarse una característica normal en la mayoría de ellas. La circunstancia de que el emplazamiento de ciertas instalaciones industriales, como es el caso del ATC, o el trazado de algunas obras lineales, esté sujeto a diferentes condicionantes, adicionales a la propia suficiencia del terreno como soporte adecuado, obliga en ocasiones a considerar esos efectos adversos como aceptables siempre que puedan ser debidamente acotados y asumidos mediante soluciones constructivas técnicamente justificadas.

- Entre los materiales del suelo que pueden afectar negativamente a las obras que soportan se incluyen tanto los materiales arcillosos como los yesos, ambos presentes en el emplazamiento del ATC, y cuyos efectos son ampliamente conocidos en el sector de la construcción española desde hace muchos años, ya que se encuentra extendidos por gran parte del territorio español.
- En relación con el carácter expansivo de las arcillas se puede decir que, en general, su
  problemática real se considera que está más asociada al desconocimiento de su existencia
  previo a la obra, que a la propia peligrosidad de sus efectos sobre las estructuras. Si su
  potencial expansividad es detectada en la fase previa a la construcción, como es el caso que
  nos ocupa, existen estrategias constructivas contrastadas que permiten minimizar o anular
  sus efectos. En cambio, el desconocimiento previo, ha llevado en numerosas ocasiones a
  situaciones de daños importantes, produciendo la necesidad de costosas reparaciones o
  incluso provocando la ruina estructural.

El criterio de aceptación considerado en la evaluación es la comprobación de la adopción por parte de Enresa de esas estrategias constructivas para abordar los posibles efectos de la expansión del suelo y el conservadurismo empleado en la determinación de los parámetros que influyen en la determinación de dichos efectos.

Sobre el mecanismo de disolución de los yesos y la posible formación de oquedades, cabe
indicar que sus efectos sobre las estructuras, en casos extremos, pueden ser más peligrosos
que el caso anterior de las arcillas expansivas, ya que una vez superado unos tamaños
umbrales de oquedades producidas por la disolución pueden producirse colapsos. La
estrategia constructiva para terrenos susceptibles a este fenómeno suele basarse en mejora
del subsuelo mediante inyecciones y/o cimentaciones estructurales rígidas como losas de
gran canto capaces de absorber la presencia de los posibles huecos.

En su Estudio de cimentaciones [Ref. 4], Enresa descarta la disolución de los yesos como un condicionante para el adecuado comportamiento de las instalaciones del ATC, como se expone posteriormente en diferentes apartados de la presente evaluación. No obstante el criterio de aceptación adoptado para la evaluación, además de la comprobación de los argumentos presentados por Enresa para justificar la ausencia de huecos significativos en la actualidad y sobre la baja probabilidad de que se produzcan disoluciones durante la construcción o la vida útil de la instalación, también incluye la comprobación de la adopción de medidas constructivas adecuadas que minimicen el efecto de la eventual existencia de oquedades no detectadas y del establecimiento de un programa de vigilancia periódico capaz de detectar la posible existencia de un mecanismo de disolución de yesos y la adopción de las medidas correctivas necesarias.

 Por último, se resalta nuevamente que, la presente evaluación del documento Estudio General de Cimentaciones [Ref. 4], se basa en la bondad y veracidad de los datos presentados por Enresa en el Estudio de Caracterización del Emplazamiento [Ref. 2], que ha sido el documento base para la elaboración del anterior y ha sido objeto de evaluación por el Área CITI.

## 5. EVALUACIÓN

De acuerdo a lo indicado en el primer apartado del presente informe, el objeto de la evaluación es valorar la idoneidad de las soluciones constructivas de las cimentaciones propuestas por Enresa en [Ref. 4], considerando los condicionantes derivados del Estudio de caracterización del emplazamiento [Ref. 2], especialmente los relacionados con el carácter expansivo de las arcillas y la posible activación de disolución de yesos, así como las incertidumbres en la determinación de su efecto en el comportamiento del terreno. Como consecuencia, la evaluación presentada en los siguientes apartados, se centra principalmente en dichas incertidumbres y en el tratamiento dado por Enresa en sus propuestas para abordarlas.

Como se ha mencionado anteriormente, se considera como documentación de referencia para la evaluación el Informe de valoración de la solución de cimentación de la instalación nuclear ATC [Ref. 6], de la Universidad de Cantabria, cuyo contenido y conclusiones se comparte de forma genérica por el autor del presente informe, bajo la premisa de que la valoración realizada está fundamentada en la información aportada por Enresa en el documento de cimentaciones [Ref. 4], y por tanto condicionada por la bondad de la misma.

En la presente evaluación se ha optado por hacer referencia, en la valoración de algunos apartados, a la argumentación literal presentada en el Informe de la Universidad de Cantabria [Ref. 6], reflejándola en esos casos en el anexo I del presente informe. Se asume explícitamente el contenido de la misma en algunos puntos y en otros, se matiza algún aspecto o se incluye información adicional.

También conviene resaltar que, tal como se apunta en el último párrafo del apartado anterior, la evaluación del documento de caracterización [Ref. 2] la realiza CITI, y, en algún caso, podría haber discrepancias en la evaluación de CITI con las conclusiones del estudio de caracterización que Enresa utiliza en sus propuestas del diseño de cimentación. Esto puede dar lugar a posibles aparentes contradicciones entre las conclusiones del informe de CITI con las de IMES en la valoración de un mismo aspecto.

Para explicar estos casos, debe tenerse en cuenta que en ambas evaluaciones no coinciden ni el objetivo, ni el alcance, ni los criterios de aceptación aplicados. Podría haber algún caso en el que la definición de alguna de las bases de diseño del emplazamiento o la determinación de algunos parámetros de la caracterización no se considere aceptable o suficientemente justificado por parte del área CITI, mientras que en el alcance de la presente evaluación, esa posible indeterminación o incertidumbre detectada en la caracterización, se considere envuelta por el conservadurismo adoptado en la solución de cimentación propuesta y por tanto aceptable.

La evaluación presentada en los próximos apartados se encuentra estructurada siguiendo el índice presentado en el estudio de cimentaciones [Ref. 4], objeto de la misma. En cada uno de los epígrafes se incluye un breve resumen de la información de la documentación de Enresa, con la valoración de IMES, y comentando o incluyendo el contenido del ínforme de la U. de Cantabria [Ref. 6] en los apartados más significativos para las conclusiones de la presente evaluación.

En esta evaluación, se ha optado por reducir la información meramente descriptiva, tanto de las instalaciones como de los estudios de caracterización y sus resultados, ya que es objeto de la evaluación de CITI, reflejando aquí solo aquella necesaria para poder describir el proceso seguido en la presente evaluación y relevante para establecer las conclusiones.

### 5.1.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

La instalación del ATC se divide en tres áreas diferentes, atendiendo a su seguridad y en relación con los elementos nucleares del complejo. Se diferencian dos áreas en la Instalación Nuclear (dentro y fuera del área protegida) y la tercera corresponde al resto de instalaciones del proyecto.

La instalación nuclear dentro del área protegida agrupa a los edificios e instalaciones relacionados directamente con el almacenamiento, gestión e investigación de los residuos radiactivos. Son los incluidos en el alcance del estudio y se encuentran localizados en la zona NO de la parcela, rodeados de un doble vallado.

En general, los edificios relacionados con la seguridad serán de hormigón armado, rígidos, y sus cimentaciones estarán formadas por losas de un espesor que varía desde El nivel de esfuerzos a los que van a estar sometidas estas cimentaciones es elevado, debido principalmente el efecto del sismo postulado.

En la figura siguiente se muestra un plano con orientación Norte donde se representa la futura localización de los diferentes edificios del área protegida.

### LEYENDA

## 5.2.- CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO

## 5.2.1.- Trabajos realizados por Enresa

En el apartado 4.1 de [Ref. 4] se presenta un listado de los informes, extraído del conjunto de trabajos realizados por Enresa para la caracterización del emplazamiento, de aquellos en los que su alcance y resultados son considerados de interés para el análisis de la idoneidad geotécnica del terreno para la construcción de las cimentaciones.

La documentación referenciada recoge los resultados de las investigaciones geotécnicas, en el emplazamiento y su entorno, y ensayos de laboratorio, cuyo resumen se refleja en las siguientes tablas, incluidas en [Ref. 4]:

TABLA 1: RESUMEN DE LA INI INVESTIGACION GEOLOFICO		ANTE PERFILES DE GEOFÍSICA Y ZANJAS DE
	Nº	Longitud (m)
Perfiles de tomografía eléctrica	39	30.550
Perfiles de sismica reflexión	4	10,000
Tomografia sísmica	Malta	500+500 (10x20)
Trincheras	19	2.900

	No.	Long. Reconocida (m)
Down Hole	8	497
Cross Hole	3	163
Sónico de onda completa	6	392
MASW (2)	33	> 1600

	Sond	leos con testigo	Sondeos a destroza		Calicatas	Penetróm. Dinámicos
	No	Long. Total (m)	Nº	Long. Total (m)	Nº	Nº
Sondeos Preliminares	21	1.624,3	2	114,5	-	- 12
	21	500,1			20	
	10	544,4	7	332,10	-	
	97	2.302,9	2	102	9	54
Total	149	4.971,7	11	548,6	29	54

Para el estudio particularizado de la expansividad del terreno se han realizados los siguientes ensavos:

	Plasticidad	Estado	Mineralogía	eHL (1)	eHL + PH post HL (2)	eH(Pi) (1)	PH (3)	PH + eHL post PH (3)
Nº de ensayos	211	361	137	46 25 útiles	75 43 útiles	21 muestras 52 ensayos	23	43 42 útiles

D4546-03B / En ensayos de deformación de hinchamiento se incluyen 9 en muestras remoldeadas de calicatas.

## 5.2.2.- Unidades geotécnicas

En el apartado 4.2.1 de [Ref. 4] se identifican las unidades geotécnicas, definidas en el estudio de caracterización [Ref. 2], junto con sus características estáticas y dinámicas determinadas a partir de los ensayos realizados.

Dado que están ampliamente descritas en [Ref. 2], objeto de la evaluación de CITI, y descritas con el resumen de sus características en el informe de la Universidad de Cantabria [Ref. 6], en este apartado solo se presenta una relación de las mismas indicando sus espesores y composición básica, con el fin de identificarlas, ya que se nombrarán en otros apartados del presente informe.

Como es un apartado meramente descriptivo, no se hace ninguna valoración técnica del mismo, únicamente indicar que la información presentada en el informe de cimentaciones [Ref. 4] es coherente con la del informe de caracterización [Ref.2] y se considera suficientemente detallada en su descripción y asignación de propiedades geotécnicas para el desarrollo de la presente evaluación.

Las unidades consideradas en los estudios de Enresa, en orden de cotas descendentes, son:

- (SEL) Suelos eluviales. Se encuentran en toda la extensión del emplazamiento, con espesor inferior a 3 metros. Son suelos arcillosos de baja plasticidad (CL), y ocasionalmente arcilla de alta plasticidad (CH) y limos de alta plasticidad (MH), procedentes de la meteorización in situ del sustrato.
- (LBSalt) Lutitas de Balanzas superiores alteradas. Se encuentran en toda la extensión de la zona nuclear, con un espesor entre 3 y 6 metros. Constituye la parte superior, alterada, de las lutitas de la unidad siguiente (LBS). Son suelos duros arcillosos de baja plasticidad (CL), y ocasionalmente CH y MH.

## (LBS) Lutitas de Balanzas superiores.

Es la unidad donde se cimentarán las edificaciones de la instalación.

Son lutitas dolomíticas y yesíferas sanas o muy poco alteradas con resistencia en el tránsito suelo-roca. Se encuentran también en toda la extensión de la zona nuclear, con un espesor variable en la dirección E-O desde 2 o 3 metros en el Este hasta unos 34 metros en el Oeste. El sustrato terciario se encuentra ligeramente inclinado con buzamientos de unos 5º a 10º hacia el oeste.

En esta unidad, al igual que en la anterior (LBSalt), se han diferenciado tres litotipos, atendiendo a la forma en que se presentan las inclusiones de yeso. Se definen como:

- LBSmic: con aspecto de arenisca y abundantes cristales de yeso milimétricos repartidos homogéneamente en la matriz lutítica. Supone aproximadamente el 36% del volumen total del conjunto LBSalt + LBS.
- LBSmac: presentan cristales de yeso centimétricos lenticulares, los más grandes que se observan en la formación. Supone aproximadamente el 13% del volumen total del conjunto LBSalt + LBS.
- LBSlut: aspecto lutítico con pocos cristales de yeso. Supone aproximadamente el 50% del volumen total del conjunto LBSalt + LBS.
- Además hay algunos niveles de yeso secundario (venas) que suponen menos del 1% del total de esta unidad.

## (YB<sub>A</sub>) Yesos de Balanzas

Está constituida por una alternancia de niveles de lutitas yesíferas grises y niveles de yesos más o menos lutíticos. En general es una roca blanda, de resistencia variable de 1 a 5 MPa para los niveles más lutíticos y de 7 a 28 MPa para los niveles de yesos más cristalinos.

Los niveles lutíticos tienen un contenido variable de yeso de entre 10% - 80%, y los niveles de yeso contienen entre 85% - 99% de yeso.

#### (YB<sub>B</sub>) Yesos de Balanzas

Es una unidad eminentemente yesifera, donde el yeso supone, de media, más del 83% del total de minerales constituyentes.

Se clasifica como una roca blanda, masiva, con resistencia a compresión simple entre 1,4 - 29,4 MPa con valor medio de 12,9 MPa.

#### (YB<sub>1</sub>) Yesos de Balanzas

Constituye la base de la unidad de Yesos de Balanzas y consta, al igual que la unidad YBA, de una alternancia de niveles de yeso y niveles de lutitas grises, aunque, a diferencia con la unidad YBA, la relación lutita-yeso es mucho menor. En el límite oriental de los edificios nucleares aparece a más de 50 m de profundidad, y en el límite occidental a unos 65 m.

En las muestras estudiadas mediante lámina delgada se ha podido observar la gran variabilidad mineralógica del sulfato de calcio, a veces en forma de yeso y a veces en forma de anhidrita.

La anhidrita se ha encontrado solamente al oeste, fuera de la zona nuclear, en los sondeos SVC-9, a partir de 55 m de profundidad, SVC-12, a 85m de profundidad y SVC-11, a partir de 115 m de profundidad

(LBI, UI) Unidades inferiores

Aparecen a gran profundidad, entre 70 y 150 m. Constituidas por lutitas y areniscas dolomíticas con yeso y cuarzo.

## 5.2.3.- Mineralogía

Se presentan a continuación un resumen en tablas de los resultados de las determinaciones de las fracciones mineralógicas recogidas en el informe de caracterización [Ref. 2]. Se considera importante su presentación para analizar los aspectos relacionados con la expansividad y con el potencial de disolución en yesos.

Se recoge, para cada unidad, el resultado de los ensayos con el contenido de cada componente.

Respecto a la expansividad, hay que destacar la importancia del contenido de esmectitas, ya que, como posteriormente se expone, es el componente más influyente en la misma. En el conjunto de la unidad LBS (y su nivel superior alterado), el contenido medio en filosilicatos es del 38±11 %, del que el 5±7 % corresponden a esmectitas y el restante 33% a otros minerales arcillosos. En cuanto al yeso, el contenido es del 39±15 %.

Unklad / Litetipa		SINTESIS MINERALOGÍA						
		Terrigenos (1) (%)	Carbonatas (2) (%)	Yeso (%)	Flios/licetos (%)	Esmectita (96)		
SEL	Ne.	1.	1	-1	1	1		
	μέσ	11	34	23	32	14		

Unidad / Litatipa		SINTESIS MINERALOGÍA							
		Terrigenos (1) (%)	Carbonatos (2) (%)	Yeso (%)	Filosilicatos (%)	Esmectito (%)			
	Nº.	31	31	31	31	23			
LBSalt + LBS (lut)	Minimo	0	4	15	15	0			
	Maximo	15	35	75	55	35			
	*	7±4	19±9	33 ± 12	40±11	5±8			
LBSalt + LBS (mac)	70*	20	20	20	20	19			
	Mínimo	1	4	10	20	0			
	Maximo	23	45	60	52	28			
	ź	7±6	78±11	37 ± 11	38 ± 9	7 ±9			
LBSalt +	Nº	20	20	20	20	19			
	Minime	0	4	7	0	0			
LBS (mic)	Maxinsa	10	48	89	5-6	10			
	±	3 ± 3	16 ± 11	49 ± 20	34±11	3 ± 3			
	Ne	71	71	71	71	61			
LBSalt +	Minimo	0	4	7	0	0			
LBS	Maximo	23	48	89	56	35			
	+	6 ± 5	18 ± 10	39 ± 15	38 ± 77	5 ±7			

(1) Fundamentalmente cuarzo. (2) Fundamentalmente dolomita.

Unidad /		SINTESIS MINERALOGÍA						
Litatipo		Terrigenos (1) (%)	Carbonatos (2) (%)	Yeso (%)	Filosificatos (%)	Esmectito (%)		
	Nº	19	19	19	19	14		
	Minimo	0	0	10	6	0		
YB-A	Máximo	20	45	80	81	19		
- 1	ź	4±5	15±14	50±23	30±18	6±6		

(1) Fundamentalmente cuarzo. (2) Fundamentalmente dolomita.

Unidad J Litetipo		SINTESIS MINERALOGÍA						
		Terrigenos (1) (%)	Carbanatos (2) (%)	Yeso (%)	Filosilicatos (%)	Esmectito (%)		
	N°	13	13	13	13	4		
	Minimo	0	0	54	0	0		
YB-8	Máximo	7	39	97	39	4		
- 3	t		5±11	82±16	70±13	312		

(1) Fundamentalmente cuarzo. (2) Fundamentalmente dolomita.

### 5.2.4.- Nivel Freático.- Esquema hidrogeológico

Hay que señalar la importancia de la determinación más realista posible de la cota del nivel freático, ya que es un parámetro que influirá en posibles actuaciones durante la obra, como pueden ser la adopción de precauciones adicionales al realizar la excavación, necesidad de contenciones, sistemas de drenajes y bombeo, impermeabilizaciones, determinación de subpresiones y empujes hidrostáticos en los muros, etc.

En el apartado 4.3 de [Ref. 4], Enresa presenta su estimación sobre la posición y la variación estacional del nivel freático derivada de su Estudio de Caracterización del emplazamiento, y que se resume en:

- El nivel freático se encuentra muy somero, en general, su posición anual media en los diferentes puntos del área nuclear, está entre 2,5 y 4,0m de profundidad.
- Las observaciones en los piezómetros instalados, muestran valores positivos de la presión intersticial por debajo del nivel freático, lo que confirma que el terreno está saturado. Las oscilaciones estacionales medidas hasta la fecha no parecen superar 1-1,5 metros en los piezómetros donde han sido mayores.
- El modelo hidrogeológico predice que si se elimina la infiltración en la zona nuclear, el nivel freático bajará y se mantendrá, bajo la zona nuclear, a una cota aproximada 802-803m en el borde oeste del conjunto de edificios y a 805-806m en el borde este.

Dada la importancia señalada de la estimación del nivel freático, se reproduce literalmente, en el punto 1 del Anexo I del presente informe, la valoración realizada sobre este apartado en el informe de la Universidad de Cantabria [Ref. 6].

De la valoración cabe destacar que, considerando razonables las estimaciones de Enresa, se plantea la incertidumbre sobre la previsión del nivel freático con la consideración del efecto que sobre el mismo puede tener la loma situada al Norte de la parcela.

La valoración presentada en [Ref. 6] (punto1 de Anexo I) es asumida también por IMES, no obstante, a continuación, se incluyen unos comentarios adicionales para argumentar las conclusiones de la presente evaluación relacionado con este punto.

#### Comentarios adicionales de IMES

Como ya se ha indicado, la importancia de la determinación del valor de la cota del nivel freático estriba en que puede condicionar el proceso de ejecución de la obra así como el diseño estructural, tanto de la cimentación como del resto de elementos estructurales enterrados. A continuación se realiza una valoración adicional por parte de IMES a lo ya expuesto en el Anexo I, en relación con el nivel freático.

Cabe indicar que los valores asignados por Enresa a la cota del nivel freático, tanto en la actualidad como los previsibles tras la realización de la obra, presentan ciertas incertidumbres, derivadas del corto periodo de tiempo que se llevan realizando las medidas de nivel piezométrico para poderlas considerar suficientemente representativas respecto a las oscilaciones estacionales, y para poder establecer, en el momento actual, un modelo hidrogeológico fiable para estimar su variación durante la vida útil de la instalación.

Según expone Enresa, el funcionamiento impreciso de varios de los piezómetros instalados, impide de momento representar la piezometría profunda, por lo que está en proceso de licitación la construcción de piezómetros convencionales profundos que reemplacen a los anteriores.

No obstante, hay que señalar que la red de control establecida actualmente, en la que se han incorporado nuevos piezómetros, y su ampliación prevista en el plan de vigilancia, deberá permitir realizar, durante las fases de construcción y operación, el seguimiento y actualización del modelo hidrogeológico.

 Por otro lado, en el informe de caracterización [Ref. 2], se incluyen tablas con una síntesis de los parámetros hidráulicos obtenidos en los distintos ensayos. En los resultados se puede observar que la conductividad hidráulica tiene un rango de variación muy grande.

Los valores estimados varían desde menos de 10<sup>-6</sup> m/día e, incluso, excepcionalmente, menos de 10<sup>-8</sup> m/día, hasta más de 10<sup>+3</sup> m/día. Los valores más bajos se corresponden con los tramos de yesos compactos, con pocas intercalaciones y discontinuidades, de la unidad YB y con los materiales predominantemente arcillosos de las unidades LBS y LBI; mientras que los valores más altos se dan en los afloramientos de la unidad YB al este de la zona nuclear en la que los yesos están afectados por procesos de disolución.

Enresa, en la Tabla 2.7-6 de su informe [Ref. 2], recogida también en el punto 1 del Anexo I del presente IEV, refleja los coeficientes de permeabilidad asignados a cada unidad geotécnica. Sin entrar a valorar en detalle los valores reflejados, al no ser objeto de la presente evaluación, sí es destacable la muy baja permeabilidad asignada para la lutita LBS.

En la actualidad Enresa se está realizando ensayos adicionales para caracterizar la relación entre la succión y el contenido de humedad y la deformabilidad en edómetro, así como la conductividad hidráulica con el material semisaturado. Sus resultados serán incorporados al modelo hidrogeológico del futuro Plan de Vigilancia.

 Conviene señalar que el hecho de que existan incertidumbres en los valores asignados, tanto a los valores de conductividad como a la situación del nivel freático, no tiene por qué cuestionar la posible aceptación de la solución de cimentación en la fase actual de autorización previa del emplazamiento, siempre que sean tenidas en cuenta a la hora de establecer la estrategia de ejecución y se incluya en el diseño una valoración del posible efecto del nivel freático en las situaciones más desfavorables.

No obstante, la consideración de los dos aspectos principales por los que se solicitó la presentación del documento Estudio General de Cimentaciones [Ref. 4], expansividad del terreno y potencial disolución de yesos, ambos afectados por el comportamiento del agua en el terreno, induce a plantear una condición que, aunque no cuestiona las conclusiones del presente informe, deberá ser analizada por Enresa en el marco de la autorización de construcción.

La condición, consistente en el diseño de un sistema de drenaje, enlaza con el comentario reflejado en los párrafos de la valoración del informe [Ref. 6] de la U. de Cantabria sobre la previsión del nivel freático bajo la zona nuclear a la cota y en el que se indica que podría situarse algo más elevado si el nivel freático en la loma situada al Norte de la parcela fuera menos profundo del estimado en el modelo.

Antes del planteamiento de la condición, se realiza una breve descripción del emplazamiento, representado en la figura siguiente, tomada del estudio de caracterización [Ref.2]. En ella se puede observar que se trata de una colina de planta ovalada, con su eje mayor en dirección NNO-SSE, cuya cima es una cresta que se encuentra dividida en dos lomas, ambas a la cota +818 a +819, por un collado situado a la cota +814, por el que discurre el llamado Camino de Cardadores. Este camino constituye el borde Norte de la instalación, que estará ubicada integramente en la loma Sur de la colina.



Una vez que se realice la excavación y la obra, la explanada general está prevista a una cota de netros, por lo que en el limite Norte de la explanada de la instalación, quedará un desmonte de unos netros, en la zona más alta del camino respecto de la explanada.

En la actualidad, es previsible que el nivel freático en la loma norte se encuentre próximo a la superficie, en forma similar a lo que sucede en la loma sur. Esto induce a considerar que una vez establecido el desmonte, pueda provocar una descarga del nivel freático de la loma norte hacia la excavación.

Durante la ejecución de la obra se deberán tomar las medidas necesarias para evitar que el aporte de agua, aunque no es esperable que sea en grandes cantidades, altere el terreno de la explanación. Este aporte de agua podría venir de la escorrentía superficial y de la descarga del nivel freático que en la loma norte e incluso en el collado estará por encima del nivel de explanación.

Durante la fase de operación, hay previstas medidas establecidas para evitar filtraciones de agua en la plataforma de operación y conseguir minimizar las variaciones de humedad, que se comentarán en apartados posteriores; no obstante, hay que considerar que dichas medidas no van a ser aplicadas en la loma superior situada fuera del emplazamiento, por lo que su nivel freático seguirá teniendo las alteraciones estacionales que existen en la actualidad. La posibilidad de la descarga del nivel freático de la loma norte hacia la plataforma de la instalación, cuestionaría la efectividad de las medidas previstas, con la consideración adicional de que el agua aportada de la descarga del nivel freático sería principalmente el agua superior procedente de precipitaciones.

En base a lo expuesto en los párrafos anteriores, se considera que, en el marco de la concesión de la Autorización de Construcción, Enresa debe realizar y presentar al CSN un análisis detallado acerca de la posible disposición y su efecto en el modelo hidrogeológico, de un drenaje horizontal relativamente superficial al pie del talud (o muro de contención) entre el Camino de Cardadores y el lado Norte de la plataforma de la instalación, con el fin de conseguir el aislamiento de los efectos de la variación del nivel freático en la loma norte sobre los niveles en la zona de la instalación.

#### 5.2.5.- Características mecánicas del terreno

Los parámetros de comportamiento mecánico del terreno se han obtenido por parte de Enresa a partir de los ensayos de laboratorio y de campo. El total de ensayos realizados se muestra en la Tabla 2.8.4 del estudio de caracterización [Ref. 2], reproducida en las tablas del apartado 5.2.1 del presente informe.

En los apartado 4.4 y 4.5, del Estudio de Cimentaciones [Ref. 4], se presenta un resumen de los resultados de los mismos para la determinación de las propiedades dinámicas del terreno, obtenidas a partir de reconocimientos geofísicos, y de los valores de la carga admisible y de los asientos debidos a la aplicación de las cargas permanentes de los edificios.

De los resultados de los mismos, Enresa concluye que los valores de la carga admisible para cargas permanentes varían entre 472 y 917 kPa y son muy superiores a las aplicadas por los edificios (aproximadamente entre 100 y 250 kPa), por lo que la resistencia del terreno no es un condicionante para el comportamiento de los edificios.

En relación con los asientos, indica que los que se producirían si se aplicasen las cargas de 472 a 917 kPa tendrían valores de 2 a 32 mm. Para las cargas reales aplicadas de proyecto, los asientos no superan los 10mm. Por lo que concluye que la deformabilidad del terreno por aplicación de cargas, sin variaciones ambientales de humedad, tampoco es un condicionante para el comportamiento de los edificios.

La valoración de IMES, coincide con la reflejada en el informe de la U. de Cantabria [Ref. 6], que se expone a continuación.

## Valoración del informe de Universidad de Cantabria [Ref. 6]

Los resultados de los ensayos están debidamente interpretados en los estudios correspondientes, habiéndose definido a partir de ellos los valores característicos de los diferentes parámetros. El Apartado 2.8.2 del Informe de caracterización del emplazamiento de Enresa [Ref. 2] recoge los valores adoptados para cada una de las unidades geotécnicas, tanto en cuanto a identificación y estado como resistencia (compresión, tracción y corte), deformabilidad (instantánea y diferida), permeabilidad, alterabilidad, excavabilidad, etc. Además de los ensayos de laboratorio, las campañas geofísicas, mediante sísmica de superficie y en sondeo (cross-hole y down-hole) permiten la determinación de las velocidades de transmisión de ondas y, por tanto, de los módulos elásticos para pequeñas deformaciones.

El número de ensayos efectuados y su análisis es aceptable para las características de la obra, y permiten el diseño de las cimentaciones.

### 5.2.6.- Análisis del fenómeno de la expansividad

En los apartado 4.6 y 4.7, del Estudio de Cimentaciones [Ref. 4], Enresa presenta un análisis general sobre el fenómeno de la expansividad, y el análisis particularizado al caso del emplazamiento del ATC.

En el primero de ellos, se identifican las causas de la expansividad, así como los parámetros que determinan el potencial expansivo, entre los que se encuentran: naturaleza y tipo de arcilla, grado de humedad inicial, peso específico seco del suelo y el índice de plasticidad.

El fenómeno de la expansividad consiste en el cambio de volumen que algunos suelos y rocas sufren típicamente al variar su contenido en humedad. Se trata de un fenómeno por el cual determinadas arcillas estructuralmente inestables aumentan de manera significativa su volumen al aumentar su contenido en agua, que a su vez provoca una reducción en la succión. Es característico, principalmente, de los grupos de minerales de la arcilla denominados esmectitas y atapulgitas.

En el caso del ATC, se ha constatado efectivamente la presencia de esmectitas en las lutitas de la unidad LBS en proporción variable, como se ha comentado en el punto 5.2.3 del presente informe. El contenido medio es el 5% (desviación típica  $\pm$  7%).

Los efectos asociados a la presencia de arcillas expansivas depende directamente de tres factores que pueden interaccionar entre sí: la naturaleza del terreno, destacando en concreto el porcentaje de contenido en finos y componentes; el grado de expansividad, a determinar en función de los diferentes ensayos; y los cambios de humedad debidos a los cambios estacionales o a otros factores externos, tales como rotura de tuberías, zonas de riego, existencia de árboles próximos a edificios, etc., que puedan producir ciclos de hidratación y deshidratación del terreno.

Por otro lado, también se pueden producir fenómenos de hinchamiento asociados a la presencia de anhidrita, dado que en contacto con el agua este mineral se hidratará, pasando a la fase de yeso con un importante aumento de volumen por la inclusión de moléculas de agua en su estructura. Se considera de gran importancia el poder descartar la posibilidad de la existencia de la anhidrita bajo la instalación nuclear en cantidades significativas y en cotas no suficientemente profundas, de forma que no derive en un problema de estabilidad.

### 5.2.6.1.- Posibilidad de presencia de anhidrita.

En relación con este aspecto, y dada su importancia para el objeto de la presente evaluación, en el punto 2 del Anexo I del presente IEV se incluye literalmente el contenido del apartado correspondiente del informe de valoración de la U. de Cantabria [Ref. 6].

Como resumen del mismo, cabe destacar:

- En la exposición de dicho apartado se analiza el efecto de la presencia de anhidrita, no solo
  por su carácter altamente expansivo, sino también por su potencial de provocar la apertura
  de nuevas vías de circulación de agua y con ellas la activación de otros fenómenos
  expansivos en los restantes minerales.
- En base a consideraciones genéricas sobre las condiciones necesarias para que se produzca el proceso de hidratación de anhidrita a yeso y el inverso, y sus cambios de volumen asociados, se considera justificada la consideración de la no presencia de anhidrita a profundidades relativamente superficiales en la zona del emplazamiento.
- Se relacionan algunos casos de la experiencia nacional existente en las últimas décadas, con presencia y efectos perjudiciales de anhidrita, destacando que las causas que provocaron dichos efectos no se dan en el emplazamiento del ATC.
- No obstante, se recomienda extremar las precauciones para reforzar la seguridad frente a estos problemas, básicamente todas aquellas encaminadas a evitar la circulación de agua.

### 5.2.6.2.- Análisis experimental. Evaluación del potencial expansivo.

En el apartado 4.7.2 del estudio de cimentaciones [Ref. 4], Enresa describe los tipos de ensayos realizados para determinar el grado de expansividad.

Indica los parámetros utilizados para caracterizar la expansividad del terreno:

- Hinchamiento libre, ε<sub>HL</sub>.
- Presión de hinchamiento posterior al hinchamiento libre, p<sub>H</sub> post HL.
- Presión de hinchamiento, p<sub>H</sub>.
- Presión de hinchamiento a volumen constante, p<sub>H</sub>(CV).
- Deformación de hinchamiento para diferentes presiones de inundación p<sub>i</sub> en un plazo de 100 años, ε(p<sub>i</sub>, 100).

Señala a éste último parámetro (o conjunto de parámetros, para varias presiones en el momento de la inundación) como el parámetro básico de cálculo del efecto de la expansión del terreno y presenta una tabla con los valores característicos obtenidos y adoptados para cada litotipo y para presiones de 30, 100, 200 y 400 kPa.

Al igual que el punto anterior, en el punto 3 del Anexo I, se recoge literalmente el contenido del informe de valoración la U. de Cantabria [Ref. 6].

En dicho informe se realiza una valoración de los diferentes tipos de ensayos aplicados y sobre el significado físico de los parámetros determinados mediante ellos y su utilidad para el diseño estructural.

La valoración es compartida también por el área IMES, no obstante se incluye un comentario adicional sobre la aceptación del parámetro ε(p<sub>i</sub>, 100) propuesto por Enresa como parámetro básico de cálculo.

#### Comentario adicional de IMES

Adicionalmente a lo expuesto en [Ref. 6], conviene resaltar que la elección de la deformación de hinchamiento para diferentes presiones de inundación p; como parámetro básico de cálculo del efecto de la expansión del terreno se considera aceptable, especialmente para el caso de la propuesta de cimentación mediante losas de gran canto.

Dicho parámetro permite la previsión de levantamiento del terreno en función de las presiones totales que sobre el mismo vayan a aplicar cada una de las estructuras.

Los otros parámetros determinados en los ensayos, como el hinchamiento libre o las diferentes presiones de hinchamiento se consideran menos representativos de la situación real de la cimentación, por los motivos expuestos en la valoración de la U. de Cantabria (punto 3 de Anexo I).

El parámetro de la presión de hinchamiento puede ser más adecuado para realizar una cimentación convencional mediante zapatas, en la que suelen emplearse elementos aislados de cimentación diseñados de forma que transmitan una presión igual a la de hinchamiento nulo. Sin embargo, en el caso de una cimentación mediante losa, las posibles incertidumbres en la estimación de la presión de hinchamiento son poco significativas para el diseño de la misma, en el que se considera más apropiado utilizar la deformación de hinchamiento, tal como se expone a continuación.

El tipo propuesto de losa de cimentación, se considera adecuado para afrontar la problemática de una posible expansividad no homogénea, ya que este sistema de cimentación rígida permite integrar los posibles efectos de dicha expansividad mediante una redistribución de presiones, reduciendo o eliminando los asientos diferenciales. No obstante su utilización produce una redistribución irregular de presiones desconocida, tanto en el terreno como debajo de la losa, ya que dependerá del equilibrio entre la rigidez relativa del terreno y de la cimentación. Las tensiones en la cimentación dependerán por tanto de la interacción suelo-estructura, por lo que los esfuerzos aplicados en el diseño estructural dificilmente pueden asociarse a una previsible distribución real de presiones conocidas.

Para obviar el problema, en la práctica general, los esfuerzos se determinan adoptando algunas simplificaciones y aplicando un modelo de suelo basado en la teoría del módulo de reacción del terreno o coeficiente de balasto. Dicho modelo permite realizar el análisis de la interacción suelo-estructura en el que, normalmente las grandes dimensiones de las losas, inducen a márgenes elevados frente a la carga de hundimiento, por lo que los límites de diseño suelen venir impuestos por consideración de los asientos.

Esto lleva por tanto a la necesidad de determinar por un lado los asentamientos o levantamientos debido a excavaciones y cargas de diseño, y por otro los debidos a variaciones de humedad a carga constante para tener en cuenta la posible expansión del terreno. Para dicho cálculo se considera adecuado, tal como propone Enresa, el parámetro de la deformación de hinchamiento para diferentes presiones de inundación y la adopción de sus valores característicos para cada litotipo definidos en la tabla mencionada anteriormente, y recogida en el punto 3 del anexo I.

#### 5.2.6.3.- Capa activa

La capa activa es la zona superficial en donde se producen cambios de humedad y, por lo tanto donde se pueden producir fenómenos de expansión/retracción en materiales expansivos. Por debajo del límite de la capa activa, la variación de humedad no es significativa siempre que no

haya cambios significativos en el nivel freático, por lo que no se produciría variación volumétrica aunque la arcilla presentara un alto grado de expansividad.

En el apartado 4.7.5 del informe de Cimentaciones [Ref. 4], Enresa expone el método seguido para determinarla basado en función del clima, caracterizado por el índice de humedad global de Thornthwite. Esta formulación viene recogida en la norma australiana AS 2870 [Ref. 12].

También se indica que se ha determinado el espesor de la capa activa en la situación actual de la parcela, considerando también la recomendación del Manual Técnico del Ejército de Estados Unidos TM 5-818-7 [Ref. 13], pero finalmente se ha optado por mantener los valores obtenidos a partir del Índice de Thornthwaite.

A continuación se transcribe el contenido del informe de valoración de la U. de Cantabria [Ref. 6]. En esta ocasión no se traslada al Anexo I, para facilitar la comprensión de los comentarios posteriores por parte de IMES.

## • Transcripción del informe de valoración U. de Cantabria [Ref. 6]

"El espesor de la capa activa es un factor adicional que determina la potencial expansión en una localización. Se define como el espesor de terreno, a partir de la superficie, que es afectado por los cambios estacionales de humedad y que, por tanto, está sujeto a deformaciones de expansión-retracción.

En su propia definición aparece su carácter relativo, es decir, que se define a partir de la superficie del terreno. Si se realizase una excavación que eliminase en parte o por completo la capa activa existente y no se hiciera otra actuación, se reproduciría, al cabo de cierto tiempo, una nueva capa activa idéntica a la anterior a partir de la nueva superficie expuesta.

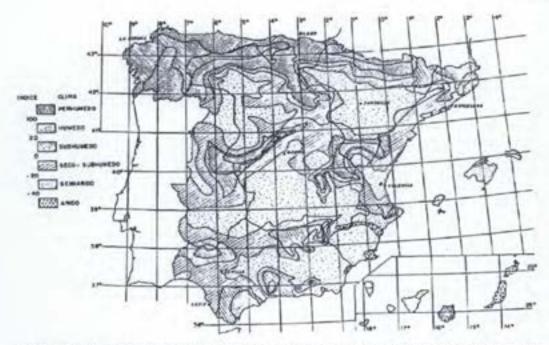
En el caso presente, todas las excavaciones a realizar van a cubrirse posteriormente, bien con un edificio, o con un relleno y pavimento. En el primer caso, el edificio tiene un peso en general superior al terreno excavado, y protege al terreno de los agentes externos (infiltración, evaporación, etc.), por lo que no habría nueva capa activa, sino sólo la parte que no se hubiera eliminado de la actual.

En cuanto a la explanación general, el peso añadido es menor (pavimento de 1,5 m de espesor), por lo que se debe considerar que se forma una nueva capa activa. Sin embargo, el efecto protector del pavimento impermeable hará que su espesor sea menor que en la situación actual.

Los espesores de la capa activa están estudiado en el Apdo. 7.2 del informe de [Ref. 11] y resumido en los documentos [Ref. 2] y [Ref. 4], objeto de este informe. Se obtiene mediante el procedimiento más extendido actualmente, basado en la correlación propuesta por Fityus et al. (1998) con el Índice de Humedad Global, Im (o TMI, Total Moisture Index) de Thornthwaite (1948), incorporada en la norma australiana AS 2870 (1996). La correlación ha sido revisada posteriormente en 2008, sin cambios sustanciales en lo que se refiere a su aplicación al caso presente. La expresión para el espesor de la capa activa, H<sub>5</sub>, es:

$$H_s(m)=1,387+0,939e^{-im/24,843}$$

La determinación del Índice de Humedad Global Im requiere unos cálculos a partir de los datos climáticos anuales en la zona, que incluyen un recuento ponderado de los periodos de exceso y de defecto de pluviosidad. No se indica en la documentación si esto se ha llevado a cabo en el caso presente, pero no parece ser el caso, sino que se ha acudido al Mapa General de España de valores del índice de Thornthwaite, publicado por el I.G.M.E. (1986), basado en el elaborado por Justo y Cuéllar (1972) y Rodríguez Ortiz, 1974), que se reproduce aquí en la Figura siguiente. En este mapa se consideran seis tipos de clima, atendiendo al valor del índice que se indica en la leyenda.



Distribución del Índice de Thornthwaite (basado en Justo y Cuéllar, 1972 y Rodríguez Ortiz, 1974)

Este método se ha aplicado en el informe de [Ref. 11] de forma conservadora, es decir, asumiendo las condiciones más extremas imaginables que den lugar a los máximos valores del espesor de la capa activa. En concreto se ha considerado lo siguiente:

- En la situación actual la zona tiene un clima semiárido, con un Índice de Humedad Im=-30, lo que corresponde a Hs=4,6 m.
- Tras la explanación y pavimentación de toda la parcela de la instalación, la eliminación de insolación directa y evaporación e infiltración lleva a adoptar un clima menos extremo, seco templado, con un Índice Im=-15 y un espesor de capa activa Hs=3,1 m.
- Bajo los edificios, no habría en rigor capa activa salvo que la actual no se elimine por completo con la excavación. Sin embargo, en los edificios cimentados bajo el nivel freático, se adopta por seguridad una capa activa asociada a movimientos del nivel freático, con Hs=2,3 m, correspondiente a Im=0.

En el Apartado 4.7.5 del doc. [Ref. 4], se hace un reanálisis de las anteriores profundidades de la capa activa, comparándolas con la aplicación de un método alternativo, propuesto en el Technical Manual TM 5-818-7 (Department of the Army USA, 1983). Ambos procedimientos dan valores similares si se aplican condiciones equivalentes, por lo que se han mantenido los valores propuestos en el informe de [Ref. 11].

Con respecto a la última consideración, para edificios cimentados bajo el nivel freático, se ha refinado el análisis, considerando los casos posibles y adecuándola a las exigencias constructivas de estanqueidad y protección de la excavación.

A continuación se incluye, para los edificios que quedarán cimentados por encima del nivel freático futuro, la explicación dada por Enresa en [Ref. 4] sobre las superficies susceptibles de generar capa activa durante las fases de construcción, reproduciendo del documento [Ref.4] la figura siguiente y el texto adjunto.

Espesor considerado para la capa activa en faso	es constructivas (Fig. 6, doc. [Ref. 4])
a) Para la excavación general a la cota aproximada	que puede permanecer a la intemperie un

- a) Para la excavación general a la cota aproximada que puede permanecer a la intemperie un tiempo relativamente largo, el valor máximo del espesor de la capa activa que puede desarrollarse sería el de superficie expuesta a la intemperie y condición climática extrema, es decir 4,6 m, lo que supondría que su base quedaría a la cota
- b) Para la excavación temporal a la cota sólo en zona de plataforma donde no hay edificios), sobre la que se construirá la plataforma final cuya cota de coronación de pavimento será so se prevé que se pueda desarrollar una capa activa específica de espesor significativo. El muryen con respecto a la cota sociada a una situación temporal de corta duración.
- c) Para la excavación local de cada edificio, cuyo fondo va a permanecer abierto un plazo de tiempo mínimo, e incluso el metro inferior se va a excavar inmediatamente antes de hormigonar la cimentación, se puede considerar, con criterio conservador, que se puede desarrollor una capa activa de un espesor máximo de 0,5m.
- d) Capa activa a largo plazo en relación con la desecación y humectación que se pueda producir a partir de la superficie futura de cata Como esta superficie estará impermeabilizada, la profundidad que puede alcanzar la capa activa es de 3,1 m, equivalente a una cota de su base a la cota que se estima quedará por encima del futuro nivel freático.

Las hipótesis anteriores las consideramos conservadoras y correctas, pues los espesores de capa activa resultantes son sustancialmente mayores que los generalmente adoptados para cimentaciones en terrenos expansivos en España."

#### Valoración adicional de IMES

Nuevamente se comparte la valoración de la U. de Cantabria en [Ref. 6], aunque conviene matizar los siguientes puntos.

Las cotas indicadas en la figura anterior para la situación final (D), y de acuerdo al comentario "d)", corresponden a los valores determinados de espesor de capa activa de acuerdo al índice de Thornthwaite, con la consideración de superficie impermeabilizada, que da un valor de Hs de 3,1 m. La situación de la cota de capa activa en eflejada en la figura correspondería al valor para un diseño de edificio convencional consucrando el espesor de capa activa desde la futura cota de explanación,

No obstante, ese valor de espesor de capa activa, aunque se considera suficientemente conservador, no es el que va a utilizarse en el diseño de las cimentaciones de los edificios de seguridad, sino que se adopta el de la capa activa extrema (4,6m) incluso con algún conservadurismo adicional.

El efecto de la cota de la capa activa para los edificios cimentados por encima de ella, en un diseño convencional, implicaría el cálculo de deformación por expansividad debida al espesor de capa activa bajo la cota de cimentación, para determinar las deformaciones diferenciales.

Como ya se ha adelantado en el apartado 4.2, Enresa plantea en su informe dos soluciones de cimentación denominadas "solución preliminar" y solución de "diseño envolvente" que se describen en detalle en los apartados 5.5 y 5.7.

En la primera, "solución preliminar", de forma conservadora, se considera que la capa activa debajo de los edificios se mantiene en la cota correspondiente a la situación (A) de la figura anterior, es decir 4,6 m por debajo de la primera fase de excavación. Esto causa una bajada de la cota de capa activa hasta la que es la que habría que considerar en el diseño para el cálculo de deformación por expansividad.

En la segunda solución, que es la que finalmente se adopta como diseño, aún más conservadora, se propone la eliminación por completo de la capa activa bajo las cimentaciones y su sustitución por hormigón en masa de cemento sulforresistente, eliminándose así en gran medida la potencial aparición de fenómenos de levantamiento debido a la expansividad.

Además, como conservadurismo adicional, se considera el espesor de capa activa extrema (4,6 m) a partir de la cota 808,5 (correspondiente a la segunda fase de excavación de la plataforma), por lo que la cota inferior de la capa activa envolvente es 803,9, como se refleja en la siguiente figura.



Figura explicativa capa activa en situaciones extremas

La cimentación de gran parte de los edificios cimentados bajo la capa activa, en los que no será necesario poner el hormigón en masa, se encontrará a su vez ubicada bajo el nivel freático previsto durante operación, situado según el modelo de previsión actual aproximadamente a la cota 805, por lo que se tendría una garantía adicional de que no estará afectada por la expansividad por cambio de humedad.

Aunque el nivel freático presente oscilaciones o no se ajuste al modelo de previsión, con la solución envolvente, que implica la eliminación de todo el terreno natural debajo de los edificios hasta la cota es previsible que su cota esté por encima de este valor prácticamente en la totalidad del terreno natural bajo cimentación.

Además, dado que el modelo hidrogeológico no tiene en cuenta la succión en el terreno, es posible que el agua ascienda por capilaridad, manteniendo el terreno saturado o cercano a la saturación, incluso por encima de ese futuro nivel freático, al igual que lo está actualmente, lo que también tendería a minimizar el efecto de la posible expansividad.

## 5.2.7.- Disolución de yesos

Este tema se analiza en el apartado 4.8 del Estudio general de cimentaciones [Ref. 4], en el que Enresa argumenta que:

- En estudios anteriores se han realizado perfiles de tomografía eléctrica con el objeto de detectar zonas en donde aparezcan anomalías de resistividad que puedan ser interpretadas como existencia de huecos. Posteriormente se realizaron, sondeos a destroza con el objeto de verificar si existían huecos en las zonas de anomalías detectadas en los estudios geofísicos. El resultado de estos sondeos permitió descartar la existencia de huecos en dichas zonas.
- Se dispone de un extenso e intenso conjunto de reconocimientos, consistentes en calicatas, zanjas, sondeos y tomografía sísmica de detalle. Destacando que se han perforado 150 sondeos, con más de 5000 m. En ninguno de estos reconocimientos se ha encontrado ningún síntoma de disolución de yesos bajo la zona nuclear. Por lo que puede descartarse que existan en la actualidad huecos significativos.
- No se considera verosímil que en el futuro se produzcan disoluciones que puedan afectar a las instalaciones, ni durante el tiempo que permanezcan abiertas las construcciones, como se justifica mediante el informe de 2015 [Ref. 14], ni durante la vida útil de la instalación. En el informe de se analiza la disolución de yeso que se produciría en las proximidades de la superficie del terreno en unas condiciones extremadamente conservadoras, consistentes en que se produzca una infiltración de 315mm concentrada en un periodo de 115 días, con una permeabilidad del terreno de 3,6<sup>-3</sup> m/d. La infiltración es 150 veces mayor que el valor anual estimado por el modelo matemático de flujo subterráneo y la permeabilidad unas 500 veces superior. El estudio de analiza la situación de las superficies expuestas durante la construcción en unas condiciones climáticas extremas, en las que el frente de disolución avanzaría, y concluye que éste avanzaría menos de 12 mm en las extremas hipótesis de cálculo.
- Con la impermeabilización superficial proyectada, se minimizará la entrada de agua alejándose varias decenas de metros de los edificios. Aunque el agua que se infiltre en la periferia circulase, al menos en parte, por debajo de los edificios nucleares, la infiltración del agua de lluvia podría disolver los yesos presentes en el terreno más superficial, pero no afectaría bajo los edificios nucleares, porque cuando llega también estaría saturada en yesos, por lo que no se producirá disolución adicional.

En base a la argumentación anterior, Enresa descarta que la disolución de los yesos sea un condicionante para el adecuado comportamiento de las instalaciones del ATC.

### Valoración del informe de U. de Cantabria [Ref. 6]

Sobre la argumentación de Enresa, el informe indica literalmente:

"Estamos de acuerdo con esta consideración, admitiendo obviamente ser ciertas todas las afirmaciones anteriores. No entra dentro del objetivo del presente informe la comprobación de las mismas (lo cual, por otra parte, no sería posible en la actualidad), pero sí queremos señalar que en la documentación revisada no se encuentra ningún indicio en contra.

De todas formas, debe señalarse aquí que aunque en la actualidad no existan huecos o procesos activos de disolución, ello no asegura que no puedan ponerse en marcha en el futuro, debido a alguna actuación externa en la zona. Por eso, es preciso analizar con cuidado todas las posibles implicaciones de las actividades constructivas que puedan alterar el régimen hidrogeológico de la zona, y así se ha hecho en el estudio sometido a evaluación".

#### Valoración adicional de IMES

Los razonamientos expuestos por Enresa para descartar la existencia en la actualidad de huecos significativos bajo la zona nuclear se consideran razonablemente consistentes. Además hay que considerar que, como luego se comenta en el apartado de la evaluación correspondiente a la solución de diseño envolvente, está previsto en la fase de construcción que, una vez completada la excavación hasta un metro sobre la cota de apoyo de las cimentaciones de los edificios, se realizará una investigación adicional sobre la posible presencia de huecos debajo de las cimentaciones. Para ello se utilizarán de forma combinada perfiles de microgravimetría y perfiles de georradar en una malla ortogonal. En caso de confirmarse la existencia de dichos huecos, se procederá a su relleno mediante hormigón o inyecciones, dependiendo de su tamaño y posición en profundidad.

En relación con la posibilidad de que se produzca un fenómeno de disolución de yesos durante la fase de operación, los argumentos presentados por Enresa para descartarlo son: el bajo potencial de disolución del agua de la parcela al estar saturada de sulfatos, la muy baja permeabilidad del terreno que lleva a que los caudales circulantes sean muy bajos y la consideración de que la infiltración del agua de lluvia puede disolver los yesos presentes en el terreno más superficial, pero no afectaría al más profundo, porque cuando llegara también estaría saturada. Esta argumentación también se comparte por IMES, pero con la matización de que podría ser cuestionada si se presentaran en el terreno caminos preferentes de entrada de agua.

Estos caminos preferentes podrían ser consecuencia de las actividades constructivas, incluso de las predictivas, es decir asociadas a la ejecución de sondeos para la caracterización o control, así como de la existencia no detectada de entrada de agua durante la fase de operación a través de juntas o posibles fisuras en las impermeabilizaciones que pudiera producir un avance de alguna de las discontinuidades ya detectadas en algunos sondeos.

Este último párrafo refuerza lo indicado en la valoración de la U. de Cantabria sobre la necesidad de analizar con cuidado todas las posibles implicaciones de las actividades constructivas que puedan alterar el régimen hidrogeológico de la zona. En el Estudio de Cimentaciones [Ref. 4] se indican algunas recomendaciones constructivas enfocadas a la impermeabilización de la plataforma y que son aplicables también frente al fenómeno de la expansividad. Para el objeto del presente IEV, que es informar sobre la idoneidad de la solución conceptual de la cimentación para la posible concesión de la autorización previa, se considera suficiente la identificación de la necesidad de dichas recomendaciones y la descripción realizada de las mismas; no obstante, para la autorización de construcción éstas deberán ser presentadas más detalladas de forma que permita valorar su potencial efectividad. Otro aspecto importante será establecer el adecuado control de calidad en la ejecución sobre el cumplimiento de dichas recomendaciones constructivas.

Cabe mencionar también que, en la solución de diseño envolvente propuesta por Enresa, en relación con la disolución de yeso, adicionalmente a lo expuesto, y, a pesar de la consideración de la baja probabilidad de que se produzca, se indica que se incluirá en las bases de diseño de las estructuras relacionadas con la seguridad la posible aparición de un hueco de n de diámetro situado en el nivel de yesos. Este aspecto será comentado posteriormente en el apartado 5.7.2 de este IEV.

Adicionalmente, en el análisis de sensibilidad frente a situaciones extremas (apartado 8.2 del Estudio de cimentaciones [Ref. 4]) realizado por Enresa para desarrollar la mencionada solución

de diseño envolvente, se indica que, en el hipotético caso de que se formen huecos de mayor tamaño, la estabilidad de la estructura dependerá de la relación entre el tamaño general del hueco y las dimensiones del edificio o estructura. Como orden de magnitud, y considerando el nivel de tensiones medias de los edificios y las cargas de hundimiento, se estima que sería necesario un hueco de aproximadamente el 25% del lado más corto del edificio para que se produjera un colapso del mismo. Por ejemplo, en el caso de las bóvedas de almacenamiento sería necesario que se produjese una cavidad sin detectar de aproximadamente 20 m de diámetro.

También se afirma en dicho análisis que la monitorización durante la operación de la instalación permitirá detectar la aparición de cavidades o huecos, evitando en cierto modo que dichas cavidades puedan transformarse en significativas.

En relación con esta afirmación, se está de acuerdo lógicamente con la necesidad de establecer dicha monitorización, no obstante hay que indicar que, para que sea efectiva, debe cumplir además el requisito de ser capaz de detectar la aparición de oquedades y su localización antes de que alcancen el tamaño considerado en las bases de diseño. En el plan de vigilancia descrito en el Estudio de Cimentaciones [Ref. 4], se incluye, la monitorización de asentamientos o levantamientos de las estructuras, la utilización de extensómetros para detectar los movimientos verticales de expansión y su distribución en profundidad, y los análisis de parámetros químicos e isotópicos de las aguas subterráneas. Mediante estos análisis se podría detectar la posible presencia de un fenómeno de disolución de yeso, pero no determinar donde se esté produciendo.

Por tanto, además de monitorizar la subsidencia del suelo y/o las deformaciones de las estructuras, se considera por parte de IMES que, en el marco de la autorización de construcción, Enresa debe establecer dentro de su Plan de Vigilancia un programa para la realización de vigilancias periódicas que permita detectar la formación y evolución de oquedades bien por medios geofísicos u otros que proponga Enresa, estableciendo la periodicidad de dichas vigilancias, así como el plazo para realizar las posibles acciones correctoras, en función de la cinética estimada al posible proceso de disolución.

### 5.3.- METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CIMENTACIONES DEL ATC

En el apartado 5 del estudio de cimentaciones [Ref. 4], se describen los criterios y la metodología general para el diseño y verificación estructural de las cimentaciones del ATC.

Incluye una relación de la normativa aplicada en los cálculos relacionados con las cimentaciones del ATC, de acuerdo con el documento *Criterios de Diseño Civil del Almacén Temporal Centralizado (ATC)* [Ref. 8] y coincidente con la indicada en el apartado 4.1 de Normativa aplicable del presente IEV, por lo que se considera adecuada.

A continuación desarrolla en diferentes apartados la metodología para analizar algunos aspectos genéricos de la cimentación, como la capacidad portante del terreno, estimación de asentamientos de las cimentaciones, obtención de la tensión admisible y los módulos de balasto. Y, por último, describe la metodología utilizada para los cálculos de detalle de las estructuras, como son: el empuje lateral del terreno, el análisis de la interacción suelo estructura, la verificación de la capacidad resistente de la cimentación y portante del terreno, la comprobación de la seguridad frente al vuelco, deslizamiento y flotabilidad, y la verificación de la aptitud al servicio frente a deformaciones, asentamientos totales y diferenciales, fisuración y vibración.

De acuerdo al apartado primero de la presente evaluación, el objeto es valorar la idoneidad de las soluciones constructivas de las cimentaciones desde un punto de vista conceptual para hacer frente a los condicionantes derivados del Estudio de caracterización del emplazamiento, y especialmente los relacionados con la expansividad del terreno y la disolución de yesos. Por tanto, en este apartado no se considera necesario valorar en detalle la metodología propuesta, ya que eso será objeto de evaluación en la fase de la autorización del permiso de construcción, por lo que solo se expone una breve descripción de la información presentada por Enresa en [Ref. 4], incluyendo algunos comentarios relacionados con la repercusión de los dos problemas reseñados en la metodología de diseño.

## 5.3.1.- Evaluación de la capacidad portante del terreno

Se presenta un resumen de la metodología seguida en el capítulo 8 del Informe Geotécnico de Ref. 11):

Con carácter general, los terrenos de apoyo de las estructuras presentan una capacidad portante suficiente para permitir cimentaciones superficiales con tensiones admisibles medias y altas.

Dado que se dispone de ensayos in situ tipo presiómetro y ensayos de laboratorio, se han realizado dos tipos de análisis en todas las estructuras, uno mediante métodos analíticos, aplicando el usado por la Guía de Cimentaciones de Carreteras en suelos y la R.O.M. de Puertos en roca, y otro mediante métodos basados en el ensayo presiométrico (con normativa francesa).

En cada una de las estructuras se ha adoptado el resultado del análisis más restrictivo.

No obstante, como ya se ha indicado en el apartado 5.2.6.2 de este IEV, para la tipología de cimentaciones y valores obtenidos de la resistencia del terreno, la condición crítica de diseño no es la de hundimiento, sino la impuesta por limitación de asientos.

### 5.3.2.- Estimación de asientos/levantamientos

Se expone en los apartados 5.3 y 5.10 del informe [Ref. 4].

En las cimentaciones de los edificios del ATC se producirán dos tipos de movimientos:

- Asentamientos o levantamientos relacionados con las variaciones de tensiones causadas por las cargas.
- Levantamientos o asentamientos relacionados con las variaciones de humedad a tensión constante.

Se realiza un cálculo independiente de cada uno de ellos, como si fuesen fenómenos desacoplados.

- En el primer caso, los asientos / levantamientos debidos a las variaciones tensionales incluirán los efectos de las excavaciones (levantamiento) y los de la aplicación de las cargas (asiento). Al igual que para la capacidad portante, se han utilizados dos métodos distintos para obtener los asientos (analítico y presiométrico), tomándose finalmente el resultado más restrictivo, que en todos los casos ha sido el analítico.

De acuerdo a la metodología presentada, el diseño de la cimentación de los edificios relacionados con la seguridad nuclear incluirá los efectos de los asentamientos inmediatos y a

largo plazo debido a los histogramas de carga consistentes con la secuencia de construcción y durante la operación de la instalación.

Se realizará un análisis detallado de asentamientos mediante elementos finitos que estimará el asentamiento frente al tiempo de los edificios, teniendo en cuenta que los cálculos deben determinar la tendencia de asentamientos durante las diferentes etapas de la construcción, durante la operación y hasta el final de la vida de diseño. El modelo utilizado para realizar dicho cálculo será conjunto para todos los edificios analizados, de forma que se considerarán los desplazamientos entre ellos.

Los asentamientos estimados serán comparados con los valores admisibles. Además, servirán de referencia para evaluar si el comportamiento del terreno, durante el período de construcción y el de operación, observado mediante las mediciones obtenidas en el programa de monitorización se ajusta a las previsiones del proyecto.

 Para el segundo caso, levantamientos / asentamientos relacionados con las variaciones de humedad a tensión constante, el proceso de cálculo se presenta en el apartado 5.10.2 de [Ref. 4].

En él se indica que el diseño de la cimentación de los edificios relacionados con la seguridad nuclear incluirá los efectos de la expansión debida a variaciones de humedad.

En los edificios convencionales cimentados con zapatas, se evitan los efectos de la expansión del terreno ejecutando pozos de cimentación y sustituyendo la capa activa de diseño por hormigón en masa de cemento sulforresistente, por lo tanto no será necesario evaluar la expansión del terreno en este caso.

Para la cimentación de los edificios relacionados con la seguridad nuclear los parámetros a utilizar para la evaluación de la influencia de la expansión del terreno serán los valores característicos de las deformaciones de hinchamiento. Este aspecto ya ha sido tratado en el apartado 5.2.6.2 del presente IEV en el que se consideraba adecuada la elección de dichos parámetros.

En el apartado 5.10.2 de [Ref. 4] se expone el proceso de cálculo para determinar la deformación.

Por parte de IMES, la metodología expuesta en los diferentes casos se considera correcta. No obstante, hay que reseñar que, en el caso de los edificios relacionados con la seguridad, considerando la solución de diseño envolvente adoptada que conlleva la sustitución de la capa activa de diseño por hormigón en masa, la situación va a ser similar a la indicada para los edificios convencionales, por lo que tampoco sería necesario el cálculo de la deformación por hinchamiento. Pero como medida adicional conservadora, se considerará 0,5 m de profundidad de terreno que puede ser afectado por cambios de humedad, producido en la excavación al quedar el terreno descubierto por un breve espacio de tiempo antes de aplicar el hormigón de limpieza, por lo que para calcular la deformación por hinchamiento correspondiente se aplica la metodología del apartado 5.10.2.

## 5.3.3.- Metodología de obtención de la tensión admisible

En el capítulo 8 del Informe Geotécnico de (Ref. 11) se ha calculado la tensión admisible de la cimentación para cada uno de los edificios del ATC. La tensión admisible de cálculo será la más limitante de la debida a la carga admisible de hundimiento, o a la que produce un asiento admisible límite.

Por lo tanto, para obtener la tensión admisible final se analiza la carga admisible frente al hundimiento (mediante los procedimientos indicados en 5.3.1) y a continuación se comprueba si esa carga produciría unos asientos menores de los admisibles (mediante los procedimientos indicados en 5.3.2).

La metodología aplicada se considera correcta por parte de IMES.

### 5.3.4.- Análisis de esfuerzos en las losas y pantallas.- Módulo de Balasto

En el apartado 5.5 de [Ref. 4], se describe el método para determinar los esfuerzos en las cimentaciones considerando la deformabilidad del terreno mediante el denominado modelo de Winkler, en el que se sustituye el terreno por resortes cuya rigidez es función del denominado módulo de balasto.

En el informe Geotécnico [Ref. 11], se exponen los diferentes métodos utilizados para su cálculo, tanto del módulo de balasto vertical como horizontal, para cada uno de los edificios del ATC.

#### Valoración de IMES

El módulo de balasto depende del nivel tensional alcanzado y de las dimensiones del área cargada, y existen numerosos modos de carácter empírico para su estimación, ya que depende de diversos factores, como la forma, tamaño y rigidez de las losas o pantallas, y ciertos parámetros del suelo.

La utilización del módulo de balasto, es uno de los métodos más usados para modelizar la interacción entre estructuras de cimentación y el terreno. Aunque no se ajusta exactamente al comportamiento real del terreno, su uso está ampliamente avalado por la experiencia. No obstante su utilización es compleja, y su aplicación implica la necesidad de hacer análisis de sensibilidad, como sugiere la norma ACI, o la utilización de diferentes métodos eligiendo el resultado más representativo en cada caso.

Los métodos referenciados para el cálculo del módulo de balasto se consideran apropiados para el objetivo del estudio.

### 5.3.5.- Empujes de tierras

En el apartado 5.6 de [Ref. 4], se presenta el análisis de los empujes laterales del terreno sobre las estructuras (muros y cimentaciones) en contacto con él.

De acuerdo con ACI 336.2R-88, "Suggested Analysis and Design Procedures for Combined Footings and Mats", los análisis de las cargas laterales sobre las cimentaciones (y sobre los muros subterráneos) deben considerar los siguientes tipos de empuje: del terreno, hidrostático, debido a sobrecarga y debido al sismo

Las anteriores cargas se pueden clasificar en estáticas (hidrostática, empuje estático del terreno y empuje debido a sobrecarga estática) y dinámicas (empuje debido a sobrecarga dinámica, empuje dinámico del terreno y empuje pasivo del terreno).

La carga del empuje lateral de hinchamiento se considerará incluida en el empuje estático del terreno y se realizará un cálculo específico del mismo para todas las estructuras con muros enterrados de la Instalación ATC (sean importantes o no para la seguridad).

En el documento [Ref. 4], se expone la metodología empleada para cada una de las diferentes cargas:

- Empuje estático del terreno (H).
- Empuje lateral por hinchamiento (H).
- Empuje hidrostático (L), debido a la presencia del nivel freático.
- Empuje de sobrecarga estática (D), debida al peso de estructuras adyacentes.
- Empuje debido a sobrecarga dinámica (E1), se considera en la hipótesis del sismo como un factor de 0,5 aplicado a la sobrecarga estática.
- Empuje dinámico del terreno (E2), calculado según el método Mononobe-Okabe, para obtener la presión activa del terreno en muros en caso de sismo.
- Empuje pasivo del terreno (E3), debida a la reacción que ejerce el terreno durante el sismo para evitar el deslizamiento de la estructura.

La metodología propuesta para cada una de las cargas se considera adecuada y acorde con la práctica habitual en este tipo de análisis.

No obstante, dada la relación con el objeto de la presente evaluación, se describe a continuación el método de cálculo propuesto por Enresa para el empuje lateral por hinchamiento:

- Debido a la expansividad de las arcillas, éstas, a través del relleno, podrían inducir empujes sobre los muros subterráneos de los edificios. Se considera que esta carga forma parte del Empuje del Terreno (H) incrementando el valor del mismo.
- Se propone la realización de un modelo de elementos finitos para evaluar el empuje del relleno sobre los muros, así como para determinar en qué medida el relleno amortigua y reparte sobre los muros los desplazamientos/presiones que sobre él ejerce la posible expansión de las arcillas.
- El cálculo del empuje por hinchamiento se puede realizar mediante la introducción de desplazamientos laterales o mediante la introducción de presiones de hinchamiento laterales.
   Ambos están limitados por la imposibilidad de aparición de tracciones en el terreno.
- De acuerdo al apartado 2.8.8.2 del Estudio de Caracterización [Ref. 2] los efectos de hinchamiento del terreno se calcularán a partir del valor característico de la deformación de hinchamiento para cada unidad geotécnica.
- El modelo que se utilizará para la realización de los estudios, representado en la figura siguiente, será un modelo plano que tendrá en cuenta los cuatro materiales que componen la sección real estudiada: terreno natural, terreno natural (zona expansiva), relleno y hormigón de los muros.
- El terreno natural y el relleno estarán modelados mediante elementos tipo placa y el muro de hormigón se representará mediante elementos viga. El muro se considerará apoyado en las diferentes elevaciones donde se encuentren las losas de planta. Dicho apoyo se modelizará con condiciones de contorno que representen la rigidez a flexión y a compresión axil de las losas.
- Las cargas se introducirán como una deformación de hinchamiento horizontal impuesta en el terreno expansivo y mediante el modelo se obtendrá la distribución final de presiones resultante sobre el muro.



## Valoración de IMES

El método de cálculo propuesto se considera adecuado. No obstante, en el informe de la Universidad de Cantabria [Ref. 6], aunque lo califica también de correcto, se plantea alguna duda sobre dos aspectos del mismo, que sin cuestionarlo para los objetivos de la presente evaluación, sí deberían considerarse en futuros documentos de detalle.

- El primer aspecto está relacionado con la cuantificación de la magnitud de los desplazamientos a introducir en el modelo, ya que en la descripción de Enresa del modelo se indica que se realiza "a partir del valor característico de la deformación de hinchamiento para cada unidad geotécnica", pero sin especificar cómo.
- El segundo aspecto es sobre la validez del concepto de capa activa horizontal alrededor del sótano de un edificio y su efecto en la determinación de los desplazamientos a imponer en el talud de la excavación. En los cálculos de detalle de cada edificio deberá analizarse la extensión considerada.

## 5.3.6.- Análisis de la interacción suelo-estructura

En la exposición del punto 5.7 del informe [Ref. 4], se hace la distinción entre la interacción estática suelo-estructura y la interacción dinámica suelo-estructura llamada normalmente "interacción suelo-estructura".

La primera, es decir la estática, se refiere a la interacción entre la losa de cimentación, con la superestructura que tiene encima y el terreno. Esta interacción puede continuar durante largo tiempo hasta un equilibrio final entre las cargas impuestas y las reacciones del terreno. Su análisis se plantea mediante el denominado modelo de Winkler o de módulo de balasto, ya comentado en el punto 5.3.4.

La segunda, dinámica o simplemente interacción suelo-estructura, se refiere a la modificación del movimiento sísmico del terreno en la base de la cimentación provocado por la presencia de la estructura.

En el documento [Ref. 4], se realiza una breve descripción del método de análisis previsto para su consideración, de acuerdo a lo requerido en el NUREG-0800, SRP 3.7.2, y se referencia una presentación realizada por Enresa en el CSN sobre el uso del modelo de elementos finitos ACS

SASSI, de amplio uso en la industria nuclear, y que será aplicado en el diseño de las estructuras del ATC, para analizar la interacción suelo-estructura.

Cabe indicar que, en el contexto de la presente evaluación, no se considera relevante, aunque sí será de gran importancia su evaluación en la fase de la autorización de construcción.

# 5.3.7.- Verificación de la resistencia y estabilidad de las cimentaciones

En el punto 5.8 del informe [Ref. 4], se enumeran las cargas de diseño a considerar y su combinación, así como los métodos de análisis, para la resistencia estructural de las cimentaciones, capacidad portante del terreno, y estabilidad al vuelco, deslizamiento y flotabilidad.

Se considera aceptable el contenido de la información.

# 5.3.8.- Verificación de Estados límites de servicio (ELS)

En el punto 5.9 del informe [Ref. 4], se realiza una descripción de las comprobaciones asociadas a los ELS, de deformación, fisuración y vibración. Por su relación con el objeto de la evaluación se comentan las asociadas a los dos primeros.

 En relación con la deformación, se indica que se comprobarán los movimientos excesivos de la cimentación que puedan inducir esfuerzos y deformaciones anormales en el resto de la estructura que soporta, y que, aunque no lleguen a cuestionar su capacidad resistente, afecten a la apariencia de la obra, al confort de los usuarios, o al funcionamiento de equipos e instalaciones.

Se establecen los límites de los siguientes parámetros: el asentamiento total y diferencial de la propia cimentación de cada edificio y el asentamiento diferencial de cada edificio con los adyacentes. Para los dos primeros, a falta de información de detalle del fabricante sobre las inclinaciones admisibles de los equipos importantes, se indican los valores admisibles recomendados en el documento ASCE, "Settlement Analysis" Technical Engineering and Design Guide, American Society of Civil Engineers. 1994, referenciado en el NUREG-0800 (SRP), capítulo 2.5.4.

Los límites admisibles considerados se consideran aceptables aunque, en el contexto de la presente evaluación, poco significativos y deberán ser contrastados en la fase de diseño con los valores admisibles definidos por el fabricante.

Para el asentamiento diferencial de cada edificio con los adyacentes, como se describe posteriormente en el apartado 5.10 del presente informe, se ha determinado un asentamiento diferencial máximo de 25mm, calculado como diferencia de asentamientos totales entre ellos y considerando en uno de ellos la deformación máxima esperada por hinchamiento de las arcillas en el caso de la solución de diseño envolvente.

 En relación con la fisuración, como medidas frente a sus posibles efectos, se indica que debido al contenido en sulfatos del terreno se utilizará hormigón con clase de exposición ambiental Qc (resistente a sulfatos), y que se limitará la abertura máxima de fisura a 0,1 mm de acuerdo a la Tabla 5.1.1.2 de la EHE-08 para clase de exposición Qc y a la Tabla 4.1 de la ACI 224R-01 para la condición más restrictiva.

Ambas comprobaciones se consideran adecuadas por el área IMES.

# 5.4.- DISEÑO BÁSICO DE CIMENTACIONES Y OBRA CIVIL DEL ATC

En el apartado 6 del estudio de cimentaciones [Ref. 4], Enresa presenta el diseño básico adoptado para las soluciones de cimentación en función de los condicionantes generales derivados del tipo de obra y del terreno.

Las tipologías propuestas son las de losa continua y zapatas aisladas de hormigón armado. Se ha desechado la cimentación profunda mediante pilotes, por su posible incidencia en la apertura de vías de agua que provocaría la pérdida del equilibrio actual en zonas profundas del terreno.

La losa continua de hormigón armado de gran canto se utiliza en aquellos edificios que la requieren por necesidades de carga, de protección radiológica o control de los asientos diferenciales. En general, en todas las estructuras relacionadas con la seguridad se proponen cimentaciones tino losa maciza de gran canto, y excepcionalmente en alguna estructura convencional

Las zapatas aisiadas se utilizan básicamente en los edificios convencionales, generalmente de menor entidad y con menores requerimientos de carga y altura.

Como ya se ha comentado en el punto 5.2.6.2 del presente IEV, la cimentación sobre losa rígida, es especialmente adecuada frente al riesgo de expansividad del terreno. Desde el punto de vista estructural es una solución que penaliza la cantidad de armadura de diseño respecto de la estrictamente necesaria por razones de resistencia del terreno ya que su diseño suele estar condicionado por los límites de asientos diferenciales. No obstante, teniendo en cuenta otros condicionantes del proyecto, como son los de protección radiológica o la fuerte carga asociada al sismo de diseño, se considera que el impacto en la cuantía necesaria de armadura no será demasiado significativo.

Dada la naturaleza del terreno del emplazamiento, rico en yesos, el sistema constructivo debe asegurar el aislamiento de las cimentaciones y estructuras de hormigón de la humedad y de los ataques químicos del terreno. Para ello se emplearan hormigones sulforresistentes en los hormigones de limpieza bajo las cimentaciones, y láminas impermeables de protección.

## 5.4.1.- Edificios con zapatas

Los edificios convencionales que se han diseñado con zapatas se ejecutarán con pozos de cimentación que atraviesen la capa activa de diseño, rellenos de hormigón en masa de cemento sulforresistente.

En el apartado 6.2 de [Ref. 4], se representan dos tipos de pozos, coincidentes con las recomendaciones del CTE DB SE-C [Ref. 15]. Ambos permiten superar la zona activa y aumentar la presión por el peso del pozo. Se consideran técnicas usadas normalmente y aptas para las cimentaciones en terrenos expansivos.

# 5.4.2.- Capacidad portante del terreno

En el apartado 6.3 de [Ref. 4], se presenta la tabla siguiente con un resumen de las tensiones medias de algunos edificios y las admisibles por la capacidad portante del terreno determinada en el Informe geotécnico [Ref. 11].

Como se puede observar, los coeficientes de seguridad son elevados, variando entre 3 y 8, por lo que se considera que la capacidad portante del terreno no supone un condicionante para el adecuado comportamiento de las instalaciones del ATC.

EDIFICIO	Tensión media edificio	Tensión admisible
	(kg/cm2)	(kg/cm2)
	1.05	6.12
	2.02	4.72
	1.20	7.26
	1.49	5.46
	1.00	8.10
	1.20	9.17

### 5.4.3.- Fases de construcción

En el apartado 6.5 de [Ref. 4] se describen las fases previstas para la realización de las excavaciones asociadas al proyecto, como se indica a continuación:

 La excavación general de la plataforma se comenzará una vez concedida la Autorización de Construcción.

Enresa propone la realización de la excavación general en dos fases con objeto de evitar que bajo la cota de explanación final de la plataforma se genere una capa activa apreciable.

Como la cota final de la explanada de la instalación será y el espesor de relleno para formar la explanada más el del firme será de aproximauamente 1,5 m, el fondo de excavación general se situará a la cota n.

Para proteger ese fondo de excavación de las inclemencias de la climatología durante la construcción, se propone dejar la excavación de la primera fase por encima del fondo de excavación final

Por lo tanto, la primera fase de la excavación general se haría antes de las excavaciones de los edificios (hasta la cota uno de ellos (hasta la cota La superficie a la cota aproximada erá temporal, pero puede permanecer abierta construcción de los edificios.

- En relación con la excavación para las cimentaciones de los edificios se indica que será aún más cuidadosa.
- La excavación general en dos fases permitirá realizar investigaciones del terreno al terminar la primera (cota que podrán ser utilizadas en la comprobación de la idoneidad de las decisiones de proyecto para el resto de la excavación, para los rellenos y para las cimentaciones de los edificios.

Además, como ya se ha indicado anteriormente, al completarse la excavación hasta un metro sobre la cota de apoyo de las cimentaciones de los edificios, se repetirá la toma de muestras y los ensayos de la cota se realizará una investigación de la presencia de huecos bajo las cimentaciones.

# · Valoración del informe de U. de Cantabria [Ref. 6]

La valoración del informe [Ref. 6] sobre las medidas descritas previstas, tanto para la explanación general como para la excavación de los edificios, y sobre la serie de precauciones adicionales a adoptar en función de las condiciones reales que se encuentren en las excavaciones, es que se consideran correctas y cubren adecuadamente las necesidades de protección.

No obstante, incide en la consideración sobre el posible efecto, comentado anteriormente en el apartado 5.2.4 del presente IEV, del comportamiento del nivel freático en la loma situada al Norte de la parcela una vez que se realice el talud en desmonte desde el collado por el que discurre el camino exterior y la cota de explanación final de la instalación.

#### Comentario adicional de IMES

Coincidiendo con la valoración de los párrafos anteriores, y la argumentación expuesta en el apartado 5.2.4, conviene insistir en la necesidad de analizar y diseñar la disposición de un sistema de drenaje horizontal paralelo al talud del lado Norte de la plataforma de la instalación.

No obstante, la opción de realizar la excavación en dos fases se considera aceptable pero condicionada al tiempo que se estime que pueda transcurrir entre la primera y la segunda fase de excavación. Por tanto, antes de la autorización de construcción, Enresa debe establecer un plan detallado del proceso de excavación definiendo las precauciones necesarias y un adecuado programa de control de calidad que garantice la efectividad de las mismas, e incluyendo un programa temporal, así como un plan de contingencia para el caso de que no pudiera cumplirse.

#### 5.4.4.- Taludes de excavación

En el apartado 6.6 de [Ref. 4], Enresa propone unos taludes de excavación con inclinación 2(H):3(V), que ofrecen valores suficientemente elevados de los coeficientes de seguridad. Aunque indica que durante la construcción, atendiendo a otras consideraciones, podrían adoptarse taludes más tendidos, pero que quedarían por tanto del lado de la seguridad.

Dada la consistencia y carácter masivo del terreno, y la moderada altura de los taludes de excavación, el talud adoptado se considera razonable, como se comprueba con los cálculos de estabilidad, en los que se obtienen coeficientes de seguridad de 1,59 en condiciones normales y 1,53 con efecto sísmico, que son aceptables.

#### 5.4.5.- Relleno

Según el Estudio de Caracterización [Ref. 11] se prevén tres tipos de rellenos:

- a) Rellenos generales hasta la cota m en las zonas donde el terreno natural está más bajo. Se formarán con suelos que se puedan clasificar, al menos, como "Suelos Tolerables" según el PG3 [Ref. 16].
- b) Rellenos contiguos a las estructuras.

El relleno de estas zonas deberá tener las características de impermeabilidad, no expansividad, no contenido de sales solubles, resistencia y rigidez suficientes.

El relleno estará formado por suelos adecuados o seleccionados con más del 15% de finos. Además se analizará la adición de cemento para aumentar su rigidez a valores similares a la del terreno natural.

Rellenos para formar la explanada de la urbanización de la parcela y de los viales.

Este relleno tiene la misión de soportar el pavimento y también la de aportar la suficiente impermeabilidad para aislar el terreno natural de la influencia de las variaciones climáticas. Para soportar el pavimento, se considera suficiente conseguir una explanada tipo E-3 de la Instrucción 6.1 IC. Secciones de Firme, de la Instrucción de Carreteras.

Para que cumpla su función de impermeabilización se considera conveniente que esté formado por un suelo con una granulometría continua y con un contenido de finos entre el 15 y el 35%.

Las condiciones necesarias se cumplirán con un suelo que se clasifique como "Suelo Adecuado" según el PG-3.

La selección de las características de los diferentes rellenos, se considera razonable para la finalidad planteada, no obstante la evaluación detallada de sus características será realizada en la fase de la autorización de construcción, ya que no se considera significativa para el objeto de la presente evaluación, ni que pueda cuestionar la validez de las conclusiones de la misma.

# 5.4.6.- Tuberías y zanjas

En el apartado 6.8 de [Ref. 4] se expone una serie de precauciones relacionadas con el diseño de estos elementos para evitar posibles problemas durante la fase de operación considerando el carácter expansivo del terreno.

Se relacionan una serie de características de las tuberías enterradas que serán tenidas en cuenta en el diseño, como que deben ser de material no frágil (PVC, etc.), dotadas de bastante flexibilidad para que no se rompan o fisuren si el terreno de su entorno cambia de volumen.

Las uniones entre tuberías y con las arquetas deben ser muy cuidadas y permitir cierto giro o movimiento relativo sin que se produzcan fugas. Además se considera conveniente la colocación de un lecho de hormigón bajo las tuberías, rellenándose y compactándose adecuadamente con suelo granular fino.

Las conducciones de agua, excepto las pluviales, se construirán con una doble protección. Serán conducciones primarias flexibles dentro de canalizaciones con arquetas que permitan la inspección y detección temprana de fugas. El programa de vigilancia y mantenimiento de la instalación incluirá su frecuente revisión para repararlas siempre que se detecte en las arquetas alguna fuga de la conducción primaria.

Las tuberías de las pluviales, se dispondrán con materiales termoplásticos (PVC-U, PE, PP, etc) de pared estructurada, que tengan algo de flexibilidad y suficiente resistencia para diámetros menores de un metro, y de hormigón armado, PRFV o materiales termoplásticos de pared compacta para diámetros mayores.

Cuando se excave el perímetro de las zanjas, se reemplazará el material por uno que cumpla con características adecuadas, similares a los definidos en el apartado previo de rellenos.

Por último se indica que se evitarán las tuberías enterradas bajo los edificios.

Las medidas de precaución propuestas por Enresa se consideran adecuadas para minimizar la posibilidad de rotura y, en caso de que se produzca, su pronta detección.

# 5.4.7.- Drenaje subterráneo

Enresa ha optado por no incluir drenajes subterráneos tras analizar que su utilización puede presentar problemas por la creación de nuevos flujos de agua en el interior del terreno, y la consideración de que los muros de sótanos son suficientemente robustos para que no sea un problema su comportamiento estructural frente al empuje del agua.

La opción se considera aceptable.

# 5.4.8.- Plataforma del área protegida

Con el fin de proteger el terreno situado bajo la plataforma de trabajo se propone realizar un pavimento de hormigón en toda al Área Protegida de la instalación, y que no se disponga en dicha área ni jardines ni zonas vegetales.

Se relacionan las medidas contempladas para mitigar el efecto de las arcillas expansivas, en general dirigidas a favorecer una rápida evacuación de las aguas pluviales de las inmediaciones de la cimentación de los edificios.

Las propuestas se consideran aceptables.

# 5.5.- SOLUCION PRELIMINAR FRENTE A FENÓMENOS DE EXPANSIVIDAD Y DISOLUCIÓN DE YESOS

Una vez analizada la solución base de cimentación, y con el fin de ponderar los posibles efectos sobre la misma de la existencia de arcillas expansivas y la existencia o aparición de oquedades no detectadas en la caracterización, Enresa analiza en su informe dos soluciones de cimentación a las que denomina "solución preliminar" y "solución de diseño envolvente".

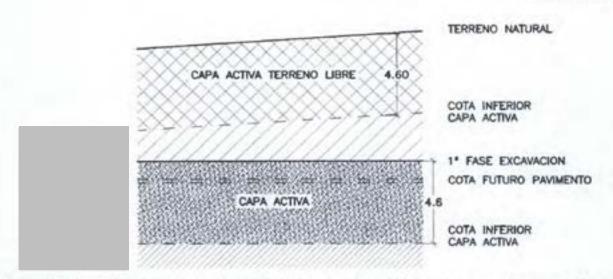
La primera de ellas, la "solución preliminar", recogida en el apartado 7 de [Ref. 4], se plantea como una solución conforme a los requisitos de la normativa aplicable, y razonablemente conservadora respecto a las condiciones más probables deducidas de los datos de los estudios de caracterización del emplazamiento frente a los dos fenómenos estudiados.

No obstante, finalmente Enresa ha optado por considerar en su diseño, la segunda solución envolvente, por lo que sobre esta primera "solución preliminar", en el presente informe, solo se realiza una breve descripción de la misma.

## 5.5.1.- Expansividad

Frente al fenómeno de expansividad, la solución propuesta consiste en realizar el cálculo de los asientos/levantamientos y tenerlo en cuenta durante la fase de diseño de detalle, tanto en el cálculo de estructuras como en el diseño de detalle de las instalaciones.

Para ello, en primer lugar se debe definir la posición de la capa activa y su espesor. Como puede verse en la figura siguiente, se definen dos capas activas principales, la actual, con un espesor de 4,6m en el terreno natural existente, y la segunda, correspondiente a la peor de las situaciones estimadas que pudieran darse durante la construcción y la operación de la instalación. Esta segunda es la capa activa extrema de 4,6 m desarrollada a partir de la cota de acabado de la primera fase de la excavación general.



Una vez definida la capa activa, Enresa identifica aquellos edificios que estarían cimentados en la capa activa y, de acuerdo a la metodología expuesta anteriormente en 5.3.2, calcula los posibles desplazamientos verticales en los edificios debidos a la expansión del terreno entre la cota inferior de la capa activa y la base de la cimentación. En la tabla 25 de [Ref. 4] se presenta un resumen de los resultados más relevantes, resultando levantamientos medios de los edificios cimentados en la capa activa entre 2 y 9 mm.

# 5.5.2.- Disolución de yesos

Enresa mantiene que, de las investigaciones geotécnicas de detalle del estudio de caracterización, se confirma la no existencia de huecos y no se estima como probable su aparición en el futuro, por lo que no considera necesario su análisis en esta solución preliminar. No obstante propone la realización de una investigación sobre la presencia de huecos bajo las cimentaciones una vez se realice la excavación para la cimentación y, en caso necesario, la adopción de acciones para contrarrestar los efectos.

# 5.6.- ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD FRENTE A SITUACIONES EXTREMAS

En el capítulo 8 de [Ref. 4], Enresa plantea un estudio de sensibilidad frente a la aparición de situaciones extremas más severas que las planteadas en la solución preliminar anterior, es decir situadas más allá de los requisitos normativos y de los datos obtenidos en su caracterización del emplazamiento. Para ello analiza los dos aspectos que pudieran dar como resultado la aparición de esas acciones extremas, por un lado la existencia de arcillas de "alta expansividad" y por otro la existencia o aparición de "huecos de gran tamaño" no detectados durante la caracterización.

En el mencionado análisis de sensibilidad se contempla el posible efecto de las arcillas de alta expansividad en función de la situación de la cimentación en relación con la capa activa y de la tipología estructural, y el comportamiento de la cimentación frente a la aparición de huecos, que ya ha sido comentado en apartados anteriores. Como resultado del mismo, Enresa define la que denomina "solución de diseño envolvente" en los términos que se describen en el apartado siguiente.

# 5.7.- SOLUCIÓN DE DISEÑO ENVOLVENTE FRENTE A FENÓMENOS DE EXPANSIVIDAD Y DISOLUCIÓN DE YESOS

En el capítulo 9 de [Ref. 4], Enresa plantea la solución de diseño envolvente, que es la que finalmente adopta para el diseño de la cimentación.

Considera que el diseño básico descrito en el apartado 5.4 constituye la base de la solución de diseño para las cimentaciones.

No obstante, con objeto de conseguir una cimentación envolvente y robusta capaz de soportar el escenario más desfavorable con fenómenos extremos como la existencia de áreas con expansividad alta no detectadas o la aparición de huecos debajo de la cimentación, plantea las siguientes medidas adicionales en el diseño de la cimentación:

- Se retirará la capa activa existente bajo los edificios del Área Protegida y se sustituirá por una capa de hormigón en masa de cemento sulforresistente.
- Se incluirá en las bases de diseño la potencial existencia de huecos de n de diámetro situados en la capa de yesos bajo la superficie de la cimentación.

# 5.7.1.- Expansividad

Frente al fenómeno de expansividad, la solución propuesta de la eliminación por completo de la capa activa bajo las cimentaciones, requiere en primer lugar determinar la cota de dicha capa activa.

Como ya se ha adelantó en el apartado 5.2.6.3, conservadoramente, para la solución de diseño envolvente, se considera el espesor de capa activa extrema (4,6 m) a partir de la cota (segunda fase de excavación de la plataforma), por lo que la cota inferior de la capa activa envolvente es

En el caso en que la superficie de la cimentación se encuentre sobre la cota inferior de la capa activa envolvente se procederá a la excavación hasta dicha cota y a su sustitución por hormigón en masa surrorresistente.

Los edificios en los que se da esa circunstancia son los representados en la siguiente figura, (figura 21 de [Ref. 4]). La eliminación total de la capa activa debajo de su cimentación supondría la total desaparición de los procesos expansivos bajo los edificios.

El resto de edificios cimentados por debajo de la capa activa, entre ellos las bóvedas de almacenamiento, no estarán sometidos a cambios de humedad apreciables.

Previsiblemente, la cimentación de gran parte de los edificios cimentados bajo la capa activa se encuentra a su vez situado bajo el nivel freático previsto durante operación, ubicado aproximadamente a la cota 805.00.

Como medidas previsoras sobre la posibilidad de que en estos edificios se produjesen ligeros rambios de humedad haio los hordes de las cimentaciones se pronone

En la figura siguiente se presenta un esquema de cimentación para estos edificios.

Propuesta solución protección frente a bajada nivel freático

#### 5.7.2.- Disolución de yesos

En la presentación de la propuesta, Enresa vuelve a reseñar que, de los resultados del Estudio de caracterización [Ref. 2], puede descartarse que existan en la actualidad huecos significativos debidos a disolución de los yesos, y que, basándose en la serie de argumentos expuestos en apartados anteriores sobre la capacidad de disolución del agua circulante y baja permeabilidad del terreno, tampoco se considera verosimil que se produzcan en el futuro.

No obstante, como ya se ha indicado, al completarse la excavación hasta un metro sobre la cota de apoyo de las cimentaciones de los edificios, se realizará una investigación de la presencia de huecos bajo las cimentaciones. En caso de confirmarse la existencia de dichos huecos, se procederá a su relleno mediante hormigón o invecciones, dependiendo de su tamaño y posición en profundidad.

Adicionalmente, como solución constructiva envolvente y conservadora se propone incluir en las bases de diseño de las estructuras relacionadas con la seguridad, de forma concomitante con el sismo, la aparición de un hueco de superficie de la cimentación.

El tamaño de este hueco se ha postulado tras la realización de un estudio estadístico teniendo en cuenta la posición de los diferentes sondeos y trayectorias de investigación geofísicas realizadas en el emplazamiento. El estudio se presenta en el Apéndice 3 de [Ref. 4].

Estos huecos se postularán únicamente en la unidad de Yesos de Balanzas (YB).

Solamente los edificios del Laboratorio de Combustible Gastado y Residuos Radiactivos y de Servicios Generales, situados en la zona del emplazamiento, se encontrarán parcialmente cimentados en la capa de Yesos de Balanzas (YB). En las zonas de estos edificios cimentadas directamente sobre yesos, se postulará la aparición de un hueco bajo la cara inferior de la cimentación.

Adicionalmente, la solución de diseño envolvente en estos edificios, consistente en eliminar el terreno hasta la cota m, provocará además que la parte inferior de la capa de hormigón en masa se encuentre en contacto con los yesos. En estos casos se postulará también la aparición de un hueco de n bajo la capa de hormigón en masa.

El resto de los edificios relacionados con la seguridad no se encuentran cimentados directamente sobre yesos, pero sí pueden encontrarse yesos a profundidades inferiores. En especial, en el caso de los Edificios de Almacenamiento de Combustible Gastado (Bóvedas), los yesos se encuentran a una profundidad de 7-8 m bajo la cimentación.

En estos casos se postulará la aparición de un hueco de de diámetro en la cara superior de la capa de Yesos de Balanzas (YB).

# 5.7.3.- Valoración de IMES de la solución de diseño envolvente

- En relación con la expansividad, la propuesta de retirada de la capa activa existente bajo los edificios del Área Protegida y su sustitución por una capa de hormigón en masa de cemento sulforresistente, se considera aceptable.
  - Su aplicación, conjuntamente con las medidas adoptadas para los edificios cimentados bajo la capa activa, permitirá garantizar razonablemente que, si el diseño de la cimentación y la ejecución de la obra se realizan atendiendo al resto de recomendaciones propuestas en el diseño básico y con las precauciones y controles adecuados, no se manifestarán efectos negativos en la instalación asociados con los procesos expansivos.
- En relación con la disolución de yesos, la propuesta de incluir en las bases de diseño, concomitante con el sismo, la potencial existencia de huecos de en la capa de yesos bajo la superficie de la cimentación, se consider a gualmente aceptable.
  - Esta aceptación de la propuesta, en el contexto de la presente evaluación para la autorización previa, debe entenderse como la consideración de un conservadurismo adicional a la solución base conceptual de la cimentación que permite no cuestionar, como una situación no analizada, la posible presencia de huecos no detectados o su generación durante la operación en el futuro. No obstante, la evaluación de detalle de la misma y su incidencia real en el diseño de la cimentación deberá incluirse en el alcance de la evaluación a realizar para la autorización de construcción.

También, en el contexto de la presente evaluación, se plantean las siguientes observaciones en las que se basa y condiciona la aceptación:

- Como ya se ha mencionado, para desarrollar la solución de diseño envolvente, Enresa ha realizado un análisis de sensibilidad frente a situaciones extremas. En dicho análisis se ha comprobado el tamaño de hueco que la losa de cimentación podría soportar sin incrementar el armado necesario debido al resto de las acciones de diseño. Como ejemplo, en el caso de los edificios de las bóvedas de almacenamiento, se estima en 5m el tamaño de hueco justo debajo de la cimentación.
- También, como resultado de dicho análisis y se ha expuesto en el apartado 5.2.7 del presente IEV, Enresa indica que, en el hipotético caso de que se formen huecos de mayor tamaño, la estabilidad de la estructura dependerá de la relación entre el tamaño general del hueco y las dimensiones del edificio o estructura. Como orden de magnitud, y considerando el nivel de tensiones medias de los edificios y las cargas de hundimiento, se estima que sería necesario un hueco de aproximadamente el 25% del lado más corto del edificio para que se produjera un colapso del mismo.
- El tamaño de hueco propuesto de situado en la capa de yesos bajo la superficie, no obedece a estimaciones de reserva estructural, sino como consecuencia del estudio estadístico (apéndice 3 de [Ref. 4]) mencionado en el apartado anterior, basado en datos del estudio de caracterización, lo que se considera aceptable.
- La consideración de la concomitancia el hueco con el sismo como criterio de diseño se considera aceptable y necesario. No debe asumirse que son dos situaciones accidentales cuya probabilidad de ocurrencia conjunta es despreciable. La probabilidad de que se produzca el sismo es independiente de la existencia o no de un posible hueco. Pero la consideración de la presencia del hueco se plantea en la solución envolvente de diseño de forma determinista, aunque para la estimación del tamaño de hueco para diseño se haya realizado el análisis estadístico mencionado en el apartado anterior.
- La consideración del tamaño de hueco de diseño de la situado en el límite superior de la capa de yesos, conduce a la condición de que el programa de monitorización que se establezca durante la operación de la instalación sea capaz de detectar la posible formación de oquedades con el tiempo suficiente, en función de la cinética asociada al fenómeno, para poder aplicar medidas correctoras antes de alcanzar el tamaño de hueco de diseño.
- En la propuesta de Enresa no se expone como se trasladará al diseño de la cimentación el efecto de la presencia del hueco considerado, a excepción de los dos edificios cimentados parcialmente en la capa YB, donde se considerará la aparición del hueco como una falta de soporte justo debajo de la losa de cimentación. En el resto de edificios no se indica el modelo del comportamiento del material entre el hueco postulado y la base de la cimentación. Dicho modelo es importante, no solo para trasladar el efecto de la existencia del hueco a la cimentación, sino también para determinar la posible evolución desde la aparición de la oquedad y por tanto para establecer el adecuado programa de monitorización comentado en el párrafo anterior.
- La falta de concreción del modelo del comportamiento del suelo, no cuestiona la aceptación de la propuesta para la autorización previa, aunque si debe condicionar el que su desarrollo de detalle, así como el del plan de monitorización, esté realizado antes de la concesión de la autorización de construcción.
- Conviene también señalar que, dado que el fenómeno de formación de oquedades está asociado a la disolución de yesos, se considera razonable la consideración de la formación

del hueco en la parte superior de la unidad de Yesos de Balanzas (YB). No obstante, hay que considerar que en la unidad de LSB, pudieran presentarse capas de yeso con suficiente potencia para ser susceptibles de generar oquedades en el caso, aunque sea de baja probabilidad, de un proceso de disolución. Esta circunstancia deberá ser contemplada en el análisis de detalle indicado en el párrafo anterior.

# 5.8.- RECOMENDACIONES DURANTE LA EJECUCIÓN

En el capítulo 10 de [Ref. 4], Enresa incluye una lista de recomendaciones a seguir durante la ejecución. Unas relacionadas con la expansividad y otras con la disolución de yesos.

En general, son recomendaciones de buena práctica basadas en la experiencia frente a este tipo de problemática, por lo que se consideran adecuadas. Están dirigidas principalmente a evitar en lo posible la alteración de las condiciones del terreno a través de apertura de nuevas vías de agua o por las condiciones climáticas durante el proceso de las excavaciones, así como a mejorar las condiciones de impermeabilización de la plataforma de operación en la fase de explotación.

Las principales ya han sido comentadas en apartados previos, así como la importancia, no solo del establecimiento de las medidas, sino también del programa de control durante su ejecución.

#### 5.9.- NUEVAS INVESTIGACIONES Y VIGILANCIA EN EL FUTURO

En el capítulo 11 de [Ref. 4], Enresa indica que en la actualidad, está pendiente una nueva campaña geofísica para ampliar los datos necesarios para el análisis dinámico de interacción suelo-estructura.

Relaciona las investigaciones geotécnicas previstas a realizar al finalizar la primera fase de la excavación general a la cota por la consistente en ensayos de superficie, toma de muestras en sondeos e instalación de extensómetros micrométricos. Se consideran adecuados para la finalidad requerida.

En el apartado 11.3 de [Ref. 4], se expone un resumen del documento *Plan de Vigilancia del Emplazamiento del ATC*. [Ref. 9]. En él se describen los planes de vigilancia y verificación de los parámetros básicos representativos del emplazamiento, considerando la medida y control de los parámetros del emplazamiento durante la fase de construcción, puesta en marcha y operación de la instalación.

Se describen las líneas generales del plan previsto de vigilancia meteorológica, hidrogeológica, geológico-geotécnica y sísmica, sobre los que estamos igualmente de acuerdo.

Su evaluación no se considera en el alcance del IEV, aunque cabe indicar que las acciones recogidas en el apartado en el que se describe el plan de vigilancia geológico-geotécnico previsto durante la construcción y en la fase de operación, se consideran preliminarmente como adecuadas para controlar y confirmar la validez de las hipótesis consideradas en la presente evaluación, o, en caso necesario, adoptar las medidas correctoras adecuadas.

No obstante, tal como se ha expuesto anteriormente, en relación con el potencial problema de disolución de yesos, Enresa debe establecer dentro de su Plan de Vigilancia un programa para la realización, durante la fase de explotación de la instalación, de vigilancias periódicas que permitan detectar la formación y evolución de oquedades que eventualmente se puedieran producir en el subsuelo del emplazamiento, bien por medios geofísicos u otros que proponga,

estableciendo la periodicidad de dichas vigilancias, así como fijar el plazo para realizar las posibles acciones correctoras requeridas, en función de la cinética estimada al posible proceso de disolución.

# 5.10.- ESTUDIO DE LA FUNCIONALIDAD DE LA INSTALACIÓN

En el capítulo 12 de [Ref. 4], Enresa analiza si los efectos de movimientos o deformaciones impuestos por el terreno sobre los edificios pueden inducir a una reducción o pérdida de la funcionalidad de los mismos que puedan afectar a la explotación de la instalación o de una parte de la misma, incumpliendo los requisitos de servicio.

Para la seguridad de la instalación y su correcto funcionamiento durante su vida útil, se analizan los equipos y redes que se pueden ver alteradas por los asientos diferenciales entre los distintos edificios. Se identifican cinco equipos relacionados con la seguridad que ocupan, en su recorrido, varios edificios y que pueden verse afectados por este asiento diferencial.

En el gráfico siguiente se representa la situación de cada uno de los equipos y las conexiones de los edificios que pueden ser afectadas por movimientos diferenciales.

os cinco equipos so	M1.		

En el análisis se presenta la metodología empleada para la determinación de los asientos de cada uno de los edificios, coincidente con la expuesta en el apartado 5.3.2 del presente informe. Se consideran los parámetros del terreno del Estudio de caracterización y unas tensiones medias por edificio obtenidas del peso propio, mediante el método de Steinbrenner, se obtienen los asientos incluyendo deformación inmediata y diferida, dependiendo del tiempo.

Para el estudio de la funcionalidad de la instalación se han considerado sólo los asientos diferenciales diferidos entre edificios, que pueden afectar a largo plazo a los equipos una vez que ya hayan sido instalados, ya que la desviación producida por el asiento inmediato podrá ser corregida antes del montaje de los equipos.

Se ha añadido un margen adicional al asiento diferencial, considerando el levantamiento que puede producirse debido a la presión de hinchamiento que ejercerían las arcillas, en el supuesto de producirse solamente en una de las cimentaciones de cada pareja de edificios colindantes. De esta forma el asiento diferencial para el diseño de los equipos será la suma del asiento diferencial diferido y el desplazamiento producido por el hinchamiento en el caso de que solo un edificio se viese afectado por un suelo expansivo.

En el análisis se presentan los resultados de los cálculos individualizados de asientos diferenciales para cada pareja de edificios y para cada una de las dos soluciones de cimentación, preliminar y de diseño envolvente.

Se indica también que, en el estudio no se ha tenido en cuenta el factor añadido del posible giro de la cimentación ya que las cargas se considerarán centradas y será muy pequeña su influencia en los asientos. No obstante, habrá que considerarla en un futuro en el cálculo de las cimentaciones.

De los resultados presentados se determina un valor máximo envolvente de asiento diferencial de 25 mm, y que es asumible para las instalaciones sin afectar su funcionalidad. Este valor deberá ser revisado en detalle en futuros cálculos.

Por último, también se analiza efecto de los posibles movimientos en las redes de suministros y servicios.

#### Valoración de IMES

En general, los métodos de cálculo empleados en el análisis se consideran adecuados para la finalidad del mismo. La consideración solamente de los movimientos diferidos para la determinación de los asientos diferenciales también se considera aceptable, así como la consideración del posible efecto expansivo del terreno en uno de los edificios y no en el colindante.

Respecto a la valoración de que el asiento envolvente del cálculo para el diseño de los equipos de es un valor asumible para las instalaciones, se considera también aceptable. No obstante, respecto al concepto de este asiento envolvente como máximo asiento diferencial, conviene hacer las siguientes observaciones:

- Como ya se indica en el propio análisis de Enresa, el valor deberá ser revisado en detalle en futuros cálculos. Efectivamente, una vez que se tengan los resultados de la campaña de ensayos prevista tras la excavación, podrán ser modificados algunos de los parámetros utilizados en el cálculo del mismo, por lo que podrán variar los valores actualmente determinados.
- En la estimación del movimiento de los edificios intervienen diferentes parámetros, como la presión aplicada por la cimentación, deducida del peso del edificio, que podrán ser modificados según avance el proyecto.
- La consideración del posible giro de la cimentación, también podrá influir en ese cálculo de detalle.
- El valor estimado de como asiento envolvente se encuentra en el orden de magnitud de los recomendados por la normas de referencia.
- No obstante, la posible modificación del valor fijado, siempre dentro de unos márgenes razonablemente esperados, no cuestiona la validez del resto de conclusiones de la presente evaluación.
- Hay que considerar que el análisis se refiere a la funcionalidad de los edificios, no a la seguridad estructural, cuyos márgenes serán mucho mayores.
- En cualquier caso, el establecimiento de los límites de servicio de diseño de los edificios, normalmente vendrá dado por los límites de servicio de los equipos, y no a la inversa.
- Considerando el tipo de equipos identificados como susceptibles de ser afectados por los movimientos diferenciales, también es previsible que sus límites de servicio tengan bastante margen, ya que son susceptibles de corrección mediante sistemas de nivelación durante la operación de la instalación.
- Otra consideración favorable sobre el tipo de equipos identificados, es la no existencia de líneas de alta energía o con condicionantes radiológicos, que necesitarían otra serie de condicionantes.

Adicionalmente a lo expuesto, y enlazando con el comentario sobre la no consideración del posible giro de cimentación en el cálculo de los asientos diferenciales, hay que reseñar, que en el análisis de funcionalidad presentado, no se ha identificado ningún equipo ni componente estructural que pueda ver comprometida su funcionalidad por motivos de cambios de

verticalidad debido solamente al giro de la cimentación y no a los asientos diferenciales con otros edificios.

Esta falta de identificación, al no indicarse explícitamente el motivo, puede deberse, a la no existencia de tales equipos o componentes, o a la no consideración de los mismos en el alcance del análisis, por lo que deberán ser analizados o excluida explícitamente su existencia en los análisis futuros.

## 5.11.- CONCLUSIONES DE ENRESA SOBRE LA IDONEIDAD DE LAS CIMENTACIONES

En el capítulo 13 de [Ref. 4], Enresa concluye positivamente sobre la idoneidad de las cimentaciones propuestas para las estructuras del ATC en base a la información aportada en el documento.

Realiza un breve resumen de las consideraciones en que se basa su conclusión sobre los diferentes aspectos tratados en el informe, como la alta capacidad portante del terreno y reducida deformabilidad frente a cargas, el comportamiento frente a la expansividad y a la disolución de yesos deducido de los estudios realizados y el comportamiento frente a los asientos diferenciales de los elementos de conexión entre los diferentes edificios.

Formula la solución constructiva propuesta para la cimentación de las estructuras relacionadas con la seguridad, consistente en una losa de cimentación de hormigón armado de gran canto, con la consideración adicional de la serie de recomendaciones constructivas y de diseño englobadas en la solución de diseño envolvente, que es la que finalmente se adopta en el diseño de la cimentación.

En general, por parte de IMES se comparten las conclusiones expuestas por Enresa, aunque con ciertos matices que se han ido exponiendo en los diferentes apartados de la presente evaluación, y que se resumen en el siguiente apartado de Conclusiones del presente IEV.

## 5.12.- DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y OBRAS PRELIMINARES DE INFRAESTRUCTURA

Como se ha indicado anteriormente para dar cumplimiento al apartado f) del artículo 14 del RINR, Enresa presentó el documento Descripción de las Actividades y obras preliminares de infraestructura [Ref.18]. Aunque el documento cae dentro del alcance de la evaluación del área CITI, se incluye también en la presente evaluación para reseñar un aspecto relacionado con el objeto de la misma.

En el documento se realiza una descripción de las actividades previstas agrupadas por apartados relacionados con suministros y conexiones con redes exteriores, obras de implantación e infraestructuras, infraestructuras auxiliares (viarias y de suministro), y obras de edificación exterior al área protegida.

De las diferentes actividades, adicionalmente a lo que exponga el área CITI en su evaluación, hay que indicar que dos de ellas llevan asociadas movimientos de tierra dentro del área protegida. Concretamente, parte de la construcción del vial norte de la parcela que permitirá el acceso de los vehículos de transporte de contenedores al AEC y la ejecución del vial exterior de vigilancia.

En el primer caso, se considera solo admisible la realización del vial hasta le entrada prevista en el doble vallado; y en el segundo, especialmente en la parte norte del vial exterior de vigilancia, no debe realizarse ningún movimiento de tierras hasta tener analizado y diseñado el sistema de drenaje requerido paralelo al Camino de Cardadores.

#### 6. CONCLUSIONES

En el presente IEV se evalúa la información del documento Estudio General de Cimentaciones [Ref.4], presentado como documentación soporte al documento de Anteproyecto de Construcción [Ref. 17] para la solicitud de la autorización previa del ATC, donde Enresa expone su propuesta de solución constructiva de las cimentaciones de la instalación, considerando los condicionantes derivados del Estudio de caracterización del emplazamiento. La finalidad de la evaluación por parte del Área IMES, es determinar si la propuesta presentada es aceptable para hacer frente a los riesgos potenciales existentes, especialmente los asociados al carácter expansivo de las arcillas y a la posible activación de disolución de yesos, evidenciados en el Estudio de caracterización, o a una eventual existencia de oquedades no detectadas.

# 6.1.- Consideraciones previas

Antes de exponer las conclusiones de la evaluación, conviene realizar un resumen de una serie de observaciones y condicionantes ya planteados en el desarrollo de la propia evaluación.

- En primer lugar, reseñar que la propuesta de Enresa reflejada en el documento [Ref. 4], objeto de la evaluación, está basada en la información de otros documentos, principalmente en el Estudio de Caracterización del emplazamiento [Ref. 2] y otra serie de informes que se han considerado de referencia en la presente evaluación, pero que no entran en el alcance de la misma, ya que su evaluación corresponde al Área CITI. Como consecuencia, las valoraciones realizadas en la evaluación dependen de la veracidad o bondad de la información de dichos documentos.
- Para llevar a cabo la presente evaluación, el Área IMES ha contado con la colaboración del Grupo de Geotecnia de la Universidad de Cantabria. El resultado de su colaboración se encuentra recogido en el documento Informe de valoración de la solución de cimentación de la instalación nuclear [Ref. 6].

El contenido del mencionado documento es asumido de forma genérica en la presente evaluación, por lo que se ha utilizado de referencia en la valoración de algunos apartados de la misma, matizando algunos aspectos o añadiendo diversas valoraciones e información adicional.

Las conclusiones del informe [Ref. 6] se transcriben literalmente en el punto 4 del Anexo I del presente IEV.

- La evaluación se ha estructurado en epígrafes siguiendo el índice presentado en el estudio de cimentaciones [Ref. 4]. En cada uno de ellos, se ha incluido un breve resumen de la información de la documentación de Enresa, con la valoración de IMES, y comentando o incluyendo el contenido del informe de la Universidad de Cantabria [Ref. 6] en aquellos apartados considerados más significativos para las conclusiones de la presente evaluación.
- Las conclusiones que se exponen a continuación, están basadas en las mencionadas valoraciones parciales, agrupadas por epígrafes generales: caracterización geotécnica, metodología de análisis de cimentaciones, diseño básico de cimentaciones, solución de diseño envolvente, recomendaciones durante la ejecución, plan de vigilancia, y estudio de funcionalidad.
- Se presentan tres apartados de conclusiones. Los dos primeros corresponden a la valoración realizada por el área IMES de la información presentada en el documento Estudio General de Cimentaciones [Ref.4] y en el informe Descripción de las Actividades y obras preliminares

de infraestructura. [Ref. 18]. El tercero refleja las conclusiones del resultado global de la presente evaluación, basadas en las anteriores, y con el posicionamiento sobre la idoneidad del emplazamiento, considerando las características del mismo conjuntamente con la propuesta para las cimentaciones adoptada por Enresa en la "solución de diseño envolvente".

## 6.2.- Conclusiones de la valoración sobre el contenido del Estudio General de Cimentaciones

# a) Sobre la caracterización geotécnica.

- 1. El tipo y número de reconocimientos geotécnicos, geofísicos y geoquímicos realizados para la caracterización geotécnica general y para el estudio de la expansividad de las arcillas, se considera adecuado para la determinación de las características requeridas para el diseño genérico de la cimentación. Además, durante la fase de ejecución, al completarse la primera fase de la excavación general, Enresa tiene previsto realizar otra serie de ensayos cuyos resultados se utilizarán en el diseño de detalle.
- 2. La descripción de las diferentes unidades geotécnicas es coherente con la del informe de caracterización del emplazamiento y se considera suficientemente detallada en su descripción, así como la asignación de las propiedades geotécnicas, para el desarrollo de la presente evaluación.
- 3. En relación con el nivel freático, se consideran razonables las estimaciones dadas por Enresa para la cota del nivel freático y su variación durante la vida útil de la instalación, aunque presentan ciertas incertidumbres derivadas de la fiabilidad del actual modelo hidrogeológico. Dichas incertidumbres son debidas fundamentalmente al corto periodo de tiempo que se llevan realizando las medidas de nivel piezométrico. De hecho, el modelo será revisado una vez se obtengan los resultados de ensayos adicionales que se está realizando para caracterizar la relación entre la succión y el contenido de humedad y la deformabilidad en edómetro, así como la conductividad hidráulica con el material semisaturado.
- 4. La existencia de las mencionadas incertidumbres no implica el cuestionar la posible aceptación de la solución de cimentación en la fase actual de autorización previa del emplazamiento, siempre que sean tenidas en cuenta a la hora de establecer la estrategia de ejecución de excavaciones y cimentación y se considere en el diseño el efecto del nivel freático en las situaciones más desfavorables.
- 5. También en relación con el nivel freático, en la presente evaluación se ha puesto de manifiesto que la existencia del desnivel existente, entre la loma y collado al Norte de la instalación y la futura cota de explanación de la misma, hace necesario la realización de un estudio detallado acerca de la disposición de un medio de drenaje que permita aislar en lo posible el efecto de ese desnivel en la estabilidad del nivel freático en la zona nuclear.
- 6. Las características mecánicas del terreno obtenidas por Enresa se consideran aceptables para la cimentación, al presentar una capacidad portante elevada y una reducida deformabilidad, tanto instantánea como diferida, ante la aplicación de cargas sin variaciones ambientales de humedad.
- 7. En relación con el fenómeno de la expansividad, Enresa identifica las posibles causas y los parámetros que determinan el potencial expansivo. Se asocia a la presencia de esmectitas en la composición de las arcillas, y se acotan los valores de los parámetros que determinan el potencial expansivo a partir de los resultados de los ensayos, que en su conjunto se consideran

correctos y suficientemente representativos. Además se selecciona, como parámetro básico de cálculo del efecto de la expansión del terreno, la deformación de hinchamiento para diferentes presiones de inundación. Todo ello se considera aceptable.

- 8. Otra causa que podría provocar el hinchamiento del terreno es la presencia de anhidrita. Enresa descarta la posibilidad de su existencia bajo la instalación nuclear, en cantidades significativas y en cotas no suficientemente profundas, para que su existencia pudiera derivar en un problema de estabilidad. Aun considerando aceptable la posición de Enresa, como consecuencia de esta evaluación, se recomienda extremar las precauciones para reforzar la seguridad frente a este problema, básicamente todas aquellas encaminadas a evitar la circulación de agua.
- 9. Respecto al cálculo del límite de la capa activa, que determina el potencial expansivo del terreno y es un input en los cálculos de deformación por expansividad, Enresa ha seguido el método basado en función del clima caracterizado por el índice de humedad global de Thornthwite. Los valores determinados, tanto para la situación actual como en la de la futura fase de explotación se consideran conservadores.
- 10. En relación con la disolución de yesos, Enresa descarta la existencia en la actualidad de huecos significativos bajo la zona nuclear. La argumentación expuesta se considera razonablemente consistente. Además está previsto en la fase de construcción, una vez completada la excavación hasta un metro sobre la cota de apoyo de las cimentaciones de los edificios, el realizar una investigación adicional sobre la posible presencia de huecos debajo de las cimentaciones mediante perfiles de microgravimetría y perfiles de georradar en una malla ortogonal. Esto proporcionará un apoyo adicional a su argumentación, o permitirá, en caso de detectarse algún hueco, proceder a su relleno mediante hormigón o inyecciones.
- 11. Respecto a la posibilidad de que el fenómeno de disolución se produzca durante la fase de explotación, Enresa también la descarta mediante consideraciones asociadas a los bajos caudales que impone la muy baja permeabilidad del terreno γ a la saturación del agua que impediría la disolución. Aunque la argumentación también se considera razonablemente consistente, puede ser cuestionada en el caso de que se presenten en el terreno caminos preferentes de entrada de agua, que pueden ser consecuencia de las actividades constructivas, incluso de las predictivas, es decir asociadas a la ejecución de sondeos para la caracterización o control, así como de la existencia no detectada de entrada de agua durante la fase de operación a través de juntas o posibles fisuras en las impermeabilizaciones.
- 12. La conclusión anterior, lleva a la necesidad de requerir el establecimiento de un plan detallado de acciones focalizadas a la prevención, detección y eliminación de esos posibles caminos preferentes y un detallado programa control de calidad aplicable a todas las actividades constructivas y predictivas que puedan alterar el régimen hidrológico de la zona, así como a las actividades previstas de impermeabilización de la plataforma.
- 13. Asociado también con la disolución de yeso, en la propuesta de "solución de diseño envolvente" adoptada por Enresa, se postula, en las bases de diseño de las estructuras relacionadas con la seguridad, la posible aparición de un hueco de en el nivel de yesos, dicho tamaño de hueco ha sido determinado mediante un análisis estadístico basado en los resultados de sondeos e investigaciones geofísicas, y se afirma que la monitorización durante la fase de explotación de la instalación permitirá detectar la aparición de cavidades o huecos, evitando que dichas cavidades puedan transformarse en significativas. Esto implica que para que dicha monitorización sea efectiva y por tanto aceptable, debe de ser

capaz de detectar la aparición de oquedades y su localización antes de que alcancen el tamaño considerado en las bases de diseño.

14. Del condicionante de la conclusión anterior se considera que, en el marco de la autorización de construcción (RINR art. 17 e) 1º), Enresa debe establecer dentro de su Plan de Vigilancia un programa para la realización de vigilancias periódicas que permita detectar la formación y evolución de oquedades, por medios geofísicos suficientemente precisos u otros que proponga Enresa, estableciendo la periodicidad de dichas vigilancias, así como fijar el plazo para realizar las posibles acciones correctoras requeridas, en función de la cinética estimada al posible proceso de disolución.

# b) Sobre la metodología de análisis de cimentaciones

- 15. La relación de la normativa aplicada en los cálculos relacionados con las cimentaciones del ATC, está de acuerdo con el documento Criterios de Diseño Civil del Almacén Temporal Centralizado (ATC) [Ref. 8], que es coincidente con la normativa aplicable indicada en el apartado 4.1 del presente IEV, por lo que se considera adecuada.
- 16. La información recogida en los diferentes apartados de este epígrafe, es básicamente descriptiva de los métodos de cálculo empleados, aunque en cada uno de ellos se incluye algún comentario derivado de la evaluación, al no estar relacionados directamente con el objeto de la evaluación, no se considera necesario llevarlos a estas conclusiones.

# c) Diseño básico de cimentaciones

- 17. Enresa plantea un diseño básico para las soluciones de cimentación en función de los condicionantes generales derivados del tipo de obra y del terreno. Se adopta la losa continua de hormigón armado de gran canto para aquellos edificios que la requieren por necesidades de carga, de protección radiológica o control de los asientos diferenciales; en general, son todas las estructuras relacionadas con la seguridad y excepcionalmente en alguna estructura convencional En el resto de los edificios convencionales, generalmente de menor entidad y con memores requerimientos de carga y altura, se utilizan las zapatas aisladas. La tipología estructural adoptada se considera adecuada para las características de un terreno como el del ATC que presenta suficiente capacidad portante para admitir cimentaciones superficiales, con potencial expansivo de las arcillas y presencia de material yesífero.
- 18. Dada la naturaleza del terreno del emplazamiento, rico en yesos, con el fin de asegurar el aislamiento de las cimentaciones y estructuras de hormigón de la humedad y de los ataques químicos del terreno se emplearán hormigones sulforresistentes en los hormigones de limpieza bajo las cimentaciones, y láminas impermeables de protección. La opción se considera adecuada y de acuerdo a la norma EHE.
- 19. La tipología estructural adoptada, al facilitar el reparto de tensiones, provoca que las cargas admisibles sean muy superiores a las cargas de diseño debidas al peso de los edificios, obteniêndose así unos coeficientes de seguridad elevados.
- 20. En relación con las fases de construcción, Enresa propone realizar la explanación general en dos fases comenzando a partir de la autorización de construcción la primera hasta 2,5m por encima de la cota final de excavación. La opción se considera aceptable pero condicionada al tiempo que se estime que pueda transcurrir entre la primera y la segunda fase de excavación. Por tanto, antes de la autorización de construcción, Enresa debe establecer un plan detallado del proceso de excavación definiendo las precauciones necesarias y un adecuado programa de

control de calidad que garantice la efectividad de las mismas, e incluyendo un programa temporal, así como un plan de contingencia para el caso de que no pudiera cumplirse.

21. En el resto de los apartados de este epígrafe sobre el diseño básico, se describen algunas de las características a tener en consideración en el mismo, como son los taludes de excavación, características de los diferentes tipos de rellenos, precauciones en tuberías y franjas, medidas para la protección de la plataforma del área protegida y la decisión adoptada de no utilizar drenes profundos en el entorno de las cimentaciones. Todas las propuestas se consideran aceptables en el contexto de la presente evaluación. No obstante, los estudios de detalle serán objeto de evaluación en el contexto de la autorización de construcción.

# d) Solución de diseño envolvente

- 22. A partir de la solución base, para hacer frente a los fenómenos de expansividad y disolución de yesos, Enresa analiza una primera "solución preliminar", planteada como una opción conforme a los requisitos de la normativa aplicable, y razonablemente conservadora frente a los dos fenómenos. Realiza un estudio de sensibilidad frente a la aparición de situaciones extremas más severas que las planteadas en la solución preliminar. Como resultado del mismo, define la que denomina "solución de diseño envolvente" que es la que finalmente adopta en su propuesta.
- 23. La solución de diseño envolvente se plantea a partir de la solución base, pero, aplicando algunas medidas adicionales con objeto de conseguir una cimentación envolvente y robusta capaz de soportar el escenario más desfavorable con fenómenos extremos como la existencia de áreas con alta expansividad no detectadas o la aparición de huecos debajo de la cimentación. Las dos medidas adicionales más relevantes son:
- La retirada de la capa activa existente bajo los edificios del área protegida y su sustitución por una capa de hormigón en masa de cemento sulforresistente.
- La inclusión en las bases de diseño de la potencial existencia de huecos de situados en la capa de yesos bajo la superficie de la cimentación.
- 24. En relación con la expansividad, la propuesta de retirada de la capa activa existente bajo los edificios del Área Protegida y su sustitución por una capa de hormigón en masa de cemento sulforresistente, se considera aceptable ya que la medida tiene la potencialidad de eliminar la capacidad de hinchamiento del terreno.

La solución de diseño finalmente propuesta incluye algún conservadurismo adicional, como la determinación de la cota de la capa activa, que se considera 6,1m por debajo de la cota de explanada de la instalación, o la consideración de una pequeña capa activa de 0,5m en los edificios cimentados por debajo de la capa activa.

25. En relación con la disolución de yesos, la propuesta de incluir en las bases de diseño la potencial existencia de huecos de n de diámetro situados en la capa de yesos bajo la superficie de la cimentación, se considera igualmente aceptable.

No obstante, la consideración del tamaño de hueco de diseño de situado en el límite superior de la capa de yesos conduce a la condición del punto 14 de las presentes conclusiones sobre el establecimiento de un programa para la realización de vigilancias periódicas

26. En la propuesta no se expone cómo se trasladará al diseño de la cimentación el efecto de la presencia del hueco postulado, a excepción de dos edificios cimentados parcialmente en la capa YB. En el resto de edificios no se indica el modelo del comportamiento del material entre el hueco postulado y la base de la cimentación. Dicho modelo es importante, no solo para trasladar el efecto de la existencia del hueco a la cimentación, sino también para determinar la posible evolución desde la aparición de la oquedad y por tanto para establecer el adecuado programa de monitorización comentado en el párrafo anterior.

Esta falta de concreción del modelo del comportamiento del suelo, no cuestiona la aceptación de la propuesta para la autorización previa, aunque si debe condicionar el que su desarrollo de detalle, así como el del plan de monitorización, esté realizado antes de la concesión de la autorización de construcción.

27. Dado que el fenómeno de formación de oquedades está asociado a la potencial disolución de yesos, se considera razonable la consideración de la formación del hueco en la parte superior de la unidad de Yesos de Balanzas (YB). No obstante, hay que considerar que en la unidad de LSB pudieran presentarse capas de yeso con suficiente potencia para ser susceptibles de generar oquedades en el caso, aunque sea de baja probabilidad, de un proceso de disolución. Esta circunstancia deberá ser contemplada en el análisis de detalle indicado en el párrafo anterior.

# e) Recomendaciones durante la ejecución

 En este epígrafe Enresa incluye una relación de recomendaciones a seguir durante la ejecución. Unas relacionadas con la expansividad y otras con la disolución de yesos.

En general, son recomendaciones de buena práctica basadas en la experiencia frente a este tipo de problemática, por lo que se consideran adecuadas. Están dirigidas principalmente a evitar en lo posible la alteración de las condiciones del terreno a través de apertura de nuevas vías de agua o por las condiciones climáticas durante el proceso de las excavaciones que pueden producir humectación o desecación, así como a mejorar las condiciones de impermeabilización de la plataforma de operación en la fase de explotación.

## f) Nuevas investigaciones y Programa de vigilancia

- Enresa indica que en la actualidad, está pendiente una nueva campaña geofísica para ampliar los datos necesarios para el análisis dinámico de interacción suelo-estructura.
- 30. Enresa presenta una relación de las investigaciones geotécnicas que tiene previsto realizar al finalizar la primera fase de la excavación general a la cota consistente en ensayos de superficie, toma de muestras en sondeos e instalación de extensómetros micrométricos. Se consideran adecuados.
- 31. En relación con el Plan de Vigilancia, dentro del apartado de vigilancia geológico-geotécnica, Enresa deberá detallar el programa para la realización de vigilancias periódicas recogido en la conclusión 14.

### g) Estudio de funcionalidad

32. Enresa ha analizado si los efectos de movimientos o deformaciones impuestos por el terreno sobre los edificios pueden inducir a una reducción o pérdida de la funcionalidad de los mismos que pudieran afectar a la explotación de la instalación o de una parte de la misma, incumpliendo los requisitos de servicio.

En el análisis de los equipos y redes que se pueden ver alteradas por los asientos diferenciales entre los distintos edificios ha identificado cinco equipos relacionados con la seguridad. Al no disponer todavía de los límites admisibles de los equipos especificados por los fabricantes, se opta por determinar los máximos desplazamientos diferenciales entre los edificios que los alojan y compararlos con los valores recomendados en la normativa de referencia.

La metodología descrita para el análisis se considera adecuada para la fase actual, no obstante deberá realizarse nuevamente en la fase de diseño de detalle cambiando los criterios de aceptación, una vez que se tengan los límites admisibles especificados por el fabricante, y teniendo en cuenta otros factores, como la consideración del posible efecto del giro de la cimentación en equipos que tengan requisitos especificados de verticalidad aunque no se vean afectados por desplazamientos diferenciales de edificios adyacentes.

- 6.3.- Conclusiones de la valoración del informe Descripción de las Actividades y obras preliminares de infraestructura.
- 33. Adicionalmente a cualquier otra restricción derivada de la evaluación del área CITI, no debe realizarse ninguna actividad de las incluidas en dicho informe que lleve asociada movimiento de tierras dentro del área protegida antes de la autorización de construcción.
- 6.4.- Conclusión final sobre la idoneidad de la propuesta de solución de diseño envolvente.

Enresa remitió al CSN, como documentación soporte al documento de Anteproyecto de Construcción [Ref. 17] para la solicitud de la autorización previa del ATC, el documento Estudio General de Cimentaciones [Ref.4]. Dicho documento da respuesta a la solicitud del CSN para que presentara un diseño conceptual de carácter envolvente de los posibles escenarios que, atendiendo a la información disponible y la incertidumbre asociada, permitiera valorar la adecuación de la solución de cimentación al emplazamiento, ya que para la emisión de un informe favorable a la concesión de la autorización previa es necesaria la justificación de la idoneidad del terreno para soportar las instalaciones.

El documento [Ref. 4] ha sido objeto de evaluación en el presente informe, y las conclusiones derivadas de la misma están recogidas en el apartado anterior.

Los resultados de los ensayos y análisis realizados para la caracterización del emplazamiento, confirmaban la suficiencia de las características mecánicas del terreno al presentar una capacidad portante elevada y una reducida deformabilidad ante la aplicación de cargas sin variaciones ambientales de humedad. No obstante, estos resultados evidenciaban la presencia de dos factores potenciales importantes asociados a las características del terreno que debían ser analizados por sus posibles efectos adversos en las estructuras y por tanto podían cuestionar la idoneidad del terreno. Estos factores son, la presencia de arcillas con potencial expansivo asociado a su composición, y la posible activación de un proceso de disolución de los yesos.

En el documento Estudio General de Cimentaciones [Ref.4], Enresa presenta un análisis de los condicionantes geotécnicos del emplazamiento, focalizándolo en los dos fenómenos mencionados, expansividad de arcillas y disolución de yesos, y en las metodologías de cálculo para su consideración en el diseño de las cimentaciones.

Como resultado de dicho análisis plantea una solución constructiva base, consistente en una losa de cimentación de hormigón armado de gran canto, para las cimentaciones de las estructuras relacionadas con la seguridad y alguna de las convencionales, y mediante zapatas aisladas para el resto de las convencionales. La solución constructiva se considera adecuada para las características de un terreno como el del ATC que presenta suficiente capacidad portante para admitir cimentaciones superficiales, con potencial expansivo de las arcillas y presencia de material yesífero. Pero se considera necesario llevar a cabo todas las recomendaciones de buena práctica asociadas a este tipo de suelos, en general, las dirigidas a evitar, tanto durante la obra como en fase de operación, la aparición de posibles flujos de agua.

Con el fin de eliminar o minimizar los posibles efectos negativos asociados a los dos fenómenos planteados o poder detectarlos con la debida antelación para su adecuado tratamiento, Enresa plantea la denominada "solución de diseño envolvente", en la que, junto al planteamiento de la solución base anterior, propone dos nuevas medidas. Frente al posible problema de la expansividad, la eliminación por completo de la capa activa y su sustitución por rellenos de hormigón en masa de cemento sulforresistente; y frente a la posibilidad de disolución de yesos, la consideración en el diseño de la posible existencia de un hueco de de diámetro en el límite superior de la capa de yesos.

La primera de ellas, eliminación de la capa activa, tiene la potencialidad de eliminar la posibilidad de que se produzca un proceso expansivo de la arcilla incluso en el caso de que existieran arcillas de alta expansividad en algunos puntos del emplazamiento. Pero para garantizar su efectividad, la acción debe llevar asociado un adecuado programa de ejecución de las excavaciones y ejecución de construcción que garantice que la mencionada capa activa no se vea alterada al quedar expuesto el terreno a las condiciones ambientales externas.

La segunda, la consideración del hueco de como criterio de diseño, Enresa la plantea como la incorporación de un margen de seguridad adicional frente la improbable aparición de un proceso activación de disolución de yeso. Además afirma que la monitorización durante la operación de la instalación permitirá detectar la aparición de cavidades o huecos, evitando en cierto modo que dichas cavidades puedan transformarse en significativas. No obstante, y como se ha planteado en la presente evaluación, para considerar efectiva dicha monitorización debe cumplirse además el requisito de que el plan de monitorización establecido sea capaz de detectar la aparición de oquedades y su localización antes de que puedan alcanzar el tamaño considerado en las bases de diseño y permitir así la adopción de medidas correctoras adecuadas.

De las conclusiones presentadas en el apartado anterior acerca de la valoración del documento de Enresa Estudio General de Cimentaciones [Ref.4] así como de las consideraciones reflejadas en los párrafos previos de éste, la presente evaluación realizada por el área IMES desde el punto de vista geotécnico, se considera que, conjuntamente con la solución estructural de la cimentación propuesta por Enresa en su "solución de diseño envolvente", se debe considerar que el emplazamiento propuesto es aceptable para poder ser emitido el preceptivo informe favorable para la solicitud de Autorización Previa.

No obstante, teniendo en cuenta las conclusiones previas, Enresa deberá analizar en detalle y presentar al CSN para su aceptación en el contexto de la Autorización de Construcción los siguientes planes y estudios:

- Plan detallado de actividades de excavación y construcción de cimentaciones.
- Análisis de detalle de medidas protectoras consideradas en el diseño y su control durante su ejecución.

- Análisis detallado acerca de la posible disposición de un drenaje horizontal relativamente superficial al pie del talud entre el Camino de Cardadores y el lado Norte de la plataforma de la instalación.
- 4. Programa de vigilancia efectivo incluido dentro del preceptivo Plan de Vigilancia que permita identificar durante la fase de explotación la aparición de algún proceso de hinchamiento del terreno o de fenómenos incipientes de disolución de yesos bajo el emplazamiento. Para este segundo caso, el programa debe estar basado en medios geofísicos suficientemente precisos u otros que proponga Enresa, estableciendo la periodicidad de dichas vigilancias, así como fijar el plazo para realizar las posibles acciones correctoras requeridas, en función de la cinética estimada al posible proceso de disolución.
- Análisis de detalle de medidas correctivas aplicables en el caso de que se detecten este tipo de fenómenos.
- Revisión de detalle del análisis funcional presentado en el Estudio General de Cimentaciones.

En relación con las actividades relacionadas en el documento Descripción de las Actividades y obras preliminares de infraestructura, Enresa no deberá realizar, antes de la preceptiva autorización de construcción, ninguna actividad de las incluidas en dicho informe que lleve asociada movimiento de tierras dentro del área protegida.

#### 7. REFERENCIAS

- [Ref. 1] 042-IF-SU-0018. ENRESA, Diciembre 2014. Informe Resumen de Integración para la caracterización del emplazamiento del ATC de Villar de Cañas (Cuenca).
- [Ref. 2] 042-IF-TC-0008.- Rev.1.-. Estudio de Caracterización del Emplazamiento del ATC en Villar de Cañas (Cuenca) y de la Zona de Influencia de la Instalación., Mayo 2015.- Enresa.
- [Ref. 3] 042-L1-F-C-00011.- Rev.1.- Estudio General de Cimentaciones. Idoneidad del emplazomiento, 21/01/2015.- Enresa
- [Ref. 4] 042-L1-F-C-00011.- Rev.2.- Estudio General de Cimentaciones. 29/05/2015. Enresa
- [Ref. 5] GG-ATC-01 Informe de voloración de la solución de cimentación de la instalación nucleor ATC. Rev. 0 de mayo 2015.
- [Ref. 6] GG-ATC-01 Informe de valoración de la solución de cimentación de la instalación nuclear ATC. Rev. 1 de junio 2015.
- [Ref. 7] GVCIF001.- Ed. 2. Dic 2014.- Investigación de las Características del Terreno para el Diseño de detalle y futura construcción del Almacén Temporal Centralizado (ATC) de Villar de Cañas (Cuenca). Realizado por
- [Ref. 8] 258-L1-R-C-00001.- Ed. 4. Mayo 2014.- Criterios de Diseño Civil del Almacén Temporal Centralizado (ATC). Realizado por
- [Ref. 9] 258-L1-ENR-01319.- Rev. 1 Plan de Vigilancia del Emplozamiento del ATC en Villar de Cañas (Cuenca).- Enresa
- [Ref. 10] 1409-2, Rev. 0, Diciembre 2014, Estudia de Expansividad de la unidad LBS.
- [Ref. 11] 042-CO-TC-2013-0016. Investigación de las características del terreno para el diseño de detalle y futura construcción de la Instalación Nuclear del Almacén Temporal Centralizado (ATC) de Villar de Coñas (Cuenco).
  Diciembre 2014.
- [Ref. 12] AS 2870, "Residential Slabs and Footings". Standards Australia. 2011.
- [Ref. 13] Technical Manual TM 5-818-7. Foundations on expansive soils. Department of the Army USA (1983).
- [Ref. 14] ENRESA (2015). Estudio hidrogeoquímico del emplazamiento del Almacén Temporal Centralizado (ATC) en Villar de Cañas (Cuenca). Disolución de yesos durante la explanación del ATC por efecto de la precipitación. Not. Téc. //DMA/2G014/15.
- [Ref. 15] CTE DB SE-C, Código Técnico de la Edificación. Seguridad Estructural Cimientos. Ministerio de Fomento. 2007.
- [Ref. 16] PG-3, Pliego de Prescripciones Técnicos Generales para Obros de Carreteras y Puentes. Ministerio de Fomento. 2011.
- [Ref. 17] 042-IF-DT-0004 Rev.2 Anteproyecto de Construcción. Mayo 2015. Enresa
- [Ref.18] 042-IF-TC-0009 Rev. 2 Descripción de las Actividades y obras preliminares de infraestructura. Mayo 2015, Enresa.

## ANEXO I

# Transcripciones literales del Informe de Valoración de la Universidad de Cantabria

## 1.- Nivel freático.

# 3.4.- Nivel freático. Esquema hidrogeológico

Los coeficientes de permeabilidad asignados a cada unidad geotécnica se reproducen aquí en la Tabla de la Figura 3-3. Como puede verse, son permeabilidades muy bajas: k < 10<sup>-5</sup> m/d (es decir, 10<sup>-10</sup> m/s) para la lutita LBS.

El nivel freático en la parcela del emplazamiento constituye un domo, que sigue la topografía de la superficie, a una profundidad típica en el rango de 2 a 5 metros, y como es habitual, con pendientes más suaves, es decir, que el nivel freático se encuentra más profundo en los puntos más elevados y más somero en las zonas bajas.

TABLA 2.7-6: CARACTERÍSTICAS HIDIÁLDICAS DE LAS FORMACIONES PRESENTES EN EL HITURO EMPLAZAMIENTO DEL ATC.						
Ud. Geol.	Litología	T (m'/dia)	k (m/día)			
LBS	Lutitas yesiferas con intercalaciones de yeso masivo y arenisca	<1x10 <sup>5</sup> - 2x10 <sup>4</sup>	<1x10 <sup>4</sup>			
YB	Yesos masivos con intercalaciones lutíticas	<1x10"-2x10"	<1x10 <sup>-2</sup>			
	Yesos masivos	4x10°	1x10"			
	Yesos masivos en zonas superficiales con intercalaciones	1x10 <sup>-3</sup> - 2x10 <sup>-0</sup>	1x10 <sup>-3</sup> - 6x10 <sup>-1</sup>			
	Yesos masivos superficiales afectados por procesos de disolución	1×10*1	4x10" - 1x10"			
LBI	Níveles de areniscas	2x10"	5x10 <sup>-4</sup>			
UI	Lutitas y limos con intercalaciones de areniscas	2x10*-7x10*	3x10° - 7x10-			
	Limos arenosos con intercalaciones de arenas	4x10***	2x10-1			
	Lutitas y limos yesiferos	3×10 <sup>-8</sup>	5x10 <sup>-4</sup>			
	Limos arenosos	2x10 <sup>-2</sup>	4x10 <sup>-8</sup>			
	Niveles de areniscas	8x10 <sup>-2</sup>	3x10 <sup>-8</sup> - 4x10 <sup>-9</sup>			
	Niveles de arenas	<1x10 <sup>-2</sup>	$4 \times 10^{-2} - 2 \times 10^{-3}$			
Custernario	Depósitos detriticos aluviales del rio Záncara	5x10*0	5x10 <sup>-1</sup>			

Figura 3-3. Permeabilidad de las diversas unidades geotécnicos (de Tabla 2.7-6, informe [2])

La posición del nivel freático se describe detalladamente en el Apartado 2.9 del Informe Geotécnico de [Ref. 11], edificio por edificio, basado en las observaciones hechas en los sondeos y en los piezómetros instalados.

Tabla 3.1. Resumen de niveles freáticos en codo edificio (Apda.2.9 del informe de . [Ref. 11])

Edificio	Cota sondeos (m)	Cota NF (m)	Edificio	Cota sondeos (m)	Cota NF (m)
	808-814	806-810		814-816	814-815
	815-819	814		813-817	811-815
	816-818	814		812-814	810-812
	815-818	810-814		814-818	807-812
	815-817	810-812		813-817	807-810
	809-814	808-811		815-818	809-812
	807-810	804-908		814-816	808-810
	801-811	807-808		818-819	811-814
	806-809	805-807		812	809
	805-808	805-806		812	808



Los resultados se presentan aquí resumidos en la Tabla 3-1. Para cada edificio se da el rango de cotas de

Figura 3-4. Isopiezas en la zona del emplazamiento. Aguas altas (Figura 2.7-23 de [REF.2]).

En el Apartado 2.7.2 del estudio de caracterización [Ref. 2] se comentan estos niveles en relación con los resultados del estudio hidrogeológico. La Figura 3-4, tomada de él, presenta las líneas de nivel freático en época de aguas altas (abril de 2014). En ella se aprecia claramente el carácter de domo del nivel freático en la parcela. Según el análisis realizado, las observaciones en los piezómetros instalados muestran valores positivos de la presión intersticial por debajo del nivel freático, lo que confirma que el terreno está saturado. Asimismo, las oscilaciones estacionales medidas hasta la fecha no parecen superar 2-3 metros en los piezómetros en que han sido mayores.

La planta anterior está basada en los resultados del análisis numérico de interpretación, que se hizo en dos dimensiones, en perfiles ortogonales. En la Figura 3-5 se reproducen los cortes ENE-OSO y N-S.

En la parcela de la instalación se dispone una extensa red de piezómetros que permite el análisis detallado en la misma. No ocurre lo mismo en las zonas adyacentes, en las que no se requiere obviamente el mismo grado de detalle. Es notable sin embargo que en la loma situada al norte de la parcela sólo hay un piezómetro (SVC-13), y muy alejado, por lo que el nivel piezométrico en el perfil N-S de la Figura debe tomarse con cautela, y pudiera ser más somero, tal como ocurre en la propia loma del emplazamiento de la instalación.

El modelo hidrogeológico predice que si elimina la infiltración en la zona nuclear, el nivel freático bajará, aunque estará controlado por el nivel del agua subterránea en la vaguada que discurre al este del emplazamiento y al Oeste por el del rio Záncara y se mantendrá, bajo la zona nuclear, a cota aproximada 805.

La figura 3-6 muestra la posición final predicha a lo largo del perfil E-O, en las dos hipótesis de construcción o no de redes de drenaje profundo alrededor de los edificios. Estos perfiles, sin embargo, podrian situarse algo más elevados si el nivel freático en la loma situada al Norte de la parcela fuera menos profundo, como se ha comentado en el párrafo anterior.

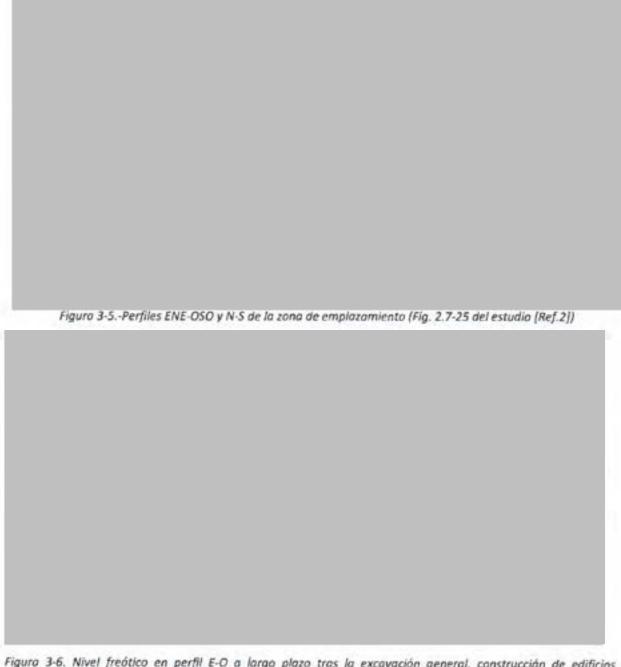


Figura 3-6. Nivel freático en perfil E-O a largo plazo tras la excavación general, construcción de edificios e impermeabilización de toda la instalación (Fig. 2.7-51 de [Ref.2])

Dado que el modelo hidrogeológico no tiene en cuenta la succión en el terreno, es posible que el agua ascienda por capilaridad, manteniendo el terreno saturado o cercano a la saturación, incluso por encima de ese futuro nivel freático, al igual que lo está actualmente.

Finalmente, debe hacerse hincapié en que, dada la muy baja permeabilidad de las lutitas, todas estas fluctuaciones del nivel freático y de las presiones intersticiales serán muy lentas y acompañadas de unos caudales de filtración muy pequeños.

## 2.- Presencia de anhidrita.

# - Expansión por cambios químicos asociados a la hidratación de algunas sales

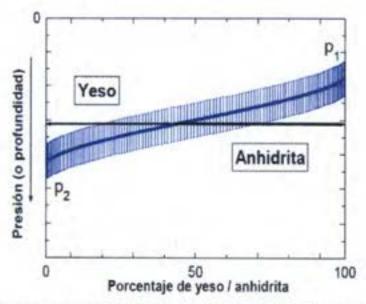
En este grupo, el proceso más notable es la posible presencia de anhidrita (sulfato cálcico anhidro, SO<sub>4</sub>Ca), que se ha estudiado con detenimiento, dada la presencia de yeso (sulfato cálcico dihidratado, SO<sub>4</sub>Ca, 2H<sub>2</sub>O), detectada con carácter sistemático.

El papel jugado por la anhidrita reside en su notable aumento de volumen al hidratarse y pasar a yeso, aumento que se cifra en un 62% en base a los volúmenes moleculares respectivos. Sin embargo, el proceso es más complejo, pues las evidencias actuales indican que más que una hidratación pura, consiste en la disolución de la anhidrita por el agua y la precipitación posterior en otro lugar de cristales de yeso. Ello no sólo supone el efecto directo de la expansión, sino que, al localizarse de forma irregular en el seno de la roca, provoca su fracturación, creando vías de circulación de agua, que a su vez intensifican el proceso y suponen la activación de otros fenómenos expansivos en los restantes minerales.

La experiencia existente en las últimas décadas en obras como la central de Ascó II, los túneles de Lilla (Alonso y Sagaseta, 2003), y el viaducto de Candí (Alonso y Ramón, 2013; Ramón y Alonso, 2013), en los que se ha constatado la presencia y efectos de la anhidrita, ha incrementado el interés práctico por su estudio.

La presencia de la anhidrita se discute en el documento [Ref. 10] en el apartado 4.3, en el que se señala que no se ha encontrado en ninguna de las exploraciones practicadas en el emplazamiento (lo que incluye casi 5000 m de perforación de sondeos), y solamente se ha encontrado en un sondeo al Oeste de la zona nuclear y a profundidades mayores de 50 metros. Seguidamente se argumenta en dicho documento que no existe en el emplazamiento, a profundidades que puedan afectar a las obras. Los argumentos se exponen allí muy brevemente, por lo que es pertinente incluir aquí un comentario al respecto.

Cabe decir de entrada de forma clara que el equipo redactor (Universidad de Cantabria) del informe está plenamente de acuerdo en la no presencia de anhidrita a profundidad relevante en la zona del emplazamiento. El equilibrio del sistema yeso-anhidrita, con el proceso de hidratación de anhidrita a yeso y el inverso, y sus cambios de volumen asociados, viene obviamente influido por la presión ambiente (es decir, por la profundidad) en la forma que se ilustra cualitativamente en la Figura siguiente:



Equilibrio del sistemo yeso-anhidrita. Influencia de la presión (o profundidad)

- Para presiones (o profundidades) inferiores a un límite, p1, se produce la hidratación, y, pasado un cierto tiempo, toda la anhidrita existente pasa a transformarse en yeso.
- Para presiones (o profundidades) mayores que otro límite, p2, la hidratación deja de ser posible, y no existe yeso, sino sólo anhidrita.
- Para presiones (o profundidades) entre los dos límites anteriores, coexisten ambos minerales, con una proporción relativa entre ellos función de la presión, y también de las condiciones ambientales: facilidad de acceso y cantidad de agua disponible, temperatura, salinidad, etc. (la banda dibujada en la Figura alrededor de la curva trata de reflejar cualitativamente la influencia de estas condiciones).

Según las observaciones y datos experimentales (Steiner, 1993), el límite inferior  $p_1$  citado está en el rango de 40-50 m, y el superior,  $p_2$ , en 70-80 m. Los sondeos practicados en la zona del emplazamiento tienen una profundidad máxima de 35 metros, por lo que el hecho de que no se haya encontrado anhidrita no obedece a una cuestión de mera probabilidad, sino que es consecuencia de las consideraciones expuestas.

Evidentemente, el mismo razonamiento lleva a la conclusión paralela de que a profundidades mayores (a partir de 40-50 metros), existirá necesariamente anhidrita, en una proporción relativa frente al yeso creciente con la profundidad.

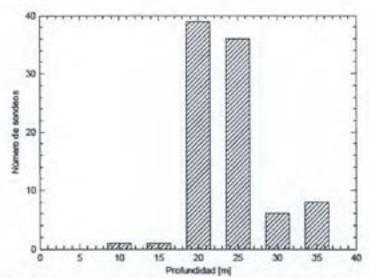
En todos los casos citados más arriba en que se han producido problemas con la anhidrita, ésta se encontraba, efectivamente, a profundidades superiores al rango citado, entre 70 y 100 m. Los problemas se han desatado cuando por una u otra razón se han alterado las condiciones de equilibrio, por lo que es de gran importancia conocer lo que ha ocurrido en esos casos para asegurar que no se va a dar en el presente.

En la central de Ascó, la alteración vino producida por una excavación a cielo abierto de gran profundidad (de hasta unos 70 metros) que redujo las presiones existentes. En el túnel de Lilla y los adyacentes Puig Cabrer y Camp Magré, que discurren a profundidades del orden de 80 a 100 metros, la propia excavación de los túneles, redujo hasta casí anular las presiones bajo la solera (era solera plana).

El viaducto de Candí, situado en las proximidades de estos túneles, es en principio de más difícil explicación, pues no existe una descarga semejante. Los estudios realizados (Alonso y Ramón, 2013) señalan que la ejecución de los pilotes y la previa perforación de sondeos profundos para su diseño puso en comunicación hidráulica el acuífero del aluvial del río con los niveles profundos ricos en anhidrita), desatando así el proceso. El hecho de que sólo se registraron levantamientos en las pilas situadas en la zona de aluvial, y no en las laderas (también cimentadas mediante pilotes), apoya esta interpretación, cuya magnitud y relevancia se ha estudiado con una detallada campaña experimental.

De la lectura de los documentos sobre el caso presente (ATC), se deduce que ninguna de las condiciones expuestas se da aquí:

- No existen excavaciones profundas. La explanación general de la zona supone excavaciones que no superan los 10-12 metros, y en general bastante menores.
- Todos los edificios se proyectan con cimentación superficial, mediante losas de gran canto. Las excavaciones para su construcción son por tanto moderadas y temporales, realizándose el hormigonado inmediatamente tras la excavación.
- Los sondeos realizados no han llegado a profundidades a las que pueda encontrarse anhidrita (de hecho, no se ha encontrado). La Figura siguiente muestra la distribución de profundidades de los 91 sondeos, habiendo sólo 8 que alcanzan 35 m y 6 de 30 m.



Distribución de profundidades de los sandeas de reconocimiento (a partir de la Tabla 4.2.1 del informe de [Ref. 11])

De todas formas, es prudente extremar las precauciones para reforzar la seguridad frente a estos problemas, reduciendo al mínimo posible los tiempos de apertura de excavaciones, y por otra parte sellando los sondeos en cuanto su finalidad exploratoria lo permita. En este sentido, también es prudente evitar el empleo de voladuras para realizar las excavaciones, sustituyéndolas por el empleo de martillo picador o rozadora (ver Apartado 10.2 del Informe de [Ref. 11]).

Por otra parte, en el Apartado 8.4 del Informe de [Ref. 11] se comenta la posibilidad de cimentación con pilotes de algún edificio. En los documentos posteriores no se menciona siquiera esta posibilidad. Estamos plenamente de acuerdo con esta exclusión, por las razones expuestas.

# 3.- Evaluación del potencial expansivo.

## Análisis experimental. Evaluación del potencial expansivo

El estudio experimental de la expansividad se ha realizado mediante ensayos de laboratorio. Aparte del análisis de los parámetros de identificación y estado, usualmente considerados como relacionados con el carácter expansivo (plasticidad, mineralogía, saturación, etc.), se han hecho, como ensayos específicos:

- Ensayo tipo 1, de "hinchamiento libre", consistente en inundar una muestra de arcilla, cargada a una presión p, pequeña (en la mayor parte de los casos 10 kPa, y siempre menor de 20 kPa). Se mide el hinchamiento producido (ε<sub>H</sub>) que se denomina "libre", aunque en rigor depende del valor elegido de la presión p; .

Aunque habitualmente el ensayo termina aquí, en este caso se ha incrementado posteriormente la carga por escalones hasta llegar a anular el hinchamiento, determinando la presión para la que esto ocurre ( $\rho_H$  post  $\epsilon_H$ ).

 Ensayo tipo 2, de "presión de hinchamiento", inundando la muestra e incrementando la carga de forma que no se produzca ningún hinchamiento, determinándose la presión final de equilibrio como presión de hinchamiento (p<sub>H</sub>).

Aunque habitualmente el ensayo termina aquí, en este caso se ha reducido posteriormente la carga hasta llegar a una presión  $p_i$  pequeña (habitualmente 10 kPa), midiendo el hinchamiento producido  $(\varepsilon_H post p_H)$ .

 Ensayo tipo 3, de "hinchamiento bajo carga", consistente en tallar varias probetas (al menos dos) de una misma muestra, cargar cada una a una presión p, diferente y luego inundarlas, midiendo el hinchamiento producido en cada una  $(\varepsilon_N (p_i))$  que debe decrecer con la presión y se denomina "hinchamiento bajo carga  $p_i$ ". Se representan los diferentes hinchamientos en función de la presión (habitualmente en escala logarítmica), ajustando la ley a una recta y determinando su pendiente y la presión correspondiente a hinchamiento nulo.

Los ensayos de "hinchamiento libre" son de dudosa interpretación, ya que el hinchamiento no es realmente libre, sino bajo una presión pequeña, pero no nula, por lo que el hinchamiento depende en realidad del valor de dicha presión. El valor habitual de 10 kPa es arbitrario, viene definido por ser un número redondo en el sistema de unidades utilizado y no está fijado por las normas de ensayo. De hecho, si se inundara la probeta sin aplicar ninguna presión, se produciría una expansión prácticamente ilimitada, terminando la arcilla convertida en una suspensión de partículas en agua.

Por otra parte, la denominada "presión de hinchamiento" que se obtiene en los ensayos de tipo 2 es un parámetro de escaso sentido físico, pues el que el hinchamiento observado sea nulo quiere simplemente decir que la expansión producida por la inundación es igual y de signo opuesto a la compresión mecánica producida por la carga, lo que no tiene relación con el fenómeno real.

En la realidad, el proceso a considerar sería la construcción de los edificios (es decir, aplicación de la carga) y analizar los efectos de una posible inundación posterior del material. Esto es lo que se hace en los ensayos de tipo 3. Sin embargo, al requerir diferentes probetas, la dispersión que suelen presentar los ensayos, asociada a la irregular distribución de minerales expansivos, reduce su utilidad en la práctica, siendo difícil determinar valores razonables de la pendiente de la ley de hinchamiento-carga.

Ello no inutiliza los ensayos de tipo 3. Mantienen su valor en cuanto a la evaluación de la expansión prevista; lo que es problemático es la determinación de la pendiente de la recta para cada grupo de probetas de una misma muestra. Debe analizarse el conjunto de probetas, de todas las muestras ensayadas, y tratar de analizar la ley considerando el total de la población. A este fin, también pueden considerarse los valores del hinchamiento "libre" de los ensayos tipo 1, asociándolos a la presión  $p_i$  aplicada.

La Figura 3-9 muestra los valores medidos en estos ensayos, tomados directamente de la Tabla 2.8.20 del Informe [Ref. 2].

La tendencia de variación se aprecia mejor que si se intenta unir con rectas las probetas que pertenecen a la misma muestra (aunque esto resulta necesario para extrapolar o interpolar valores para presiones no ensayadas):

- Para presión de 10 kPa todas las muestras expanden al inundarse, y algunas con valores elevados, como ya se ha comentado, Se trata de ensayos de Tipo 1, hinchamiento libre.
- Para presión en torno a 100 kPa (correspondientes a 4-5 m de profundidad) la expansión es inferior al 1%, y es negativa (compresión) en muchas muestras.
- Para presión de 400 kPa (representativa de la zona bajo las cimentaciones de edificios), ninguna muestra presenta expansión, sino compresión inferior al 5%.

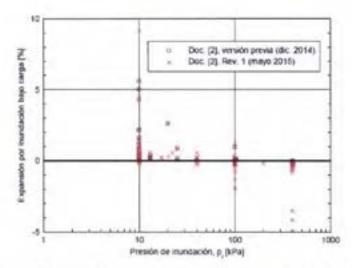


Figura 3-9. Hinchamiento por inundación bajo carga medido en los ensayos de tipos 1 y 3 (valores tomados de la Tabla 2.8.20 del Informe de caracterización [Ref. 2].

La presión de 10 kPa corresponde a una profundidad inferior a 1 metro, lo que no es representativo de las condiciones bajo los edificios, ni tampoco fuera de ellos, pues toda la zona va a estar cubierta por un pavimento con características resistentes, con lo que la mínima presión de las lutitas será del orden de 30 kPa. Para esta presión, la expansión por inundación resulta inferior al 1%.

En la Figura anterior se ha distinguido entre los ensayos incluidos en la versión previa del informe [2], de diciembre de 2014 (círculos azules), y los añadidos posteriormente, que aún no habían finalizado en aquel momento (aspas rojas). Se observa que los nuevos ensayos corresponden en general a probetas poco expansivas, tres de ellas con compresiones de hasta el 2% para inundación bajo presión de 200 kPa. Por otra parte, las nuevas muestras que resultan expansivas confirman los rangos y tendencias que se deducen de los ensayos incluidos en la versión previa del informe [Ref. 2].

Debe considerarse que en el mecanismo de la expansividad, el valor de la media aritmética es más relevante que los valores extremos, pues, en primera aproximación, el levantamiento de un punto cualquiera de la superficie (o de la base de una cimentación) es la suma de las expansiones de las distintas capas de terreno que conforman la zona activa existente bajo el punto en cuestión, y la expansión de cada capa es directamente proporcional al porcentaje de componentes expansivos. En un análisis de detalle, esto debe ponderarse con la distribución de tensiones en profundidad, pero en el caso presente, con edificios rígidos cuya dimensión en planta es de decenas de metros, la variación de tensiones a lo largo de la profundidad en la capa activa (de espesor del orden de 4 a 5 m), tiene poca influencia.

	LBSatt+LBS (lut)				LBSalt+LBS (mac+mic)			
	eH (%)	eH (%)	eH (%)	eH (%)	eH (%)	4H (%)	4H (%)	eH (%)
	30kPa. 100a	100kPa, 100a	200kPa 100a	400kPa, 100a	30kPu 100e	100kPa, 100a	200kPa. 100e	400kPz 100w
Número	20	21	21	21	20	20	20	20
Promedio	0.85	0,10	-0.33	-0.71	0,11	-0.11	-0.35	-0.59
Desvest	1,19	0.50	0.47	0.71	0.21	0.15	0,15	0.10
XX: C95	1.31	0.29	-0.15	-0.44	0.19	-0.05	-0.29	-0.53
Xx. adoptedo	2,04	0.60	0,14	0.00	0.33	0.04	-0.20	-0,43
	SEL			V8-A				
	eH (%)	eH (%)	oH (%)	eH (%)	4H (%)	eH (%)	eH (%)	eH (%
	30kPa. 100a	100kPa 100a	200kPa, 100a	400kPa. 100e	30kPa. 100a	100xPa 100a	200kPa, 100a	400kPs 100e
N/mero	. 9	9	9	9	14	14	14	14
Promedio	1,05	0.09	-0.40	0.88	0.03	0.32	0.73	-1.13
Desvest	1.61	0.58	0.18	0,18	0.49	0.60	1.03	1,49
X4. C95	2.05	0.46	-0.29	-0.77	0.19	-0.05	-0.29	-0.53
Klt. adoptado	2.66	0.68	-0.22	0.70	0.93	0.58	0.17	-0.23

Figura 3-10. Valores característicos de la expansión a 100 años (Tablas 17 y 18 del doc. [Ref. 4] y 2.8-33 y 34 del doc. [Ref. 2])

Con estas bases, se calcula en todos los casos la expansión final prevista para un periodo de 100 años, que resulta:

 $\varepsilon_{H}$  (100 años) = -0.2272 + 1.326  $\varepsilon_{H}$  (ensayo)

Los valores característicos obtenidos y adoptados para cada litotipo y para presiones de 30, 100, 200 y 400 kPa se muestran en la Tabla de la Figura 2-10.

## 4.- Conclusiones.

- Como conclusión general, debe afirmarse que se está de acuerdo y se suscriben las conclusiones de los documentos evaluados, [2] y [1], que tienen carácter general. Únicamente procede hacer algunas matizaciones o conclusiones adicionales, que se han ido exponiendo a lo largo del texto y se resumen a continuación.
- Los reconocimientos geotécnicos, geofísicos y geoquímicos practicados son adecuados en tipo, volumen, intensidad, al fin perseguido, aunque requieren intensificación para los estudios de detalle.
- La identificación de unidades geotécnicas (SEL, LBSalt, LBS, YBA, YBB, YB1, LBI, UI), es correcta.
   Obedece a criterios geológicos, incorporando también aspectos geotécnicos. De ellas, la fundamental en cuanto a las cimentaciones y excavaciones es la LBS.
- 4. La capacidad portante de este terreno es elevada y su deformabilidad ante la aplicación de cargas es reducida. Desde un punto de vista de la capacidad portante del terreno y de los asientos que pueden producirse cuando se apliquen las cargas, el terreno es idóneo para construir una instalación como la del ATC.
- En cuanto al nivel freático, está suficientemente definido en la parcela, pero a falta de más datos, debe suponerse que su profundidad en la loma situada al Norte es similar a la de la zona de la instalación.
- Los ensayos realizados para evaluar el potencial expansivo del terreno con correctos y adecuados.
   Los ensayos de inundación bajo carga son especialmente representativos del proceso. Sus resultados han permitido acotar la expansividad del terreno, asociada a su contenido en esmectitas.
- La no presencia de anhidrita, que constituye un factor muy positivo, no es simplemente una hipótesis basada en su no detección en los sondeos, sino que es coherente con el conocimiento de las bases del problema y las experiencias en otros casos reales.
- 8. Frente a los problemas derivados de la expansividad o de la disolución de yesos, la solución más eficaz es la elección de soluciones estructurales, geotécnicas y constructivas que reduzcan el riesgo de modificación de los regimenes existentes de tensiones y de flujo de agua. En este sentido, las soluciones de cimentación superficial mediante losas rígidas son muy adecuadas.
- 9. Lo anterior debe completarse prestando especial atención a los detalles constructivos: no hacer sondeos excesivamente profundos si no son indispensables, cementar los sondeos en cuanto sea posible, no recurrir a voladuras para la excavación y cuidar el control de los flujos de agua, señaladas en los documentos evaluados, son todas ellas medidas tendentes a evitar los riesgos anteriores.
- La evaluación de espesores de capa activa, tanto en la situación natural actual como en el futuro (bajo el pavimento general y bajo los edificios) es conservadora.
- 11. La no detección de huecos de disolución de yesos es un factor positivo. La consideración que se hace en la solución seleccionada (solución de diseño envolvente) de que la cimentación pueda soportar la posibilidad de huecos de hasta m de diámetro es una precaución adicional.
- La explanación general en dos fases, dejando un espesor de 2 metros a excavar en la segunda, es adecuada, siempre que no se dilate el plazo entre ellas.