ANEJO 4

GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

INDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO....1

1.1. DOCUMENTACIÓN CONSULTADA 2

1.1.1. INFORMACIÓN GENERAL 2

1.1.2. INFORMACIÓN ESPECÍFICA 2

1.1.3. BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA.... 3

2. CAMPAÑAS DE INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA CONSULTADAS Y REALIZADAS.....3

2.1. RECONOCIMIENTOS DE CAMPAÑAS PREVIAS 3

2.1.1. CAMPO DE LAS NACIONES 3

2.1.2. REJAS.... 3

2.2. RECONOCIMIENTOS EJECUTADOS EN FASE DE ESTUDIO 4

2.2.1. VISITA DE CAMPO Y JUSTIFICACIÓN DE LA CAMPAÑA 4

2.2.2. RECONOCIMIENTOS GEOTÉCNICOS 4

2.2.3. ENSAYOS DE LABORATORIO. 6

3. GEOLOGÍA....8

3.1. MARCO GEOLÓGICO GENERAL.... 8

3.2. GEOLOGÍA DE DETALLE DE LA ZONA DE ESTUDIO 10

3.2.1. ESTRATIGRAFÍA 11

3.2.2. GEOMORFOLOGÍA 14

3.2.3. GEOLOGÍA DETALLE ZONAS DE PROYECTO 14

3.2.4. RIESGOS GEOLÓGICOS 17

3.2.5. HIDROGEOLOGÍA 18

4. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA....40

4.1. INTRODUCCIÓN Y METODOLOGÍA 40

4.2. CARACTERIZACIÓN UNIDADES 42

4.2.1. MATERIALES TERCIARIOS 42

4.2.2. MATERIALES CUATERNARIOS.... 49

4.2.3. RELLENOS ANTRÓPICOS VERTIDOS (R).... 51

4.3. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS RECOMENDADOS....52

4.4. AGRESIVIDAD DEL SUBSUELO AL HORMIGÓN 52

4.4.1. AGRESIVIDAD DEL SUELO 52

4.4.2. AGRESIVIDAD DEL AGUA 53

4.5. NIVEL DE AGUA....53

4.6. OBRAS DE TIERRA 53

4.6.1. RELLENOS ANTRÓPICOS Y TIERRA VEGETAL 53

4.6.2. DESMONTES 54

4.6.3. RELLENOS 55

4.7. GEOTECNIA DE CIMENTACIÓN DE ESTRUCTURAS....57

4.7.1. METODOLOGÍA DE CÁLCULO 57

4.7.2. RECOMENDACIONES DE CIMENTACIÓN 65

4.7.3. TABLA RESUMEN DE RECOMENDACIONES DE CIMENTACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS.... 97

5. PROCEDENCIA DE MATERIALES 99

5.1. OBJETO 99

5.2. CONDICIONES EXIGIBLES A LOS MATERIALES 99

5.2.1. PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES PARA LOS PROYECTOS DE PLATAFORMA (PGP-2011 V2), DE ADIF.... 100

5.2.2. PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS GENERALES DE MATERIALES FERROVIARIOS (PF). 102

5.2.3. PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS GENERALES PARA OBRAS DE CARRETERAS PUENTES (PG-3).... 104

5.2.4. INSTRUCCIÓN DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL (EHE-08).... 105

5.2.5. CUADROS RESUMEN.... 106

5.1. BALANCE DE TIERRAS....108

5.2. MATERIALES PROCEDENTES DEL TRAZADO 109

5.2.1. RELLENOS ANTROPICOS (R) 109

5.2.2. CUATERNARIO (QT) 109
5.2.3. TERCIARIO 110
5.3. COEFICIENTE DE PASO (RELLENO Y RESTAURACIÓN DE CANTERAS O EXPLOTACIONES EXTRACTIVAS) 113
5.4. MATERIALES EXTERNOS AL TRAZADO 113
5.4.1. CANTERAS 114
5.4.2. YACIMIENTOS GRANULARES. GRAVERAS Y ARENEROS 118
5.4.3. PLANTAS DE SUMINISTRO 121
5.5. RECOMENDACIONES SOBRE LA PROCEDENCIA DE MATERIALES PARA SU PUESTA EN OBRA 122
5.5.1. SUELO SELECCIONADO 122
5.5.2. ZAHORRA ARTIFICIAL 122
5.5.3. MATERIAL FILTRANTE 122
5.5.4. ÁRIDOS PARA HORMIGONES 122
5.5.5. MATERIALES PARA LOS RELLENOS LOCALIZADOS EN ESTRUCTURAS 122
5.5.6. MATERIALES SUELOS QS3 123
5.5.7. MATERIALES PARA LA CAPA DE FORMA 123
5.5.8. SUBBALASTO 123
5.5.9. BALASTO 123
5.5.10. RESUMEN RECOMENDACIONES PROCEDENCIA DE MATERIALES 123
5.6. VERTEDEROS. GESTOR AUTORIZADO 124
6. CONCLUSIONES 125

APÉNDICE 1. PLANOS GENERALES

1.1. MAPA GEOLÓGICO GENERAL, MAGNA
1.2. MAPA GEOTÉCNICO GENERAL

APÉNDICE 2. CAMPO DE LAS NACIONES

2.1. PLANTA
2.2. PLANTA Y PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL.
ALTERNATIVA 1
2.3. PLANTA Y PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL.
ALTERNATIVA 2

APÉNDICE 3. REJAS

3.1. PLANTA DE SITUACIÓN DE INVESTIGACIONES
3.2. PLANTA Y PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL. ALTERNATIVA 1
3.3. PLANTA Y PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL. ALTERNATIVA 2

APÉNDICE 4. SAN FERNANDO DE HENARES

4.1. PLANTA DE SITUACIÓN DE INVESTIGACIONES
4.2. PLANTA Y PERFIL GEOLÓGICO. ALTERNATIVA 1
4.3. PLANTA Y PERFIL GEOLÓGICO. ALTERNATIVA 2

APÉNDICE 5. ESTUDIO DE MATERIALES

5.1. PLANTA DE UBICACIÓN DE CANTERAS, GRAVERAS Y PLANTAS DE SUMINISTRO
5.2. SITUACIÓN DE CANTERAS, GRAVERAS Y PLANTAS DE SUMINISTRO
5.3. SITUACIÓN DE VERTEDEROS

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO

El presente documento forma parte de la Encomienda para la elaboración de los "**Estudios Funcionales y Estudios Informativos de la implantación de nuevos apeaderos sobre la red de cercanías de Madrid existente"** que pretende analizar la conveniencia de la implantación de una serie de nuevas estaciones.

Concretamente, el desarrollo de este Anejo de Geología y Geotecnia se centra en los nuevos Apeaderos de Rejas, Campo de la Naciones y el salto de carnero el San Fernando de Henares.

Para la implantación de ambos apeaderos, se han seleccionado dos posibles zonas (alternativas 1 y 2) así como dos posibles alternativas para la construcción del salto de carnero en San Fernando.

En la siguiente imagen se muestra su localización.

Figura 1 Fotografía aérea de la ubicación de los apeaderos y las alternativas propuestas.

Figura 2 Fotografía aérea de la ubicación del salto de carnero de San Fernando de Henares.

El objeto del anejo es definir, a partir de la información consultada, así como de la campaña de campo realizada, las características del terreno de los emplazamientos, para proyectar y dimensionar las soluciones geotécnicas más adecuadas a la problemática prevista con relación a las actuaciones contempladas

La elaboración del estudio que constituye el presente anejo tiene una serie de fases sucesivas en el tiempo:

- Análisis de la información existente. Se procedió a la recopilación de todas aquellas publicaciones y todos aquellos trabajos existentes sobre el entorno a investigar, a fin de obtener un primer conocimiento del carácter geotécnico local.
- Caracterización geológico-geotécnica. Para la investigación e identificación de los parámetros que rigen el comportamiento geotécnico de las zonas del proyecto, así como para la determinación de las causas que provocan los procesos de riesgo, se diseña y supervisa una campaña de investigación geotécnica.
- Obtención de conclusiones. Una vez recopilada toda la información de campo y laboratorio, se procedió al análisis de la misma, con el objetivo primero de establecer parámetros característicos de cada unidad geotécnica y finalmente recomendar la tipología de cimentación y estimar la profundidad de la misma.
- Redacción del Anejo. Por último y tomando como punto de partida el resultado de todos los trabajos realizados, se procedió a la redacción del presente Anejo, recogiendo toda la información recopilada, los trabajos realizados in situ y en gabinete.

Para la obtención de los datos y objetivos citados anteriormente, se ha procedido a la realización de perfiles geológico – geotécnicos a escala original 1:1000 vertical y 1:5000 horizontal, con objeto de precisar los contactos litológicos y estructurales, reconocer y cartografiar depósitos cuaternarios y rellenos antrópicos que puedan tener incidencia en las futuras obras, zonas con problemas de estabilidad y cualquier área que presente problemas geotécnicos que puedan poner en peligro la factibilidad de la obra o que incrementen notablemente sus costes. Dichos perfiles se recogen en los Apéndices Nº 2.2, 3.2 y 4.2 de este informe, en la cual, se han incluido la situación de las prospecciones de otros proyectos además de las realizadas.

En los perfiles, ha quedado plasmada la rasante actual del terreno, situación de las prospecciones, situación del nivel freático, diferenciación de los diversos tramos litológicos y se ha incluido la proyección de las actuaciones a construir.

1.1. DOCUMENTACIÓN CONSULTADA

Para la redacción de este documento, la información consultada ha sido de tres tipos, una de índole general que incluye publicaciones de carácter geológico – geotécnico de la zona de estudio, otra de índole específico que incluye Proyectos y Estudios realizados en la zona o alrededores y otra complementaria que incluye publicaciones relacionadas con geotecnia en general.

1.1.1. INFORMACIÓN GENERAL

- Mapa Topográfico Nacional, escala 1/25.000, hoja 559 Madrid.
- Mapa Geológico de España (MAGNA, 2ª serie) del IGME, escala 1/50.000 correspondiente a Madrid, hoja nº 559 / 19-22.
- Mapa Geológico de España del IGME, escala 1/200.000 correspondiente a Madrid, hoja nº 45
- Mapa de Rocas Industriales de España, escala 1/200.000, correspondiente a Madrid, hoja nº 45.
- Artículo “Propiedades geotécnicas de los suelos de Madrid” de D. Jose María Rodríguez Ortiz, publicado en la revista de obras públicas en el extraordinario de diciembre de 2000. Nº 3.405.
- Artículo “Sobre los sistemas y parámetros geotécnicos de diseño en la ampliación del metro de Madrid” realizado por D. Carlos Oteo Mazo, D. José María Rodríguez Ortiz y D. Felipe Mendaña Saavedra y publicado en la revista de obras públicas de enero de 2003. Nº 3.429.
- VERA, J.A. (2004): Geología de España. SGE-IGME, Madrid, 890 p.
- ESCARIO, Ventura (1985): Síntesis geotécnica de los suelos de Madrid y su alfoz. Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones. Dirección General de Infraestructura del Transporte. Madrid

1.1.2. INFORMACIÓN ESPECÍFICA

- “Proyecto de Construcción Cercanías de Madrid. Acceso Ferroviario al Aeropuerto de Barajas”, realizado por Intecsa - Inarsa, S.A. en mayo de 2006 para el Ministerio de Fomento.
- Sistema de Información Geográfica de Urbanismo del Ayuntamiento de Madrid (http://www-2.munimadrid.es/urbanismo_inter/visualizador/):
- “Proyecto de trazado M-40. Calzadas de servicio y otras actuaciones. Tramo: M-11-Nudo de la Fortuna. P.K. 4,000 al 30,000. Subtramo: enlace con la M-11 (Nudo Hortaleza) hasta sobrepasar el enlace con la M-201 (Nudo Arcentales). P.K. 4,000 al 12,000. Provincia de Madrid” realizado por Incosa en septiembre de 2009 para el Ministerio de Fomento.
- “Proyecto de Construcción de la prolongación de la Línea 5 del Metro de Madrid a Alameda de Osuna” realizado por MINTRA para la Consejería de Transportes e Infraestructuras de la Comunidad de Madrid en junio de 2004.
- “Proyecto Constructivo de nuevas cocheras para el material móvil de la Línea 2 del Metro de Madrid” realizado por MINTRA para la Comunidad de Madrid en junio de 2009.
- Sistema de Información Geográfica de Urbanismo del Ayuntamiento de Madrid (http://www-2.munimadrid.es/urbanismo_inter/visualizador/):
- “Estudio Funcional del Complejo Ferroviario de Mercancías de Vicálvaro” redactado por TRN Ingeniería en agosto de 2011 para Adif.
- INECO (2009-2010): Proyecto de trazado. M-40. Calzadas de Servicio y otras actuaciones. Tramo: enlace con la M-201 (Nudo de Arcentales) hasta sobrepasado el Enlace Supersur con la A-4. P.K.12,000 al 22,300. Madrid
- INECO (2018) Estudios funcionales y estudios informativos de la implantación de nuevos apeaderos sobre la red de cercanías:
    - Estudio funcional para la implantación de un nuevo apeadero en Campo de las Naciones.
    - Estudio funcional para la implantación de un nuevo apeadero en Rejas.
    - INECO (2016) Estudio informativo de la remodelación del sistema de transporte ferroviario de mercancías en el entorno de la ciudad de Madrid. Remodelación de la terminal de Vicálvaro y accesos viarios, y cuadruplicación de la vía de contorno.
    - K. V. CONSULTORES (2009) Proyecto de Construcción para la Estación de Cercanías Nueva de O´Donnell. Madrid

1.1.3. BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- González de Vallejo, Luís I. y otros. (2002). Ingeniería Geológica. Ed. Pearson Educación. Madrid.
- Jiménez Salas, Jose A. y otros. (1981). Geotecnia y Cimientos II. Ed. Rueda Madrid.
- Rodríguez Ortiz, José María (1982). Curso aplicado de cimentaciones.
- Eurocódigo 8. (1998). Proyecto de estructuras frente a sismo.
- Ministerio de Fomento. (2003). Guía de cimentaciones en obras de carretera.
- Ministerio de vivienda (2006). Código Técnico de la Edificación.
- "Norma de Construcción Sismorresistente: Parte general y edificación (NCSR-02)" aprobada por el Real Decreto 997/2002 de 27 de septiembre.
- PG-3 (Hasta Orden FOM 891/2004): Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes
- Orden FOM 3460/2003: Norma 6.1-C Secciones de Firme de la Instrucción de Carreteras
- Real Decreto 2661/1998 de 11 de diciembre (B. O. E. 13-1-1999): Instrucción de Hormigón Estructural (EHE).

2. CAMPAÑAS DE INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA CONSULTADAS Y REALIZADAS

Una vez examinada toda la documentación bibliográfica y cartográfica que se ha podido recopilar de la geología general del área, se procedió a la recopilación de toda la información geotécnica disponible y a la planificación de una nueva campaña en función de la información disponible.

2.1. RECONOCIMIENTOS DE CAMPAÑAS PREVIAS

2.1.1. CAMPO DE LAS NACIONES

Los trabajos consultados para esta actuación se encuentran enmarcados dentro del proyecto previo de "Estudio Informativo de la Remodelación del sistema de transporte ferroviario de mercancías en el entorno de la cuidad de Madrid. Remodelación de la terminal de Vicálvaro y accesos viarios, y cuadruplicación de la vía de contorno" (Ineco, 2012).

Para este proyecto se ejecutaron las siguientes investigaciones en la zona que nos ocupa:

- Una (1) calicata mecánica, mediante retroexcavadora.
- Un (1) ensayo de penetración dinámica tipo DPSH que alcanzó los 4.8m

Conforme a estos reconocimientos se describió un relleno antrópico

2.1.2. REJAS

Dentro de los trabajos consultados, el "Proyecto de Construcción para la Estación de Cercanías Nueva de O´Donnell. Madrid", realizado por K. V. CONSULTORES (2019), se encuentra dentro del ámbito de actuación del presente proyecto.

Para este proyecto se ejecutaron las siguientes investigaciones:

- Cuatro (4) sondeos mecánicos a rotación, con extracción de testigo, de entre 18 y 24 m de profundidad, realizándose en el interior de estos ensayos SPT y toma de muestras inalteradas.
- Tres (3) calicatas mecánicas, con retroexcavadora.
- Cinco (5) ensayos de penetración dinámica tipo DPSH, que alcanzaron una profundidad máxima de 10.80 m.

Según estas prospecciones, se diferenciaron los siguientes niveles:

- Relleno antrópico. Los materiales sobre los que está construida la antigua estación de O´Donnell y donde se ejecutarán las obras de la nueva estación corresponden con materiales de relleno, en principio de buena calidad ya que es un terraplén constituido para dar servicio a la línea férrea de mercancías entre San Fernando-Coslada y la estación de Chamartín. Se detectó un espesor de entre 8.9 y 11.4 m.
- Infrayacente a estos rellenos se encuentra el substrato mioceno típico de esta zona de Madrid, constituido por arcillas y arcillas margosas que presentan variación de color según la profundidad de marrón- parda a verdes y gris oscuro a negro. Presentan intercalaciones de niveles y vetas de arena limosas micáceas de color verde- gris oscuro. Esta unidad presenta una consistencia muy firme a dura.

2.2. RECONOCIMIENTOS EJECUTADOS EN FASE DE ESTUDIO

Para la redacción del presente estudio se ha definido una campaña de trabajos de campo y ensayos, adecuada a la definición y valoración de las soluciones a desarrollar en el mismo.

La campaña de campo se ha orientado con el fin de lograr una caracterización geotécnica de materiales, tanto en superficie como en profundidad. Para ello se han realizado también ensayos de laboratorio, con objeto de completar la caracterización de los materiales prospectados.

A continuación, se describen los trabajos de campo y ensayos de laboratorio realizados.

2.2.1. VISITA DE CAMPO Y JUSTIFICACIÓN DE LA CAMPAÑA

Previamente a la ejecución de la campaña de campo, un técnico especializado de INECO, visitó la zona de estudio para su inspección y descripción.

El número y posición de los puntos donde se han ejecutado los reconocimientos responde a criterios de representatividad del subsuelo y a la accesibilidad de la maquinaria y/o personal utilizado en cada uno de los casos.

Así, vistas las necesidades, y siguiendo las indicaciones del proyecto, se planificó la siguiente campaña de reconocimiento:

2.2.1.1. CAMPO DE LAS NACIONES

Los reconocimientos planificados fueron un (1) sondeo y dos (2) ensayos de penetración dinámica en cada una de las alternativas correspondientes a los apeaderos de Campo de las Naciones.

2.2.1.2. REJAS

Se han realizado dos (2) ensayos de penetración dinámica en la alternativa 2 de Rejas. Se considera que la alternativa 1 del apeadero de Rejas queda bien acotada con la información recopilada del Proyecto de Construcción para la Estación de Cercanías Nueva de O´Donnell. Madrid.

Esta campaña se completó con la ejecución de ensayos in situ, tipo SPT y toma de muestras, en el interior de los sondeos y la recogida de muestras representativas de las unidades geotécnicas más relevantes que constituyen el subsuelo en la zona de estudio.

2.2.1.3. SAN FERNANDO DE HENARES

En la zona de san Fernando para el estudio del salto de carnero, se ha realizado un sondeo a rotación de 25m de profundidad, 8 calicatas mecánicas y 10 ensayos de penetración dinámica tipo DPSH.

2.2.2. RECONOCIMIENTOS GEOTÉCNICOS

2.2.2.1. SONDEOS A ROTACIÓN

Los sondeos mecánicos a rotación son perforaciones de pequeño diámetro que permiten reconocer la naturaleza y la localización de las diferentes capas del subsuelo mediante la extracción continua de testigo.

Durante la perforación se realizan ensayos de penetración estándar (SPT), mediante los cuales se mide la resistencia que opone el suelo a la penetración de un tomamuestras tubular o de una puntaza ciega, contabilizando el número de golpes necesarios para introducirlo 45 cm en tres intervalos parciales de 15 cm cada uno; como elemento de impacto se utiliza una maza metálica de 63.5 kg que cae desde una altura de 76 cm. El resultado del ensayo se define por un número (N) que se obtiene al sumar el número de golpes necesarios para la hinca de los 30 cm correspondientes al segundo y tercer intervalo. Se considera rechazo (R) cuando el número de golpes para introducir cualquiera de los intervalos de 15 cm es superior a 50, en este caso el resultado se expresa como R/P, siendo P la penetración (en cm) lograda en el intervalo al consumirse los 50 golpes. Este ensayo se utiliza para evaluar la resistencia y deformabilidad de suelos preferentemente granulares (arenas y gravas), aunque también aporta una información muy útil acerca de la consistencia de los materiales cohesivos.

Al mismo tiempo se toman muestras inalteradas (MI), para lo cual se ha empleado un tomamuestras de pared gruesa de 63 mm de diámetro y 60 cm de longitud, siguiendo las especificaciones recogidas en la norma ASTM D-3550/84 y D-1587/94. A la vez que se extrae la muestra, se mide la consistencia del terreno, siguiendo el mismo mecanismo que para el ensayo de penetración estándar, contabilizando el número de golpes necesario para avanzar 15 cm en cuatro tramos.

2.2.2.1.1. CAMPO DE LAS NACIONES

Para la ejecución de cada sondeo se ha empleado una sonda TECOINSA TP-50 sobre orugas de la empresa PEÑARROYA.

Los testigos del terreno obtenidos durante la ejecución del sondeo se depositaron en cajas que, una vez completadas y acondicionado y limpiado el testigo, se fotografiaron.

El sondeo quedó equipado con tubería de PVC ranurada para la medición del nivel piezométrico del agua, tomándose una muestra del agua encontrada para determinar su potencial agresividad al hormigón.

En la siguiente tabla se ofrece de manera resumida los datos generales de cada uno de los sondeos a rotación llevados a cabo. El corte estratigráfico de los sondeos y las fotografías de las cajas de testigos han sido realizados por técnicos especialistas, y la información se recoge en el apéndice correspondiente de este anejo.

Sondeo	FECHA INICIO	FECHA FINAL	COORDENADAS			Prof. (m)	S.P.T.	M.I.	Localización
			X	Y	Z				
SR-1	18/03/19	18/03/19	447250	4479501	663	15,25	4	4	Alternativa 1 apeadero Campo de las Naciones
SR-2B	19/03/19	19/03/19	447645	4479079	659	15,00	3	3	Alternativa 2 apeadero Campo de las Naciones

Tabla 1 Resumen de los sondeos ejecutados en el apeadero de campo de las naciones

2.2.2.1.2. SAN FERNANDO DE HENARES

La campaña geotécnica realizada incluye la realización de un sondeo a rotación, denominado S-1. Para la ejecución se ha empleado una sonda TECOINSA TP-50 sobre camión de GEOLÉN.

Este sondeo se ha llevado a cabo con una sonda rotativa provista de sacatestigos, un mecanismo de accionamiento hidráulico y se ha perforado con corona de widia, revistiendo las paredes del sondeo cuando ha sido necesario para evitar caídas de material. La longitud total del mismo, así como su objetivo y la fecha de realización se indican en la siguiente tabla.

Se ha tomado una medida del nivel freático a 8,35 m.

FECHA INICIO	FECHA FINAL	COORDENADAS			Prof. (m)	S.P.T.	M.I.	T.P.	Localización
		X	Y	Z					
05/08/2020	05/08/2020	454070	4476874	580	25	5	8	4	Alternativa 1: estudio de estribo
									Alternativa 2: estudio de desmonte

Tabla 2 Resumen de sondeo para el salto de carnero en San Fernando de Henares

2.2.2.2. PENETRACIONES DINÁMICAS

El ensayo de penetración dinámica consiste en clavar en el terreno, una puntaza maciza de hierro colocada en el extremo de una varilla. La hinca se consigue golpeando el conjunto en su parte superior con una maza en caída libre. La velocidad de golpeo es a razón de 30 golpes por minuto.

Las características del equipo utilizado en los ensayos de penetración dinámica, de tipo

Peso de la maza ..... 63.5 kg

Peso de varillaje ..... 8.84 kg/m

Peso de la cabeza ..... 1.5 kg

Altura de caída ..... 75 cm

Superficie de la puntaza..... 20 cm2

Diámetro de Varillaje..... 32 mm

El varillaje tiene un diámetro inferior a la puntaza para evitar, en la medida de lo posible, rozamiento con el terreno, que pudiera afectar a los datos de resistencia del terreno.

Durante el ensayo, realizado continuamente hasta alcanzar rechazo, se registra el número de golpes necesario para la hinca de la puntaza 20 cm, N_{20}, sucesivamente. Normativamente, el ensayo se considera terminado (se alcanza el “rechazo”) cuando con una tanda de 100 golpes no se consiguen los 20 cm de penetración. Los resultados se presentan en gráficos en los que se relaciona la profundidad con la resistencia a la hinca dinámica, los cuales se incluyen en los apéndices al final del texto.

2.2.2.2.1. CAMPO DE LAS NACIONES

En la zona de Campo de las Naciones se realizaron 4 penetraciones dinámicas, 2 para cada alternativa. A continuación se incluye un cuadro resumen con la fecha en la que se llevaron a cabo, la situación y profundidad alcanzada:

Penetrómetro	Fecha de ejecución	Coordenadas		Profundidad (m)	Situación
		X	Y		
PD-1	27/08/2019	447263	4479482	5,8	Alt. 1 Campo Naciones
PD-2	28/08/2019	447229	4479534	10	Alt. 1 Campo Naciones
PD-3	27/08/2019	447588	4479129	5,8	Alt. 2 Campo Naciones
PD-4	28/08/2019	447663	4479068	6,8	Alt. 2 Campo Naciones
Totales		Penetraciones dinámicas		Profundidad total (m)	
		4		28,4	

Tabla 3 Resumen de ensayos de penetración dinámica para el salto del apeadero de Campo de las Naciones

2.2.2.2.2. REJAS

En la zona de Rejas se realizaron 2 penetraciones dinámicas para la alternativa 2. A continuación se incluye un cuadro resumen con la fecha en la que se llevaron a cabo, la situación y profundidad alcanzada:

Penetrómetro	Fecha de ejecución	Coordenadas		Profundidad (m)	Situación
		X	Y		
PD-5	27/08/2019	449252	4477313	7,4	Alt. 2 Rejas
PD-6	27/08/2019	449268	4477297	5,8	Alt. 2 Rejas
Totales		Penetraciones dinámicas		Profundidad total (m)	
		2		13,2	

Tabla 4 Resumen de ensayos de penetración dinámica para el salto del apeadero de Rejas

2.2.2.2.3. SAN FERNANDO DE HENARES

En la zona de San Fernando de Henares se realizaron 10 penetraciones dinámicas. A continuación, se incluye un cuadro resumen con la fecha en la que se llevaron a cabo, la situación y profundidad alcanzada:

Penetrómetro	Fecha de ejecución	Coordenadas			Profundidad (m)
		X	Y	Z	
P-1	03/08/2020	452.405	4.476.579	601	12,00
P-2	04/08/2020	452.526	4.476.541	603	13,00
P-3	04/08/2020	452.974	4.476.809	594	12,00
P-4	04/08/2020	453.305	4.476.950	589	7,40
P-5	03/08/2020	453.922	4.476.835	579	4,20
P-6	03/08/2020	453.913	4.476.785	581	6,20
P-7	03/08/2020	453.986	4.476.819	577	12,00
P-8	04/08/2020	454.058	4.476.830	579	5,40
P-9	04/08/2020	454.286	4.476.939	574	9,40
P-10	03/08/2020	453.612	4.476.572	590	12,00
Totales		Penetraciones dinámicas			Profundidad total (m)
		10			93,60

Tabla 5 Resumen de ensayos de penetración dinámica para el salto de carnero en San Fernando de Henares

Los registros de los penetrómetros dinámicos se pueden consultar en el apéndice correspondiente.

2.2.3. ENSAYOS DE LABORATORIO.

Con las muestras obtenidas en la campaña de campo ejecutada, se han llevado a cabo una serie de ensayos de laboratorio encaminados a la determinación de las principales características geotécnicas de los materiales.

Se han determinado los parámetros geotécnicos de identificación, estado, resistencia y deformabilidad de cada una de las unidades geotécnicas diferenciadas.

En los apéndices se incluyen las actas de laboratorio con los resultados de los ensayos efectuados.

Los ensayos de las muestras extraídas en los sondeos se han realizado en los laboratorios de EPTISA para las alternativas de Campo de las naciones Son los siguientes:

- 11 Clasificaciones USCS, incluyendo análisis granulométrico por tamizado (UNE 103101:1995), y determinación de límites de Atterberg (UNE 103103:1994 y 103104:1993) o comprobación de la no plasticidad.
- 2 Determinaciones de la humedad natural (UNE 103.300).
- 2 Determinaciones de la densidad aparente (UNE 103.301)
- 5 Determinación de los parámetros resistentes al esfuerzo cortante en la caja de corte directo (UNE 103.401).
- 6 Determinaciones del grado de acidez de Baumman-Gully (UNE 83962:2008).
- 6 Determinaciones del contenido en materia orgánica (UNE 103-204).
- 6 Determinaciones del contenido de sulfatos en suelos (UNE 103.201).
- Para el salto de carnero en San Fernando de Henares se han realizado los siguientes ensayos de laboratorio en los laboratorios de la UTE GEOTREN:
- 13 análisis granulométricos por tamizado, según Norma UNE 103101.
- 13 determinaciones de los límites de Atterberg, según Norma UNE 103103 y 103104.
- 2 ensayos de rotura a compresión simple en probetas de suelo, según Norma UNE 103400.
- 1 ensayo de corte directo consolidado y drenado (CD), según Norma UNE 103401.
- 2 ensayo de corte directo consolidado y no drenado (CU), según Norma UNE 103401.
- 2 ensayos de colapso en suelo, según Norma UNE 103406.
- 2 determinaciones de Presión de hinchamiento en edómetro, según Norma UNE 103602:1996, IT-08.
- 3 ensayos de Proctor Modificado, según Norma UNE 103501:1994.
- 3 ensayos CBR, según Norma UNE 103502.
- 3 determinaciones del contenido en sulfatos solubles suelo, según Norma UNE 103201.
- 2 determinaciones del Grado de acidez Baumann-Gully, según Norma UNE 83962:2008.
- 3 determinaciones del contenido en materia orgánica, según Norma UNE 103204.
- 3 determinaciones del contenido en sales solubles en suelo, según Norma UNE 103205.
- 2 determinaciones del contenido en carbonatos en suelo, según Norma UNE 103200.
- 2 determinaciones del contenido en yesos en suelo, según Norma UNE 103206.

3. GEOLOGÍA

3.1. MARCO GEOLÓGICO GENERAL

A escala regional y desde un punto de vista geológico el área que nos ocupa se encuadra dentro de la depresión del Tajo y más concretamente en la denominada cuenca de Madrid, que es uno de los dominios morfo-estructurales de la depresión Terciaria de Castilla la Nueva, también conocida como Meseta sur, submeseta inferior meridional o cuenca del Tajo (Figura 2).

La comunidad de Madrid está situada en el borde septentrional de la Meseta Sur, sobre la vertiente meridional de la Cordillera Central, extendiéndose hasta el río

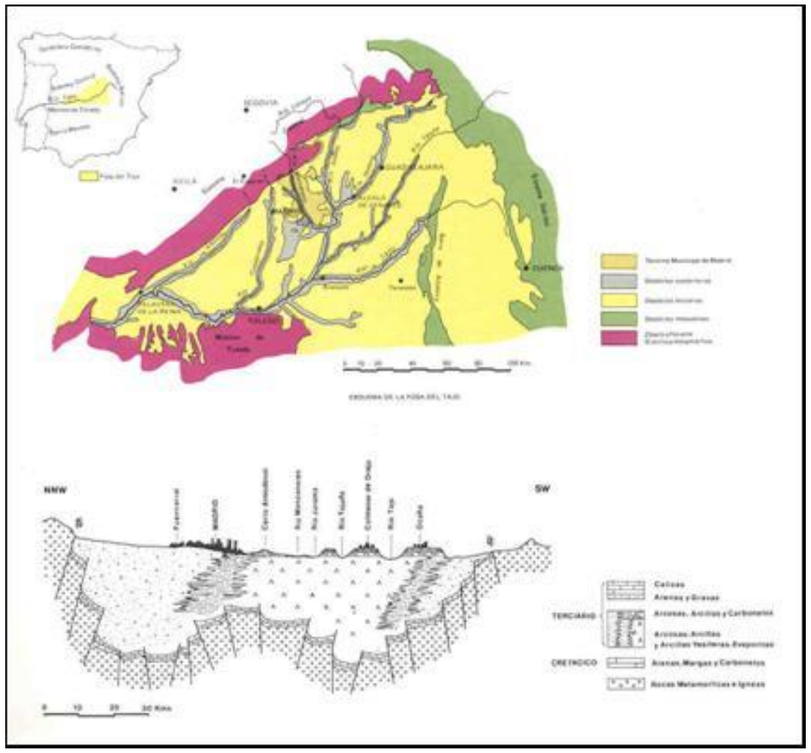


Figura 3 Planta geológica y esquema morfoestructural de la Cuenca de Madrid.

Los materiales más antiguos son de edad hercínica, los cuales sufrieron un arrasamiento generalizado y sobre ellos los movimientos orogénicos alpinos desarrollaron una tectónica de fractura a partir de finales del Mesozoico. Coincidiendo con direcciones estructurales preexistentes se configuró la cuenca del Tajo. Durante el Cenozoico y a la vez que las pulsaciones orogénicas alpinas, se producen reactivaciones de las grandes fallas de dirección NE-SW que delimitan la fosa y el Sistema Central. La fosa tectónica o "graben" actuó de cuenca endorreica (cuenca intramontaña) donde, en condiciones de subsidencia lenta, se depositan grandes espesores de sedimentos.

El ciclo sedimentario culminó en el Pontiense, que es cuando se rompe el régimen endorreico de la cuenca.

El esquema de sedimentación de la cuenca endorreica en Madrid es típico de las cuencas intramontañas en clima árido: sedimentos detríticos en los bordes y químicos en la zona central, con franjas intermedias de deposición en que se yuxtaponen las facies detríticas y las químicas.

La naturaleza de los sedimentos detríticos está estrechamente vinculada a las formaciones de procedencia. En el área de Madrid los materiales provienen de los relieves del entorno del Guadarrama, esencialmente graníticos. Los detritos arenosos son, por tanto, fundamentalmente de composición cuarzo-feldespática (de tipo arcósicos). Se encuentran también micas y minerales resistentes a la meteorización. Hacia la ciudad de Madrid aparecen además minerales detríticos procedentes de la destrucción de rocas de alto metamorfismo. La distribución granulométrica de las arcosas es polimodal y la granulometría es globalmente más gruesa hacia los relieves montañosos.

Estos sedimentos se han depositado en un ambiente semiárido, como abanicos aluviales imbricados que determinan frecuentes acuñamientos y cambios de granulometría en los depósitos. Dentro de estos abanicos aluviales cabe distinguir tres zonas o subfacies: subfacies proximal, junto al escarpe de falla, con depósitos detríticos gruesos de borde, aportados por corrientes de inundación; subfacies media, donde predominan las corrientes meandriformes, que comienzan siendo anastomosadas, con los depósitos más gruesos en los canales; subfacies distal, con canales imbricados y flujos de barro que depositan materiales más finos en la zona terminal, igualmente con sedimentos más gruesos en los canales. En el borde de estas subfacies, junto a la facies lagunar del centro de la cuenca, se produce abundante neoformación de minerales. Las facies lacustres son predominantemente evaporíticas.

Las condiciones sedimentológicas se han mantenido relativamente constantes a lo largo de la historia geológica de la cuenca, al menos, desde el Mioceno Inferior hasta el comienzo del Cuaternario

Las calizas lacustres del centro de la cuenca o calizas del páramo han sido tradicionalmente datadas como del Pontiense, existiendo, además, sedimentos pliocenos de tipo raña hacia Algete.

La red fluvial cuaternaria ha depositado terrazas que contienen no sólo materiales procedentes de acarreos fluviales, sino en ocasiones, aportes laterales de las zonas por las que discurren los cursos de agua. Existen también depósitos relacionados con glacis y fondos semiendorreicos con glacis y fondos semiendorreicos, así como materiales de origen coluvial y conos de deyección.

Para finalizar, la actividad humana ha originado importantes alteraciones morfológicas en el medio geológico del área de estudio, entre las que cabe destacar la acumulación de potentes y extensos depósitos de origen antrópico

En relación a la tectónica, la cuenca de Madrid constituye un amplio graben (unos 15.000 km^2) en forma triangular que refleja el carácter y dependencia tectónica de esta cuenca interior hacia las direcciones impuestas por el basamento. La dirección dominante, en la mayor parte de la misma, es la de orientación NO-SE, aunque hacia el sur también se pone de manifiesto la influencia de las estructuras W-E, así como la N-S en el margen oriental.

Este graben es de estructuración alpina por reactivación de las estructuras frágiles tardihercínicas, con un borde activo de sedimentación cenozoico correspondiente a los márgenes de las sierras de Guadarrama y Somosierra, y otros dos más pasivos, en particular el segundo, que son la sierra de Altomira y Montes de Toledo.

Geomorfológicamente, el área de Madrid es un territorio fisiográficamente de apariencia monótona, aunque encierra una gran complejidad evolutiva en cuanto a los elementos geomorfológicos que presenta. Su elemento más destacado son las superficies divisorias o planicies altas que forman cumbres de anchas lomas, constituyendo la divisoria de aguas de los dos grandes ríos que drenan la zona: el Manzanares y el Jarama.

Presenta una morfología escalonada, usualmente muy suave y localmente alomada. Los cursos fluviales de los ríos forman valles disimétricos, con fuertes pendientes en sus laderas orientales, y muy tendidas y alomadas en las occidentales, en gran parte de los casos suavizadas por la acción del hombre.

Desde el período Plioceno y durante todo el Cuaternario, el proceso erosivo ha sido constante, produciéndose el encajamiento de los ríos y arroyos en los materiales arcósicos, y depositando en el fondo de los valles los materiales más finos en niveles de escaso espesor. El resultado es una superficie alomada y subredondeada con vaguadas amplias y suaves laderas.

También podemos destacar cambios morfológicos, también debidos a la acción antrópica, como la creación de grandes hombreras generadas por los movimientos de tierras asociados a la construcción de las vías de comunicación más importantes las cuales constituyen la vertebración del paisaje actual, así como la de vertidos incontrolados que, aunque de forma individual sean de escasa entidad, llegan a deformar el relieve natural a lo largo del tiempo.

La zona se sitúa hidrogeológicamente dentro de la cuenca del río Tajo, limitada entre las subcuencas de los ríos Manzanares y Jarama.

Los depósitos del Mioceno deben considerarse como un acuífero complejo heterogéneo y anisótropo, debido a las diferentes litologías que lo componen. El conjunto de materiales detríticos pertenecientes a la sedimentación miocena se puede considerar como un mismo acuífero, en cuyo interior existen una serie de heterogeneidades que corresponden a las distintas formaciones existentes en la zona.

En concreto, las unidades litológicas granulares superiores de las facies Madrid, compuestas por las denominadas “Arenas de Miga”, constituyen un acuífero libre, el cual en función de la estratigrafía concreta de cada área tiene una potencia variable. Aun siendo un acuífero libre, los niveles freáticos encontrados dentro de esta unidad suelen estar próximos al muro de esta formación.

Las unidades arcillosas compuestas por las denominadas unidades tosquizas (“Toscos Arenosos” y “Tosco”), que se encuentran infrayacentes a las unidades descritas anteriormente y que pertenecen también a las facies Madrid, se comportan como un acuitardo, ya que no suponen un límite impermeable estricto. El grado de saturación de estos materiales suele ser medio-bajo, y aunque ocasionalmente pueda ser alto, no

Con relación al sustrato mioceno constituido por la peñuela, es un material muy impermeable en su masa.

Los rellenos antrópicos suelen presentarse secos, aunque no puede descartarse la posibilidad de que se saturen de forma esporádica durante intensas precipitaciones en épocas invernales.

3.2. GEOLOGÍA DE DETALLE DE LA ZONA DE ESTUDIO

El substrato geológico de la zona de estudio está constituido por materiales arcósicos y areno-arcillosos terciarios. Sobre estos materiales se disponen rellenos de origen antrópico.

Como se ha indicado al inicio del capítulo de geología, los distintos procesos geodinámicos han provocado el depósito de sedimentos detríticos de edad terciaria, desde el borde hacia el centro de la cuenca, de forma que disminuyen su granulometría hacia el centro.

Así se distinguen las siguientes facies según dirección O-E:

- Facies de borde o detríticas: formadas por arenas arcósicas (arena de miga), arenas arcillosas (arena tosquiza) y arcillas arenosas (tosco arenoso y tosco).

Se distinguen en función del siguiente contenido en finos:

  - Arena de miga $\leq$25%
  - 25% < Arena tosquiza $\leq$40%
  - 40% < Tosco arenoso $\leq$60%
  - 60%< Tosco

- Facies intermedias: formadas por arcillas limosas gris-verdosas con intercalaciones de niveles calcáreos con sílex.

- Facies centrales o evaporíticas: formadas por yesos masivos

Por otra parte, la actividad humana ha originado importantes alteraciones morfológicas en el medio geológico del área de estudio, entre las que cabe destacar la acumulación de potentes y extensos depósitos de origen antrópico. A consecuencia de esta fuerte modificación del terreno, no se detectan zonas singulares por sus valores geológicos, edafológicos o geomorfológicos.

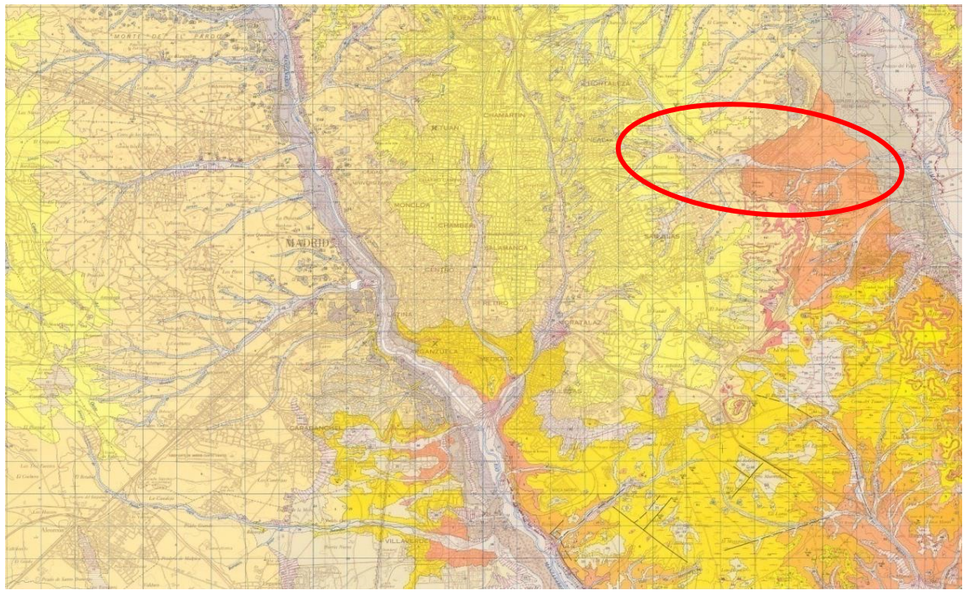


Figura 4 Fragmento de la hoja MAGNA 559, Madrid y leyenda correspondiente. IGME, 1989

3.2.1. ESTRATIGRAFÍA

Todos los materiales que configuran el sustrato donde se asientan las distintas alternativas de las actuaciones previstas, tanto en Rejas, como en Campo de las naciones y San Fernando de Henares, pertenecen al Mioceno. A pesar de que dicho sustrato aparece muy recubierto por materiales antrópicos, se han diferenciado básicamente los siguientes tipos litológicos detectados en las zonas de estudio:

3.2.1.1. TERCIARIO (MIOCENO)

3.2.1.1.1. YESOS TABLEADOS Y NODULARES ENTRE ARCILLAS. (Y)

Los tramos evaporíticos se desarrollan en niveles tableados y nodulares, de magnitud centimétrica que alternan con niveles de arcillas grises, así como en bancos métricos de textura en general selenítica. También aparecen vetas milimétricas de yeso fibroso de segunda formación.

El tipo de morfología de yesos más común consiste en niveles de nódulos de tamaño variable, desde unos 2 cm de diámetro hasta medio metro, de aspecto alabastrino blanco, que en unos casos aparecen separados por arcillas y en otros casos se relacionan lateralmente, dando lugar a niveles muy continuos. Son frecuentes también los bancos con estructura enterolítica, niveles más masivos con laminación difusa y yesos en empalizadas alabeadas muy compactos.

las arcillas intercaladas entre yesos muestran comúnmente laminación paralela milimétrica, en algunos casos definida por niveles finos de magnesita microcristalina. Su tonalidad es gris en sondeos y verdosa o parda en afloramiento. Contienen normalmente pequeñas proporciones de limo o micas flotadas y abundantes restos vegetales macerados en algunos niveles.

la sedimentación de esta unidad de yesos y arcillas corresponde, según los rasgos observados en ambas litofacies, a un lago salino, con oscilaciones en el espesor de la lámina de agua.

3.2.1.1.2. ARCILLAS VERDOSAS Y MARRONES. (GREDAS G)

Unidad de arcillas verdes del Aragoniense Inferior. Su depósito tuvo lugar en un ambiente palustre a lacustre somero. La sepiolita ha sido raramente reconocida en estos niveles. Presenta relaciones de continuidad estratigráfica tanto vertical como lateral con la formación de yesos tableados y nodulares entre arcillas, Y.

Se trata de arcillas margosas de color gris-verdoso con algunos carbonatos intercalados que aparecen en terrones bastante disgregados. También se observan nódulos de silex de manera ocasional.

Esta unidad se ha cortado en el entorno de Rejas de la vía de contorno en las proximidades de Ciudad Pegaso, próximo a la estación de Rejas en la alternativa 1, en el sondeo S-0+300 a la cota aproximada 625, del proyecto de la remodelación de Vicálvaro y la cuadruplicación de la vía de contorno. También se ha detectado en el entorno de las actuaciones previstas en San Fernando de Henares.

3.2.1.1.3. ARCILLAS VERDOSAS Y MARRONES (PEÑUELA P)

Formado por arcillas gris verdosas y marrones, localmente arenas micáceas, niveles de carbonatos y sílex. Los materiales de esta unidad están formados por un conjunto litológico de lutitas y arcillas en parte litificadas por sobreconsolidación, de coloraciones gris verdosas, en tramos marrones. Son frecuentes las intercalaciones carbonatadas blanquecinas y de niveles de nódulos de sílex. También aparecen lentejones o capas de arenas de tonalidades verdosas y con fuerte presencia de micas.

El depósito de esta unidad tuvo lugar en un ambiente palustre a salustre somero, de características alcalinas y bajo condiciones evaporíticas. Dicho ámbito lacustre debió experimentar sucesivos estadios de expansión y retracción de la lámina de agua, hecho que queda reflejado en la abundancia de rasgos edáficos sobreimpuestos a las arcillas en las sucesiones aflorantes en posición más septentrional (área de Paracuellos, zona de Barajas…).

3.2.1.1.4. ARENAS ARCÓSICAS DE GRANO MEDIO A GRUESO (ARENAS TOSQUIZAS AT)

Esta unidad continúa perteneciendo a la denominada “Facies Madrid” y corresponde a la transición gradual entre la facies arena de miga y la facies tosco pero con proporción mayoritaria de arena frente a finos. Se encuentran ampliamente representadas en la segunda mitad del trazado

Se trata de suelos de transición correspondientes a cambios laterales o verticales en la sedimentación en una fase en que aumentaron los aportes de finos respecto a los de las arenas de miga. Estas formaciones son bastante potentes y en ellas suelen encajarse gran parte de las cimentaciones de la mitad norte de la ciudad.

Se caracteriza por su geometría lenticular y por la presencia de unas arenas arcósicas de grano medio a grueso con mayor presencia de niveles arcillosos en comparación con la facies arena de miga. La secuencia, al igual que en la arena de miga, es granodecreciente;

suelen presentar secuencias granulométricas decrecientes hacia el techo de la formación, en niveles de unos 10 cm de espesor con escasa estructuración. Las tonalidades que presentan las arenas son claras a pardo-anaranjadas, si bien muy a menudo aparecen intercalados niveles verdosos de arcilla y niveles limosos de tonos marrones.

Su composición mineralógica es muy homogénea y están principalmente constituidos por feldespatos (20-60%), siendo el resto cuarzo, plagioclasa y minerales pesados.

Se trata ya de facies de abanico aluvial más finas y por lo tanto más distales y próximas al centro de la cuenca terciaria. Constituye, junto al tosco arenoso, los litotipos intermedios entre las arenas de miga y el tosco en sentido estricto.

Geotécnicamente corresponden a unas arenas, con un porcentaje de fracción limo-arcillosa superior al de las arenas de miga. La fracción que pasa por el tamiz ASTM Nº 200 oscila entre el 25 - 40%, clasificándose como arenas bastante arcillosas a muy arcillosas. El contenido en gravas disminuye claramente frente a las arenas de miga.

Se trata pues de un suelo de plasticidad baja - media, con índices de plasticidad en general inferiores a 25.

3.2.1.1.5. ARENAS ARCÓSICAS DE GRANO GRUESO (ARENA DE MIGA AM)

Esta unidad constituye un conjunto en el que se incluyen las Arcosas Superiores del Aragoniense superior, por tanto, suponen la representación de la facies Madrid en la Unidad Tectosedimentaria Superior, junto a las arenas cuarzofeldespáticas asociadas a las superficies de arrasamiento pertenecientes al Plio-Cuaternario.

Se corresponde con las facies detríticas marginales de composición arcósica que se extienden desde el borde meridional del Sistema Central. Esta unidad viene caracterizada por un notable aumento en el tamaño medio del grano en relación con las unidades arcósicas infrayacentes y el contacto erosivo sobre ellas. Se presenta como masas arenosas de naturaleza cuarzo-feldespática o arcósica, con cantos aislados y lentejones de cantos redondeados y alterados de cuarcita, gneis y granito, apareciendo intercalaciones e indentaciones de conjuntos arcillosos compactos, de índole diversa, aunque con predominancia de los filosilicatos micáceos, procedentes de la alteración de los feldespatos por procesos de hidrólisis. En líneas generales, estos materiales presentan una muy alta densidad relativa. Presentan secuencias granulométricas granodecrecientes hacia el techo de la formación y aspecto masivo, e intercalan niveles con gravas y gravillas que pueden estar dispersas dentro de las arenas.

Las arcosas de esta unidad muestran tonalidades blancas a pardo-anaranjadas. La asociación de facies observada puede interpretarse como característica de zonas intermedias de abanicos aluviales con fuerte acreción vertical, lo que explicaría el escaso desarrollo de facies distales dentro de esta unidad.

Las características granulométricas les confieren una elevada permeabilidad, lo cual facilita la formación de encostramientos y exudaciones calcáreas por la removilización de las sales disueltas.

La transición de la arena de miga a materiales con mayor contenido en finos se produce de forma gradual, observándose en estas transiciones un aumento de la presencia de intercalaciones arcillosas.

Estos materiales presentan una estructura generalmente masiva con canales trenzados, asociados a su origen fluvial múltiple, con presencia de paleocanales (abanico aluvial) en las zonas con materiales de mayor tamaño de grano y materiales más finos situados en llanuras de inundación.

En la base de algunos niveles arenosos, en contacto con otros materiales de menor permeabilidad, se han localizado niveles colgados de agua, generalmente con lámina de altura centimétrica, muy posiblemente asociados a paleocanales.

Composicionalmente, las arcosas de esta unidad son en conjunto muy homogéneas, con porcentajes de feldespatos entre 20-60%, plagioclasa subordinada en relación con los feldespatos potásicos y espectro de minerales pesados dominado por el apatito. Los niveles de arcilla son muy escasos y poco potentes en el conjunto de la unidad, con proporciones similares de esmectita, illita y caolinita.

En general, se trata de un conjunto fundamentalmente arenoso y, en menor manera, areno-arcilloso con plasticidad fundamentalmente baja y compacidad alta, exceptuando los horizontes más superficiales que suelen encontrarse afectados por meteorización y decompresión por alivio tensional motivado por la erosión de parte del registro sedimentario que se localizaba suprayacente.

En esta unidad, no es frecuente la presencia de niveles arcillosos activos.

Geotécnicamente, se describen como unas arenas arcósicas con un porcentaje de fracción limo- arcillosa, o que pasa por el tamiz ASTM Nº 200, inferior o igual al 25% del total. La proporción en tamaño grava es abundante, llegando a alcanzar el 30%. Forman suelos de plasticidad baja, con índices de plasticidad en general inferior a 15.

3.2.1.2. CUATERNARIO

3.2.1.2.1. MATERIALES ALUVIALES Y TERRAZAS DEL RIO HENARES (QT)

Las terrazas del río Jarama y los depósitos de llanura de inundación están formados por barras y canales rellenos de gravas, cantos y algún bloque, con composición petrológica por orden de importancia de cuarcita, cuarzo, pizarras y granitoides, alcanzando las pizarras valores porcentuales mayores en la fracción grava. La fracción arenosa adquiere mayor significación en los términos de la llanura de inundación que finalizan con limos arenosos o arenas limosas finamente estructuradas con laminaciones paralelas u oblicuas de bajo ángulo. Los espesores vistos en campo oscilan entre 2 y 5 metros.

La secuencia de suelos mejor estudiada es la del valle del Henares, con suelos pardos fersialíticos en las terrazas bajas y en las medias y altas suelos rojos fersialíticos. Los horizontes cálcicos, se presentan con una morfología variada morfología, consistencia y dureza, se encuentran desde las primeras terrazas, originándose estos procesos de calcificación, carbonataciones difusas o masivas, nodulizaciones y costras calizas (estas últimas se encuentran bien conservadas en los niveles altos del perfil de Mejorada del Campo), como fases últimas de la evolución pedológica que comenzaría con la iluviación de la arcilla a la que seguiría la segregación de los sesquióxidos que son ya evidentes en las terrazas altas de Campiña del Valle del Henares.

3.2.1.3. RELLENOS ANTRÓPICOS (R)

3.2.1.3.1. RELLENOS ANTRÓPICOS COMPACTADOS, (RELLENOS ESTRUCTURALES) Y DE PLATAFORMA DE VÍAS DE COMUNICACIÓN

Terraplenes de las distintas vías de comunicación que aparecen en el tramo. Para la realización de los perfiles del presente anejo se han supuesto estos rellenos antrópicos compactados bajo los rellenos de plataforma de vías de comunicación y los de explanaciones de zonas urbanas, cuando estos no están directamente sobre sustrato mioceno.

En el caso que nos ocupa, destacan los terraplenes de la actual vía de ferrocarril.

3.2.1.3.2. RELLENOS DE EXPLANACIONES DE ZONAS URBANAS.

Dentro de esta unidad se han englobado las zonas sobre las que se asientan los núcleos de población, así como aquellas que están sufriendo importantes movimientos de tierra para urbanizar y/o edificar actualmente o en un futuro próximo. Lógicamente, dentro de estas zonas pueden existir localmente áreas ocupadas por depósitos antrópicos o bien que aflore el sustrato terciario.

3.2.1.3.3. RELLENOS ANTRÓPICOS VERTIDOS.

Esta unidad está constituida, principalmente, por materiales de aportación artificial, como consecuencia de actividades constructivas (vertederos de tierras y escombros, terraplenes controlados, etc.) y, en mucho menor manera, como resultado de la actividad industrial (vertederos de residuos sólidos industriales y escorias) y biológica-urbana (vertederos de residuos sólidos urbanos).

La naturaleza de este tipo de materiales es muy heterogénea, pudiendo variar desde escombros y basuras hasta suelos de áreas próximas, difícilmente distinguibles del propio substrato litológico, cuyo único contraste puede atender a un diferente estado de compacidad, en el caso de que se trate de simple vertido, lo cual tiene la ventaja de una fácil identificación mediante ensayos de penetración dinámica. Puede decirse que terrenos con N_{SPT} < 10, corresponden claramente a rellenos, mientras que valores superiores pueden estar asociados a niveles holocenos, pleistocenos o terciarios superficiales algo alterados. Hay que indicar que la antigüedad mejora muy poco la compacidad de estos rellenos, encontrándose igualmente flojos los de hace dos siglos que los de hace 30 años. Las mayores diferencias se encuentran entre los recién vertidos y los de hace más de 2-3 años.

Al igual que en todos los núcleos urbanos importantes, los rellenos antrópicos suelen localizarse en las antiguas vaguadas y en los sucesivos márgenes del casco urbano en la progresiva evolución de la ciudad.

Las características geotécnicas de esta unidad resultan difícilmente resumibles, dada la fuerte heterogeneidad que estos materiales suelen presentan en cuanto a origen, compacidad, etc., destacando dos rasgos generalmente singulares para esta unidad:

- Una deformabilidad extremadamente alta (en general superior al 3% del espesor), debido a la baja compacidad y frecuente presencia de arcillas con elevados contenidos en humedad.
- Posibilidad de que se alcancen altos niveles de agresividad al hormigón convencional, como consecuencia de la presencia de elementos químicos diversos, procedentes de vertidos de residuos industriales.

También hay que indicar la elevada permeabilidad, lo cual genera niveles freáticos anormales, no concordantes con los de las formaciones encajantes y, por otro lado, la elevada colapsabilidad al saturarse.

En los rellenos simplemente vertidos los asientos de colapso pueden llegar al 10% del espesor. Lógicamente la colapsabilidad disminuye con la compactación, pero incluso

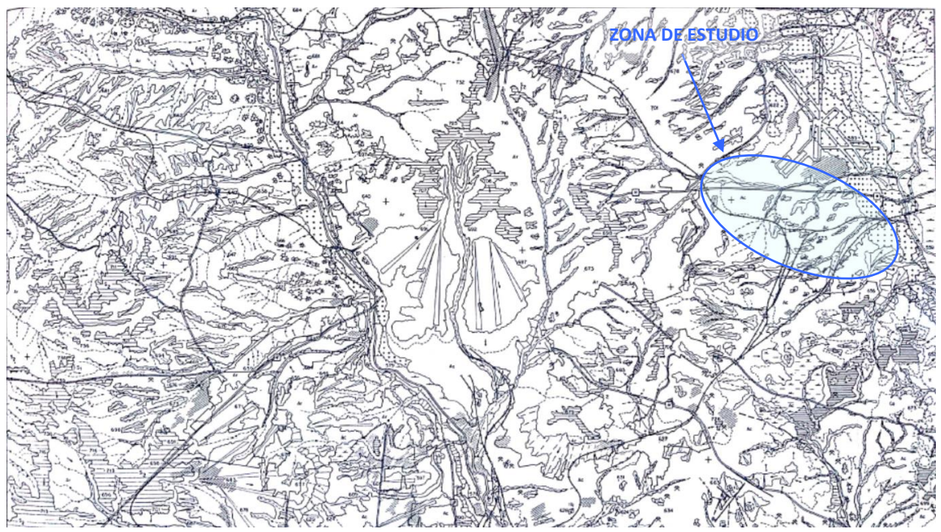
rellenos arenosos compactados al 100% del Próctor Normal son susceptibles de asientos en la gama 0,3-0,6% (López Corral, 1978).

La extrema deformabilidad y heterogeneidad de estos materiales los invalida como nivel de cimentación, siendo frecuente la aparición de patologías constructivas ligadas a defectos en la cimentación, en edificios construidos sobre estos materiales, destacando también las fuertes afecciones a la estabilidad de las infraestructuras lineales.

3.2.2. GEOMORFOLOGÍA

El área de Madrid es un territorio fisiográficamente de apariencia monótona que, sin embargo, encierra una gran complejidad evolutiva. Sus elementos destacados son las superficies divisorias o planicies altas, que forman las cumbres de anchas lomas que parten las aguas de los dos grandes ríos de la zona: el Manzanares y el Jarama. El río Guadarrama constituye la tercera cuenca, apenas insinuada, de la región. Los valles muestran perfiles transversales disimétricos y están constituidos por largas vertientes en sus márgenes derechas (glacis y terrazas), y más cortas y rápidas en su margen izquierda. Las altiplanicies o divisorias están labradas en las arcosas gruesas del Aragoniense Superior, y se muestran conformadas por dos niveles distintos. Estas formas aparentan ser de erosión y muestran gradientes inferiores al 1 por 100, por lo general, en sentido Sur.

En los ámbitos de actuación (Campo de las Naciones, Rejas y San Fernando de Henares), el rasgo morfológico original se ha visto modificado en sucesivas ocasiones por el acúmulo de materiales antrópicos a lo largo de los siglos, con los que se han regularizado superficies y se han igualado cotas. La actuación de San Fernando de Henares se emplaza, hacia el este, en las terrazas del río Jarama.



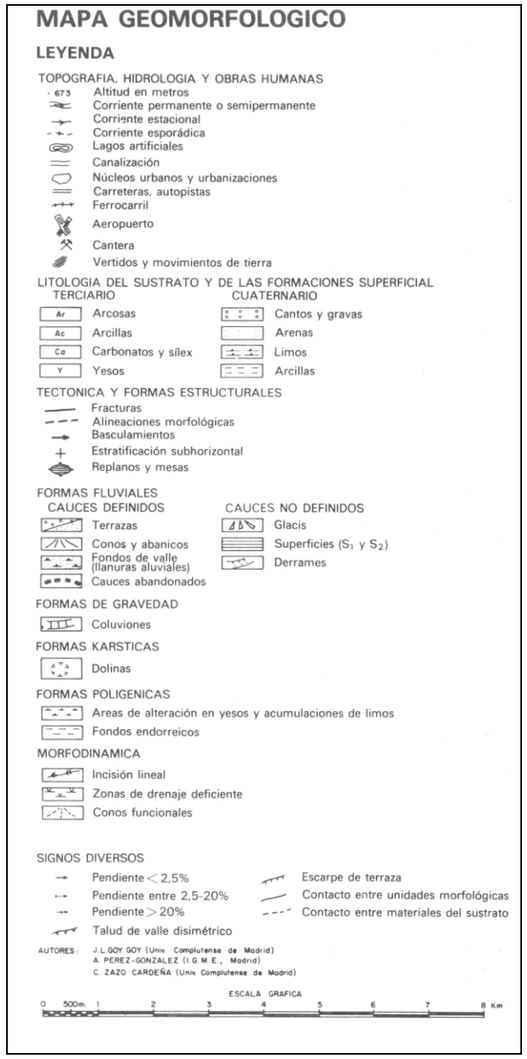


Figura 5 Mapa de geomorfológico de la hoja 559, Madrid y leyenda correspondiente.

Como se puede apreciar en el Mapa Geomorfológico y Leyenda (Figuras adjuntas), el terreno natural en la zona muestra pendientes que varían desde inferiores al 2,5 % hasta dentro del rango de 2,5-20%, con claro predominio de los gradientes más suavizados.

3.2.3. GEOLOGÍA DETALLE ZONAS DE PROYECTO

3.2.3.1. CAMPO DE LAS NACIONES

La zona de campo de las naciones presenta una geología con predominancia de los materiales terciarios típicos de la cuenca de Madrid cubiertos con entre 2 y 3 metros de rellenos antrópicos vertidos.

El Terciario en esta zona viene representado por materiales arenosos se clasifican como Arena de miga y arena tosquiza.

La arena de miga se presenta como arenas de grano grueso a medio con algo de arcilla. Muestra tonalidades blancas a pardo-anaranjadas (Fotografía 1). La granulometría indica un claro predominio de la fracción arenosa con una pequeña proporción de arcilla.

La asociación de facies observada puede interpretarse como característica de zonas intermedias de abanicos aluviales con fuerte acreción vertical, lo que explicaría el escaso desarrollo de facies distales dentro de esta unidad.

La transición de la arena de miga a materiales con mayor contenido en finos se produce de forma gradual, observándose en estas transiciones un aumento de la presencia de intercalaciones arcillosas.

Fotografía 1 Detalle de la arena de miga en el sondeo SR-1

La arena tosquiza (Fotografía 2) se identifica con suelos de transición correspondientes a cambios laterales o verticales en la sedimentación en una fase en que aumentaron los aportes de finos respecto a los de las arenas de miga.

Se caracteriza por su geometría lenticular y por la presencia de unas arenas arcósicas de grano medio a grueso con mayor presencia de niveles arcillosos en comparación con la facies arena de miga.

Fotografía 2 Detalle de las arenas tosquizas en el sondeo sr-2 donde aparece en mayor proporción (2.80 - 5.80m)

Su composición mineralógica es muy homogénea y están principalmente constituidos por feldespatos (20-60%), siendo el resto cuarzo, plagioclasa y minerales pesados.

A techo de los materiales terciaros se encuentra un espesor de relleno antrópico consistente en un material heterogéneo compuesto por arenas arcillosas y cantos.

La proporción de arena de miga es mayor en el entorno de la alternativa 1, mientras que en la zona donde se ha proyectado la alternativa 2 predomina la arena tosquiza.

3.2.3.2. REJAS

Se trata de los materiales terciarios característicos de la cuenca de Madrid.

En la alternativa 1 se cuenta con el registro de un sondeo mecánico (S-0+300) así como con dos ensayos de penetración dinámica. En esta zona predomina mayoritariamente la arena tosquiza. Esta facies se identifica suelos de transición pertenecientes a cambios de facies tanto laterales como verticales.

Fotografía 3 Detalle de las arenas tosquizas en el sondeo 0+300 donde aparece en mayor proporción

Intercalado con la facies de arena tosquiza, se encuentran lentejones de cayuela. Se trata de margocalizas muy compactas con proporciones variables de sepiliolita. Así mismo también se encuentran lentejones de arena de miga.

Fotografía 4 Detalle de las cayuelas en el sondeo 0+300 donde aparece en mayor proporción

A partir de los 28.20 metros se encuentra el contacto con la facies gredas que presenta un contacto más o menos neto a una cota aproximada de 625 m, se trata de arcillas verdes con niveles de carbonatos.

Fotografía 5 Detalle de las arcillas verdes (Gredas) en el sondeo 0+300 donde aparece en mayor proporción (a partir de 28.20m)

En la alternativa 2 el terreno presenta un importante espesor de rellenos antrópicos compactados que pertenecen al existente relleno de la vía el contacto con el terreno natural se localiza torno a 9 – 10 m.

El terreno natural está compuesto por peñuelas y gredas que se relacionan por un cambio la lateral de facies.

3.2.3.3. SAN FERNANDO DE HENARES

La zona del salto de carnero de San Fernando se encuentra en las proximidades del cauce del rio Jarama. Los materiales pertenecientes a las terrazas aluviales se encuentran en los primeros metros del terreno, ganando en espesor hacia el final del trazado conforme se acerca al cauce del río. Esta unidad se compone de materiales detríticos gravas, arenas y limos.

Los materiales terciarios están representados en esta zona por las Gredas. Se caracterizan por ser arcillas gris verdosas abigarradas con intercalaciones carbonatadas terrosas. En ellas se intercalan niveles con indicios de arena y limos.

Fotografía 6 Aspecto de la unidad Q, depósitos cuaternarios de terraza, en la cata C-7, realizada en la zona de San Fernando de Henares

Fotografía 7 Detalle de las arcillas verdes (Gredas) en el sondeo S-1.

En cambio lateral de facies se encuentran arcillas yesíferas de alta plasticidad que, en profundidad, pasan a ser yesos masivos.

Fotografía 8 Detalle de las arcillas yesíferas en el sondeo S-1 del salto de carnero en San Fernando

3.2.4. RIESGOS GEOLÓGICOS

Se ha realizado una primera valoración, a la escala del presente trabajo, de los riesgos geológico-geotécnicos de la zona de estudio en función de la caracterización litológica y estructural de la zona de estudio.

Como es sabido, los terrenos yesíferos son muy problemáticos por el ataque al hormigón de las obras de fábrica que produce el ion sulfato. Esto se ha puesto de manifiesto en los ensayos realizados para la presente campaña, en los que se ha obtenido una agresividad media del agua y de la unidad de arcillas con yesos (Y). Esta unidad puede presentar, además disolución del yeso. Bajo esta unidad, cuyo espesor en la zona de estudio se desconoce, se localiza una unidad compuesta por yesos masivos. Esta litología es extremadamente inestable ante la presencia de agua por hinchamientos y disoluciones, por lo que no resulta aconsejable disminuir el recubrimiento que presenta esta unidad, de cara a no facilitar la entrada de agua a la misma. Estas unidades yesíferas se han detectado en la zona de San Fernando de Henares.

Tanto Campo de las Naciones, como Rejas y San Fernando de Henares, las actuaciones se caracterizan por discurrir por zonas de una intensa actividad antrópica, lo que hace que localmente se puedan observar depósitos o acumulaciones de materiales antrópicos que presentan unas deficientes características geotécnicas.

Estos aspectos deberán revisarse en fases posteriores de proyecto.

3.2.5. HIDROGEOLOGÍA

Desde el punto de vista hidrogeológico la zona de estudio se enmarca dentro de la denominada Subcuenca del Manzanares y del Jarama, las cuales, a su vez, pertenecen a la Cuenca Hidrográfica del Río Tajo.

A escala regional, los depósitos del Mioceno deben considerarse como un acuífero complejo heterogéneo y anisótropo, debido a las diferentes litologías que lo componen. Estas heterogeneidades se corresponden con las distintas formaciones existentes en la zona.

3.2.5.1. MARCO HIDROGEOLÓGICO REGIONAL

Desde el punto de vista hidrogeológico, el área del proyecto se encuentra situado sobre el Sistema Acuífero 14: Terciario detrítico de Madrid-Toledo-Cáceres, según la definición del Programa PIAS (IGME, 1971-1984).

Según la definición de las Unidades Hidrogeológicas (IGME, 2001) y, más recientemente, las Masas de Agua subterránea (MAGRAMA, 2005), la zona de estudio se encuentra situada sobre la Masa de Agua Subterránea (en adelante, MASb) 030.010. Madrid: Manzanares- Jarama (ES030MSBT030.010) y en la MASb 030.024 Aluvial del Jarama: Madrid - Guadalajara (ES030MSBT030.024).

Geográficamente, la MASb 030.010 Madrid: Manzanares-Jarama se encuentra situada dentro de la provincia de Madrid ocupando una superficie de 538,56 km2 de los cuales el 99,11 % (533,79 km2) corresponden a superficies detríticas de permeabilidad media. Limita al norte con materiales metamórficos y graníticos de baja permeabilidad, al este con los depósitos cuaternarios del río Jarama, al oeste con el río Manzanares y el límite sur lo marca el cambio lateral de facies hacia las litologías margo-yesíferas de centro de cuenca, de baja permeabilidad.

Topográficamente la MASb se encuentra en el sector de la cuenca del Tajo perteneciente a la cubeta o fosa de Madrid. Dentro de esta masa las cotas varían entre los 571 y los 810 m.s.n.m., con una cota media de 682,92 m.s.n.m.

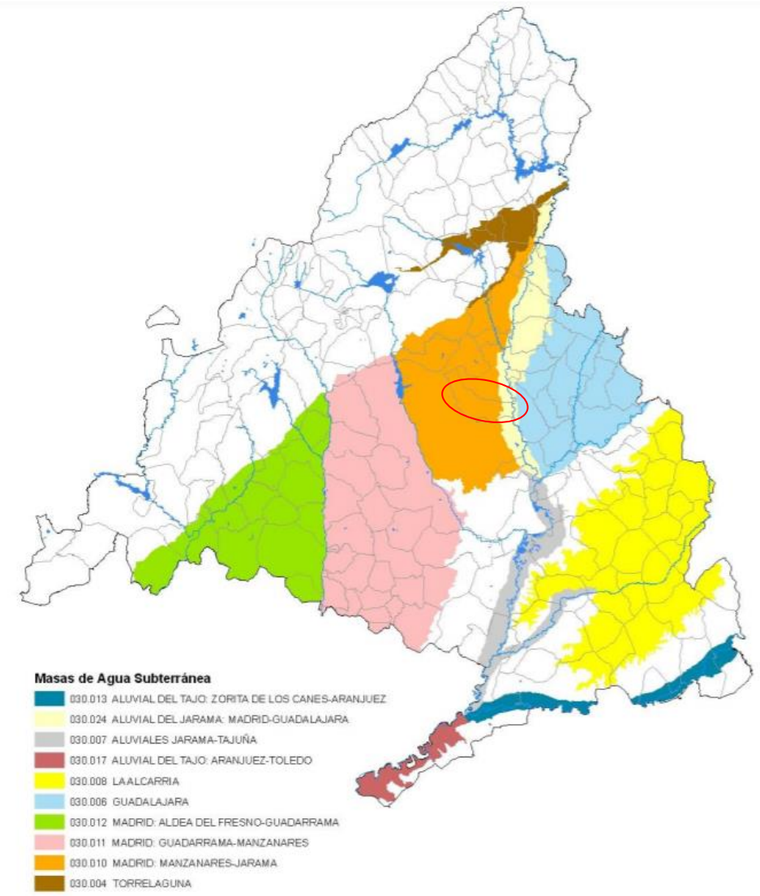


Figura 6 Masas de agua subterránea de la comunidad de Madrid. Se indica la zona de estudio.

Esta MASb abarca parte de dos cuencas hidrográficas cuyas arterias principales son los ríos Manzanares y Jarama. Asimismo, hay otros cauces de menor entidad que atraviesan esta masa como son el río Guadalix, el Arroyo Viñuelas y el Arroyo Tejada.

La MASb 030.010 Madrid: Manzanares-Jarama se incluye en su totalidad dentro de los materiales detríticos miocenos que rellenan la fosa del Tajo. Asimismo, incluye depósitos cuaternarios de escasa entidad, asociados a algunos de los cauces que la cruzan (ríos Manzanares, Guadalix y Arroyo Viñuelas).

El este, la MASb 030.024 Aluvial del Jarama, se encuentra situada entre las provincias de Guadalajara y Madrid ocupando una superficie de 229 km^2 con permeabilidades alta a muy alta. El principal curso fluvial que atraviesa esta masa es el río Jarama, que discurre por el centro de la MASb Aluvial del Jarama.

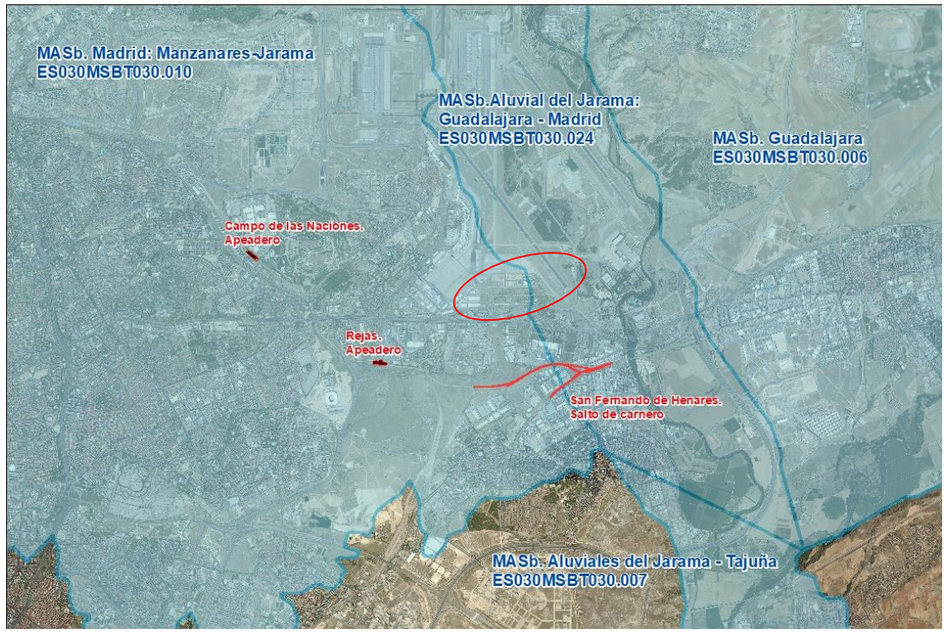


Figura 7 Localización de las distintas zona de estudio, sobre la MASb Madrid: Manzanares – Jarama, y Guadalajara – Madrid: Aluvial del Jarama. Elaboración propia.

Las formaciones hidrogeológicas (Fh) implicadas (definidas en el Mapa Litoestratigráfico 1:200.000, IGME 2006) son las siguientes:

- Terciarios de la zona noroccidental: Fh 402 Arcosas a veces con cantos , con lutitas, margas, calizas y, localmente, nódulos de sílex y yeso (Mioceno superior).
- Cuaternarios: Fh 704 Gravas, arenas, limos y arcillas (Depósitos de terrazas medias y altas) y 706 Gravas, arenas, limos (Depósitos de aluviales, fondos de valle y terrazas bajas).

Se consideran como principales FGPs (formaciones geológicas permeables) dentro de las MASb: los sedimentos terciarios (Mioceno) que en conjunto se denominará Formación del Terciario detrítico, con permeabilidad media, y los depósitos cuaternarios (terrazas y fondos de valle) de permeabilidad alta.

Los depósitos miocenos presentan una aparente horizontalidad, salvo por un basculamiento general postmioceno de toda la cuenca. Esto último ha condicionado la tendencia de la actual red hidrográfica en dirección NE-SO.

En conjunto todas las formaciones detríticas del Mioceno se pueden considerar como un acuífero único en cuyo interior se manifiestan una serie de heterogeneidades que se corresponden con los procesos de sedimentación descritos anteriormente. En resumen, resulta un acuífero detrítico multicapa, heterogéneo y anisótropo, que presenta niveles de mayor permeabilidad (niveles de gravas y arenas) que alternan con otros acuitardos (niveles arcillosos).

La recarga se produce fundamentalmente por infiltración del agua de lluvia en las áreas entre los ríos (interfluvios) y la descarga tiene lugar entre los valles y cauces fluviales. Los niveles piezométricos aumentan con la profundidad en los valles y disminuyen en los interfluvios (IGME, 1982).

La circulación del agua es fundamentalmente subvertical, descendente en las zonas de recarga y ascendente en las de descarga, siendo aproximadamente horizontal en el resto de su recorrido, y parece probada la existencia de circulaciones locales e intermedias (IGME, 1989).

3.2.5.2. HIDROGEOLOGÍA EN EL ÁMBITO DE PROYECTO

En concreto, las unidades litológicas granulares superiores de las facies Madrid, compuestas por las denominadas “Arenas de Miga”, constituyen un acuífero libre, el cual en función de la estratigrafía concreta de cada área tiene una potencia variable.

Las unidades arcillosas compuestas por las denominadas unidades tosquizas (“Arenas Tosquizas”, “Toscos Arenosos” y “Tosco”), que se encuentran infrayacentes a las unidades descritas anteriormente y que pertenecen también a las facies Madrid, se comportan como un acuitardo, ya que no suponen un límite impermeable estricto. El grado de saturación de estos materiales suele ser medio-bajo, y aunque ocasionalmente pueda ser alto, no presentan carga hidráulica.

Con frecuencia, estos materiales tosquizos se interestratifican dentro de los niveles de Arena de Miga, en forma de niveles lentejonares más o menos elongados y poco potentes, cuya presencia puede originar la aparición de niveles de agua colgados.

De igual forma, dentro de las Unidades Tosquizas es frecuente encontrarse litologías granulares sueltas y limpias, correspondientes a pequeños cuerpos y lentejones arenosos. Estas unidades granulares inferiores son acuíferos confinados que, generalmente, presentan carga artesiana debido al peso de los materiales suprayacentes y al límite casi impermeable que suponen los materiales tosquizos.

Desde el punto de vista hidrogeológico la Unidad de arcillas terciarias, Peñuelas o Gredas, se considera impermeable, dado que es un material muy arcilloso, relativamente litificado, que presenta una baja porosidad útil. Por tanto, su permeabilidad es tan baja que puede considerarse como un acuicludo.

Los materiales de la unidad presentan frecuentes superficies de fractura, conocidas como "lisos". Las zonas de Peñuelas o Gredas descomprimidas pueden presentar este tipo de superficies con cierta apertura, inferior a 1 mm. Por estas discontinuidades puede circular agua, hasta una profundidad en que los efectos de esta descompresión no existan, y los lisos estén cerrados. Por otro lado, el carácter algo carbonatado de estos materiales, podría dar lugar a que hubieran sufrido una decarbonatación, en alguna zona o nivel (no estamos hablando de karstificación) y una pérdida de material que pudiera ayudar en cierta medida a aumentar la permeabilidad intrínseca del material.

La procedencia del agua en el ámbito de estudio fundamentalmente aparece asociada al contacto entre los materiales de relleno y las Gredas. Estos rellenos antrópicos suelen presentarse secos, aunque no puede descartarse la posibilidad de que se saturen de forma esporádica durante intensas precipitaciones en épocas invernales. También puede proceder de los lentejones arenosos presentes en los materiales arcillosos, tal y como sucede en el sondeo realizado en la zona del salto de carnero de San Fernando de Henares. En dicho sondeo, durante la ejecución, que tuvo lugar en verano, apareció un rezume de agua a 10,80 m de profundidad. Se ha procedido a medir el nivel de agua en temporada de lluvias, durante el mes de octubre de 2020, y se ha detectado el nivel a 8,35 m de profundidad, asociado, probablemente, al lentejón de arenas y gravas descrito a dicha cota. Estos acuíferos aislados presentan un escaso interés. El agua se presenta de manera estacional y su continuidad lateral es reducida.

3.2.5.2.1. PIEZOMETRÍA

Para controlar la piezometría en las inmediaciones de las obras se cuenta con la información del sondeo S-1, realizado durante la campaña propia del proyecto en la zona de San Fernando. Según esta información, el nivel piezométrico en el entorno de las obras se encuentra a 8,35 m de profundidad, lo que equivale a una cota de 571,9 msnm.

SONDEO	COTA SONDEO (msnm)	PROFUNDIDAD (m)	PROF. NIVEL FREÁTICO (m)	COTA NIVEL FREÁTICO (msnm)
S-1	580,313	25	8,35	571,9

Tabla 6 Información NF en sondeo S-1 realizado en la zona del salto de carnero en San Fernando de Henares

3.2.5.2.2. PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS. PERMEABILIDAD Y POROSIDAD

A partir del *"Mapa de Permeabilidades a escala 1:200.000"* así como del *"Mapa Hidrogeológico a escala 1:200.000",* basados en el *"Mapa Litoestratigráfico a escala 1:200.000"* publicado en marzo 2015 por el IGME, se puede observar cómo los apeaderos proyectados tanto en Rejas como en Campo de las Naciones se encuentran situados sobre materiales detríticos de ***permeabilidad media (D-M).***

También se reconoce como los municipios de San Fernando de Henares y Coslada, en los que se encuentra el salto de carnero, se sitúan sobre materiales detríticos cuaternarios de ***permeabilidad media (Q-M)*** y materiales detríticos de ***permeabilidad media (D-M)*** asociados a las terrazas del Henares.

Por su parte, hidrogeológicamente, los materiales en que se enclavan los apeaderos de Rejas y Campo de las Naciones se clasifican como ***IIb Formaciones detríticas y cuaternarias de permeabilidad media y formaciones volcánicas de alta permeabilidad***.

Por último, las poblaciones de San Fernando de Henares y Coslada se clasifican como ***IIa Formaciones detríticas y cuaternarias de permeabilidad alta o muy alta, así como formaciones volcánicas de permeabilidad muy alta***. y ***IIb Formaciones detríticas y cuaternarias de permeabilidad media y formaciones volcánicas de alta permeabilidad***. El ámbito de las actuaciones se enmarca en su totalidad sobre materiales cuaternarios clasificados como ***IIa Formaciones detríticas y cuaternarias de permeabilidad alta o muy alta.***

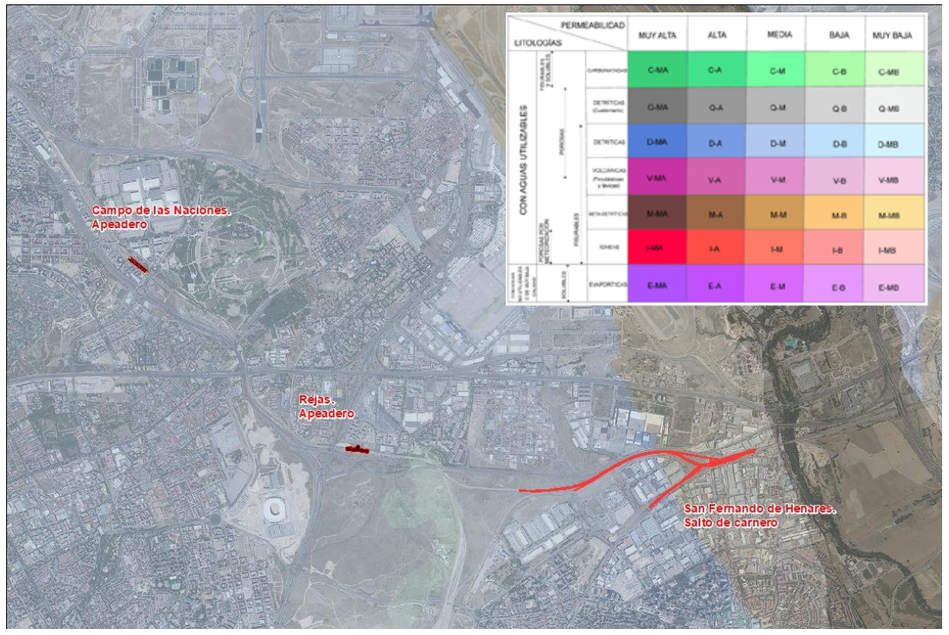


Figura 8 Mapa de Permeabilidades a escala 1:200.000. (Elaboración propia a partir de la información procedente de IGME).

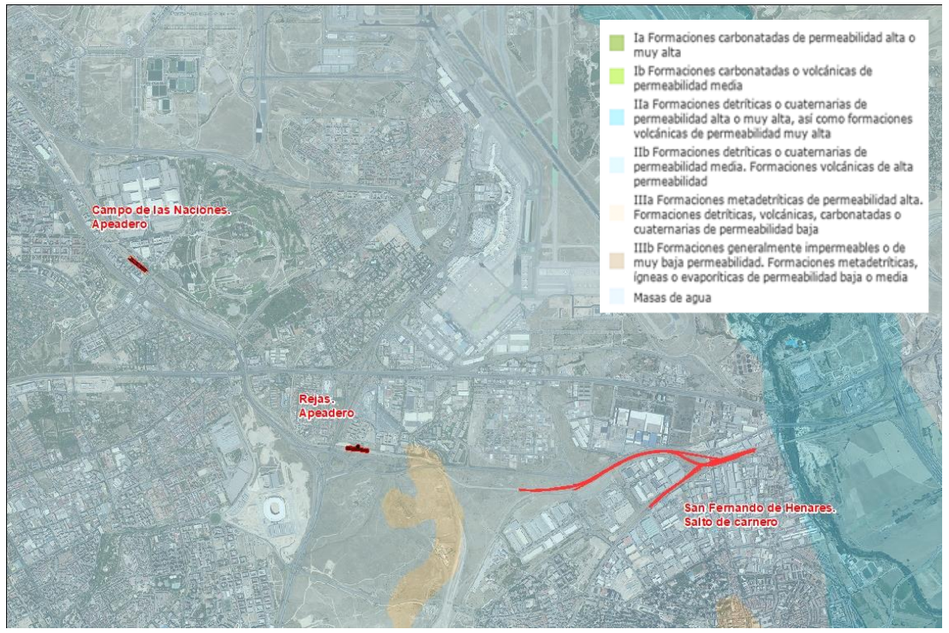


Figura 9 Mapa Hidrogeológico a escala 1:200.000. (Elaboración propia a partir de la información procedente de IGME).

Dentro del ámbito de actuación del salto de carnero, ha sido posible realizar una estimación cuantitativa de la permeabilidad, a partir de los ensayos granulométricos disponibles efectuados durante las distintas campañas geotécnicas. Para ello, se han empleado las fórmulas analíticas de *Kasenow (2002)* y *Hazen (1911*), así como el método gráfico del *Ábaco de Breddin (1963).*

METODOLOGÍA

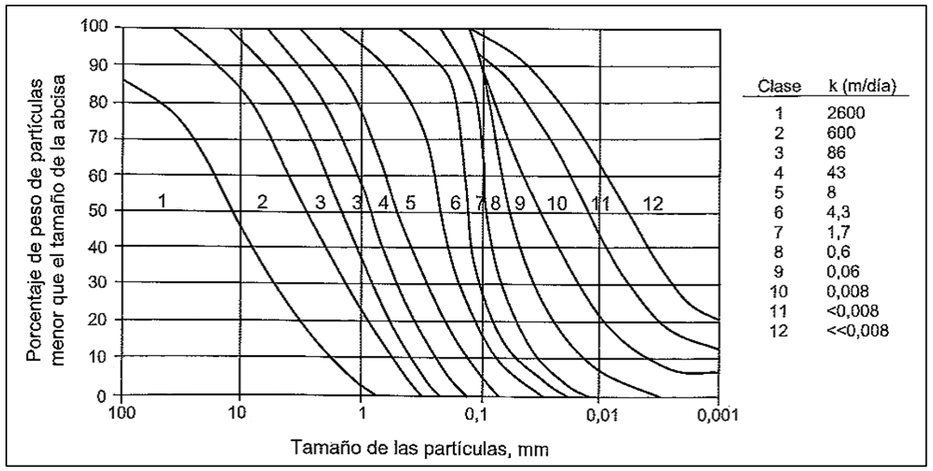
Breddin (1963) estableció una clasificación gráfica de los terrenos consistente en 12 clases, cuyas características se dan en la siguiente figura.

La definición original de las regiones de permeabilidad en el gráfico fue establecida para la región alemana de Nordrhein – Weftfalen, pero puede dar una estimación bastante aproximada de la permeabilidad de cualquier material no consolidado, cuya granulometría no sea muy diferente a las representadas. Si la curva granulométrica queda contenida aproximadamente dentro de una determinada clase, la clasificación resulta sencilla.

No obstante, cuando la curva granulométrica del material atraviesa dos o más clases, la aplicación de este método resulta más compleja. En este caso, según *Custodio, E. & Llamas, R. Ediciones Omega, 1983*, se recomienda obtener una permeabilidad media entre ellas, más próxima a la de menor orden. En el caso que nos ocupa, puesto que sabemos que la fracción más fina es la que condiciona este parámetro, se ha optado por asignarle la clase que presente el diámetro d_{20} ó d_{10}; en su defecto, el del diámetro más bajo alcanzado.

* * * *

Por otro lado, la posibilidad de obtención de valores concretos de paso de diámetros granulométricos pequeños (d_{10} y d_{20}), permite la aplicación de otros métodos estimativos analíticos que ofrecen resultados cuantitativos concretos. Estos son el ***Método de Hazen (1911)*** y de ***Kasenow (2002)***.



CLASE	PERMEABILIDAD Según HAZEN (1910) cm/s	CLASE ACUÍFERO		CLASE PERMEABILIDAD
1	3	ACUÍFERO	Muy bueno	Muy Alta
2	0.7		Muy bueno	Muy Alta
3	0.1		Bueno	Alta
4	0.05		Regular	Media
5	9E-03		Pobre	Baja
6	5E-03		Pobre	Baja
7	2E-03		Muy Pobre	Muy Baja
8	7E-04		Muy Pobre	Muy Baja
9	7E-05	ACUICLUDO	Impermeable	Prácticamente Impermeable
10	1E-05		Impermeable	Prácticamente Impermeable
11	< 1E-05		Impermeable	Prácticamente Impermeable
12	<< 1E-05		Impermeable	Prácticamente Impermeable

Figura 10 Arriba, ábaco de Breddin (1963). Abajo, clases de permeabilidad y equivalentes cuantitativos establecidos por Breddin (1963).

La estimación de los valores de permeabilidad aplicando el Método de la ***U. S. Bureau of Reclamation*** (***Kasenow, 2002****),* recogida en *"Determination of Hydraulic Conductivity from Grain Size* Analysis*", Kasenow, M. 2002. pg. 83,* se basa en el diámetro menos restrictivo $\mathbf{d_{20}}$, mediante el empleo de la expresión:

$$K\ (m/día) = 311 \cdot d_{20}^{2,3}$$

… donde $\mathbf{d_{20}}$ corresponde al diámetro (en mm) que deja pasar el 20% de los granos de la muestra. El resultado obtenido viene dado en m/día.

En contraste con ella, la ***Fórmula de Hazen (1911) (en Weight, 2008)***, arroja valores más precisos, puesto que se basa en el $\mathbf{d_{10}}$. No obstante, son escasos los análisis granulométricos que llegan a dar este diámetro, dentro de los análisis geotécnicos convencionales (frecuentemente hay que recurrir a granulometrías por sedimentación):

$$K\ (m/día) = 8{,}64 \cdot C \cdot d_{10}^{\ 2}$$

… donde d_{10} corresponde al diámetro (en mm) que deja pasar el 10% de los granos de la muestra, y C es un coeficiente que depende del tamaño de grano y de la uniformidad U, que a su vez se define como:

$$U = d_{60} / d_{10}$$

… siendo $\mathbf{d_{60}}$ corresponde al diámetro (en mm) que deja pasar el 60% de los granos de la muestra. El sedimento se considera mal clasificado para valores de U > 6 (poco uniforme y heterogéneo); por el contrario, se considera bien clasificado para U < 3 (uniforme, homométrico).

Teniendo en cuenta los valores del parámetro U y la granulometría predominante de la muestra, finalmente se estima el coeficiente C de Hazen según el siguiente gráfico (elaborado a partir de valores numéricos - Weight, 2008).

Cabe mencionar que, de todos los análisis granulométricos disponibles, para la aplicación de estos dos últimos métodos analíticos, se han utilizado únicamente aquellos cuyas curvas han llegado a cortar, o se han aproximado, a los diámetros $\mathbf{d_{10}}$ y/o $\mathbf{d_{20}}$. El resto de ellas, no han resultado de utilidad en estas estimaciones, puesto que la permeabilidad viene condicionada por la fracción granulométrica más fina, limitándose a la aplicación del *Ábaco de Breddin (1963).*

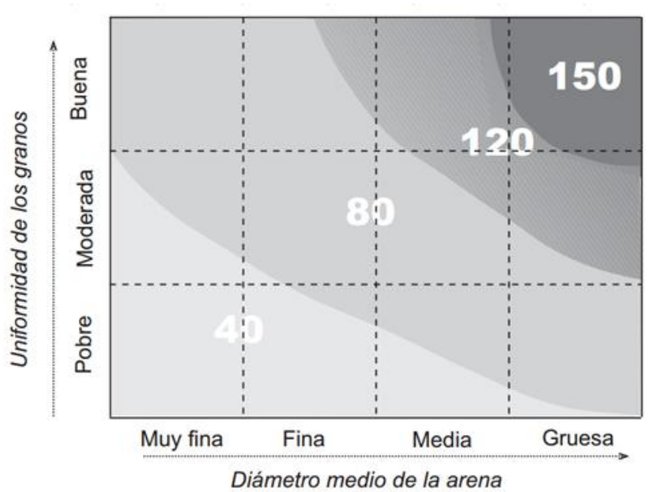


Figura 11 Gráfico para la estimación del coeficiente C de Hazen (dibujado a partir de valores numéricos de Weight, 2008)

Por otra parte, se llama la atención sobre el tipo de media utilizada para los valores, logarítmica (o geométrica) en lugar de aritmética. Al comparar entre sí órdenes de magnitud diferentes, la utilización de medias lineales (como la aritmética) otorga un peso 10 veces superior al valor máximo obtenido, frente a los que presentan un orden de magnitud inmediatamente inferior (y sucesivamente). En este sentido, el valor medio que se obtendría quedaría claramente sobreestimado, en caso de calcularlo de forma lineal (media aritmética), y su orden de magnitud tendería a aproximarse al del valor máximo individual de la población de datos.

* * * *

3.2.5.2.2.1. ESTIMACIÓN DE PERMEABILIDAD DE LA UD. ARCILLAS CON YESOS (Y)

Se dispone de varios análisis granulométricos procedentes de las muestras tomadas en el sondeo S-1, realizado para el presente proyecto, en la zona de San Fernando de Henares. Éstos han permitido realizar una estimación de la permeabilidad de esta unidad, a través de la representación de sus curvas sobre el ***Ábaco de Breddin (1963)***. En la siguiente figura se ilustra el resultado.

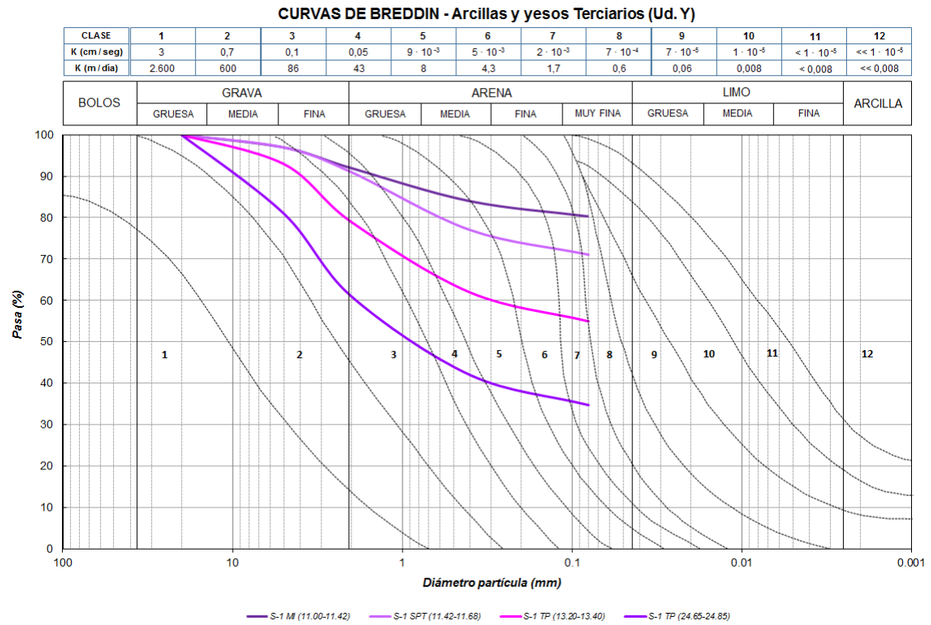


Figura 12. Superposición de las curvas granulométricas, obtenidas a partir de ensayos granulométricos por tamizado, sobre Ábaco de Breddin (elaboración propia).

Como se puede apreciarse en ella, la prolongación de las curvas hacia los diámetros d_{20} y $d_{10,}$ en las fracciones más gruesas, se sitúa aproximadamente en la Clase 10, a la que corresponde una permeabilidad máxima aproximada de 1.0E-07 m/s (0.008 m/día). Las fracciones más finas, presentan su prolongación en la clase 12, con permeabilidad asignada muy inferior a 1.0E-07 m/s.

En la *Clasificación de terrenos* incluida en Custodio, E. & Llamas, R. Ediciones Omega (1983), esta unidad se clasificaría como ***Acuitardo***.

CLASIFICACIÓN DE TERRENOS POR LA PERMEABILIDAD
(Custodio, E. & Llamas, R. Ediciones Omega, 1983)

PERMEABILIDAD (m/día)	10^{-6} 10^{-5}	10^{-4} 10^{-3}	10^{-2} 10^{-1} 1	10 10^{2}	10^{3} 10^{4}
CLASIFICACIÓN PERMEAB.	*Impermeable*	*Poco Permeable*	*Algo Permeable*	*Permeable*	*Muy Permeable*
CLASIFICACIÓN ACUIFERO	*Acuicludo*	*Acuitardo*	*Acuífero Pobre*	*Acuífero Regular-Bueno*	*Acuífero Excelente*
TIPO DE MATERIAL	*Arcilla compacta* *Pizarra* *Granito*	*Limo arenoso* *Limo* *Arcilla limosa*	*Arena fina* *Arena limosa* *Caliza fracturada*	*Arena limpia* *Grava y arena* *Arena fina*	*Grava limpia*

Figura 13. Modificado de Clasificación de terrenos según su permeabilidad (tomado de Custodio, E. & Llamas, R. Ediciones Omega, 1983).

3.2.5.2.2.2. ESTIMACIÓN DE PERMEABILIDAD DE LA UD. ARCILLAS VERDOSAS Y MARRONES "GREDAS" (G)

Se dispone de varios análisis granulométricos procedentes de las muestras tomadas en el sondeo S-1, así como en las calicatas C-1, C-2, C-3, C-4 y C-7, todos ellos realizados para el presente proyecto, en la zona de San Fernando de Henares. Éstos han permitido realizar una estimación de la permeabilidad de esta unidad, a través de la representación de sus curvas sobre el ***Ábaco de Breddin (1963)***. En la siguiente figura se ilustra el resultado.

Como se puede apreciarse en ella, la prolongación de las curvas hacia los diámetros d_{20} y d_{10}, se sitúa aproximadamente en la Clase 11, a la que corresponde una permeabilidad inferior a 1.0E-07 m/s (0.008 m/día) para las fracciones más gruesas; puede asumirse (en comparación con la unidad anterior) una permeabilidad máxima de 1.0E-08 m/s (0.0008 m/día). Las fracciones más finas, presentan su prolongación en la clase 12, con permeabilidad asignada muy inferior a 1.0E-07 m/s, e inferiores a 1.0E-08 m/s.

En la *Clasificación de terrenos* incluida en Custodio, E. & Llamas, R. Ediciones Omega (1983), esta unidad se clasificaría estrictamente como ***Acuitardo***, si bien, se encontraría ya en el límite con ***Acuicludo***, que supone terrenos prácticamente impermeables.

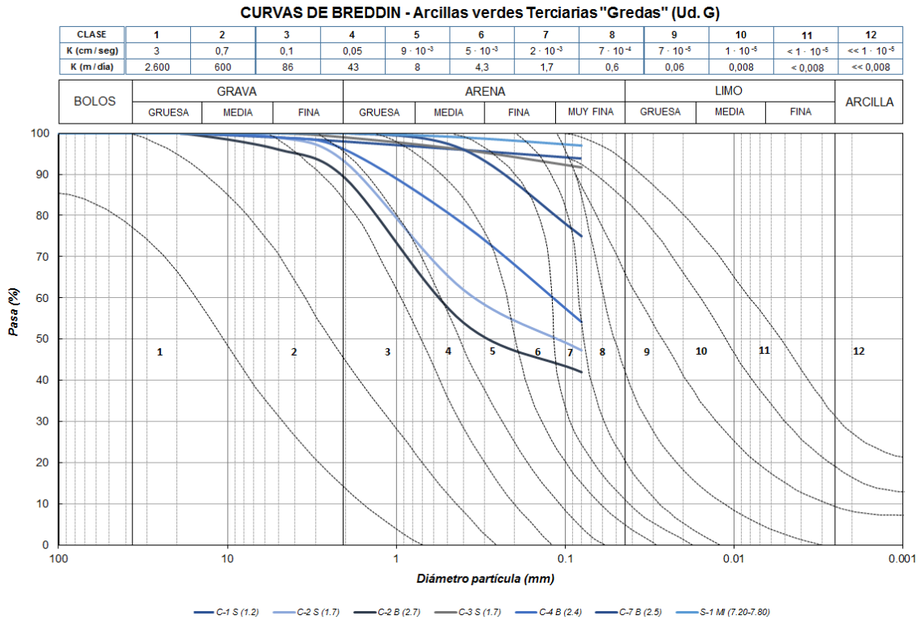


Figura 14. Superposición de las curvas granulométricas, obtenidas a partir de ensayos granulométricos por tamizado, sobre Ábaco de Breddin (elaboración propia).

3.2.5.2.2.3. ESTIMACIÓN DE PERMEABILIDAD DE LAS FACIES MADRID

ARENA DE MIGA

Las Facies Madrid han sido caracterizadas fundamentalmente en la zona de Campo de las Naciones, mediante los sondeos SR-1 y SR-2b, realizados para el presente proyecto. Se dispone de varios análisis granulométricos procedentes de las muestras tomadas en ellos, a partir de los cuales han podido realizarse estimaciones de la permeabilidad. En la siguiente figura se ilustra el resultado de superponer las curvas granulométricas sobre el ***Ábaco de Breddin (1963)***.

Como se puede apreciarse en ella, las prolongaciones de curvas hacia los diámetros d_{20} y d_{10} se encuentran entre las clases 4 y 5, a las que corresponden permeabilidades entre 9.0E-05 y 5.0E-04 m/s (8 y 43 m/día).

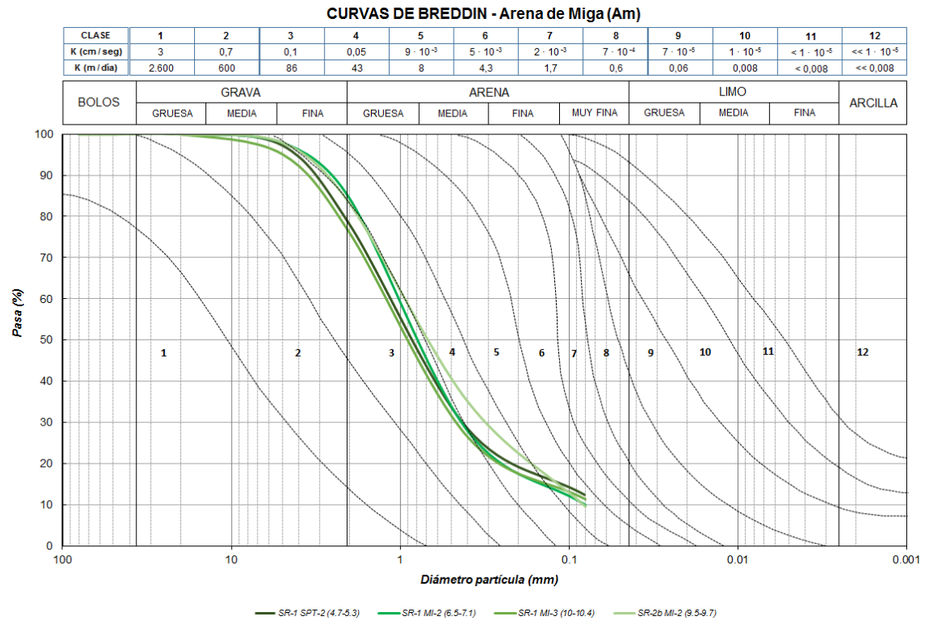


Figura 15. Superposición de las curvas granulométricas, obtenidas a partir de ensayos granulométricos por tamizado, sobre Ábaco de Breddin (elaboración propia).

Tomando como referencia, nuevamente, la tabla de la *Clasificación de terrenos* incluida en Custodio, E. & Llamas, R. Ediciones Omega (1983), se encuentra que los valores obtenidos a partir de los Ábacos de Breddin (1963) sitúan a la unidad dentro del ***Acuífero Regular a Bueno***.

CLASIFICACIÓN DE TERRENOS POR LA PERMEABILIDAD (Custodio, E. & Llamas, R. Ediciones Omega, 1983)											
PERMEABILIDAD (m/día)	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10	10^{2}	10^{3}	10^{4}
CLASIFICACIÓN PERMEAB.	*Impermeable*		*Poco Permeable*		*Algo Permeable*		*Permeable*			*Muy Permeable*	
CLASIFICACIÓN ACUIFERO	*Acuicludo*		*Acuitardo*		*Acuífero Pobre*		*Acuífero Regular-Bueno*			*Acuífero Excelente*	
TIPO DE MATERIAL	*Arcilla compacta* *Pizarra* *Granito*		*Limo arenoso* *Limo* *Arcilla limosa*		*Arena fina* *Arena limosa* *Caliza fracturada*		*Arena limpia* *Grava y arena* *Arena fina*			*Grava limpia*	

Figura 16. Modificado de Clasificación de terrenos según su permeabilidad (tomado de Custodio, E. & Llamas, R. Ediciones Omega, 1983).

A partir de las granulometrías ha sido posible también realizar estimaciones analíticas, mediante la aplicación de las Fórmulas de ***Kasenow (2002)*** y ***Hazen (1911)***. En la tabla que se muestra a continuación, se resumen los parámetros utilizados en el cálculo y los resultados obtenidos. La media geométrica del conjunto de valores obtenidos por ambos métodos es 7.77E-05 m/s (6.71E+00 m/día).

ESTIMACIÓN PERMEABILIDAD – ARENA DE MIGA												
SONDEO	**FECHA**	**MUESTRA Y PROFUNDIDAD (m)**	**LITOLOGÍA**	**FORMULA DE KASENOW (2002)**			**FÓRMULA DE HAZEN (1911)**					
				D_{20} (mm)	**PERMEABILIDAD (m/día)**	**PERMEABILIDAD (m/s)**	**D_{10} (mm)**	**D_{60} (mm)**	**U**	**C**	**PERMEABILIDAD (m/día)**	**PERMEABILIDAD (m/s)**
SR-1 SPT-2	2019	De 4.7 a 5.3	T. Arena de miga (Am)	0.21	**8.59E+00**	**9.94E-05**	0.065	1.05	16.15	100	**3.65E+00**	**4.23E-05**
SR-1 MI-2	2019	De 6.5 a 7.1	T. Arena de miga (Am)	0.25	**1.28E+01**	**1.48E-04**	0.08	1	12.50	100	**5.53E+00**	**6.40E-05**
SR-1 MI-3	2019	De 10 a 10.4	T. Arena de miga (Am)	0.25	**1.28E+01**	**1.48E-04**	0.07	1.1	15.71	100	**4.23E+00**	**4.90E-05**
SR-2b MI-2	2019	De 9.5 a 9.7	T. Arena de miga (Am)	0.18	**6.02E+00**	**6.97E-05**	0.081	0.9	11.11	100	**5.67E+00**	**6.56E-05**
			Media Logarítmica o Geométrica:		**9.60E+00**	**1.11E-04**					**4.69E+00**	**5.43E-05**
			Máximo:		**1.28E+01**	**1.48E-04**					**5.67E+00**	**6.56E-05**
			Mínimo:		**6.02E+00**	**6.97E-05**					**3.65E+00**	**4.23E-05**

Tabla 7 Estimación de permeabilidades en la Arena de miga por métodos analíticos

Según la *Clasificación de terrenos* incluida en Custodio, E. & Llamas, R. Ediciones Omega (1983), estos valores confirman el carácter de ***Acuífero Regular a Bueno***, dado por Breddin.

ARENA TOSQUIZA

Se ha procedido a superponer las curvas granulométricas de las muestras tomadas en los sondeos SR-1 y SR-2b, correspondientes a esta unidad, sobre ***Ábaco de Breddin (1963)***. En la siguiente figura se ilustra el resultado de este análisis.

Como se puede apreciarse en ella, las prolongaciones de curvas hacia los diámetros d_{20} y d_{10} se encuentran en la clase 8, lindando con la 9, correspondiendo permeabilidades entre 7.0E-07 y 7.0E-06 m/s (0.06 y 0.6 m/día).

En la *Clasificación de terrenos* incluida en Custodio, E. & Llamas, R. Ediciones Omega (1983), esta unidad se clasificaría como ***Acuífero Pobre***.

CURVAS DE BREDDIN - Arena Tosquiza (incluida en Am)

CLASE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
K (cm/seg)	3	0,7	0,1	0,05	$9 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$< 1 \cdot 10^{-5}$	$<< 1 \cdot 10^{-5}$
K (m/día)	2.600	600	86	43	8	4,3	1,7	0,6	0,06	0,008	< 0,008	<< 0,008

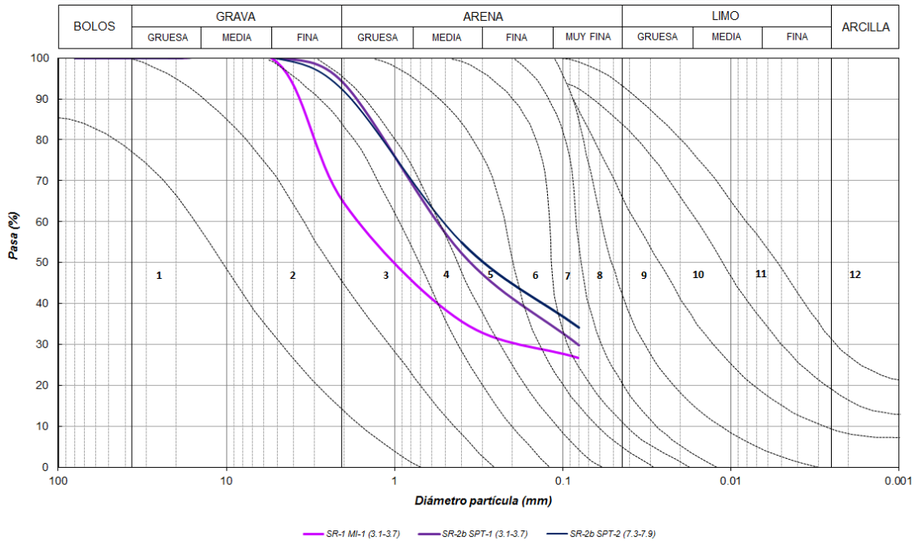


Figura 17. Superposición de las curvas granulométricas, obtenidas a partir de ensayos granulométricos por tamizado, sobre Ábaco de Breddin (elaboración propia).

TOSCO ARENOSO

La representación de las curvas granulométricas, correspondientes a esta unidad en los sondeos SR-1 y SR-2b, sobre ***Ábaco de Breddin (1963)***, se ilustra en la siguiente figura.

CURVAS DE BREDDIN - Tosco arenoso (incluido en Am)

CLASE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
K (cm/seg)	3	0,7	0,1	0,05	$9 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$< 1 \cdot 10^{-5}$	$<< 1 \cdot 10^{-5}$
K (m/día)	2.600	600	86	43	8	4,3	1,7	0,6	0,06	0,008	< 0,008	<< 0,008

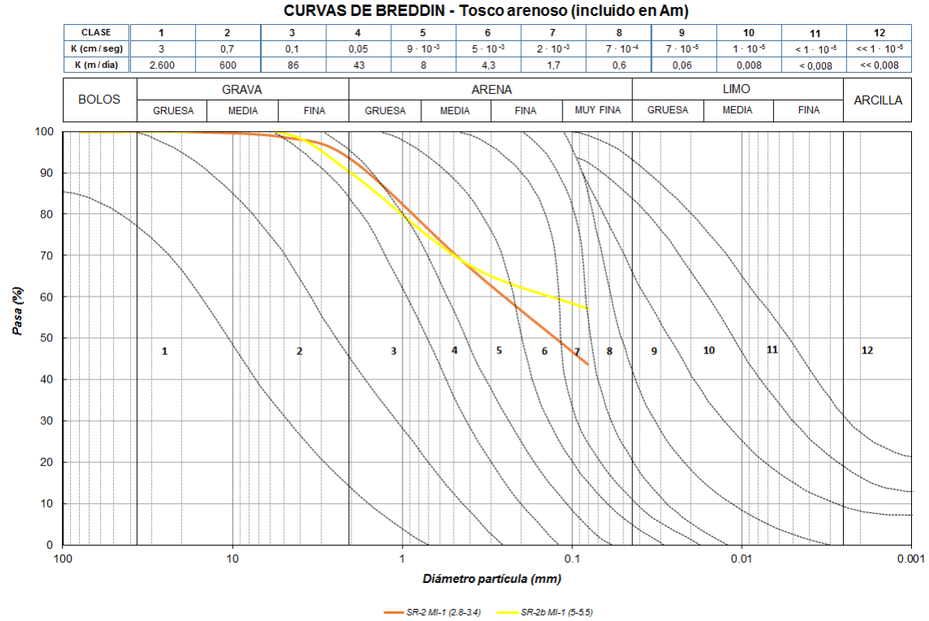


Figura 18. Superposición de las curvas granulométricas, obtenidas a partir de ensayos granulométricos por tamizado, sobre Ábaco de Breddin (elaboración propia).

Como se puede apreciarse en ella, la prolongación de las curvas correspondientes a las fracciones más gruesas, hacia los diámetros d_{20} y d_{10}, se sitúa aproximadamente en la Clase 9, a la que corresponde una permeabilidad inferior a 7.0E-07 m/s (0.06 m/día). Las fracciones más finas, presentan su prolongación en la clase 12, con permeabilidad asignada muy inferior a 1.0E-07 m/s.

En la *Clasificación de terrenos* incluida en Custodio, E. & Llamas, R. Ediciones Omega (1983), las fracciones más gruesas de esta unidad se clasificarían como ***Acuitardo*** lindando en el ***Acuífero Pobre***, si bien las restantes fracciones la clasificarían como ***Acuitardo***.

3.2.5.2.2.4. ESTIMACIÓN DE PERMEABILIDAD DE LAS ARENAS CON GRAVAS (TERRAZAS CUATERNARIAS) (QT)

Se dispone de varios análisis granulométricos procedentes de las muestras tomadas en las calicatas C-5 y C-8, realizadas para el presente proyecto, en la zona de San Fernando de Henares. Éstos han permitido realizar una estimación de la permeabilidad de esta unidad, a través de la representación de sus curvas sobre el ***Ábaco de Breddin (1963)***. En la siguiente figura se ilustra el resultado.

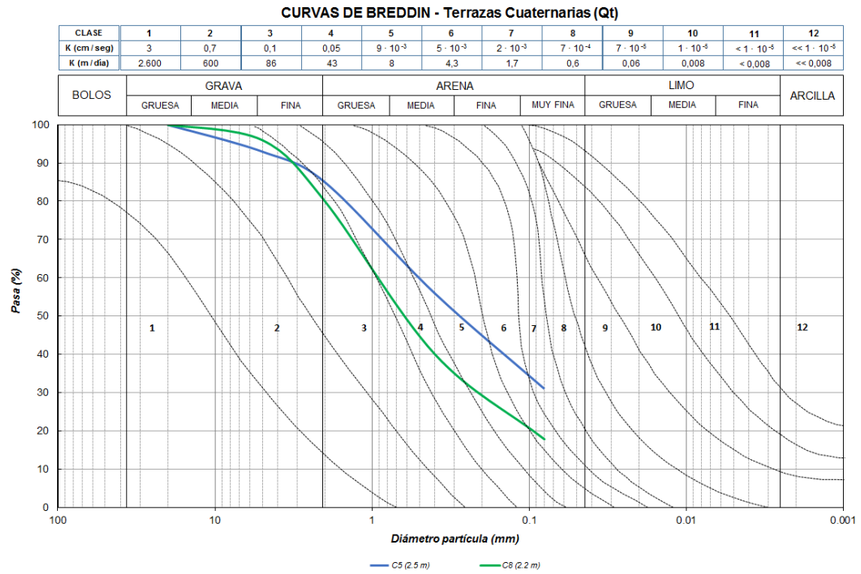


Figura 19. Superposición de las curvas granulométricas, obtenidas a partir de ensayos granulométricos por tamizado, sobre Ábaco de Breddin (elaboración propia).

Como se puede apreciarse en ella, en las fracciones más gruesas, la prolongación de las curvas hacia los diámetros d_{20} y d_{10}, se sitúa entre las Clases 5 y 6, a las que corresponden permeabilidades entre 5.0E-05 a 9.0E-05 m/s (4.3 y 8 m/día). Las fracciones más finas, presentan su prolongación en la clase 8, con permeabilidad asignada de 7.0E-06 m/s (0.6 m/día).

En la *Clasificación de terrenos* incluida en Custodio, E. & Llamas, R. Ediciones Omega (1983), las fracciones más gruesas de esta unidad se clasificarían en la parte baja de la categoría de ***Acuífero Regular a Bueno (Acuífero Regular)***. Por su parte, las fracciones más finas se hallarían dentro de la categoría de ***Acuífero Pobre.***

CLASIFICACIÓN DE TERRENOS POR LA PERMEABILIDAD (Custodio, E. & Llamas, R. Ediciones Omega, 1983)										
PERMEABILIDAD (m/día)	10^{-6} 10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10	10^{2}	10^{3}	10^{4}
CLASIFICACIÓN PERMEAB.	*Impermeable*		*Poco Permeable*		*Algo Permeable*		*Permeable*		*Muy Permeable*	
CLASIFICACIÓN ACUIFERO	*Acuicludo*		*Acuitardo*		*Acuífero Pobre*		*Acuífero Regular-Bueno*		*Acuífero Excelente*	
TIPO DE MATERIAL	*Arcilla compacta Pizarra Granito*		*Limo arenoso Limo Arcilla limosa*		*Arena fina Arena limosa Caliza fracturada*		*Arena limpia Grava y arena Arena fina*		*Grava limpia*	

Figura 20. Modificado de Clasificación de terrenos según su permeabilidad (tomado de Custodio, E. & Llamas, R. Ediciones Omega, 1983).

A partir de la muestra correspondiente a la calicata C5, ha sido posible también realizar una estimación analítica, mediante la aplicación de la Fórmula de ***Kasenow (2002)***. En la tabla que se muestra a continuación, se resumen los parámetros utilizados en el cálculo y los resultados obtenidos.

SONDEO	FECHA	MUESTRA Y PROFUNDIDAD (m)	LITOLOGÍA	FORMULA DE KASENOW (2002)		
				D_{20} (mm)	PERMEABILIDAD (m/día)	PERMEABILIDAD (m/s)
C8	2019	2.2	Q. Terraza aluvial	0.092	**1.29E+00**	**1.49E-05**

Tabla 8 Estimación de permeabilidades en las terrazas cuaternarias por métodos analíticos

Este resultado sitúa la unidad en el límite entre ***Acuífero Pobre y Acuífero Regular a Bueno (Acuífero Regular)***., dentro de la *Clasificación de terrenos* incluida en Custodio, E. & Llamas, R. Ediciones Omega (1983).

3.2.5.2.2.5. ESTIMACIÓN DE PERMEABILIDAD DE LOS RELLENOS ANTRÓPICOS (R)

Por último, las curvas granulométricas obtenidas de las muestras correspondientes a los sondeos SR-1 y SR-2b, realizados para el presente proyecto en la zona de Campo de las Naciones, han permitido realizar una estimación de la permeabilidad utilizando el ***Ábaco de Breddin (1963)***. En la siguiente figura se ilustra el resultado.

Como se puede apreciarse en ella, la prolongación de las curvas hacia los diámetros d_{20} y d_{10}, se sitúa entre las Clases 7 y 8, a las que corresponden permeabilidades entre 2.0E-05 a 7.0E-06 m/s (0.6 y 1.7 m/día).

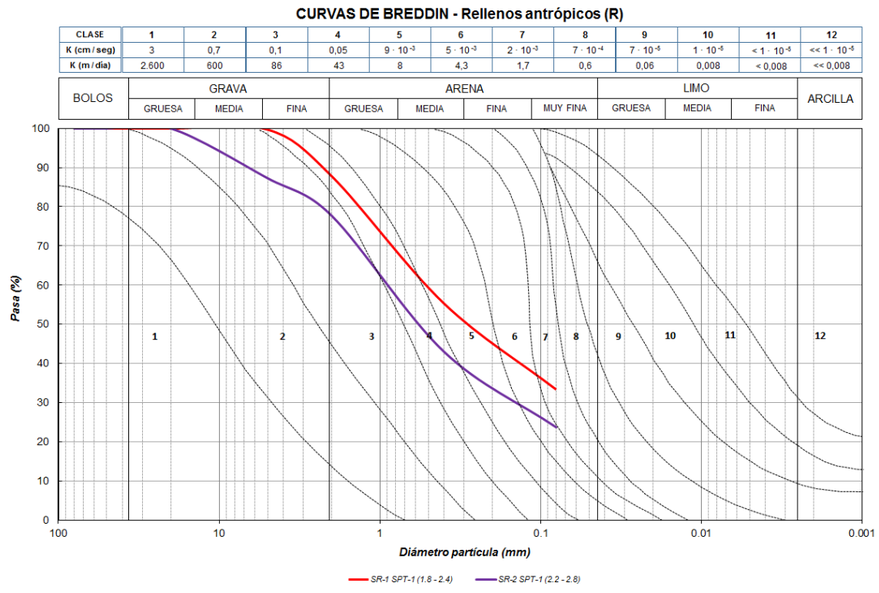


Figura 21. Superposición de las curvas granulométricas, obtenidas a partir de ensayos granulométricos por tamizado, sobre Ábaco de Breddin (elaboración propia).

Esto situaría la unidad en la categoría de ***Acuífero Pobre***, dentro de la *Clasificación de terrenos* incluida en Custodio, E. & Llamas, R. Ediciones Omega (1983).

A partir de la muestra correspondiente al sondeo SR-2 (zona Campo de las Naciones), ha sido posible también realizar una estimación analítica, mediante la aplicación de la Fórmula de ***Kasenow (2002)***. En la tabla que se muestra a continuación, se resumen los parámetros utilizados en el cálculo y los resultados obtenidos.

SONDEO	FECHA	MUESTRA Y PROFUNDIDAD (m)	LITOLOGÍA	FORMULA DE KASENOW (2002)		
				D_{20} (mm)	PERMEABILIDAD (m/día)	PERMEABILIDAD (m/s)
SR-2 SPT-1	2019	De 2.2 a 2.8	R. Relleno antrópico	0.06	**4.81E-01**	**5.57E-06**

Tabla 9 Estimación de permeabilidades en los rellenos antrópicos por métodos analíticos

Nuevamente, esto situaría la unidad en la categoría de ***Acuífero Pobre***, dentro de la *Clasificación de terrenos* incluida en Custodio, E. & Llamas, R. Ediciones Omega (1983).

3.2.5.2.2.6. POROSIDAD

METODOLOGÍA

Por lo que respecta a la obtención de la ***Porosidad Total*** en suelos, ésta se ha estimado a partir de la granulometría, utilizando los diámetros $\mathbf{d_{10}}$ y $\mathbf{d_{60}}$, mediante la expresión de Vukovic y Soro (1992), citada en Odong (2008):

$$m = 0{,}255 \cdot (1 + 0{,}83^{u})$$

donde, nuevamente, nos encontramos con el coeficiente de uniformidad U, definido como:

$$U = d_{60} / d_{10}$$

Estimación de POROSIDAD TOTAL en la Arena de miga (Am)

El método antes referido, al depender del diámetro de paso d_{10}, su empleo únicamente ha sido posible en el caso de la unidad de Arena de miga (Am), de las Facies Madrid. En la siguiente tabla se resumen los valores obtenidos:

SONDEO	FECHA	MUESTRA Y PROFUNDIDAD (m)	FÓRMULA DE HAZEN (1911)						VUKOVIC Y SORO, 1992 (citado en Odong, 2008)	
			D_{10} (mm)	D_{60} (mm)	U	C	K (m/día)	K (m/s)	POROSIDAD TOTAL (me)	POROSIDAD TOTAL % (me)
SR-1 SPT-2	2019	De 4.7 a 5.3	0.065	1.05	16.15	100	**3.65E+00**	**4.23E-05**	**0.27**	**26.8%**
SR-1 MI-2	2019	De 6.5 a 7.1	0.08	1	12.50	100	**5.53E+00**	**6.40E-05**	**0.28**	**28.0%**
SR-1 MI-3	2019	De 10 a 10.4	0.07	1.1	15.71	100	**4.23E+00**	**4.90E-05**	**0.27**	**26.9%**
SR-2b MI-2	2019	De 9.5 a 9.7	0.081	0.9	11.11	100	**5.67E+00**	**6.56E-05**	**0.29**	**28.7%**
Media Aritmética:							**4.69E+00**	**5.43E-05**	**0.276**	**27.6%**
Máximo:							**5.67E+00**	**6.56E-05**	**0.29**	**28.7%**
Mínimo:							**3.65E+00**	**4.23E-05**	**0.27**	**26.8%**

Tabla 10 Estimación de porosidad total en la arena de miga por métodos analíticos

No se dispone de datos suficientes para estimar la *Porosidad eficaz*.

3.2.5.2.3. INVENTARIOS DE PUNTOS DE AGUA Y ZONAS PROTEGIDAS

Se ha analizado la proximidad al ámbito de los trabajos, en las distintas zonas, tanto de Puntos de agua en general como de las Zonas protegidas recogidas dentro del *Plan Hidrológico 2015-2021 de la Demarcación Hidrográfica del Tajo*.

Para ello se han utilizado las siguientes fuentes de información:

PUNTOS DE AGUA:

- Base de Datos Hidrogeológicos del IGME.
- Inventario de Puntos de agua de la Demarcación Hidrográfica del Tajo.
- Base Topográfica Nacional a escala 1:25.000 del CNIG.
- Captaciones subterráneas para abastecimiento urbano
- Captaciones superficiales para abastecimiento urbano
- Información de la Consejería de Medio Ambiente, Administración Local y Ordenación del Territorio.
- "Hidrogeología del sector Alcalá de Henares-Torrejón de Ardoz (Madrid)" llevado a cabo por A. Nebreda, I. Palacios y F.Villaroya.

ZONAS PROTEGIDAS (*Plan Hidrológico 2015-2021 de la Demarcación Hidrográfica del Tajo)*:

- Captaciones subterráneas para abastecimiento urbano
- Zonas de protección de Captaciones subterráneas para abastecimiento urbano
- Captaciones superficiales para abastecimiento urbano
- Perímetros de protección para Aguas Minerales y Termales
- Espacios Naturales protegidos (LICs y ZEPAs).
- Zonas protegidas asociadas a hábitats y especies.
- Zonas vulnerables a contaminación por nitratos.
- Zonas húmedas (INZH y Convenio RAMSAR).
- Zonas de Baño.

En ninguna de los tres ámbitos de actuación se han identificados elementos pertenecientes a las categorías mencionadas.

ÁMBITO DE CAMPO DE LAS NACIONES

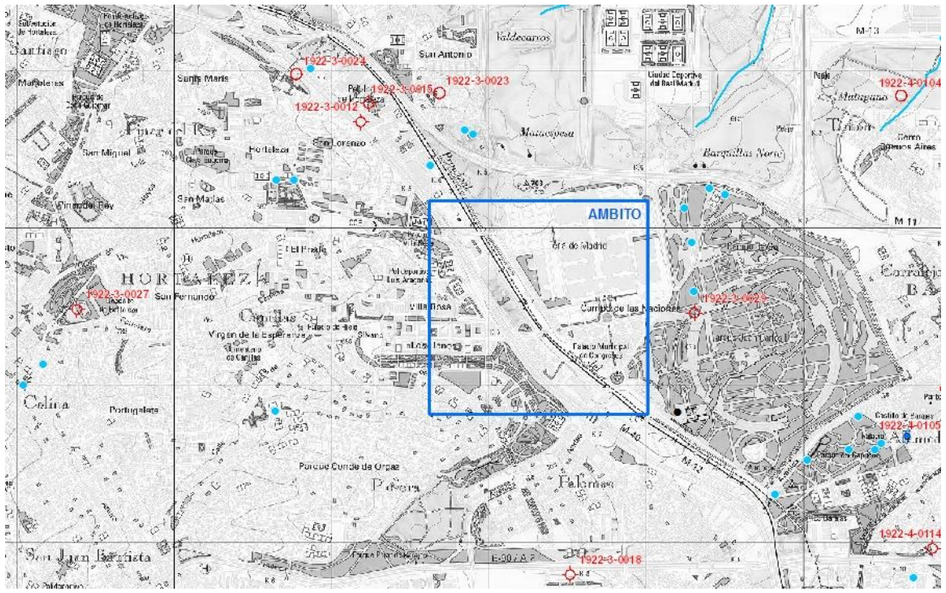


Figura 22. Inventarios de Puntos de agua y Zonas protegidas en el ámbito de Campo de las Naciones (elaboración propia).

ÁMBITO DE REJAS

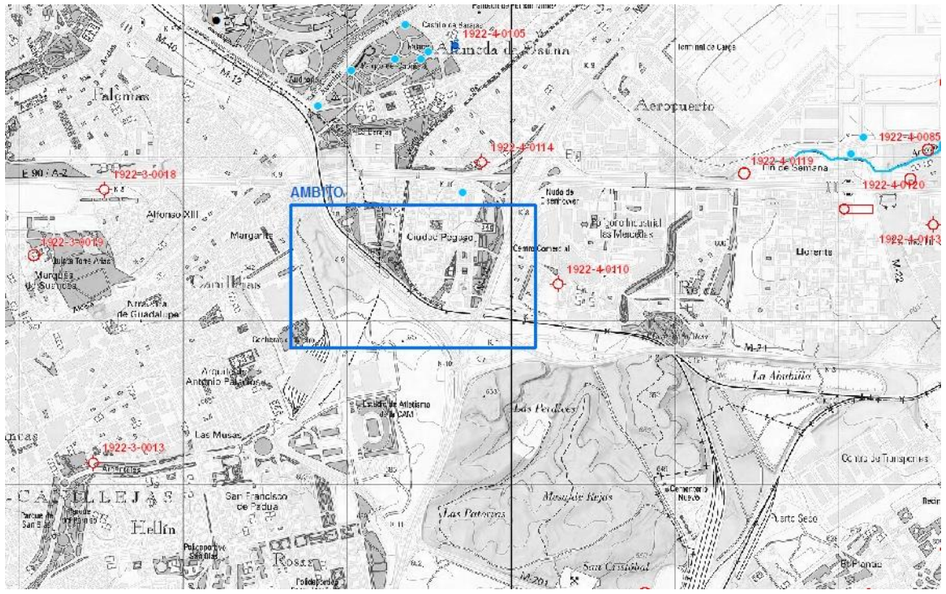


Figura 23. Inventarios de Puntos de agua y Zonas protegidas en el ámbito de Rejas (elaboración propia).

ÁMBITO DE SAN FERNANDO DE HENARES

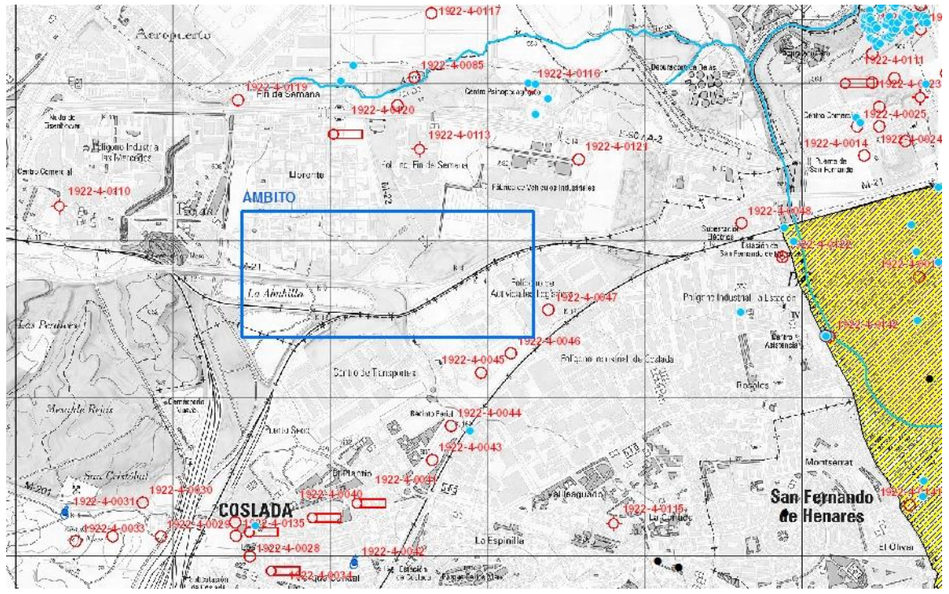
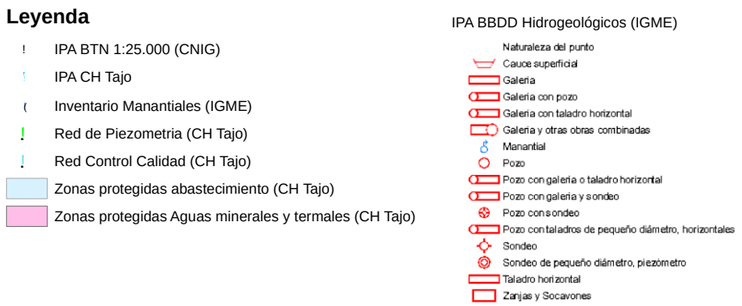


Figura 24. Inventarios de Puntos de agua y Zonas protegidas en el ámbito de San Fernando de Henares (elaboración propia).

LEYENDA DE LOS INVENTARIOS DE PUNTOS DE AGUA Y ZONAS PROTEGIDAS



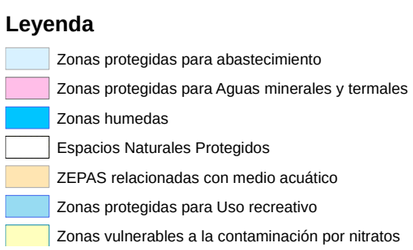


Figura 25. Leyendas de las figuras anteriores (elaboración propia).

3.2.5.3. INTERACCIONES ENTRE LA OBRA Y EL MEDIO ACUÍFERO

De las actuaciones previstas, así como de sus respectivas alternativas, se puede hacer la siguiente valoración general:

- Las alternativas de la actuación prevista en ***Campo de las Naciones*** se desarrollan enteramente en superficie. Únicamente se procederá al desmantelamiento de algún relieve puntual, afectando únicamente al relleno antrópico existente o a los horizontes más someros de la arena de miga (Am). En cualquier caso, la actuación quedaría por encima de los niveles freáticos identificados en la zona, por lo que no se daría una afección cuantitativa al recurso.

  Habría que guardar las precauciones habituales (expuestas en el apdo. 3.2.4.3.3 del presente documento) a fin de evitar la percolación de contaminantes durante la fase de obra.

- Por lo que respecta a las alternativas contempladas para la actuación en ***Rejas***, al igual que en el caso anterior, se trata de obras en superficie. En esta ocasión, no se prevé la ejecución de ningún tramo en desmonte, por lo que se descartan afecciones cuantitativas a los recursos subterráneos y, de nuevo, se remitía a las medidas generales de precaución para evitar la percolación de contaminantes, a fin de impedir una afección a la calidad del recurso durante las obras.
- En cuanto al Salto de carnero previsto en ***San Fernando de Henares***, la Alternativa 1 contempla que la nueva vía cruce las existentes de forma elevada, por lo que sólo habría que contemplar las posibles afecciones de las pilas de la estructura.

En primer lugar, cabe recordar que el medio geológico en la zona de San Fernando está integrado por las terrazas cuaternarias dispuestas sobre las arcillas verdosas “Gredas” (G) terciarias, así como sobre las Arcillas con yesos (Y). Si bien la permeabilidad de esta unidad cuaternaria resulta de interés, los datos piezométricos del sondeo S-01 revelan que el nivel freático se encuentra varios metros por debajo de su muro. Ello significa que no albergan agua en si interior, al menos, en la zona de la actuación. En cambio, los materiales terciarios subyacentes (Uds. G e Y), donde se sitúa el nivel de agua detectado, presentan permeabilidades bajas a muy bajas, no pudiéndose considerar como acuíferos.

Con respecto al empotramiento de las pilas consideradas en proyecto, al tratarse de estructuras aisladas entre sí, con un diámetro despreciable en comparación con la extensión de las formaciones, puede descartarse un posible “efecto drenaje”

durante su excavación que afecte a la cantidad del recurso durante la obra. Asimismo, dada la baja permeabilidad del medio, los caudales esperables en el interior de los huecos (de llegar a producirse) resultarían despreciables y no supondrían in inconveniente para la ejecución de las obras. Por otra parte, puede también descartarse un posible "efecto barrera" asociado a la estructura terminada, durante la fase de explotación, ya que el agua circulante tiene espacio sobrado entre pilas para restituir el escaso flujo del acuitardo.

Únicamente queda considerar las posibles afecciones a la calidad a las aguas de saturación del acuitardo. Al respecto, hay que tener en cuenta que los materiales utilizados tanto en la perforación de los huecos de cimentación como en el relleno de los pilotes son habitualmente inertes (hormigón, lodos bentoníticos, etc.). No es de esperar la introducción de una carga química que altere apreciablemente el quimismo natural de las aguas detectadas. Asimismo, dada la escasa permeabilidad del medio, de llegar a producirse la entrada de un contaminante, éste quedaría encapsulado en el lugar de la percolación; no se prevé que se pueda distribuir a grandes distancias por efecto del flujo subterráneo. La inexistencia de captaciones cercanas en la zona, juega también en favor de la obra, puesto que no existen elementos que puedan verse afectados por una hipotética contaminación del medio. En cualquier caso, han de guardarse las recomendaciones generales para evitar la percolación accidental de contaminantes en la zona, ya mencionadas en los puntos anteriores.

- En cuanto a la Alternativa 1, ésta prevé que la nueva vía cruce de forma subterránea el viario actual. En esta ocasión, y a la vista de los datos piezométricos de los sondeos de la zona, es previsible que la parte más baja de la rasante llega a interceptar la saturación de agua detectada en el sondeo S-01. En los siguientes apartados se amplía el análisis de la posible interacción de esta alternativa.

3.2.5.3.1. ESTUDIO DEL POSIBLE "EFECTO DRENAJE" EN EL SALTO DE CARNERO Y DESMONTE PROYECTADO EN SAN FERNANDO DE HENARES. ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE INFILTRACIÓN SUBTERRÁNEA AL RECINTO DE EXCAVACIÓN DEL SALTO DE CARNERO DE SAN FERNANDO – ALTERNATIVA 1

Se consideran aquí únicamente los posibles caudales de infiltración hacia el interior de la estructura del Salto de carnero en la Alternativa 1, susceptibles de producirse durante la Fase de Obra, al proceder con su excavación.

Estos caudales obedecen a un drenaje continuo del medio (pese a que no puede considerarse como acuífero), al constituirse la estructura como una zona de descarga adicional dentro del acuífero. Dicho medio reaccionará a la nueva situación modificando su régimen de flujo para adaptarse a la cota de la rasante, y tomándola como un nivel de base local.

Para realizar las citadas estimaciones se han empleado dos métodos: por un lado, la aplicación de la *fórmula analítica de la Zanja Equivalente* y, por otro, el cálculo mediante un *modelo matemático de flujo en 2 dimensiones*.

En el caso de la estimación analítica, se ha supuesto un drenaje desde el terreno natural homogéneo (dependiendo exclusivamente de su permeabilidad) y con ausencia de las pantallas contempladas en proyecto. Lo mismo se ha tenido en cuenta en el caso del cálculo mediante modelo matemático de flujo (dado que ésta representa el momento más desfavorable durante la construcción), si bien, en esta ocasión ha sido posible considerar el perfil geológico completo (según testificación).

En el caso de la modelización matemática, ésta ha constado de una sección en dos dimensiones mediante el módulo SEEP/W del paquete de software geotécnico GEO-SLOPE 2012, que permite la construcción de secciones mediante elementos finitos y la simulación de flujos de agua en ellas, una vez definidos los parámetros hidrogeológicos (permeabilidad, coeficiente de almacenamiento, etc.) y condiciones de contorno para los distintos materiales.

Cabe recordar que, de forma general, el programa asume que la sección modelizada presenta un fondo de 1 m, por lo que los valores de caudal que se obtengan como resultado de cada simulación, han de interpretarse como caudales unitarios por sección. Para la obtención del caudal total correspondiente al recinto completo, habrá que multiplicar cada dato directo por la longitud de la estructura según su eje.

3.2.5.3.1.1. ESTIMACIÓN ANALÍTICA DE CAUDALES – DRENAJE EN LA FORMACIÓN ARCILLAS CON YESOS (Y)

FUNDAMENTO

El método de cálculo corresponde a la aplicación de la Fórmula denominada de la *Zanja equivalente* (según Custodio y Llamas, 1982), de aplicación cuando el agotamiento tiene una geometría alargada (la relación de aspecto entre el largo y ancho del solar supera el valor 4: L/a > 4). El cálculo asume cada lateral de la excavación como una zanja en un acuífero libre, alimentada por sólo por un lateral:

$$Q = L \cdot \frac{K}{2R_Z} \cdot (2H - d) \cdot d$$

Donde:

Q es el Caudal captado, en m^3/s.
K es el Coeficiente de permeabilidad, en m/s.
H es el Espesor estático de acuífero saturado, en m.
d es el Descenso producido, en m.
R_Z es la Distancia de influencia de la captación, en m.
L es la Longitud de la zanja, en m.

La aplicación de esta fórmula ha de realizarse, lógicamente, a cada uno de los laterales de la excavación, puesto que el método de la Zanja equivalente, asume que el caudal proviene sólo de un lateral de la zanja. En el caso concreto que nos ocupa, al tratarse de un recinto rectangular, se tienen dos zanjas de 120 m y otras dos de 20 m. Por ello, el cálculo para un solo lateral se multiplica, en ambos casos, x 2.

La estimación de la Distancia de influencia (***R_Z***), se aplica nuevamente la fórmula de Sichardt, si bien, en esta ocasión, cambia el coeficiente a utilizar:

$$R_Z = 1500 \cdot d \cdot \sqrt{K}$$

CONDICIONANTES

En esta estimación analítica, se ha supuesto un drenaje desde la unidad de Arcillas con yesos (Y) puesto que, de las dos unidades terciarias que integran la geología de la zona, ésta es la que mayor permeabilidad presenta. Esto, además de ser realista con la testificación de los sondeos más próximos, supone estar del lado de la seguridad, puesto que permite arrojar caudales máximos esperables.

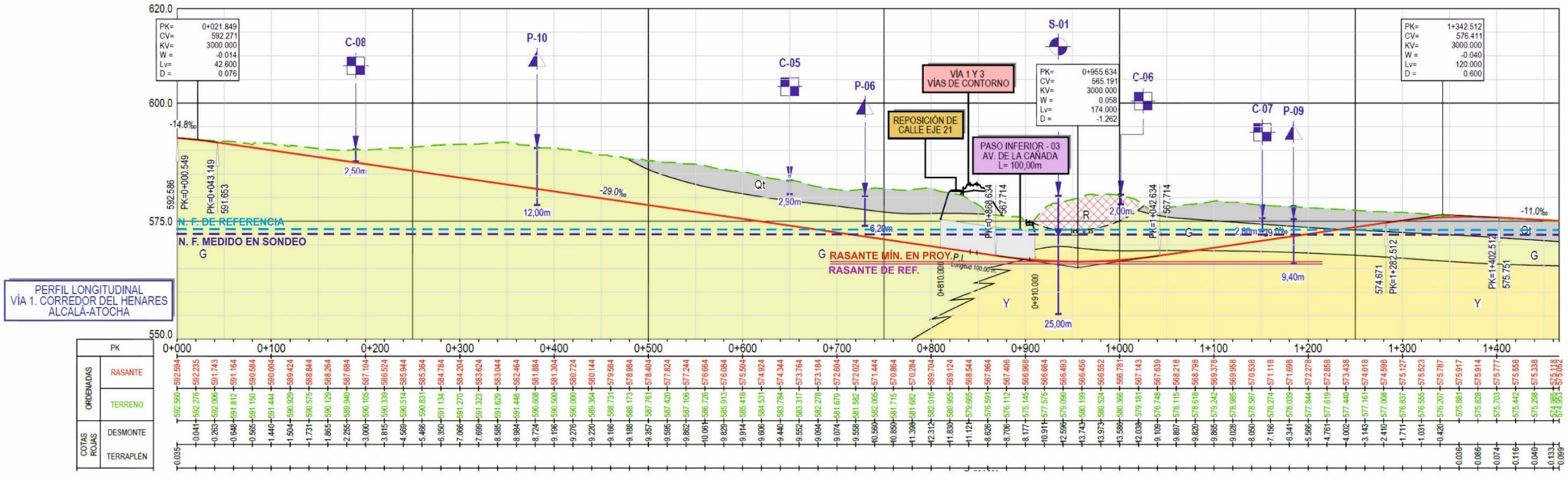


Figura 26. Esquema en Perfil longitudinal de las condiciones de contorno consideradas en los cálculos (elaboración propia).

El sondeo S-01 sitúa el nivel de saturación de agua a una cota 572 m.s.n.m. Asumiendo que éste pueda aumentar la cota en 1 m, correspondiente al escenario de aguas altas anual, la cota freática de referencia se situaría en 573 m.s.n.m. Por su parte, la cota mínima de rasante se halla, según perfil del proyecto, en 566 m.s.n.m. Asumiendo igualmente un factor de seguridad de 0,5 m, la cota de rasante sería 565,5 m. Esto arroja un rebaje freático de 7,5 m, a efectos de cálculo. Por último, dado el desconocimiento del muro de las formaciones terciarias, se contempla un espesor saturado estático de 2,5 veces, el rebaje freático previsto.

Cálculo de caudales mediante la Fórmula de la Zanja Equivalente. Lateral 500 m:

Para el cálculo de la longitud de este lateral, se ha considerado únicamente los PPKK aproximados en los que la rasante intercepta el nivel freático de referencia. Esto supone aproximadamente 500 m. En este tramo, además de la estructura del Salto de carnero (que supone únicamente unos 100 m), se tiene en cuenta también el desmonte del resto de la vía para adecuar la rasante a dicha estructura.

En las siguientes tablas se resumen los parámetros utilizados y los resultados obtenidos de la aplicación de la *Fórmula de la Zanja equivalente* a cada uno de los laterales largos. Se ofrece también el caudal por metro lineal de ambos laterales, en conjunto:

PARÁMETROS UTILIZADOS PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES A DRENAR EN EL RECINTO DE LA EXCAVACIÓN, SEGÚN LA APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DE LA ZANJA EQUIVALENTE - SALTO DE CARNERO – SAN FERNANDO DE HENARES			
PARÁMETRO	**ABREV.**	**VALOR**	**UNIDADES**
Espesor saturado estático del acuífero (m)	***Ho***	**18.75**	**m**
Nivel piezométrico a conseguir (m)	*H*	11.25	m
Descenso producido (m)	***d***	**7.5**	**m**
Coef. permeabilidad (m/s)	***K***	**1.00E-07**	**m/s**
Coef. permeabilidad (m/día)	*K*	8.64E-03	m/día
Transmisividad (m^2/s)	*T*	1.88E-06	m^2/s
Transmisividad (m^2/día)	*T*	1.62E-01	m^2/día
Longitud de la zanja (m)	***L***	**500.0**	**m**

Tabla 11 Parámetros utilizados para el cálculo de caudales a drenar en el recinto de la excavación

RADIOS DE INFLUENCIA DEL AGOTAMIENTO, SEGÚN LA APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DE LA ZANJA EQUIVALENTE - SALTO DE CARNERO – SAN FERNANDO DE HENARES			
RADIO DE INFLUENCIA	**ABREV.**	**VALOR**	**UNIDADES**
Distancia de Influencia captación (Formula Sichart)	R_Z	**3.56**	**m**

Tabla 12 Radios de influencia del agotamiento

ESTIMACIÓN DE CAUDALES A DRENAR EN EL RECINTO DE LA EXCAVACIÓN, SEGÚN LA APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DE LA ZANJA EQUIVALENTE - SALTO DE CARNERO – SAN FERNANDO DE HENARES					
CAUDAL ESTIMADO PARA L = 500 m		**ABREV.**	**VALOR 1 SÓLO LATERAL**	**VALOR 2 LATERALES (X2)**	**UNIDADES**
Caudal captado (m^3/s)	*Expresión general:* $Q = L \cdot \frac{K}{2R_Z} \cdot (2H - d) \cdot d$	Q	0.002	0.003	m^3/s
Caudal captado (L/s)		**Q**	**1.581**	**3.162**	**L/s**
Caudal específico (m^3/s x m.l.)		q	0.000003	0.00001	*m^3/s x m.l.*
Caudal específico (L/s x m.l.)		q	0.003	0.006	*L/s x m.l.*

Tabla 13 Estimación de caudales a drenar en el recinto de la excavación

Cálculo de caudales mediante la Fórmula de la Zanja Equivalente. Lateral 15 m:

Para el cálculo de la longitud de este lateral, se ha considerado la sección transversal de proyecto correspondiente al PK 0+800, incluyendo el espesor de la pantalla de micropilotes, ya que se asumen éstos posteriores a la excavación. Esto supone aproximadamente 15 m. En las siguientes tablas se resumen los parámetros utilizados y los resultados obtenidos de la aplicación de la *Fórmula de la Zanja* equivalente a cada uno de los laterales cortos. Se ofrece también el caudal por metro lineal de ambos laterales, en conjunto.

PARÁMETROS UTILIZADOS PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES A DRENAR EN EL RECINTO DE LA EXCAVACIÓN, SEGÚN LA APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DE LA ZANJA EQUIVALENTE - SALTO DE CARNERO – SAN FERNANDO DE HENARES			
PARÁMETRO	**ABREV.**	**VALOR**	**UNIDADES**
Espesor saturado estático del acuífero (m)	***Ho***	**18.75**	**m**
Nivel piezométrico a conseguir (m)	*H*	11.25	m
Descenso producido (m)	***d***	**7.5**	**m**
Coef. permeabilidad (m/s)	***K***	**1.00E-07**	**m/s**
Coef. permeabilidad (m/día)	*K*	8.64E-03	m/día
Transmisividad (m^2/s)	*T*	1.88E-06	m^2/s
Transmisividad (m^2/día)	*T*	1.62E-01	m^2/día
Longitud de la zanja (m)	***L***	**15.0**	**m**

Tabla 14 Parámetros utilizados para el cálculo de caudales a drenar en el recinto de la excavación

RADIOS DE INFLUENCIA DEL AGOTAMIENTO, SEGÚN LA APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DE LA ZANJA EQUIVALENTE - SALTO DE CARNERO – SAN FERNANDO DE HENARES			
RADIO DE INFLUENCIA	**ABREV.**	**VALOR**	**UNIDADES**
Distancia de Influencia captación (Formula Sichart)	R_Z	**3.56**	**m**

Tabla 15 Radios de influencia del agotamiento

ESTIMACIÓN DE CAUDALES A DRENAR EN EL RECINTO DE LA EXCAVACIÓN, SEGÚN LA APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DE LA ZANJA EQUIVALENTE - SALTO DE CARNERO – SAN FERNANDO DE HENARES					
CAUDAL ESTIMADO PARA L = 90 m		**ABREV.**	**VALOR 1 SÓLO LATERAL**	**VALOR 2 LATERALES (X2)**	**UNIDADES**
Caudal captado (m^3/s)	*Expresión general:* $Q = L \cdot \frac{K}{2R_z} \cdot (2H - d) \cdot d$	Q	0.000047	0.000095	m^3/s
Caudal captado (L/s)		**Q**	**0.047**	**0.095**	**L/s**
Caudal específico (m^3/s x m.l.)		q	0.000003	0.000006	*m^3/s x m.l.*
Caudal específico (L/s x m.l.)		q	0.003	0.006	*L/s x m.l.*

Tabla 16 Estimación de caudales a drenar en el recinto de la excavación

Caudales obtenidos en la estructura por el método de la Zanja Equivalente:

Como puede comprobarse, entre los cuatro laterales de la estructura se obtiene un caudal total de 3.257 l/s (≈ 3,5 l/s) para todo el recinto de la excavación. Por su parte, se ha estimado un caudal específico para cada metro lineal de sección completa, de 0.006 l/s (2 laterales) y un radio de influencia máximo perimetral de la excavación de aproximadamente 3.56 m.

Es preciso tener en cuenta la sobreestimación de estos datos de caudal, puesto que se está extrapolando el rebaje freático máximo de la sección con rasante más profunda a toda la estructura (al menos, a toda la estructura entre los puntos de intercepción de la zona de saturación de agua en el terreno). Es por ello que los caudales dados por este método han de considerarse como caudales máximos.

Por otra parte, se asume una excavación en terreno natural, en ausencia de la pantalla de micropilotes. Considerando la impermeabilización de estas estructuras, los caudales reales esperables resultarán se sensiblemente inferiores.

En las modelizaciones matemáticas efectuadas en los apartados siguientes, es posible solventar esta circunstancia.

3.2.5.3.1.2. ESTIMACIÓN DE CAUDALES MEDIANTE MODELIZACIÓN 2D – SECCIÓN LONGITUDINAL

Construcción de la malla

La construcción del perfil geológico objeto de modelización se ha elaborado a partir de la testificación del sondeo S-01 de la campaña de 2019.

El perfil modelizado consta de 3 capas de terreno natural que, de techo a muro, son:

- Capa 1: Capa correspondiente a las Terrazas Cuaternarias (Qt).
- Capa 2: Capa correspondiente a las Arcillas verdosas (“Gredas”) Terciarias (G).
- Capa 3: Capa correspondiente a las Arcillas con yesos Terciarias (Y).

En la siguiente figura se muestra la malla final y los materiales asignados a cada elemento. Se ha exagerado la escala vertical de la horizontal, con objeto de que los detalles en la vertical de las sucesivas simulaciones sean apreciables.

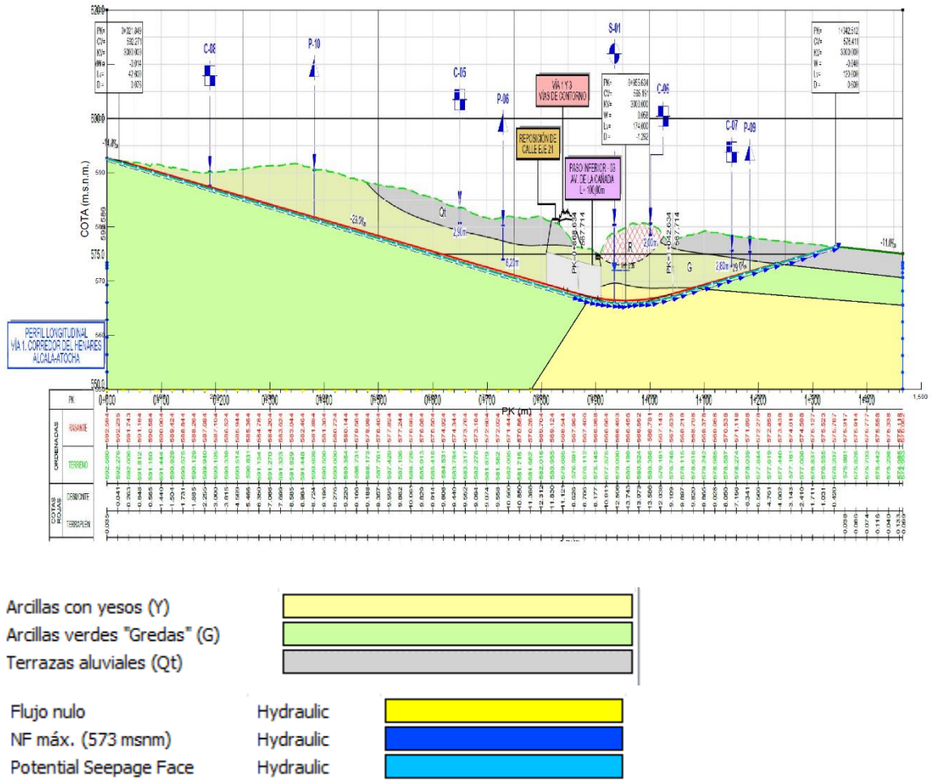


Figura 27. Malla del perfil longitudinal objeto de modelización (elaboración propia).

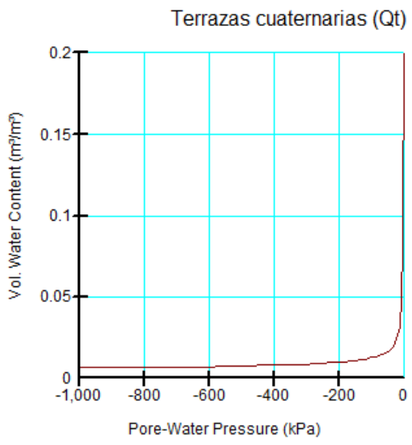
Parámetros hidrogeológicos

Según las estimaciones efectuadas en el apdo. 3.4.2.2., se han tomado los siguientes valores iniciales de referencia para definir cada uno de los materiales del modelo.

CAPA	MATERIAL	PERMEABILIDAD HORIZ. K_H (m/s)	RELACIÓN K_V/K_H	COEF. ALMACENAMIENTO
Capa 1	Terrazas Cuaternarias (Qt)	1,50E-05	0,5	0,2 (20%)
Capa 2	Arcillas verdosas ("Gredas") Terciarias (G).	1,00E-08	0,5	0,02 (2%)
Capa 3	Arcillas con yesos Terciarias (Y).	1,00E-07	0,5	0,02 (2%)

Tabla 17 Parámetros utilizados en el modelo para el cálculo de caudales a drenar en el recinto de la excavación

A pesar de que las simulaciones se han efectuado en Régimen Permanente, se ha definido un *Coeficiente de Almacenamiento* o *Contenido Volumétrico de Agua (Volumetric Water Content)*, con el fin de que el programa pueda definir más detalladamente la curva de succión (comportamiento de la permeabilidad en profundidad). Los valores tomados son estrictamente bibliográficos y se corresponden con valores intermedios de los rangos dados para la *porosidad eficaz* en *Sanders (1998).*



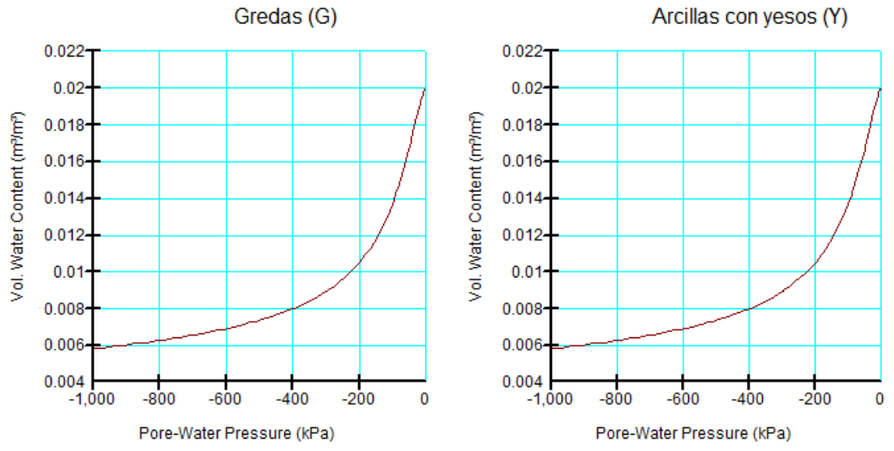
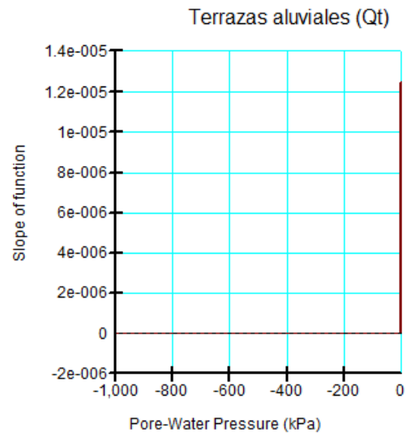


Figura 28. Curvas de variación del contenido volumétrico en agua en función de la presión de poro para los distintos materiales del modelo

Por su parte, el valor de la *permeabilidad horizontal (K_H)* en saturación para las distintas capas se ha fijado a partir de las estimaciones efectuadas con las curvas granulométricas según el apdo. 3.4.2.2.

En la figura que se muestra a continuación se presentan las curvas de ajuste para cada tipo de material del terreno.

Asimismo, para cada material se ha asumido una permeabilidad vertical (K_V) un orden de magnitud inferior a la horizontal, de forma que la relación K_H / K_V = 0,5.



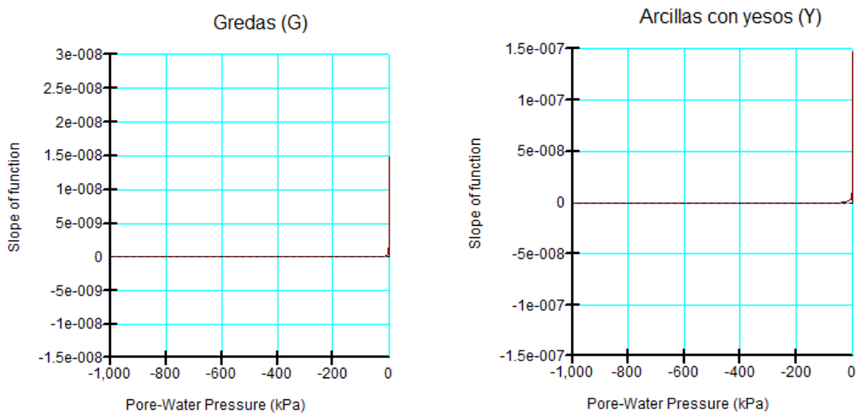


Figura 29. Curvas de variación de la permeabilidad saturada en función de la presión de poro para los distintos materiales del modelo

Nivel piezométrico estático

Se ha considerado un nivel freático inicial constante a una cota 573 m.s.n.m. Este dato proviene de aplicar la misma suposición sobre el escenario de aguas altas realizada en el apdo. 3.4.3.1.1. a la cota freática arrojada por el sondeo S-01. En la siguiente tabla, se resumen los datos de dicho sondeo

SONDEO	COTA SONDEO (msnm)	PROFUNDIDAD (m)	PROF. NIVEL FREÁTICO (m)	COTA NIVEL FREÁTICO (msnm)
S-01	580,313	25	8,35	571,9 ≈572

Tabla 18 Información NF en sondeo S-1 realizado en la zona del salto de carnero en San Fernando de Henares

Por último, se ha estimado un peso específico del agua de *9,807 kN/m^3* y un coeficiente de compresibilidad del agua constante (Mv) igual a *1 x 10-05 kPa.*

Condiciones de contorno

En los extremos de la primera capa del modelo se ha establecido la condición de ***potencial hidráulico constante*** (***Head - H***) igual ***a la cota 573 m.s.n.m.***, correspondiente al escenario freático de aguas altas. Ello implica que el flujo se establece exclusivamente hacia el interior del recinto objeto de modelización.

A efectos de asegurar el flujo hacia el interior de la excavación, se ha establecido la condición de ***Presión de poros*** (***Press. Head***) ***= 0 con la opción Potential Seepage Face***.

Con objeto de establecer la condición de flujo horizontal, ha establecido la condición de ***flujo nulo*** (***Total Flux = 0***) en todo el límite inferior del modelo.

Por último, se ha dispuesto de una ***sección de flujo*** (***Flux section***) a lo largo de toda la excavación, a fin de evaluar el caudal filtrado.

Resultados del cálculo de caudales de infiltración

En la siguiente figura se muestran los resultados del modelo.

La sección de flujo situada en el fondo de la excavación arroja un valor de ***3.856E-08 m3/s*** por metro lineal de sección longitudinal, que equivalen a ***3.856E-05 l/s***. Considerando que la sección modelizada corresponde al perfil longitudinal, la longitud transversal de la misma se cifraría en 15 m (según sección de máxima rasante en PK 0+800); la misma utilizada en los cálculos analíticos. El caudal total para el conjunto de la estructura, obtenido por modelización, resulta ser de ***0,0005784 l/s*** (***≈ 0,0006 l/s***).

Resulta llamativa la diferencia entre esta magnitud y la obtenida mediante la *Zanja equivalente* (3,5 l/s), superior a ésta en tres órdenes de magnitud. No obstante, es preciso tener en cuenta las premisas de cálculo asumidas en el método analítico (drenaje en terreno natural, exclusivamente a través de la unidad terciaria más permeable saturada, *Arcillas con yesos*), mientras que en el modelo matemático se ha asumido la geología completa, lo que supone que gran parte del drenaje se efectúa también a través de la unidad de Gredas, con una permeabilidad menor. Si bien el cálculo analítico arrojaba caudales máximos, con condicionantes que están claramente del lado de la seguridad, el caso de la modelización matemática resulta más aproximado a la realidad, por lo que se puede asumir que los caudales de infiltración serán ínfimos.

SECCIÓN DE FLUJO

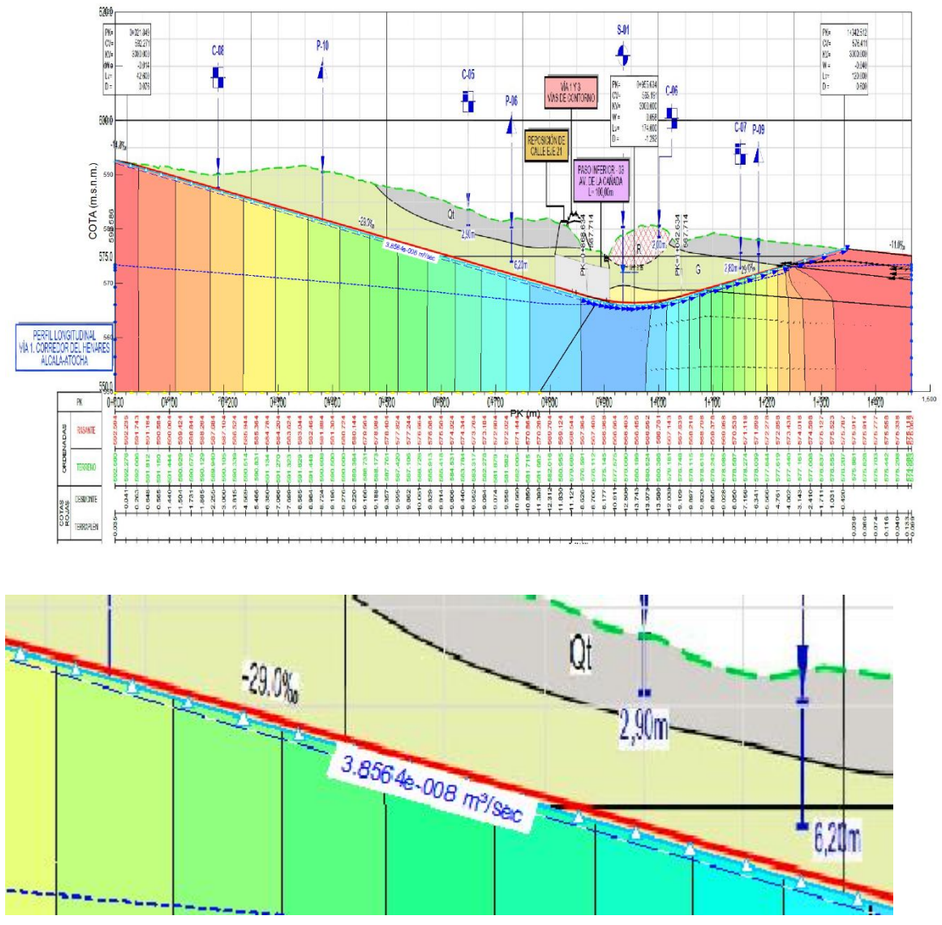


Figura 30. Arriba, Flujo subterráneo calculado para la sección modelizada. Abajo, detalle del dato de caudal específico arrojado por la sección de flujo.

3.2.5.3.1.3. ESTIMACIÓN DE CAUDALES MEDIANTE MODELIZACIÓN 2D – SECCIÓN TRANSVERSAL SEGÚN PK 0+800

De forma independiente, y a efectos de comprobación, se ha efectuado la modelización de una segunda sección, esta vez transversal a la estructura. Para ello, se ha empleado la sección correspondiente al PK 0+800, puesto que supone la menor cota de rasante (mayor profundidad de excavación) contemplada en proyecto para la estructura en cuestión.

Para la modelización de esta otra sección, la definición de parámetros de modelización, así como la de condiciones de contorno, son idénticas a las efectuadas en la sección longitudinal del apartado anterior. Cabe mencionar la introducción en el modelo de la pantalla de micropilotes prevista en la estructura del Salto de Carnero. En ella se ha considerado la longitud máxima prevista (14 m) y un diámetro redondeado a 1 m (originalmente; 0,85 m) En la siguiente figura se muestra la malla del modelo, sobre el CAD original de la sección:

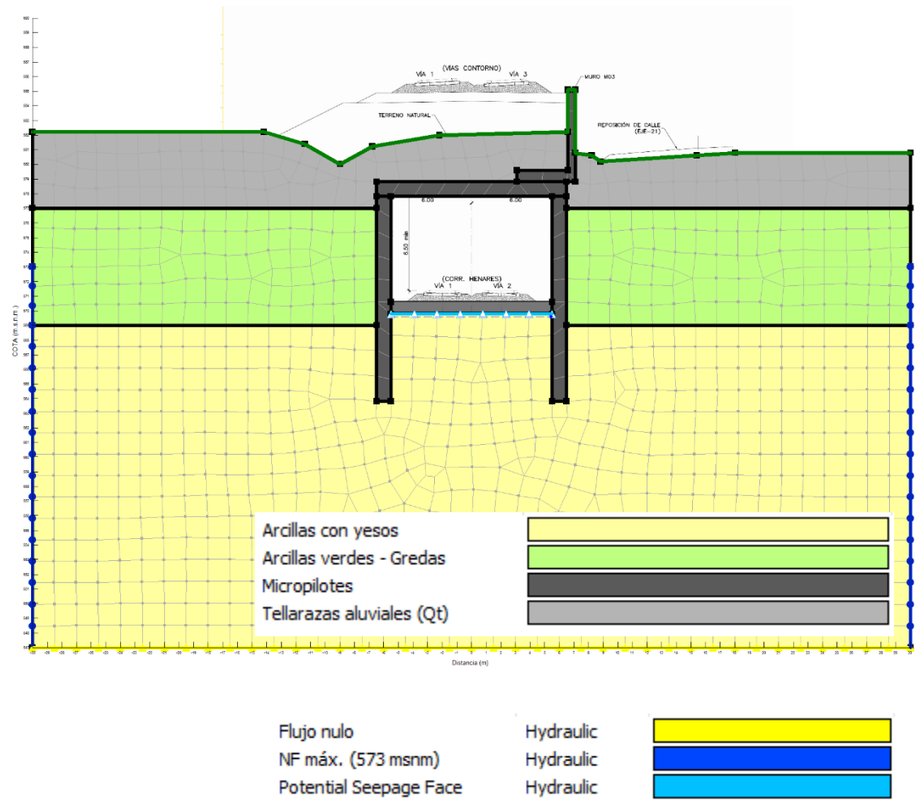


Figura 31. Malla del perfil transversal objeto de modelización (elaboración propia).

Por su parte, en la figura que se muestra a continuación, se muestran los resultados del modelo.

SECCIÓN DE FLUJO

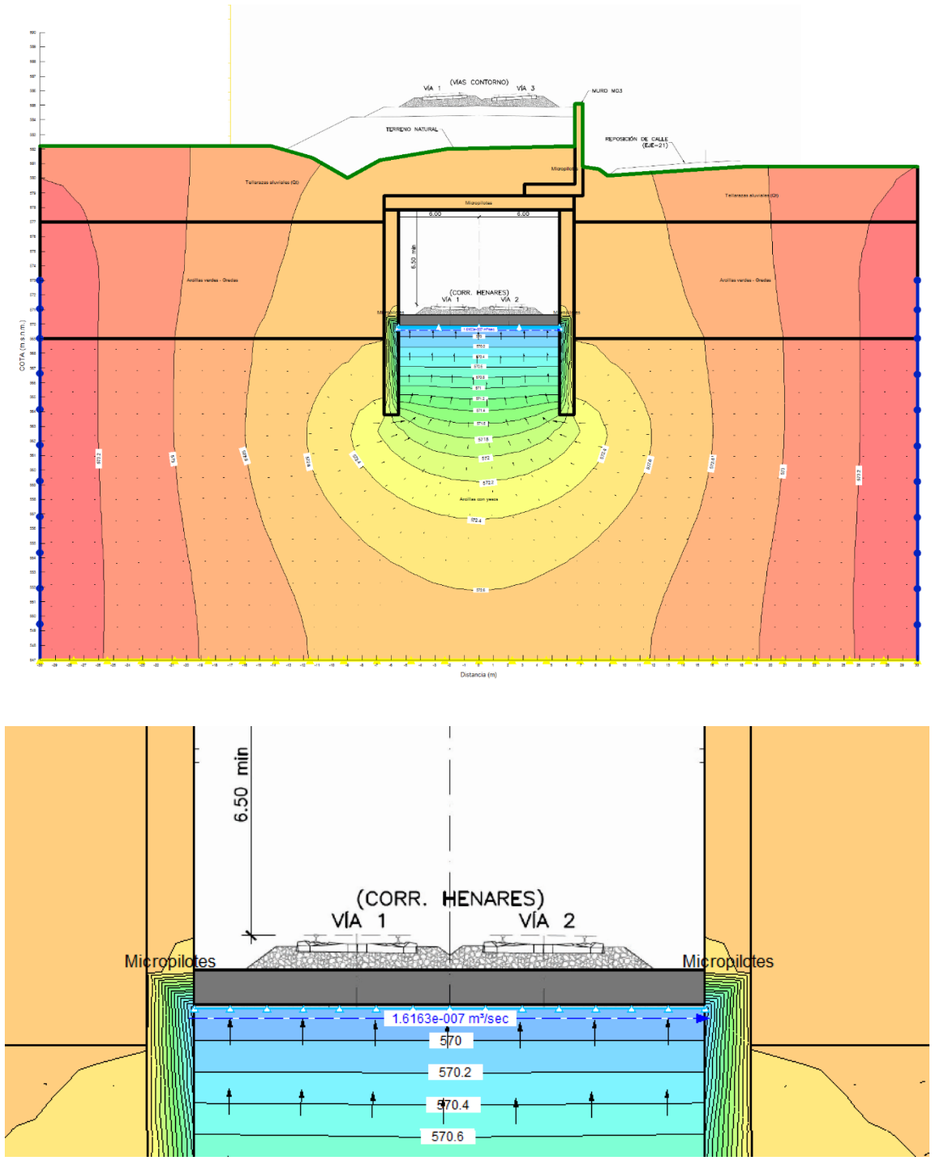


Figura 32. Arriba, Flujo subterráneo calculado para la sección modelizada. Abajo, detalle del dato de caudal específico arrojado por la sección de flujo.

La sección de flujo situada en el fondo de la excavación arroja un valor de ***1.6163E-07 (≈ 1.6E-07) m3/s*** por metro lineal de sección transversal, que equivalen a ***1.6E-04 l/s***. La longitud perpendicular a ésta (sección longitudinal) será, por tanto, de 500 m (entre los PPKK entre los que la rasante interfiere con el nivel freático de saturación máximo supuesto a partir del sondeo S-01); la misma utilizada en los cálculos analíticos. El caudal total para el conjunto de la estructura, obtenido para esta modelización, resulta ser de ***0.080815 l/s*** (***≈ 0,1 l/s***).

Se observa, en este caso, una magnitud más similar a la obtenida por medio de los cálculos analíticos, si bien la cifra es intermedia entre la de éstos y la arrojada en la modelización de la sección longitudinal. La razón de ello es que se está haciendo la misma extrapolación del rebaje freático máximo de la sección a todo el tramo de estructura que intercepta la zona de saturación de agua en el terreno (que incluye los 100 m del Salto de carnero). De la misma forma, los caudales obtenidos en este último cálculo han de considerarse también como caudales máximos.

3.2.5.3.1.4. VALORACIÓN DEL "EFECTO DRENAJE"

A la vista de los exiguos caudales, tanto específicos como totales, obtenidos por distintos métodos para el tramo en desmonte y la estructura del Salto de carnero en San Fernando de Henares, se descartan posibles afecciones de ésta al medio acuífero.

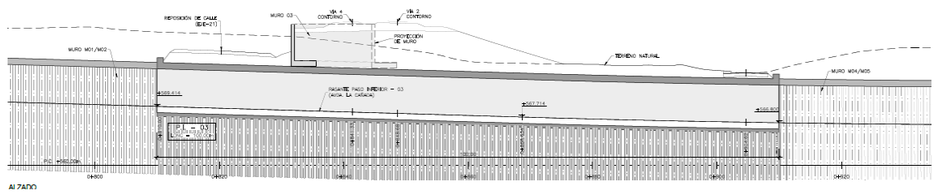
Esto viene también apoyado por el radio de influencia del rebaje freático, determinado a través de la *fórmula de la Zanja Equivalente*, 3,6 m, despreciable frente a las dimensiones totales de la propia excavación.

Por último, es preciso considerar que el propio medio subterráneo no puede considerarse como un medio acuífero, dadas las permeabilidades bajas o muy bajas de los materiales terciarios. La única formación en el ámbito de San Fernando corresponde a las terrazas cuaternarias que, no obstante, se encuentran secas (según datos del sondeo S-01). La única formación que puede considerarse acuífera corresponde a las terrazas aluviales cuaternarias que, en esta zona, no se encuentran saturadas (salvo marginalmente a partir del PK 1+000). En cualquier caso, el posible drenaje a través del sustrato Terciario hacia la excavación, resultaría ínfimo, por lo que no es previsible que llegue a comprometerse el recurso.

En este sentido, los caudales estimados pueden corresponderse con el drenaje del agua de saturación inmediata al perímetro de las obras. Es de esperar que, una vez drenado este entorno, los caudales vayan reduciendo su magnitud hasta desaparecer.

3.2.5.3.2. ESTUDIO DEL POSIBLE "EFECTO BARRERA" DE LAS PANTALLAS DE MICROPILOTES EN EL SALTO DE CARNERO Y DESMONTE PROYECTADO EN SAN FERNANDO DE HENARES

Como se comentaba anteriormente, en la estructura subterránea del Salto de Carnero previsto en la Alternativa 1, se contempla su construcción al amparo de sendas pantallas de micropilotes. Cada micropilote presenta un diámetro de 0,85 m y una separación entre ejes de 1 m, lo que deja un espacio entre pares de 0,15 m. La longitud de éstos oscilará entre 6 y 14 m, según la sección, con una media de 10 m.



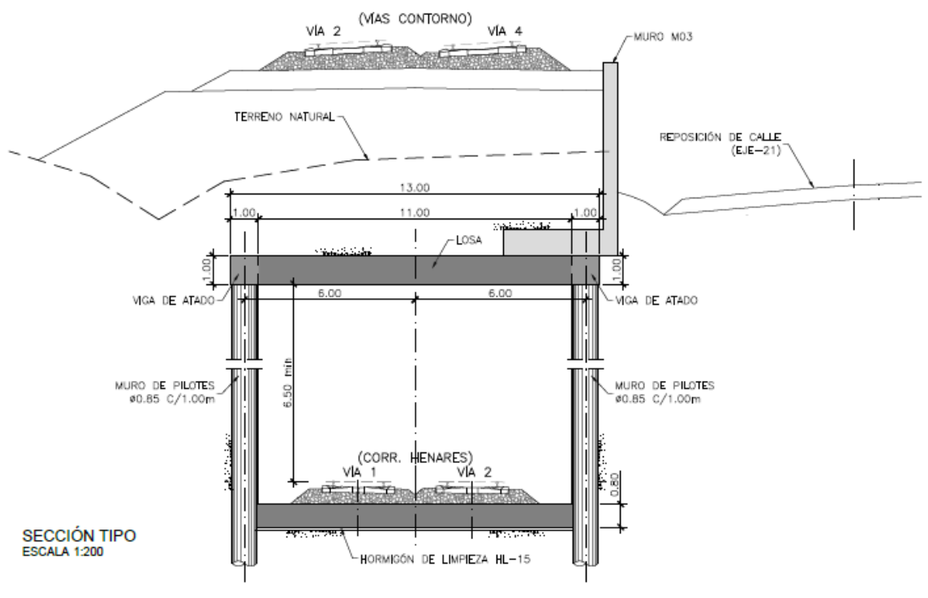


Figura 33. Planta y sección transversal de la pantalla de micropilotes proyectada en el Salto de carnero (elaboración propia)

A falta de definir (en fases posteriores del proyecto) las profundidades de empotramiento finales de cada tramo de las pantallas, así como su longitud, resulta evidente que éstas se empotran en varios metros en la Zona saturada (dado que el nivel freático se sitúa a 573 m.s.n.m.), al menos, en la parte de menor cota de rasante.

No obstante, se hace hincapié en que el medio geológico no puede considerarse como un acuífero en sí mismo, tal y como demuestran las permeabilidades obtenidas para cada material; en especial, para el sustrato Terciario, donde se desarrolla la mayor parte de la obra subterránea. El agua detectada en él se corresponde con agua de saturación, sin apenas flujo a su través.

Así pues, el posible "efecto barrera" (de llegar a producirse) se reduciría al entorno inmediato de las pantallas, con radios de influencia muy reducidos. Dado que existe espacio entre micropilotes y que la punta de éstos deja también margen dentro del sustrato Terciario, cabe considerar cierta restitución del escaso flujo que pudiera existir en él, si bien, no es de esperar que ésta sea muy efectiva. Asimismo, y debido a la baja permeabilidad del medio, tampoco caben considerar medidas artificiales adicionales de restitución, dado que su eficacia seria, igualmente, muy escasa.

3.2.5.3.3. ESTUDIO DE POSIBLES AFECCIONES A CAPTACIONES EXISTENTES, ZONAS PROTEGIDAS Y CAUCES SUPERFICIALES EN EL SALTO DE CARNERO Y DESMONTE PROYECTADO EN SAN FERNANDO DE HENARES

Como se ha comentado en los apartados anteriores, dada la baja permeabilidad del medio, no es esperable que la influencia del drenaje producido por las obras, o del posible "efecto barrera" de la estructura definitiva, se propaguen a una distancia muy superior al propio perímetro de las obras.

A la vista de la lejanía de posibles puntos de agua, cauces o Zonas protegidas, puede descartarse la afección a cualquiera de estos elementos.

3.2.5.3.4. RECOMENDACIONES GENERALES PARA EVITAR LA GENERACIÓN DE VERTIDOS ACCIDENTALES DURANTE LA FASE DE OBRA.

Por lo que respecta a la preservación de la calidad del agua subterránea, a continuación se proponen las medidas preventivas al uso, destinadas a evitar y prevenir la contaminación de las aguas subterráneas:

- Realizar un control estricto sobre los posibles vertidos accidentales de contaminantes (aceites, combustibles, lechadas, etc.) que se produzcan directa o indirectamente sobre los terrenos afectados y a los cauces. Este control evitará en

todo lo posible que el vertido se produzca y, en caso de producirse, éste será rápidamente retirado del terreno, así como tratados los suelos afectados.

- Se evitará situar instalaciones auxiliares para la obra, como plantas de hormigonado, casetas de obra, parques de maquinaria, etc. sobre terrenos con una vulnerabilidad alta o muy alta. Se recomienda situar estas zonas sobre áreas adecuadas y correctamente impermeabilizadas. Se tomarán las medidas oportunas para recoger el agua de escorrentía que circula por estas zonas durante la duración de la obra. Posteriormente, a la finalización de la obra, se retirará la capa impermeable y se restituirán las condiciones naturales del terreno.
- Se evitará el vertido sobre el terreno y cauces de las aguas residuales generadas durante la realización de la obra. Éstas serán convenientemente depuradas con los tratamientos necesarios y se realizará un seguimiento analítico de las aguas, antes, durante y después de su depuración. Éstas solo serán vertidas cuando no se sobrepasen los valores establecidos por la legislación vigente relativa a vertidos.
- Las operaciones de mantenimiento de maquinaria deberán realizarse, en la medida de lo posible en áreas especializadas (talleres), en caso de no ser posible, se realizarán en zonas preparadas al efecto y los productos contaminantes generados deberán ser convenientemente recogidos y trasladados a una instalación especializada para su reciclaje.
- Se aconseja, muy especialmente, evitar cualquier tipo de vertido directo al terreno a través de excavaciones abiertas, pozos, sondeos o taladros realizados durante la obra o previamente existentes. Para ello, se sellará convenientemente con lechadas de cemento bentonita u hormigón, lo más rápidamente posible, cualquier tipo de taladro que quede dentro de las zonas de asentamiento permanente o provisional de la obra.
- Aquellos pozos o sondeos que por alguna razón sea necesario conservar después de la obra, serán entubados, se les colocará una tapa adecuada que evite cualquier tipo de vertido furtivo o accidental y se cementará adecuadamente el espacio anular comprendido entre la entubación y el terreno en los 2-3 m superiores a modo de sello sanitario, para evitar la entrada de contaminantes a través de este espacio anular.
- En las excavaciones abiertas, se recomienda, especialmente, evitar el vertido de escombros o aguas residuales en las zanjas abiertas, así como ser muy estrictos en cuanto al tipo de materiales usados para rellenar las zanjas.

En cuanto a la vigilancia de posibles afecciones a la cantidad del recurso subterráneo, se recomienda efectuar un seguimiento de la piezometría durante el tiempo que se prolonguen las obras, en los sondeos disponibles en la zona (tanto procedentes de campañas pasadas como de las campañas propuestas en este PC), con frecuencia semanal.

4. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

4.1. INTRODUCCIÓN Y METODOLOGÍA

En este apartado se ha estudiado la caracterización geotécnica de los materiales presentes en la zona del proyecto, sirviéndose de los ensayos de campo y de laboratorio realizados.

Se ha realizado una clasificación geotécnica en función de la geología de la zona. El substrato geológico de la zona de estudio está constituido por materiales arcósicos y areno-arcillosos terciarios. Sobre estos materiales se disponen rellenos de origen antrópico.

En las investigaciones realizadas se han detectado cinco tipos de materiales que se han clasificado en cinco unidades geotécnicas:

- Unidad geotécnica R_3: correspondiente a los rellenos y vertidos antrópicos
- Unidad geotécnica Qt: correspondiente a los depósitos cuaternarios de terrazas del río Jarama
- Unidad geotécnica Am: correspondiente a los materiales terciarios, arenas arcósicas de grano grueso, comúnmente conocidos como “arenas de miga”
- Unidad Geotécnica G: correspondiente a materiales terciarios arcillosos de tonos marrones y verdosos, comúnmente conocidos como “gredas”
- Unidad geotécnica Y: corresponde a las arcillas con yesos tableados y nodulares.

Para cada unidad anteriormente descrita, en primer lugar, se presenta un resumen de los ensayos realizados, para pasar a estudiar su granulometría y su clasificación U.S.C.S.

Finalmente se realiza el estudio de las características mecánicas de los suelos con el objeto de definir los parámetros de resistencia y deformación.

El **modelo de resistencia** que se ha considerado para los **suelos** es el clásico de Mohr-Coulomb, que queda definido por sólo dos parámetros, la cohesión (c) y la fricción (ϕ). Mediante estos dos parámetros se relaciona la resistencia a corte y la tensión normal mediante la siguiente expresión:

$$\tau = c + s \tan \phi$$

Esta relación puede expresarse en términos de la tensión principal mayor y la menor mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_1 = \frac{2 \cdot c \cdot \cos\phi}{1 - sen\phi} + \frac{1 + sen\phi}{1 - sen\phi}\sigma_3$$

Los valores de cohesión y rozamiento pueden obtenerse de ensayos de corte directo y/o triaxiales, o mediante correlaciones con otros parámetros. En el caso de los rellenos antrópicos ejecutados con fines estructurales, y por lo tanto compactados, y en ausencia de ensayos específicos, los valores de los parámetros geotécnicos pueden estimarse a través de la tabla que se muestra en la figura incluida a continuación**:**

Tabla V.8

PROPIEDADES TIPICAS DE SUELOS COMPACTADOS (NAVFAC, 1971)

Símbolo del grupo	Tipo de suelo	Cohesión (compactado) t/m²	Cohesión (saturado) t/m²	Angulo roza. int. efect. φ' grados	tg φ'
GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y de arena	0	0	> 38°	> 0,79
GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y de arena	0	0	> 37°	> 0,74
GM	Gravas limosas, mezclas de grava-arena-limo mal graduadas			> 34°	> 0,67
GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava-arena-arcilla mal graduadas			> 31°	> 0,60
SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava	0	0	38°	0,79
SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava	0	0	37°	0,74
SM	Arenas limosas, mezclas de arena-limo mal graduadas	5,13	2,05	34°	0,67
SM-SC	Mezclas de arena-limo-arcilla con finos poco plásticos	5,13	1,46	33°	0,66
SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena-arcilla	7,57	1,12	31°	0,60
ML	Limos inorgánicos y limos arcillosos	6,83	0,93	32°	0,62
ML-CL	Mezcla de limo inorgánico y arcilla	6,59	2,24	32°	0,62
CL	Arcillas inorgánicas poco plásticas o de plasticidad mediana	8,79	1,32	28°	0,54
OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas poco plásticas	—	—	—	—
MH	Limos arcillosos inorgánicos, suelos limosos	7,32	2,05	25°	0,47
CH	Arcillas inorgánicas muy plásticas	10,5	1,12	19°	0,35
OH	Arcillas orgánicas y arcillas limosas	—	—	—	—

Figura 34 Propiedades típicas de suelos compactados

Los datos del ensayo SPT permiten estimar el ángulo de rozamiento interno de los **materiales granulares**, bien indirectamente, a partir de la densidad relativa, bien directamente, a partir del valor del golpeo N_{SPT}. En el siguiente cuadro se presenta la relación entre los valores de N_{SPT} y del ángulo de rozamiento orientativo, según la correlación propuesta por Terzaghi y Peck (1997).

N_{SPT}	COMPACIDAD	ÁNGULO DE ROZAMIENTO (°)	E (kg/cm2)
< 4	muy suelto	28	100
4-10	Suelto	28-30	100-250
10-30	medio denso	30-36	250-500
30-50	Denso	36-41	500-1000
> 50	muy denso	>41	> 1000

Tabla 19 Correlación de Terzaghi y Peck entre SPT, ángulo de rozamiento interno y módulo de deformación (1967)

Para la estimación de la resistencia al corte no drenado de un suelo, es típico suponer que el suelo se encuentra saturado y por tanto se comporta como un material puramente cohesivo. Así, el modelo de Mohr-Coulomb converge a:

$$\tau = c_u$$

La cohesión no drenada c_u se puede deducir del ensayo a compresión simple en suelos. Siendo:

$$c_u = q_u/2$$

Donde q_u es la resistencia a compresión simple obtenida del ensayo de laboratorio

En cuanto a la estimación de los parámetros deformacionales, en el caso de **terrenos granulares**, se puede hacer una primera aproximación a partir de los datos obtenidos en el ensayo SPT. Para los cálculos se ha tenido en cuenta las siguientes aproximaciones empíricas:

Para gravas y bolos

- Bowles (1987) $E\ (MPa) = 7,5 + 0,5\ N_{30}$
- Wrench y Nowatzki $E\ (MPa) = 2,22 \times N_{30}^{0,88}$
- Beguemann para $N_{SPT} > 15$ $E\ (kp/cm2) = 40 + 12\ (N_{SPT} - 6)$

Para arenas y arenas arcillosas:

- Webb $E\ (kp/cm^2) = 5\ (N_{30} + 15)$ para arenas finas por encima del nivel freático
  $E\ (kp/cm^2) = 3,30\ (N_{30} + 15)$ para arenas arcillosas

Para limos:

- Webb $E\ (MPa) = 3,16 \times N_{30} + 15,8$

Para arcillas o arenas arcillosas de alteración:

- Denver $E\ (kp/cm^2) = 70 \times (N_{30})^{0,5}$

Para arcillas muy consolidadas (terciarias):

- $E(kp/cm^2) = 250\text{-}300Cu$

En el caso de **terrenos cohesivos,** para obtener los parámetros de deformabilidad de un terreno, se puede hacer una estimación a partir de la resistencia al corte sin drenaje. Para los cálculos se ha tenido en cuenta las siguientes aproximaciones empíricas:

Tabla D.23. Valores orientativos de N_{SPT}, resistencia a compresión simple y módulo de elasticidad de suelos

Tipo de suelo	N_{SPT}	q_u (kN/m^2)	E (MN/m^2)
Suelos muy flojos o muy blandos	< 10	0 - 80	< 8
Suelos flojos o blandos	10 - 25	80 - 150	8 – 40
Suelos medios	25 - 50	150 - 300	40 – 100
Suelos compactos o duros	50 – Rechazo	300 - 500	100 – 500
Rocas blandas	Rechazo	500 – 5.000	500 – 8.000
Rocas duras	Rechazo	5.000 – 40.000	8.000 – 15.000
Rocas muy duras	Rechazo	> 40.000	>15.000

Figura 35 Correlación entre SPT, qu y módulo de deformación elástico según el CTE.

También se ha tenido en cuenta los parámetros geotécnicos asignados para las unidades de los suelos de Madrid de Rodríguez Ortiz (1989):

CUADRO 1.12. **PARAMETROS CARACTERISTICOS DEL SUELO (1)**

TIPO DE SUELO	GRANULOMETRIA <0,06	GRANULOMETRIA <2,0	LIMITES DE ATTERBERG (Fracción <0,04 mm)			PESO ESPECIFICO		HDAD. NATURAL	PROCTOR NORMAL		DEFORMABILIDAD (2)			RESISTENCIA AL CORTE			PERM.
	mm %	mm %	w_L %	w_P %	I_P %	γ t/m^3	γ_{sum} t/m^3	w %	D. seca t/m^3	w_{PN} %	$E_s = E_0 \left(\frac{\sigma}{\sigma_{at}}\right)^{\alpha}$ E_o kp/cm^2			φ' (°)	c' t/m^2	φ'_r	K m/s
						1,60	0,95	5	1,70	8	400	0,60	34	—	32		2.10^{-1}
Grava	<5	<60	—	—	—	1,90	1,05	2	1,90	5	900	0,40	42	—	35		1.10^{-2}
						2,10	1,15	7	2,00	7	400	0,70	35	—	32		1.10^{-2}
Grava arenosa con pocos finos	<5	<60	—	—	—	2,30	1,35	3	2,25	4	1100	0,50	45	—	35		1.10^{-6}
Grava arenosa con finos limosos o arcillosos que no alteran la estructura granular	8 15	<60	20 45	16 25	4 25	2,10 2,40	1,15 1,45	9 3	2,10 2,35	7 3	400 1200	0,70 0,50	35 43	1 0	32 35		1.10^{-5} 1.10^{-8}
Mezcla de gravas y arenas envueltas por finos	20 40	<60	20 50	16 25	4 30	2,00 2,25	1,05 1,30	13 5	1,90 2,20	10 5	150 400	0,90 0,70	28 35	3 0,5	22 30		1.10^{-8} 1.10^{-11}
Arena uniforme a) Fina	<5	100	—	—	—	1,60 1,90	0,95 1,10	22 8	1,60 1,75	15 10	150 300	0,75 0,60	32 40	— —	30 32		2.10^{-4} 1.10^{-5}
Arena uniforme b) Gruesa	<5	100	—	—	—	1,60 1,90	0,95 1,10	16 6	1,60 1,75	13 8	250 700	0,70 0,55	34 42	— —	30 34		5.10^{-3} 2.10^{-4}
Arena bien graduada y arena con grava	<5	60	—	—	—	1,80 2,10	1,00 1,20	11 5	1,90 2,15	10 6	200 600	0,70 0,55	33 41	— —	32 34		5.10^{-4} 2.10^{-5}
Arena con finos que no alteran la estructura granular	8 15	>60	20 45	16 25	4 25	1,90 2,25	1,05 1,30	15 4	2,00 2,20	13 7	150 500	0,80 0,65	32 40	1 0	30 32		1.10^{-5} 1.10^{-7}
Arena con finos que alteran la estructura granular	20 40	>60	20 50	16 30	4 30	1,80 2,15	0,90 1,10	20 8	1,70 2,00	18 12	50 250	0,90 0,75	25 32	5 1	22 30		1.10^{-7} 1.10^{-10}
Limo poco plástico	>50	>80	25 35	20 28	4 11	1,75 2,10	0,95 1,10	28 15	1,60 1,80	22 15	40 110	0,80 0,60	28 35	2 0,5	25 30		1.10^{-5} 1.10^{-8}
Limo de plasticidad media a alta	>80	>100	35 50	22 25	7 20	1,70 2,00	0,85 1,05	35 20	1,55 1,75	23 16	30 70	0,90 0,70	25 33	3 1	22 29		2.10^{-6} 1.10^{-9}
Arcilla de baja plasticidad	>80	100	25 35	15 22	7 16	1,90 2,20	0,95 1,20	28 14	1,65 1,85	20 14	20 50	1,00 0,90	24 32	6 1,5	20 28		1.10^{-7} 2.10^{-9}
Arcilla de plasticidad media	>90	100	40 50	18 25	16 28	1,80 2,10	0,85 1,10	38 18	1,55 1,75	23 17	10 30	1,00 0,95	20 30	8 2	10 20		5.10^{-8} 1.10^{-10}
Arcilla de alta plasticidad	100	100	60 85	20 35	33 55	1,65 2,00	0,70 1,00	55 20	1,45 1,65	27 20	6 20	1,00 1,00	17 27	10 3	6 15		1.10^{-9} 1.10^{-11}
Limo o arcilla orgánicos	>80	100	45 70	30 45	10 30	1,55 1,90	0,55 0,90	60 30	1,45 1,70	27 18	5 20	1,00 0,85	20 26	7 2	15 22		1.10^{-8} 1.10^{-11}
Turba	—	—	—	—	—	1,04 1,30	0,04 0,30	800 100	—	—	3 8	1,00 1,00	25 30	1,5 0,5	—		1.10^{-5} 1.10^{-8}
Fango	—	—	100 250	30 80	50 170	1,25 1,60	0,25 0,60	200 50	—	—	4 15	1,00 0,90	22 28	2 0,5	—		1.10^{-7} 1.10^{-9}

(1) Según el Grundbau-Taschenbuch, 3.ª ed. 1.ª Parte, 1980.
(2) $\sigma_{at} = 0{,}1$ kp/cm^2

Figura 36 Curso aplicado de cimentaciones (4ª ed). Rodríguez Ortiz, J.M., Serra Gesta, J., Oteo Mazo, C. 1989. Pág.32.

4.2. CARACTERIZACIÓN UNIDADES

4.2.1. MATERIALES TERCIARIOS

Todos los materiales que configuran el sustrato de las zonas de estudio pertenecen al Mioceno Medio, y más concretamente al Aragoniense. Se han diferenciado básicamente tres tipos litológicos que son, de más antiguo a más moderno, los siguientes: Arcillas con yesos tableados y nodulares (Y), arcillas verdosas y marrones, “gredas” (G), con presencia en el entorno de San Fernando de Henares, y arenas arcósicas con intercalaciones arcillosas (Am) en Campo de las Naciones y Rejas.

4.2.1.1. ARCILLAS CON YESOS TABLEADOS Y NODULARES (Y)

Esta unidad consiste en una alternancia entre arcillas de tonos pardo-grises, en ocasiones laminadas, y bancos yesíferos con espesores variables entre unos centímetros hasta 2 o 3 metros. La sedimentación de esta unidad corresponde a un lago salino, con oscilaciones en el espesor de la lámina de agua. Esta unidad aparece en la zona de San Fernando de Henares. Se ha perforado en el sondeo S-1 realizado para el presente proyecto en la zona de San Fernando de Henares, a partir de la muestra realizada a 11,00 m de profundidad, bajo la unidad de las arcillas verdosas de la unidad G. En esta zona, según la testificación del sondeo, se produce una variación entre la proporción de yeso y la de arcilla.

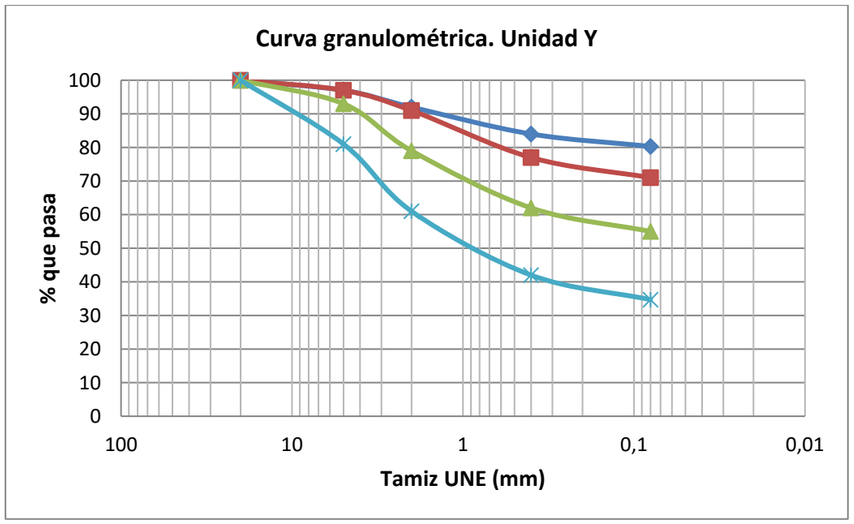
En el siguiente cuadro se incluyen los ensayos de laboratorio realizados en las muestras de los sondeos pertenecientes a esta unidad.

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA				HUMEDAD Y DENSIDAD			GRANULOMETRÍA (mm)					LÍMITES DE ATTERBERG			C. SIMPLE		CORTE DIRECTO			PARÁMETROS QUÍMICOS			CLASIFICACIÓN	
Sondeo / Calicata	Cotas	Tipo de muestra	Unidad geotécnica / Litología	Humedad (%)	D.seca (g/cm³)	D. natural (g/cm³)	20	5	2	0,4	0,08	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de plasticidad	Sc (kg/cm²)	% Deformación	Tipo	C (kg/cm²)	Fricción (º)	Ión sulfato (mg/kg)	Acidez Baumann-Gully (ml/kg)	Contenido en yesos (%)	U.S.C.S.	AASHTO
S-1	11,00-11,42	MI	Arcillas negras	26,0	1,48	1,86	100	97	92	84	80,3	55,5	30,5	25,0	3,29	6						37,98	MH	A-7-5 (22)
S-1	11,42-11,68	SPT	Arcillas yesíferas				100	97	91	77	71,0	57,7	29,9	27,8						4286	25,6		CH	A-7-6 (20)
S-1	13,20-13,40	TP	Arcillas yesíferas	24,7	1,62	2,02	100	93	79	62	55,0	48,0	26,7	21,3			CU	0,63	35,9				CL	A-7-6 (9)
S-1	19,80-20,20	TP	Arcillas yesíferas	25,8	1,56	1,96									6	8				7815	13,3			
S-1	24,65-24,85	TP	Arcillas yesíferas	20,8	1,72	2,08	100	81	61	42	34,7	44,3	31,2	13,1			CU	0,50	29,7				SM	A-2-7 (1)
Nº ensayos				4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	2	1	4	4
Máximo				26,0	1,72	2,08	100	97	92	84	80,3	57,7	31,2	27,8	6,00	8	-	0,63	35,9	7815	25,6	37,98	-	-
Mínimo				20,8	1,48	1,86	100	81	61	42	34,7	44,3	26,7	13,1	3,29	6	-	0,50	29,7	4286	13,3	37,98	-	-
Promedio				24,3	1,60	1,98	100	92	81	66	60,3	51,4	29,6	21,8	4,65	7	-	0,57	32,8	6051	19,5	37,98	-	-

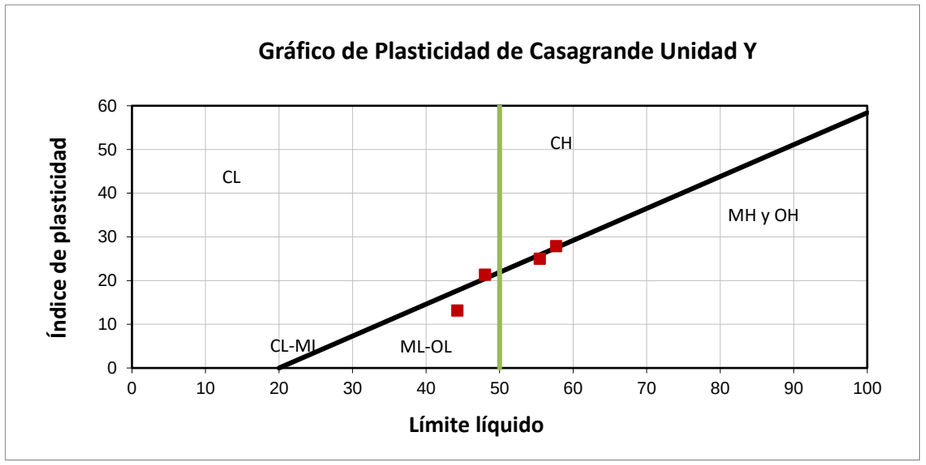
Tabla 20 Ensayos de laboratorio realizados en la unidad Y

Características de identificación y estado

Tal y como muestra la curva granulométrica de los ensayos realizados en esta unidad tienen un carácter principalmente cohesivo, con un porcentaje de materiales que pasan por el tamiz UNE 0,08 de entre 34,7% y 80,3% obteniendo un valor representativo de 60,3%. Se incluye a continuación el huso granulométrico de las tres muestras ensayadas:



Los límites de Atterberg obtenidos en los ensayos se han representado en el siguiente gráfico, correspondiendo con arcillas inorgánicas de alta y baja plasticidad, limos poco plásticos y arenas limosas.



En relación a la humedad natural que presenta se han obtenido valores entre el 20,8 y 26%, con un valor medio del 24,3%.

Se adopta como densidad aparente y seca características de la unidad los siguientes valores:

- Densidad Aparente: 1,98 g/cm^3
- Densidad Seca: 1,60 g/cm^3**.**

Características resistentes

En el cuadro se incluyen los golpeos de la unidad en función de la profundidad:

	Tipo	Prof (m)	N_{30}
S-1	MI	11,20	R
	SPT	11,55	R
	SPT-C	15,5	R
	SPT-C	19,5	84
	SPT-C	23,25	R

Tabla 21 Golpeos SPT en la unidad Y

La mayoría de los ensayos han dado rechazo, para los cuales se ha tomado un valor de N_{30} = 50.

Se cuenta con dos ensayos de resistencia a compresión simple, obteniéndose un valor promedio de 460 kN/m^2. Se cuenta además con dos ensayos de corte directo CD, a partir de los cuales se han adoptado los siguientes parámetros resistentes:

$$\phi = 32°$$

$$c = 56 \text{ kN/m}^2$$

Estos valores son coherentes con los valores de la bibliografía para estas unidades.

Características de deformabilidad

A la vista de los golpeos obtenidos, se pueden clasificar como suelos compactos o duros. La estimación de los parámetros de deformación se ha realizado a partir de los ensayos in situ SPT. A partir del cuadro incluido en el apartado metodología, donde se correlaciona SPT, q_u y módulo de deformación, se asignan los siguientes parámetros de cálculo:

$$E = 100\text{-}500 \text{ MN/m}^2$$

$$\upsilon = 0{,}27$$

Características químicas

Se cuenta con dos ensayos de contenido en sulfatos y dos de acidez. Según el contenido en sulfatos, a partir de los criterios definidos en la Norma EHE-08, estos suelos presentan ataque medio (Qb).

Como contenido en yeso, se cuenta con un ensayo que arroja un valor elevado, de 39%.

4.2.1.2. ARCILLAS VERDOSAS Y MARRONES, GREDAS (G)

Esta unidad está compuesta por arcillas verdosas algo abigarradas en tonos pardos y granates. Presentan carbonatos e indicios de grava y arena.

Esta unidad se ha reconocido en el sondeo S-1 y en las catas C-1, C-2, C-3, C-4 y C-7, realizados para el presente proyecto en la zona de San Fernando de Henares.

Para la caracterización de esta unidad se han empleado los ensayos de laboratorio recogidos en la tabla siguiente:

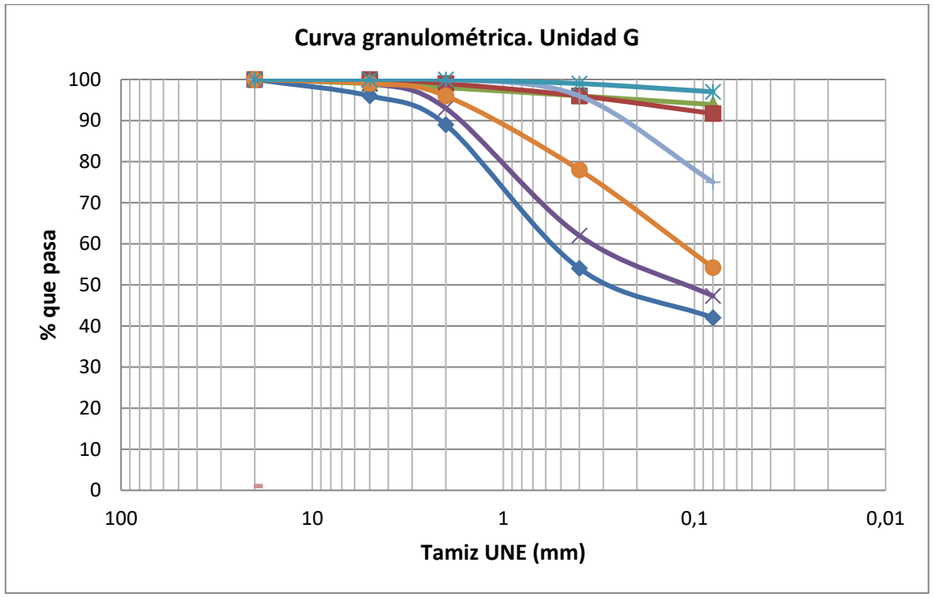
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	HUMEDAD Y DENSIDAD	GRANULOMETRÍA (mm)	LÍMITES DE ATTERBERG	CORTE DIRECTO	P.HINCH AMIENT	PROCTOR	C.B.R.	PARÁMETROS QUÍMICOS	CLASIFICACIÓN

Sondeo / Calicata	Cotas	Tipo de muestra	Unidad geotécnica / Litología	Humedad (%)	D.seca (g/cm³)	D. natural (g/cm³)	100	63	50	20	5	2	0,4	0,08	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de plasticidad	Tipo	C (kg/cm²)	Fricción (º)		Tipo	H. Óptima (%)	D. Máx (g/cm³)	CBR al 95%	CBR al 100%	% Hinch.	M.O. (%)	CaCO₃ (%)	lón sulfato (mg/kg)	Sales solubles (%)	Contenido en yesos(%)	U.S.C.S.	AASHTO
C-1	1,20	S	Arc.marg.				100	100	100	100	99	98	96	93,9	46,6	24,7	21,8					M	27,1	1,47	5	6	5,57	0,34			0,94		CL	A-7-6 (23)
C-2	1,70	S	Arc. Cementada				100	100	100	100	99	93	62	47,3	47,8	27,9	19,8												5				SM	A-7-6 (6)
C-2	2,70	B	Arc.marg.				100	100	100	100	96	89	54	42,0	74,4	40,4	34,0				0,2								161			SM	A-7-5 (9)
C-3	1,70	S	Arc.marg.				100	100	100	100	100	99	96	91,7	70,8	28,9	41,9															CH	A-7-6 (45)
C-4	2,40	B	Limos con carbonatos				100	100	100	100	99	96	78	54,2	79,6	31,5	48,1															CH	A-7-5 (23)
C-7	2,50	B	Arc. Con arena				100	100	100	100	100	100	96	75,0	38,7	16,5	22,2				0,2								5,4			0	CL	A-6 (15)
S-1	7,20-7,80	MI	Arcillas verdes	33,7	1,39	1,86	100	100	100	100	100	100	99	97,0	64,7	28,2	36,5	CD	0,44	35,9												CH	A-7-6 (42)
Nº ensayos				1	1	1	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	7	7
Máximo				33,7	1,39	1,86	100	100	100	100	100	100	99	97	79,6	40,4	48,1	-	0,44	35,9	0,2	-	27,1	1,47	5	6	5,57	0,34	5,4	161	0,94	0,00	-	-
Mínimo				33,7	1,39	1,86	100	100	100	100	96,0	89,0	54,0	42,0	38,7	16,5	19,8	-	0,44	35,9	0,2	-	27,1	1,47	5	6	5,57	0,34	5,0	161	0,94	0,00	-	-
Promedio				33,7	1,39	1,86	100	100	100	100	99,0	96,4	83,0	71,6	60,4	28,3	32,1	-	0,44	35,9	0,2	-	27,1	1,47	5	6	5,57	0,34	5,2	161	0,94	0,00	-	-

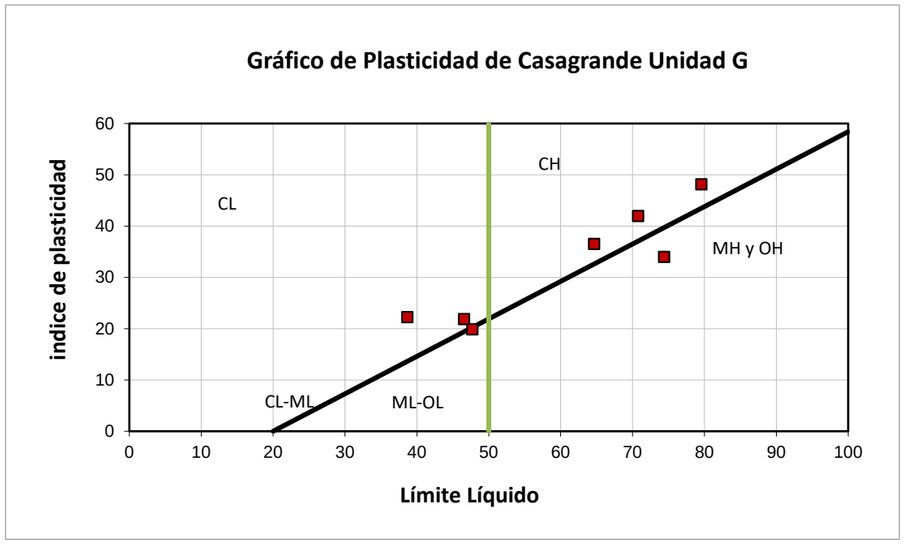
Tabla 22 Ensayos de laboratorio realizados en la unidad G

Características de identificación y estado

Tal y como muestra la curva granulométrica de los ensayos realizados en esta unidad tienen un carácter principalmente cohesivo, con un porcentaje de materiales que pasan por el tamiz UNE 0,08 de entre 42% y 97% obteniendo un valor representativo de 72%. Se incluye a continuación el huso granulométrico de las tres muestras ensayadas:



Los límites de Atterberg obtenidos en los ensayos se han representado en el siguiente gráfico, correspondiendo con arcillas inorgánicas de alta y media plasticidad y arenas limosas.



En relación a la humedad natural que presenta se ha obtenido un valor medio del 33,7%.

Se adopta como densidad aparente y seca características de la unidad los siguientes valores:

- Densidad Aparente: 1,86 g/cm^3
- Densidad Seca: 1,39 g/cm^3**.**

Características resistentes

En el cuadro se incluyen los golpeos de la unidad en función de la profundidad:

	Tipo	Prof (m)	N_{30}
S-1	SPT	8,1	18
	MI	7,5	20

Tabla 23 Golpeos SPT en la unidad G

Se ha tomado un valor de N_{30} = 19. También se cuenta con los golpeos obtenidos en las pruebas de penetración dinámica realizadas, obteniéndose un golpeo medio de 25. Según las correlaciones de Dahlberg (1974), y Dapena et.al. (2000), se puede simplificar que 1,2 $N_{DPSH} = N_{SPT}$, siendo el golpeo equivalente de 30. Por lo tanto, se adopta un valor de N_{30} característico de 25.

Se cuenta con un ensayo de corte directo CD, a partir del cual se han adoptado los siguientes parámetros resistentes:

$$\phi = 36°$$

$$c = 43\ kN/m^2$$

Estos valores son coherentes con los valores de la bibliografía para estas unidades.

Consultando la bibliografía se espera que esta unidad sea expansiva. Por lo tanto, considerándose los altos valores de límite líquido obtenidos, con un valor medio de 60 y el elevado valor de deformación de los ensayos de resistencia a compresión simple, se puede afirmar que esta unidad presentará una expansividad entre media-muy alta.

Características de deformabilidad

A la vista de los golpeos obtenidos, se pueden clasificar como suelos de tipo medio o blando. La estimación de los parámetros de deformación se ha realizado a partir de los ensayos in situ SPT.

A partir del cuadro incluido en el apartado metodología, donde se correlaciona SPT, q_u y módulo de deformación, se asignan los siguientes parámetros de cálculo:

$$E = 8\text{-}40\ MN/m^2$$

$$\upsilon = 0{,}27$$

Características químicas

Se cuenta con un ensayo de contenido en sulfatos cuyo resultado es 0,01%. El contenido en materia orgánica es de 0,34%. Presenta un 5,2% de carbonatos, 0,94% de sales solubles..

4.2.1.3. ARENA DE MIGA (AM)

Esta unidad constituye un conjunto en el que se incluyen las Arcosas Superiores del Aragoniense superior. Por tanto, suponen la representación de la facies Madrid en la

Unidad Tectosedimentaria Superior, junto a las arenas cuarzofeldespáticas asociadas a las superficies de arrasamiento pertenecientes al Plio-Cuaternario.

Dentro de esta unidad, se encuentran lentejones de arena tosquiza y, en menor medida, de tosco arenoso. Se ha caracterizado de manera conjunta.

Se han localizado estas unidades en las zonas de Campo de las Naciones Y Rejas.

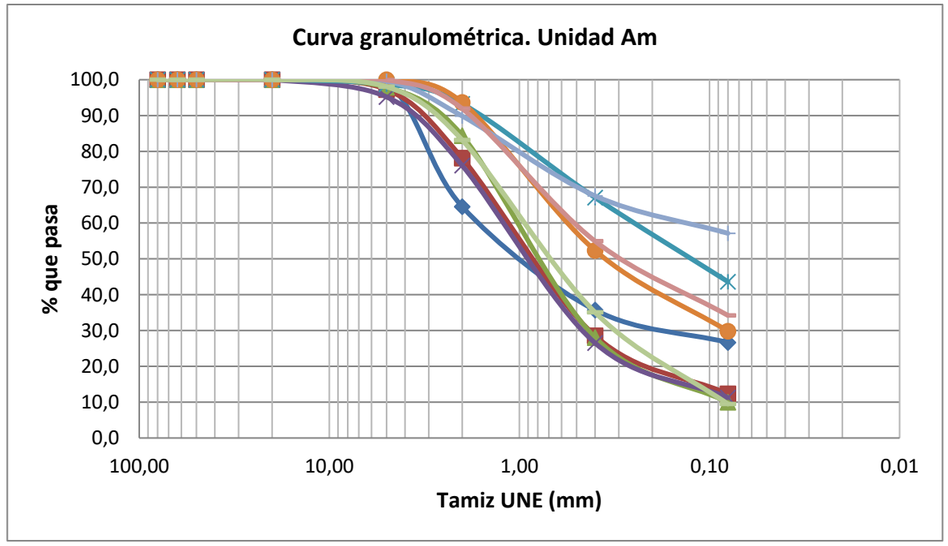
En el cuadro incluido a continuación, se incluyen los ensayos de laboratorio realizados en las muestras de los sondeos pertenecientes a esta unidad.

Información general de las muestras					Dens. seca (g/cm³)	Hum. (%)	Dens. apar. (kN/m³)	GRANULOMETRÍA (mm)									LÍMITES DE ATTERBERG			Parámetros químicos			Corte directo		
Sondeo	Tipo muestra	Inicio	Fin	ID Grupo				# 80 mm	# 63 mm	# 50 mm	# 20 mm	# 5 mm	# 2 mm	# 0,4 mm	# 0,08 mm	No plástico	L.L.	L.P.	I.P.	m.o. (%)	Ión sulfato (mg/kg)	Baumann Gully (ml/kg)	Tipo	c (kN/m2)	Phi (º)
SR-1	SR-1 MI-1	3,1	3,7	Arena tosquiza	1,67	9,56	1,83	100	100	100	100	99,0	64,6	35,7	26,7		31,8	19,6	12,2	0,131	233	8	CD	36	30,2
SR-1	SR-1 SPT-2	4,7	5,3	Arena de miga			0	100	100	100	100	97,3	78,1	28,5	12,3	X				0,103	110	8			
SR-1	SR-1 MI-2	6,5	7,1	Arena de miga	1,79	8,47	1,94	100	100	100	100	97,9	84,4	28,0	10,0	X				0,133	182	5	CD	19	30,7
SR-1	SR-1 MI-3	10	10,4	Arena de miga	1,80	7,63	1,94	100	100	100	100	95,2	76,1	26,5	11,3	X							CD	30	37,5
SR-2	SR-2 MI-1	2,8	3,4	Tosco arenoso			0	100	100	100	100	98,7	93,3	67,1	43,6		32,3	20,7	11,6						
SR-2b	SR-2b SPT-1	3,1	3,7	Arena tosquiza			0	100	100	100	100	100	93,7	52,3	29,8		31,8	19,5	12,3	0,288	220	21			
SR-2b	SR-2b MI-1	5	5,5	Tosco arenoso	1,83	14,83	2,1	100	100	100	100	99,6	89,9	67,6	57,1		40,4	25,9	14,5	0,258	114	18	CD	34	33,3
SR-2b	SR-2b SPT-2	7,3	7,9	Arena tosquiza			0	100	100	100	100	99,9	91,9	54,9	34,2	X				0,298	73	23			
SR-2b	SR-2b MI-2	9,5	9,7	Arenas de miga	1,75	8,48	1,9	100	100	100	100	98,0	83,2	35,1	9,5	X							CD	37	37,6
Nº ensayos					5	5	9	9	9	9	9	9	9	9	9	5	4	4	4	6	6	6	5	5	5
Máximo					1,83	14,83	2,10	100	100	100	100	100	93,7	67,6	57,1	-	40,40	25,90	14,50	0,30	233,00	23,00	-	37,0	37,60
Mínimo					1,67	7,63	0,00	100	100	100	100	95,2	64,6	26,5	9,5	-	31,80	19,50	11,60	0,10	73,00	5,00	-	19,0	30,20
Promedio					1,77	9,79	1,08	100	100	100	100	98,4	83,9	44,0	26,1	-	34,08	21,43	12,65	0,20	155,33	13,83	-	31,2	33,86

Tabla 24 Ensayos de laboratorio realizados en la unidad AM

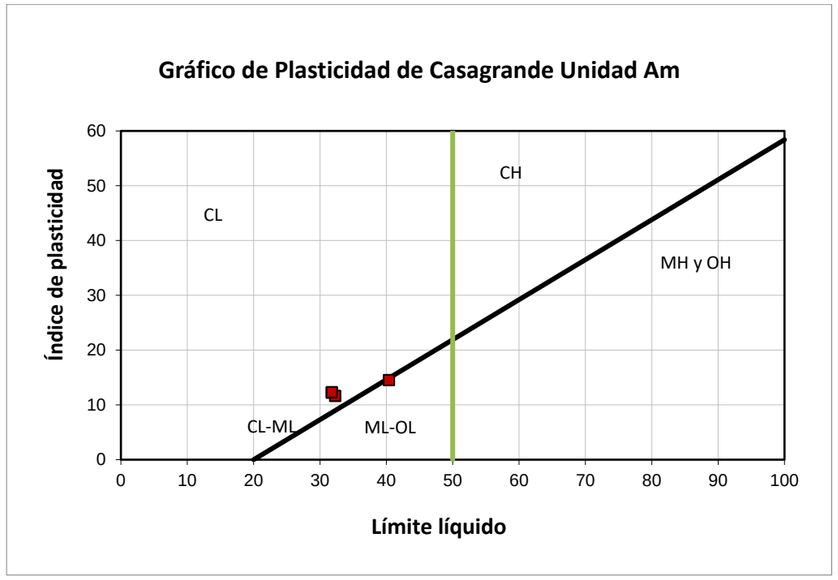
Características de identificación y estado

Se incluye a continuación el huso granulométrico de las nueve muestras ensayadas:



Como se observa, el contenido en finos, varía entre 9,48% y 57,13% obteniendo un valor representativo de 26%. Todas las muestras, a excepción de dos, son granulares, es decir, presentan un contenido en finos inferior al 40%.

Para la clasificación U.S.C.S se han representado los resultados en el gráfico de plasticidad como se observa en la figura siguiente.



Se han analizado cuatro muestras, todas ellas clasificadas como arcillas de baja plasticidad.

Características resistentes

En el cuadro a continuación se incluyen los golpeos de la unidad en función de la profundidad

	Tipo	Prof (m)	N_{30}
SR-1	SPT-1	1,8	29
	M-1	3,1	R
	SPT-2	4,7	47
	MI-2	6,5	R
	SPT-3	8,4	R
	MI-3	10,0	R
	SPT-4	12,4	R
	MI-4	14,7	R

	Tipo	Prof (m)	N_{30}
SR-2	SPT-1*	2,2	5
	MI-1*	2,8	8
	SPT-1	3,1	45
	MI-1	5,0	R
	SPT-2	7,3	R
	MI-2	9,5	R
	SPT-3	11,0	R
	MI-3	13,3	R

Tabla 25 Golpeos SPT en la unidad AM

La mayoría de los ensayos han dado rechazo, para los cuales se ha tomado un valor de N_{30} = 50 por convención.

Se cuenta además con cuatro ensayos de corte directo CD, a partir de los cuales se han adoptado los siguientes parámetros resistentes:

$$\phi = 34º$$

$$c' = 31\ kN/m^2$$

Valores Orientativos de N_{SPT}, resistencia a compresión simple y módulo de elasticidad de suelos

Tipo de suelo	Nº golpes ensayo SPT, N_{SPT}	Resistencia a compresión simple, q_u (kN/m^2)	Módulo de elasticidad, E (MN/m^2)
Suelos muy flojos o muy blandos	< 10	0 - 80	< 8
Suelos flojos o blandos	10 - 25	80 - 150	8 - 40
Suelos medios	25 - 50	150 - 300	40 - 100
Suelos compactos o duros	50 - Rechazo	300 - 500	100 - 500
Rocas blandas	Rechazo	500 - 5000	500 - 8000
Rocas duras	Rechazo	5000 - 40000	8000 - 15000
Rocas muy duras	Rechazo	> 40000	> 15000

Características de deformabilidad

A la vista de los golpeos obtenidos, se pueden clasificar como suelos de tipo medio o blando. La estimación de los parámetros de deformación se ha realizado a partir de los ensayos in situ SPT.

Se ha utilizado la expresión empírica propuesta por Webb para arenas arcillosas con el fin de correlacionar los golpeos N_{30} con el módulo de deformación elástico:

$$E\ (kp/cm^2) = 3{,}30\ (N_{30} + 15)\ \ (Webb)$$

Se recomienda tomar los siguientes parámetros para el cálculo de deformaciones elásticas, a partir de un $N_{30} = 40$:

$$E = 18\ MN/m^2$$

$$u = 0{,}3$$

Características químicas

El contenido en materia orgánica medio es del 0,2%.

Se cuenta con cinco ensayos de contenido en sulfatos y cinco de acidez. Todos revelan que los suelos no son agresivos según los criterios definidos en la Norma EHE-08. Este aspecto se puede consultar en el apartado correspondiente de agresividad.

4.2.2. MATERIALES CUATERNARIOS

4.2.2.1. ARENAS CON GRAVAS, LIMOS Y ARCILLAS. TERRAZAS CUATERNARIAS, QT

Se trata de las terrazas del río Jarama. Estas terrazas están formadas por barras y canales rellenos de gravas, cantos y algún bloque, además de fracción arenosa, limos y arcillas. Esta unidad se ha reconocido en las catas C-4, C-5, C-7 y C-8, realizadas para el presente proyecto en la zona de San Fernando de Henares, bajo los rellenos antrópicos.

A continuación se incluyen los ensayos de laboratorio disponibles:

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA				GRANULOMETRÍA (mm)					LÍMITES DE ATTERBERG			ÍNDICE COLAPSO (%)	PROCTOR MODIFICADO		C.B.R.			PARÁMETROS QUÍMICOS		CLASIFICACIÓN	
Sondeo / calicata	Cotas	Muestra	Litología	20	5	2	0,4	0,08	LL	LP	IP		H. Óptima (%)	D. Máx (g/cm^3)	CBR 95%	CBR 100%	% Hinch.	M.O. (%)	Sales solubles (%)	U.S.C.S.	AASHTO
C-5	2,5	S	Arena con grava, carbonatos	100	93	85	56	31	NP			0,05	16,4	1,8	32	43	0,08	0,14	0,48	SM	A-2-4 (0)
C-8	2,2	S	Arena fina calc.	100	96	80	40	17,7	NP			0,05	11,7	1,94	40	73	0	0,25	0,76	SM	A-1-b (0)
Nº ensayos				2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Máximo				100	96	85	56	31	-	-	-	0,05	16,4	1,94	40	73	0,08	0,25	0,76	-	-
Mínimo				100	93	80	40	17,7	-	-	-	0,05	11,7	1,8	32	43	0	0,14	0,48	-	-
Promedio				100	95	83	48	24,4	-	-	-	0,05	14,05	1,87	36	58	0,04	0,19	0,62	-	-

Tabla 26 Ensayos de laboratorio realizados en la unidad QT

CUADRO 1.12. PARAMETROS CARACTERISTICOS DEL SUELO (1)

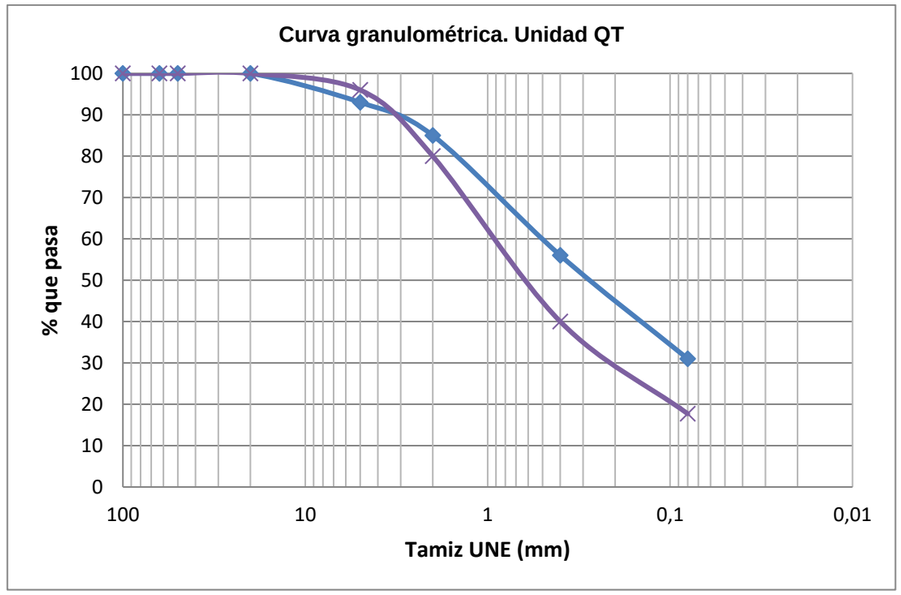
TIPO DE SUELO	GRANULOMETRIA <0,06 mm	GRANULOMETRIA <2,0 mm	LIMITES DE ATTERBERG (Fracción <0,04 mm) w_L %	w_P %	I_P %	PESO ESPECIFICO γ t/m³	γ_{sum} t/m³	HDAD. NATURAL w %	PROCTOR NORMAL D. seca t/m³	w_{PN} %	DEFORMABILIDAD (2) $E_s = E_o \left(\frac{\sigma}{\sigma_{at}}\right)^{\alpha}$ E_o kp/cm²	α	RESISTENCIA AL CORTE φ' (°)	c' t/m²	φ'_r	PERM. K m/s
Grava	<5	<60	—	—	—	1,60 1,90	0,95 1,05	5 2	1,70 1,90	8 5	400 900	0,60 0,40	34 42	— —	32 35	2.10^{-1} 1.10^{-2}
Grava arenosa con pocos finos	<5	<60	—	—	—	2,10 2,30	1,15 1,35	7 3	2,00 2,25	7 4	400 1100	0,70 0,50	35 45	— —	32 35	1.10^{-2} 1.10^{-6}
Grava arenosa con finos limosos o arcillosos que no alteran la estructura granular	8 15	<60	20 45	16 25	4 25	2,10 2,40	1,15 1,45	9 3	2,10 2,35	7 3	400 1200	0,70 0,50	35 43	1 0	32 35	1.10^{-5} 1.10^{-8}
Mezcla de gravas y arenas envueltas por finos	20 40	<60	20 50	16 25	4 30	2,00 2,25	1,05 1,30	13 5	1,90 2,20	10 5	150 400	0,90 0,70	28 35	3 0,5	22 30	1.10^{-8} 1.10^{-11}
Arena uniforme a) Fina	<5	100	—	—	—	1,60 1,90	0,95 1,10	22 8	1,60 1,75	15 10	150 300	0,75 0,60	32 40	— —	30 32	2.10^{-4} 1.10^{-5}
Arena uniforme b) Gruesa	<5	100	—	—	—	1,60 1,90	0,95 1,10	16 6	1,60 1,75	13 8	250 700	0,70 0,55	34 42	— —	30 34	5.10^{-3} 2.10^{-4}
Arena bien graduada y arena con grava	<5	60	—	—	—	1,80 2,10	1,00 1,20	11 5	1,90 2,15	10 6	200 600	0,70 0,55	33 41	— —	32 34	5.10^{-4} 2.10^{-5}
Arena con finos que no alteran la estructura granular	8 15	>60	20 45	16 25	4 25	1,90 2,25	1,05 1,30	15 4	2,00 2,20	13 7	150 500	0,80 0,65	32 40	1 0	30 32	1.10^{-5} 1.10^{-7}
Arena con finos que alteran la estructura granular	20 40	>60	20 50	16 30	4 30	1,80 2,15	0,90 1,10	20 8	1,70 2,00	18 12	50 250	0,90 0,75	25 32	5 1	22 30	1.10^{-7} 1.10^{-10}
Limo poco plástico	>50	>80	25 35	20 28	4 11	1,75 2,10	0,95 1,10	28 15	1,60 1,80	22 15	40 110	0,80 0,60	28 35	2 0,5	25 30	1.10^{-5} 1.10^{-8}
Limo de plasticidad media a alta	>80	>100	35 50	22 25	7 20	1,70 2,00	0,85 1,05	35 20	1,55 1,75	23 16	30 70	0,90 0,70	25 33	3 1	22 29	2.10^{-6} 1.10^{-9}
Arcilla de baja plasticidad	>80	100	25 35	15 22	7 16	1,90 2,20	0,95 1,20	28 14	1,65 1,85	20 14	20 50	1,00 0,90	24 32	6 1,5	20 28	1.10^{-7} 2.10^{-9}
Arcilla de plasticidad media	>90	100	40 50	18 25	16 28	1,80 2,10	0,85 1,10	38 18	1,55 1,75	23 17	10 30	1,00 0,95	20 30	8 2	10 20	5.10^{-8} 1.10^{-10}
Arcilla de alta plasticidad	100	100	60 85	20 35	33 55	1,65 2,00	0,70 1,00	55 20	1,45 1,65	27 20	6 20	1,00 1,00	17 27	10 3	6 15	1.10^{-9} 1.10^{-11}
Limo o arcilla orgánicos	>80	100	45 70	30 45	10 30	1,55 1,90	0,55 0,90	60 30	1,45 1,70	27 18	5 20	1,00 0,85	20 26	7 2	15 22	1.10^{-9} 1.10^{-11}
Turba	—	—	—	—	—	1,04 1,30	0,04 0,30	800 100	—	—	3 8	1,00 1,00	25 30	1,5 0,5	—	1.10^{-5} 1.10^{-8}
Fango	—	—	100 250	30 80	50 170	1,25 1,60	0,25 0,60	200 50	—	—	4 15	1,00 0,90	22 28	2 0,5	—	1.10^{-7} 1.10^{-9}

(1) Según el Grundbau-Taschenbuch, 3.ª ed. 1.ª Parte, 1980.
(2) $\sigma_{at} = 0{,}1$ kp/cm²

Figura 37 Curso aplicado de cimentaciones (4ª ed). Rodríguez Ortiz, J.M., Serra Gesta, J., Oteo Mazo, C. 1989. Pág.32.

Características de identificación y estado

Tal y como muestra la curva granulométrica de los ensayos realizados en esta unidad, dos de las muestras presentan carácter granular y las otras dos presentan carácter cohesivo, con una media de materiales que pasan por el tamiz UNE 0,08 de 44%. Se incluye a continuación el huso granulométrico de las tres muestras ensayadas:



Las dos muestras son no plásticas. Ambas corresponden a suelos granulares SM.

Características resistentes

Las características resistentes de estos materiales se han obtenido a partir de los golpeos obtenidos en las pruebas de penetración dinámica realizadas. Según las correlaciones de Dahlberg (1974), y Dapena et.al. (2000), se puede simplificar que 1,2 $N_{DPSH} = N_{SPT}$.

Así pues, a partir del valor de N_{30} es de 11.

Se recomienda adoptar los siguientes parámetros bibliográficos obtenidos del cuadro:

Densidad aparente = 1,8 g/cm^3

$\phi = 30°$

c' = 5 kN/m^2

Características de deformabilidad

A la vista de los golpeos obtenidos, se pueden clasificar como suelos de tipo medio o blando. La estimación de los parámetros de deformación se ha realizado a partir de los golpeos de penetrómetros dinámicos correlacionados con los golpeos SPT.

Se recomienda tomar los siguientes parámetros para el cálculo de deformaciones elásticas, a partir de un N_{30} = 11 y de la bibliografía existente.

$$E = 10\text{-}15\ MN/m^2$$

$$\upsilon = 0{,}32$$

Según un ensayo de colpasabilidad y un ensayo de presión de hinchamiento, esta unidad no es colapsable, y no es expansiva.

Características químicas

Presenta un contenido medio de 0,20% de materia orgánica y un 0,62% de sales solubles.

4.2.3. RELLENOS ANTRÓPICOS VERTIDOS (R)

Esta unidad está constituida, principalmente, por materiales de aportación artificial, como consecuencia de actividades constructivas (vertederos de tierras y escombros, terraplenes controlados, etc.) y, en mucho menor manera, como resultado de la actividad industrial (vertederos de residuos sólidos industriales y escorias) y biológica-urbana (vertederos de residuos sólidos urbanos).

Dada la heterogeneidad y escasa presencia de estos materiales, únicamente se han realizado ensayos de identificación.

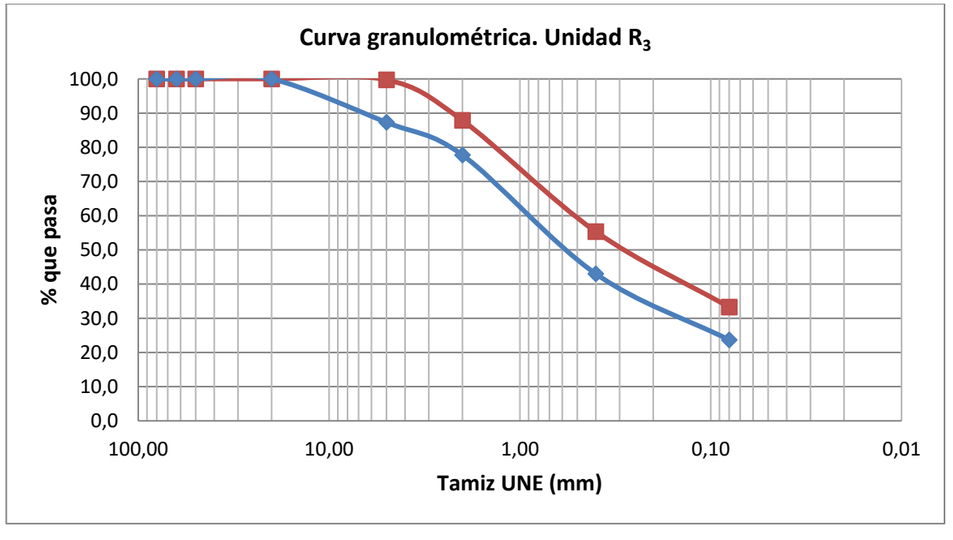
En el cuadro se incluyen los ensayos de laboratorio realizados en las muestras de los sondeos pertenecientes a esta unidad.

Información general de las muestras					Identificación															
					Estado			Granulometría (% que pasa)									Plasticidad			
Sondeo	Tipo muestra	Inicio	Fin	ID Grupo	Dens. seca (kN/m3)	Hum. (%)	Dens. apar. (kN/m3)	Dmax (mm)	# 80 mm	# 63 mm	# 50 mm	# 20 mm	# 5 mm	# 2 mm	# 0,4 mm	# 0,08 mm	No plástico	L.L.	L.P.	I.P.
SR-1	SR-1 SPT1	1,80	2,40	Relleno Q0	2,01	8,49	2,18		100,0	100,0	100,0	100	99,74	87,87	55,3	33,26		32,9	20	12,9
SR-2	SR-2 SPT-1	2,20	2,80	Relleno Q0	1,851	9,11	2,02		100,0	100,0	100,0	100	87,29	77,74	43	23,68		27,9	17,6	10,3

Tabla 27 Ensayos de laboratorio realizados en la unidad R3

Características de identificación y estado

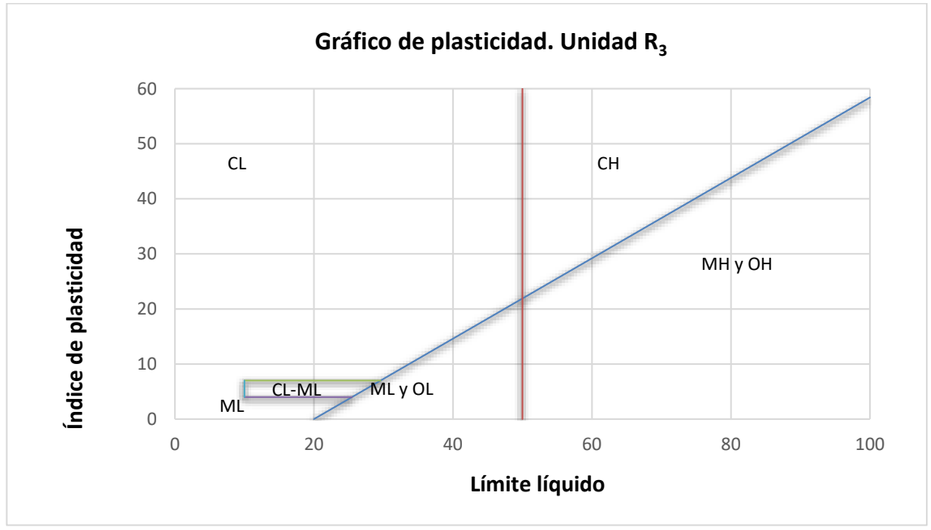
Se incluye a continuación el huso granulométrico de las dos muestras ensayadas:



Como se observa, el contenido en finos, similar en ambas muestras con una media aproximada de 28%.

De acuerdo con los resultados, la plasticidad es baja o moderada, con un índice plástico medio de 11% a 20% y el límite líquido de 30%. Según esta clasificación se correspondería con arcillas de baja plasticidad CL., si bien cabe resaltar que en este tipo de materiales se debe tomar de forma orientativa.

Para la clasificación U.S.C.S se ha representado los resultados en el gráfico de plasticidad como se observa en la figura siguiente:



4.3. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS RECOMENDADOS

A la vista de los resultados obtenidos en el presente estudio, así como en su comparación con los obtenidos con publicaciones y normativas como el manual del NAVFAC 1971 o la ROM 05-05 y en la propia experiencia en estudios similares, se han obtenido los siguientes parámetros geotécnicos resumidos a modo de cuadro resumen.

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE CÁLCULO RECOMENDADOS								
	U.S.C.S.	N30	Finos (%)	Peso específico (kN/m3)	RCS (kg/cm^2)	cohesión c' (kN/m2)	Ángulo de roz. Int. (º)	Coef. de Poisson	Módulo de def (E') (MPa)
Rellenos antrópicos vertidos UG-R	CL	10	28	17	-	7	27	0,3	5
Terrazas cuaternarias UG-Qt	SM	11	23	18	0,8	5	30	0,3	15
Arena de Miga UG-Am	CL	50	26	19	3	26	34	0,3	18
Arena tosquiza	CL	50	>25	20	5	30	30	0,3	25
Arcillas (Gredas) UG-G	CL	25	72	19	4	43	36	0,27	40
Arcillas con yesos UG-Y	ML- CL-CH-SM	>50	60	20	4	56	32	0,27	500

Tabla 28 Parámetros geotécnicos recomendados

4.4. AGRESIVIDAD DEL SUBSUELO AL HORMIGÓN

En la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08) se prevén los tipos de exposición que se indican en las tablas que es incluyen a continuación.

4.4.1. AGRESIVIDAD DEL SUELO

En el caso del suelo, atendiendo al contenido de mg de ión sulfato por kg de suelo seco y el grado de acidez Baumann-Gully, se obtienen los siguientes intervalos de valores para determinar el tipo de exposición resultante según EHE:

Parámetro	Tipo de exposición			
	Ataque nulo (Iia)	Ataque débil (Qa)	Ataque medio (Qb)	Ataque fuerte (Qc)
Ión sulfato (mg SO_4^{2-}/kg)	<2.000 p.p.m (<0.2%)	2.000–3.000 p.p.m. (0.2 – 0.3 %)	3.000 – 12.000 p.p.m. (0.3 – 1.2 %)	>12.000 p.p.m. (>1.2 %)
Grado de Acidez Baumann-Gully (ml/kg)	<200	>200	(*) Estas condiciones no se dan en la práctica	(*) Estas condiciones no se dan en la práctica

Tabla 29 Tipos de exposición terreno, EHE

Se ha elaborado un cuadro en el que se indica el tipo de exposición para cada una de las unidades geotécnicas afectadas, obtenidos a partir de las muestras de suelo ensayadas:

Sondeo / Calicata	Tipo de muestra	Cotas	Unidad	Parámetro		Tipo de exposición
				Ión sulfato (mg/kg)	Grado de Acidez Baumann-Gully (ml/kg)	
S-1	SPT	11,42-11,68	Y	4286	<200	Medio
S-1	TP	19,80-20,20	Y	7815	<200	Medio
C-2	MA	2,70	G	<2000	-	Nulo
SR-1	MI	3,10-3,70	Am	233	8	Nulo
SR-1	SPT	4,70-5,30	Am	110	8	Nulo
SR-1	MI	6,50-7,10	Am	182	5	Nulo
SR-2b	SPT	3,10-3,70	Am	220	21	Nulo
SR-2b	MI	5,00-5,50	Am	114	18	Nulo
SR-2b	SPT	7,30-7,90	Am	73	23	Nulo

Tabla 30 Resultados ensayos de agresividad del suelo

La unidad de arcillas con yesos (Y) de la zona de San Fernando de Henares presenta una agresividad media.

4.4.2. AGRESIVIDAD DEL AGUA

Tipo de exposición del agua freática en función de los resultados del ensayo para determinar la agresividad según EHE:

Ensayo	Tipo de exposición			
	Ataque nulo (Iia)	Ataque débil (Qa)	Ataque medio (Qb)	Ataque fuerte (Qc)
pH	> 6.5	6.5 – 5.5	5.5 – 4.5	< 4.5
MAGNESIO (mg Mg_2+/l)	< 300	300 – 1000	1000 – 3000	> 3000
SULFATO (mg SO_4^2-/l)	< 200	200 – 600	600 – 3000	> 3000
AMONIO (mg NH_4+/l)	< 15	15 – 30	30 – 60	> 60
CO_2 (mg/l)	< 15	15 – 40	40 – 100	> 100
RESIDUO SECO (mg/l)	> 150	75 – 150	50 – 75	< 50

Ataque NULO Ataque DEBIL Ataque MEDIO Ataque FUERTE

Tabla 31 Tipos de exposición del agua freática

Para investigar la agresividad del suelo y agua frente al hormigón, se ha analizado la muestra tomada en el sondeo S-1, realizado en la zona de San Fernando de Henares. Presenta un ataque medio por el contenido en sulfato:

Sondeo nº	pH	MAGNESIO Mg2+ (mg/l)	SULFATO SO42- (mg/l)	AMONIO NH4+ (mg/l)	CO2 LIBRE (mg/l)	RESIDUO SECO (mg/l)
S-1	7,8	295	1453	0	6	2401

Tabla 32 Resultados ensayos de agresividad del agua

4.5. NIVEL DE AGUA

Durante la ejecución de los sondeos ejecutados en fase de Estudio Informativo se instaló tubería piezométrica de PVC para la medida de los niveles freáticos.

En el sondeo S-1, realizado en la zona de San Fernando de Henares, se detectó un rezume de agua durante la perforación a 10,8 m desde la boca. Posteriormente, después de las lluvias, se ha tomado una nueva medida, detectándose a 8,35 m por lo que, del lado de la seguridad, se estima en dicha cota el nivel freático.

4.6. OBRAS DE TIERRA

En las zonas de Campo de las Naciones y Rejas, se prevén rellenos y desmontes de alturas inferiores a 5 m.

En lo que respecta a la actuación en San Fernando de Henares, en la alternativa 1 el salto de carnero se plantea mediante paso inferior con muros hasta la superficie del terreno, y en la alternativa 2 la actuación prevista es relleno y paso superior.

4.6.1. RELLENOS ANTRÓPICOS Y TIERRA VEGETAL

A partir de las investigaciones realizadas para el presente proyecto, se ha reconocido un horizonte de suelo que puede definirse como tierra vegetal, con un contenido de materia orgánica suficientemente significativo para considerarlo como tal. Otro depósito destacable, que se clasifica como inadecuado según el PG-3, es el correspondiente a los rellenos antrópicos sin compactar (R).

4.6.1.1. CAMPO DE LAS NACIONES Y REJAS

En Campo de las Naciones y Rejas no se tiene constancia de la existencia de tierra vegetal, ya que no se cuenta con investigaciones en las que se haya detectado. A continuación se incluyen los espesores de rellenos antrópicos:

ZONA	ALT1 /ALT2	P.K. INICIO/FINAL	ESPESOR R (m)
Campo de las Naciones	Alternativa 1	0+000 / 0+620	2
		0+620 / 0+800	-
		0+800 / 1+150	1
	Alternativa 2	0+000 / 0+175	2*
		0+175 / 0+200	-
		0+200 / 0+700	1 - 3
		0+700 / 1+040	3 – 5*
Rejas	Alternativa 1	9+997 / 10+321	<1*
	Alternativa 2	0+000 / 0+688,9	10**
*Valores estimados, zonas sin investigaciones **Relleno compactado de la plataforma ferroviaria			

Tabla 33 Tabla resumen espesores de relleno Campo de las Naciones y Rejas

Se recomienda, por tanto, un saneo homogéneo de 2 m en las zonas de Campo de las Naciones en las que aparecen rellenos, y ningún saneo en Rejas, al ser los mayores espesores de rellenos correspondientes a un relleno compactado. No obstante, estos valores deberán ser revisados en fases posteriores de proyecto.

4.6.1.2. SAN FERNANDO DE HENARES

En base a los datos obtenidos de las calicatas y sondeos disponibles en San Fernando de Henares, se ha realizado una tramificación aproximada por el eje, incluyéndose a continuación una tabla resumen de los espesores de tierra vegetal y rellenos antrópicos que se encontrarán en el tramo en estudio. La tierra vegetal deberá ser retirada y acopiada para su posterior uso en la revegetación de taludes.

EJE ALT1	P.K. INICIO/FINAL	TIERRA VEGETAL (m)	ESPESOR RA
Vía 1 Henares	0+000 / 0+860	0,2	0
	0+860 / 0+910	0	0
	0+910 / 1+030	0	6,5
	1+030 / fin	0,2	0
Vía 1 contorno	0+000 / 2+200	0,2	0
	2+200 / 2+270	0	0
	2+270 / 2+360	0	6,5
	2+360 / fin	0,2	0

Tabla 34 Tramificación espesor TV y rellenos antrópicos vertidos Alternativa 1

EJE ALT2	P.K. INICIO/FINAL	TIERRA VEGETAL (m)	ESPESOR RA
Vía 1 Henares	0+000 / 0+860	0,2	0
	0+860 / 0+910	0	0
	0+910 / 1+030	0	6,5
	1+030 / fin	0,2	0
Vía 1 contorno	0+000 / 2+240	0,2	0
	2+240 / 2+260	0	0
	2+260 / 2+410	0	6,5
	2+410 / fin	0,2	0

Tabla 35 Tramificación espesor TV y rellenos antrópicos vertidos Alternativa 2

El relleno antrópico vertido tiene un espesor importante. Se recomienda el saneo, al menos, de los 3 m superiores y la compactación dinámica del fondo. Además se puede contemplar la colocación de un geotextil en la base del relleno. Este espesor de saneo deberá confirmarse con un penetrómetro dinámico que permita conocer la compacidad en fases posteriores de proyecto.

4.6.2. DESMONTES

4.6.2.1. CAMPO DE LAS NACIONES

Los desmontes previstos en la zona de Campo de las Naciones presentan unas alturas máximas del orden de 2 – 3,5 m. Estos afectan a la unidad de arena de miga y rellenos antrópicos respectivamente en las alternativas 1 y 2.

Se proponen taludes de inclinación 3H/2V, que resultan estables para las alturas y litologías indicadas.

4.6.2.2. REJAS

Los desmontes de mayores alturas corresponden a los previstos en la zona del estacionamiento. Estos presentan una altura máxima próxima a los 5 m. Está prevista su ejecución al 2H/1V, ya que se prevé su ejecución sobre rellenos antrópicos sin compactar.

4.6.2.3. SAN FERNANDO DE HENARES

Los materiales a excavar corresponden al nivel superficial de tierra vegetal, a suelos cuaternarios de la unidad QT y QG, y al sustrato terciario de las unidades G (gredas) e Y (arcillas con yesos).

No se prevé la ejecución de desmontes, al estar la solución planteada con muros hasta la superficie del terreno.

4.6.3. RELLENOS

En general, para todos los terraplenes considerados en el presente proyecto, se ha definido una inclinación única de 2H:1V. Con esa geometría no se esperan fenómenos de inestabilidad; no obstante, se han analizado los más desfavorables.

4.6.3.1. CAMPO DE LAS NACIONES Y REJAS

Como se ha indicado, en Campo de las Naciones y Rejas, no se prevén rellenos de más de 3 m.

4.6.3.2. SAN FERNANDO DE HENARES

En San Fernando de Henares, los rellenos de mayor altura se localizan en los siguientes PK:

- Alternativa 0+940 del Eje 30, de 10 m de altura.
- Alternativa 1+620 del eje 48, DE 9 m de altura.

La estabilidad de los rellenos depende de dos factores: la estabilidad propia del relleno y la estabilidad del conjunto relleno-cimiento.

ESTABILIDAD PROPIA DEL RELLENO

A efectos de la estabilidad del relleno en sí, la pendiente de los taludes está condicionada por su altura y por las características resistentes del material disponible para su construcción.

Para los cálculos de estabilidad se han adoptado los siguientes parámetros representativos del cuerpo del relleno.

- Densidad aparente = 20 kN/m^3
- Cohesión efectiva = 10 kPa
- Ángulo de rozamiento interno = 32^o

ESTABILIDAD DEL CONJUNTO RELLENO-CIMIENTO

El terreno de apoyo de los rellenos más desfavorables por su altura, que presenta una potencia de unos 9 m, está formado por rellenos antrópicos vertidos, con un espesor estimado de 6,5 m. Debajo de este relleno se localizan las gredas. Para el estudio de estabilidad se ha empleado el siguiente perfil:

Material	Profundidad (m)
R3 - rellenos vertidos	0,0 – 6,5
G - gredas	> 6,5

Tabla 36 Estimación perfil del terreno en la zona del salto de carnero de San Fernando de Henares

Del lado de la seguridad, como se ha indicado en el apartado 4.6.1. Espesor de tierra vegetal y saneos, se propone sanear 3 m y la compactación del nivel inferior. Además se puede considerar la colocación de un geotextil.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

La estabilidad global se analiza mediante el software SLIDE v 7.0, desarrollado por Rocscience. Este programa estudia la estabilidad de masas de terreno mediante métodos de equilibrio límite que se basan en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de la masa de terreno potencialmente inestable. Suponen que la resistencia al corte se moviliza total y simultáneamente a lo largo de la superficie de corte. Estos métodos están ampliamente contrastados en la práctica.

La seguridad de una determinada masa de terreno se cuantifica por medio del factor de seguridad, que se define como el cociente entre la resistencia al corte en la superficie de deslizamiento y la necesaria para mantener el equilibrio estricto de la masa deslizante. El factor de seguridad se supone constante a lo largo de toda la superficie de deslizamiento. Se ha impuesto un coeficiente igual o superior a 1,50.

Se han analizado los rellenos considerados más desfavorables, al tratarse de los de mayor altura. A partir de los datos analizados en el apartado correspondiente, las propiedades de cálculo adoptadas han sido las siguientes:

Materiales	γ (kN/m^3)	C' (kPa)	Ø' (°)
R1- rellenos compactados	20	10	32
R3 - rellenos vertidos	17	7	27
Qt - terrazas cuaternarias	18	5	30
G - gredas	19	43	36

Tabla 37 Parámetros adoptados para los cálculos de estabilidad de los rellenos del salto de carnero de San Fernando de Henares

4.6.3.2.1. ALTERNATIVA 1

RELLENO PK 0+870 DEL EJE 47

A continuación se muestra la salida gráfica del cálculo de estabilidad realizado mediante el programa Slide.

Se puede observar que el factor de seguridad obtenido es de 1,794.

Se ha situado el nivel freático a una profundidad de 8,35 m, según la última medida tomada en el sondeo realizado.

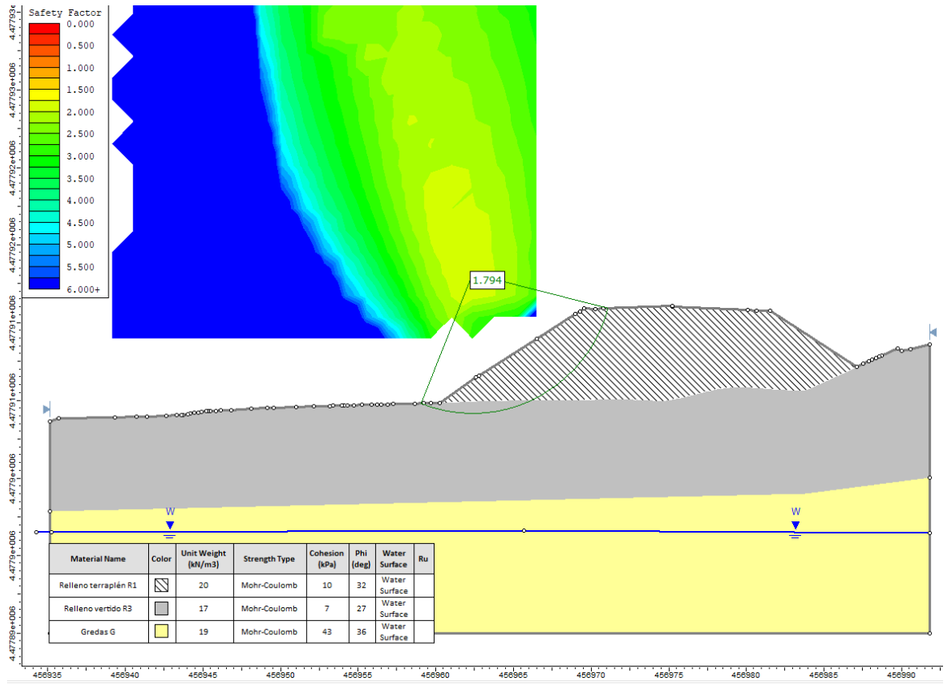


Figura 38 Resultado del cálculo de estabilidad del relleno de altura máxima de 9 m en el PK 0+870 del eje 47

4.6.3.2.2. ALTERNATIVA 2

RELLENO PK 0+990 DEL EJE 30

A continuación se muestra la salida gráfica del cálculo de estabilidad realizado mediante el programa Slide.

Se puede observar que el factor de seguridad obtenido es de 1,713.

Se ha situado el nivel freático a una profundidad de 8,35 m, según la última medida tomada en el sondeo realizado.

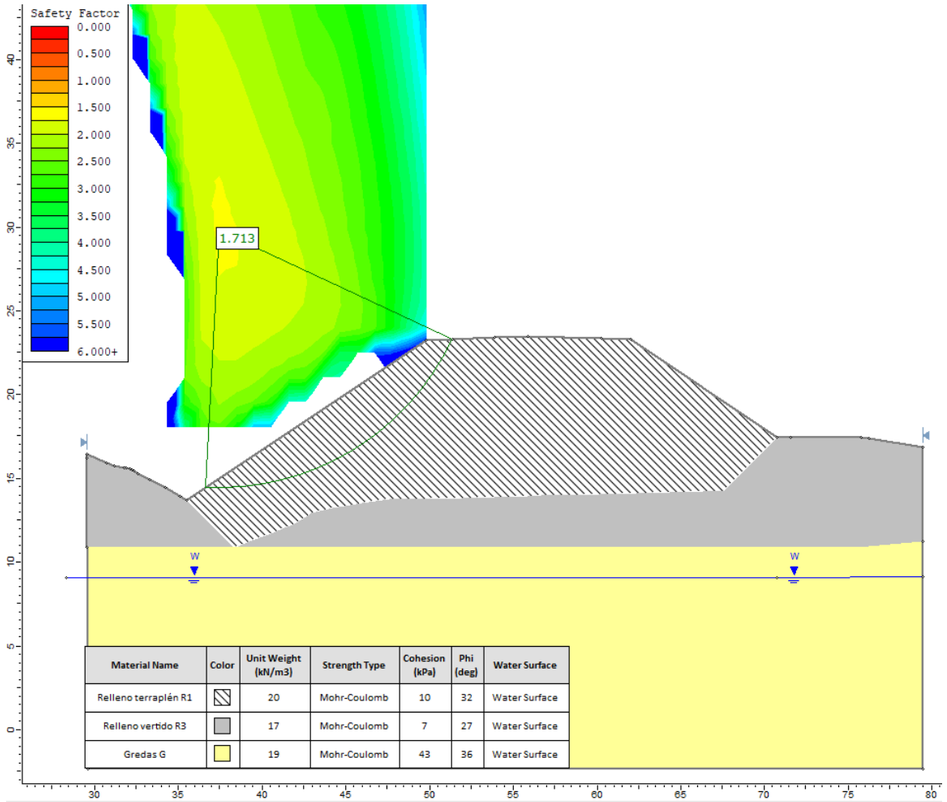


Figura 39 Resultado del cálculo de estabilidad del relleno de altura máxima de 9 m en el PK 0+990 del eje 30

4.7. GEOTECNIA DE CIMENTACIÓN DE ESTRUCTURAS

4.7.1. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

Las recomendaciones geotécnicas de cimentación se basan en las diferentes metodologías de cálculo existentes que se exponen a continuación, en base al tipo de cimentación y los materiales existentes, pudiéndose abordar a su vez desde dos puntos de vista diferentes: carga de hundimiento -y admisible con F.S.- y asientos producidos.

La condición de estabilidad local de una cimentación es aquella que debe verificar que la situación de servicio de la cimentación está suficientemente alejada del estado de rotura del suelo. Así, en este apartado, se resumen las condiciones que debe cumplir una cimentación para que su proyecto sea satisfactorio, y que son las siguientes:

a) La estructura constituida por la cimentación debe situarse convenientemente con respecto a cualquier influencia que pudiera afectar a su comportamiento (Condición de exclusión de singularidades).

b) La cimentación (incluyendo el terreno) debe ser estable, contando con un coeficiente de seguridad adecuado respecto al hundimiento (Condición de estabilidad). Para ello, se determina a una profundidad de cimentación concreta, en primer lugar la “carga de hundimiento” (qh) -su estado de rotura- para la cual la cimentación se rompería y en segundo lugar tras establecer un coeficiente de seguridad (F.S.), se obtiene la “carga admisible por condición de hundimiento” (qadh), es decir, el tope máximo que no debe sobrepasarse por la carga de cimentación en la situación de servicio (q).

c) Los asientos y deformaciones de la cimentación no deben producir daños en la estructura que impidieran o disminuyeran su utilización (Condición de asientos). Estas tres condiciones se consideran independientes, y deben satisfacerse cada una por separado.

Así, la cimentación es lo que soporta la estructura y sus cargas, incluyendo el terreno y aquellas partes de la estructura que transmiten cargas al terreno, debiendo resolver principalmente el problema de evaluación de la capacidad del suelo para soportar las cargas y el correcto diseño de los elementos estructurales que transmiten dichas cargas al terreno. La tensión admisible obtenida por riesgo de hundimiento, debe ser contrastada por la limitación de asientos que produzca esta tensión, en función de la geometría real del cimiento, es decir, la estimación de los asientos previsibles debe ser en última instancia evaluada en el correspondiente cálculo de las estructuras, de tal forma que los valores obtenidos correspondan a asientos admisibles por estas.

En los siguientes subapartados se analiza la tensión admisible según diversos métodos, a partir de la información -datos- disponible, para cada uno de los dos tipos de cimentación previsibles a recomendar: superficial o profunda.

4.7.1.1. CIMENTACIÓN DIRECTA EN SUELOS

En terrenos granulares, la carga admisible de cimentaciones superficiales se determinará en función del asiento admisible (s) y en base al resultado de los ensayos SPT, ya que se trata de suelos principalmente arenosos. Refiriéndonos al golpeo de los ensayos SPT, se puede calcular la presión admisible a partir del método simplificado propuesto pro CTE (Documento básico).

a) Para B* < 1,20 m

$$q_{adm} = 12 \cdot N_{SPT} \cdot \left[1 + \frac{D}{3B^*}\right] \cdot \left(\frac{S_t}{25}\right)\ kN/m^2$$

b) Para B* ≥ 1,20 m

$$q_{adm} = 8 \cdot N_{SPT} \cdot \left[1 + \frac{D}{3B^*}\right] \cdot \left(\frac{S_t}{25}\right) \cdot \left(\frac{B + 0{,}3}{B^*}\right)^2\ kN/m^2$$

donde:

S_t = asiento total admisible, en mm.

N = Valor medio de los resultados, obtenidos en una zona de influencia de la cimentación comprendida entre un plano situado a una distancia 0,5B* por encima de su base y otro situado a una distancia mínmia 2B* por debajo de la misma.

D = Profundidad de cimentación.

B = Ancho de cimentación

El valor de $\left[1 + \frac{D}{3B^*}\right]$ a introducir en las ecuaciones será menor o igual a 1,3.

Para el cálculo de la carga admisible por hundimiento en suelos cohesivos se ha empleado la fórmula de Brinch-Hansen:

$$q_h = c \cdot N_c + q \cdot N_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$$

Donde:

- qh = carga de hundimiento
- c = cohesión del suelo considerado
- q = carga uniformemente distribuida debida a la porción de suelo que queda por encima del plano en el que apoya la zapata
- γ = peso específico del suelo
- B = ancho de la zapata
- Nc, Nq, Nγ = coeficientes adimensionales, que dependen del ángulo de rozamiento interno

Se denomina carga admisible, q_{adm}, al valor que resulta de dividir la carga de hundimiento, q_h por el coeficiente de seguridad, F, esto es:

$$q_{adm} = \frac{q_h}{F}$$

Se toma para F el valor de 3.

Los parámetros que aparecen en la fórmula siguen las siguientes expresiones:

$$N_q = tg^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\emptyset}{2}\right) \cdot e^{\pi \cdot tg\emptyset}$$

$$N_c = \left(N_q - 1\right) \cdot cotg\emptyset$$

$$N_\gamma = 1{,}5 \cdot \left(N_q - 1\right) \cdot tg\emptyset$$

Siendo:

Ø = ángulo de rozamiento interno del terreno

En terrenos de baja permeabilidad (suelos arcillosos), resulta más desfavorable la carga de hundimiento a corto plazo en condiciones sin drenaje (ω = 0). En este caso la fórmula de Brinch - Hansen se reduce a:

$$q_h = (\pi + 2) \cdot c_u + q$$

Donde:

q_h = carga de hundimiento

C_u = la resistencia al corte sin drenaje del terreno.

q = carga uniformemente distribuida debida a la porción de suelo que queda por encima del plano en el que apoya la zapata

Se denomina carga admisible, q_{adm}, al valor que resulta de dividir la carga de hundimiento, q_h por el coeficiente de seguridad, F (en el presente proyecto se ha tomado para F el valor de 3) esto es:

$$q_{adm} = \frac{q_h}{F}$$

Algunos autores indican que el valor de q, correspondiente a la carga debida a la porción de suelo que queda por encima del plano en el que apoya la zapata, se trata de una carga

que ya está soportando el terreno, por lo que no es necesaria aplicarla el factor de seguridad, quedando:

$$q_{adm} = \frac{q_h}{F} + q$$

4.7.1.2. CIMENTACIÓN DIRECTA EN ROCA

La presión admisible para cimentación directa en roca puede estimarse de acuerdo con la Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera (GCOC) del Ministerio de Fomento.

En el caso de rocas poco diaclasadas (RQD > 10%) y alteradas (grado de meteorización III o inferior) y no débiles (se consideran como débiles aquellas con q_u < 1 MPa), es posible determinar la presión admisible a partir de los datos siguientes:

- Resistencia a compresión simple de la roca sana, qu
- Tipo de roca
- Grado de alteración medio
- Valor del R.Q.D. y separación de las discontinuidades.

La presión admisible puede estimarse mediante la siguiente expresión:

$$p_{v,adm} = p_0 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot (q_u/p_0)^{1/2}$$

donde:

- pv adm = Presión admisible
- p0 = Presión de referencia igual a 1 MPa.
- qu = Resistencia a compresión simple de la roca sana.
- α 1, α 2, α 3 = Parámetros adimensionales que dependen del tipo de roca, de su grado de alteración y del espaciamiento de las litoclasas, según se indica a continuación.

El parámetro α_1 puede determinarse en laboratorio ensayando muestras a tracción (o tracción indirecta) para medir la relación que existe entre la resistencia a tracción q_t y la resistencia a compresión simple q_u. El valor del parámetro α_1 será:

$$\alpha_1 = \left(10 \cdot \frac{q_t}{q_u}\right)^{0,5}$$

A falta de información específica respecto a este parámetro se puede utilizar el valor que se obtenga de la tabla inferior.

En todo caso, se recomienda que cuando aparezcan varios tipos de roca en un mismo apoyo, o existan dudas en esta clasificación, y salvo información específica en otro sentido, se tome como valor de cálculo α_1 = 0,4.

GRUPO N.º	NOMBRE GENÉRICO	EJEMPLOS	α_1
1	Rocas carbonatadas con estructura bien desarrollada	• Calizas, dolomías y mármoles puros • Calcarenitas de baja porosidad	1,0
2	Rocas ígneas y rocas metamórficas (*)	• Granitos, cuarcitas • Andesitas, riolitas • Pizarras, esquistos y gneises (esquistosidad subhorizontal)	0,8
3	Rocas sedimentarias (**) y algunas metamórficas	• Calizas margosas, argilitas, limolitas, areniscas y conglomerados • Pizarras y esquistos (esquistosidad verticalizada) • Yesos	0,6
4	Rocas poco soldadas	• Areniscas, limolitas y conglomerados poco cementados • Margas	0,4

(*) A excepción de las indicadas en los grupos 1 y 3.
(**) A excepción de las indicadas en los grupos 1 y 4.

Tabla 38 ***Valores de α1 según el tipo de roca.***

Los valores que se recomiendan para establecer el valor del parámetro α 2 son los siguientes:

- Grado de meteorización I: α2 = 1,0
- Grado de meteorización II: α2 = 0,7
- Grado de meteorización III: α2 = 0,5

Cuando el grado de meteorización sea igual o superior al IV, deberá estudiarse como un suelo. La asignación del grado de meteorización según la ISRM sigue los criterios que se reflejan en el Cuadro siguiente.

GRUPO N.º	NOMBRE GENÉRICO	EJEMPLOS	α_1
1	Rocas carbonatadas con estructura bien desarrollada	• Calizas, dolomías y mármoles puros • Calcarenitas de baja porosidad	1,0
2	Rocas ígneas y rocas metamórficas (*)	• Granitos, cuarcitas • Andesitas, riolitas • Pizarras, esquistos y gneises (esquistosidad subhorizontal)	0,8
3	Rocas sedimentarias (**) y algunas metamórficas	• Calizas margosas, argilitas, limolitas, areniscas y conglomerados • Pizarras y esquistos (esquistosidad verticalizada) • Yesos	0,6
4	Rocas poco soldadas	• Areniscas, limolitas y conglomerados poco cementados • Margas	0,4

(*) A excepción de las indicadas en los grupos 1 y 3.
(**) A excepción de las indicadas en los grupos 1 y 4.

Tabla 39. Grados de meteorización de la roca según la ISRM.

Para evaluar la incidencia del espaciamiento de las litoclasas, la separación entre las mismas debe caracterizarse de dos formas diferentes:

- Mediante censo de litoclasas en afloramientos próximos a la zona de cimentación
- Midiendo el valor del R.Q.D. en los sondeos mecánicos

Partiendo de estos datos, se calculará α_3 como el mínimo de entre los dos valores siguientes:

$$\alpha_3 = \min(\alpha_{3a}, \alpha_{3b})$$

$$\alpha_{3a} = \left(\frac{s}{1m}\right)^{1/2}$$

$$\alpha_{3b} = (R.Q.D.(\%)/100)^{1/2}$$

donde:

s = Espaciamiento entre las litoclasas expresado en metros. Se utilizará el correspondiente a la familia de diaclasas que conduzca a un valor menor.

1 m = Valor que se utiliza para hacer adimensional la expresión correspondiente.

R.Q.D.= Valor del parámetro “Rock Quality Designation”, expresado en tanto por ciento.

Este procedimiento está sometido, no obstante, a las siguientes limitaciones:

- La cimentación queda establecida en un terreno cuya pendiente no supera el 10%.
- La inclinación de las acciones no supera el 10%, (tg δ < 0,10). Si la inclinación de las acciones es mayor, la presión admisible debe reducirse multiplicando por el factor i = (1,1 – tg δ)3 y, además, realizar cálculos de comprobación de la estabilidad al deslizamiento y al vuelco, cuya seguridad no quedaría garantizada con las comprobaciones precedentes.
- No existe un flujo de agua con gradiente importante (I ≤ 0,2) en ninguna dirección.
- El área de apoyo es menor que 100 m2. En caso de ser mayor será necesario realizar cálculos específicos del movimiento de la cimentación según se indica en el apartado 4.8.
- En cualquier caso, la presión de servicio de una cimentación superficial en roca no superará el valor de 5 MPa, salvo justificación expresa realizada por algún procedimiento alternativo.

Para la comprobación del asiento se podrá recurrir al empleo de formulaciones elásticas. Los módulos de deformación a emplear habrán de ser representativos del macizo. Se ha seguido la formulación para asiento elástico de la Guía de Cimentaciones de obras de carretera para cimentaciones rígidas rectangulares, tal y como se recoge en la figura inferior:

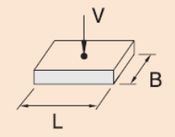
Área rectangular Asiento		$s = \frac{V(1-\nu^2)}{1{,}25\,E\sqrt{BL}}$ $L/B \leq 5$

Figura 40. Fórmula para el cálculo de asiento elástico en cimentaciones superficiales rígidas.

4.7.1.3. CIMENTACIÓN PROFUNDA EN SUELOS

Para el cálculo de cimentaciones profundas en suelos la carga de hundimiento (Q_h) es:

$$Q_h(t) = Q_p + Q_f$$

donde:

Q_p: carga por punta

Q_f: carga por fuste en la zona de empotramiento

A su vez:

$$Q_p = q_p \cdot A_p$$

$$Q_f = \int_0^L \tau_f \cdot p_{f \cdot dz}$$

donde:

q_p: resistencia unitaria por punta

A_p: área punta

τ_f: resistencia unitaria por fuste

p_f: perímetro de la sección transversal del pilote

z: profundidad contada desde la parte superior del pilote en contacto con el terreno.

L: longitud del pilote dentro del terreno.

Se ha seguido las fórmulas analíticas recogidas en Código Técnico de la Edificación (CTE) para suelos granulares que a continuación se recogen.

4.7.1.3.1. RESISTENCIA UNITARIA POR PUNTA

Suelos granulares

Para determinar la resistencia unitaria por punta se ha seguido la siguiente expresión:

$$q_p = f_p \cdot \sigma'_{vp} \cdot N_q \qquad \leq 20\ MPa$$

Siendo:

f_p: Coeficiente que depende del tipo de pilote (2,5 para hormigonados "in situ" y 3 para hincados).

σ'_{vp}: Presión vertical efectiva a nivel de punta antes de instalar el pilote.

$$\sigma'_{vp} = \gamma \cdot L$$

Siendo:

L: longitud enterrada en el suelo

γ: densidad del suelo

N_q: Factor de capacidad de carga

$$N_q = \frac{1 + sen\emptyset}{1 - sen\emptyset} \cdot e^{tg\emptyset}$$

Donde:

$\emptyset$: Ángulo de rozamiento interno del suelo, siendo el valor promedio de la zona activa y pasiva.

Suelos cohesivos

La resistencia unitaria de hundimiento por punta a corto plazo se podrá obtener mediante la expresión siguiente:

$$q_p = N_p \cdot c_u$$

Siendo:

c_u: la resistencia al corte sin drenaje del suelo limoso o arcilloso, teniendo en cuenta la presión de confinamiento al nivel de la punta (entorno comprendido entre dos diámetros por encima dos diámetros por debajo de ella) obtenida en célula triaxial o, en su caso, ensayo de compresión simple.

N_p: depende del empotramiento del pilote, pudiéndose adoptar un valor igual a 9.

4.7.1.3.2. RESISTENCIA UNITARIA POR FUSTE

Suelos granulares

Para determinar la resistencia unitaria por fuste en suelos granulares se ha seguido la siguiente expresión:

$$\tau_f = \sigma'_{vo} \cdot K_f \cdot f \cdot tg\emptyset \leq 12\ kPa$$

Siendo:

σ'_{vo}: Presión vertical efectiva al nivel medio del tramo de pilote en estudio.

K_f: Coeficiente de empuje horizontal (depende del tipo de pilote: hormigonados "in situ" = 0,75; hincado = 1; Híbridos (0,75-1)

f: Factor de reducción de rozamiento de fuste (depende del tipo de pilote: Pilotes hormigonados "in situ" = 1; hincados = 0,9; de acero = 0,8)

Ø: Ángulo de rozamiento interno del suelo granular.

Suelos cohesivos

La resistencia unitaria de hundimiento por fuste a corto plazo será:

$$\tau_f = \frac{100 \cdot c_u}{100 + c_u}$$

4.7.1.3.3. CARGA ADMISIBLE

La carga admisible o de trabajo vendrá dada por la expresión:

$$Q_{adm} = \frac{Q_P}{F_P} + \frac{Q_F}{F_F}$$

Donde:

F_p y F_F: Factores o coeficientes de seguridad frente al hundimiento por punta y fuste.

Q_{adm}: Carga admisible del terreno

En lo que respecta al tope estructural considerado para los pilotes, se han adoptado cargas de trabajo del hormigón de 4 y 5 MPa, resultando los siguientes valores de tope estructural en función del diámetro del pilote tanteado:

Procedimiento	Tipo de pilote	Valores de σ (MPa)	
		Tipo de apoyo	
		Suelo firme	Roca
Perforados	Entubados	5	6
	Lodos	4	5
	En seco	4	5
	Barrenados sin control de parámetros	3,5	-
	Barrenados con control de parámetros	4	-

Tabla 40. Valores recomendados para el tope estructural de pilotes perforados (CTE)

4.7.1.4. CIMENTACIÓN PROFUNDA EN ROCAS

Para el cálculo de carga de hundimiento de pilotes apoyados en roca, se han seguido las recomendaciones recogidas en el apartado F.2.4. del Código Técnico de la Edificación (CTE).

La resistencia unitaria por punta se determina mediante la expresión siguiente:

$$q_p = K_{sp} \cdot q_u \cdot d_f$$

Siendo:

K_{sp}: coeficiente dado por la siguiente expresión:

$$K_{sp} = \frac{3 + \frac{s}{B}}{10\sqrt{1 + 300 \cdot \frac{a}{s}}}$$

Donde:

s: espaciamiento de las discontinuidades > 300 mm

B: anchura del cimiento en m; 0,05 < s/B < 2

a: apertura de las discontinuidades: a<5mm en junta limpia, a<25 mm en junta rellena con suelo ofragmentos de roca alterada; siendo 0 < a/s < 0,02.

q_u: ls resistencia a la compresión simple de la roca sana

$$d_f = 1 + 0{,}4\frac{L_r}{d} \leq 3$$

Donde:

L_r: longitud de empotramiento en roca

d: diámetro del pilote

La resistencia unitaria por fuste viene definida por la siguiente expresión:

$$\tau_f = 0{,}2\ q_u^{0{,}5}$$

q_u: expresado en MPa

4.7.1.5. MÓDULO DE BALASTO VERTICAL EN SUELOS

4.7.1.5.1. A PARTIR DE K30

En una cimentación de ancho B el módulo de balasto (k) viene definido por:

$$k = \frac{q}{s}$$

q=Carga actuante sobre la cimentación.

s=Asiento producido debido a q.

El valor del coeficiente de balasto, no es una constante para un suelo dado. Depende de varios factores tales como la longitud (L) y el ancho (B) de la cimentación, así como la profundidad de empotramiento de la misma.

El valor del módulo de balasto disminuye con el ancho de la cimentación.

Para suelos arenosos, y una zapata cuadrada de ancho B el módulo de balasto viene definido por:

$$K_{(BxB)} = K_{30} \cdot \left[\frac{B + 0{,}3}{2B}\right]^2$$

Para suelos cohesivos, y una zapata cuadrada de ancho B el módulo de balasto viene definido por:

$$K_{(BxB)} = K_{30} \cdot \left[\frac{0{,}3}{B}\right]^2$$

Siendo:

B= Ancho de la cimentación.

K_{30}= Módulo de balasto correspondiente a una placa de carga de 30 cm (kN/m^3).

Para una zapata rectangular de dimensiones B x L el módulo de balasto (k) viene definido por:

$$K_{(BxL)} = \frac{K_{(BxB)} \cdot \left[1 + \frac{B}{2L}\right]}{1{,}5}$$

$K_{(B\ x\ B)}$ = Módulo de balasto correspondiente a una zapata cuadrada de dimensiones B x B (kN/m^3)

$K_{(B\ x\ L)}$ = Coeficiente de balasto de la losa rectangular dimensiones B x L (kN/m^3)

B lado menor (m) ; L lado mayor (m)

En el caso de una zapata corrida donde (B/L) es muy pequeño, el módulo de balasto es aproximadamente 0.67 $K_{(B\ x\ B)}$. No obstante, teniendo en cuenta las características de la Teoría de Winkler, en la que el coeficiente de balasto no es un parámetro constante del terreno, sino variable con la geometría del problema a estudiar, conviene realizar cálculos considerando valores inferiores y superiores que permitan evaluar la sensibilidad del parámetro.

En suelos arenosos, el módulo de deformación aumenta con la profundidad. Como el asiento de una cimentación depende del módulo de deformación, esto significa que el módulo de balasto aumenta con la profundidad de cimentación.

Para suelos arenosos, el valor K_{30} se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$K_{30}(MN/m^3) = 1{,}8 \cdot N$$

Para suelos cohesivos, el valor K_{30} puede aproximarse con la ecuación inferior:

$$K_{30}(kp/cm^3) = 1{,}645 \cdot q_u$$

Siendo:

K_{30} : Coeficiente de balasto vertical referido a placa de 30x30 cm

q_u : Resistencia a compresión simple

N : Número de golpes obtenido en el ensayo SPT.

4.7.1.5.2. A PARTIR DEL MÓDULO DE DEFORMACIÓN

Siguiendo la teoría elástica el asiento sobre una zapata sigue la siguiente expresión:

$$S_i = \frac{B \cdot L \cdot (1 - \nu^2)}{1{,}25 \cdot E \cdot \sqrt{B\,L}}$$

Siendo:

q = Carga aplicada (kN/m^2)

B = Ancho de la zapata (m)

L = Longitud de la zapata (m)

ν = Coeficiente de Poisson

E = Módulo de deformación (kN/m^2)

$$K = \frac{1{,}25 \cdot \mathrm{E} \cdot \sqrt{\mathrm{B} \cdot \mathrm{L}}}{\mathrm{B} \cdot \mathrm{L} \cdot (1 - \nu^2)} \cdot q$$

4.7.1.6. MÓDULO DE BALASTO VERTICAL EN ROCAS

Para la determinación el coeficiente de balasto vertical en rocas, puede adoptarse la siguiente correlación de Vogt, en función del módulo de deformación del terreno y las dimensiones de la cimentación:

$$K = 1{,}33 \cdot \frac{E}{\sqrt[3]{L \cdot B^2}}$$

Siendo:

K : Coeficiente de balasto vertical de la losa

L: Longitud de la losa

B: Ancho de la losa

E : Módulo de deformación del terreno

Otra forma de obtener de manera directa el coeficiente de balasto vertical es dividiendo la tensión de trabajo de la losa o zapata (q) entre el asiento previsto para esa tensión (s):

$$K = \frac{q}{s}$$

4.7.1.7. MÓDULO DE BALASTO HORIZONTAL

Para determinar el coeficiente de balasto horizontal se proponen las siguientes correlaciones, en función del diámetro de los pilotes, según el Código Técnico de la Edificación:

Suelos cohesivos

Se podrá suponer que el módulo de balasto es proporcional a su resistencia al corte sin drenaje, c_u, e inversamente proporcional al diámetro del pilote, D, según indica la siguiente expresión:

$$K_H = 67 \cdot \frac{c_u}{D}$$

Suelos granulares

Se podrá admitir que el módulo de balasto depende no sólo de la profundidad z, sino también del diámetro del pilote, D según indica la expresión inferior:

$$K_H = n_h \cdot \frac{Z}{D}$$

Siendo:

C_u: Resistencia al corte sin drenaje

D: Diámetro del pilote

n_h: Valor que se obtiene de la siguiente tabla, en función de la compacidad del terreno.

Compacidad de la arena	Situación respecto al nivel freático	
	Por encima	Por debajo
Floja	2	1,2
Media	5	3
Compacta	10	6
Densa	20	12

Tabla 41. Valores de nh en MPa/m3 según CTE.

4.7.1.7.1. COEFICIENTE DE BALASTO HORIZONTAL SEGÚN VESIC

Para la estimación del módulo de balasto horizontal puede recurrirse a la expresión de Vesic:

$$K = \frac{0{,}65 \cdot E_p}{D \cdot (1 - \nu^2)}$$

Donde:

K : Módulo de balasto horizontal (MN/m^3)

E_P : Módulo presiométrico (MN/m^3)

D : Diámetro del pilote (m)

v : Coeficiente de Poisson

En ausencia de resultados de ensayos presiométricos, para la determinación aproximada del módulo presiométrico (E_P) puede emplearse la siguiente fórmula:

$$E_p = \frac{E \cdot (1-\nu) \cdot \alpha}{(1+\nu) \cdot (1-2\nu)}$$

Siendo:

E : Módulo de Young (MPa)

v : Coeficiente de Poisson

α : Coeficiente que depende del tipo de terreno, según la tabla a continuación:

Fracturación de la roca	RQD (%)	α
Roca ligeramente fracturada	80 – 100	2/3
Normal	50 – 80	1/2
Muy fracturada	0 – 50	1/3

Tabla 42. Valor del parámetro α en función del RQD.

4.7.1.8. ASIENTOS EN CIMENTACIONES SUPERFICIALES EN SUELOS

Para el cálculo de asientos se va a emplear el Método elástico multicapa de Steinbrenner. El procedimiento de cálculo consiste en que se parte del asiento de la esquina de un rectángulo flexible de anchura B y longitud L, ocurriendo a la profundidad z, que se calcula mediante la expresión:

$$s(z) = \frac{p}{E} \cdot \frac{B}{2} \cdot \left[(1-\nu^2) \cdot \frac{1}{\pi} \cdot \left(Ln \frac{r+n}{r-n} + n \cdot Ln \frac{r+1}{r-1} \right) - (1-\nu-2\cdot\nu^2) \cdot \frac{m}{\pi} \cdot arctg \frac{n}{m \cdot r} \right]$$

Donde:

$$r = \sqrt{1+n^2+m^2}; \quad n = \frac{L}{B}; \quad m = \frac{z}{B}$$

p = la carga aplicada.

E = el módulo de elasticidad.

v = coeficiente de Poisson.

El asiento debido a una capa que se extiende entre las profundidades z_i y z_{i+1}, toma el valor:

$$s_i = s(z_i) - s(z_{i+1})$$

El asiento total es la suma de los debidos a cada una de las capas en que se ha dividido el terreno.

El asiento bajo el centro de un rectángulo flexible se obtiene por superposición de los cuatro cuadrantes en que lo dividen dos ejes ortogonales paralelos a los lados.

Para las zapatas de las estructuras, que son más rígidas que flexibles, se calcula el asiento como la media entre el del centro y el de la esquina.

4.7.2. RECOMENDACIONES DE CIMENTACIÓN

Es importante resaltar que el resultado de la investigación geotécnica llevada a cabo, al extrapolarse al resto de la zona objeto de estudio, no es más que una interpretación razonable según el estado del arte actual de la técnica, siendo totalmente fidedigna para los puntos explorados y en la fecha de su ejecución. En conclusión, se recomienda que en fases posteriores al presente Estudio Informativo se confirme que los materiales del subsuelo reconocidos, así como la posición del nivel freático, estén en consonancia con las conclusiones adoptadas para, si fuese oportuno y necesario, introducir las oportunas correcciones en el supuesto de que se observasen desviaciones, y detallar la cimentación de los apoyos de las diferentes estructuras previstas.

Se desarrollan a continuación, las recomendaciones de cimentación para las estructuras previstas dentro de cada alternativa en cada zona de actuación, que se recapitulan al final del apartado en un cuadro resumen.

4.7.2.1. CAMPO DE LAS NACIONES

A continuación, se incluyen las denominaciones y principales recomendaciones geotécnicas para la cimentación de las estructuras consideradas en cada una de las alternativas.

4.7.2.1.1. ALTERNATIVA 1

ODT-01

1) CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

En esta zona tan solo habrá que realizar la ampliación de la ODT-01, que se encuentra situada en el P.K. 0+600 de la vía uno de contorno.

2) RECONOCIMIENTOS GEOTÉCNICOS

- Sondeos: SR-01.
- Penetros: P-01.

3) DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO –ESTRATIGRAFÍA-

Con el objetivo de facilitar las recomendaciones geotécnicas de cimentación de estructuras, se ha procedido a elaborar un *perfil geológico-geotécnico de cálculo* (modelo del terreno o perfil estratigráfico) de este en aquellas zonas en que se pueda agrupar, debido a la heterogeneidad de los depósitos. Este perfil se incluye dentro del Apéndice 2.2. de este anejo. Se describe detalladamente a continuación, habiéndose extrapolado en profundidad a partir del perfil geológico-geotécnico longitudinal:

- De 0,00 a 0,50 m: Rellenos antrópicos. Espesor de 0,50 m.
- > 0,50 m: UG-Am (Arena de miga).

4) CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS TERRENOS

Los *parámetros geotécnicos globales de cálculo recomendados* (y justificados en el apartado *"4.2. Caracterización de materiales"* de este anejo) para las diferentes unidades geológico-geotécnicas existentes en el perfil de esta estructura, se resumen en la siguiente tabla.

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE CÁLCULO RECOMENDADOS								
	U.S.C.S.	N30	Finos (%)	Peso específico (kN/m3)	RCS (kg/cm^2)	cohesión c' (kN/m2)	Ángulo de roz. Int. (º)	Coef. de Poisson	Módulo de def (E') (MPa)
Rellenos antrópicos vertidos UG-R	CL	10	28	17	-	7	27	0,3	5
Arena de Miga UG-Am	CL	50	26	19	3	26	34	0,3	18

Con respecto al *nivel freático*, durante la realización de los trabajos de reconocimiento, no se detectó el nivel freático. En resumen, puede considerarse que, a partir de los datos disponibles, las excavaciones previstas no presentaran problemas en relación con el nivel freático.

5) CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

Para la ampliación de esta estructura se recomienda una cimentación superficial sobre la unidad UG-Am.

En lo referente a la carga de admisible del terreno de cimentación, se obtienen cargas de hundimiento superiores a 685 kN/m^2, por lo que adoptar una carga admisible de 2 kg/cm^2 presenta un adecuado coeficiente de seguridad frente a rotura, siempre del lado de la seguridad.

		GCOC	ROM 0.5	CTE
Capacidad de Carga	N_c	42,16	42,16	42,16
	N_γ	38,37	38,37	28,77
	N_q	29,44	29,44	29,44
Forma	s_c	1,21	1,21	1,06
	s_γ	0,91	0,88	0,91
	s_q	1,21	1,21	1,30
Profundidad	d_c	1,09	1,09	1,09
	d_γ	1,00	1,00	1,00
	d_q	1,08	1,08	1,10
Inclinación carga	i_c	1,00	1,00	1,00
	i_γ	1,00	1,00	1,00
	i_q	1,00	1,00	1,00
Inclinación de la base	b_c	1,00	1,00	-
	b_γ	1,00	1,00	-
	b_q	1,00	1,00	-
Inclinación del terreno	g_c	1,00	1,00	1,00
	g_γ	1,00	1,00	1,00
	g_q	1,00	1,00	1,00

Presión vertical hundimiento p_{vh}	kN/m^2	877,5	865,0	685,2
Presión vertical admisible p_{adm}	kN/m^2	292,5	288,3	228,4

Durante la realización de excavaciones provisionales para las cimentaciones, se recogen en la siguiente tabla los ángulos a adoptar recomendados.

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	TALUDES DE EXCAVACIÓN A CORTO PLAZO (TEMPORALES)		
	Altura < 3 m *(*)*	Altura 3 - 5 m	Altura > 5 m
Rellenos antrópicos (R)	2H:3V (56,31º)	1H:1V (45º)	3H:2V (33,69º)
Arena de miga	1H:3V (71,56º)	2H:3V (56,31º)	1H:1V (45º)

(*) LOS TALUDES DE EXCAVACIÓN RECOMENDADOS PARA ALTURAS MENORES DE 3 M, PODRÁN ADOPTAR VALORES IGUALES A SUPERIORES A 1H:3V, SIEMPRE QUE SE TRATE DE TALUDES TEMPORALES, QUE PERMANEZCAN ABIERTOS BREVES PERÍODOS DE TIEMPO PARA EVITAR DESLIZAMIENTOS LOCALES, ADEMÁS DEBERÁ DEJARSE UN MARGEN DE SEGURIDAD ENTRE 1-2 M DESDE LA CABECERA DEL TALUD A ESTRUCTURAS O VIALES CERCANOS PARA EVITAR SU AFECCIÓN; NO OBSTANTE, SI ESTAS EXCAVACIONES PERMANECEN ABIERTAS UN CIERTO PERÍODO DE TIEMPO Y MÁS SI COINCIDEN CON ÉPOCAS DE LLUVIA SERÁ NECESARIO SUAVIZAR LOS TALUDES HASTA LOS RECOMENDADOS EN LA TABLA ANTERIOR A CORTO PLAZO -TEMPORALES- PARA ALTURAS MENORES DE 4 M, E INCLUSO ADOPTAR BERMAS INTERMEDIAS O ELEMENTOS DE REFUERZO O ENTIBACIÓN SI SE LLEGAN A OBSERVAR PREVISIBLES INESTABILIDADES EN FASE DE OBRA).

6) AGRESIVIDAD DEL SUBSUELO AL HORMIGÓN

No se prevé afección a la zona saturada.

Para determinar la agresividad se ha seguido la Instrucción EHE del hormigón estructural vigente.

Agresividad del agua

Para el caso de las aguas, los distintos tipos de exposición, según la Instrucción EHE, en función de los parámetros analizados, son:

Tipos de exposición				
Ensayo	Ataque nulo	Ataque débil	Ataque medio	Ataque fuerte
pH	> 6,5	6,5-5,5	5,5-4,5	<4,5
Magnesio (Mg_2^+) (mg/l)	< 300	300-1000	1000-3000	>3000
Sulfato (SO_4^{2-}) (mg/l)	< 200	200-600	600-3000	>3000
Amonio (NH_4^+) (mg/l)	<15	15-30	30-60	>60
CO_2 (mg/l)	<15	15-40	40-100	>100
Residuo seco (mg/l)	> 150	75-150	50-75	<50

No se prevé afección a la zona saturada.

Agresividad del suelo

Según el punto 37.3.5. de la norma EHE, resistencia del hormigón frente al ataque por sulfatos, “en el caso particular de existencia de sulfatos, el cemento deberá poseer la característica adicional de resistencia a los sulfatos, según la vigente instrucción para la recepción de cementos, siempre que su contenido sea igual o mayor que 3000 mg/kg.

Para el caso de suelo, atendiendo al contenido en mg de ión sulfato por kg de suelo seco y al grado de acidez Baumann-Gully:

ENSAYO (*) Estas condiciones no se dan en la práctica	TIPO DE EXPOSICIÓN		
	Qa	Qb	Qc
	Ataque débil	Ataque medio	Ataque fuerte
Grado Acidez Baumann-Gully (ml/kg) según UNE 83.962	> 200	(*)	(*)
ION SULFATO (mg SO42-/kg de suelo seco) según UNE 83.963	2.000-3.000 (0,2-0,3%)	3.000-12.000 (0,3-1,2%)	> 12.000 (> 1,2%)

Tipos de exposición según Instrucción EHE

Para comprobar la agresividad del suelo en la zona de estudio se cuenta con los siguientes ensayos de contenido en sulfatos y de acidez Baumann-Gully.

Sondeo / Calicata	Tipo de muestra	Cotas	Unidad	Parámetro		Tipo de exposición
				Ión sulfato (mg/kg)	Grado de Acidez Baumann-Gully (ml/kg)	
SR-1	MI	3,10-3,70	Am	233	8	Nulo
SR-1	SPT	4,70-5,30	Am	110	8	Nulo
SR-1	MI	6,50-7,10	Am	182	5	Nulo

Agresividad de las muestras de suelo

En base a los resultados obtenidos, no será preciso el empleo de cementos sulforresistentes.

4.7.2.1.2. ALTERNATIVA 2

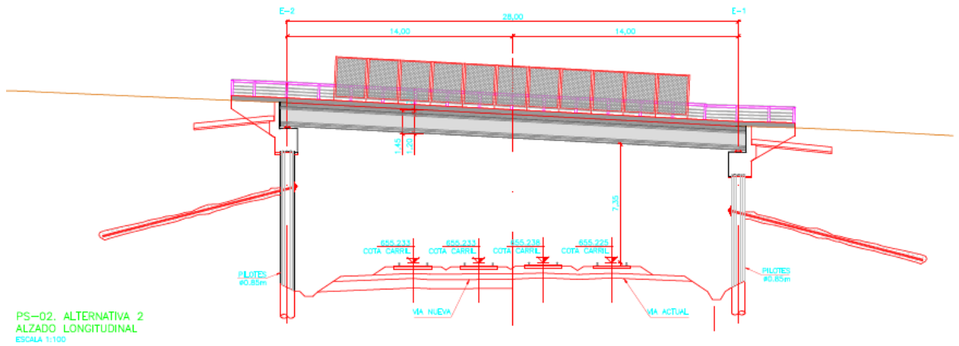
Se adjuntan a continuación las estructuras correspondientes a este tramo:

	ESTRUCTURA	TIPOLOGÍA	DIMENSIONES (m^2,ml)
Campo las Naciones	PS-02	Estructura de vigas prefabricadas	1267,56
	MUR0-01	Sostenimiento de pilotes	1750
	MURO-01R	Sostenimiento de pilotes	700
	ODT-02	Prolongación ODT	8
	ODT-03	Prolongación ODT	8
	ODT-04	Prolongación ODT	8

Paso Superior 02.

1) *CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DE LA ESTRUCTURA*

Corresponde a una estructura de vigas prefabricadas sobre estribos flotantes. Para la cimentación se emplean pilas-pilote. Los sostenimientos laterales a los estribos son realizados igualmente mediante sostenimientos de pilotes. De muestra a continuación una sección transversal del paso:



2) *RECONOCIMIENTOS GEOTÉCNICOS*

- Sondeos: SR-02b.
- Penetros: PD-04.

3) *DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO –ESTRATIGRAFÍA-*

Con el objetivo de facilitar las recomendaciones geotécnicas de cimentación de estructuras, se ha procedido a elaborar un *perfil geológico-geotécnico de cálculo* (modelo del terreno o perfil estratigráfico) de este en aquellas zonas en que se pueda agrupar, debido a la heterogeneidad de los depósitos. Este perfil se incluye dentro del Apéndice 2.2. de este anejo. Se describe detalladamente a continuación, habiéndose extrapolado en profundidad a partir del perfil geológico-geotécnico longitudinal:

- De 0,00 a 0,50 m: Rellenos antrópicos. Espesor de 0,50 m.
- > 0,50 m: UG-Am (Arena de miga).

4) *CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS TERRENOS*

Los *parámetros geotécnicos globales de cálculo recomendados* (y justificados en el apartado *"4.2. Caracterización de materiales"* de este anejo) para las diferentes unidades geológico-geotécnicas existentes en el perfil de esta estructura, se resumen en la siguiente tabla.

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE CÁLCULO RECOMENDADOS								
	U.S.C.S.	N30	Finos (%)	Peso específico (kN/m3)	RCS (kg/cm^2)	cohesión c' (kN/m2)	Ángulo de roz. Int. (º)	Coef. de Poisson	Módulo de def (E') (MPa)
Rellenos antrópicos vertidos UG-R	CL	10	28	17	-	7	27	0,3	5
Arena de Miga UG-Am	CL	50	26	19	3	26	34	0,3	18

Con respecto al *nivel freático*, durante la realización de los trabajos de reconocimiento, no se detectó el nivel freático. En resumen, puede considerarse que, a partir de los datos disponibles, las excavaciones previstas no presentaran problemas en relación con el nivel freático.

5) *CONDICIONES DE CIMENTACIÓN*

Para la ampliación de esta estructura se recomienda por motivos de ejecución y afección al tráfico de la vía actual en servicio, una cimentación profunda mediante pilas pilote.

Tomando los valores de resistencias unitarias por la punta y por el fuste, en la siguiente tabla de doble entrada, para distintas longitudes de empotramiento de los pilotes y distintos diámetros, se presentan a modo orientativo previo a desarrollo estructural las cargas de hundimiento por punta (Qhp) y por fuste (Qhf), así como las admisibles (Qad) para un factor de seguridad de 3 por la punta y 2,5 por el fuste, para el perfil estratigráfico y espesores citados anteriormente.

PASO SUPERIOR PS-02
(CAMPO DE LAS NACIONES. ALTERNATIVA 2)

CIMENTACIÓN PROFUNDA (PILOTES PERFORADOS Y HORMIGONADOS IN SITU): CARGAS ADMISIBLES con punta en nivel granular

Estratos de Techo a Muro -en profundidad-:					R	Am
Naturaleza (G: granular; C: cohesivo):					G	G
Contribución (F: Fuste; P: Punta; F+P: Fuste y Punta):					F	F+P
Espesor Estrato:					3,00	
Resistencia Unitaria por el Fuste Granular [R_f=0,75·0,02·$N_{30\ (Fuste)}$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,00
N_{30} Punta:						50
Resistencia Unitaria por la Punta [R_p=2·$N_{30(Punta)}$] (kg/cm^2) (·10t/m^2)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1000,00
Factor de Seguridad por la Punta [F.S.$_p$]:	3					
Factor de Seguridad por el Fuste [F.S.$_f$]:	2,5					
Profundidad del estrato de Empotramiento (m):	3,00					

LONGITUD PILOTE (m)	Cargas en t para distintos DIÁMETROS DE PILOTE [D] (m)														
	1,00					1,25					1,50				
	Empotramiento		Qhp	Qhf	Qad	Empotramiento		Qhp	Qhf	Qad	Empotramiento		Qhp	Qhf	Qad
	(m)	(Diámetros)				(m)	(Diámetros)				(m)	(Diámetros)			
3,5	0,5	0,5	785	9	**266**	0,5	0,4	1227	12	**414**	0,5	0,3	1767	14	**595**
4,0	1,0	1,0	785	19	**269**	1,0	0,8	1227	24	**418**	1,0	0,7	1767	28	**600**
4,5	1,5	1,5	785	28	**273**	1,5	1,2	1227	35	**423**	1,5	1,0	1767	42	**606**
5,0	2,0	2,0	785	38	**277**	2,0	1,6	1227	47	**428**	2,0	1,3	1767	57	**612**
5,5	2,5	2,5	785	47	**281**	2,5	2,0	1227	59	**433**	2,5	1,7	1767	71	**617**
6,0	3,0	3,0	785	57	**284**	3,0	2,4	1227	71	**437**	3,0	2,0	1767	85	**623**
6,5	3,5	3,5	785	66	**288**	3,5	2,8	1227	82	**442**	3,5	2,3	1767	99	**629**
7,0	4,0	4,0	785	75	**292**	4,0	3,2	1227	94	**447**	4,0	2,7	1767	113	**634**
7,5	4,5	4,5	785	85	**296**	4,5	3,6	1227	106	**451**	4,5	3,0	1767	127	**640**
8,0	5,0	5,0	785	94	**299**	5,0	4,0	1227	118	**456**	5,0	3,3	1767	141	**646**
8,5	5,5	5,5	785	104	**303**	5,5	4,4	1227	130	**461**	5,5	3,7	1767	156	**651**
9,0	6,0	6,0	785	113	**307**	6,0	4,8	1227	141	**466**	6,0	4,0	1767	170	**657**
9,5	6,5	6,5	785	123	**311**	6,5	5,2	1227	153	**470**	6,5	4,3	1767	184	**663**
10,0	7,0	7,0	785	132	**315**	7,0	5,6	1227	165	**475**	7,0	4,7	1767	198	**668**
10,5	7,5	7,5	785	141	**318**	7,5	6,0	1227	177	**480**	7,5	5,0	1767	212	**674**
11,0	8,0	8,0	785	151	**322**	8,0	6,4	1227	188	**484**	8,0	5,3	1767	226	**680**
11,5	8,5	8,5	785	160	**326**	8,5	6,8	1227	200	**489**	8,5	5,7	1767	240	**685**
12,0	9,0	9,0	785	170	**330**	9,0	7,2	1227	212	**494**	9,0	6,0	1767	254	**691**
12,5	9,5	9,5	785	179	**333**	9,5	7,6	1227	224	**499**	9,5	6,3	1767	269	**696**
13,0	10,0	10,0	785	188	**337**	10,0	8,0	1227	236	**503**	10,0	6,7	1767	283	**702**

Cargas admisibles en t para distintas longitudes de empotramiento y distintos diámetros de pilotes.
(Nota.- sombreadas en color naranja se muestran aquellas casillas que no cumplen la condición de empotramiento mínimo de 6 diámetros de zona pasiva superior; en rojo las que superan el tope estructural según las referencias empleadas, siendo el valor último fijado por el proyectista).
(Para obtener la longitud total de los pilotes se aplicaría la expresión: L = [(Cota de proyecto entendida como cara inferior del encepado) – (Cota de la unidad de empotramiento)] + 6 diámetros de empotramiento mínimo y siempre en función de las cargas admisibles requeridas por la estructura. Las longitudes de pilotes reflejadas en la tabla se refieren únicamente por debajo -con respecto- a la cota de la superficie topográfica actual, z_0

Durante la realización de excavaciones provisionales para las cimentaciones, se recogen en la siguiente tabla los ángulos a adoptar recomendados.

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	TALUDES DE EXCAVACIÓN A CORTO PLAZO (TEMPORALES)		
	Altura < 3 m *(*)*	Altura 3 - 5 m	Altura > 5 m
Rellenos antrópicos (R)	2H:3V (56,31º)	1H:1V (45º)	3H:2V (33,69º)
Arena de miga	1H:3V (71,56º)	2H:3V (56,31º)	1H:1V (45º)

(*) LOS TALUDES DE EXCAVACIÓN RECOMENDADOS PARA ALTURAS MENORES DE 3 M, PODRÁN ADOPTAR VALORES IGUALES A SUPERIORES A 1H:3V, SIEMPRE QUE SE TRATE DE TALUDES TEMPORALES, QUE PERMANEZCAN ABIERTOS BREVES PERÍODOS DE TIEMPO PARA EVITAR DESLIZAMIENTOS LOCALES, ADEMÁS DEBERÁ DEJARSE UN MARGEN DE SEGURIDAD ENTRE 1-2 M DESDE LA CABECERA DEL TALUD A ESTRUCTURAS O VIALES CERCANOS PARA EVITAR SU AFECCIÓN; NO OBSTANTE, SI ESTAS EXCAVACIONES PERMANECEN ABIERTAS UN CIERTO PERÍODO DE TIEMPO Y MÁS SI COINCIDEN CON ÉPOCAS DE LLUVIA SERÁ NECESARIO SUAVIZAR LOS TALUDES HASTA LOS RECOMENDADOS EN LA TABLA ANTERIOR A CORTO PLAZO -TEMPORALES- PARA ALTURAS MENORES DE 4 M, E INCLUSO ADOPTAR BERMAS INTERMEDIAS O ELEMENTOS DE REFUERZO O ENTIBACIÓN SI SE LLEGAN A OBSERVAR PREVISIBLES INESTABILIDADES EN FASE DE OBRA).

6) *AGRESIVIDAD DEL SUBSUELO AL HORMIGÓN*

No se prevé afección a la zona saturada.

Para determinar la agresividad se ha seguido la Instrucción EHE del hormigón estructural vigente.

Agresividad del agua

Para el caso de las aguas, los distintos tipos de exposición, según la Instrucción EHE, en función de los parámetros analizados, son:

Tipos de exposición				
Ensayo	**Ataque nulo**	**Ataque débil**	**Ataque medio**	**Ataque fuerte**
pH	> 6,5	6,5-5,5	5,5-4,5	<4,5
Magnesio (Mg_2^+) (mg/l)	< 300	300-1000	1000-3000	>3000
Sulfato (SO_4^{2-}) (mg/l)	< 200	200-600	600-3000	>3000
Amonio (NH_4^+) (mg/l)	<15	15-30	30-60	>60
CO_2 (mg/l)	<15	15-40	40-100	>100
Residuo seco (mg/l)	> 150	75-150	50-75	<50

No se prevé afección a la zona saturada.

Agresividad del suelo

Según el punto 37.3.5. de la norma EHE, resistencia del hormigón frente al ataque por sulfatos, “en el caso particular de existencia de sulfatos, el cemento deberá poseer la

característica adicional de resistencia a los sulfatos, según la vigente instrucción para la recepción de cementos, siempre que su contenido sea igual o mayor que 3000 mg/kg.

Para el caso de suelo, atendiendo al contenido en mg de ión sulfato por kg de suelo seco y al grado de acidez Baumann-Gully:

ENSAYO (*) Estas condiciones no se dan en la práctica	TIPO DE EXPOSICIÓN		
	Qa	Qb	Qc
	Ataque débil	Ataque medio	Ataque fuerte
Grado Acidez Baumann-Gully (ml/kg) según UNE 83.962	> 200	(*)	(*)
ION SULFATO (mg SO42-/kg de suelo seco) según UNE 83.963	2.000-3.000 (0,2-0,3%)	3.000-12.000 (0,3-1,2%)	> 12.000 (> 1,2%)

Para comprobar la agresividad del suelo en la zona de estudio se cuenta con los siguientes ensayos de contenido en sulfatos y de acidez Baumann-Gully.

Sondeo / Calicata	Tipo de muestra	Cotas	Unidad	Parámetro		Tipo de exposición
				Ión sulfato (mg/kg)	Grado de Acidez Baumann-Gully (ml/kg)	
SR-2b	SPT	3,10-3,70	Am	220	21	Nulo
SR-2b	MI	5,00-5,50	Am	114	18	Nulo
SR-2b	SPT	7,30-7,90	Am	73	23	Nulo

En base a los resultados obtenidos, no será preciso el empleo de cementos sulforresistentes.

Muro-01

1) CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

Se corresponde a la pantalla de pilotes del PK 0+650 a 0+800 de la vía 1 de contorno.

2) RECONOCIMIENTOS GEOTÉCNICOS

- Sondeos: SR-02b.
- Penetros: PD-04.

3) DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO –ESTRATIGRAFÍA-

Con el objetivo de facilitar las recomendaciones geotécnicas de cimentación de estructuras, se ha procedido a elaborar un *perfil geológico-geotécnico de cálculo* (modelo del terreno o perfil estratigráfico) de este en aquellas zonas en que se pueda agrupar, debido a la heterogeneidad de los depósitos. Este perfil se incluye dentro del Apéndice 2.2. de este anejo. Se describe detalladamente a continuación, habiéndose extrapolado en profundidad a partir del perfil geológico-geotécnico longitudinal:

- De 0,00 a 1,50 m: Rellenos antrópicos. Espesor de 1,50 m.
- > 1,50 m: UG-Am (Arena de miga).

4) CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS TERRENOS

Los *parámetros geotécnicos globales de cálculo recomendados* (y justificados en el apartado *"4.2. Caracterización de materiales"* de este anejo) para las diferentes unidades geológico-geotécnicas existentes en el perfil de esta estructura, se resumen en la siguiente tabla.

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE CÁLCULO RECOMENDADOS								
	U.S.C.S.	N30	Finos (%)	Peso específico (kN/m3)	RCS (kg/cm^2)	cohesión c' (kN/m2)	Ángulo de roz. Int. (º)	Coef. de Poisson	Módulo de def (E') (MPa)
Rellenos antrópicos vertidos UG-R	CL	10	28	17	-	7	27	0,3	5
Arena de Miga UG-Am	CL	50	26	19	3	26	34	0,3	18

Con respecto al *nivel freático*, durante la realización de los trabajos de reconocimiento, no se detectó el nivel freático. En resumen, puede considerarse que, a partir de los datos disponibles, las excavaciones previstas no presentaran problemas en relación con el nivel freático.

5) CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

Para la contención del terreno en esta zona se plantea esta pantalla de pilotes.

En la siguiente tabla se indican los coeficientes de balasto horizontales de deformación, en base al diámetro de los pilotes.

Coeficiente de balasto horizontal (Para diferentes diámetros (m) de pilote)					
0,80	1,00	1,20	1,50	1,80	2,00
Kh	Kh	Kh	Kh	Kh	Kh
Kp/cm3	Kp/cm3	Kp/cm3	Kp/cm3	Kp/cm3	Kp/cm3
3,38	**2,70**	**2,25**	**1,80**	**1,50**	**1,35**

6) *AGRESIVIDAD DEL SUBSUELO AL HORMIGÓN*

No se prevé afección a la zona saturada.

Para determinar la agresividad se ha seguido la Instrucción EHE del hormigón estructural vigente.

Agresividad del agua

Para el caso de las aguas, los distintos tipos de exposición, según la Instrucción EHE, en función de los parámetros analizados, son:

Tipos de exposición				
Ensayo	**Ataque nulo**	**Ataque débil**	**Ataque medio**	**Ataque fuerte**
pH	> 6,5	6,5-5,5	5,5-4,5	<4,5
Magnesio (Mg_2^+) (mg/l)	< 300	300-1000	1000-3000	>3000
Sulfato (SO_4^{2-}) (mg/l)	< 200	200-600	600-3000	>3000
Amonio (NH_4^+) (mg/l)	<15	15-30	30-60	>60
CO_2 (mg/l)	<15	15-40	40-100	>100
Residuo seco (mg/l)	> 150	75-150	50-75	<50

No se prevé afección a la zona saturada.

Agresividad del suelo

Según el punto 37.3.5. de la norma EHE, resistencia del hormigón frente al ataque por sulfatos, “en el caso particular de existencia de sulfatos, el cemento deberá poseer la característica adicional de resistencia a los sulfatos, según la vigente instrucción para la recepción de cementos, siempre que su contenido sea igual o mayor que 3000 mg/kg.

Para el caso de suelo, atendiendo al contenido en mg de ión sulfato por kg de suelo seco y al grado de acidez Baumann-Gully:

ENSAYO (*) Estas condiciones no se dan en la práctica	TIPO DE EXPOSICIÓN		
	Qa	Qb	Qc
	Ataque débil	Ataque medio	Ataque fuerte
Grado Acidez Baumann-Gully (ml/kg) según UNE 83.962	> 200	(*)	(*)
ION SULFATO (mg SO42-/kg de suelo seco) según UNE 83.963	2.000-3.000 (0,2-0,3%)	3.000-12.000 (0,3-1,2%)	> 12.000 (> 1,2%)

Para comprobar la agresividad del suelo en la zona de estudio se cuenta con los siguientes ensayos de contenido en sulfatos y de acidez Baumann-Gully.

Sondeo / Calicata	Tipo de muestra	Cotas	Unidad	Parámetro		Tipo de exposición
				Ión sulfato (mg/kg)	Grado de Acidez Baumann-Gully (ml/kg)	
SR-2b	SPT	3,10-3,70	Am	220	21	Nulo
SR-2b	MI	5,00-5,50	Am	114	18	Nulo
SR-2b	SPT	7,30-7,90	Am	73	23	Nulo

En base a los resultados obtenidos, no será preciso el empleo de cementos sulforresistentes.

Ampliaciones de ODT.

Corresponden a las ampliaciones de las ODT 02, ODT 03 y ODT 04 existentes.

1) *CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS*

Se trata de la ampliación de las siguientes obras de drenaje transversal existentes, las cuales se engloban en un mismo apartado al presentar similares características tanto de estructurales como respecto al terreno de apoyo.

Estructura	Vías	PK referencia	Actuación
ODT 02 Prolongación	Vía 1 de Contorno	0+930 vía 1 de Contorno	ODT existente. Prolongación
ODT 03 Prolongación	Vía 1 de Contorno	0+965 vía 1 de Contorno	ODT existente. Prolongación
ODT 04 Prolongación	Vía 1 de Contorno	1+005 vía 1 de Contorno	ODT existente. Prolongación

2) *RECONOCIMIENTOS GEOTÉCNICOS*

- Sondeos: SR-02b.
- Penetros: PD-04.

3) DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO –ESTRATIGRAFÍA-

Con el objetivo de facilitar las recomendaciones geotécnicas de cimentación de estructuras, se ha procedido a elaborar un *perfil geológico-geotécnico de cálculo* (modelo del terreno o perfil estratigráfico) de este en aquellas zonas en que se pueda agrupar, debido a la heterogeneidad de los depósitos. Este perfil se incluye dentro del Apéndice 2.2. de este anejo. Se describe detalladamente a continuación, habiéndose extrapolado en profundidad a partir del perfil geológico-geotécnico longitudinal:

- De 0,00 a 2,50 m: Rellenos antrópicos. Espesor de 2,50 m.
- > 2,50 m: UG-Am (Arena de miga).

4) CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS TERRENOS

Los *parámetros geotécnicos globales de cálculo recomendados* (y justificados en el apartado *"4.2. Caracterización de materiales"* de este anejo) para las diferentes unidades geológico-geotécnicas existentes en el perfil de esta estructura, se resumen en la siguiente tabla.

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE CÁLCULO RECOMENDADOS								
	U.S.C.S.	N30	Finos (%)	Peso específico (kN/m3)	RCS (kg/cm^2)	cohesión c' (kN/m2)	Ángulo de roz. Int. (º)	Coef. de Poisson	Módulo de def (E') (MPa)
Rellenos antrópicos vertidos UG-R	CL	10	28	17	-	7	27	0,3	5
Arena de Miga UG-Am	CL	50	26	19	3	26	34	0,3	18

Con respecto al *nivel freático*, durante la realización de los trabajos de reconocimiento, no se detectó el nivel freático. En resumen, puede considerarse que, a partir de los datos disponibles, las excavaciones previstas no presentaran problemas en relación con el nivel freático.

5) CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

Para las ampliaciones de estas ODT se recomienda una cimentación superficial sobre la unidad UG-Am.

En lo referente a la carga de admisible del terreno de cimentación, se obtienen cargas de hundimiento superiores a 685 kN/m^2, por lo que adoptar una carga admisible de 2 kg/cm^2 presenta un adecuado coeficiente de seguridad frente a rotura, siempre del lado de la seguridad.

		GCOC	ROM 0.5	CTE
Capacidad de Carga	N_c	42,16	42,16	42,16
	N_γ	38,37	38,37	28,77
	N_q	29,44	29,44	29,44
Forma	s_c	1,21	1,21	1,06
	s_γ	0,91	0,88	0,91
	s_q	1,21	1,21	1,30
Profundidad	d_c	1,09	1,09	1,09
	d_γ	1,00	1,00	1,00
	d_q	1,08	1,08	1,10
Inclinación carga	i_c	1,00	1,00	1,00
	i_γ	1,00	1,00	1,00
	i_q	1,00	1,00	1,00
Inclinación de la base	b_c	1,00	1,00	-
	b_γ	1,00	1,00	-
	b_q	1,00	1,00	-
Inclinación del terreno	g_c	1,00	1,00	1,00
	g_γ	1,00	1,00	1,00
	g_q	1,00	1,00	1,00

Presión vertical hundimiento p_{vh}	kN/m^2	877,5	865,0	685,2
Presión vertical admisible p_{adm}	kN/m^2	292,5	288,3	228,4

Durante la realización de excavaciones provisionales para las cimentaciones, se recogen en la siguiente tabla los ángulos a adoptar recomendados.

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	TALUDES DE EXCAVACIÓN A CORTO PLAZO (TEMPORALES)		
	Altura < 3 m *(*)*	Altura 3 - 5 m	Altura > 5 m
Rellenos antrópicos (R)	2H:3V (56,31º)	1H:1V (45º)	3H:2V (33,69º)
Arena de miga	1H:3V (71,56º)	2H:3V (56,31º)	1H:1V (45º)

(*) LOS TALUDES DE EXCAVACIÓN RECOMENDADOS PARA ALTURAS MENORES DE 3 M, PODRÁN ADOPTAR VALORES IGUALES A SUPERIORES A 1H:3V, SIEMPRE QUE SE TRATE DE TALUDES TEMPORALES, QUE PERMANEZCAN ABIERTOS BREVES PERÍODOS DE TIEMPO PARA EVITAR DESLIZAMIENTOS LOCALES, ADEMÁS DEBERÁ DEJARSE UN MARGEN DE SEGURIDAD ENTRE 1-2 M DESDE LA CABECERA DEL TALUD A ESTRUCTURAS O VIALES CERCANOS PARA EVITAR SU AFECCIÓN; NO OBSTANTE, SI ESTAS EXCAVACIONES PERMANECEN ABIERTAS UN CIERTO PERÍODO DE TIEMPO Y MÁS SI COINCIDEN CON ÉPOCAS DE LLUVIA SERÁ NECESARIO SUAVIZAR LOS TALUDES HASTA LOS RECOMENDADOS EN LA TABLA ANTERIOR A CORTO PLAZO -TEMPORALES- PARA ALTURAS MENORES DE 4 M, E INCLUSO ADOPTAR BERMAS INTERMEDIAS O ELEMENTOS DE REFUERZO O ENTIBACIÓN SI SE LLEGAN A OBSERVAR PREVISIBLES INESTABILIDADES EN FASE DE OBRA).

6) *AGRESIVIDAD DEL SUBSUELO AL HORMIGÓN*

No se prevé afección a la zona saturada.

Para determinar la agresividad se ha seguido la Instrucción EHE del hormigón estructural vigente.

Agresividad del agua

Para el caso de las aguas, los distintos tipos de exposición, según la Instrucción EHE, en función de los parámetros analizados, son:

Tipos de exposición				
Ensayo	**Ataque nulo**	**Ataque débil**	**Ataque medio**	**Ataque fuerte**
pH	> 6,5	6,5-5,5	5,5-4,5	<4,5
Magnesio (Mg_2^+) (mg/l)	< 300	300-1000	1000-3000	>3000
Sulfato (SO_4^{2-}) (mg/l)	< 200	200-600	600-3000	>3000
Amonio (NH_4^+) (mg/l)	<15	15-30	30-60	>60
CO_2 (mg/l)	<15	15-40	40-100	>100
Residuo seco (mg/l)	> 150	75-150	50-75	<50

No se prevé afección a la zona saturada.

Agresividad del suelo

Según el punto 37.3.5. de la norma EHE, resistencia del hormigón frente al ataque por sulfatos, "en el caso particular de existencia de sulfatos, el cemento deberá poseer la característica adicional de resistencia a los sulfatos, según la vigente instrucción para la recepción de cementos, siempre que su contenido sea igual o mayor que 3000 mg/kg.

Para el caso de suelo, atendiendo al contenido en mg de ión sulfato por kg de suelo seco y al grado de acidez Baumann-Gully:

ENSAYO (*) Estas condiciones no se dan en la práctica	TIPO DE EXPOSICIÓN		
	Qa	Qb	Qc
	Ataque débil	Ataque medio	Ataque fuerte
Grado Acidez Baumann-Gully (ml/kg) según UNE 83.962	> 200	(*)	(*)
ION SULFATO (mg SO42-/kg de suelo seco) según UNE 83.963	2.000-3.000 (0,2-0,3%)	3.000-12.000 (0,3-1,2%)	> 12.000 (> 1,2%)

Tipos de exposición según Instrucción EHE

Para comprobar la agresividad del suelo en la zona de estudio se cuenta con los siguientes ensayos de contenido en sulfatos y de acidez Baumann-Gully.

Sondeo / Calicata	Tipo de muestra	Cotas	Unidad	Parámetro		Tipo de exposición
				Ión sulfato (mg/kg)	Grado de Acidez Baumann-Gully (ml/kg)	
SR-2b	SPT	3,10-3,70	Am	220	21	Nulo
SR-2b	MI	5,00-5,50	Am	114	18	Nulo
SR-2b	SPT	7,30-7,90	Am	73	23	Nulo

En base a los resultados obtenidos, no será preciso el empleo de cementos sulforresistentes.

4.7.2.2. REJAS

En el ámbito de Rejas no se realiza ninguna actuación de estructuras de obra civil.

4.7.2.3. SAN FERNANDO DE HENARES

A continuación, se incluyen las tablas con las denominaciones y principales características de las estructuras consideradas en este ámbito y por cada una de las Alternativas.

4.7.2.3.1. ALTERNATIVA 1

En esta alternativa obre la zona de actuación de San Fernando de Henares, se prevén las siguientes estructuras:

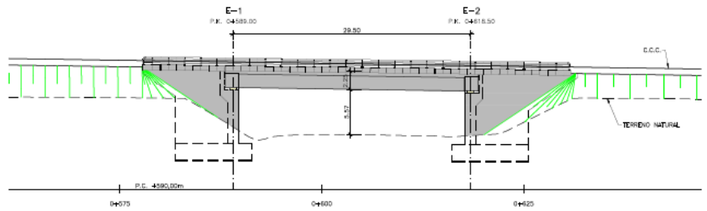
	ESTRUCTURA	TIPOLOGÍA	DIMENSIONES (m^2,ml)
San Fernando	V-01	Viaducto de vigas prefabricadas	413
	V-04	Viaducto losa postensada	420,98
	PI-02	Ampliación del PI	14
	PI-03	Paso Inferior	110,95
	MURO-01	Sostenimiento pilotes	7200
	MURO-02	Sostenimiento pilotes	7300
	MURO-03	Muro en L	43
	MURO-04	Sostenimiento pilotes	4300
	MURO-05	Sostenimiento pilotes	4300

A continuación, se detallan las recomendaciones de cimentación para cada una de las mismas.

Viaducto 01.

1) CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

Corresponde a una estructura de vigas prefabricadas en forma de artesa sobre estribos cerrados. El canto de las vigas se establece en dos metros junto con losa de 0.25m.



2) RECONOCIMIENTOS GEOTÉCNICOS

- Calicatas: C-02, C-03.
- Pruebas de penetración dinámica: P-01

3) DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO –ESTRATIGRAFÍA-

Con el objetivo de facilitar las recomendaciones geotécnicas de cimentación de estructuras, se ha procedido a elaborar un *perfil geológico-geotécnico de cálculo* (modelo del terreno o perfil estratigráfico) de este en aquellas zonas en que se pueda agrupar, debido a la heterogeneidad de los depósitos. Este perfil se incluye dentro del Apéndice 4.2. de este anejo. Se describe detalladamente a continuación, habiéndose extrapolado en profundidad a partir del perfil geológico-geotécnico longitudinal:

- De 0,00 a 0,50 m: Tierra vegetal. Espesor de 0,50 m.
- > 0,50 m: UG-G (Arcillas. “Gredas”).

4) CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS TERRENOS

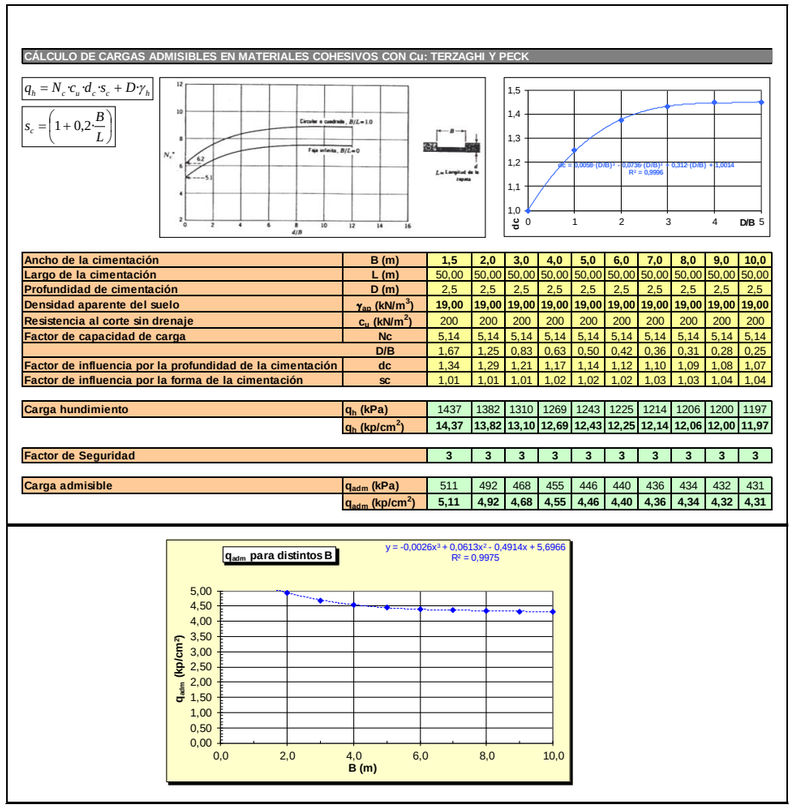
Los *parámetros geotécnicos globales de cálculo recomendados* (y justificados en el apartado *“4.2. Caracterización de materiales”* de este anejo) para las diferentes unidades geológico-geotécnicas existentes en el perfil de esta estructura, se resumen en la siguiente tabla.

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE CÁLCULO RECOMENDADOS								
	U.S.C.S.	N30	Finos (%)	Peso específico (kN/m3)	RCS (kg/cm^2)	cohesión c' (kN/m2)	Ángulo de roz. Int. (º)	Coef. de Poisson	Módulo de def (E') (MPa)
Arcillas (Gredas) UG-G	CL	25	72	19	4	43	36	0,27	40

Con respecto al *nivel freático*, durante la realización de los trabajos de reconocimiento, no se detectó el nivel freático. En resumen, puede considerarse que, a partir de los datos disponibles, las excavaciones previstas no presentaran problemas en relación con el nivel freático.

5) CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

Para la cimentación de esta estructura se recomienda una cimentación superficial, apoyada sobre la unidad geotécnica UG-G.



En lo referente a la carga de admisible del terreno de cimentación, se obtienen cargas de hundimiento superiores a 1200 kN/m^2, por lo que adoptar una carga admisible de 4 kg/cm^2 presenta un adecuado coeficiente de seguridad frente a rotura, siempre del lado de la seguridad.

Durante la realización de excavaciones provisionales para las cimentaciones, se recogen en la siguiente tabla los ángulos a adoptar recomendados.

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	TALUDES DE EXCAVACIÓN A CORTO PLAZO (TEMPORALES)		
	Altura < 3 m *(*)*	Altura 3 - 5 m	Altura > 5 m
Rellenos antrópicos (R)	2H:3V (56,31º)	1H:1V (45º)	3H:2V (33,69º)
Gredas (UG-G)	1H:3V (71,56º)	2H:3V (56,31º)	1H:1V (45º)

(*) LOS TALUDES DE EXCAVACIÓN RECOMENDADOS PARA ALTURAS MENORES DE 3 M, PODRÁN ADOPTAR VALORES IGUALES A SUPERIORES A 1H:3V, SIEMPRE QUE SE TRATE DE TALUDES TEMPORALES, QUE PERMANEZCAN ABIERTOS BREVES PERÍODOS DE TIEMPO PARA EVITAR DESLIZAMIENTOS LOCALES, ADEMÁS DEBERÁ DEJARSE UN MARGEN DE SEGURIDAD ENTRE 1-2 M DESDE LA CABECERA DEL TALUD A ESTRUCTURAS O VIALES CERCANOS PARA EVITAR SU AFECCIÓN; NO OBSTANTE, SI ESTAS EXCAVACIONES PERMANECEN ABIERTAS UN CIERTO PERÍODO DE TIEMPO Y MÁS SI COINCIDEN CON ÉPOCAS DE LLUVIA SERÁ NECESARIO SUAVIZAR LOS TALUDES HASTA LOS RECOMENDADOS EN LA TABLA ANTERIOR A CORTO PLAZO -TEMPORALES- PARA ALTURAS MENORES DE 4 M, E INCLUSO ADOPTAR BERMAS INTERMEDIAS O ELEMENTOS DE REFUERZO O ENTIBACIÓN SI SE LLEGAN A OBSERVAR PREVISIBLES INESTABILIDADES EN FASE DE OBRA).

6) AGRESIVIDAD DEL SUBSUELO AL HORMIGÓN

Para determinar la agresividad se ha seguido la Instrucción EHE del hormigón estructural vigente.

Agresividad del agua

Para el caso de las aguas, los distintos tipos de exposición, según la Instrucción EHE, en función de los parámetros analizados, son:

Tipos de exposición				
Ensayo	**Ataque nulo**	**Ataque débil**	**Ataque medio**	**Ataque fuerte**
pH	> 6,5	6,5-5,5	5,5-4,5	<4,5
Magnesio (Mg_2^+) (mg/l)	< 300	300-1000	1000-3000	>3000
Sulfato (SO_4^{2-}) (mg/l)	< 200	200-600	600-3000	>3000
Amonio (NH_4^+) (mg/l)	<15	15-30	30-60	>60
CO_2 (mg/l)	<15	15-40	40-100	>100
Residuo seco (mg/l)	> 150	75-150	50-75	<50

No se prevé afección a la zona saturada.

Agresividad del suelo

Según el punto 37.3.5. de la norma EHE, resistencia del hormigón frente al ataque por sulfatos, “en el caso particular de existencia de sulfatos, el cemento deberá poseer la característica adicional de resistencia a los sulfatos, según la vigente instrucción para la recepción de cementos, siempre que su contenido sea igual o mayor que 3000 mg/kg.

Para el caso de suelo, atendiendo al contenido en mg de ión sulfato por kg de suelo seco y al grado de acidez Baumann-Gully:

ENSAYO (*) Estas condiciones no se dan en la práctica	TIPO DE EXPOSICIÓN		
	Qa	Qb	Qc
	Ataque débil	Ataque medio	Ataque fuerte
Grado Acidez Baumann-Gully (ml/kg) según UNE 83.962	> 200	(*)	(*)
ION SULFATO (mg SO42-/kg de suelo seco) según UNE 83.963	2.000-3.000 (0,2-0,3%)	3.000-12.000 (0,3-1,2%)	> 12.000 (> 1,2%)

Para comprobar la agresividad del suelo en la zona de estudio se cuenta con los siguientes ensayos de contenido en sulfatos y de acidez Baumann-Gully.

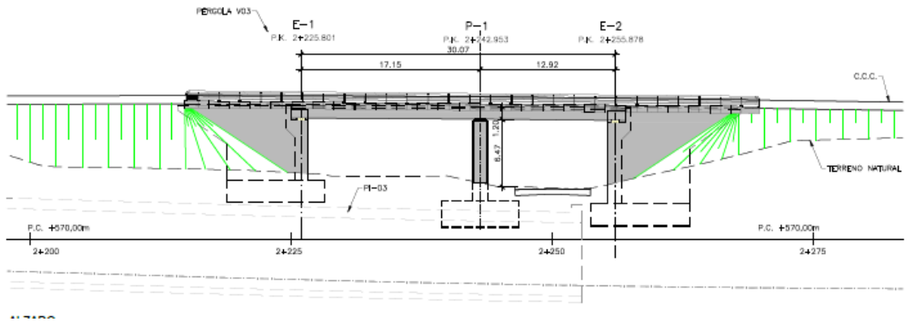
Sondeo / Calicata	Tipo de muestra	Cotas	Unidad	Parámetro		Tipo de exposición
				Ión sulfato (mg/kg)	Grado de Acidez Baumann-Gully (ml/kg)	
S-1	SPT	11,42-11,68	Y	4286	<200	Medio
S-1	TP	19,80-20,20	Y	7815	<200	Medio

En base a los resultados obtenidos, será preciso el empleo de cementos sulforresistentes, ya que, aunque no se dispone de ensayos de agresividad sobre la unidad UG-G, los ensayos resultantes sobre la unidad adyacente dan como resultado agresividad media.

Viaducto 04

1) CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

Corresponde a una losa postensada sobre estribos cerrados. El canto del tablero se establece en 1.20 metros.



2) RECONOCIMIENTOS GEOTÉCNICOS

- Sondeos: S-01.
- Pruebas de penetración dinámica: P-07, P-08

3) DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO –ESTRATIGRAFÍA-

Con el objetivo de facilitar las recomendaciones geotécnicas de cimentación de estructuras, se ha procedido a elaborar un *perfil geológico-geotécnico de cálculo* (modelo del terreno o perfil estratigráfico) de este en aquellas zonas en que se pueda agrupar, debido a la heterogeneidad de los depósitos. Este perfil se incluye dentro del Apéndice 4.2. de este anejo. Se describe detalladamente a continuación, habiéndose extrapolado en profundidad a partir del perfil geológico-geotécnico longitudinal:

- De 0,00 a 20,00 m: UG-G (Arcillas. “Gredas”).
- > 20,00 m: UG-Y (Yesos tableados).

4) CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS TERRENOS

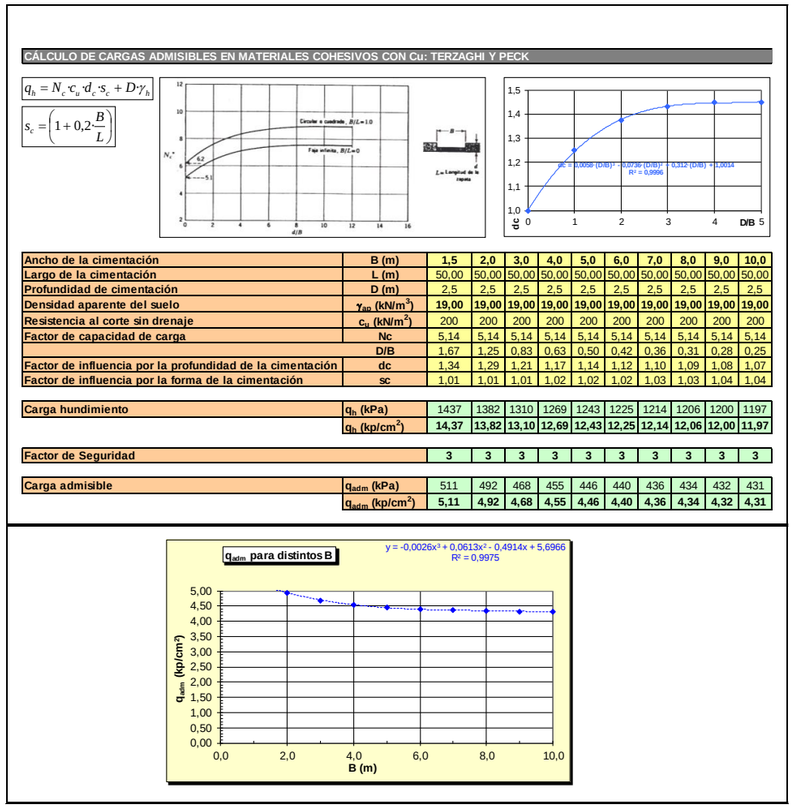
Los *parámetros geotécnicos globales de cálculo recomendados* (y justificados en el apartado *“4.2. Caracterización de materiales”* de este anejo) para las diferentes unidades geológico-geotécnicas existentes en el perfil de esta estructura, se resumen en la siguiente tabla.

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE CÁLCULO RECOMENDADOS								
	U.S.C.S.	N30	Finos (%)	Peso específico (kN/m3)	RCS (kg/cm^2)	cohesión c' (kN/m2)	Ángulo de roz. Int. (º)	Coef. de Poisson	Módulo de def (E') (MPa)
Arcillas (Gredas) UG-G	CL	25	72	19	4	43	36	0,27	40

Con respecto al *nivel freático*, durante la realización de los trabajos de reconocimiento, se detectó el nivel freático a 8,35 m de profundidad. En resumen, puede considerarse que, a partir de los datos disponibles, las excavaciones provisionales previstas no presentaran problemas en relación con el nivel freático.

5) CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

Para la cimentación de esta estructura se recomienda una cimentación superficial, apoyada sobre la unidad geotécnica UG-G.



En lo referente a la carga de admisible del terreno de cimentación, se obtienen cargas de hundimiento superiores a 1200 kN/m^2, por lo que adoptar una carga admisible de 4 kg/cm^2 presenta un adecuado coeficiente de seguridad frente a rotura, siempre del lado de la seguridad.

Durante la realización de excavaciones provisionales para las cimentaciones, se recogen en la siguiente tabla los ángulos a adoptar recomendados.

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	TALUDES DE EXCAVACIÓN A CORTO PLAZO (TEMPORALES)		
	Altura < 3 m *(*)*	Altura 3 - 5 m	Altura > 5 m
Rellenos antrópicos (R)	2H:3V (56,31º)	1H:1V (45º)	3H:2V (33,69º)
Gredas (UG-G)	1H:3V (71,56º)	2H:3V (56,31º)	1H:1V (45º)

(*) LOS TALUDES DE EXCAVACIÓN RECOMENDADOS PARA ALTURAS MENORES DE 3 M, PODRÁN ADOPTAR VALORES IGUALES A SUPERIORES A 1H:3V, SIEMPRE QUE SE TRATE DE TALUDES TEMPORALES, QUE PERMANEZCAN ABIERTOS BREVES PERÍODOS DE TIEMPO PARA EVITAR DESLIZAMIENTOS LOCALES, ADEMÁS DEBERÁ DEJARSE UN MARGEN DE SEGURIDAD ENTRE 1-2 M DESDE LA CABECERA DEL TALUD A ESTRUCTURAS O VIALES CERCANOS PARA EVITAR SU AFECCIÓN; NO OBSTANTE, SI ESTAS EXCAVACIONES PERMANECEN ABIERTAS UN CIERTO PERÍODO DE TIEMPO Y MÁS SI COINCIDEN CON ÉPOCAS DE LLUVIA SERÁ NECESARIO SUAVIZAR LOS TALUDES HASTA LOS RECOMENDADOS EN LA TABLA ANTERIOR A CORTO PLAZO -TEMPORALES- PARA ALTURAS MENORES DE 4 M, E INCLUSO ADOPTAR BERMAS INTERMEDIAS O ELEMENTOS DE REFUERZO O ENTIBACIÓN SI SE LLEGAN A OBSERVAR PREVISIBLES INESTABILIDADES EN FASE DE OBRA).

6) AGRESIVIDAD DEL SUBSUELO AL HORMIGÓN

Para determinar la agresividad se ha seguido la Instrucción EHE del hormigón estructural vigente.

Agresividad del agua

Para el caso de las aguas, los distintos tipos de exposición, según la Instrucción EHE, en función de los parámetros analizados, son:

Tipos de exposición				
Ensayo	**Ataque nulo**	**Ataque débil**	**Ataque medio**	**Ataque fuerte**
pH	> 6,5	6,5-5,5	5,5-4,5	<4,5
Magnesio (Mg_2^+) (mg/l)	< 300	300-1000	1000-3000	>3000
Sulfato (SO_4^{2-}) (mg/l)	< 200	200-600	600-3000	>3000
Amonio (NH_4^+) (mg/l)	<15	15-30	30-60	>60
CO_2 (mg/l)	<15	15-40	40-100	>100
Residuo seco (mg/l)	> 150	75-150	50-75	<50

No se prevé afección a la zona saturada.

Agresividad del suelo

Según el punto 37.3.5. de la norma EHE, resistencia del hormigón frente al ataque por sulfatos, “en el caso particular de existencia de sulfatos, el cemento deberá poseer la característica adicional de resistencia a los sulfatos, según la vigente instrucción para la recepción de cementos, siempre que su contenido sea igual o mayor que 3000 mg/kg.

Para el caso de suelo, atendiendo al contenido en mg de ión sulfato por kg de suelo seco y al grado de acidez Baumann-Gully:

ENSAYO (*) Estas condiciones no se dan en la práctica	TIPO DE EXPOSICIÓN		
	Qa	Qb	Qc
	Ataque débil	Ataque medio	Ataque fuerte
Grado Acidez Baumann-Gully (ml/kg) según UNE 83.962	> 200	(*)	(*)
ION SULFATO (mg SO42-/kg de suelo seco) según UNE 83.963	2.000-3.000 (0,2-0,3%)	3.000-12.000 (0,3-1,2%)	> 12.000 (> 1,2%)

Para comprobar la agresividad del suelo en la zona de estudio se cuenta con los siguientes ensayos de contenido en sulfatos y de acidez Baumann-Gully.

Sondeo / Calicata	Tipo de muestra	Cotas	Unidad	Parámetro		Tipo de exposición
				Ión sulfato (mg/kg)	Grado de Acidez Baumann-Gully (ml/kg)	
S-1	SPT	11,42-11,68	Y	4286	<200	Medio
S-1	TP	19,80-20,20	Y	7815	<200	Medio

En base a los resultados obtenidos, será preciso el empleo de cementos sulforresistentes, ya que, aunque no se dispone de ensayos de agresividad sobre la unidad UG-G, los ensayos resultantes sobre la unidad subadyacente, dan como resultado agresividad media.

Paso Inferior 02.

1) CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

Corresponde a la ampliación del paso inferior existente, se ha estimado una ampliación e unos 14m.

2) *RECONOCIMIENTOS GEOTÉCNICOS*

- Calicatas: C-03.
- Pruebas de penetración dinámica: P-03

3) *DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO –ESTRATIGRAFÍA-*

Con el objetivo de facilitar las recomendaciones geotécnicas de cimentación de estructuras, se ha procedido a elaborar un *perfil geológico-geotécnico de cálculo* (modelo del terreno o perfil estratigráfico) de este en aquellas zonas en que se pueda agrupar, debido a la heterogeneidad de los depósitos. Este perfil se incluye dentro del Apéndice 4.2. de este anejo. Se describe detalladamente a continuación, habiéndose extrapolado en profundidad a partir del perfil geológico-geotécnico longitudinal:

- De 0,00 a 0,50 m: Tierra vegetal. Espesor de 0,50 m.
- > 0,50 m: UG-G (Arcillas. “Gredas”).

4) *CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS TERRENOS*

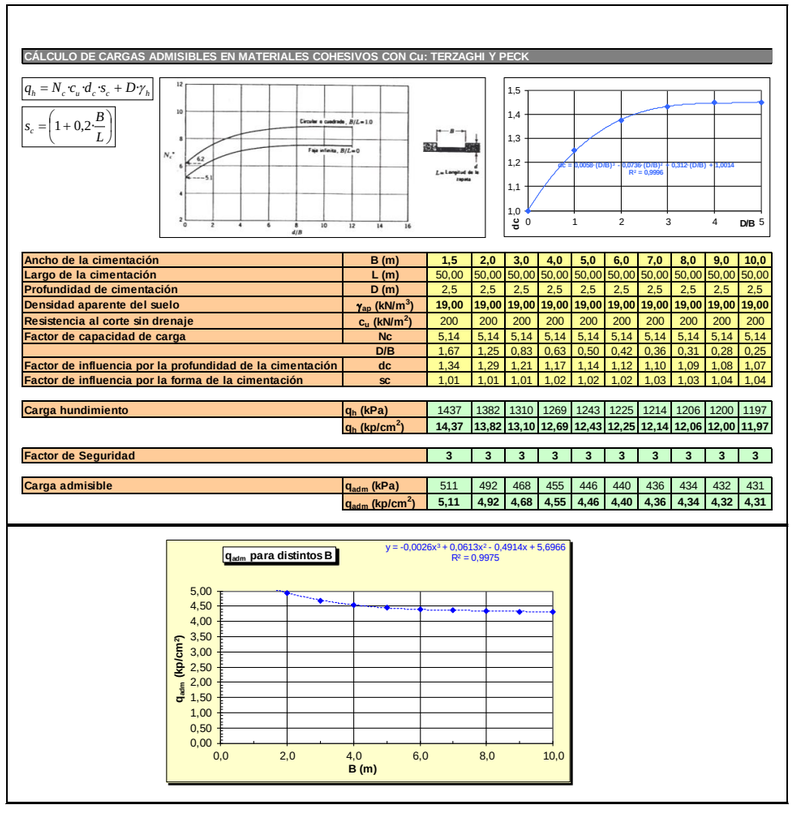
Los *parámetros geotécnicos globales de cálculo recomendados* (y justificados en el apartado *“4.2. Caracterización de materiales”* de este anejo) para las diferentes unidades geológico-geotécnicas existentes en el perfil de esta estructura, se resumen en la siguiente tabla.

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE CÁLCULO RECOMENDADOS								
	U.S.C.S.	N30	Finos (%)	Peso específico (kN/m3)	RCS (kg/cm^2)	cohesión c' (kN/m2)	Ángulo de roz. Int. (º)	Coef. de Poisson	Módulo de def (E') (MPa)
Arcillas (Gredas) UG-G	CL	25	72	19	4	43	36	0,27	40

Con respecto al *nivel freático*, durante la realización de los trabajos de reconocimiento, no se detectó el nivel freático. En resumen, puede considerarse que, a partir de los datos disponibles, las excavaciones previstas no presentaran problemas en relación con el nivel freático.

5) *CONDICIONES DE CIMENTACIÓN*

Para la prolongación de este paso inferior se recomienda una cimentación superficial, apoyada sobre la unidad geotécnica UG-G.



En lo referente a la carga de admisible del terreno de cimentación, se obtienen cargas de hundimiento superiores a 1200 kN/m^2, por lo que adoptar una carga admisible de 4 kg/cm^2 presenta un adecuado coeficiente de seguridad frente a rotura, siempre del lado de la seguridad.

Durante la realización de excavaciones provisionales para las cimentaciones, se recogen en la siguiente tabla los ángulos a adoptar recomendados.

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	TALUDES DE EXCAVACIÓN A CORTO PLAZO (TEMPORALES)		
	Altura < 3 m *(*)*	Altura 3 - 5 m	Altura > 5 m
Rellenos antrópicos (R)	2H:3V (56,31º)	1H:1V (45º)	3H:2V (33,69º)
Gredas (UG-G)	1H:3V (71,56º)	2H:3V (56,31º)	1H:1V (45º)

(*) LOS TALUDES DE EXCAVACIÓN RECOMENDADOS PARA ALTURAS MENORES DE 3 M, PODRÁN ADOPTAR VALORES IGUALES A SUPERIORES A 1H:3V, SIEMPRE QUE SE TRATE DE TALUDES TEMPORALES, QUE PERMANEZCAN ABIERTOS BREVES PERÍODOS DE TIEMPO PARA EVITAR DESLIZAMIENTOS LOCALES, ADEMÁS DEBERÁ DEJARSE UN MARGEN DE SEGURIDAD ENTRE 1-2 M DESDE LA CABECERA DEL TALUD A ESTRUCTURAS O VIALES CERCANOS PARA EVITAR SU AFECCIÓN; NO OBSTANTE, SI ESTAS EXCAVACIONES PERMANECEN ABIERTAS UN CIERTO PERÍODO DE TIEMPO Y MÁS SI COINCIDEN CON ÉPOCAS DE LLUVIA SERÁ NECESARIO SUAVIZAR LOS TALUDES HASTA LOS RECOMENDADOS EN LA TABLA ANTERIOR A CORTO PLAZO -TEMPORALES- PARA ALTURAS MENORES DE 4 M, E INCLUSO ADOPTAR BERMAS INTERMEDIAS O ELEMENTOS DE REFUERZO O ENTIBACIÓN SI SE LLEGAN A OBSERVAR PREVISIBLES INESTABILIDADES EN FASE DE OBRA).

6) *AGRESIVIDAD DEL SUBSUELO AL HORMIGÓN*

Para determinar la agresividad se ha seguido la Instrucción EHE del hormigón estructural vigente.

Agresividad del agua

Para el caso de las aguas, los distintos tipos de exposición, según la Instrucción EHE, en función de los parámetros analizados, son:

Tipos de exposición				
Ensayo	**Ataque nulo**	**Ataque débil**	**Ataque medio**	**Ataque fuerte**
pH	> 6,5	6,5-5,5	5,5-4,5	<4,5
Magnesio (Mg_2^+) (mg/l)	< 300	300-1000	1000-3000	>3000
Sulfato (SO_4^{2-}) (mg/l)	< 200	200-600	600-3000	>3000
Amonio (NH_4^+) (mg/l)	<15	15-30	30-60	>60
CO_2 (mg/l)	<15	15-40	40-100	>100
Residuo seco (mg/l)	> 150	75-150	50-75	<50

No se prevé afección a la zona saturada.

Agresividad del suelo

Según el punto 37.3.5. de la norma EHE, resistencia del hormigón frente al ataque por sulfatos, “en el caso particular de existencia de sulfatos, el cemento deberá poseer la característica adicional de resistencia a los sulfatos, según la vigente instrucción para la recepción de cementos, siempre que su contenido sea igual o mayor que 3000 mg/kg.

Para el caso de suelo, atendiendo al contenido en mg de ión sulfato por kg de suelo seco y al grado de acidez Baumann-Gully:

ENSAYO (*) Estas condiciones no se dan en la práctica	TIPO DE EXPOSICIÓN		
	Qa	Qb	Qc
	Ataque débil	Ataque medio	Ataque fuerte
Grado Acidez Baumann-Gully (ml/kg) según UNE 83.962	> 200	(*)	(*)
ION SULFATO (mg SO42-/kg de suelo seco) según UNE 83.963	2.000-3.000 (0,2-0,3%)	3.000-12.000 (0,3-1,2%)	> 12.000 (> 1,2%)

Para comprobar la agresividad del suelo en la zona de estudio se cuenta con los siguientes ensayos de contenido en sulfatos y de acidez Baumann-Gully.

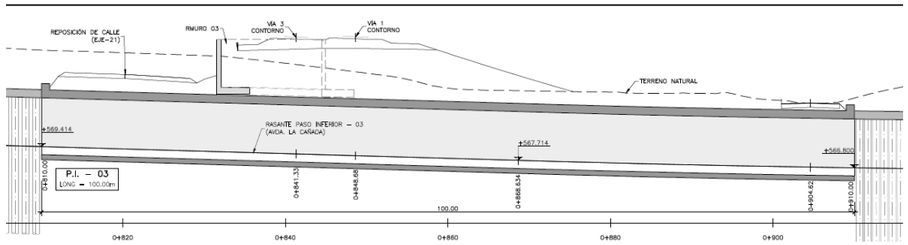
Sondeo / Calicata	Tipo de muestra	Cotas	Unidad	Parámetro		Tipo de exposición
				Ión sulfato (mg/kg)	Grado de Acidez Baumann-Gully (ml/kg)	
S-1	SPT	11,42-11,68	Y	4286	<200	Medio
S-1	TP	19,80-20,20	Y	7815	<200	Medio

En base a los resultados obtenidos, será preciso el empleo de cementos sulforresistentes, ya que, aunque no se dispone de ensayos de agresividad sobre la unidad UG-G, los ensayos resultantes sobre la unidad adyacente dan como resultado agresividad media.

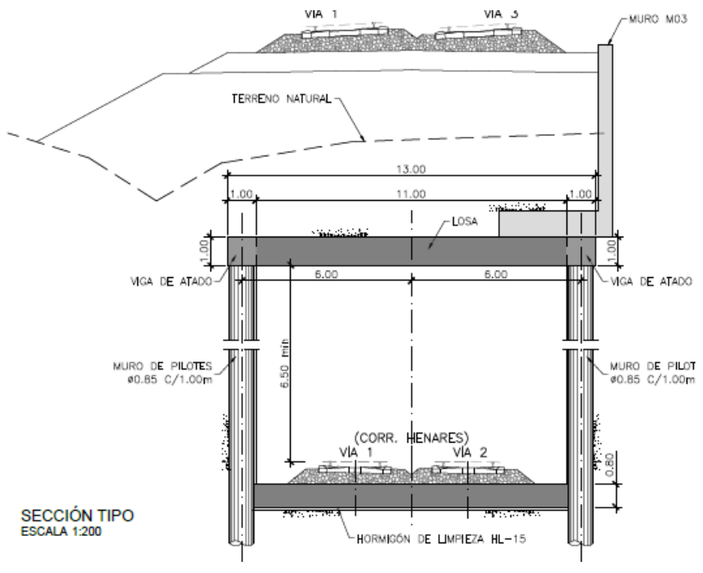
Paso Inferior 03.

1) CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

Corresponde a un nuevo paso inferior formado por una losa de 1 metro de canto sobre pilotes.



Se muestra a continuación la sección tipo:



2) RECONOCIMIENTOS GEOTÉCNICOS

- Sondeos: S-01.
- Pruebas de penetración dinámica: P-07, P-08

3) DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO –ESTRATIGRAFÍA-

Con el objetivo de facilitar las recomendaciones geotécnicas de cimentación de estructuras, se ha procedido a elaborar un *perfil geológico-geotécnico de cálculo* (modelo del terreno o perfil estratigráfico) de este en aquellas zonas en que se pueda agrupar, debido a la heterogeneidad de los depósitos. Este perfil se incluye dentro del Apéndice 4.2. de este anejo. Se describe detalladamente a continuación, habiéndose extrapolado en profundidad a partir del perfil geológico-geotécnico longitudinal:

- De 0,00 a 20,00 m: UG-G (Arcillas. “Gredas”).
- > 20,00 m: UG-Y (Yesos tableados).

4) CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS TERRENOS

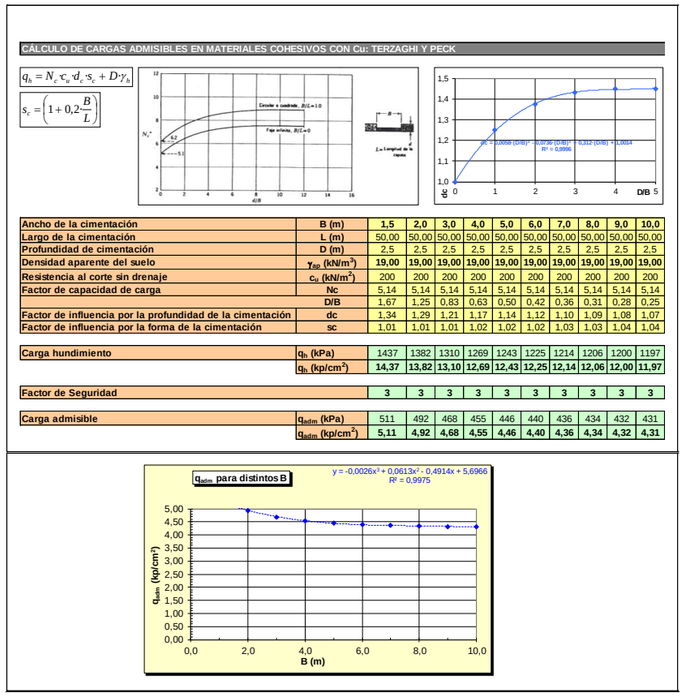
Los *parámetros geotécnicos globales de cálculo recomendados* (y justificados en el apartado *“4.2. Caracterización de materiales”* de este anejo) para las diferentes unidades geológico-geotécnicas existentes en el perfil de esta estructura, se resumen en la siguiente tabla.

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE CÁLCULO RECOMENDADOS								
	U.S.C.S.	N30	Finos (%)	Peso específico (kN/m3)	RCS (kg/cm^2)	cohesión c' (kN/m2)	Ángulo de roz. Int. (º)	Coef. de Poisson	Módulo de def (E') (MPa)
Rellenos antrópicos vertidos UG-R	CL	10	28	17	-	7	27	0,3	5
Arcillas (Gredas) UG-G	CL	25	72	19	4	43	36	0,27	40

Con respecto al *nivel freático*, durante la realización de los trabajos de reconocimiento, se detectó el nivel freático a 8,35 m de profundidad. En resumen, puede considerarse que, a partir de los datos disponibles, las excavaciones provisionales previstas no presentaran problemas en relación con el nivel freático.

5) CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

Para la cimentación de este paso inferior se recomienda una cimentación superficial, apoyada sobre la unidad geotécnica UG-G.



Ancho de la cimentación	B (m)	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
Largo de la cimentación	L (m)	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Profundidad de cimentación	D (m)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Densidad aparente del suelo	γ_{ap} (kN/m³)	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
Resistencia al corte sin drenaje	c_u (kN/m²)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Factor de capacidad de carga	Nc	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14
	D/B	1,67	1,25	0,83	0,63	0,50	0,42	0,36	0,31	0,28	0,25
Factor de influencia por la profundidad de la cimentación	dc	1,34	1,29	1,21	1,17	1,14	1,12	1,10	1,09	1,08	1,07
Factor de influencia por la forma de la cimentación	sc	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	1,04
Carga hundimiento	q_h (kPa)	1437	1382	1310	1269	1243	1225	1214	1206	1200	1197
	q_h (kp/cm²)	14,37	13,82	13,10	12,69	12,43	12,25	12,14	12,06	12,00	11,97
Factor de Seguridad		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Carga admisible	q_{adm} (kPa)	511	492	468	455	446	440	436	434	432	431
	q_{adm} (kp/cm²)	5,11	4,92	4,68	4,55	4,46	4,40	4,36	4,34	4,32	4,31

En lo referente a la carga de admisible del terreno de cimentación, se obtienen cargas de hundimiento superiores a 1200 kN/m^2, por lo que adoptar una carga admisible de 4 kg/cm^2 presenta un adecuado coeficiente de seguridad frente a rotura, siempre del lado de la seguridad.

Durante la realización de excavaciones provisionales para las cimentaciones, se recogen en la siguiente tabla los ángulos a adoptar recomendados.

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	TALUDES DE EXCAVACIÓN A CORTO PLAZO (TEMPORALES)		
	Altura < 3 m *(*)*	Altura 3 - 5 m	Altura > 5 m
Rellenos antrópicos (R)	2H:3V (56,31º)	1H:1V (45º)	3H:2V (33,69º)
Gredas (UG-G)	1H:3V (71,56º)	2H:3V (56,31º)	1H:1V (45º)

(*) LOS TALUDES DE EXCAVACIÓN RECOMENDADOS PARA ALTURAS MENORES DE 3 M, PODRÁN ADOPTAR VALORES IGUALES A SUPERIORES A 1H:3V, SIEMPRE QUE SE TRATE DE TALUDES TEMPORALES, QUE PERMANEZCAN ABIERTOS BREVES PERÍODOS DE TIEMPO PARA EVITAR DESLIZAMIENTOS LOCALES, ADEMÁS DEBERÁ DEJARSE UN MARGEN DE SEGURIDAD ENTRE 1-2 M DESDE LA CABECERA DEL TALUD A ESTRUCTURAS O VIALES CERCANOS PARA EVITAR SU AFECCIÓN; NO OBSTANTE, SI ESTAS EXCAVACIONES PERMANECEN ABIERTAS UN CIERTO PERÍODO DE TIEMPO Y MÁS SI COINCIDEN CON ÉPOCAS DE LLUVIA SERÁ NECESARIO SUAVIZAR LOS TALUDES HASTA LOS RECOMENDADOS EN LA TABLA ANTERIOR A CORTO PLAZO -TEMPORALES- PARA ALTURAS MENORES DE 4 M, E INCLUSO ADOPTAR BERMAS INTERMEDIAS O ELEMENTOS DE REFUERZO O ENTIBACIÓN SI SE LLEGAN A OBSERVAR PREVISIBLES INESTABILIDADES EN FASE DE OBRA).

6) AGRESIVIDAD DEL SUBSUELO AL HORMIGÓN

Para determinar la agresividad se ha seguido la Instrucción EHE del hormigón estructural vigente.

Agresividad del agua

Para el caso de las aguas, los distintos tipos de exposición, según la Instrucción EHE, en función de los parámetros analizados, son:

Tipos de exposición				
Ensayo	**Ataque nulo**	**Ataque débil**	**Ataque medio**	**Ataque fuerte**
pH	> 6,5	6,5-5,5	5,5-4,5	<4,5
Magnesio (Mg_2^+) (mg/l)	< 300	300-1000	1000-3000	>3000
Sulfato (SO_4^{2-}) (mg/l)	< 200	200-600	600-3000	>3000
Amonio (NH_4^+) (mg/l)	<15	15-30	30-60	>60
CO_2 (mg/l)	<15	15-40	40-100	>100
Residuo seco (mg/l)	> 150	75-150	50-75	<50

No se prevé afección a la zona saturada.

Agresividad del suelo

Según el punto 37.3.5. de la norma EHE, resistencia del hormigón frente al ataque por sulfatos, “en el caso particular de existencia de sulfatos, el cemento deberá poseer la característica adicional de resistencia a los sulfatos, según la vigente instrucción para la recepción de cementos, siempre que su contenido sea igual o mayor que 3000 mg/kg.

Para el caso de suelo, atendiendo al contenido en mg de ión sulfato por kg de suelo seco y al grado de acidez Baumann-Gully:

ENSAYO (*) Estas condiciones no se dan en la práctica	TIPO DE EXPOSICIÓN		
	Qa	Qb	Qc
	Ataque débil	Ataque medio	Ataque fuerte
Grado Acidez Baumann-Gully (ml/kg) según UNE 83.962	> 200	(*)	(*)
ION SULFATO (mg SO42-/kg de suelo seco) según UNE 83.963	2.000-3.000 (0,2-0,3%)	3.000-12.000 (0,3-1,2%)	> 12.000 (> 1,2%)

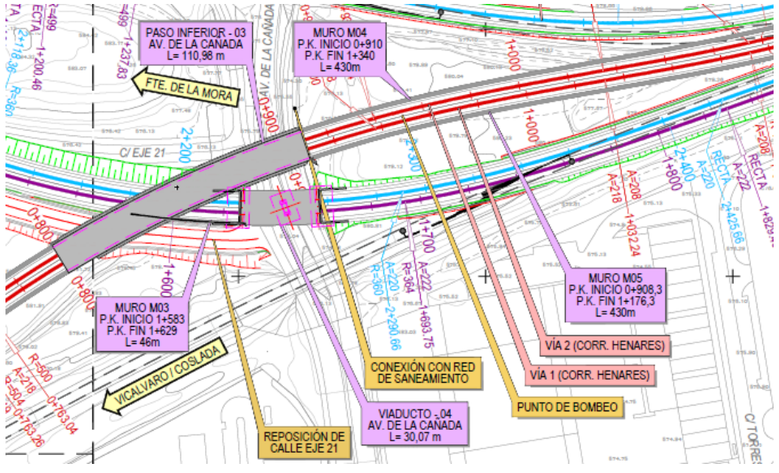
Para comprobar la agresividad del suelo en la zona de estudio se cuenta con los siguientes ensayos de contenido en sulfatos y de acidez Baumann-Gully.

Sondeo / Calicata	Tipo de muestra	Cotas	Unidad	Parámetro		Tipo de exposición
				Ión sulfato (mg/kg)	Grado de Acidez Baumann-Gully (ml/kg)	
S-1	SPT	11,42-11,68	Y	4286	<200	Medio
S-1	TP	19,80-20,20	Y	7815	<200	Medio

En base a los resultados obtenidos, será preciso el empleo de cementos sulforresistentes, ya que, aunque no se dispone de ensayos de agresividad sobre la unidad UG-G, los ensayos resultantes sobre la unidad inferior dan como resultado agresividad media.

Muros

Los muros 01 a 05 (exceptuando el 03) se establecen como los sostenimientos laterales mediante pilotes que dan continuidad al longitudinal del Paso Inferior.



1) CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DE LOS MUROS DE PILOTES

Se trata de muros de contención del terreno mediante pilotes secantes que dan continuidad longitudinal al Paso inferior 03

2) RECONOCIMIENTOS GEOTÉCNICOS

- Sondeos: S-01.
- Pruebas de penetración dinámica: P-07, P-08

3) DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO –ESTRATIGRAFÍA-

Con el objetivo de facilitar las recomendaciones geotécnicas de cimentación de estructuras, se ha procedido a elaborar un *perfil geológico-geotécnico de cálculo* (modelo del terreno o perfil estratigráfico) de este en aquellas zonas en que se pueda agrupar, debido a la heterogeneidad de los depósitos. Este perfil se incluye dentro del Apéndice 4.2. de este anejo. Se describe detalladamente a continuación, habiéndose extrapolado en profundidad a partir del perfil geológico-geotécnico longitudinal:

- De 0,00 a 3,50 m: UG-R (Rellenos antrópicos).
- De 3,50 a 20,00 m: UG-G (Arcillas. “Gredas”).
- > 20,00 m: UG-Y (Yesos tableados).

4) CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS TERRENOS

Los *parámetros geotécnicos globales de cálculo recomendados* (y justificados en el apartado *“4.2. Caracterización de materiales”* de este anejo) para las diferentes unidades geológico-geotécnicas existentes en el perfil de esta estructura, se resumen en la siguiente tabla.

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE CÁLCULO RECOMENDADOS								
	U.S.C.S.	N30	Finos (%)	Peso específico (kN/m3)	RCS (kg/cm^2)	cohesión c' (kN/m2)	Ángulo de roz. Int. (º)	Coef. de Poisson	Módulo de def (E') (MPa)
Rellenos antrópicos vertidos UG-R	CL	10	28	17	-	7	27	0,3	5
Arcillas (Gredas) UG-G	CL	25	72	19	4	43	36	0,27	40
Arcillas con yesos UG-Y	ML- CL-CH-SM	>50	60	20	4	56	32	0,27	500

Con respecto al *nivel freático*, durante la realización de los trabajos de reconocimiento, se detectó el nivel freático a 8,35 m de profundidad. En resumen, puede considerarse que, a partir de los datos disponibles, las excavaciones provisionales previstas no presentaran problemas en relación con el nivel freático.

5) CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

Para la contención del terreno en esta zona se plantea la ejecución de los muros mediante pantallas de pilotes secantes empotrados en la unidad UG-G.

En la siguiente tabla se indican los coeficientes de balasto horizontales de deformación, en base al diámetro de los pilotes.

Coeficiente de balasto horizontal (Para diferentes diámetros (m) de pilote)					
0,80	1,00	1,20	1,50	1,80	2,00
Kh	Kh	Kh	Kh	Kh	Kh
Kp/cm3	Kp/cm3	Kp/cm3	Kp/cm3	Kp/cm3	Kp/cm3
4,50	**3,10**	**2,75**	**2,15**	**1,75**	**1,50**

6) AGRESIVIDAD DEL SUBSUELO AL HORMIGÓN

Para determinar la agresividad se ha seguido la Instrucción EHE del hormigón estructural vigente.

Agresividad del agua

Para el caso de las aguas, los distintos tipos de exposición, según la Instrucción EHE, en función de los parámetros analizados, son:

Tipos de exposición				
Ensayo	**Ataque nulo**	**Ataque débil**	**Ataque medio**	**Ataque fuerte**
pH	> 6,5	6,5-5,5	5,5-4,5	<4,5
Magnesio (Mg_2^+) (mg/l)	< 300	300-1000	1000-3000	>3000
Sulfato (SO_4^{2-}) (mg/l)	< 200	200-600	600-3000	>3000
Amonio (NH_4^+) (mg/l)	<15	15-30	30-60	>60
CO_2 (mg/l)	<15	15-40	40-100	>100
Residuo seco (mg/l)	> 150	75-150	50-75	<50

Agresividad del suelo

Según el punto 37.3.5. de la norma EHE, resistencia del hormigón frente al ataque por sulfatos, “en el caso particular de existencia de sulfatos, el cemento deberá poseer la característica adicional de resistencia a los sulfatos, según la vigente instrucción para la recepción de cementos, siempre que su contenido sea igual o mayor que 3000 mg/kg.

Para el caso de suelo, atendiendo al contenido en mg de ión sulfato por kg de suelo seco y al grado de acidez Baumann-Gully:

ENSAYO (*) Estas condiciones no se dan en la práctica	TIPO DE EXPOSICIÓN		
	Qa	Qb	Qc
	Ataque débil	Ataque medio	Ataque fuerte
Grado Acidez Baumann-Gully (ml/kg) según UNE 83.962	> 200	(*)	(*)
ION SULFATO (mg SO42-/kg de suelo seco) según UNE 83.963	2.000-3.000 (0,2-0,3%)	3.000-12.000 (0,3-1,2%)	> 12.000 (> 1,2%)

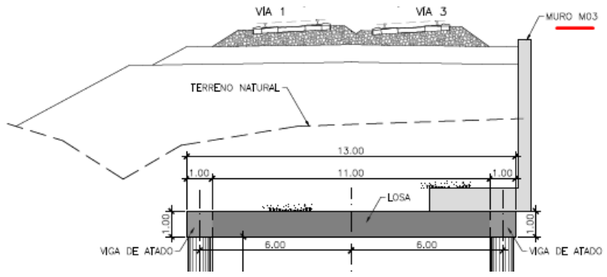
Para comprobar la agresividad del suelo en la zona de estudio se cuenta con los siguientes ensayos de contenido en sulfatos y de acidez Baumann-Gully.

Sondeo / Calicata	Tipo de muestra	Cotas	Unidad	Parámetro		Tipo de exposición
				Ión sulfato (mg/kg)	Grado de Acidez Baumann-Gully (ml/kg)	
S-1	SPT	11,42-11,68	Y	4286	<200	Medio
S-1	TP	19,80-20,20	Y	7815	<200	Medio

En base a los resultados obtenidos, será preciso el empleo de cementos sulforresistentes, ya que, aunque no se dispone de ensayos de agresividad sobre la unidad UG-G, los ensayos resultantes sobre la unidad inferior dan como resultado agresividad media.

7) CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DEL MURO 03

El muro 03 corresponde a un muro en L que debe situarse a su vez encima del Paso Inferior 03.



8) RECONOCIMIENTOS GEOTÉCNICOS

- Pruebas de penetración dinámica: P-05, P-06, P-07

9) DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO –ESTRATIGRAFÍA-

Con el objetivo de facilitar las recomendaciones geotécnicas de cimentación de estructuras, se ha procedido a elaborar un *perfil geológico-geotécnico de cálculo* (modelo del terreno o perfil estratigráfico) de este en aquellas zonas en que se pueda agrupar, debido a la heterogeneidad de los depósitos. Este perfil se incluye dentro del Apéndice 4.2. de este anejo. Se describe detalladamente a continuación, habiéndose extrapolado en profundidad a partir del perfil geológico-geotécnico longitudinal:

- De 0,00 a 1,50 m: UG-Qt (Terrazas cuaternarias).
- De 1,50 a 20,00 m: UG-G (Arcillas. “Gredas”).
- > 20,00 m: UG-Y (Yesos tableados).

10) CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS TERRENOS

Los *parámetros geotécnicos globales de cálculo recomendados* (y justificados en el apartado *“4.2. Caracterización de materiales”* de este anejo) para las diferentes unidades geológico-geotécnicas existentes en el perfil de esta estructura, se resumen en la siguiente tabla.

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE CÁLCULO RECOMENDADOS								
	U.S.C.S.	N30	Finos (%)	Peso específico (kN/m3)	RCS (kg/cm^2)	cohesión c' (kN/m2)	Ángulo de roz. Int. (º)	Coef. de Poisson	Módulo de def (E') (MPa)
Terrazas cuaternarias UG-Qt	SM	11	23	18	0,8	5	30	0,3	15
Arcillas (Gredas) UG-G	CL	25	72	19	4	43	36	0,27	40
Arcillas con yesos UG-Y	ML- CL-CH-SM	>50	60	20	4	56	32	0,27	500

Con respecto al *nivel freático*, durante la realización de los trabajos de reconocimiento, se detectó el nivel freático a 8,35 m de profundidad. En resumen, puede considerarse que, a partir de los datos disponibles, las excavaciones provisionales previstas no presentaran problemas en relación con el nivel freático.

11) CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

Este muro en L se apoya directamente sobre la losa del paso inferior PI-03

Durante la realización de excavaciones provisionales para las cimentaciones, se recogen en la siguiente tabla los ángulos a adoptar recomendados.

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	TALUDES DE EXCAVACIÓN A CORTO PLAZO (TEMPORALES)		
	Altura < 3 m *(*)*	Altura 3 - 5 m	Altura > 5 m
Rellenos antrópicos (R)	2H:3V (56,31º)	1H:1V (45º)	3H:2V (33,69º)
Terrazas cuaternarias (UG-Qt)	1H:2V (63º)	2H:3V (56,31º)	1H:1V (45º)

(*) LOS TALUDES DE EXCAVACIÓN RECOMENDADOS PARA ALTURAS MENORES DE 3 M, PODRÁN ADOPTAR VALORES IGUALES A SUPERIORES A 1H:2V, SIEMPRE QUE SE TRATE DE TALUDES TEMPORALES, QUE PERMANEZCAN ABIERTOS BREVES PERÍODOS DE TIEMPO PARA EVITAR DESLIZAMIENTOS LOCALES, ADEMÁS DEBERÁ DEJARSE UN MARGEN DE SEGURIDAD ENTRE 1-2 M DESDE LA CABECERA DEL TALUD A ESTRUCTURAS O VIALES CERCANOS PARA EVITAR SU AFECCIÓN; NO OBSTANTE, SI ESTAS EXCAVACIONES PERMANECEN ABIERTAS UN CIERTO PERÍODO DE TIEMPO Y MÁS SI COINCIDEN CON ÉPOCAS DE LLUVIA SERÁ NECESARIO SUAVIZAR LOS TALUDES HASTA LOS RECOMENDADOS EN LA TABLA ANTERIOR A CORTO PLAZO -TEMPORALES- PARA ALTURAS MENORES DE 4 M, E INCLUSO ADOPTAR BERMAS INTERMEDIAS O ELEMENTOS DE REFUERZO O ENTIBACIÓN SI SE LLEGAN A OBSERVAR PREVISIBLES INESTABILIDADES EN FASE DE OBRA).

12) AGRESIVIDAD DEL SUBSUELO AL HORMIGÓN

Para determinar la agresividad se ha seguido la Instrucción EHE del hormigón estructural vigente.

Agresividad del agua

Para el caso de las aguas, los distintos tipos de exposición, según la Instrucción EHE, en función de los parámetros analizados, son:

Tipos de exposición				
Ensayo	**Ataque nulo**	**Ataque débil**	**Ataque medio**	**Ataque fuerte**
pH	> 6,5	6,5-5,5	5,5-4,5	<4,5
Magnesio (Mg_2^+) (mg/l)	< 300	300-1000	1000-3000	>3000
Sulfato (SO_4^{2-}) (mg/l)	< 200	200-600	600-3000	>3000
Amonio (NH_4^+) (mg/l)	<15	15-30	30-60	>60
CO_2 (mg/l)	<15	15-40	40-100	>100
Residuo seco (mg/l)	> 150	75-150	50-75	<50

No se prevé afección a la zona saturada.

Agresividad del suelo

Según el punto 37.3.5. de la norma EHE, resistencia del hormigón frente al ataque por sulfatos, "en el caso particular de existencia de sulfatos, el cemento deberá poseer la característica adicional de resistencia a los sulfatos, según la vigente instrucción para la recepción de cementos, siempre que su contenido sea igual o mayor que 3000 mg/kg. Para el caso de suelo, atendiendo al contenido en mg de ión sulfato por kg de suelo seco y al grado de acidez Baumann-Gully:

ENSAYO (*) Estas condiciones no se dan en la práctica	TIPO DE EXPOSICIÓN		
	Qa	Qb	Qc
	Ataque débil	Ataque medio	Ataque fuerte
Grado Acidez Baumann-Gully (ml/kg) según UNE 83.962	> 200	(*)	(*)
ION SULFATO (mg SO42-/kg de suelo seco) según UNE 83.963	2.000-3.000 (0,2-0,3%)	3.000-12.000 (0,3-1,2%)	> 12.000 (> 1,2%)

Para comprobar la agresividad del suelo en la zona de estudio se cuenta con los siguientes ensayos de contenido en sulfatos y de acidez Baumann-Gully.

Sondeo / Calicata	Tipo de muestra	Cotas	Unidad	Parámetro		Tipo de exposición
				Ión sulfato (mg/kg)	Grado de Acidez Baumann-Gully (ml/kg)	
S-1	SPT	11,42-11,68	Y	4286	<200	Medio
S-1	TP	19,80-20,20	Y	7815	<200	Medio

En base a los resultados obtenidos, será preciso el empleo de cementos sulforresistentes, ya que, aunque no se dispone de ensayos de agresividad sobre la unidad UG-G, los ensayos resultantes sobre la unidad inferior dan como resultado agresividad media.

4.7.2.3.2. ALTERNATIVA 2

En esta alternativa obre la zona de actuación de San Fernando de Henares, se prevén las siguientes estructuras:

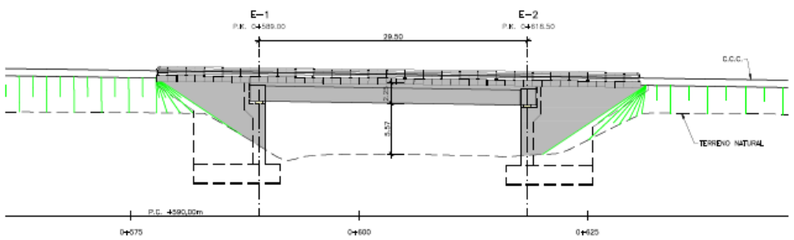
San Fernando	V-01	Viaducto de vigas prefabricadas	427
	PI-02	Ampliación del PI	14
	Pérgola-03	Pérgola in situ	1717.58
	V-04	Viaducto de vigas prefabricadas	420.98
	MURO-01	Sostenimiento pilotes	2304
	MURO-02	Sostenimiento pilotes	2826
	MURO-03	Muro en L	45.5

A continuación, se detallan las recomendaciones de cimentación para cada una de las mismas.

<u>Viaducto 01.</u>

1) <u>CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DE LA ESTRUCTURA</u>

Corresponde a una estructura de vigas prefabricadas en forma de artesa sobre estribos cerrado. El canto de las vigas se establece en dos metros junto con losa de 0.25m.



2) RECONOCIMIENTOS GEOTÉCNICOS

- Calicatas: C-02, C-03.
- Pruebas de penetración dinámica: P-01

3) DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO –ESTRATIGRAFÍA-

Con el objetivo de facilitar las recomendaciones geotécnicas de cimentación de estructuras, se ha procedido a elaborar un *perfil geológico-geotécnico de cálculo* (modelo del terreno o perfil estratigráfico) de este en aquellas zonas en que se pueda agrupar, debido a la heterogeneidad de los depósitos. Este perfil se incluye dentro del Apéndice 4.2. de este anejo. Se describe detalladamente a continuación, habiéndose extrapolado en profundidad a partir del perfil geológico-geotécnico longitudinal:

- De 0,00 a 0,50 m: Tierra vegetal. Espesor de 0,50 m.
- > 0,50 m: UG-G (Arcillas. “Gredas”).

4) CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS TERRENOS

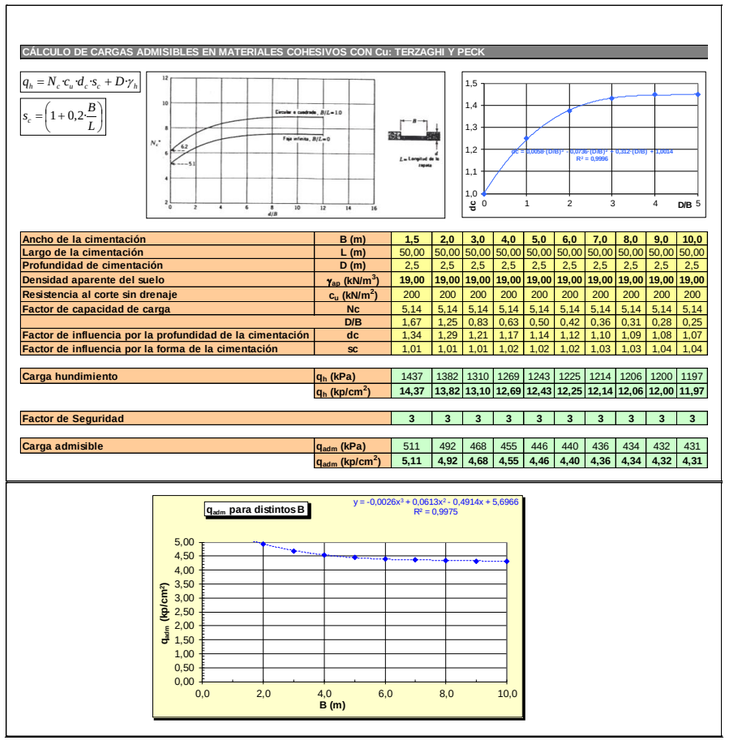
Los *parámetros geotécnicos globales de cálculo recomendados* (y justificados en el apartado *“4.2. Caracterización de materiales”* de este anejo) para las diferentes unidades geológico-geotécnicas existentes en el perfil de esta estructura, se resumen en la siguiente tabla.

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE CÁLCULO RECOMENDADOS								
	U.S.C.S.	N30	Finos (%)	Peso específico (kN/m3)	RCS (kg/cm^2)	cohesión c' (kN/m2)	Ángulo de roz. Int. (º)	Coef. de Poisson	Módulo de def (E') (MPa)
Arcillas (Gredas) UG-G	CL	25	72	19	4	43	36	0,27	40

Con respecto al *nivel freático*, durante la realización de los trabajos de reconocimiento, no se detectó el nivel freático. En resumen, puede considerarse que, a partir de los datos disponibles, las excavaciones previstas no presentaran problemas en relación con el nivel freático.

5) CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

Para la cimentación de esta estructura se recomienda una cimentación superficial, apoyada sobre la unidad geotécnica UG-G.



Ancho de la cimentación	B (m)	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
Largo de la cimentación	L (m)	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Profundidad de cimentación	D (m)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Densidad aparente del suelo	γ_{ap} (kN/m^3)	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
Resistencia al corte sin drenaje	c_u (kN/m^2)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Factor de capacidad de carga	Nc	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14
	D/B	1,67	1,25	0,83	0,63	0,50	0,42	0,36	0,31	0,28	0,25
Factor de influencia por la profundidad de la cimentación	dc	1,34	1,29	1,21	1,17	1,14	1,12	1,10	1,09	1,08	1,07
Factor de influencia por la forma de la cimentación	sc	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	1,04
Carga hundimiento	q_h (kPa)	1437	1382	1310	1269	1243	1225	1214	1206	1200	1197
	q_h (kp/cm^2)	14,37	13,82	13,10	12,69	12,43	12,25	12,14	12,06	12,00	11,97
Factor de Seguridad		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Carga admisible	q_{adm} (kPa)	511	492	468	455	446	440	436	434	432	431
	q_{adm} (kp/cm^2)	5,11	4,92	4,68	4,55	4,46	4,40	4,36	4,34	4,32	4,31

En lo referente a la carga de admisible del terreno de cimentación, se obtienen cargas de hundimiento superiores a 1200 kN/m^2, por lo que adoptar una carga admisible de 4 kg/cm^2 presenta un adecuado coeficiente de seguridad frente a rotura, siempre del lado de la seguridad.

Durante la realización de excavaciones provisionales para las cimentaciones, se recogen en la siguiente tabla los ángulos a adoptar recomendados.

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	TALUDES DE EXCAVACIÓN A CORTO PLAZO (TEMPORALES)		
	Altura < 3 m *(*)*	Altura 3 - 5 m	Altura > 5 m
Rellenos antrópicos (R)	2H:3V (56,31º)	1H:1V (45º)	3H:2V (33,69º)
Gredas (UG-G)	1H:3V (71,56º)	2H:3V (56,31º)	1H:1V (45º)

(*) LOS TALUDES DE EXCAVACIÓN RECOMENDADOS PARA ALTURAS MENORES DE 3 M, PODRÁN ADOPTAR VALORES IGUALES A SUPERIORES A 1H:3V, SIEMPRE QUE SE TRATE DE TALUDES TEMPORALES, QUE PERMANEZCAN ABIERTOS BREVES PERÍODOS DE TIEMPO PARA EVITAR DESLIZAMIENTOS LOCALES, ADEMÁS DEBERÁ DEJARSE UN MARGEN DE SEGURIDAD ENTRE 1-2 M DESDE LA CABECERA DEL TALUD A ESTRUCTURAS O VIALES CERCANOS PARA EVITAR SU AFECCIÓN; NO OBSTANTE, SI ESTAS EXCAVACIONES PERMANECEN ABIERTAS UN CIERTO PERÍODO DE TIEMPO Y MÁS SI COINCIDEN CON ÉPOCAS DE LLUVIA SERÁ NECESARIO SUAVIZAR LOS TALUDES HASTA LOS RECOMENDADOS EN LA TABLA ANTERIOR A CORTO PLAZO -TEMPORALES- PARA ALTURAS MENORES DE 4 M, E INCLUSO ADOPTAR BERMAS INTERMEDIAS O ELEMENTOS DE REFUERZO O ENTIBACIÓN SI SE LLEGAN A OBSERVAR PREVISIBLES INESTABILIDADES EN FASE DE OBRA).

6) *AGRESIVIDAD DEL SUBSUELO AL HORMIGÓN*

Para determinar la agresividad se ha seguido la Instrucción EHE del hormigón estructural vigente.

Agresividad del agua

Para el caso de las aguas, los distintos tipos de exposición, según la Instrucción EHE, en función de los parámetros analizados, son:

Tipos de exposición				
Ensayo	**Ataque nulo**	**Ataque débil**	**Ataque medio**	**Ataque fuerte**
pH	> 6,5	6,5-5,5	5,5-4,5	<4,5
Magnesio (Mg_2^+) (mg/l)	< 300	300-1000	1000-3000	>3000
Sulfato (SO_4^{2-}) (mg/l)	< 200	200-600	600-3000	>3000
Amonio (NH_4^+) (mg/l)	<15	15-30	30-60	>60
CO_2 (mg/l)	<15	15-40	40-100	>100
Residuo seco (mg/l)	> 150	75-150	50-75	<50

No se prevé afección a la zona saturada.

Agresividad del suelo

Según el punto 37.3.5. de la norma EHE, resistencia del hormigón frente al ataque por sulfatos, “en el caso particular de existencia de sulfatos, el cemento deberá poseer la característica adicional de resistencia a los sulfatos, según la vigente instrucción para la recepción de cementos, siempre que su contenido sea igual o mayor que 3000 mg/kg.

Para el caso de suelo, atendiendo al contenido en mg de ión sulfato por kg de suelo seco y al grado de acidez Baumann-Gully:

ENSAYO (*) Estas condiciones no se dan en la práctica	TIPO DE EXPOSICIÓN		
	Qa	Qb	Qc
	Ataque débil	Ataque medio	Ataque fuerte
Grado Acidez Baumann-Gully (ml/kg) según UNE 83.962	> 200	(*)	(*)
ION SULFATO (mg SO42-/kg de suelo seco) según UNE 83.963	2.000-3.000 (0,2-0,3%)	3.000-12.000 (0,3-1,2%)	> 12.000 (> 1,2%)

Para comprobar la agresividad del suelo en la zona de estudio se cuenta con los siguientes ensayos de contenido en sulfatos y de acidez Baumann-Gully.

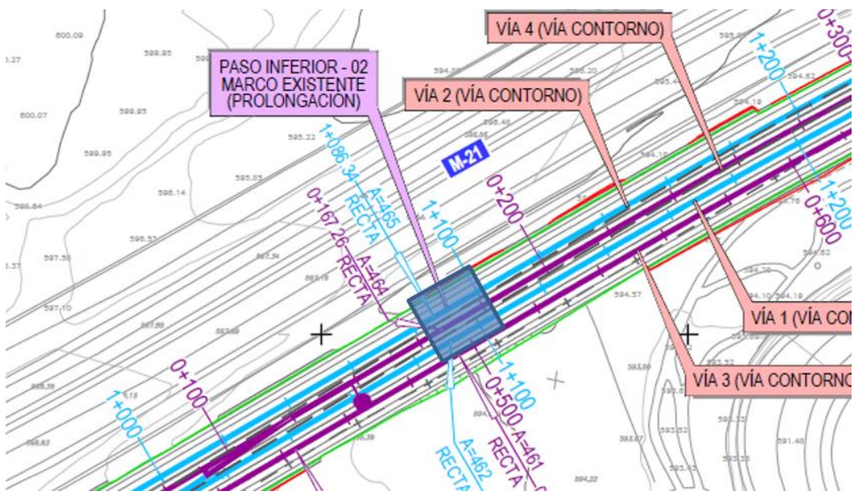
Sondeo / Calicata	Tipo de muestra	Cotas	Unidad	Parámetro		Tipo de exposición
				Ión sulfato (mg/kg)	Grado de Acidez Baumann-Gully (ml/kg)	
S-1	SPT	11,42-11,68	Y	4286	<200	Medio
S-1	TP	19,80-20,20	Y	7815	<200	Medio

En base a los resultados obtenidos, será preciso el empleo de cementos sulforresistentes, ya que, aunque no se dispone de ensayos de agresividad sobre la unidad UG-G, los ensayos resultantes sobre la unidad adyacente dan como resultado agresividad media.

Paso Inferior 02.

1) *CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DE LA ESTRUCTURA*

Corresponde a la ampliación del paso inferior existente, se ha estimado una ampliación de unos 14m.



2) RECONOCIMIENTOS GEOTÉCNICOS

- Calicatas: C-03.
- Pruebas de penetración dinámica: P-03

3) DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO –ESTRATIGRAFÍA-

Con el objetivo de facilitar las recomendaciones geotécnicas de cimentación de estructuras, se ha procedido a elaborar un *perfil geológico-geotécnico de cálculo* (modelo del terreno o perfil estratigráfico) de este en aquellas zonas en que se pueda agrupar, debido a la heterogeneidad de los depósitos. Este perfil se incluye dentro del Apéndice 4.2. de este anejo. Se describe detalladamente a continuación, habiéndose extrapolado en profundidad a partir del perfil geológico-geotécnico longitudinal:

- De 0,00 a 0,50 m: Tierra vegetal. Espesor de 0,50 m.
- > 0,50 m: UG-G (Arcillas. “Gredas”).

4) CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS TERRENOS

Los *parámetros geotécnicos globales de cálculo recomendados* (y justificados en el apartado *“4.2. Caracterización de materiales”* de este anejo) para las diferentes unidades geológico-geotécnicas existentes en el perfil de esta estructura, se resumen en la siguiente tabla.

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE CÁLCULO RECOMENDADOS								
	U.S.C.S.	N30	Finos (%)	Peso específico (kN/m3)	RCS (kg/cm^2)	cohesión c' (kN/m2)	Ángulo de roz. Int. (º)	Coef. de Poisson	Módulo de def (E') (MPa)
Arcillas (Gredas) UG-G	CL	25	72	19	4	43	36	0,27	40

Con respecto al *nivel freático*, durante la realización de los trabajos de reconocimiento, no se detectó el nivel freático. En resumen, puede considerarse que, a partir de los datos disponibles, las excavaciones previstas no presentaran problemas en relación con el nivel freático.

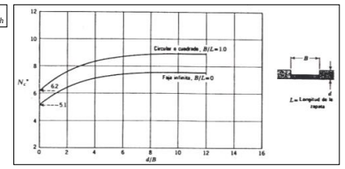
5) CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

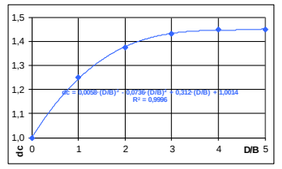
Para la prolongación de este paso inferior se recomienda una cimentación superficial, apoyada sobre la unidad geotécnica UG-G.

CÁLCULO DE CARGAS ADMISIBLES EN MATERIALES COHESIVOS CON Cu: TERZAGHI Y PECK

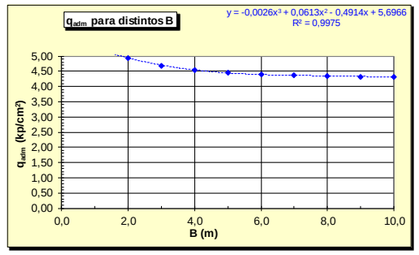
$q_h = N_c \cdot c_u \cdot d_c \cdot s_c + D \cdot \gamma_h$

$s_c = \left(1 + 0{,}2 \cdot \frac{B}{L}\right)$





Ancho de la cimentación	B (m)	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
Largo de la cimentación	L (m)	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Profundidad de cimentación	D (m)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Densidad aparente del suelo	γ_{ap} (kN/m^3)	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
Resistencia al corte sin drenaje	c_u (kN/m^2)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Factor de capacidad de carga	Nc	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14
	D/B	1,67	1,25	0,83	0,63	0,50	0,42	0,36	0,31	0,28	0,25
Factor de influencia por la profundidad de la cimentación	dc	1,34	1,29	1,21	1,17	1,14	1,12	1,10	1,09	1,08	1,07
Factor de influencia por la forma de la cimentación	sc	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	1,04
Carga hundimiento	q_h (kPa)	1437	1382	1310	1269	1243	1225	1214	1206	1200	1197
	q_h (kp/cm^2)	14,37	13,82	13,10	12,69	12,43	12,25	12,14	12,06	12,00	11,97
Factor de Seguridad		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Carga admisible	q_{adm} (kPa)	511	492	468	455	446	440	436	434	432	431
	q_{adm} (kp/cm^2)	5,11	4,92	4,68	4,55	4,46	4,40	4,36	4,34	4,32	4,31



En lo referente a la carga de admisible del terreno de cimentación, se obtienen cargas de hundimiento superiores a 1200 kN/m^2, por lo que adoptar una carga admisible de 4 kg/cm^2 presenta un adecuado coeficiente de seguridad frente a rotura, siempre del lado de la seguridad.

Durante la realización de excavaciones provisionales para las cimentaciones, se recogen en la siguiente tabla los ángulos a adoptar recomendados.

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	TALUDES DE EXCAVACIÓN A CORTO PLAZO (TEMPORALES)		
	Altura < 3 m *(*)*	Altura 3 - 5 m	Altura > 5 m
Rellenos antrópicos (R)	2H:3V (56,31º)	1H:1V (45º)	3H:2V (33,69º)
Gredas (UG-G)	1H:3V (71,56º)	2H:3V (56,31º)	1H:1V (45º)

(*) LOS TALUDES DE EXCAVACIÓN RECOMENDADOS PARA ALTURAS MENORES DE 3 M, PODRÁN ADOPTAR VALORES IGUALES A SUPERIORES A 1H:3V, SIEMPRE QUE SE TRATE DE TALUDES TEMPORALES, QUE PERMANEZCAN ABIERTOS BREVES PERÍODOS DE TIEMPO PARA EVITAR DESLIZAMIENTOS LOCALES, ADEMÁS DEBERÁ DEJARSE UN MARGEN DE SEGURIDAD ENTRE 1-2 M DESDE LA CABECERA DEL TALUD A ESTRUCTURAS O VIALES CERCANOS PARA EVITAR SU AFECCIÓN; NO OBSTANTE, SI ESTAS EXCAVACIONES PERMANECEN ABIERTAS UN CIERTO PERÍODO DE TIEMPO Y MÁS SI COINCIDEN CON ÉPOCAS DE LLUVIA SERÁ NECESARIO SUAVIZAR LOS TALUDES HASTA LOS RECOMENDADOS EN LA TABLA ANTERIOR A CORTO PLAZO -TEMPORALES- PARA ALTURAS MENORES DE 4 M, E INCLUSO ADOPTAR BERMAS INTERMEDIAS O ELEMENTOS DE REFUERZO O ENTIBACIÓN SI SE LLEGAN A OBSERVAR PREVISIBLES INESTABILIDADES EN FASE DE OBRA).

6) AGRESIVIDAD DEL SUBSUELO AL HORMIGÓN

Para determinar la agresividad se ha seguido la Instrucción EHE del hormigón estructural vigente.

Agresividad del agua

Para el caso de las aguas, los distintos tipos de exposición, según la Instrucción EHE, en función de los parámetros analizados, son:

Tipos de exposición				
Ensayo	**Ataque nulo**	**Ataque débil**	**Ataque medio**	**Ataque fuerte**
pH	> 6,5	6,5-5,5	5,5-4,5	<4,5
Magnesio (Mg_2^+) (mg/l)	< 300	300-1000	1000-3000	>3000
Sulfato (SO_4^{2-}) (mg/l)	< 200	200-600	600-3000	>3000
Amonio (NH_4^+) (mg/l)	<15	15-30	30-60	>60
CO_2 (mg/l)	<15	15-40	40-100	>100
Residuo seco (mg/l)	> 150	75-150	50-75	<50

No se prevé afección a la zona saturada.

Agresividad del suelo

Según el punto 37.3.5. de la norma EHE, resistencia del hormigón frente al ataque por sulfatos, “en el caso particular de existencia de sulfatos, el cemento deberá poseer la característica adicional de resistencia a los sulfatos, según la vigente instrucción para la recepción de cementos, siempre que su contenido sea igual o mayor que 3000 mg/kg.

Para el caso de suelo, atendiendo al contenido en mg de ión sulfato por kg de suelo seco y al grado de acidez Baumann-Gully:

ENSAYO (*) Estas condiciones no se dan en la práctica	TIPO DE EXPOSICIÓN		
	Qa	Qb	Qc
	Ataque débil	Ataque medio	Ataque fuerte
Grado Acidez Baumann-Gully (ml/kg) según UNE 83.962	> 200	(*)	(*)
ION SULFATO (mg SO42-/kg de suelo seco) según UNE 83.963	2.000-3.000 (0,2-0,3%)	3.000-12.000 (0,3-1,2%)	> 12.000 (> 1,2%)

Para comprobar la agresividad del suelo en la zona de estudio se cuenta con los siguientes ensayos de contenido en sulfatos y de acidez Baumann-Gully.

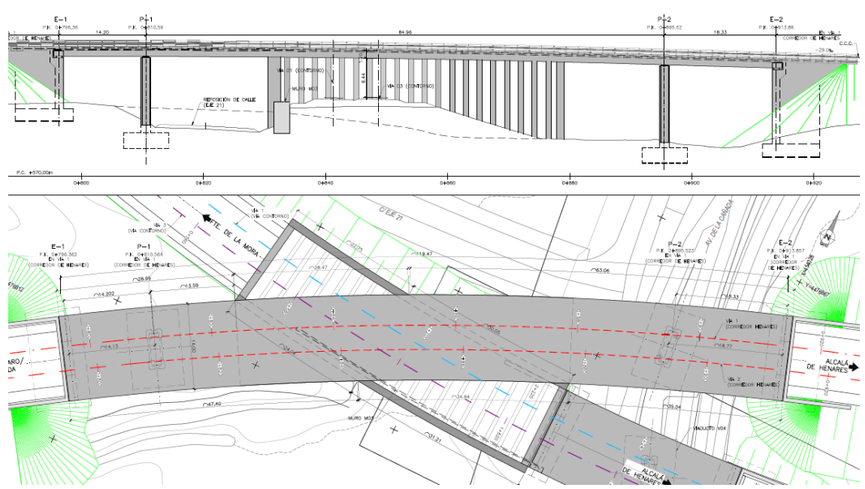
Sondeo / Calicata	Tipo de muestra	Cotas	Unidad	Parámetro		Tipo de exposición
				Ión sulfato (mg/kg)	Grado de Acidez Baumann-Gully (ml/kg)	
S-1	SPT	11,42-11,68	Y	4286	<200	Medio
S-1	TP	19,80-20,20	Y	7815	<200	Medio

En base a los resultados obtenidos, será preciso el empleo de cementos sulforresistentes, ya que, aunque no se dispone de ensayos de agresividad sobre la unidad UG-G, los ensayos resultantes sobre la unidad adyacente dan como resultado agresividad media.

Pérgola 03.

1) CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

Corresponde a una pérgola formada por una losa aligerada “in situ” que descansa sobre una estructura aporticada también “in situ”,



2) RECONOCIMIENTOS GEOTÉCNICOS

- Sondeos: S-01.
- Pruebas de penetración dinámica: P-07, P-08

3) DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO –ESTRATIGRAFÍA-

Con el objetivo de facilitar las recomendaciones geotécnicas de cimentación de estructuras, se ha procedido a elaborar un *perfil geológico-geotécnico de cálculo* (modelo del terreno o perfil estratigráfico) de este en aquellas zonas en que se pueda agrupar, debido a la heterogeneidad de los depósitos. Este perfil se incluye dentro del Apéndice 4.2. de este anejo. Se describe detalladamente a continuación, habiéndose extrapolado en profundidad a partir del perfil geológico-geotécnico longitudinal:

- De 0,00 a 3,50 m: UG-R (Rellenos antrópicos).
- De 3,50 a 20,00 m: UG-G (Arcillas. “Gredas”).
- > 20,00 m: UG-Y (Yesos tableados).

4) CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS TERRENOS

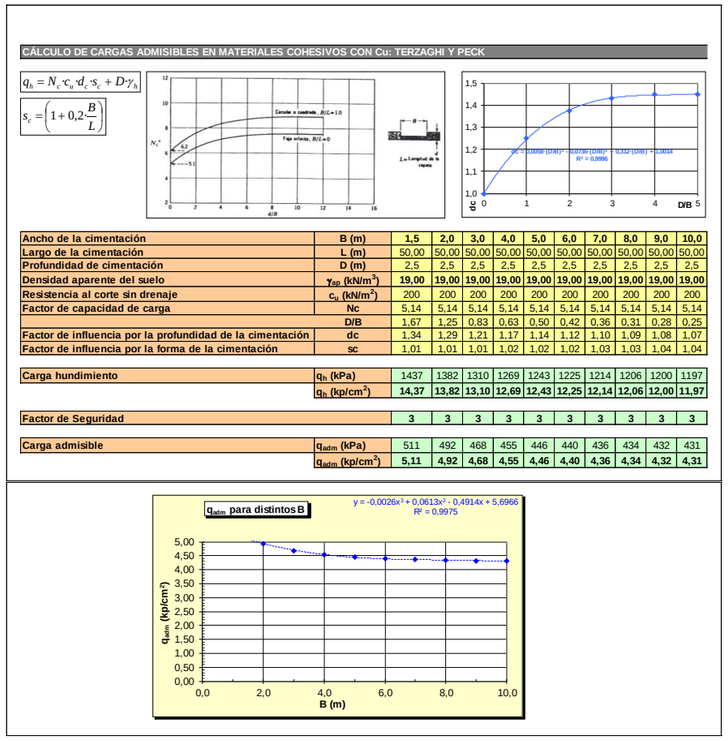
Los *parámetros geotécnicos globales de cálculo recomendados* (y justificados en el apartado *“4.2. Caracterización de materiales”* de este anejo) para las diferentes unidades geológico-geotécnicas existentes en el perfil de esta estructura, se resumen en la siguiente tabla.

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE CÁLCULO RECOMENDADOS								
	U.S.C.S.	N30	Finos (%)	Peso específico (kN/m3)	RCS (kg/cm^2)	cohesión c' (kN/m2)	Ángulo de roz. Int. (º)	Coef. de Poisson	Módulo de def (E') (MPa)
Rellenos antrópicos vertidos UG-R	CL	10	28	17	-	7	27	0,3	5
Arcillas (Gredas) UG-G	CL	25	72	19	4	43	36	0,27	40

Con respecto al *nivel freático*, durante la realización de los trabajos de reconocimiento, se detectó el nivel freático a 8,35 m de profundidad. En resumen, puede considerarse que, a partir de los datos disponibles, las excavaciones provisionales previstas no presentaran problemas en relación con el nivel freático.

5) CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

Para la cimentación de esta estructura se recomienda una cimentación superficial, apoyada sobre la unidad geotécnica UG-G.



Ancho de la cimentación	B (m)	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
Largo de la cimentación	L (m)	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Profundidad de cimentación	D (m)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Densidad aparente del suelo	γ_{ap} (kN/m^3)	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
Resistencia al corte sin drenaje	c_u (kN/m^2)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Factor de capacidad de carga	Nc	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14
	D/B	1,67	1,25	0,83	0,63	0,50	0,42	0,36	0,31	0,28	0,25
Factor de influencia por la profundidad de la cimentación	dc	1,34	1,29	1,21	1,17	1,14	1,12	1,10	1,09	1,08	1,07
Factor de influencia por la forma de la cimentación	sc	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	1,04
Carga hundimiento	q_h (kPa)	1437	1382	1310	1269	1243	1225	1214	1206	1200	1197
	q_h (kp/cm^2)	14,37	13,82	13,10	12,69	12,43	12,25	12,14	12,06	12,00	11,97
Factor de Seguridad		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Carga admisible	q_{adm} (kPa)	511	492	468	455	446	440	436	434	432	431
	q_{adm} (kp/cm^2)	5,11	4,92	4,68	4,55	4,46	4,40	4,36	4,34	4,32	4,31

En lo referente a la carga de admisible del terreno de cimentación, se obtienen cargas de hundimiento superiores a 1200 kN/m^2, por lo que adoptar una carga admisible de 4 kg/cm^2 presenta un adecuado coeficiente de seguridad frente a rotura, siempre del lado de la seguridad.

Durante la realización de excavaciones provisionales para las cimentaciones, se recogen en la siguiente tabla los ángulos a adoptar recomendados.

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	TALUDES DE EXCAVACIÓN A CORTO PLAZO (TEMPORALES)		
	Altura < 3 m *(*)*	Altura 3 - 5 m	Altura > 5 m
Rellenos antrópicos (R)	2H:3V (56,31º)	1H:1V (45º)	3H:2V (33,69º)
Gredas (UG-G)	1H:3V (71,56º)	2H:3V (56,31º)	1H:1V (45º)

(*) LOS TALUDES DE EXCAVACIÓN RECOMENDADOS PARA ALTURAS MENORES DE 3 M, PODRÁN ADOPTAR VALORES IGUALES A SUPERIORES A 1H:3V, SIEMPRE QUE SE TRATE DE TALUDES TEMPORALES, QUE PERMANEZCAN ABIERTOS BREVES PERÍODOS DE TIEMPO PARA EVITAR DESLIZAMIENTOS LOCALES, ADEMÁS DEBERÁ DEJARSE UN MARGEN DE SEGURIDAD ENTRE 1-2 M DESDE LA CABECERA DEL TALUD A ESTRUCTURAS O VIALES CERCANOS PARA EVITAR SU AFECCIÓN; NO OBSTANTE, SI ESTAS EXCAVACIONES PERMANECEN ABIERTAS UN CIERTO PERÍODO DE TIEMPO Y MÁS SI COINCIDEN CON ÉPOCAS DE LLUVIA SERÁ NECESARIO SUAVIZAR LOS TALUDES HASTA LOS RECOMENDADOS EN LA TABLA ANTERIOR A CORTO PLAZO -TEMPORALES- PARA ALTURAS MENORES DE 4 M, E INCLUSO ADOPTAR BERMAS INTERMEDIAS O ELEMENTOS DE REFUERZO O ENTIBACIÓN SI SE LLEGAN A OBSERVAR PREVISIBLES INESTABILIDADES EN FASE DE OBRA).

6) AGRESIVIDAD DEL SUBSUELO AL HORMIGÓN

Para determinar la agresividad se ha seguido la Instrucción EHE del hormigón estructural vigente.

Agresividad del agua

Para el caso de las aguas, los distintos tipos de exposición, según la Instrucción EHE, en función de los parámetros analizados, son:

Tipos de exposición				
Ensayo	**Ataque nulo**	**Ataque débil**	**Ataque medio**	**Ataque fuerte**
pH	> 6,5	6,5-5,5	5,5-4,5	<4,5
Magnesio (Mg_2^+) (mg/l)	< 300	300-1000	1000-3000	>3000
Sulfato (SO_4^{2-}) (mg/l)	< 200	200-600	600-3000	>3000
Amonio (NH_4^+) (mg/l)	<15	15-30	30-60	>60
CO_2 (mg/l)	<15	15-40	40-100	>100
Residuo seco (mg/l)	> 150	75-150	50-75	<50

No se prevé afección a la zona saturada.

Agresividad del suelo

Según el punto 37.3.5. de la norma EHE, resistencia del hormigón frente al ataque por sulfatos, “en el caso particular de existencia de sulfatos, el cemento deberá poseer la característica adicional de resistencia a los sulfatos, según la vigente instrucción para la recepción de cementos, siempre que su contenido sea igual o mayor que 3000 mg/kg.

Para el caso de suelo, atendiendo al contenido en mg de ión sulfato por kg de suelo seco y al grado de acidez Baumann-Gully:

ENSAYO (*) Estas condiciones no se dan en la práctica	TIPO DE EXPOSICIÓN		
	Qa	Qb	Qc
	Ataque débil	Ataque medio	Ataque fuerte
Grado Acidez Baumann-Gully (ml/kg) según UNE 83.962	> 200	(*)	(*)
ION SULFATO (mg SO42-/kg de suelo seco) según UNE 83.963	2.000-3.000 (0,2-0,3%)	3.000-12.000 (0,3-1,2%)	> 12.000 (> 1,2%)

Para comprobar la agresividad del suelo en la zona de estudio se cuenta con los siguientes ensayos de contenido en sulfatos y de acidez Baumann-Gully.

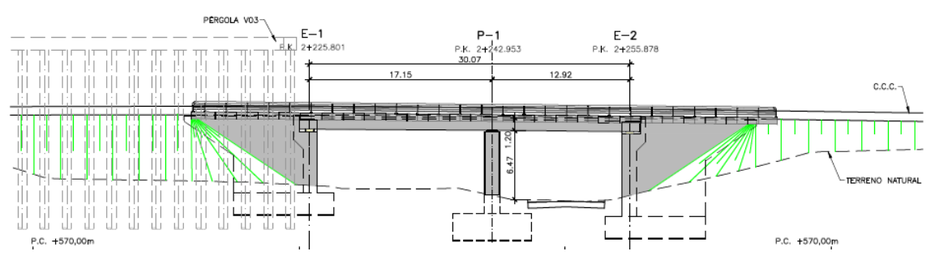
Sondeo / Calicata	Tipo de muestra	Cotas	Unidad	Parámetro		Tipo de exposición
				Ión sulfato (mg/kg)	Grado de Acidez Baumann-Gully (ml/kg)	
S-1	SPT	11,42-11,68	Y	4286	<200	Medio
S-1	TP	19,80-20,20	Y	7815	<200	Medio

En base a los resultados obtenidos, será preciso el empleo de cementos sulforresistentes, ya que, aunque no se dispone de ensayos de agresividad sobre la unidad UG-G, los ensayos resultantes sobre la unidad inferior dan como resultado agresividad media.

Viaducto 04

1) CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

Corresponde a una losa postensada sobre estribos cerrados. El canto del tablero se establece en 1.20 metros.



2) RECONOCIMIENTOS GEOTÉCNICOS

- Sondeos: S-01.
- Pruebas de penetración dinámica: P-07, P-08

3) DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO –ESTRATIGRAFÍA-

Con el objetivo de facilitar las recomendaciones geotécnicas de cimentación de estructuras, se ha procedido a elaborar un *perfil geológico-geotécnico de cálculo* (modelo del terreno o perfil estratigráfico) de este en aquellas zonas en que se pueda agrupar, debido a la heterogeneidad de los depósitos. Este perfil se incluye dentro del Apéndice 4.2. de este anejo. Se describe detalladamente a continuación, habiéndose extrapolado en profundidad a partir del perfil geológico-geotécnico longitudinal:

- De 0,00 a 3,50 m: UG-R (Rellenos antrópicos).
- De 3,50 a 20,00 m: UG-G (Arcillas. “Gredas”).
- > 20,00 m: UG-Y (Yesos tableados).

4) CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS TERRENOS

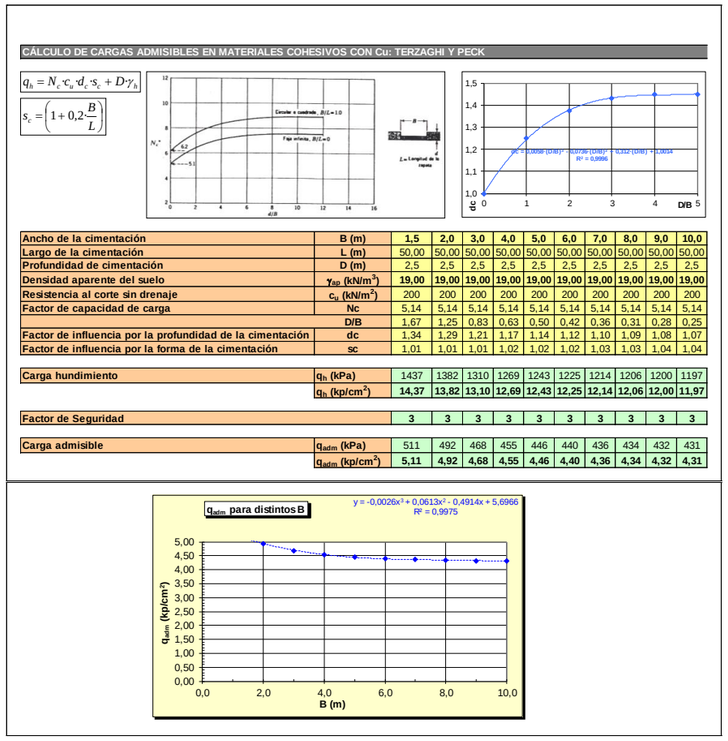
Los *parámetros geotécnicos globales de cálculo recomendados* (y justificados en el apartado *“4.2. Caracterización de materiales”* de este anejo) para las diferentes unidades geológico-geotécnicas existentes en el perfil de esta estructura, se resumen en la siguiente tabla.

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE CÁLCULO RECOMENDADOS								
	U.S.C.S.	N30	Finos (%)	Peso específico (kN/m3)	RCS (kg/cm^2)	cohesión c' (kN/m2)	Ángulo de roz. Int. (º)	Coef. de Poisson	Módulo de def (E') (MPa)
Rellenos antrópicos vertidos UG-R	CL	10	28	17	-	7	27	0,3	5
Arcillas (Gredas) UG-G	CL	25	72	19	4	43	36	0,27	40

Con respecto al *nivel freático*, durante la realización de los trabajos de reconocimiento, se detectó el nivel freático a 8,35 m de profundidad. En resumen, puede considerarse que, a partir de los datos disponibles, las excavaciones provisionales previstas no presentaran problemas en relación con el nivel freático.

5) CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

Para la cimentación de esta estructura se recomienda una cimentación superficial, apoyada sobre la unidad geotécnica UG-G.



Ancho de la cimentación	**B (m)**	**1,5**	**2,0**	**3,0**	**4,0**	**5,0**	**6,0**	**7,0**	**8,0**	**9,0**	**10,0**
Largo de la cimentación	**L (m)**	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Profundidad de cimentación	**D (m)**	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Densidad aparente del suelo	**γ_{ap} (kN/m^3)**	**19,00**	**19,00**	**19,00**	**19,00**	**19,00**	**19,00**	**19,00**	**19,00**	**19,00**	**19,00**
Resistencia al corte sin drenaje	**c_u (kN/m^2)**	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Factor de capacidad de carga	**Nc**	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14
	D/B	1,67	1,25	0,83	0,63	0,50	0,42	0,36	0,31	0,28	0,25
Factor de influencia por la profundidad de la cimentación	**dc**	1,34	1,29	1,21	1,17	1,14	1,12	1,10	1,09	1,08	1,07
Factor de influencia por la forma de la cimentación	**sc**	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	1,04
Carga hundimiento	**q_h (kPa)**	1437	1382	1310	1269	1243	1225	1214	1206	1200	1197
	q_h (kp/cm^2)	**14,37**	**13,82**	**13,10**	**12,69**	**12,43**	**12,25**	**12,14**	**12,06**	**12,00**	**11,97**
Factor de Seguridad		**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**
Carga admisible	**q_{adm} (kPa)**	511	492	468	455	446	440	436	434	432	431
	q_{adm} (kp/cm^2)	**5,11**	**4,92**	**4,68**	**4,55**	**4,46**	**4,40**	**4,36**	**4,34**	**4,32**	**4,31**

En lo referente a la carga de admisible del terreno de cimentación, se obtienen cargas de hundimiento superiores a 1200 kN/m^2, por lo que adoptar una carga admisible de 4 kg/cm^2 presenta un adecuado coeficiente de seguridad frente a rotura, siempre del lado de la seguridad.

Durante la realización de excavaciones provisionales para las cimentaciones, se recogen en la siguiente tabla los ángulos a adoptar recomendados.

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	TALUDES DE EXCAVACIÓN A CORTO PLAZO (TEMPORALES)		
	Altura < 3 m *(*)*	Altura 3 - 5 m	Altura > 5 m
Rellenos antrópicos (R)	2H:3V (56,31º)	1H:1V (45º)	3H:2V (33,69º)
Gredas (UG-G)	1H:3V (71,56º)	2H:3V (56,31º)	1H:1V (45º)

(*) LOS TALUDES DE EXCAVACIÓN RECOMENDADOS PARA ALTURAS MENORES DE 3 M, PODRÁN ADOPTAR VALORES IGUALES A SUPERIORES A 1H:3V, SIEMPRE QUE SE TRATE DE TALUDES TEMPORALES, QUE PERMANEZCAN ABIERTOS BREVES PERÍODOS DE TIEMPO PARA EVITAR DESLIZAMIENTOS LOCALES, ADEMÁS DEBERÁ DEJARSE UN MARGEN DE SEGURIDAD ENTRE 1-2 M DESDE LA CABECERA DEL TALUD A ESTRUCTURAS O VIALES CERCANOS PARA EVITAR SU AFECCIÓN; NO OBSTANTE, SI ESTAS EXCAVACIONES PERMANECEN ABIERTAS UN CIERTO PERÍODO DE TIEMPO Y MÁS SI COINCIDEN CON ÉPOCAS DE LLUVIA SERÁ NECESARIO SUAVIZAR LOS TALUDES HASTA LOS RECOMENDADOS EN LA TABLA ANTERIOR A CORTO PLAZO -TEMPORALES- PARA ALTURAS MENORES DE 4 M, E INCLUSO ADOPTAR BERMAS INTERMEDIAS O ELEMENTOS DE REFUERZO O ENTIBACIÓN SI SE LLEGAN A OBSERVAR PREVISIBLES INESTABILIDADES EN FASE DE OBRA).

6) AGRESIVIDAD DEL SUBSUELO AL HORMIGÓN

Para determinar la agresividad se ha seguido la Instrucción EHE del hormigón estructural vigente.

Agresividad del agua

Para el caso de las aguas, los distintos tipos de exposición, según la Instrucción EHE, en función de los parámetros analizados, son:

Tipos de exposición				
Ensayo	**Ataque nulo**	**Ataque débil**	**Ataque medio**	**Ataque fuerte**
pH	> 6,5	6,5-5,5	5,5-4,5	<4,5
Magnesio (Mg_2^+) (mg/l)	< 300	300-1000	1000-3000	>3000
Sulfato (SO_4^{2-}) (mg/l)	< 200	200-600	600-3000	>3000
Amonio (NH_4^+) (mg/l)	<15	15-30	30-60	>60
CO_2 (mg/l)	<15	15-40	40-100	>100
Residuo seco (mg/l)	> 150	75-150	50-75	<50

No se prevé afección a la zona saturada.

Agresividad del suelo

Según el punto 37.3.5. de la norma EHE, resistencia del hormigón frente al ataque por sulfatos, “en el caso particular de existencia de sulfatos, el cemento deberá poseer la característica adicional de resistencia a los sulfatos, según la vigente instrucción para la recepción de cementos, siempre que su contenido sea igual o mayor que 3000 mg/kg.

Para el caso de suelo, atendiendo al contenido en mg de ión sulfato por kg de suelo seco y al grado de acidez Baumann-Gully:

ENSAYO (*) Estas condiciones no se dan en la práctica	TIPO DE EXPOSICIÓN		
	Qa	Qb	Qc
	Ataque débil	Ataque medio	Ataque fuerte
Grado Acidez Baumann-Gully (ml/kg) según UNE 83.962	> 200	(*)	(*)
ION SULFATO (mg SO42-/kg de suelo seco) según UNE 83.963	2.000-3.000 (0,2-0,3%)	3.000-12.000 (0,3-1,2%)	> 12.000 (> 1,2%)

Para comprobar la agresividad del suelo en la zona de estudio se cuenta con los siguientes ensayos de contenido en sulfatos y de acidez Baumann-Gully.

Sondeo / Calicata	Tipo de muestra	Cotas	Unidad	Parámetro		Tipo de exposición
				Ión sulfato (mg/kg)	Grado de Acidez Baumann-Gully (ml/kg)	
S-1	SPT	11,42-11,68	Y	4286	<200	Medio
S-1	TP	19,80-20,20	Y	7815	<200	Medio

En base a los resultados obtenidos, será preciso el empleo de cementos sulforresistentes, ya que, aunque no se dispone de ensayos de agresividad sobre la unidad UG-G, los ensayos resultantes sobre la unidad inferior dan como resultado agresividad media.

Muros

Los muros 01 y 02 se establecen como los sostenimientos laterales mediante pilotes que se establecen debido al corte de los terraplenes de ambas plataformas.

1) RECONOCIMIENTOS GEOTÉCNICOS

- Calicatas: C-06, C-07.
- Pruebas de penetración dinámica: P-09

2) DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO –ESTRATIGRAFÍA-

Con el objetivo de facilitar las recomendaciones geotécnicas de cimentación de estructuras, se ha procedido a elaborar un *perfil geológico-geotécnico de cálculo* (modelo del terreno o perfil estratigráfico) de este en aquellas zonas en que se pueda agrupar, debido a la heterogeneidad de los depósitos. Este perfil se incluye dentro del Apéndice 4.2. de este anejo. Se describe detalladamente a continuación, habiéndose extrapolado en profundidad a partir del perfil geológico-geotécnico longitudinal:

- De 0,00 a 2,80 m: UG-Qt (Terrazas del río Jarama).
- De 2,80 a 10,00 m: UG-G (Arcillas. “Gredas”).
- > 10,00 m: UG-Y (Yesos tableados).

3) CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS TERRENOS

Los *parámetros geotécnicos globales de cálculo recomendados* (y justificados en el apartado *“4.2. Caracterización de materiales”* de este anejo) para las diferentes unidades geológico-geotécnicas existentes en el perfil de esta estructura, se resumen en la siguiente tabla.

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE CÁLCULO RECOMENDADOS								
	U.S.C.S.	N30	Finos (%)	Peso específico (kN/m3)	RCS (kg/cm^2)	cohesión c' (kN/m2)	Ángulo de roz. Int. (º)	Coef. de Poisson	Módulo de def (E') (MPa)
Terrazas cuaternarias UG-Qt	SM	11	23	18	0,8	5	30	0,3	15
Arcillas (Gredas) UG-G	CL	25	72	19	4	43	36	0,27	40
Arcillas con yesos UG-Y	ML- CL-CH-SM	>50	60	20	4	56	32	0,27	500

Con respecto al *nivel freático*, durante la realización de los trabajos de reconocimiento, se detectó el nivel freático a 8,35 m de profundidad. En resumen, puede considerarse que, a partir de los datos disponibles, las excavaciones provisionales previstas no presentaran problemas en relación con el nivel freático.

4) CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

Para la contención del terreno en esta zona se plantea la ejecución de los muros mediante pantallas de pilotes secantes empotrados en la unidad UG-G.

En la siguiente tabla se indican los coeficientes de balasto horizontales de deformación, en base al diámetro de los pilotes.

Coeficiente de balasto horizontal (Para diferentes diámetros (m) de pilote)					
0,80	1,00	1,20	1,50	1,80	2,00
Kh	Kh	Kh	Kh	Kh	Kh
Kp/cm3	Kp/cm3	Kp/cm3	Kp/cm3	Kp/cm3	Kp/cm3
4,50	**3,10**	**2,75**	**2,15**	**1,75**	**1,50**

5) AGRESIVIDAD DEL SUBSUELO AL HORMIGÓN

Para determinar la agresividad se ha seguido la Instrucción EHE del hormigón estructural vigente.

Agresividad del agua

Para el caso de las aguas, los distintos tipos de exposición, según la Instrucción EHE, en función de los parámetros analizados, son:

Tipos de exposición				
Ensayo	**Ataque nulo**	**Ataque débil**	**Ataque medio**	**Ataque fuerte**
pH	> 6,5	6,5-5,5	5,5-4,5	<4,5
Magnesio (Mg_2^+) (mg/l)	< 300	300-1000	1000-3000	>3000
Sulfato (SO_4^{2-}) (mg/l)	< 200	200-600	600-3000	>3000
Amonio (NH_4^+) (mg/l)	<15	15-30	30-60	>60
CO_2 (mg/l)	<15	15-40	40-100	>100
Residuo seco (mg/l)	> 150	75-150	50-75	<50

Agresividad del suelo

Según el punto 37.3.5. de la norma EHE, resistencia del hormigón frente al ataque por sulfatos, “en el caso particular de existencia de sulfatos, el cemento deberá poseer la característica adicional de resistencia a los sulfatos, según la vigente instrucción para la recepción de cementos, siempre que su contenido sea igual o mayor que 3000 mg/kg.

Para el caso de suelo, atendiendo al contenido en mg de ión sulfato por kg de suelo seco y al grado de acidez Baumann-Gully:

ENSAYO (*) Estas condiciones no se dan en la práctica	TIPO DE EXPOSICIÓN		
	Qa	Qb	Qc
	Ataque débil	Ataque medio	Ataque fuerte
Grado Acidez Baumann-Gully (ml/kg) según UNE 83.962	> 200	(*)	(*)
ION SULFATO (mg SO42-/kg de suelo seco) según UNE 83.963	2.000-3.000 (0,2-0,3%)	3.000-12.000 (0,3-1,2%)	> 12.000 (> 1,2%)

Para comprobar la agresividad del suelo en la zona de estudio se cuenta con los siguientes ensayos de contenido en sulfatos y de acidez Baumann-Gully.

Sondeo / Calicata	Tipo de muestra	Cotas	Unidad	Parámetro		Tipo de exposición
				Ión sulfato (mg/kg)	Grado de Acidez Baumann-Gully (ml/kg)	
S-1	SPT	11,42-11,68	Y	4286	<200	Medio
S-1	TP	19,80-20,20	Y	7815	<200	Medio

En base a los resultados obtenidos, será preciso el empleo de cementos sulforresistentes, ya que, aunque no se dispone de ensayos de agresividad sobre la unidad UG-G, los ensayos resultantes sobre la unidad inferior dan como resultado agresividad media.

7) CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DEL MURO 03

El muro 03 corresponde al muro lateral de cierre para dejar espacio al propio vial de acceso.

8) RECONOCIMIENTOS GEOTÉCNICOS

- Pruebas de penetración dinámica: P-05, P-06, P-07; P-08

9) DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO –ESTRATIGRAFÍA-

Con el objetivo de facilitar las recomendaciones geotécnicas de cimentación de estructuras, se ha procedido a elaborar un *perfil geológico-geotécnico de cálculo* (modelo del terreno o perfil estratigráfico) de este en aquellas zonas en que se pueda agrupar, debido a la heterogeneidad de los depósitos. Este perfil se incluye dentro del Apéndice 4.2. de este anejo. Se describe detalladamente a continuación, habiéndose extrapolado en profundidad a partir del perfil geológico-geotécnico longitudinal:

- De 0,00 a 1,50 m: UG-Qt (Terrazas cuaternarias).
- De 1,50 a 20,00 m: UG-G (Arcillas. “Gredas”).
- > 20,00 m: UG-Y (Yesos tableados).

10) CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS TERRENOS

Los *parámetros geotécnicos globales de cálculo recomendados* (y justificados en el apartado *“4.2. Caracterización de materiales”* de este anejo) para las diferentes unidades geológico-geotécnicas existentes en el perfil de esta estructura, se resumen en la siguiente tabla.

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE CÁLCULO RECOMENDADOS								
	U.S.C.S.	N30	Finos (%)	Peso específico (kN/m3)	RCS (kg/cm^2)	cohesión c' (kN/m2)	Ángulo de roz. Int. (º)	Coef. de Poisson	Módulo de def (E') (MPa)
Terrazas cuaternarias UG-Qt	SM	11	23	18	0,8	5	30	0,3	15
Arcillas (Gredas) UG-G	CL	25	72	19	4	43	36	0,27	40
Arcillas con yesos UG-Y	ML- CL-CH-SM	>50	60	20	4	56	32	0,27	500

Con respecto al *nivel freático*, durante la realización de los trabajos de reconocimiento, se detectó el nivel freático a 8,35 m de profundidad. En resumen, puede considerarse que, a partir de los datos disponibles, las excavaciones provisionales previstas no presentaran problemas en relación con el nivel freático.

11) CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

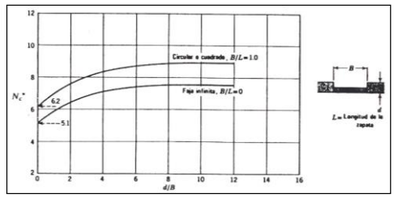
Para el muro 03 se recomienda una cimentación superficial sobre la unidad UG-G.

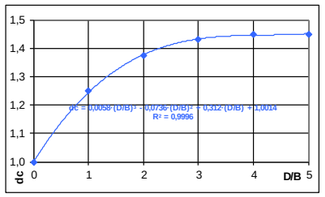
En lo referente a la carga de admisible del terreno de cimentación, se obtienen cargas de hundimiento superiores a 1100 kN/m^2, por lo que adoptar una carga admisible de 4 kg/cm^2 presenta un adecuado coeficiente de seguridad frente a rotura, siempre del lado de la seguridad.

CÁLCULO DE CARGAS ADMISIBLES EN MATERIALES COHESIVOS CON Cu: TERZAGHI Y PECK

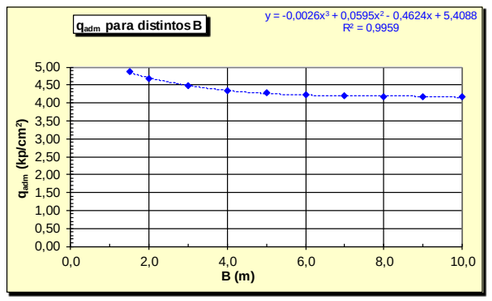
$$q_h = N_c \cdot c_u \cdot d_c \cdot s_c + D \cdot \gamma_h$$

$$s_c = \left(1 + 0{,}2 \cdot \frac{B}{L}\right)$$





Ancho de la cimentación	**B (m)**	**1,5**	**2,0**	**3,0**	**4,0**	**5,0**	**6,0**	**7,0**	**8,0**	**9,0**	**10,0**
Largo de la cimentación	**L (m)**	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Profundidad de cimentación	**D (m)**	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Densidad aparente del suelo	**γ_{ap} (kN/m^3)**	**19,00**	**19,00**	**19,00**	**19,00**	**19,00**	**19,00**	**19,00**	**19,00**	**19,00**	**19,00**
Resistencia al corte sin drenaje	**c_u (kN/m^2)**	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Factor de capacidad de carga	**Nc**	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14
	D/B	1,33	1,00	0,67	0,50	0,40	0,33	0,29	0,25	0,22	0,20
Factor de influencia por la profundidad de la cimentación	**dc**	1,30	1,25	1,18	1,14	1,11	1,10	1,08	1,07	1,07	1,06
Factor de influencia por la forma de la cimentación	**sc**	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	1,04
Carga hundimiento	**q_h (kPa)**	1383	1329	1264	1228	1207	1193	1184	1178	1175	1172
	q_h (kp/cm^2)	**13,83**	**13,29**	**12,64**	**12,28**	**12,07**	**11,93**	**11,84**	**11,78**	**11,75**	**11,72**
Factor de Seguridad		**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**
Carga admisible	**q_{adm} (kPa)**	486	468	447	435	428	423	420	418	417	416
	q_{adm} (kp/cm^2)	**4,86**	**4,68**	**4,47**	**4,35**	**4,28**	**4,23**	**4,20**	**4,18**	**4,17**	**4,16**



Durante la realización de excavaciones provisionales para las cimentaciones, se recogen en la siguiente tabla los ángulos a adoptar recomendados.

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	TALUDES DE EXCAVACIÓN A CORTO PLAZO (TEMPORALES)		
	Altura < 3 m *(*)*	Altura 3 - 5 m	Altura > 5 m
Rellenos antrópicos (R)	2H:3V (56,31º)	1H:1V (45º)	3H:2V (33,69º)
Terrazas cuaternarias (UG-Qt)	1H:2V (63º)	2H:3V (56,31º)	1H:1V (45º)

(*) LOS TALUDES DE EXCAVACIÓN RECOMENDADOS PARA ALTURAS MENORES DE 3 M, PODRÁN ADOPTAR VALORES IGUALES A SUPERIORES A 1H:2V, SIEMPRE QUE SE TRATE DE TALUDES TEMPORALES, QUE PERMANEZCAN ABIERTOS BREVES PERÍODOS DE TIEMPO PARA EVITAR DESLIZAMIENTOS LOCALES, ADEMÁS DEBERÁ DEJARSE UN MARGEN DE SEGURIDAD ENTRE 1-2 M DESDE LA CABECERA DEL TALUD A ESTRUCTURAS O VIALES CERCANOS PARA EVITAR SU AFECCIÓN; NO OBSTANTE, SI ESTAS EXCAVACIONES PERMANECEN ABIERTAS UN CIERTO PERÍODO DE TIEMPO Y MÁS SI COINCIDEN CON ÉPOCAS DE LLUVIA SERÁ NECESARIO SUAVIZAR LOS TALUDES HASTA LOS RECOMENDADOS EN LA TABLA ANTERIOR A CORTO PLAZO -TEMPORALES- PARA ALTURAS MENORES DE 4 M, E INCLUSO ADOPTAR BERMAS INTERMEDIAS O ELEMENTOS DE REFUERZO O ENTIBACIÓN SI SE LLEGAN A OBSERVAR PREVISIBLES INESTABILIDADES EN FASE DE OBRA).

12) AGRESIVIDAD DEL SUBSUELO AL HORMIGÓN

Para determinar la agresividad se ha seguido la Instrucción EHE del hormigón estructural vigente.

Agresividad del agua

Para el caso de las aguas, los distintos tipos de exposición, según la Instrucción EHE, en función de los parámetros analizados, son:

Tipos de exposición				
Ensayo	**Ataque nulo**	**Ataque débil**	**Ataque medio**	**Ataque fuerte**
pH	> 6,5	6,5-5,5	5,5-4,5	<4,5
Magnesio (Mg_2^+) (mg/l)	< 300	300-1000	1000-3000	>3000
Sulfato (SO_4^{2-}) (mg/l)	< 200	200-600	600-3000	>3000
Amonio (NH_4^+) (mg/l)	<15	15-30	30-60	>60
CO_2 (mg/l)	<15	15-40	40-100	>100
Residuo seco (mg/l)	> 150	75-150	50-75	<50

No se prevé afección a la zona saturada.

Agresividad del suelo

Según el punto 37.3.5. de la norma EHE, resistencia del hormigón frente al ataque por sulfatos, “en el caso particular de existencia de sulfatos, el cemento deberá poseer la característica adicional de resistencia a los sulfatos, según la vigente instrucción para la recepción de cementos, siempre que su contenido sea igual o mayor que 3000 mg/kg.

Para el caso de suelo, atendiendo al contenido en mg de ión sulfato por kg de suelo seco y al grado de acidez Baumann-Gully:

ENSAYO (*) Estas condiciones no se dan en la práctica	TIPO DE EXPOSICIÓN		
	Qa	Qb	Qc
	Ataque débil	Ataque medio	Ataque fuerte
Grado Acidez Baumann-Gully (ml/kg) según UNE 83.962	> 200	(*)	(*)
ION SULFATO (mg SO42-/kg de suelo seco) según UNE 83.963	2.000-3.000 (0,2-0,3%)	3.000-12.000 (0,3-1,2%)	> 12.000 (> 1,2%)

Para comprobar la agresividad del suelo en la zona de estudio se cuenta con los siguientes ensayos de contenido en sulfatos y de acidez Baumann-Gully.

Sondeo / Calicata	Tipo de muestra	Cotas	Unidad	Parámetro		Tipo de exposición
				Ión sulfato (mg/kg)	Grado de Acidez Baumann-Gully (ml/kg)	
S-1	SPT	11,42-11,68	Y	4286	<200	Medio
S-1	TP	19,80-20,20	Y	7815	<200	Medio

En base a los resultados obtenidos, será preciso el empleo de cementos sulforresistentes, ya que, aunque no se dispone de ensayos de agresividad sobre la unidad UG-G, los ensayos resultantes sobre la unidad inferior dan como resultado agresividad media.

4.7.3. TABLA RESUMEN DE RECOMENDACIONES DE CIMENTACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

Se incluye a continuación la tabla resumen de cimentación de las estructuras previstas en cada alternativa estudiada.

Es importante resaltar que el resultado de la investigación geotécnica llevada a cabo, al extrapolarse al resto de la zona objeto de estudio, no es más que una interpretación razonable según el estado del arte actual de la técnica, siendo totalmente fidedigna para los puntos explorados y en la fecha de su ejecución. En conclusión, se recomienda que en fases posteriores al presente Estudio Informativo se confirme que los materiales del subsuelo reconocidos, así como la posición del nivel freático, estén en consonancia con las conclusiones adoptadas para, si fuese oportuno y necesario, introducir las oportunas correcciones en el supuesto de que se observasen desviaciones, y detallar la cimentación de los apoyos de las diferentes estructuras previstas.

Actuación	Alt.	Estructura	Vías	Actuación	Tipología de cimentación	Unidad geotécnica de apoyo/ empotramiento	Kh (Kp/cm3)	Qadm (T/m2)	Agresividad al hormigón
Campo de las Naciones	1	ODT 01 Prolongación	Vía 1 de Contorno	ODT existente. Prolongación	Superficial	UG-Am	-	20	No agresivo
	2	PS 02 Ampliación	Vía 1 de Contorno	PS existente. Ampliación	Profunda (pilas pilote)	UG-Am	-	Función del diámetro y longitud de pilotes. Ver apartado 4.7.2.1.2.	No agresivo
		Muro	Vía 1 de Contorno	Muro de pilotes	Muro de pilotes	UG-Am	Función del diámetro de los pilotes Ver apartado 4.7.2.1.2.	-	No agresivo
		ODT 02 Prolongación	Vía 1 de Contorno	ODT existente. Prolongación	Superficial	UG-Am	-	20	No agresivo
		ODT 03 Prolongación	Vía 1 de Contorno	ODT existente. Prolongación	Superficial	UG-Am	-	20	No agresivo
		ODT 04 Prolongación	Vía 1 de Contorno	ODT existente. Prolongación	Superficial	UG-Am	-	20	No agresivo
Las Rejas	1	No existen estructuras proyectadas de obra civil en el ámbito de estudio							
	2								
San Fernando	1	Viaducto 01 (calle la Rioja)	Vías 1 y 2 de Contorno	Nueva ejecución	Superficial	UG-G	-	40	Agresividad media
		PI 02 Prolongación	Vías 1, 2, 3 y 4 de Contorno	Marco existente. Prolongación bajo nuevas vías 1 y 3 de contorno	Superficial	UG-G	-	40	Agresividad media
		PI 03 (avenida de la Cañada)	Vía 1 y 2 Corredor del Henares	Nueva ejecución. Paso inferior	Superficial	UG-G	-	40	Agresividad media
		Viaducto 04 (Avenida de la Cañada)	Vías 2 y 4 de Contorno	Losa pretensada sobre estribos cerrados	Superficial	UG-G	-	40	Agresividad media
		Muro01	Vía 1 Corredor del Henares	Muro de pilotes	Muro de pilotes	UG-G	Función del diámetro de los pilotes Ver apartado 4.7.3.2.1.	-	Agresividad media
		Muro02	Vía 2 Corredor del Henares	Muro de pilotes	Muro de pilotes	UG-G	Función del diámetro de los pilotes Ver apartado 4.7.3.2.1.	-	Agresividad media
		Muro03	Vía 4 de Contorno	Nueva ejecución (Muro en L)	Superficial (sobre paso inferior)	-	-	-	-
		Muro04	Vía 1 Corredor del Henares	Muro de pilotes	Muro de pilotes	UG-G	Función del diámetro de los pilotes Ver apartado 4.7.3.2.1.	-	Agresividad media
		Muro05	Vía 2 Corredor del Henares	Muro de pilotes	Muro de pilotes	UG-G	Función del diámetro de los pilotes Ver apartado 4.7.3.2.1.	-	Agresividad media
	2	Viaducto 01 (calle la Rioja)	Vías 1 y 2 de Contorno	Nueva ejecución	Superficial	UG-G	-	40	Agresividad media
		PI 02 Prolongación	Vías 1, 2, 3 y 4 de Contorno	Marco existente. Prolongación bajo nuevas vías 1 y 3 de contorno	Superficial	UG-G	-	40	Agresividad media
		Pérgola 03 (avenida de la Cañada)	Vía 1 y 2 Corredor del Henares	Nueva ejecución. Pérgola in-situ	Superficial	UG-G	-	40	Agresividad media
		Viaducto 04 (Avenida de la Cañada)	Vías 2 y 4 de Contorno	Viaducto de vigas prefabricadas	Superficial	UG-G	-	40	Agresividad media
		ODT 01 Prolongación	Vía 1 y 2 Corredor del Henares	ODT existente. Prolongación	Superficial	UG-G	-	40	Agresividad media
		Muro01	Vía 1 Corredor del Henares	Muro de pilotes	Muro de pilotes	UG-G	Función del diámetro de los pilotes Ver apartado 4.7.3.2.2.	-	Agresividad media
		Muro02	Vía 2 Corredor del Henares	Muro de pilotes	Muro de pilotes	UG-G	Función del diámetro de los pilotes Ver apartado 4.7.3.2.2.	-	Agresividad media
		Muro03	Vía 4 de Contorno	Nueva ejecución (Muro en L)	Superficial	UG-G	-	40	Agresividad media

5. PROCEDENCIA DE MATERIALES

5.1. OBJETO

El objeto de este apartado es, establecer las necesidades de los materiales necesarios para la ejecución de las obras y estudiar las posibles procedencias de cada uno de estos materiales. Por tal motivo, se ha considerado:

- Caracterizar las distintas litologías procedentes de la excavación susceptibles de ser explotadas.
- Confeccionar un inventario de canteras e instalaciones de suministro situadas a una distancia razonable de la obra, incluyendo una descripción del material a explotar (o procedencia del mismo), capacidad de producción, accesibilidad, distancia a la obra y toda la información que pudiera ser considerada de interés.
- Realizar un estudio de los gestores autorizados que cuentan con Planes de Restauración del Espacio Afectado (PREN), tanto para el material sobrante resultante del movimiento de tierras como para los residuos de construcción y demolición.

El análisis de los materiales procedentes de las excavaciones se ha realizado a partir de las conclusiones obtenidas en la caracterización geotécnica de los materiales de la traza.

En cuanto al estudio de los diferentes tipos de materiales necesarios para la construcción de las diferentes unidades de obra, se ha estudiado la procedencia de:

- Materiales tipo suelos QS3, capa de forma, subbalasto, balasto, materiales aptos para rellenos localizados y trasdós de muros.
- Materiales tipo suelos seleccionados, zahorras, material filtrante y áridos para hormigón.

En ambos casos, estos materiales poseen exigencias de calidad muy precisas que obligarán a recurrir a yacimientos específicos.

Las normativas que determinan las prescripciones necesarias de estos materiales se mencionan en el apartado 1 del presente Anejo.

Por último y a modo de recopilación de los resultados de las labores anteriormente citadas, se confeccionaron una serie de fichas, concretamente para las explotaciones (activas o abandonadas) de mayor importancia, reflejando los aspectos que se citan a continuación:

- Nombre local del punto de abastecimiento.
- Símbolo que se le asignó.
- Localización.
- Distancia a la traza.
- Propietario.
- Material explotado o transformado.
- Ubicación en planta 1:50.000.
- Croquis de acceso.
- Tipo de extracción.
- Cubicación aproximada, especificando las dimensiones (frente, fondo y potencia), e indicando la presencia o no de recubrimientos.
- Reservas y capacidad de producción en canteras activas.
- Relación de ensayos de laboratorio disponibles.
- Procedencia de los materiales empleados.
- Fotografía del aspecto general de cada cantera y de su planta de tratamiento.

Antes de exponer el análisis y las conclusiones relativas a la calidad de los materiales estudiados y su posible utilización, se resumen sucintamente a continuación las características exigibles a los materiales a utilizar en la constitución de las distintas unidades de obra.

5.2. CONDICIONES EXIGIBLES A LOS MATERIALES

Se incluyen a continuación las prescripciones a cumplir por los materiales según la normativa vigente en proyectos de carreteras y ferrocarriles.

En lo que se refiere a los materiales a utilizar en las distintas unidades de obra anteriormente referidas son las siguientes:

- “Pliego de Prescripciones Técnicas para los Proyectos de Plataforma”, PGP 2011.V2 (ADIF).
- Orden FOM/1269/2006. de 17 de abril, por la que se aprueban los Capítulos: 6.-Balasto y 7.-Subbalasto del pliego de prescripciones técnicas generales de materiales ferroviarios (PF).

- Orden FOM/1631/2015. Instrucción para el proyecto y construcción de obras ferroviarias IF-3.
- "Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes", PG-3 (Hasta Orden FOM 891/2004).
- "Instrucción de Hormigón Estructural (EHE)", Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio.

5.2.1. PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES PARA LOS PROYECTOS DE PLATAFORMA (PGP-2011 V2), DE ADIF

A continuación, se muestran los requisitos que deben de cumplir los materiales para las diferentes unidades de obra que se encuentran recogidos en este Pliego. Criterios que han sido adoptados para la elaboración del presente anejo.

5.2.1.1. MATERIALES A EMPLEAR EN LOS RELLENOS LOCALIZADOS Y EN EL TRASDÓS DE MUROS

Según las condiciones generales establecidas en el PGP-2011 V2, el material para los rellenos localizados deberá cumplir, al menos, las condiciones exigidas al material para coronación de los terraplenes, cumpliendo las siguientes limitaciones:

- Límite líquido inferior a cuarenta (40).
- Tamaño máximo inferior a diez centímetros (10 cm).
- El cernido por el tamiz 0,080 UNE será inferior al cuarenta por ciento (40%) en peso en la fracción de material inferior a sesenta milímetros (60 mm) (tamiz 60 UNE). Este porcentaje no será superior al quince por ciento (15%) cuando existan condiciones de posible saturación. Estas condiciones se cumplirán en muestras tomadas en el material después de compactado.
- Asiento en el ensayo de colapso (NLT 254) inferior al uno por ciento (1%).
- Densidad máxima en el ensayo Próctor Modificado superior a un kilogramo setecientos cincuenta gramos por decímetro cúbico (> 1,750 kg/dm3).
- El índice CBR será superior a cinco (5) y el hinchamiento, medido en dicho ensayo, será inferior al uno por ciento (1%). Para valores de hinchamiento medio superiores al 1% e inferiores al 2%, sin que ningún ensayo supere el 3%, la utilización del material podrá ser autorizada por la Dirección de Obra, siempre que el material se coloque a más de dos metros bajo la cota de coronación del terraplén y que su compactación hasta la densidad exigida se efectúe con un contenido de humedad superior al óptimo Próctor.
- Cuando existan condiciones de posible saturación, se limitará el contenido de finos.

A continuación, se incluyen las prescripciones de ADIF para coronación:

CARACTERÍSTICAS	ARTÍCULO G-0104: RELLENOS (PGP – 2011)
GRANULOMETRÍA	-El cernido por el tamiz 0,080 UNE será inferior al 40% en la fracción de material inferior a 60mm. En caso de posible saturación será inferior a 15%. -Tamaño máximo inferior a 10cm -Tamaño máximo inferior a 2/3 el espesor de la tongada
PLASTICIDAD	LL < 40
DENSIDAD PROCTOR MÍNIMA	
CBR	> 10
% HINCHAMIENTO LIBRE	<2% En edómetro
ASIENTOS	< 1 %
SULFATOS	< 2.5 %
SALES SOLUBLES DISTINTAS DE YESOS	<1%

Tabla 43 Prescripciones a cumplir para los materiales de coronación

5.2.1.2. CAPA DE FORMA

- Las condiciones que deben cumplir los materiales para ser útiles como capa de forma son las siguientes:
- Contenido en materia orgánica inferior al cero con dos por ciento (MO<0,2 %) según UNE 103-204.
- Contenido en sales solubles en agua, incluido el yeso, inferior al cero con dos por ciento (SS< 0,2%) según NLT 114.
- Tamaño máximo no superior a cien milímetros (Dmax <= 100mm).
- Cernido por el tamiz cero coma cuarenta (0,40) UNE menor o igual que el quince por ciento (# 0,40 <= 15%) o que en caso contrario cumpla todas y cada una de las condiciones siguientes:
- Cernido por el tamiz dos milímetros UNE, menor del ochenta por ciento (# 2< 80%).

- Cernido por el tamiz cero con cuarenta milímetros UNE, menor del setenta y cinco por ciento (# 0,40< 75%).
- Cernido por el tamiz cero con cero ochenta milímetros UNE, menor veinticinco por ciento (# 0,080< 25%).
- Límite líquido menor de treinta (LL<30). Según UNE 103103.
- Índice de plasticidad menor de diez (IP <10) según UNE 103104.
- En el caso de utilizar material procedente de cantera de roca, su coeficiente de Desgaste de Los Ángeles (UNE EN 1097-2) no será superior a treinta (30). El ensayo Micro Deval húmedo (UNE EN 1097-1) deberá dar menor o igual de veinticinco (25).
- El valor del índice CBR será superior a diez (10) para el noventa y cinco por ciento (95%) de la densidad máxima Próctor Modificado. El hinchamiento por inmersión será inferior al cero coma dos por ciento (0,2%). Para materiales más gruesos serán de aplicación los módulos de placa que se indican más adelante.

A continuación, se incluye una tabla con las prescripciones de ADIF para capa de forma:

	PGP 2011	
	VALOR DE REFERENCIA	VALOR EXTREMO
Tamaño máximo	≤10cm	≤ 12cm
Pasante por el tamiz 2 (2mm)	30 ≤ 2 mm ≤ 65%	25 ≤ 2 mm ≤70%
Contenido en finos	≤ 5%	≤ 7%
Contenido en materia orgánica	≤ 0.2%	≤ 0.3%
Índice CBR	≥ 15	≥ 8
Hinchamiento en CBR	≤ 0.2%	≤ 0.3%
Desgaste de Los Ángeles	≤30	≤ 35
Ensayo Micro Deval húmedo	≤ 25	≤ 30

Tabla 44 Prescripciones a cumplir para los materiales de la capa de forma

5.2.1.3. SUBBALASTO

Como subbalasto se entiende la capa superior de la plataforma sobre la que se apoya el balasto y debe cumplir las siguientes especificaciones:

- Se comprobará, mediante la Norma UNE-EN 933-5:1999, que el cien por cien (100%) del material retenido en el tamiz número cuatro (nº 4) es calificable como "triturado" y que procede del machaqueo y clasificación de piedra no caliza, extraída en cantera o en desmontes rocosos de la traza, o en yacimientos naturales de árido rodado silíceo.
- Si el material procede de un suministro exterior a la obra, deberá cumplir los requisitos del marcado CE.
- El subbalasto no podrá contener fragmentos de: madera, materia orgánica, metales, plásticos, rocas alterables, ni de materiales tixotrópicos, expansivos, solubles, putrescibles, combustibles ni polucionantes (desechos industriales).
- El contenido de materia orgánica, según Norma UNE 103204:1993, deberá ser inferior al cero con dos por ciento (0,2%) en peso, de la fracción que pasa por el tamiz número dos (nº 2).
- El contenido en sulfatos, según Norma UNE 103201:1996, deberá ser inferior al cero con dos por ciento (0,2%) en peso, de la fracción que pasa por el tamiz número dos (nº 2).
- Granulometría.
- El subbalasto estará constituido por una grava arenosa bien graduada, con un pequeño porcentaje de elementos finos. El ensayo para su determinación se realizará según Norma UNE-EN933-1:1998 y el resultado deberá cumplir lo siguiente:

TAMIZ UNE	% QUE PASA (EN PESO)
40	100
31.5	90-100
16	85-95
8	65-80
4	45-65
2	30-50
0.5	10-40
0,20	5-25
0,063	3-9

Tabla 45 Prescripciones granulométricas a cumplir para los materiales de subbalasto

- El coeficiente de uniformidad C2 = D60/D10, será mayor o igual que catorce (Cu ≥ 14).
- El coeficiente de curvatura Cc = D302/ (D10 x D 60), estará comprendido entre uno y tres (1,0 ≤ Cc 3,0).
- El equivalente de arena, según UNE-EN 933-8:2000, será mayor de cuarenta y cinco (45), para la fracción que pasa por el tamiz número dos (nº 2).
- El coeficiente de desgaste de Los Ángeles (CLA) será inferior al veintiocho por ciento (< 28%). El ensayo se realizará según Norma UNE-EN 1097-2:1999, teniendo en cuenta lo especificado en su Anexo A.
- El coeficiente Micro-Deval Húmedo (MDH) será inferior al veintidós por ciento (< 22%). El ensayo se realizará según Norma UNE-EN 1097-1:1997.
- El coeficiente de permeabilidad vertical del subbalasto (K), compactado al cien por cien (100%) de la densidad máxima del Próctor Modificado, debe ser ≤diez elevado a menos seis metros por segundo (10-6 m/s). Su determinación en laboratorio se hará con permeámetro de carga variable, según del procedimiento descrito en el Anejo 3 de la Orden FOM/1269/2006. Se podrá prescindir del control de permeabilidad del material de la capa de sub-balasto, siempre que la capa subyacente cumpla condiciones de capa de forma definidas en el artículo G0106 del presente Pliego.

5.2.2. PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS GENERALES DE MATERIALES FERROVIARIOS (PF).

BALASTO

El balasto a emplear deberá cumplir lo establecido en la ORDEN FOM/1269/2006 de 17 de abril y publicado en el Boletín Oficial del Estado número 103 de 1 de mayo de 2006, en la que se establece la aprobación del capítulo 6.-Balasto, del que será de aplicación en el proyecto, construcción y mantenimiento de infraestructuras ferroviarias integradas en la Red Ferroviaria de Interés General.

El balasto debe tener las características idóneas de estabilidad, flexibilidad, drenaje y durabilidad para proporcionar el asiento idóneo para la estructura de la vía del ferrocarril.

El balasto suministrado por la cantera ha de cumplir las prescripciones del Pliego P.A.V. 3-4-0.0/7ª Edición y según lo especificado en el PF-6 (prescripciones recogidas igualmente en la orden FOM/1269/2006), en cualquiera de los procesos intermedios desde su fabricación o manipulación hasta su puesta en vía.

En este punto se recogen una serie de tolerancias en los valores establecidos que se tendrán en cuenta y serán aplicados en el análisis que se realizará en el punto 3.5.

Origen y naturaleza

El balasto deberá proceder de la extracción de rocas de cantera, seguida de machaqueo, cribado y clasificación, con o sin posterior tratamiento industrial que implique una modificación térmica o de otro tipo.

Las rocas para extracción del balasto serán de naturaleza silícea y, preferentemente, de origen ígneo o metamórfico. Por tanto, no se admitirán las de naturaleza caliza ni dolomítica.

El balasto no podrá contener fragmentos de: madera, materia orgánica, metales, plásticos, rocas alterables, ni de materiales tixotrópicos, expansivos, solubles, putrescibles, combustibles ni polucionantes (desechos industriales).

Reutilización de balasto procedente de obras ferroviarias. En este caso se comprobará según la normativa UNE-EN-933-5 que el 100% de las partículas retenidas por el tamiz 22,4 son de las denominadas «totalmente trituradas». Este ensayo se denomina de “porcentaje de caras de fractura”.

Granulometría

El balasto es un material cuya granulometría puede describirse como “grava gruesa” y se ajustará al siguiente huso granulométrico:

Tamiz	Porcentaje que pasa (en peso)
63	100
50	70-90
40	30-65
31.5	1-25
22.4	0-3

Tabla 46 prescripciones a cumplir en relación con la granulometría

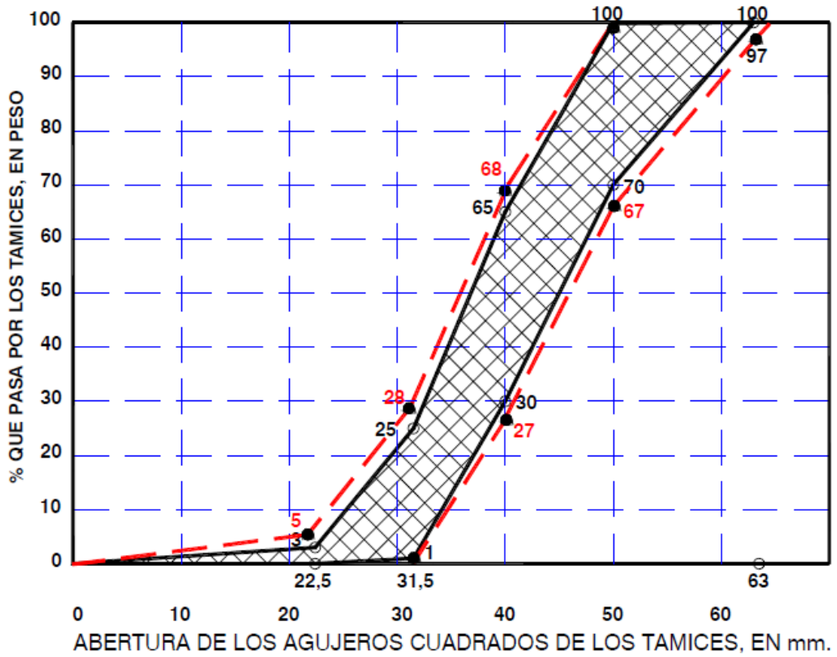


Figura 41 Esquema que muestra las Tolerancias del Huso Granulométrico del Balasto: Categoría "A" de la Norma Europea.

Además, la suma de los retenidos parciales de los tamices 40 y 31,5, (o sea la fracción de material menor de 50 y mayor de 31,5), en peso, será ≥ 50%.

Partículas finas

Para todo tipo de líneas y condiciones de explotación ferroviaria, se exigirán los siguientes valores:

Lugar de recepción del lote de balasto	Porcentaje del peso total de la muestra que pasa por el tamiz 0,50
En el centro de producción	≤ 0,6%
En obra o acopio intermedio	≤ 1%

Tabla 47 Prescripciones a cumplir en relación al porcentaje en partículas finas

Finos

Para todo tipo de líneas y condiciones de explotación ferroviaria, se exigirán los siguientes valores:

Lugar de recepción del lote de balasto	Porcentaje del peso total de la muestra que pasa por el tamiz 0,063
En el centro de producción	≤ 0,5%
En obra o acopio intermedio	≤ 0,7%

Tabla 48 Prescripciones a cumplir en relación con el porcentaje en finos

Índice de forma

Para todo tipo de líneas y condiciones de explotación ferroviaria, el porcentaje en peso de elementos no cúbicos con respecto al total retenido por el tamiz 22,4 será ≤ 10%.

Longitud de las piedras

Para todo tipo de líneas y condiciones de explotación ferroviaria, el porcentaje de piedras cuya longitud máxima sea superior a 100 mm será ≤ 4%.

Resistencia al desgaste-fragmentación

En función del tipo de línea y de sus condiciones de explotación, se exigirán los coeficientes de desgaste de Los Ángeles (CLA) siguientes:

Ancho de vía (mm)	Velocidad máx de la línea (km/h)	Tipo de línea	Desgaste Los Ángeles	Tipo de balasto
≥ 1435	≥ 200	AVE, A o B	≤ 14%	Tipo 1
≥ 1435	< 200	AVE, A o B	≤ 16%	Tipo 2
≥ 1435		C(*)	≤ 20%	Tipo 3
< 1435				

(*) SON LÍNEAS SECUNDARIAS Y DE POCO TRÁFICO, QUE GENERALMENTE NO SUPERAN LAS 8 CIRCULACIONES/DÍA.

Tabla 49 Prescripciones a cumplir en relación con el desgaste los ángeles

Para usos especiales, convenientemente justificados en el Proyecto, se podrá exigir un CLA ≤ 12%.

Resistencia a la meteorización por la acción de la helada

Cuando se disponga de un registro de datos que avale el comportamiento satisfactorio de un árido de balasto bajo condiciones meteorológicas similares a las de uso, se considerará que ese árido es aceptable. En caso contrario, si se detecta la presencia de piedras de elevada absorción, se realizarán Análisis petrográfico, Ensayo de densidad y absorción de agua. En función de los valores obtenidos, se llevarán a cabo las actuaciones siguientes:

Porcentaje de absorción de agua respecto al peso total de la muestra	Actuación a realizar
< 0,5	Aceptación del material
$0,5 \leq A \leq 1,5$	Realización del ensayo de resistencia a la acción del sulfato magnésico
> 1,5	No aceptación del material

Tabla 50 Prescripciones a cumplir en relación con el porcentaje en absorción de agua

También se harán resistencia a la acción del sulfato magnésico. Para todo tipo de líneas y condiciones de explotación ferroviaria, el porcentaje de pérdida de peso respecto al inicial, tras diez ciclos de inmersión y secado, será ≤ 4%.

5.2.3. PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS GENERALES PARA OBRAS DE CARRETERAS PUENTES (PG-3).

5.2.3.1. SUELO SELECCIONADO

Se considerarán como suelos seleccionados aquellos materiales que cumplen las siguientes condiciones:

- Contenido en materia orgánica inferior al cero con dos por ciento (MO < 0,2%).
- Contenido en sales solubles en agua, incluido el yeso, inferior al cero con dos por ciento (SS < 0,2%).
- Tamaño máximo no superior a cien milímetros (Dmax ≤100 mm).
- Cernido por el tamiz 0,40 UNE menor o igual que el quince por ciento (# 0,40 ≤ 15 %) que en caso contrario cumpla todas y cada una de las condiciones siguientes:
- Cernido por el tamiz 2 UNE, menor del ochenta por ciento (# 2 < 80%).
- Cernido por el tamiz 0,40 UNE, menor del setenta y cinco por ciento (# 0,40 < 75%). O Cernido por el tamiz 0,080 UNE inferior al veinticinco por ciento (# 0,080 < 25%).
- Límite líquido menor de treinta (LL < 30).
- Índice de plasticidad menor de diez (IP < 10).

5.2.3.2. ZAHORRAS

Se define como zahorra el material granular, de granulometría continua, formado básicamente por partículas no trituradas. Se denomina zahorra artificial al constituido por partículas total o parcialmente trituradas, en la proporción mínima que se especifique en cada caso.

Los materiales para la zahorra artificial procederán de la trituración, total o parcial, de piedra de cantera o de grava natural.

Los materiales para las capas de zahorra no serán susceptibles de ningún tipo de meteorización o de alteración física o química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en el lugar de empleo. Tampoco podrán dar origen, con el agua, a disoluciones, o contaminar el suelo o corrientes de agua.

El contenido ponderal de compuestos de azufre totales (expresados en SO_3), será inferior al cinco por mil (0,5%) donde los materiales estén en contacto con capas tratadas con cemento, e inferior al uno por ciento (1%) en los demás casos.

Los materiales estarán exentos de terrones de arcilla, marga, materia orgánica, o cualquier otra que pueda afectar a la durabilidad de la capa. En el caso de las zahorras artificiales el coeficiente de limpieza deberá ser inferior a dos (2).

El equivalente de arena, del material de la zahorra artificial deberá cumplir lo indicado en la tabla adjunta. De no cumplirse esta condición, su valor de azul de metileno deberá ser inferior a diez (10), y simultáneamente, el equivalente de arena no deberá ser inferior en más de cinco unidades a los valores indicados en dicha tabla.

T00 a T1	T2 a T4 arcenes de T00 a T2	Arcenes de T3 y T4
EA > 40	EA > 35	EA > 30

El material será "no plástico" para las zahorras artificiales, en cualquier caso.

El coeficiente de Los Ángeles de los áridos para la zahorra artificial no deberá ser superior a los valores indicados en la tabla siguiente:

CATEGORÍA TRAFICO PESADO	
T00 a T2	T3, T4 y arcenes
30	35

5.2.3.3. MATERIAL FILTRANTE/DRENANTE

Los materiales filtrantes por emplear serán áridos naturales o procedentes de machaqueo y trituración de cantera o grava natural, escorias o materiales locales exentos de arcilla, marga u otros materiales extraños.

- Su composición granulométrica cumplirá las prescripciones siguientes:
  - El tamaño máximo no será en ningún caso, superior a setenta y seis milímetros (76 mm), cedazo 80 UNE y el cernido ponderal acumulado por el tamiz 0,80 UNE no rebasará el cinco por ciento (5%).
- El material será no plástico.
- El equivalente de arena será superior a 30.
- El coeficiente de desgaste de los materiales de origen pétreo, medido por el ensayo de Los Ángeles, será menor a 40.

5.2.4. INSTRUCCIÓN DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL (EHE-08).

ÁRIDOS

Las características de los áridos deberán alcanzar la adecuada resistencia y durabilidad del hormigón que con ellos se fabrica, así como cualquier otra exigencia que se requieran a éste en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del proyecto.

Como áridos para la fabricación de hormigones pueden emplearse áridos gruesos (gravas) y áridos finos (arenas), según UNE-EN 12620, rodados o procedentes de rocas machacadas, así como escorias siderúrgicas enfriadas por aire según UNE-EN 12620 y, en general, cualquier otro tipo de árido cuya evidencia de buen comportamiento haya sido sancionado por la práctica y se justifique debidamente.

Los áridos deberán cumplir las siguientes limitaciones:

- Cernido por el tamiz 0,063 UNE, menor del uno coma cinco por ciento (# 0,063 < 1,5 %) para áridos gruesos y menor del seis por ciento (# 0,063 < 6 %) para finos.
- Índice de lajas < 35.
- Equivalente en arena (SE_4) < 75.
- Friabilidad de la arena (FA) ≤ 40
- Resistencia al desgaste de la grava ≤ 40 (ensayo de Los Ángeles).
- Para la fabricación de hormigón en masa o armado, de resistencia característica especificada no superior a 30/N/mm2, podrán utilizarse áridos gruesos con una resistencia a la fragmentación entre 40-50 en el ensayo de Los Ángeles (UNE-EN 1097-2) si existe experiencia previa en su empleo y hay estudios experimentales específicos que valen su utilización sin perjuicio de las prestaciones del hormigón.
- Absorción de agua ≤ 5.
- Contenido en ión cloruro soluble ≤ 0,05%.
- Contenido en sulfatos solubles en ácido (SO_3) ≤ 0,8%.
- Compuestos totales de azufre ≤ 1.

5.2.5. CUADROS RESUMEN

Sobre la base de la normativa se han elaborado una serie de cuadros, que se muestran a continuación:

SUELOS	GRANULOMETRÍA	LÍMITES ATTERBERG		M.O.	% SO3	ASIENTO DE COLAPSO	SALES SOLUBLES MENOS YESOS	CBR	HINCH EN EDOMETRO
	TAMICES UNE % QUE PASA	L.L.	I.P.	(%)		(NLT-254)			
Materiales para rellenos localizados y trasdós de muros PGP 2011	El cernido por el tamiz 0,080 UNE será inferior al 40% en la fracción de material inferior a 60mm. En caso de posible saturación será inferior a 15%. Tamaño máximo inferior a 10cm Tamaño máximo inferior a 2/3 el espesor de la tongada	LL < 40		MO < 1%	<2.5%	<1%	<1%	>5	<2%
Capa de forma PGP 2011	-Carecerán de elementos de tamaño superior a diez centímetros -Su cernido por el tamiz 2mm será inferior al 65% Su cernido por el tamiz 0,080 UNE será menor del cinco por ciento (5%) en peso. En caso de que LL<30 y IP <10, el material sea o plástico el contenido puede llegar hasta el 15%. En el caso de utilizar material procedente de machaqueo de rocas, su coeficiente de Desgaste de Los Ángeles no será superior a treinta (30). El ensayo Micro Deval húmedo deberá dar menor o igual de 25.			MO < 0.2%	-	-	>1.75 gr/cm3	>10	<0.2%

Tabla 51 Cuadro resumen para rellenos y capa de forma

ÁRIDOS	GRANULOMETRÍA	PLAST.	SULF.	DESGASTE LOS ÁNGELES	MICRO DEVAL.	Permeabilidad.	ÍNDICE DE LAJAS	TERRONES ARCILLOSOS	EQUIV. ARENA	MAT. ORG.	C.B.R.	CARAS DE FRACTURA **(% de dos o más caras de fractura UNE 5 mm)**
Subbalasto PGP 2011	3 a 9 % pasa #0,080 UNE	N.P.	-	< 28	<22	<10-6m/sg	-	0	> 45	<0.2	≥ 20	
Material Filtrante Art. 421 PG-3	5 % pasa #0,080 UNE	N.P.		< 40					> 30			
Suelo seleccionado Art. 330.3.3.1 PG-3	Dmax ≤100 mm #0,40≤15%, si no cumple, entonces: #2<80%, #0,40<75% y #0,080<25%.	< 10	< 0,2							< 0.2		
Zahorra artificial Art 501 PG3	3 a 9 % pasa #0,080 UNE	N.P.	-	< 30	-	-	< 35	0	> 35	0	-	> 75%

Tabla 52 Cuadro resumen materiales para plataformas y caminos

MATERIALES PARA HORMIGONES (EHE Art. 28)															
ÁRIDOS	CONDICIONES FISICOQUÍMICAS								CONDICIONES FISICOMECÁNICAS				PÉRDIDA EN PESO	GRANULOM. Y COEF. DE FORMA
	Terrones de arcilla % UNE 7133:58	Partículas blandas % UNE 7134:58	Retenido # 0,063 UNE y que flota en un líquido de densidad 2 % UNE 7244:71	Compuestos de azufre referidos al árido seco % UNE 1744-1:98	Sulfatos solubles en ácidos y referidos al árido seco % UNE 1744-1:98	Cloruros referidos al árido seco % UNE 1744-1:98	Sulfuros oxidables %	Mat. Orgá. %	Equivalente de arena	Friabilidad de la arena UNE 1097-1:97	Desgaste de los Ángeles UNE 1097-2:98	Absorción de agua % UNE 83133:90 83134:90	Con Sulfato Magnésico % UNE 1367-2:98	Máx. % pasa # 0,063 mm
ARIDO FINO	< 1,00	-	< 0,50	< 1,0	< 0,80	< 0,05 Hormigón armado o en masa < 0,03 Hormigón. Pretensad.	0	0	75 ó 80 según la agresividad del ambiente	< 40	-	< 5%	< 15	6% según el tipo 10% de árido 15% y clase de exposición de la obra
ARIDO GRUESO	< 0,25	< 0,50	< 1,00	< 1,0	< 0,80	< 0,05 Hormigón armado o en masa < 0,03 Hormigón Pretensad.	0	0	-	-	< 40	< 5%	< 18	1% según el tipo 2% de árido.

Tabla 53 Condiciones exigibles a los materiales para la constitución de hormigones

5.1. BALANCE DE TIERRAS

A continuación se incluye el resumen de balance de materiales para cada una de las zonas en las que se prevén actuaciones, y para cada alternativa de las analizadas realizado en el anejo 7. Movimiento de tierras.

	Apeadero de Campo de las Naciones		Apeadero de Rejas		Salto de Carnero de San Fernando de Henares	
	CN 1	CN 2	Rejas 1	Rejas 2	SF 1 (PI)	SF 2 (PS)
Desmonte (s/coef.)	30.503,30	46.986,00	18.873,90	39.175,30	165.836,50	34.497,60
Desmonte Aprovechable (s/coef).Para terraplén	3.986,10	0,00	0,00	0,00	36.741,10	0,00
Tierra vegetal	0,00	0,00	1.602,80	707,30	12.890,80	14.289,00
Saneo (s/coef.)	20.591,90	7.472,30	0,00	0,00	2.887,70	11.305,00
Excavación Perfil (s/coef.)NO APROVECHABLE	26.517,20	46.986,00	18.873,90	39.175,30	129.095,40	34.497,60
Excavación NO Aprovechable (c/coef.)	27.843,06	56.383,20	22.648,68	47.010,36	154.914,48	41.397,12
Total a Vertedero (Desmonte n.a. + Saneo, c/coef.)	**56.530,92**	**65.349,96**	**22.648,68**	**47.010,36**	**158.379,72**	**54.963,12**
Terraplén + Relleno Saneo (s/coef.)	42.790,90	9.709,20	4.870,90	696,30	48.289,40	118.982,40
Desmonte reutilizable en Terraplén	4.185,41	0,00	0,00	0,00	32.332,17	0,00
Proc. Préstamos (c/coef.)	**38.605,50**	**9.709,20**	**4.870,90**	**696,30**	**15.957,23**	**118.982,40**

A continuación se recogen las tablas resumen de necesidades totales de préstamos y vertederos.

- **Apeadero de Campo de las Naciones**

	Alternativa 1	Alternativa 2
TOTAL PRESTAMOS (m^3)	**38.605,5**	**9.709,20**
TOTAL VERTEDERO (con coef) (m^3)	**56.530,9**	**65.349,960**

- **Apeadero de Rejas**

	Alternativa 1	Alternativa 2
TOTAL PRESTAMOS (m^3)	**4.870,9**	**696,30**
TOTAL VERTEDERO (con coef) (m^3)	**22.648,7**	**47.010,36**

- **Salto de Carnero de San Fernando de Henares**

	Alternativa 1	Alternativa 2
TOTAL PRESTAMOS (m^3)	**15.957,2**	**118.982,4**
TOTAL VERTEDERO (con coef) (m^3)	**158.379,7**	**54.963,1**

5.2. MATERIALES PROCEDENTES DEL TRAZADO

5.2.1. RELLENOS ANTROPICOS (R)

Esta unidad está constituida, principalmente, por materiales de aportación artificial, como consecuencia de actividades constructivas (vertederos de tierras y escombros, terraplenes controlados, etc.) y, en mucho menor manera, como resultado de la actividad industrial (vertederos de residuos sólidos industriales y escorias) y biológica-urbana (vertederos de residuos sólidos urbanos).

Dada las características de esta unidad se desaconseja su reutilización y se recomienda su retirada a vertedero.

5.2.2. CUATERNARIO (QT)

Los materiales cuaternarios aparecen representados en el entorno de las actuaciones del salto de carnero en San Fernando de Henares.

Se definen como las terrazas del río Jarama. Estas terrazas están formadas por barras y canales rellenos de gravas, cantos y algún bloque, además de fracción arenosa, limos y arcillas.

A continuación se incluye un cuadro resumen en el que se incluyen los ensayos de laboratorio disponibles para clasificar esta unidad desde el punto de vista de su posible reutilización:

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA			GRANULOMETRÍA (mm)					LÍMITES DE ATTERBERG			ÍNDICE COLAPSO (%)	PROCTOR			C.B.R.			PARÁMETROS QUÍMICOS		CLASIFICACIÓN	
Sondeo / Calicata	Cotas	Unidad geotécnica / Litología	20	5	2	0,4	0,08	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de plasticidad		Tipo	H. Óptima (%)	D. Máx (g/cm³)	CBR al 95%	CBR al 100%	% Hinch.	M.O. (%)	Sales solubles (%)	U.S.C.S.	AASHTO
C-5	2,5	Arena con grava, carbonatos	100	93	85	56	31	NP			0,05	M	16,4	1,8	32	43	0,08	0,14	0,48	adecuado	apto núcleo, cimiento y coronación
C-8	2,2	Arena fina calc.	100	96	80	40	17,7	NP			0,05	M	11,7	1,94	40	73	0	0,25	0,76	adecuado	apto núcleo, cimiento y coronación
Nº ensayos			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Máximo			100	96	85	56	31	-	-	-	0,05	-	16,4	1,94	40	73	0,08	0,25	0,76	-	-
Mínimo			100	93	80	40	17,7	-	-	-	0,05	-	11,7	1,8	32	43	0	0,14	0,48	-	-
Promedio			100	94,5	82,5	48	24,35	-	-	-	0,05	-	14,05	1,87	36	58	0,04	0,20	0,62	-	-

Tabla 54 Ensayos de laboratorio realizados en la unidad QT

Este material se ha caracterizado en el entorno de los trabajos del salto de carnero de San Fernando de Henares, hacia el este de la zona de actuación, más próxima al cauce del río Jarama.

Se dispone de 2 muestras en esta unidad. Estas muestras se han clasificado como adecuadas según el pliego de prescripciones PG-3. Resulta, por lo tanto, reutilizable como núcleo, cimientos y coronación de terraplén. Por otra parte, según el pliego de prescripciones PGP 2011 V2 este material se ha clasificado como apto para su uso en núcleo, cimiento y coronación de relleno.

5.2.3. TERCIARIO

5.2.3.1. ARENAS DE MIGA (AM)

Esta unidad constituye un conjunto en el que se incluyen las arcosas superiores del Aragoniense superior. Por tanto, suponen la representación de la facies Madrid en la Unidad Tectosedimentaria Superior, junto a las arenas cuarzofeldespáticas asociadas a las superficies de arrasamiento pertenecientes al Plio-Cuaternario

Se ha localizado la arena de miga en el entorno que comprende la actuación del apeadero de Campo de las Naciones, se encuentra bajo los rellenos vertidos próximos a la vía.

A continuación se incluye un cuadro resumen en el que se incluyen los ensayos de laboratorio disponibles para clasificar esta unidad desde el punto de vista de su posible reutilización:

Información general de las muestras			GRANULOMETRÍA (mm)						LÍMITES DE ATTERBERG			Parámetros químicos		CLASIFICACIÓN	
Sondeo	Inicio	Fin	# 20 mm	# 5 mm	# 2 mm	# 0,4 mm	# 0,08 mm	No plástico	L.L.	L.P.	I.P.	m.o. (%)	Ión sulfato (mg/kg)	PG-3	PGP 2011V2
SR-1	3,1	3,7	100	99	64,6	35,7	26,7		31,8	19,6	12,2	0,131	233	adecuado	
SR-1	4,7	5,3	100	97,3	78,1	28,5	12,3	X				0,103	110	seleccionado	
SR-1	6,5	7,1	100	97,9	84,4	28	10	X				0,133	182	seleccionado	
SR-1	10	10,4	100	95,2	76,1	26,5	11,3	X						seleccionado	
SR-2	2,8	3,4	100	98,7	93,3	67,1	43,6		32,3	20,7	11,6			Tolerable	Núcleo y cimiento
SR-2b	3,1	3,7	100	100	93,7	52,3	29,8		31,8	19,5	12,3	0,288	220	adecuado	
SR-2b	5	5,5	100	99,6	89,9	67,6	57,1		40,4	25,9	14,5	0,258	114	Tolerable	Núcleo y cimiento
SR-2b	7,3	7,9	100	99,9	91,9	54,9	34,2	X				0,298	73	adecuado	
SR-2b	9,5	9,7	100	98	83,2	35,1	9,5	X						adecuado	
N.º ensayos			9	9	9	9	9	5	4	4	4	6	6	-	-
Máximo			100	100	93,7	67,6	57,1	-	40,4	25,9	14,5	0,3	233	-	-
Mínimo			100	95,2	64,6	26,5	9,5	-	31,8	19,5	11,6	0,1	73	-	-
Promedio			100	98,4	83,9	44	26,1	-	34,08	21,43	12,65	0,2	155,33	-	-

Tabla 55 Ensayos de laboratorio realizados en la unidad AM

Se ha considerado conveniente realizar el agrupamiento dentro de un único nivel, que incluye dos litologías, que presentan entre un 10 y un 40% de finos. No obstante, puede aparecer alguna intercalación minoritaria de materiales de tipo tosco arenoso excediendo los límites granulométricos indicados anteriormente.

En base a las muestras disponibles el material perteneciente a esta unidad no se puede clasificar en su totalidad conforme a la norma PG-3 ni PGP 2011 V2, de manera preliminar se ha clasificado esta unidad en los siguientes términos.

La arena de miga se clasifica como un 44,4% adecuado, un 33,3% seleccionado y un 22,2% tolerable, conforme al pliego de prescripciones PG-3. No obstante, debido a la dificultad para separar las diversas composiciones que presenta esta unidad se ha considerado como tolerable en su conjunto según PG-3 y apta para su uso en núcleo y cimiento de terraplén conforme al pliego PGP 2011 V2.

5.2.3.2. ARCILLAS VERDOSAS GREDAS (G)

Esta unidad está compuesta por arcillas verdosas algo abigarradas en tonos pardos y granates. Presentan carbonatos e indicios de grava y arena.

Con muestras recogidas en este nivel, procedentes de la investigación realizada para el presente estudio, se han obtenido los siguientes resultados en los ensayos de laboratorio efectuados:

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA			GRANULOMETRÍA (mm)					LÍMITES DE ATTERBERG			PROCTOR			C.B.R.			PARÁMETROS QUÍMICOS				CLASIFICACIÓN	
Sondeo / cata	Cotas	Litología	20	5	2	0,4	0,08	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de plasticidad	Tipo	H. Óptima (%)	D. Máx (g/cm^3)	CBR al 95%	CBR al 100%	% Hinch.	M.O. (%)	Ión sulfato (mg/kg)	Sales solubles (%)	Contenido en yesos (%)	PG-3	PGP 2011V2
C-1	1,2	Arc.marg.	100	99	98	96	93,9	46,6	24,7	21,8	M	27,1	1,47	5	6	5,57	0,34		0,94		marginal	no apto
C-2	1,7	Arc. Cementada	100	99	93	62	47,3	47,8	27,9	19,8											marginal	no apto
C-2	2,7	Arc.marg.	100	96	89	54	42	74,4	40,4	34								161			marginal	no apto
C-3	1,7	Arc.marg.	100	100	99	96	91,7	70,8	28,9	41,9											marginal	no apto
C-4	2,4	Limos con carbonatos	100	99	96	78	54,2	79,6	31,5	48,1											marginal	no apto
C-7	2,5	Arc. Con arena	100	100	100	96	75	38,7	16,5	22,2										0	marginal	no apto
S-1	7,20-7,80	Arcillas verdes	100	100	100	99	97	64,7	28,2	36,5											marginal	no apto
S-1	11,00-11,42	Arcillas negras	100	97	92	84	80,3	55,5	30,5	25										37,98	marginal	no apto
Nº ensayos			6	6	6	6	6	6	6	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Máximo			100	100	100	99	97	74,4	40,4	41,9	-	27,1	1,47	5	6	5,57	0,34	161	0,94	37,98	-	-
Mínimo			100	96	89	54	42	46,6	24,7	19,8	-	27,1	1,47	5	6	5,57	0,34	161	0,94	37,98	-	-
Promedio			100	98,5	95,2	81,8	75,4	59,9	30,1	29,8	-	27,1	1,47	5	6	5,57	0,34	161	0,94	37,98	-	-

Tabla 56 Ensayos de laboratorio realizados en la unidad G

Esta unidad se compone de un conjunto de arcillas litificadas por sobreconsolidación o cementaciones carbonatadas, de colores fundamentalmente gris verdosos, marronáceas en superficie debido a procesos de alteración.

Se considera que aportará materiales clasificados fundamentalmente como tolerables y marginales en este último caso por su alta plasticidad no aptas para su uso en rellenos tipo terraplén. Dada su alta plasticidad y su elevado contenido en finos estas litologías no son aptas para estabilizar con cemento. Debido a estas condiciones se recomienda la retirada a vertedero de esta unidad.

5.2.3.3. ARCILLAS CON YESOS TABLEADOS Y NODULARES (Y)

Esta unidad se caracteriza por una alternancia entre arcillas de tonos pardo-grises, en ocasiones laminadas, y bancos de yesos con espesores que varían de centimétricas a métricas.

La génesis de esta unidad corresponde con un lago salino, siendo la variación en el espesor de los yesos oscilaciones en la lámina de agua.

Con muestras recogidas en este nivel, procedentes de la investigación realizada para el presente estudio, se han obtenido los siguientes resultados en los ensayos de laboratorio efectuados:

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA			GRANULOMETRÍA (mm)					LÍMITES DE ATTERBERG			PARÁMETROS QUÍMICOS		CLASIFICACIÓN	
Sondeo	Cotas	Litología	20	5	2	0,4	0,08	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de plasticidad	Ión sulfato (mg/kg)	Contenido en yesos (%)	PG-3	PGP 2011 V2
S-1	11,00-11,42	Arcillas negras	100	97	92	84	80,3	55,5	30,5	25		37,98	Inadecuado	no apto
S-1	11,42-11,68	Arcillas yesíferas	100	97	91	77	71	57,7	29,9	27,8	4286		Inadecuado	no apto
S-1	13,20-13,40	Arcillas yesíferas	100	93	79	62	55	48	26,7	21,3			Inadecuado	no apto
S-1	19,80-20,20	Arcillas yesíferas									7815		Inadecuado	no apto
S-1	24,65-24,85	Arcillas yesíferas	100	81	61	42	34,7	44,3	31,2	13,1			Inadecuado	no apto
N.º ensayos			4	4	4	4	4	4	4	4	2	1	4	4
Máximo			100	97	92	84	80,3	57,7	31,2	27,8	7815	37,98	-	-
Mínimo			100	81	61	42	34,7	44,3	26,7	13,1	4286	37,98	-	-
Promedio			100	92	80,75	66,25	60,3	51,4	29,6	21,8	6051	37,98	-	-

Tabla 57 Ensayos de laboratorio realizados en la unidad Y

Se dispone de 5 (cinco) muestras ensayadas dentro de esta unidad. Ésta se ha localizado en el entorno del Salto de Carnero en San Fernando en el registro extraído del sondeo S-1. Se localiza en cambio lateral y vertical con las arcillas gredas (G).

En base a los ensayos realizados se ha clasificado esta unidad como inadecuada debido a la alta concentración de yesos, así como del ion sulfato en las muestras según el pliego de prescripciones PG-3 y no aptas según el PGP 2011 V2.

Por lo tanto, el material perteneciente a esta unidad no puede ser reutilizado en la construcción de rellenos y se recomienda su retirada a vertedero.

5.3. COEFICIENTE DE PASO (RELLENO Y RESTAURACIÓN DE CANTERAS O EXPLOTACIONES EXTRACTIVAS)

Se denomina coeficiente de paso de cada una de las distintas unidades al número que expresa la relación entre la densidad seca del suelo en estado natural y el mismo concepto cuando el material se encuentra con un cierto grado de compactación, según la expresión siguiente:

$$Cp = \frac{\gamma_{dn} / \gamma_{max}}{Gc}$$

donde:

Cp es el coeficiente de paso

γ_{dn} es la densidad seca natural del material

γ_{max} es la densidad seca máxima que puede obtenerse de ese suelo en el ensayo de compactación empleado. En este caso es el ensayo Próctor Modificado.

Gc es el grado de compactación

La diferencia entre el coeficiente de paso para la formación de rellenos del coeficiente de paso a gestor autorizado, se basa en el grado de compactación final, adoptándose de forma general un grado de compactación de entre el 95 y el 100% para formar parte de rellenos y entre el 75-80 % para el material acumulado en la restauración de canteras o explotaciones extractivas que cuentan con Planes de Restauración del Espacio Afectado (PREN) y que están autorizadas para la utilización de tierras excedentes de excavación.

Así, ambos coeficientes se pueden calcular a partir de las densidades obtenidas en laboratorio o bien estimadas en función de datos existentes, pudiendo considerarse un grado de compactación mínimo del 95% para conformar rellenos y del orden del 75-80 % para el acúmulo del material en la restauración de canteras o explotaciones extractivas mencionadas anteriormente.

Para el resto de los materiales, se hace uso de los datos reflejados en la tabla incluida en la figura 10, en el apartado de 4.1. Metodología.

Por lo tanto, tomando los parámetros correspondientes a arena con finos, de la tabla (estos datos coinciden con los que se recogen en la tabla de parámetros geotécnicos) según lo expuesto, de los materiales que se prevé excavar se establecen los coeficientes de paso y de esponjamiento siguientes:

	Coeficiente de esponjamiento (grado de compactación 75%)	Coeficiente de paso (grado de compactación 95%)
Gredas (G)	1,12	0,88
Arena de miga (Am)	1,30	1,05
Cuaternario aluvial (Qt)	1,25	0,88
Rellenos antrópicos R	1,20	1,00

Tabla 58 Coeficientes de paso

5.4. MATERIALES EXTERNOS AL TRAZADO

Se ha recopilado la información referente a explotaciones de canteras y yacimientos granulares activas en la comunidad de Madrid y cerca del área de nuestro interés. De las plantas de suministro investigadas se podrían obtener materiales para rellenos localizados, capa de forma y subbalasto, suelos de tipo QS3 y seleccionado, zahorras, material filtrante y áridos para hormigón, con el fin de suministrar materiales a la obra.

Las fuentes consultadas han sido el Mapa Geológico a escala 1:50.000, hoja nº 559 (19-22) Madrid, y el Mapa de Rocas Industriales, a escala 1:200.000, hoja nº 45 Madrid; estos se encuentran incluidos en los apéndices correspondientes.

Una vez seleccionados los yacimientos y canteras más importantes, en las proximidades de la zona de estudio, se realiza una ficha de los seleccionados, donde figurará además de la situación y características de explotación, las características geológicas y el resumen de los ensayos de los materiales.

En los alrededores de Madrid, las canteras, explotan materiales de naturaleza granítica, calizas y dolomías, y en menor medida pórfidos, corneanas y milonitas.

Las canteras localizadas al norte de la Comunidad de Madrid y en el entorno de Ávila, explotan granitos hercínicos de diferente procedencia y composición, así como los materiales resultantes de la aureola de metamorfismo de contacto. El material procedente de la zona de explotación de las canteras es procesado mediante machaqueo, cribado y selección, hasta obtener el producto comercial deseado (zahorra artificial, grava, arena etc.) obtenido de las canteras.

Las dos canteras localizadas en el entorno de Almoracid de Toledo, explotan milonitas. Se trata de una roca en tonos gris oscuro con textura porfídica, producto de un

metamorfismo dinamotérmico de las rocas que se encuentran a ambos lados de la zona de fractura, en este caso son granitos migmatiticos y pizarras del Cámbrico que presentan un suelo residual (eluvial) de uno 0.5 m. de espesor, por debajo del cual se ha documentado una zona alterada a gravas, cantos y bloques con matriz limoarenosa de un espesor variable del orden de unos 5 a 10 m. (grado de alteración IV-V). A continuación, y hasta llegar a la milonita sana, ésta se encuentra muy fracturada en sus primeros metros.

En relación a los yacimientos granulares se pueden distinguir de dos tipos:

- Los que explotan los depósitos aluviales de los ríos Tajo, Alberche, Guadarrama, Henares y Manzanares.
- Explotaciones dedicadas a la extracción de materiales miocenos de las facies de borde (arenas de miga y tosquizas).

Destacan por su número los yacimientos granulares cuaternarios distribuidos en varias zonas en los alrededores de Madrid.

A continuación, se describen las características principales de dichas canteras y yacimientos granulares.

En el apéndice 2 y 3, se recogen los planos con la situación de las instalaciones y el de las canteras homologadas por ADIF, respectivamente. En los apéndices 4 y 5, se incluyen las fichas de canteras y, yacimientos granulares; en ellas se adjuntan fotografías de las instalaciones, un croquis de situación y acceso, Marcados CE y copias de los resultados de los ensayos de laboratorio disponibles.

5.4.1. CANTERAS

5.4.1.1. CANTERA LA CURVA (C-1)

Denominada cantera La Curva. Se encuentra situada en el término de Navalagamella, y explota materiales graníticos. Su distancia al trazado se sitúa en torno a 60.9 km.

El yacimiento se sitúa en las primeras estribaciones del macizo granítico del sistema Central, al sur de la localidad de Navalagamella en el paraje “El Horcajo”. Se accede por la carretera que une esta localidad con Quijorna en el margen izquierdo a la altura del P.K. 13+000.

Produce árido artificial de machaqueo (zahorra artificial, arenas y gravas) para obra civil y edificación.

El material obtenido, mediante su proceso (cribado etc.), se podría emplear para rellenos tipo terraplén, todo-uno y pedraplén, capa de forma y subbalasto.

Posee a pie de explotación una planta de machaqueo con dos machacadoras primarias y un molino secundario y otra de clasificación. Tiene una producción media de unas 300.000 Tn/año. Basada su producción en la obtención de balasto para obras ferroviarias.

Se ha comprobado en el mapa de situación de canteras homologadas por ADIF, cuya consulta puede realizarse en el apartado *5.4.3.2. Canteras de balasto*, que el balasto está Certificado como BALASTO TIPO 1 - Alta Velocidad. Los áridos producidos tienen el Marcado CE y el proceso de producción dispone de la certificación ISO 9001.

Los valores obtenidos en los ensayos recopilados de mayor actualidad se adjuntan en la siguiente tabla.

TIPO DE MATERIAL	GRANULOMETRÍA %QUE PASA				W NATURAL (%)	ÍNDICE DE LAJAS	DESGASTE LOS ÁNGELES	ABSORCIÓN ÁRIDO GRUESO	SO_4^2 (mg/kg)	COMP. TOT. AZUFRE (%)	CONTENIDO EN CLORUROS
	TAMIZ #Nº31.5	TAMIZ #Nº14	TAMIZ #Nº2	TAMIZ #Nº0.063							
Árido 8/20-T	100	54	0	0.2		8	22 (≤25)		0.01	0.18	0.001
Árido 31.5/63	21			0.2		3		0.5			
Zahorra artificial				4.3	2.82	10					

Tabla 59 resultados ensayos C-1 la Curva

Adicionalmente, se han recopilado los resultados de ensayos de laboratorio de proyectos anteriores incluidos a continuación.

TIPO DE MATERIAL	PLASTICIDAD			ÍNDICE DE LAJAS	DESGASTE LOS ÁNGELES	AGRESIVIDAD	COEF. FORMA	PROCTOR MOD.		CBR			PESO ESPECÍFICO	MO (%)	SO_4^2 (mg/kg)
	LL	LP	IP					Den. (g/cm3)	Hum.Opt (%)	95%	100%	% Hinch.			
ZAHORRA	No	No	NP		25.90	>95	0.19	2.03	8.94		73.6		2.61	0.04	0.00
ACOPIO				<6	13.5-14.1										

Tabla 60 Resultados ensayos C-1 la curva recopilados de proyectos previos enumerados en el anejo 04 de geología del presente proyecto.

5.4.1.2. CANTERA LA POLA (C-2)

Se ubica en el municipio de Colmenar Viejo (Madrid), en el paraje denominado "El Moralejo" accediéndose a ella desde la carretera de Colmenar Viejo a San Agustín de Guadalix, a la altura del punto kilométrico 2,500. Se encuentra situada a unos 33.7 km del inicio del trazado.

Los materiales explotados son granitos hercínicos, que suelen mezclarse con otro tipo de material de naturaleza porfídica proveniente de la cantera Los Remedios, perteneciente a la misma Propiedad. De acuerdo con la información recibida, mediante esta mezcla es posible obtener un producto de mejores características mecánicas. Produce zahorra artificial, diferentes tamaños de grava y arena utilizándose generalmente para mejora de explanada, relleno en terraplenes. El material obtenido, mediante su proceso (cribado etc.), se podría emplear para rellenos tipo terraplén, todo-uno y pedraplén, capa de forma y subbalasto. Han aportado material a numerosas obras de RENFE.

Se ha solicitado a la empresa explotadora documentación actual acreditativa de los productos que comercializan como ensayos de laboratorio, Marcados de Conformidad Europea, así como datos estimados de reservas y producción; no obstante, no se ha recibido ninguna de las acreditaciones mencionadas.

Adicionalmente, se han recopilado los resultados de ensayos de laboratorio de proyectos anteriores. Se han incluido a continuación.

TIPO DE MATERIAL	GRANULOMETRÍA			PLASTICIDAD			ÍNDICE DE LAJAS	DESGASTE LOS ÁNGELES	MICRO DEVAL
	% Pasa Tamiz			LL	LP	IP			
	20	0.4	0.08						
ZAHORRA	100.0	29.5	13.9	No	No	NP	41.500	27.00	16.300

Tabla 61 Resultados ensayos C-2 la pola recopilados de proyectos previos enumerados en el anejo 04 de geología del presente proyecto.

5.4.1.3. CANTERA ALDEAVIEJA (C-3)

Se sitúa hacia el sur, en el término municipal de Aldeavieja a unos 98.1 km de la zona de estudio. Explota cuarcitas con metaconglomerados y filitas o pizarras, variando el espesor de los tramos alternantes tanto areniscosos como pizarrosos de unos pocos decímetros a varios metros. Las cuarcitas y microconglomerados cuarciticos están constituidos fundamentalmente por cuarzo, y en menor proporción clorita y moscovita.

En cuanto a las filitas y pizarras, están constituidas principalmente por sericita o moscovita, cuarzo, clorita y en ocasiones biotita (según el grado metamórfico alcanzado). El material obtenido, mediante su proceso (cribado etc.), se podría emplear para rellenos tipo terraplén, todo-uno y pedraplén, capa de forma y subbalasto. Se ha comprobado en el mapa de situación de canteras homologadas por ADIF, cuya consulta puede realizarse en el apartado *5.4.3.2. Canteras de balasto*, que el balasto está Certificado como BALASTO TIPO 1 - Alta Velocidad. Los áridos producidos tienen el Marcado CE y el proceso de producción dispone de la certificación ISO 9001.

Los valores obtenidos en los ensayos recopilados de mayor actualidad, se adjuntan en la siguiente tabla.

TIPO DE MATERIAL	GRANULOMETRÍA %QUE PASA					
	TAMIZ #Nº45.0	TAMIZ #Nº20.0	TAMIZ #Nº12.5	TAMIZ #Nº6.3	TAMIZ #Nº2	TAMIZ #Nº0.063
AG-0/6-T-V			100	100	59	8.0
AG-4/12-T-V			100	22	1	1.1
AG-12/20-T-V		98	18	1		0.8
AG-16/32-T-V	100	31	2			1.5
ZAHORRA 0/20	100	96	76		32	7.2

Tabla 62 Resultados ensayos C-3 Aldeavieja.

5.4.1.4. CANTERA HOYA DE LOS TORILES (C-4)

Se trata de una explotación a cielo abierto, con bancos de 12 m de altura media. Los elementos principales de la planta son una gran machacadora de mandíbulas, cuatro molinos de cono, cuatro cribas y 22 cintas transportadoras.

La empresa se encuentra en el cruce de carreteras entre la N-110, la AP6 y la N-VI, a unos 97.5 km de la zona de estudio.

Las aplicaciones principales del árido producido son balasto tanto para Vía Convencional como para Alta Velocidad, así como subbalasto, bases y subbases de infraestructuras ferroviarias, áridos para aglomerado asfáltico, áridos para hormigón y prefabricados de hormigón; se producen también zahorras, escollera, materiales para capa de forma y suelo seleccionado, etc.

En este momento, dispone de acopios para todas las aplicaciones descritas y presenta reservas estimadas valoradas en 12.000.000 m^3.

Las granulometrías del árido producido por ARVISA son: 0/4 mm, 0/6 mm, 4/6 mm, 6/12 mm, 12/20 mm, 16/32 mm, zahorra 0/20 y 0/40, y balasto.

Se ha comprobado en el mapa de situación de canteras homologadas por ADIF, cuya consulta puede realizarse en el apartado *5.4.3.2. Canteras de balasto*, que el balasto está Certificado como BALASTO TIPO 1 - Alta Velocidad. Todos los áridos producidos tienen el Marcado CE y Declaración de prestaciones; además, el proceso de producción dispone de la certificación ISO 9001.

La explotación dispone de laboratorio propio.

5.4.1.5. CANTERA DE ÁVILA. (C-5)

Se sitúa en Tornadizos de Ávila. Se explotan tanto granito como esquistos y gneises, cuyo resultado procede de la aureola metamórfica de contacto desarrollada entre el granito y la roca encajante. Se trata de esquistos y paragneises biotíticos de tonos oscuros con frecuentes venas de cuarzo y cuarzo-feldespáticas, con numerosas intercalaciones de metaareniscas y a veces cuarcitas. También se explota Granito adamellítico biotítico de grano medio-grueso, con predominio del grano medio. Estos materiales pueden ser aprovechados como suelo seleccionado para mejora de explanada, material para relleno tipo terraplén y pedraplén, capa de forma, subbalasto y áridos para hormigones.

La empresa se encuentra en el Km 4 de la Carretera Cebreros, Tornadizos de Ávila, Ávila, a 125 km de la zona de estudio.

Se ha comprobado en el mapa de situación de canteras homologadas por ADIF, cuya consulta puede realizarse en el apartado *5.4.3.2. Canteras de balasto*, que el balasto está Certificado como BALASTO TIPO 1 - Alta Velocidad. Los áridos producidos tienen el Marcado CE y el proceso de producción dispone de la certificación ISO 9001.

Los valores obtenidos en los ensayos recopilados de mayor actualidad se adjuntan en la siguiente tabla.

TIPO DE MATERIAL	GRANULOMETRÍA %QUE PASA								ÍNDICE DE LAJAS (fracción gruesa)	COEF. PULIMIENTO ACELERADO	DENSIDAD PARTÍCULAS (mg/m3)	ABSORCIÓN DE AGUA (%)	EQUIVALENTE ARENA (fracción fina)	ENSAYO AZUL METILENO (gazul/100gmuestra)	REACTIVIDAD POTENCIAL árido-sílice	COEF. UNIFORMIDAD	COEF. CURVATURA	MO (%)	CONTENIDO SULFATOS SOLUBLES EN ÁCIDO (%)	COMP. TOT. AZUFRE (%)	CONTENIDO EN CLORUROS
	TAMIZ #Nº31.5	TAMIZ #Nº16.0	TAMIZ #Nº10.0	TAMIZ #Nº8	TAMIZ #Nº6.3	TAMIZ #Nº4	TAMIZ #Nº2	TAMIZ #Nº0.063													
ÁRIDO 0/4					100	96.9	67.7	3.3			2.701	0.54	80	1.05							
ÁRIDO 0/6				100	98.3	74.2	53.6	7.8			2.706	0.53	51	2.15	No reactivo						
ÁRIDO 2/6			100	99.7	96.1	27.8	2.4	0.7	24		2.708	0.72									
ÁRIDO 6/12		100	70.3	33.6	9.39	2.2	2.0	1.3	12	57											
ÁRIDO 12/20	100	41.1	1.2	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	9												
ÁRIDO 16/32	100	15.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.1	10												
ÁRIDO 0-5 (mezcla 5)					98.3	85.7	65.8	8.5					58								
ÁRIDO 0-8 (mezcla 8)			99.6	99.1	97.8	67.4	42.1	6.2					57								
ZAHORRA ART. TM-0217/20			96.1	92.9		66.4	47.6	12.0	22				32						0.05	0.08	
ZAHORRA ART. TM-0218/20	94.5			58.8		44.3	29.9	6.5	28									No contiene	0.07	0.10	
SUBBALASTO TM-0219/20	97.2	85.4		74.5		54.6	35.4	8.3					46			38.6	3.0				
ACOPIO TM-0214/20											2.721	0.96							0.04	0.09	<0.001

Tabla 63 Resultados ensayos C-5 de Ávila.

5.4.1.6. CANTERA EL ALJIBE (C-6)

Propiedad de Benito Arnau e hijos SAU. La cantera se ubica en el municipio de Almonacid de Toledo y se accede desde la salida de Almonacid de Toledo hacia Mora por la C-400, a la altura del P.K. 21+800, por un camino que sale a la izquierda y que llega a la cantera. Explotan milonitas con una producción anual de 500.000 toneladas. Actualmente se encuentra homologada por ADIF para la producción de balasto. Producen gravas de todos los tamaños, arena y zahorra artificial, pudiéndose utilizar como áridos para firme, capa de rodadura y hormigones, y como suelo seleccionado mediante tratamiento.

El material obtenido, mediante su proceso (cribado etc.), se podría emplear para rellenos tipo terraplén, todo-uno y pedraplén, capa de forma y subbalasto.

Se encuentra alejada de la zona de estudio, a unos 106 km. de distancia.

Se ha comprobado en el mapa de situación de canteras homologadas por ADIF, cuya consulta puede realizarse en el apartado *5.4.3.2. Canteras de balasto*, que el balasto está Certificado como BALASTO TIPO 1 - Alta Velocidad. Los áridos producidos tienen el Marcado CE y el proceso de producción dispone de la certificación ISO 9001.

Los valores obtenidos en los ensayos recopilados de mayor actualidad se adjuntan en la siguiente tabla.

TIPO DE MATERIAL	GRANULOMETRÍA %QUE PASA					COEF. LIMPIEZA SUPERFICIAL (%)	ÍNDICE DE LAJAS (fracción gruesa)	DESGASTE LOS ÁNGELES	PROCTOR MOD.		CBR		EQUIVALENTE ARENA (fracción fina)
	TAMIZ #Nº63.0	TAMIZ #Nº50.0	TAMIZ #Nº40.0	TAMIZ #Nº31.5	TAMIZ #Nº22.4				Den. (g/cm3)	Hum.Opt (%)	95%	100%	
BALASTO	100	89.7	35.6	5.3	0.1								
ZAHORRA ARTIFICIAL						2.2	21	16	2.23	6.6	23	90	1.5

Tabla 64 Resultados ensayos C-6 el Aljibe

Adicionalmente, se han recopilado los resultados de ensayos de laboratorio de proyectos anteriores incluidos a continuación:

TIPO DE MATERIAL	ELEMENTOS ACICULARES Y LAJOSOS (%)	ÍNDICE DE LAJAS (%)	DESGASTE LOS ÁNGELES (%)	PARTÍCULAS LONG. >100 (%)	COEF. LIMPIEZA (%)
BALASTO	7.48	3.93	13.47	1.59	0.23

Tabla 65 Resultados ensayos C-6 el Aljibe proyectos previos

5.4.1.7. CANTERA MARINA (C-7)

Propiedad de Áridos Técnicos S.A. Se localiza muy cercana a la cantera el Aljibe, siendo sus características geológicas similares, por tal motivo el material explotado es similar, así como su aprovechamiento.

La empresa dispone de un laboratorio de autocontrol de producción donde se realizan los ensayos de los productos fabricados en los diferentes centros de trabajo.

Se ha comprobado en el mapa de situación de canteras homologadas por ADIF, cuya consulta puede realizarse en el apartado *5.4.3.2. Canteras de balasto*, que el balasto está Certificado como BALASTO TIPO 1 - Alta Velocidad. Los áridos producidos tienen el Marcado CE y el proceso de producción dispone de la certificación ISO 9001.

5.4.1.8. CANTERA TRICALSA (C-8)

Se sitúa en el término municipal de Arganda del Rey, a menos de 37.9 km de la zona de estudio, y se accede desde la carretera Madrid-Valencia, a la altura del P.K. 31+800. Esta propiedad pertenece a Triturados Cálcicos S.A. y explotan calizas terciarias también denominadas en la literatura antigua “calizas del páramo” debido a su resistencia a la erosión. De este material se obtiene diversas granulometrías de árido calizo pudiendo destinarse a conformar las capas granulares del terraplén, así como filler especialmente indicado para hormigones y asfaltos.

Todos los áridos producidos poseen Declaración de prestaciones y Marcado CE.

5.4.1.9. CANTERA MORATA II, FRACCIÓN 2ª (C-9)

La propiedad de Calizas Campo Real S.A., se localiza muy cercana a la cantera “Tricalsa”, en el P.K 4.5 de la carretera que une Arganda del Rey con Valdilecha (M-229). Siendo sus características geológicas análogas, el material explotado es igualmente calizo, así como su aprovechamiento.

Todos los áridos producidos poseen Declaración de prestaciones y Marcado CE.

El proceso de producción dispone de la certificación ISO 9001.

En la siguiente tabla, se muestra un resumen de las canteras inventariadas. En las fichas incluidas en el apéndice correspondiente, se incluyen sus características.

GRAVERA	DENOMINACIÓN	PROPIEDAD	DISTANCIA KM	TÉRMINO MUNICIPAL	MATERIAL OBTENIDO/EMPLEO
C-1	La Curva	Cantera La Curva S.L.	60.9	Navalagamella	Arena, gravas, zahorra artificial. Rellenos tipo terraplén, todo-uno, capa de forma, subbalasto y balasto
C-2	La Pola	Steely Iberia S.AU.	33.7	Colmenar Viejo	Arena, gravas, zahorra artificial. Rellenos tipo terraplén, todo-uno y capa de forma
C-3	Aldeavieja	Cycasa. Canteras y construcciones S.A.	98.1	Aldeavieja	Arena, gravas, zahorra artificial. Rellenos tipo terraplén, todo-uno y capa de forma, subbalasto y balasto
C-4	Hoya de los Toriles	Arvisa S.A.	97.5	Aldeavieja	Arena, gravas, zahorra artificial. Rellenos tipo terraplén, todo-uno, capa de forma, subbalasto y balasto
C-5	De Ávila	Canteras Cuadrado S.L.	125	Tornadizo de Ávila	Arena, gravas, zahorra artificial. Rellenos tipo terraplén, todo-uno, capa de forma, subbalasto y balasto
C-6	El Aljibe	Benito Arnau e Hijos S.A.	106	Almonacid de Toledo	Arena, gravas, zahorra artificial. Rellenos tipo terraplén, todo-uno y capa de forma. Balasto
C-7	Marina	Áridos Técnicos S.A.	106	Almonacid de Toledo	Arena, gravas, zahorra artificial. Rellenos tipo terraplén, todo-uno y capa de forma. Balasto
C-8	Tricalsa	Triturados Cálcicos S.A.	37.9	Arganda del Rey	Árido calizo de diversas granulometrías, filler. Hormigones, asfaltos.
C-9	Morata II, Fracción 2ª	Calizas Campo Real S.A.	36.8	Arganda del Rey	Árido calizo de diversas granulometrías, filler. Hormigones, asfaltos.

Tabla 66 Resumen de canteras inventariadas

5.4.2. YACIMIENTOS GRANULARES. GRAVERAS Y ARENEROS

Se han distinguido dos tipos de yacimientos granulares:

- Graveras que explotan los materiales aluviales asociados a los ríos Alberche, Guadarrama, Jarama etc., y areneros. En el caso de las graveras, existen un gran número de explotaciones con bajo rendimiento debido a que se están agotando las superficies explotables y no se les da permiso para obtener una nueva concesión. Las graveras, explotan materiales que corresponden con los depósitos fluviales de las terrazas de los ríos compuestas por gravas y arenas con escaso contenido en finos. La naturaleza de los áridos es esencialmente cuarcítica. Los frentes de explotación suelen tener una altura de unos 4-5 m. y una longitud variable. Se encuentran a una distancia media del orden de unos 40 km.

Se extraen zahorra natural, gravas y arenas, aptas para su uso como suelo seleccionado, mejora de explanada, rellenos tipo terraplén y como árido para hormigones.

- Areneros. En los alrededores de Madrid, existen diferentes areneros. Extraen el material correspondiente a las facies de borde constituidas por arenas medias a finas con intercalaciones limo arenosas. En general son explotaciones locales que extraen directamente el material y se suele realizar un cribado eliminando el material más fino. El material obtenido se suele utilizar para áridos para hormigones pudiéndose emplear para rellenos tipo terraplén. Las reservas de este tipo de arenas son extraordinariamente abundantes, solo tienen el inconveniente de la presencia de niveles o lentejones de arcilla que dificultan su explotación.

Se trata de explotaciones de menor producción que las graveras comentadas anteriormente.

De los areneros, no se aconseja su explotación dada la baja calidad de los productos obtenidos, que no se adecúan a las especificaciones dadas para los materiales necesarios en las distintas capas que conforman la plataforma ferroviaria

Se recomienda por tanto las graveras que explotan los terrenos aluviales del río Jarama, localizadas al Este y Sureste de Madrid ya que su distancia a la obra es más o menos similar.

5.4.2.1. GRAVERA SOTOPAJARES G-1

Denominada gravera Sotopajares, se encuentra situada en el término de San Martín de la Vega, y explota materiales aluviales del río Jarama. Su distancia al trazado se sitúa en torno a 30.3 km.

El yacimiento se sitúa en el paraje conocido como Soto Pajares, en unos terrenos que forman parte del Parque Natural del Sureste de la Comunidad de Madrid. Este hecho ha

apremiado a CEMEX implantar medidas que reduzcan el impacto de sus actividades en los hábitats de las especies que viven y se desarrollan en la gravera. Se accede por la carretera que une Arganda con Chinchón en el margen izquierdo a la altura del P.K. 4+200.

Produce arena media a gruesa de tonos ocres con muy bajo contenido en finos (zahorra natural y artificial, gravas y arenas de distintas granulometrías) para obra civil y edificación.

El material obtenido, mediante su proceso (cribado etc.), se podría emplear para rellenos tipo terraplén, materiales para capa de forma, para mejora de la explanada y áridos para hormigones.

La empresa explotadora ha facilitado Declaración de prestaciones de todos los productos que comercializan, así como certificados de conformidad europea.

Los valores obtenidos en los ensayos recopilados de mayor actualidad se adjuntan en la siguiente tabla.

TIPO DE MATERIAL	GRANULOMETRÍA %QUE PASA						CONTENIDO EN AGUA (%)	ABSORCIÓN DE AGUA (%)	EQUIVALENTE EN ARENA	COEF. LOS ÁNGELES	ÍNDICE DE LAJAS	CONTAMINANTES LIGEROS	CONTENIDO TOTAL AZUFRE (%)	SULFATOS SOL. EN ÁCIDO (5)	CLORUROS SOLUBLES EN AGUA (%)	MO (%)	REACTIVIDAD ALC-SÍLICE (%)
	TAMIZ #Nº31.5	TAMIZ #Nº20.0	TAMIZ #Nº10.0	TAMIZ #Nº6.3	TAMIZ #Nº2	TAMIZ #Nº0.063											
ÁRIDO 0/4 AF-M-0/4-S-L	100	100	100	100	97.0	0.5	0.1		94								
ÁRIDO 0/4 AF-M-0/4-S-L	100	100	100	100	83.0	0.5	0.1		93								
ÁRIDO 0/4 AF-M-0/4-S-L	100	100	100	100	83.0	0.8	0.1		87								
ÁRIDO 0/4 AF-M-0/4-S-L					82.0	2.0			94			<0.2			<0.006	Negativo	0.09
ÁRIDO 0/4 AF-M-0/4-S-L		97.0	6.0			<0.5		0.6		24		<0.2			<0.006		0.09
ÁRIDO 0/4 AF-T-0/4-S-L					85.0	1.0			93			<0.2	<0.2	<0.8	<0.006	Negativo	0.06
ÁRIDO 0/2 AF-M-0/2-S-L	100	100	100	100	82.0	0.4	0.1		97								
ÁRIDO 0/2 AF-M-0/2-S-L	100	100	100	100	97.0	1.0	0.1		91								
ÁRIDO 0/2 AF-M-0/2-S-L	100	100	100	100	97.0	0.4	0.2		82								
ÁRIDO 0/2 AF-M-0/2-S-L					97.0	0.8			93			<0.2	<0.2	<0.8	<0.006	Negativo	0.09
ÁRIDO 4/20 AF-M-4/20-S-L	100	93.0	27.0	1.0	1.0	0.4											
ÁRIDO 4/20 AF-M-4/20-S-L	100	96.0	32.0	6.0	1.0	0.4											
ÁRIDO 4/22 AG-T-4/20-S	100	98.0	44.0	9.0		1.0				22	15	<0.2	<0.2	<0.8	<0.006		
ÁRIDO 6/20 AF-M-4/20-S-L	100	80.0	6.0	1.0	1.0	0.5											
AG-M-20/40-S-L	93.0	51.0				1.0		<0.6		26	<8	<0.2			<0.006		0.09

Tabla 67 Resultados ensayos G-1 Sotopajares.

5.4.2.2. GRAVERA FUENPEÑA (G-2)

Propiedad de Fuenpeña S.A. Se ubica en el municipio de San Fernando de Henares en el paraje denominado “La Vega del Jarama”, accediéndose a ella desde el KM 15, de la A-2, San Fernando de Henares. Se encuentra situada a unos 15.2 km. de la zona de estudio.

Los materiales explotados son arenas silíceas de edad cuaternaria procedentes de barras aluviales del río Tajo. Produce diferentes tamaños de arena lavada y triturada, cuyo uso final se dirige generalmente para la mejora de explanada, relleno en terraplenes, áridos para hormigones y morteros; no obstante, también cumple los requisitos para conformar las distintas capas granulares ferroviarias.

La empresa explotadora ha facilitado Declaración de prestaciones de todos los productos que comercializan, así como certificados de conformidad europea.

5.4.2.3. GRAVERA ROMÁN (G-3)

Se sitúa hacia el sureste de Madrid, en el término municipal de San Martín de la Vega, a unos 37.2 km de la zona de estudio. Explota arena media a gruesa, y al igual que en la gravera de Sotopajares, son materiales de origen aluvial procedentes del río Jarama. El material obtenido podría emplearse para rellenos tipo terraplén, materiales para capa de forma, para mejora de la explanada y áridos para hormigones.

Se ha solicitado a la empresa explotadora documentación actual acreditativa de los productos que comercializan como ensayos de laboratorio, Marcados de Conformidad Europea, así como datos estimados de reservas y producción; no obstante, no se ha recibido ninguna de las acreditaciones mencionadas.

5.4.2.4. GRAVERA VALDOCARROS (G-4)

Propiedad de TRAMSA S.A. Grupo MAT, esta gravera se sitúa muy cerca de la gravera “Román”, siendo sus características geológicas análogas, por tal motivo el material explotado es similar, así como su aprovechamiento.

La empresa se encuentra en el Km 1,4 de la Carretera La Poveda a Velilla de San Antonio (M-208), a unos 27.1 km de la zona de estudio.

La empresa explotadora ha facilitado Declaración de prestaciones de todos los productos que comercializan, así como certificados de conformidad europea.

La planta presenta dos líneas de naturales y triturados con una estación espesadora de lodos para el tratamiento de aguas procedentes del lavado.

5.4.2.5. GRAVERA ÁRIDOS LA CABEZA (G-5)

Esta instalación también es de la propiedad de TRAMSA S.A. Grupo MAT. La gravera se ubica en el municipio de Casarrubios del Monte, al noroeste de la provincia de Toledo. Se accede desde el km 9+500 de la carretera que une el término municipal de El Álamo con el de Batres (M-404), por un camino que sale a la derecha, paralelo al río Guadarrama, y que llega a la cantera. Explotan arenas medias a gruesas procedentes de depósitos aluviales del río Guadarrama, obteniendo una producción anual variable según el producto, pero en torno a de 150.000 toneladas dependiendo del producto. Los materiales obtenidos se pueden utilizar como áridos para la mejora de la explanada, y áridos para hormigones y morteros.

Se encuentra alejada de la zona de estudio, a unos 56.8 km de distancia.

La empresa explotadora ha facilitado Declaración de prestaciones de todos los productos que comercializan, así como certificados de conformidad europea.

La empresa posee una planta de lavado y clasificación de áridos.

5.4.2.6. GRAVERA EL PUENTE (G-6)

Se sitúa hacia el sureste de Madrid, en el término municipal de Aranjuez, a unos 53.2 km de la zona de estudio. Explota arena media a gruesa, y al igual que en la gravera de Sotopajares, son materiales de origen aluvial procedentes del río Jarama. El material obtenido podría emplearse para rellenos tipo terraplén, materiales para capa de forma, para mejora de la explanada y áridos para hormigones.

Se ha solicitado a la empresa explotadora documentación actual acreditativa de los productos que comercializan como ensayos de laboratorio, Marcados de Conformidad Europea, así como datos estimados de reservas y producción; no obstante, no se ha recibido ninguna de las acreditaciones mencionadas.

Adicionalmente, se han recopilado los resultados de ensayos de laboratorio de proyectos anteriores incluidos a continuación.

TIPO DE MATERIAL	UNE 0,063 (% pasa)	TERRONES DE ARCILLA %	COMPUESTOS TOTALES DE AZUFRE %	SULFATOS SOLUBLES EN ÁCIDOS %	REACTIVIDAD ÁRIDO/ÁLCALIS	FRIABILIDAD	ABSORCIÓN DE AGUA %	IÓN CLORURO SOLUBLES EN AGUA %	DESGASTE LOS [illegible]	COEFICIENTE DE FORMA	ÍNDICE DE LAJAS
Arena 0/4 mm Polvo	7	0,13	0,18	0,04	0,08	16	0,6	0,002			
Arena 0/4 mm Río	1	0,02	0,18	0,05	0,02	11	0,7	0,002			
Grava 4/8 mm			0,2	0,04	0,04		1,17	0,002	27	0,09	21
Grava 6/12 mm			°	0,05	0,08		0,77	0,002		0,21	No es necesario
Grava 12/18 mm			0,2	0,07	0,09		0,53	0,001	23	0,24	No es necesario
Grava 4/20 mm			0,2	0,07	0,09		0,5	0,002	24	0,23	No es necesario
Grava 18/25 mm			0,2	0,06			0,48	0,003	23	0,26	No es necesario
Grava 20/40 mm			0,19	0,07	0,07		0,4	0,003	21		No es necesario

Tabla 68 Resultados ensayos G-6 el Puente recopilados de proyectos previos enumerados en el anejo 04 de geología del presente proyecto.

En la siguiente tabla, se muestra un resumen de las graveras inventariadas. En las fichas incluidas en el apéndice 5, se incluyen sus características.

GRAVERA	DENOMINACIÓN	PROPIEDAD	DISTANCIA KM	TÉRMINO MUNICIPAL	MATERIAL OBTENIDO/EMPLEO
G-1	Sotopajares	CEMEX ESPAÑA OPERACIONES, S.L.U.	30.3	San Martín de la Vega	Arena, gravas, zahorra natural y artificial. Rellenos tipo terraplén, todo-uno y capa de forma
G-2	Fuenpeña	Fabricación y transportes de Áridos Fuenpeña S.A.	15.2	San Fernando de Henares	Arena, gravas, zahorra natural y artificial. Rellenos tipo terraplén, todo-uno y capa de forma
G-3	Román	SODIRA IBERIA S.L.	37.2	San Martín de la Vega	Arena, gravas, zahorra natural y artificial. Rellenos tipo terraplén, todo-uno y capa de forma
G-4	Valdocarros	Tramsa S.A. Grupo MAT	27.1	Velilla de San Antonio	Arena, gravas, zahorra natural y artificial. Rellenos tipo terraplén, todo-uno y capa de forma
G-5	Áridos La Cabeza	Tramsa S.A. Grupo MAT	56.8	Casarrubios del Monte (Toledo)	Arena, gravas, zahorra natural y artificial. Rellenos tipo terraplén, todo-uno y capa de forma
G-6	El Puente	SODIRA IBERIA S.L.	53.2	Aranjuez	Arena, gravas, zahorra natural y artificial. Rellenos tipo terraplén, todo-uno y capa de forma

Tabla 69 Resumen de graveras inventariadas

5.4.3. PLANTAS DE SUMINISTRO

A continuación, se incluyen las plantas de suministro próximas a la zona de proyecto.

5.4.3.1. PLANTAS DE HORMIGÓN

Las plantas de hormigón, que se encuentran más cercanas a la zona de estudio y que ostentan el certificado “Hormigón Expert Anefhop”, se muestran en la siguiente tabla:

PLANTA	TITULAR	DIRECCIÓN	TLF/PÁGINA WEB	DISTANCIA KM	LOCALIZACIÓN	OBSERVACIONES
PH-1	LAFARGEHOLCIM ESPAÑA, S.A.	C/ Antonio de Cabezón, 33	667 18 39 49 www.lafargeholcim.es	14.0	MADRID-FUENCARRAL	La empresa además dispone de cinco plantas más en Madrid localizadas en Alcobendas, Colmenar Viejo, Majadahonda, Vallecas y Villaverde
PH-2	HORMIGONES MAT, S.L.	C/ Isla de Java, 24	917 29 00 11 www.grupomat.es	10.0	MADRID-FUENCARRAL	La empresa además dispone de TRES plantas más en Madrid localizadas en Alcalá de Henares, Velilla de San Antonio y Villaverde
PH-3	MATERIALES Y HORMIGONES, S.L. (MAHORSA)	C/ Tomás Redondo, s/n	913 818 998 www.mahorsa.com	2.5	MADRID-HORTALEZA	La empresa además dispone de tres plantas más en Madrid localizadas en Vallecas, Alcorcón y San Martín de la Vega

Tabla 70 Resumen de las plantas de hormigón inventariadas.

5.4.3.2. CANTERAS DE BALASTO

Según la información aportada por ADIF, las canteras La Curva, De Ávila, Aldeavieja, Hoya de los Toriles, El Aljibe y Marina, están homologadas para el suministro de este tipo de material.

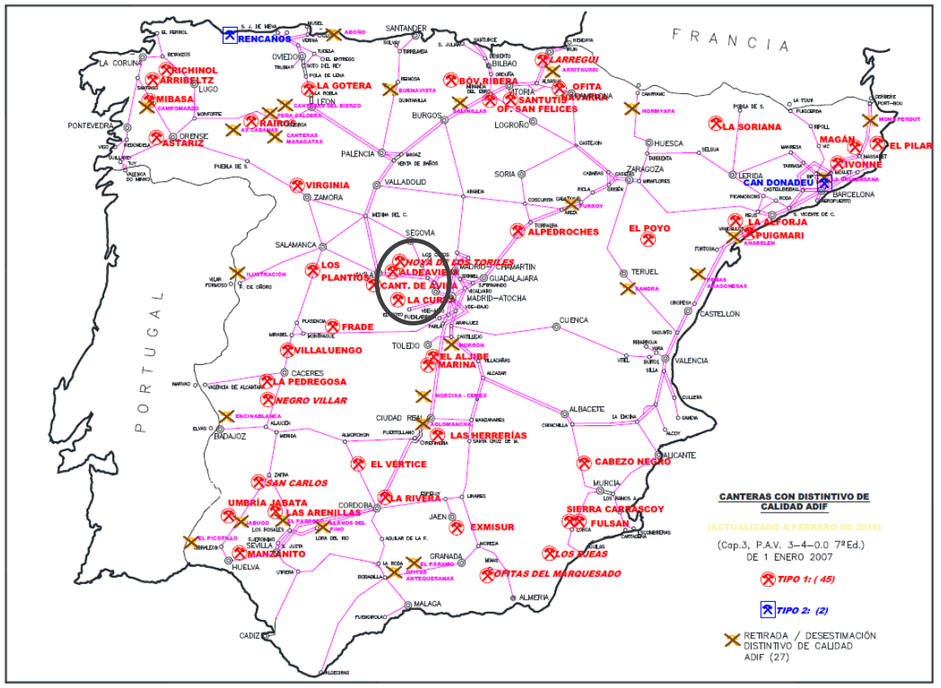


Figura 42 Canteras con distintivo de calidad ADIF.

Cantera	Localización	Empresa	Coordenadas UTM		Distancia a variante Oeste
			X 30T	Y	
C-1	Navalagamella	Cantera La Curva S.L.	405368	4477403	60.9 km
C-3	Aldeavieja	Cycasa	376381	4510278	98.1 km

Tabla 71 Resumen de las canteras de balasto inventariadas.

5.5. RECOMENDACIONES SOBRE LA PROCEDENCIA DE MATERIALES PARA SU PUESTA EN OBRA

Los criterios que se han seguido para la recomendación de las diferentes canteras y graveras para el suministro de las distintas unidades de obra han sido:

- Calidad del material obtenido
- Reservas y volumen de producción
- Distancia a la zona de ejecución de la obra
- Para el caso del suministro de balasto, se ha tenido en cuenta la documentación facilitada por ADIF sobre sus canteras homologadas.

En este último caso, han sido varias las canteras y graveras, que no han aportado esta documentación, por lo que, aunque no se las ha tenido en cuenta en estas recomendaciones como posibles suministradores, se recomienda que, en fase de obra, el contratista valore estas plantas de suministro, sobre todo las que se encuentran más cercanas.

5.5.1. SUELO SELECCIONADO

Se considera un relleno de 0,45 m, de suelo seleccionado, en el cajeado de los caminos de servicio, que procederán de canteras y/o yacimientos granulares cercanos, al ser necesario cumplir las exigencias de tamaño y plasticidad, así como de estar exentos de materia orgánica.

Se recomienda por los criterios expuestos con anterioridad las graveras localizadas en San Fernando de Henares (Fuenpeña G-2), Velilla de San Antonio (Valdocarros G-4) y San Martín de la Vega (Sotopajares G-1), así como la cantera La Curva localizada en Navalagamella (C-1).

5.5.2. ZAHORRA ARTIFICIAL

Sobre el suelo seleccionado se considera un relleno de 0,20 m, de zahorra artificial. Procederán del machaqueo y trituración de piedra de cantera o grava natural. El material tratado en las graveras y en las canteras, cumplen las especificaciones para zahorras artificiales.

Se recomienda por los criterios expuestos con anterioridad las graveras localizadas en San Fernando de Henares (Fuenpeña G-2), Velilla de San Antonio (Valdocarros G-4) y San Martín de la Vega (Sotopajares G-1), así como la cantera La Curva localizada en Navalagamella (C-1).

5.5.3. MATERIAL FILTRANTE

Estos materiales se utilizarán para el drenaje entre vías.

Procederán del machaqueo y trituración de piedra de cantera o grava natural. El material tratado en las graveras y en las canteras, cumplen las especificaciones para zahorras artificiales.

Se recomienda por los criterios expuestos con anterioridad las graveras localizadas en San Fernando de Henares (Fuenpeña G-2), Velilla de San Antonio (Valdocarros G-4) y San Martín de la Vega (Sotopajares G-1), así como la cantera La Curva localizada en Navalagamella (C-1).

5.5.4. ÁRIDOS PARA HORMIGONES

Como en el caso anterior, los áridos para hormigones procederán del machaqueo y trituración de piedra de cantera o grava natural. El material tratado en las graveras y en las canteras, cumplen las especificaciones para zahorras artificiales.

Se recomienda por los criterios expuestos con anterioridad las graveras localizadas en San Fernando de Henares (Fuenpeña G-2), Velilla de San Antonio (Valdocarros G-4) y San Martín de la Vega (Sotopajares G-1), así como la cantera La Curva localizada en Navalagamella (C-1).

5.5.5. MATERIALES PARA LOS RELLENOS LOCALIZADOS EN ESTRUCTURAS

Se realizarán rellenos localizados mediante extendido y compactación de material procedente cantera y/o yacimientos granulares, en trasdós de muros, zanjas, pozos,

cimentaciones, bóvedas, y en general, aquellas zonas cuyas dimensiones no permitan utilizar los mismos equipos que para los rellenos generales.

Se han considerado los rellenos siguientes:

- Relleno en zanjas, pozos y cimientos.
- Relleno de la cara interior de muros y estribos de obras de fábrica.

El material para los rellenos localizados procederá de canteras y/o graveras cercanas, cumpliendo con las exigencias de tamaño y plasticidad, así como de estar exentos de materia orgánica.

Se recomienda por los criterios expuestos con anterioridad las graveras localizadas en San Fernando de Henares (Fuenpeña G-2), Velilla de San Antonio (Valdocarros G-4) y San Martín de la Vega (Sotopajares G-1), así como la cantera La Curva localizada en Navalagamella (C-1).

5.5.6. MATERIALES SUELOS QS3

Como en los casos anteriores, se recomienda por los criterios expuestos con anterioridad las graveras localizadas en San Fernando de Henares (Fuenpeña G-2), Velilla de San Antonio (Valdocarros G-4) y San Martín de la Vega (Sotopajares G-1), así como la cantera La Curva localizada en Navalagamella (C-1).

5.5.7. MATERIALES PARA LA CAPA DE FORMA

Los volúmenes de materiales necesarios para la formación de capa de forma podrían proceder tanto las graveras como las canteras, no obstante, los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio de las graveras, referentes al Desgaste de los Ángeles, se encuentran en el límite. Por tal motivo, se tendrá que recurrir a las canteras inventariadas, por proximidad se recomienda la cantera La Curva localizada en Navalagamella (C-1).

5.5.8. SUBBALASTO

La exigencia de calidad de estos áridos con bajos valores de Desgaste los Ángeles y elevado coeficiente de pulimiento acelerado hace que los valores obtenidos en las graveras inventariadas no cumplan los requerimientos exigidos.

Las canteras inventariadas, cumplen los requisitos exigidos para producir materiales para la capa de subbalasto, por lo que, por cuestiones de cercanía, se recomienda como en el caso anterior la cantera La Curva localizada en Navalagamella (C-1) para su abastecimiento.

5.5.9. BALASTO

Según la información aportada por ADIF, las canteras La Curva, De Ávila, Aldeavieja, Hoya de los Toriles, El Aljibe y Marina, están homologadas para el suministro de este tipo de material, recomendándose la más cercana, que, en este caso, corresponde a la cantera La Curva (C-1).

5.5.10. RESUMEN RECOMENDACIONES PROCEDENCIA DE MATERIALES

A continuación, se incluye un cuadro resumen donde se pueden consultar las recomendaciones de procedencia de materiales para suministrar la obra que nos ocupa:

La procedencia de materiales para la correcta definición del proyecto, se resumen en la siguiente tabla:UNIDAD DE OBRA	PROCEDENCIA RECOMENDADA	NATURALEZA DEL MATERIAL EXPLOTADO
RELLENOS LOCALIZADOS EN ESTRUCTURAS	Graveras de San Fernando de Henares (G-2), Velilla de San Antonio (G-4) y San Marín de la Vega (G-1). Cantera La Curva (C-1)	Gravas y arenas con escasos finos Granitos mezclados con pórfido
SUELO QS3	Graveras de San Fernando de Henares (G-2), Velilla de San Antonio (G-4) y San Marín de la Vega (G-1). Cantera La Curva (C-1)	Gravas y arenas con escasos finos Granitos mezclados con pórfido
CAPA DE FORMA	Graveras de San Fernando de Henares (G-2), Velilla de San Antonio (G-4) y San Marín de la Vega (G-1). Cantera La Curva (C-1)	Granitos mezclados con pórfido
SUBBALASTO	Cantera La Curva (C-1)	Granitos mezclados con pórfido
BALASTO	Cantera La Curva (C-1)	Granitos
SUELO SELECCIONADO	Graveras de San Fernando de Henares (G-2), Velilla de San Antonio (G-4) y San Marín de la Vega (G-1). Cantera La Curva (C-1)	Gravas y arenas con escasos finos Granitos mezclados con pórfido
ZAHORRA ARTIFICIAL	Graveras de San Fernando de Henares (G-2), Velilla de San Antonio (G-4) y San Marín de la Vega (G-1). Cantera La Curva (C-1)	Gravas y arenas con escasos finos Granitos mezclados con pórfido
MATERIAL FILTRANTE	Graveras de San Fernando de Henares (G-2), Velilla de San Antonio (G-4) y San Marín de la Vega (G-1). Cantera La Curva (C-1)	Gravas y arenas con escasos finos Granitos mezclados con pórfido

La procedencia de materiales para la correcta definición del proyecto, se resumen en la siguiente tabla:UNIDAD DE OBRA	PROCEDENCIA RECOMENDADA	NATURALEZA DEL MATERIAL EXPLOTADO
ÁRIDOS PARA HORMIGONES	Graveras de San Fernando de Henares (G-2), Velilla de San Antonio (G-4) y San Marín de la Vega (G-1). Cantera La Curva (C-1)	Gravas y arenas con escasos finos Granitos mezclados con pórfido

Tabla 72 Procedencia recomendada de los materiales

5.6. VERTEDEROS. GESTOR AUTORIZADO

Para la gestión de las tierras y piedras excedentarias de las actuaciones proyectadas, se llevarán a cabo operaciones de valorización, de acuerdo con lo establecido en el *Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición*.

Estas operaciones de valorización consisten en el destino de las tierras y piedras a dos tipos de instalaciones industriales ya existentes y que cuentan con las autorizaciones de los organismos competentes. Por tanto, su utilización evita nuevas afecciones al medio ambiente, derivadas de la apertura de zonas de vertedero.

En primer lugar, podrán destinarse las tierras y piedras excedentarias a las antiguas explotaciones mineras cuyos Planes de Restauración del Espacio Afectado (PREN) permiten su restauración con tierras de procedencia externa.

El derecho al aprovechamiento de los recursos minerales también lleva asociadas las labores de rehabilitación del espacio natural afectado por las actividades mineras, de acuerdo con los principios de desarrollo sostenible y de la minimización de las afectaciones causadas por el laboreo de las minas.

Esta obligación, regulada antiguamente por el Real Decreto 2994/1982, de 15 de octubre, sobre restauración del espacio natural afectado por actividades mineras, se ha visto reforzada desde la Unión Europea a través de la Directiva 2006/21/CE del Parlamento y del Consejo, de 15 de marzo de 2006, sobre gestión de los residuos de industrias extractivas cuya trasposición al ordenamiento jurídico español ha quedada recogida, con carácter básico, en el Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras.

No obstante, dicha restauración del espacio afectado por explotaciones mineras, además de resolver parte del impacto ambiental y paisajístico ocasionado por las propias explotaciones, puede ser solución también para otros problemas ambientales como los ocasionados por los materiales extraídos en vaciado de tierras que las obras de la construcción y las infraestructuras generan.

Así, en la Comunidad de Madrid, existen una serie de explotaciones que han obtenido aprobación de su plan de restauración para acoger dichos materiales, previo informe ambiental favorable, y bajo unos estrictos controles y seguimiento del material que se utiliza en dicha restauración.

Estas explotaciones mineras de carácter privado y aprobadas por la Comunidad de Madrid, permiten la recepción de tierras de procedencia externa para emplearlas en su propia restauración. En el caso de optarse por estas zonas, será de aplicación lo dispuesto en la *Orden APM/1007/2017, de 10 de octubre, sobre normas generales de valorización de materiales naturales excavados para su utilización en operaciones de relleno y obras distintas a aquéllas en las que se generaron*.

Se propone la utilización de aquellas explotaciones mineras cuyos Planes de Restauración del Espacio Afectado (PREN) permiten su restauración con tierras de procedencia externa que se localizan más próximas a la actuación proyectada. Estas zonas se citan a continuación.

Nombre Vertedero	Municipio	Superficie (m2)	Coordenada X	Coordenada Y	Distancia al trazado (m)
La Pelaya	Algete	407.480,19	453.536	4.494.426	17.055,52
El Hoyón	Arganda del Rey	128.815,78	465.568	4.457.697	22.010,98
Preresa Getafe	Getafe	177.827,49	450.101	4.461.691	14.667,98
Morata II-Fracción 2ª	Arganda del Rey	67.724,15	467.314	4.459.470	21.454,67
IV Ampliación a Valdocarros	Arganda del Rey	212.210,20	460.653	4.464.308	13.774,22
Santa Juliana	Arganda del Rey	145.067,07	457.129	4.459.452	17.070,21

Asimismo, para la gestión de las tierras sobrantes, se podrá recurrir a cualquiera de las empresas autorizadas por la Comunidad de Madrid para la realización de actividades de gestión de residuos de la construcción y demolición, cuyo listado se va actualizando en la página de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Dirección General de Medio Ambiente y Sostenibilidad. A este tipo de plantas se podrán destinar las siguientes tipologías de excedentes generados: envases de papel y cartón, envases de plástico, envases de madera, envases metálicos, envases contaminados, hormigón, ladrillos, tejas y material cerámico, mezcla de hormigón, ladrillos y material cerámico, madera, vidrio, plástico, hierro y acero y tierras y piedras.

No será necesario, por tanto, abrir nuevas zonas de vertedero para el depósito de las tierras excedentarias. En cualquier caso, si finalmente fuesen necesarias, una vez definidas con mayor detalle durante el desarrollo del proyecto de construcción, las nuevas zonas de vertido requerirían autorización administrativa del órgano competente de la Comunidad de Madrid, por lo que su viabilidad ambiental se enmarcaría en esa fase del proyecto.

En cualquier caso, será el contratista quien gestione la búsqueda de zonas para el vertido de los excedentes, basándose en las zonas de exclusión definidas en este EsIA.

6. CONCLUSIONES

Las alternativas de la actuación prevista en ***Campo de las Naciones*** se desarrollan enteramente en superficie. Únicamente se procederá al desmantelamiento de algún relieve puntual, afectando únicamente al relleno antrópico existente o a los horizontes más someros de la arena de miga (Am).

Por lo que respecta a las alternativas contempladas para la actuación en ***Rejas***, al igual que en el caso anterior, se trata de obras en superficie. En esta ocasión, no se prevé la ejecución de ningún tramo en desmonte, por lo que se descartan afecciones cuantitativas a los recursos subterráneos y, se remitía a las medidas generales de precaución para evitar la percolación de contaminantes, a fin de impedir una afección a la calidad del recurso hídrico durante las obras.

En cuanto al Salto de carnero previsto en ***San Fernando de Henares***, la Alternativa 2 contempla que la nueva vía cruce las existentes de forma elevada, por lo que sólo habría que contemplar las posibles afecciones de las pilas de la estructura.

En primer lugar, cabe recordar que el medio geológico en la zona de San Fernando está integrado por las terrazas cuaternarias dispuestas sobre las arcillas verdosas “Gredas” (G) terciarias, así como sobre las Arcillas con yesos (Y). Si bien la permeabilidad de esta unidad cuaternaria resulta de interés, los datos piezométricos del sondeo S-01 revelan que el nivel freático se encuentra varios metros por debajo de su muro. Ello significa que no albergan agua en si interior, al menos, en la zona de la actuación. En cambio, los materiales terciarios subyacentes (Uds. G e Y), donde se sitúa el nivel de agua detectado, presentan permeabilidades bajas a muy bajas, no pudiéndose considerar como acuíferos.

Con respecto al empotramiento de las pilas consideradas en proyecto, al tratarse de estructuras aisladas entre sí, con un diámetro despreciable en comparación con la extensión de las formaciones, puede descartarse un posible “efecto drenaje” durante su excavación que afecte a la cantidad del recurso durante la obra. Asimismo, dada la baja permeabilidad del medio, los caudales esperables en el interior de los huecos (de llegar a producirse) resultarían despreciables y no supondrían in inconveniente para la ejecución de las obras. Por otra parte, puede también descartarse un posible “efecto barrera” asociado a la estructura terminada, durante la fase de explotación, ya que el agua circulante tiene espacio sobrado entre pilas para restituir el escaso flujo del acuitardo.

Únicamente queda considerar las posibles afecciones a la calidad a las aguas de saturación del acuitardo. Al respecto, hay que tener en cuenta que los materiales utilizados tanto en la perforación de los huecos de cimentación como en el relleno de los pilotes son habitualmente inertes (hormigón, lodos bentoníticos, etc.). No es de esperar la introducción de una carga química que altere apreciablemente el quimismo natural de las aguas detectadas. Asimismo, dada la escasa permeabilidad del medio, de llegar a producirse la entrada de un contaminante, éste quedaría encapsulado en el lugar de la percolación; no se prevé que se pueda distribuir a grandes distancias por efecto del flujo subterráneo. La inexistencia de captaciones cercanas en la zona, juega también en favor de la obra, puesto que no existen elementos que puedan verse afectados por una hipotética contaminación del medio. En cualquier caso, han de guardarse las recomendaciones generales para evitar la percolación accidental de contaminantes en la zona, ya mencionadas en los puntos anteriores.

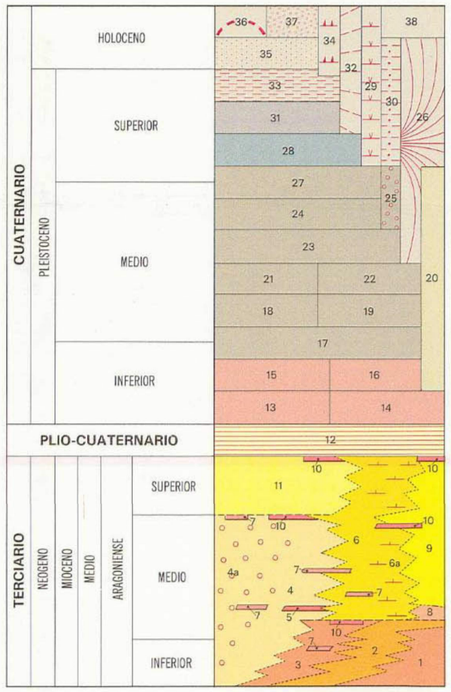
En cuanto a la Alternativa 1, ésta prevé que la nueva vía cruce de forma subterránea el viario actual. En esta ocasión, y a la vista de los datos piezométricos de los sondeos de la zona, es previsible que la parte más baja de la rasante llega a interceptar la saturación de agua detectada en el sondeo S-01. Bajo la unidad Y, de espesor desconocido, se encuentran los yesos masivos, una litología extremadamente inestable ante la presencia de agua por hinchamientos y disoluciones. Por lo tanto, es preferible, del lado de la seguridad, no disminuir el recubrimiento que presenta esta unidad, de cara a no facilitar la entrada de agua a la misma.

Por tanto, desde un punto de vista geológico-geotécnico, la alternativa 1 puede ocasionar más problemas que la alternativa 2.

APÉNDICE 1. PLANOS GENERALES

1.1. MAPA GEOLÓGICO GENERAL, MAGNA

LEYENDA



38 } Arenas cuarzo-feldespáticas, arcillas y limos arenosos
36 } con gravas dispersas (fondos de valle, lechos de canales y cauces abandonados)

37 Gravas, cantos y arenas (barras aluviales)

35 Limos arcillosos, arenas, gravas y cantos poligénicos (llanuras aluviales)

34 Limos yesíferos

33 Arcillas arenosas con fragmentos de roca (rellenos kársticos)

32 }
30 } Arenas y limos con cantos dispersos (coluviones,
26 } derrames y conos aluviales)

29 Arcillas arenosas (fondos endorreicos)

31
28
27
24
23
22
21 } Cantos y gravas poligénicos, arenas, limos y arcillas
19 } (terrazas)
18
17
16
15
14
13

20 } Arenas cuarzo-feldespáticas con gravas y cantos
12 } (glacis y superficies)

11 Arenas arcósicas de grano grueso y arcillas pardas y rojizas

10 Niveles de silex

9 Calizas dolomíticas y arcillas verdosas. Seudomorfos de yeso. Niveles finos de sepiolita

8 Yesos detríticos, arcillas verdosas y carbonatos, localmente yeso selenítico

7 Niveles de carbonatos (dolomías y calcretas)

6 Arcillas verdes y rosadas, arenas micáceas, margas y niveles de carbonatos y silex

6a Arcillas con intercalaciones frecuentes de bancos carbonáticos, en parte silicificados

5 Niveles de sepiolita

4 Arenas arcósicas de grano medio o fino, limos y arcillas marrones

4a Arcosas gruesas con cantos, lechos de cantos, fangos y arenas arcósicas

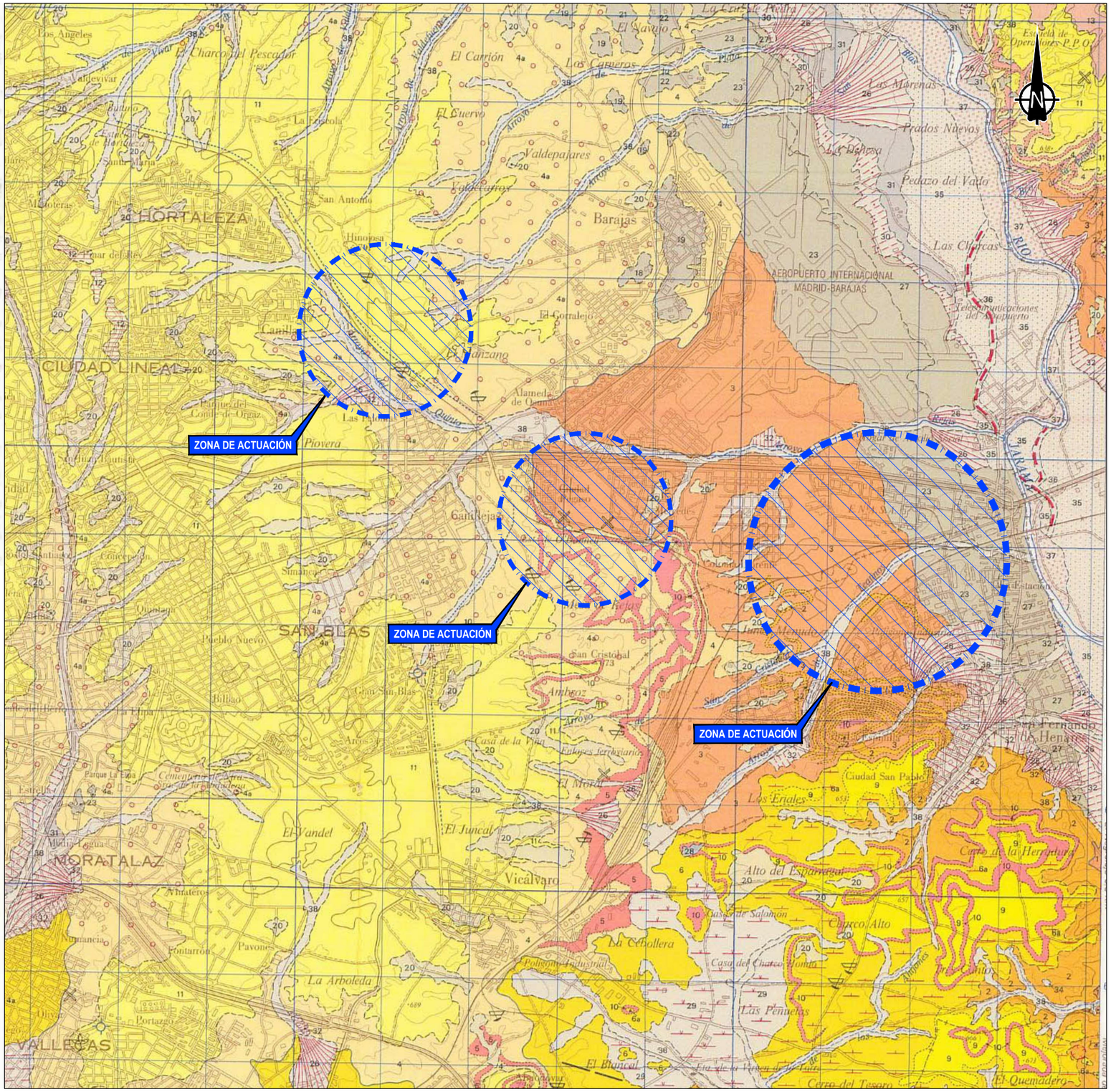
3 Arcillas verdosas y marrones, localmente arenas micáceas, niveles de carbonatos y silex

2 Yesos tableados y nodulares entre arcillas grises y marrones

1 Yesos masivos

SIGNOS CONVENCIONALES

- Contacto normal o concordante
- Contacto discordante
- Contacto discordante supuesto
- Contacto por cambio de facies
- Falla
- Falla supuesta
- Cauces de los ríos Jarama y Manzanares
- Estratificación subhorizontal
- Dolina
- Yacimiento paleontológico (vertebrados)
- Flora
- Cantera activa
- Cantera inactiva
- Sondeo



GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA	SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA	TÍTULO PROYECTO: ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES	AUTOR DEL ESTUDIO: ineco	ESCALA ORIGINAL A3: 1/50,000 0 0,5 1 1,5Km NUMÉRICA GRÁFICA	FECHA: JULIO 2021	Nº DE PLANO: An4 Ap1.1 Nº DE HOJA: HOJA 1 DE 1	TÍTULO DE PLANO: ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA MAPA GEOLÓGICO GENERAL. MAGNA

Z:\PROYECTOS 2020\F-2020 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-I\2DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap1-1-Mapa Geologico Magna.dwg

1.2. MAPA GEOTÉCNICO GENERAL

CRITERIOS DE CLASIFICACION

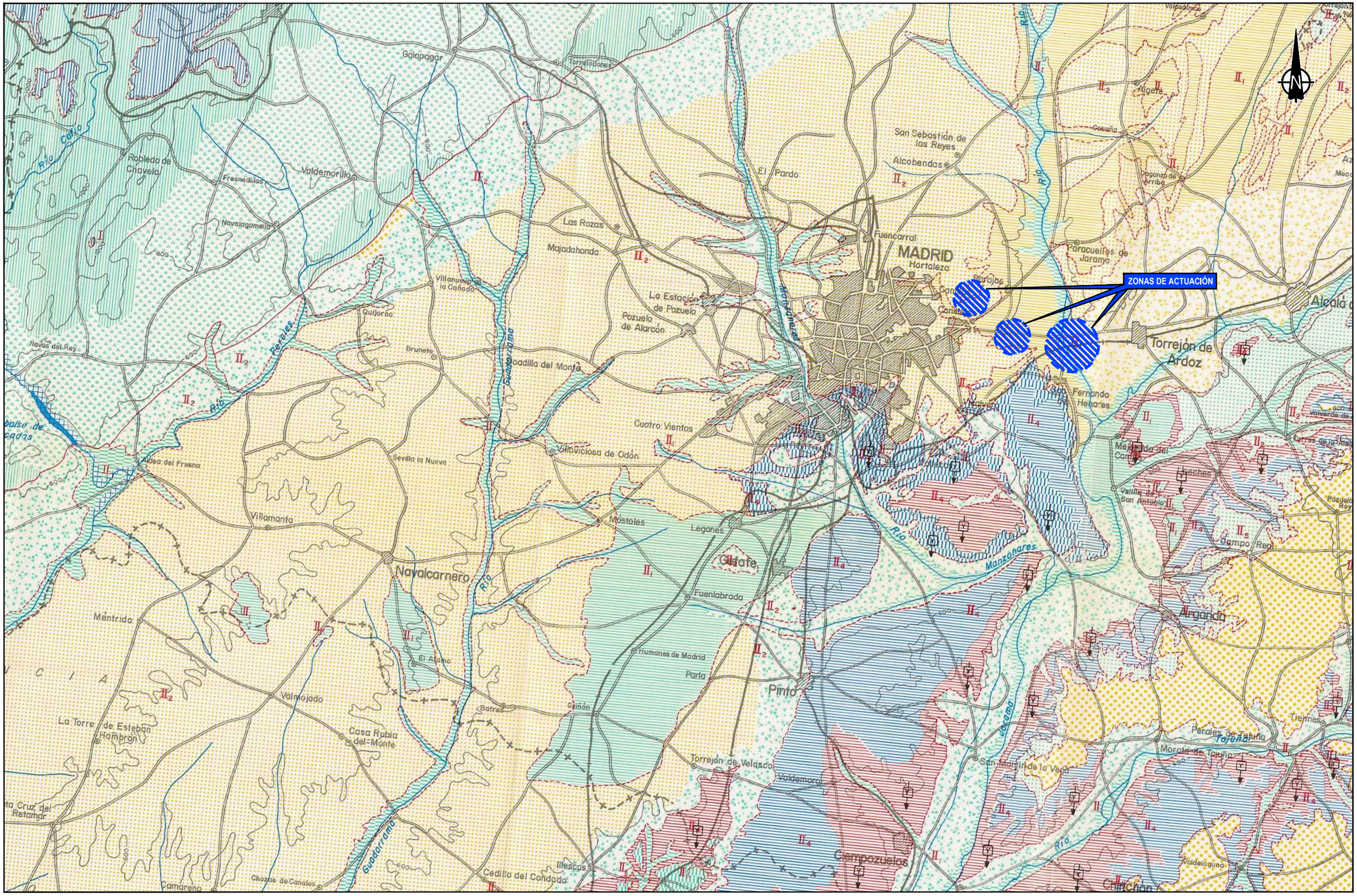
CONDICIONES CONSTRUCTIVAS	PROBLEMAS "TIPO" EXISTENTES	CONCURRENCIA DE 2 PROBLEMAS "TIPO"		CONCURRENCIA DE 3 PROBLEMAS "TIPO"	CONCURRENCIA DE 4 PROBLEMAS "TIPO"	PROBLEMAS GEOTECNICOS	NOTACION	
Muy favorables	Litológicos	Litológicos y Geomorfológicos	Geomorfológicos e Hidrológicos	Litológicos, Geomorfológicos e Hidrológicos	Litológicos, Geomorfológicos, Hidrológicos y Geotécnicos (p.d.)	De Capacidad de carga	Yesos	Y
Favorables	Geomorfológicos	Litológicos e Hidrológicos	Geomorfológicos y Geotécnicos	Litológicos, Geomorfológicos y Geotécnicos (p.d.)		De Asientos		
Aceotables	Hidrológicos	Litológicos y Geotécnicos (p.d.)	Hidrológicos y Geotécnicos (p.d.)	Litológicos, Hidrológicos y Geotécnicos (p.d.)		Geotécnicos Varios		
Desfavorables	Geotécnicos (p.d.)			Geomorfológicos, Hidrológicos y Geotécnicos (p.d.)				
Muy Desfavorables								

LEYENDA

CONDICIONES CONSTRUCTIVAS FAVORABLES	CONDICIONES CONSTRUCTIVAS ACEPTABLES		CONDICIONES CONSTRUCTIVAS DESFAVORABLES	CONDICIONES CONSTRUCTIVAS MUY DESFAVORABLES
Problemas de tipo Geotécnico (p.d.)	Problemas de tipo Geomorfológico	Problemas de tipo Geomorfológico, Hidrológico y Geotécnico (p.d.)	Problemas de tipo Geomorfológico	Problemas de tipo Litológico, Geomorfológico y Geotécnico (p.d.)
Problemas de tipo Geomorfológico y Geotécnico (p.d.)	Problemas de tipo Litológico y Geomorfológico	Problemas de tipo Litológico, Geomorfológico y Geotécnico (p.d.)	Problemas de tipo Hidrológico	
Problemas de tipo Litológico y Geotécnico (p.d.)	Problemas de tipo Geomorfológico y Geotécnico (p.d.)		Problemas de tipo Litológico, Geomorfológico y Geotécnico (p.d.)	
Problemas de tipo litológico, Geomorfológico y Geotécnico (p.d.)	Problemas de tipo Litológico y Geotécnico (p.d.)	Problemas de tipo Litológico, Hidrológico y Geotécnico (p.d.)	Problemas de tipo Litológico, Hidrológico y Geotécnico (p.d.)	

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA	SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA	TÍTULO PROYECTO: ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES	AUTOR DEL ESTUDIO: ineco	ESCALA ORIGINAL A3: S/E NUMÉRICA GRÁFICA	FECHA: JULIO 2021	Nº DE PLANO: An4 Ap1.2 Nº DE HOJA: HOJA 1 DE 2	TÍTULO DE PLANO: ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA MAPA GEOTÉCNICO GENERAL	

Z:\PROYECTOS 2020\F-2020 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-\2\DOC 1_ANEJOSAn04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap1-PLANOS GENERALES\An4Ap1.2-Mapa Geotecnico.dwg



GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA	SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA	TÍTULO PROYECTO: ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES	AUTOR DEL ESTUDIO: ineco	ESCALA ORIGINAL A3: 1/200.000 0 2 4 6Km NUMÉRICA GRÁFICA	FECHA: JULIO 2021	Nº DE PLANO: An4 Ap1.2 Nº DE HOJA: HOJA 2 DE 2	TÍTULO DE PLANO: ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA MAPA GEOTÉCNICO GENERAL

Z:\PROYECTOS 2020\F-2020 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-\2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap1-PLANOS GENERALES\An4Ap1.2-Mapa Geotecnico.dwg

APÉNDICE 2. CAMPO DE LAS NACIONES

2.1. PLANTA

2.1.1. ALTERNATIVA 1

TÉRMINO MUNICIPAL MADRID

C/ LA RIBERA DEL SENA

C/ LA RIBERA DEL LOIRA

SOLAPE DE HOJA

FTE. DE LA MORA

SAN FERNANDO DE HENARES

VÍA 1

0+000 0+100 0+200 0+300

6+400 6+500 6+600 6+700

X=447000 Y=4480050

X=447150 Y=4479800

X=446950 Y=4479900

X=446850 Y=4479900

DISTRIBUCIÓN DE HOJAS

1 2 3 4

FTE. DE LA MORA SAN FERNANDO DE HENARES

LEYENDA

SITUACIÓN ACTUAL

ACTUACIONES PREVISTAS VÍAS ESTUDIO INFORMATIVO

SITUACIÓN ACTUAL AFECTADA POR ESTUDIO INFORMATIVO

Z:\PROYECTOS 2020\F-2020.36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-V2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap2-C.NACIONES\An4Ap2.1.1-CN 1-PLANTA.dwg

GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS

DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TÍTULO PROYECTO:

ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES

AUTOR DEL ESTUDIO:

ineco

ESCALA ORIGINAL A3:

1/1.000

0 10 20 30m

NUMÉRICA GRÁFICA

FECHA:

JULIO 2021

Nº DE PLANO:

An4 Ap2.1.1

Nº DE HOJA:

HOJA 1 DE 4

TÍTULO DE PLANO:

ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

ESTACIÓN CAMPO DE LAS NACIONES

PLANTA SITUACIÓN DE INVESTIGACIONES. ALTERNATIVA 1

SOLAPE DE HOJA

TÉRMINO MUNICIPAL MADRID

C/ LA RIBERA DEL SENA

C/ LA RIBERA DEL LOIRA

IFEMA

SOLAPE DE HOJA

ESTACIÓN CAMPO DE LAS NACIONES

FTE. DE LA MORA

PD-02

PD-01

SR-01

VÍA 1

ODT - 01
L= 8,00 m
(PROLONGACIÓN)

SAN FERNANDO DE HENARES

METRO LÍNEA 8

METRO LÍNEA 8

0+300

0+400

0+500

0+600

0+700

6+800

6+900

7+000

X=447250 Y=4479650

X=447350 Y=4479500

X=447100 Y=4479500

DISTRIBUCIÓN DE HOJAS

1 2 3 4

FTE. DE LA MORA SAN FERNANDO DE HENARES

LEYENDA

SITUACIÓN ACTUAL

ACTUACIONES PREVISTAS VÍAS ESTUDIO INFORMATIVO

SITUACIÓN ACTUAL AFECTADA POR ESTUDIO INFORMATIVO

Z:\PROYECTOS 2020\F-2020 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO\-2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap2-C-NACIONES\An4ap2.1.1-CN 1-PLANTA.dwg

GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS

DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TÍTULO PROYECTO:

ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES

AUTOR DEL ESTUDIO:

ineco

ESCALA ORIGINAL A3:

1/1.000

0 10 20 30m

NUMÉRICA GRÁFICA

FECHA:

JULIO 2021

Nº DE PLANO:

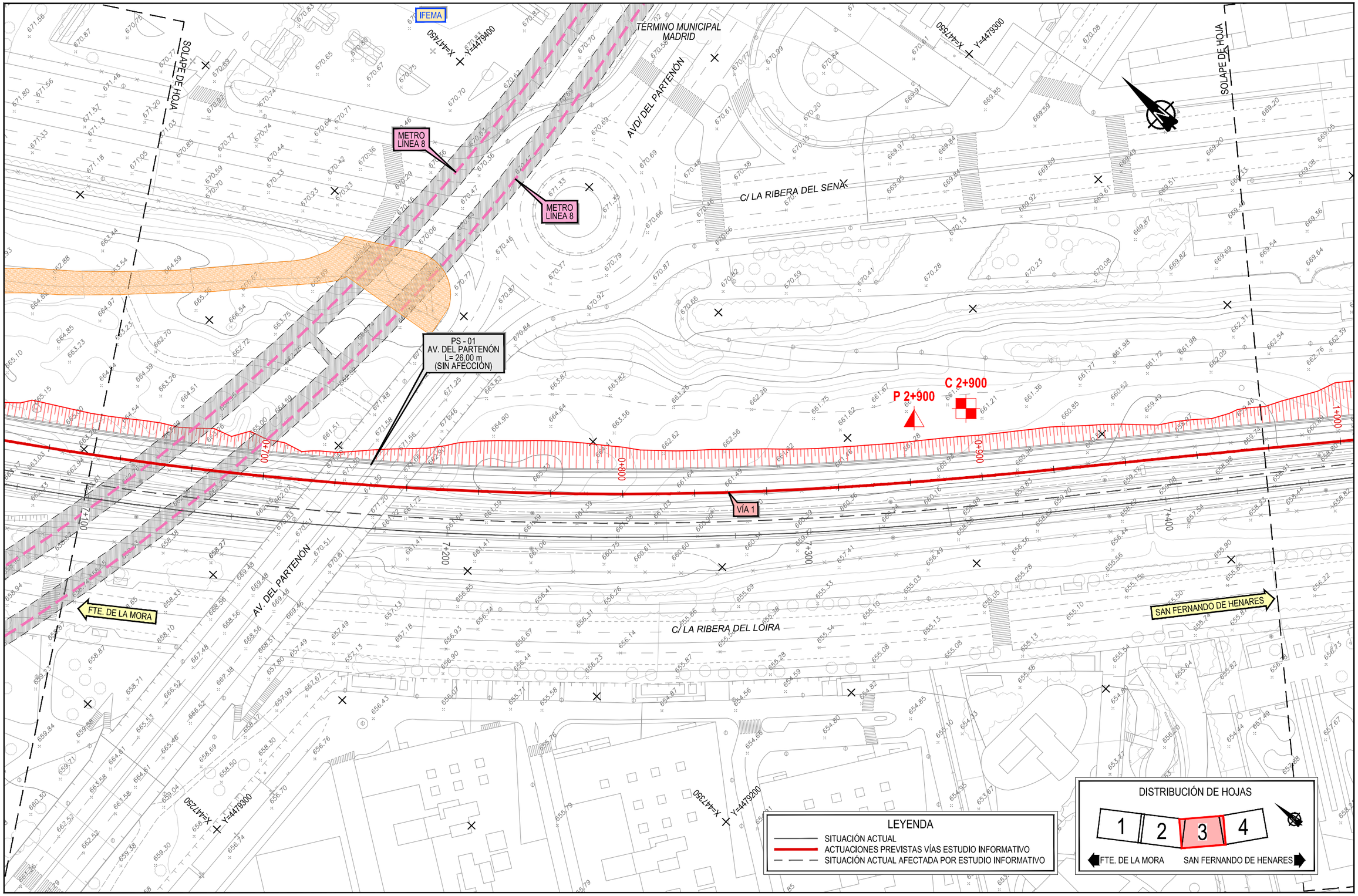
An4 Ap2.1.1

Nº DE HOJA:

HOJA 2 DE 4

TÍTULO DE PLANO:

ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
ESTACIÓN CAMPO DE LAS NACIONES
PLANTA SITUACIÓN DE INVESTIGACIONES. ALTERNATIVA 1



Z:\PROYECTOS 2020\F-2020 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-/2DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap2-C-NACIONES\An4Ap2.1.1-CN 1-PLANTA.dwg

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TÍTULO PROYECTO:
ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES

AUTOR DEL ESTUDIO:
ineco

ESCALA ORIGINAL A3:
1/1,000
0 10 20 30m
NUMÉRICA GRÁFICA

FECHA:
JULIO 2021

Nº DE PLANO:
An4 Ap2.1.1

Nº DE HOJA:
HOJA 3 DE 4

TÍTULO DE PLANO:
ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
ESTACIÓN CAMPO DE LAS NACIONES
PLANTA SITUACIÓN DE INVESTIGACIONES. ALTERNATIVA 1

SOLAPE DE HOJA

X=441600 Y=4479200

TÉRMINO MUNICIPAL MADRID

C/ LA RIBERA DEL SENA

X=441850 Y=4479000

CARRIL BICI

SAN FERNANDO DE HENARES

VÍA 1

1+000

1+100

1+200

1+259,987

7+000

7+100

7+600

7+500

FTE. DE LA MORA

C/ LA RIBERA DEL LOIRA

AVD. CONSEJO DE EUROPA

X=441300 Y=4479050

X=441600 Y=4478950

LEYENDA

- SITUACIÓN ACTUAL
- ACTUACIONES PREVISTAS VÍAS ESTUDIO INFORMATIVO
- SITUACIÓN ACTUAL AFECTADA POR ESTUDIO INFORMATIVO

DISTRIBUCIÓN DE HOJAS

1 2 3 4

FTE. DE LA MORA — SAN FERNANDO DE HENARES

Z:\PROYECTOS 2020\F-2020 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-V2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap2-CI-NACIONES\An4Ap2.1.1-CN 1-PLANTA.dwg

GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS

DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TÍTULO PROYECTO:

ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES

AUTOR DEL ESTUDIO:

ineco

ESCALA ORIGINAL A3:

1/1,000

0 10 20 30m

NUMÉRICA GRÁFICA

FECHA:

JULIO 2021

Nº DE PLANO:

An4 Ap2.1.1

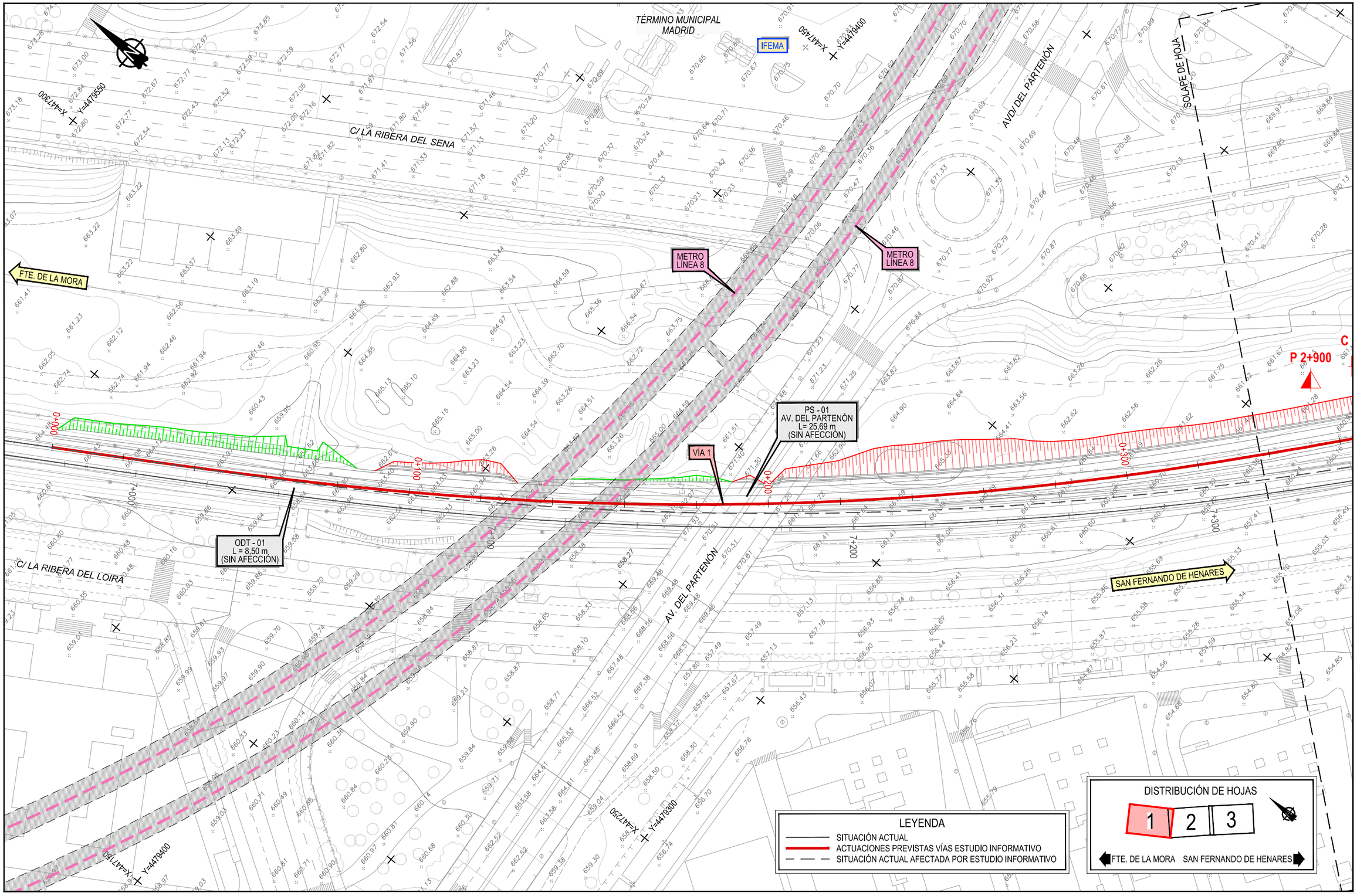
Nº DE HOJA:

HOJA 4 DE 4

TÍTULO DE PLANO:

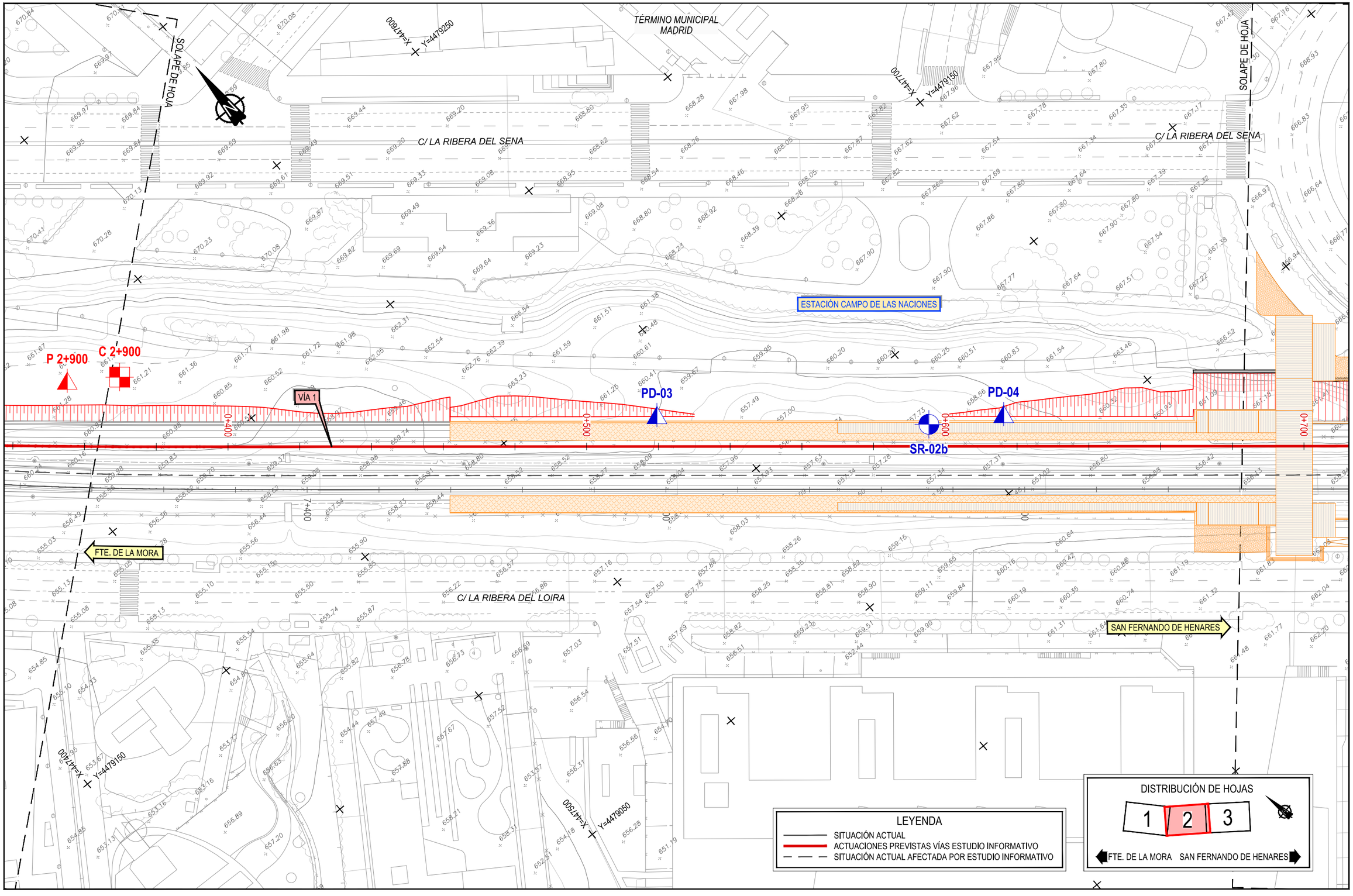
ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
ESTACIÓN CAMPO DE LAS NACIONES
PLANTA SITUACIÓN DE INVESTIGACIONES. ALTERNATIVA 1

2.1.2. ALTERNATIVA 2



Z:\PROYECTOS 2020\F-2020 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-V2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap2-C.NACIONES\An4Ap2.1.2-CN 2-PLANTA.dwg

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA	SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA	TÍTULO PROYECTO: ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES	AUTOR DEL ESTUDIO: ineco	ESCALA ORIGINAL A3: 1/1,000 0 10 20 30m NUMÉRICA GRÁFICA	FECHA: JULIO 2021	Nº DE PLANO: An4 Ap2.1.2 Nº DE HOJA: HOJA 1 DE 3	TÍTULO DE PLANO: ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA ESTACIÓN CAMPO DE LAS NACIONES PLANTA SITUACIÓN DE INVESTIGACIONES. ALTERNATIVA 2



Z:\PROYECTOS 2020\FI-2020 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-V2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap2-C-NACIONES\An4ap2.1.2-C2N 2-PLANTA.dwg

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TÍTULO PROYECTO:
ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES

AUTOR DEL ESTUDIO:
ineco

ESCALA ORIGINAL A3:
1/1.000
0 10 20 30m
NUMÉRICA GRÁFICA

FECHA:
JULIO 2021

Nº DE PLANO:
An4 Ap2.1.2

Nº DE HOJA:
HOJA 2 DE 3

TÍTULO DE PLANO:
ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
ESTACIÓN CAMPO DE LAS NACIONES
PLANTA SITUACIÓN DE INVESTIGACIONES. ALTERNATIVA 2

TÉRMINO MUNICIPAL MADRID

SOLAPE DE HOJA

ESTACIÓN CAMPO DE LAS NACIONES

PS - 02
AVD. CONSEJO DE EUROPA
L= 45,27 m
(AMPLIACIÓN)

MURO M01

VÍA 1

ODT - 02
(PROLONGACIÓN)

ODT - 03
(PROLONGACIÓN)

ODT - 04
(PROLONGACIÓN)

0+700

0+800

0+900

1+000

1+040.691

7+200

7+800

7+900

8+000

C/ LA RIBERA DEL LOIRA

AVD. CONSEJO DE EUROPA

CARRIL BICI

FTE. DE LA MORA

SAN FERNANDO DE HENARES

X=441800 Y=4479050

X=441800 Y=4478900

X=441700 Y=4478900

X=441800 Y=4478800

LEYENDA

- SITUACIÓN ACTUAL
- ACTUACIONES PREVISTAS VÍAS ESTUDIO INFORMATIVO
- SITUACIÓN ACTUAL AFECTADA POR ESTUDIO INFORMATIVO

DISTRIBUCIÓN DE HOJAS

1 | 2 | 3

FTE. DE LA MORA — SAN FERNANDO DE HENARES

Z:\PROYECTOS 2020\F-2020.36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-1\2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap2-CANACIONES\An4Ap2.1.2-CN 2-PLANTA.dwg

GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS

DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TÍTULO PROYECTO:

ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES

AUTOR DEL ESTUDIO:

ineco

ESCALA ORIGINAL A3:

1/1,000

0 10 20 30m

NUMÉRICA GRÁFICA

FECHA:

JULIO 2021

Nº DE PLANO:

An4 Ap2.1.2

Nº DE HOJA:

HOJA 3 DE 3

TÍTULO DE PLANO:

ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
ESTACIÓN CAMPO DE LAS NACIONES
PLANTA SITUACIÓN DE INVESTIGACIONES. ALTERNATIVA 2

2.2. PLANTA Y PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL.

ALTERNATIVA 1

LITOLOGÍA

RELLENOS ANTRÓPICOS

R RELLENO ANTRÓPICO DE VIALES

TERCIARIO

MIOCENO

Am ARENAS ARCÓSICAS DE GRANO GRUESO. "ARENA DE MIGA"

At ARENAS ARCÓSICAS DE GRANO MEDIO A GRUESO. "ARENA TOSQUIZA"

SIMBOLOGÍA

CONTACTO CONCORDANTE

CONTACTO DISCORDANTE

CAMPAÑAS RECOPILADAS

P-01 ENSAYOS DE PENETRACIÓN DINÁMICA (DPSH)

C-01 CALICATAS MECÁNICAS

CAMPAÑAS REALIZADAS

S-01 SONDEOS MECÁNICOS

P-01 ENSAYOS DE PENETRACIÓN DINÁMICA (DPSH)

Z:\PROYECTOS 2020\F-2020 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-\2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap2-C-NACIONES\An4Ap2.2-PL-PF-GEOL ALT1.CN.dwg

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TÍTULO PROYECTO:
ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES

AUTOR DEL ESTUDIO:
ineco

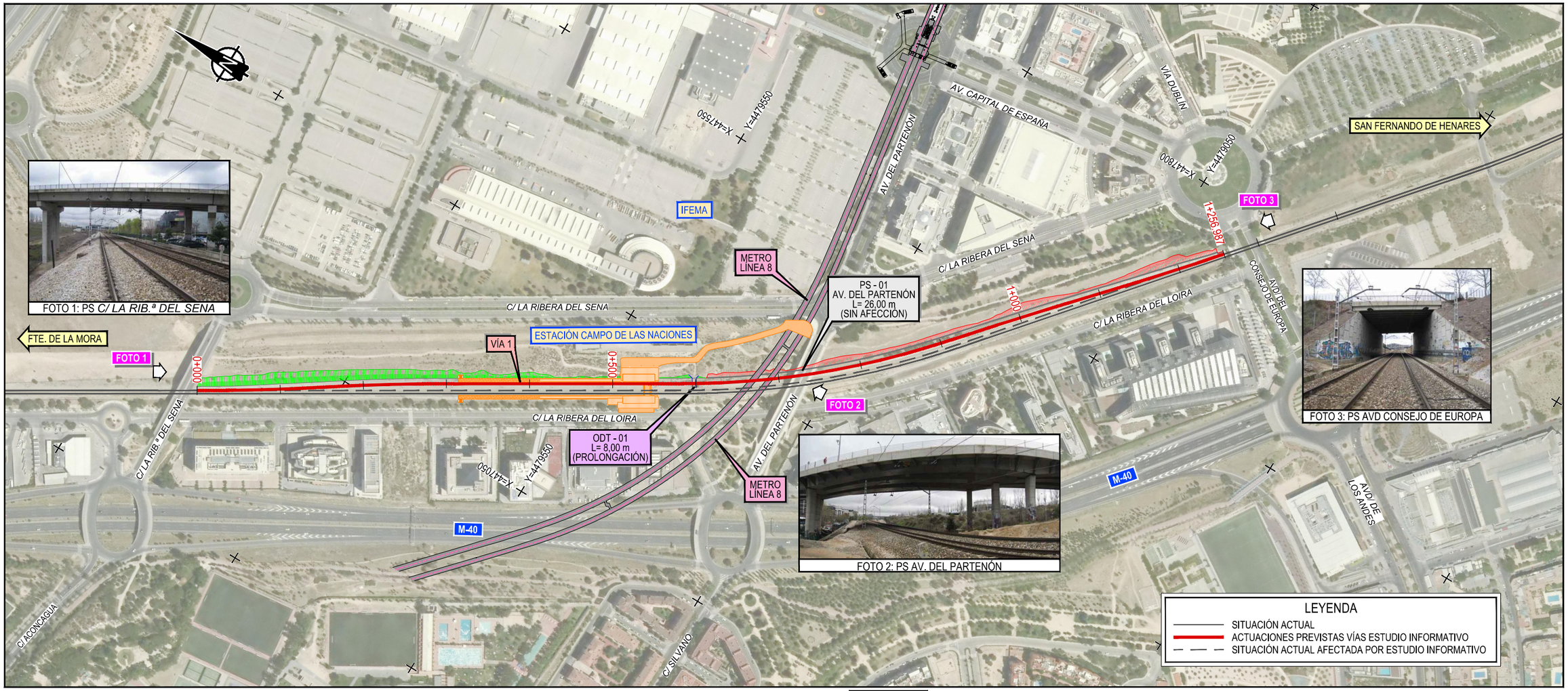
ESCALA ORIGINAL A3:
1/5,000 0 50 100 150m
1/1.000 0 10 20 30m
NUMÉRICA GRÁFICA

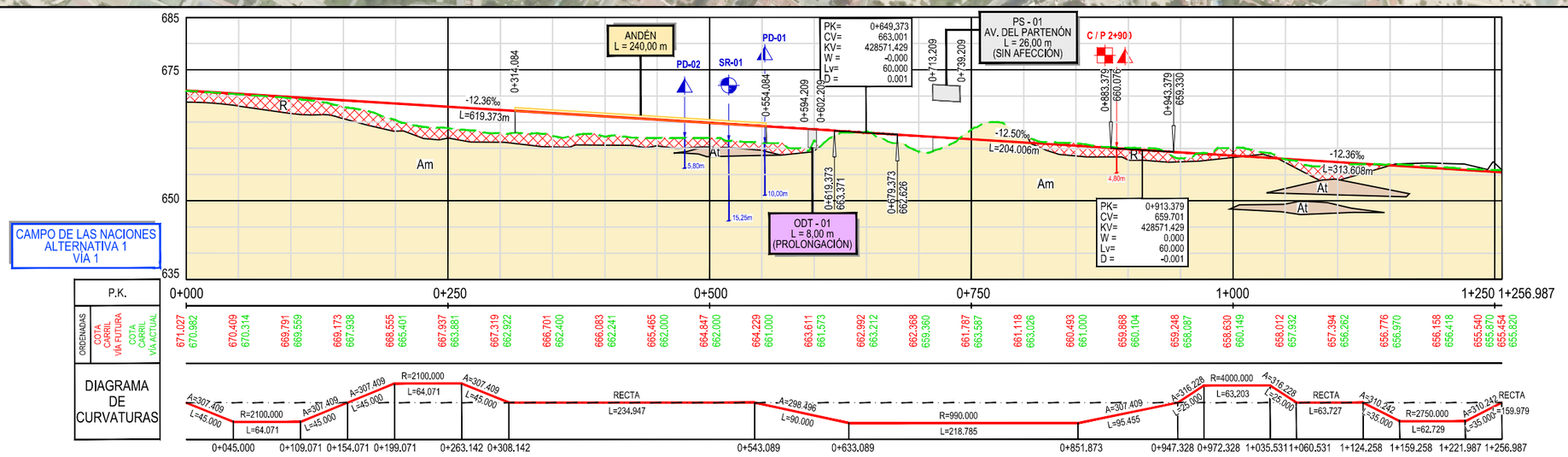
FECHA:
JULIO 2021

Nº DE PLANO:
An4 Ap2.2

Nº DE HOJA:
HOJA 1 DE 2

TÍTULO DE PLANO:
ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
ESTACIÓN CAMPO DE LAS NACIONES
PLANTA Y PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL. ALTERNATIVA 1





GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA	SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA	TÍTULO PROYECTO: ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES	AUTOR DEL ESTUDIO: ineco	ESCALA ORIGINAL A3: 1/5.000 1/1.000 NUMÉRICA 0 50 100 150m 0 10 20 30m GRÁFICA	FECHA: JULIO 2021	Nº DE PLANO: An4 Ap2.2 Nº DE HOJA: HOJA 2 DE 2	TÍTULO DE PLANO: ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA ESTACIÓN CAMPO DE LAS NACIONES PLANTA Y PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL. ALTERNATIVA 1

Z:\PROYECTOS 2020\F-2020 36-APEBADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-V2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap2-C-NACIONES\An4Ap2.2-PL-PF-GEOL-ALT1.CN.dwg

2.3. PLANTA Y PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL.

ALTERNATIVA 2

LITOLOGÍA

RELLENOS ANTRÓPICOS

R RELLENO ANTRÓPICO DE VIALES

TERCIARIO

MIOCENO

Am ARENAS ARCÓSICAS DE GRANO GRUESO. "ARENA DE MIGA"

At ARENAS ARCÓSICAS DE GRANO MEDIO A GRUESO. "ARENA TOSQUIZA"

SIMBOLOGÍA

CONTACTO CONCORDANTE

CONTACTO DISCORDANTE

CAMPAÑAS RECOPILADAS

P-01 ENSAYOS DE PENETRACIÓN DINÁMICA (DPSH)

C-01 CALICATAS MECÁNICAS

CAMPAÑAS REALIZADAS

S-01 SONDEOS MECÁNICOS

P-01 ENSAYOS DE PENETRACIÓN DINÁMICA (DPSH)

Z:\PROYECTOS 2020\F-2020 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-\2DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap2-C-NACIONES\An4Ap2.3-PL-PF-GEOL ALT2.CN.dwg

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TÍTULO PROYECTO:
ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES

AUTOR DEL ESTUDIO:
ineco

ESCALA ORIGINAL A3:
1/5,000 — 0 50 100 150m
1/1.000 — 0 10 20 30m
NUMÉRICA GRÁFICA

FECHA:
JULIO 2021

Nº DE PLANO:
An4 Ap2.3

Nº DE HOJA:
HOJA 1 DE 2

TÍTULO DE PLANO:
ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
ESTACIÓN CAMPO DE LAS NACIONES
PLANTA Y PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL. ALTERNATIVA 2

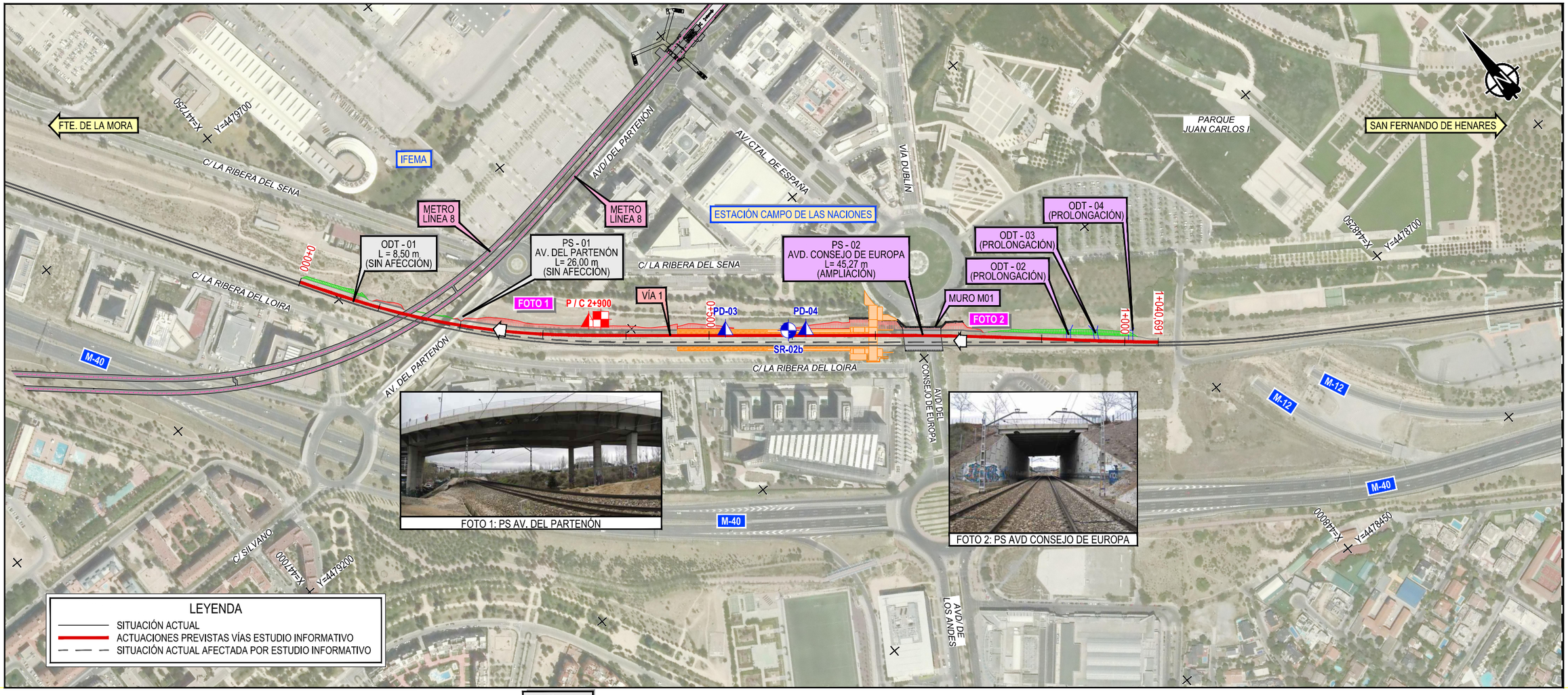
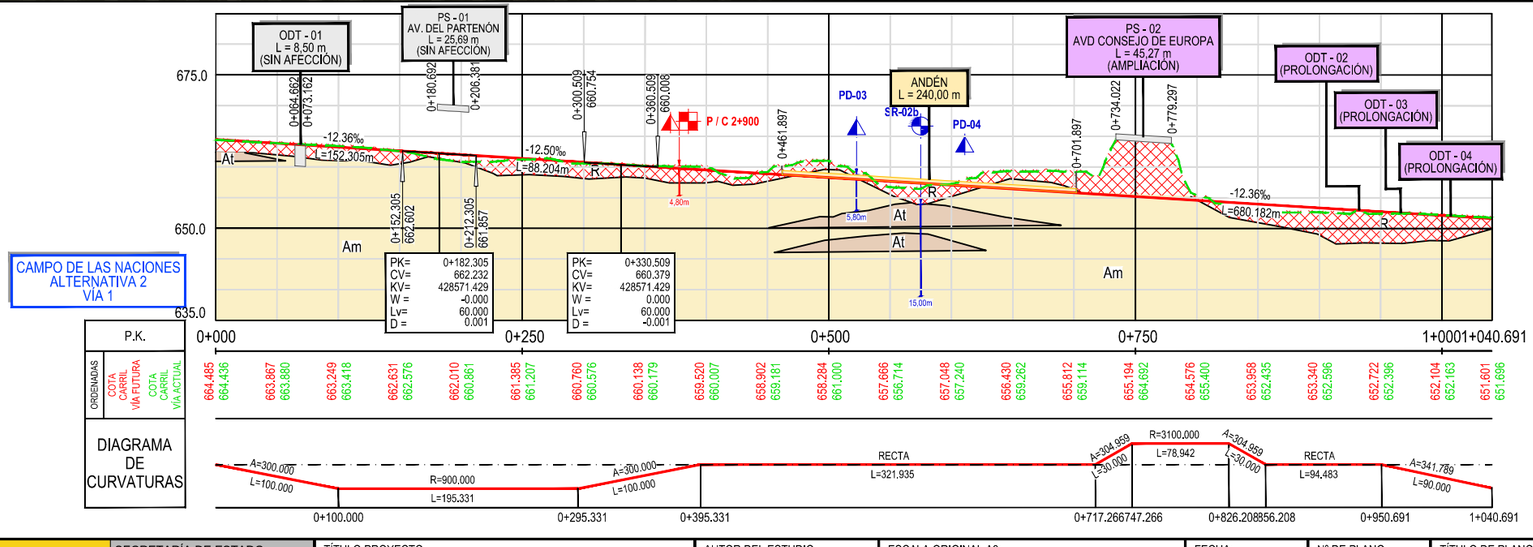


FOTO 1: PS AV. DEL PARTENÓN

FOTO 2: PS AVD CONSEJO DE EUROPA



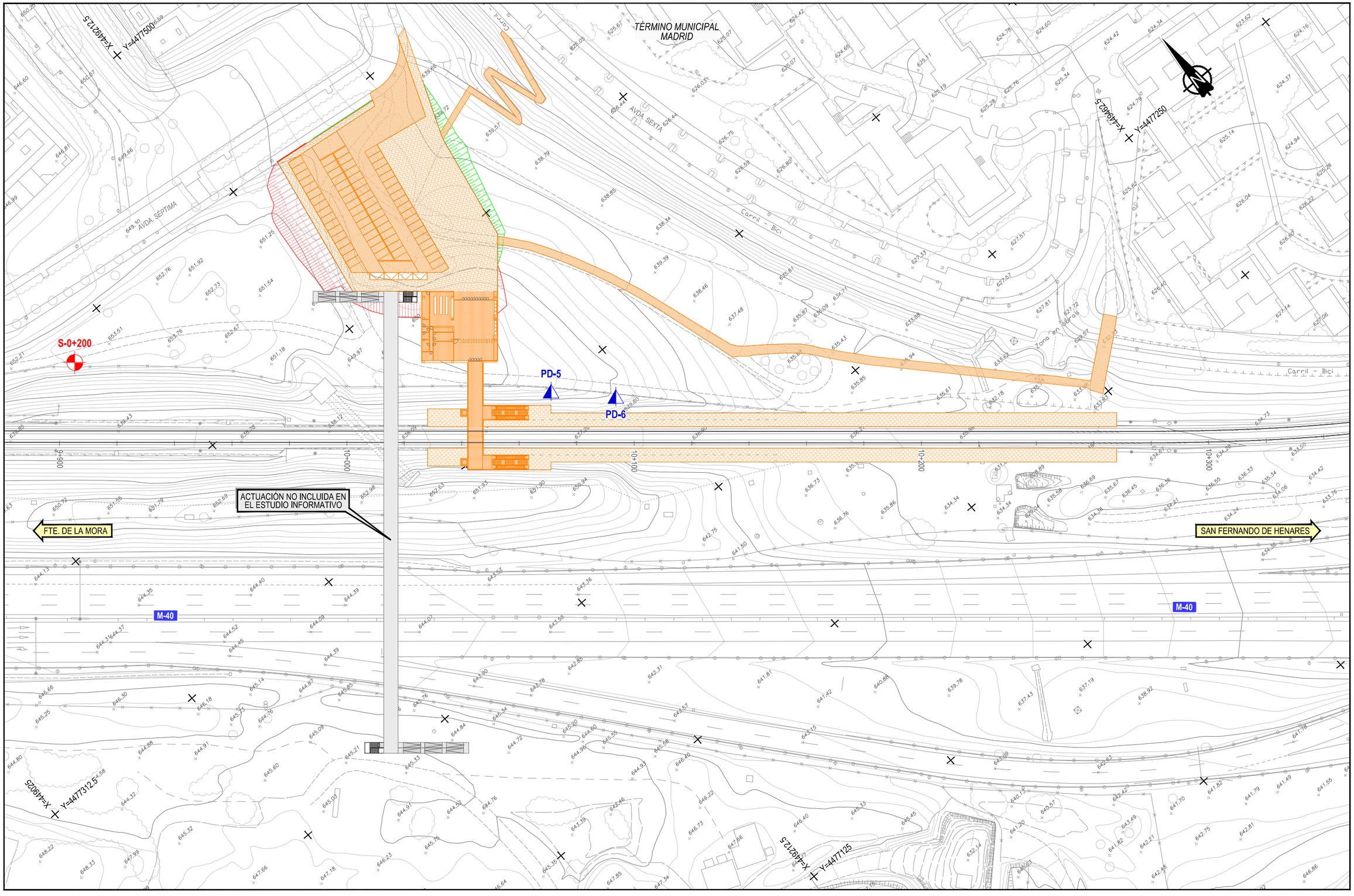
GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA	SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA	TÍTULO PROYECTO: ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES	AUTOR DEL ESTUDIO: ineco	ESCALA ORIGINAL A3: 1/5.000 1/1.000 0 50 100 150m 0 10 20 30m NUMÉRICA GRÁFICA	FECHA: JULIO 2021	Nº DE PLANO: An4 Ap2.3 Nº DE HOJA: HOJA 2 DE 2	TÍTULO DE PLANO: ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA ESTACIÓN CAMPO DE LAS NACIONES PLANTA Y PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL. ALTERNATIVA 2

Z:\PROYECTOS 2020\F-2020.36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO+V2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap2-C.NACIONES\An4Ap2.3-PL-PF-GEOL.ALT2.CN.dwg

APÉNDICE 3. REJAS

3.1. PLANTA DE SITUACIÓN DE INVESTIGACIONES

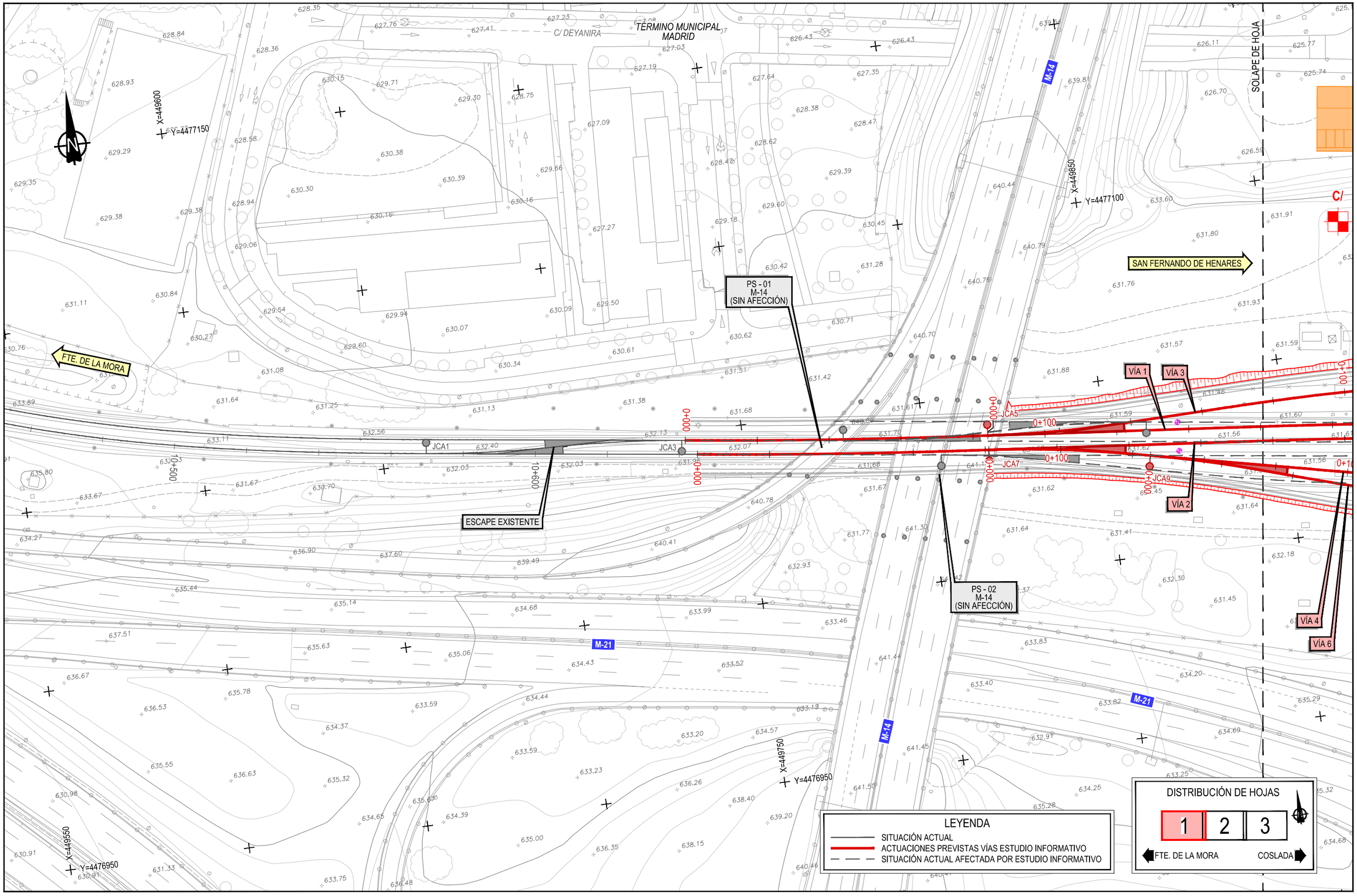
3.1.1. ALTERNATIVA 1



GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA	SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA	TÍTULO PROYECTO: ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES	AUTOR DEL ESTUDIO: ineco	ESCALA ORIGINAL A3: 1/1.250 0 12.5 25 37.5m NUMÉRICA GRÁFICA	FECHA: JULIO 2021	Nº DE PLANO: An4 Ap3.1.1 Nº DE HOJA: HOJA 1 DE 1	TÍTULO DE PLANO: ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA ESTACIÓN REJAS PLANTA DE SITUACIÓN DE INVESTIGACIONES. ALTERNATIVA 1

Z:\PROYECTOS 2020\F-2020 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-Y2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap3-REJAS\An4Ap3.1.1-REJAS 1-PLANTA.dwg

3.1.2. ALTERNATIVA 2



Z:\PROYECTOS 2020\F-2020 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-1\2DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap3-REJAS\An4Ap3.1.2-REJAS 2-PLANTA.dwg

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TÍTULO PROYECTO:
ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES

AUTOR DEL ESTUDIO:
ineco

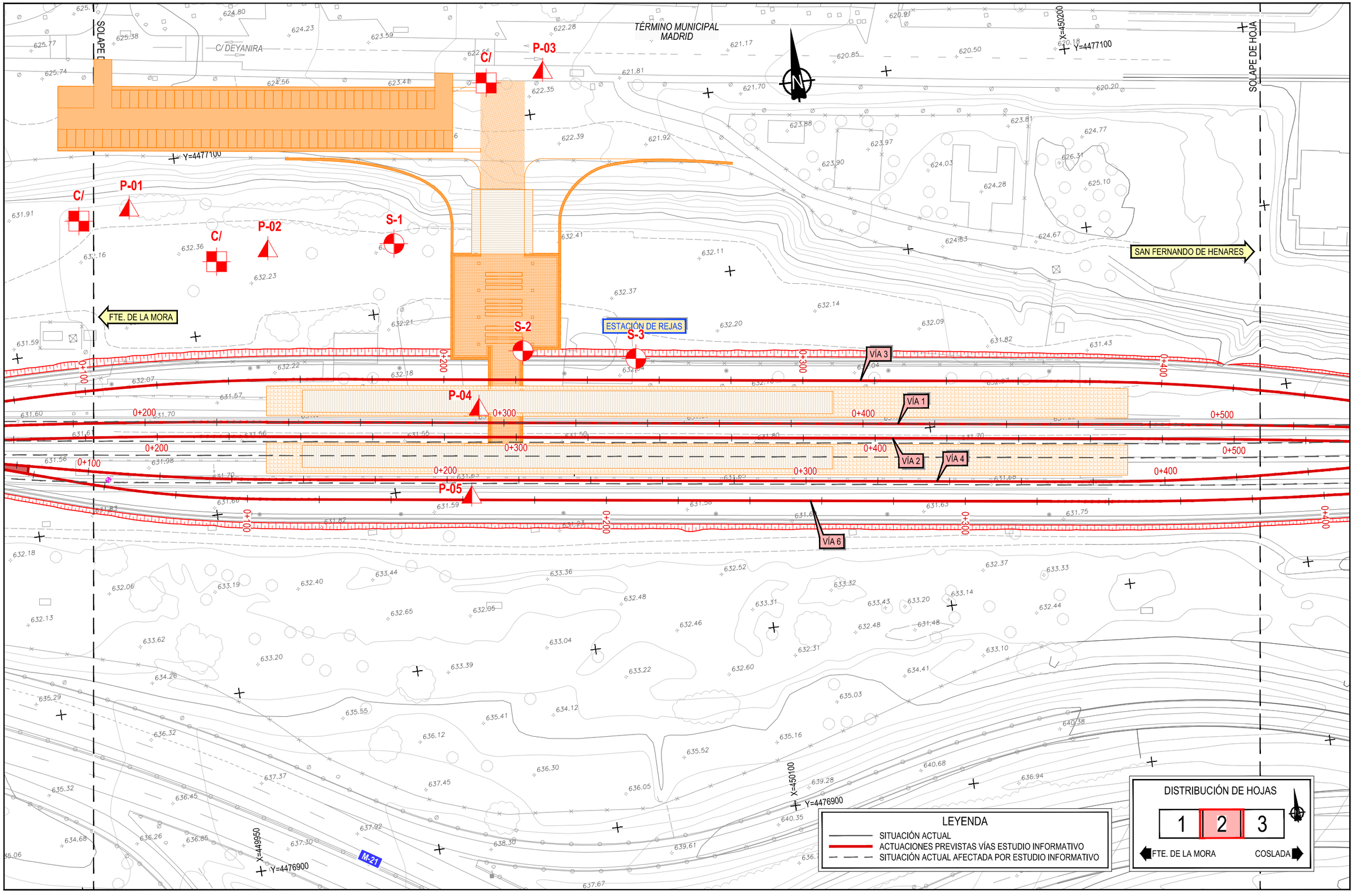
ESCALA ORIGINAL A3:
1/1.000
0 10 20 30m
NUMÉRICA GRÁFICA

FECHA:
JULIO 2021

Nº DE PLANO:
An4 Ap3.1.2

Nº DE HOJA:
HOJA 1 DE 3

TÍTULO DE PLANO:
ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
ESTACIÓN REJAS
PLANTA DE SITUACIÓN DE INVESTIGACIONES. ALTERNATIVA 2



GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA	SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA	TÍTULO PROYECTO: ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES	AUTOR DEL ESTUDIO: ineco	ESCALA ORIGINAL A3: 1/1.000 0 10 20 30m NUMÉRICA GRÁFICA	FECHA: JULIO 2021	Nº DE PLANO: An4 Ap3.1.2 Nº DE HOJA: HOJA 2 DE 3	TÍTULO DE PLANO: ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA ESTACIÓN REJAS PLANTA DE SITUACIÓN DE INVESTIGACIONES. ALTERNATIVA 2

Z:\PROYECTOS 2020\F-2020 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-V2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap3-REJAS\An4Ap3.1.2-REJAS 2-PLANTA.dwg

TÉRMINO MUNICIPAL MADRID

C/ DEYANIRA

SOLAPE DE HOJA

X=450300
Y=4477050

X=450600
Y=4477050

POLÍGONO INDUSTRIAL "LAS MERCEDES"

C/ CAMPEZO

FTE. DE LA MORA

SAN FERNANDO DE HENARES

VÍA 1
VÍA 3
VÍA 2
VÍA 4
VÍA 6

0+500
0+600
0+400
0+535.223
0+535.713
0+535.746
0+692.376
0+688.964
0+600

JCA8
JCA6
JCA4
JCA2

ESCAPE EXISTENTE

ODT - 01
(SIN AFECCIÓN)

PI - 01
C/ CAMPEZO
(SIN AFECCIÓN)

11+400
11+500

X=450350
Y=4476850

X=450500
Y=4476850

DISTRITO DE SAN BLAS

LEYENDA

- SITUACIÓN ACTUAL
- ACTUACIONES PREVISTAS VÍAS ESTUDIO INFORMATIVO
- SITUACIÓN ACTUAL AFECTADA POR ESTUDIO INFORMATIVO

DISTRIBUCIÓN DE HOJAS

1	2	3

FTE. DE LA MORA — COSLADA

Z:\PROYECTOS 2020\F-2020 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-V2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap3-REJAS\An4Ap3.1.2-REJAS 2-PLANTA.dwg

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TÍTULO PROYECTO:
ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES

AUTOR DEL ESTUDIO:
ineco

ESCALA ORIGINAL A3:
1/1,000
0 10 20 30m
NUMÉRICA GRÁFICA

FECHA:
JULIO 2021

Nº DE PLANO:
An4 Ap3.1.2

Nº DE HOJA:
HOJA 3 DE 3

TÍTULO DE PLANO:
ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
ESTACIÓN REJAS
PLANTA DE SITUACIÓN DE INVESTIGACIONES. ALTERNATIVA 2

3.2. PLANTA Y PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL.

ALTERNATIVA 1

LITOLOGÍA

RELLENOS ANTRÓPIOS

R RELLENO ANTRÓPICO DE VIALES

TERCIARIO

MIOCENO

Am ARENAS ARCÓSICAS DE GRANO GRUESO. "ARENA DE MIGA"

At ARENAS ARCÓSICAS DE GRANO MEDIO A GRUESO. "ARENA TOSQUIZA"

C ARENAS FINAS CON LIMOS. "CAYUELA"

P ARCILLAS Y MARGAS AZUL GRISÁCEAS. "PEÑUELA"

G ARENAS Y ARCILLAS ARENOSAS AMARILLENTAS. "GREDAS"

SIMBOLOGÍA

CONTACTO CONCORDANTE

CONTACTO DISCORDANTE

N.F. NIVEL FREÁTICO

CAMPAÑAS RECOPILADAS

S-01 SONDEOS MECÁNICOS

P-01 ENSAYOS DE PENETRACIÓN DINÁMICA (DPSH)

C-01 CALICATAS MECÁNICAS

CAMPAÑAS REALIZADAS

P-01 ENSAYOS DE PENETRACIÓN DINÁMICA (DPSH)

Z:\PROYECTOS 2020\F-2020.36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-Y-2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap3-REJAS\An4Ap3.2-PLJPF-GEOL_ALT1-REJAS.dwg

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TÍTULO PROYECTO:
ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES

AUTOR DEL ESTUDIO:
ineco

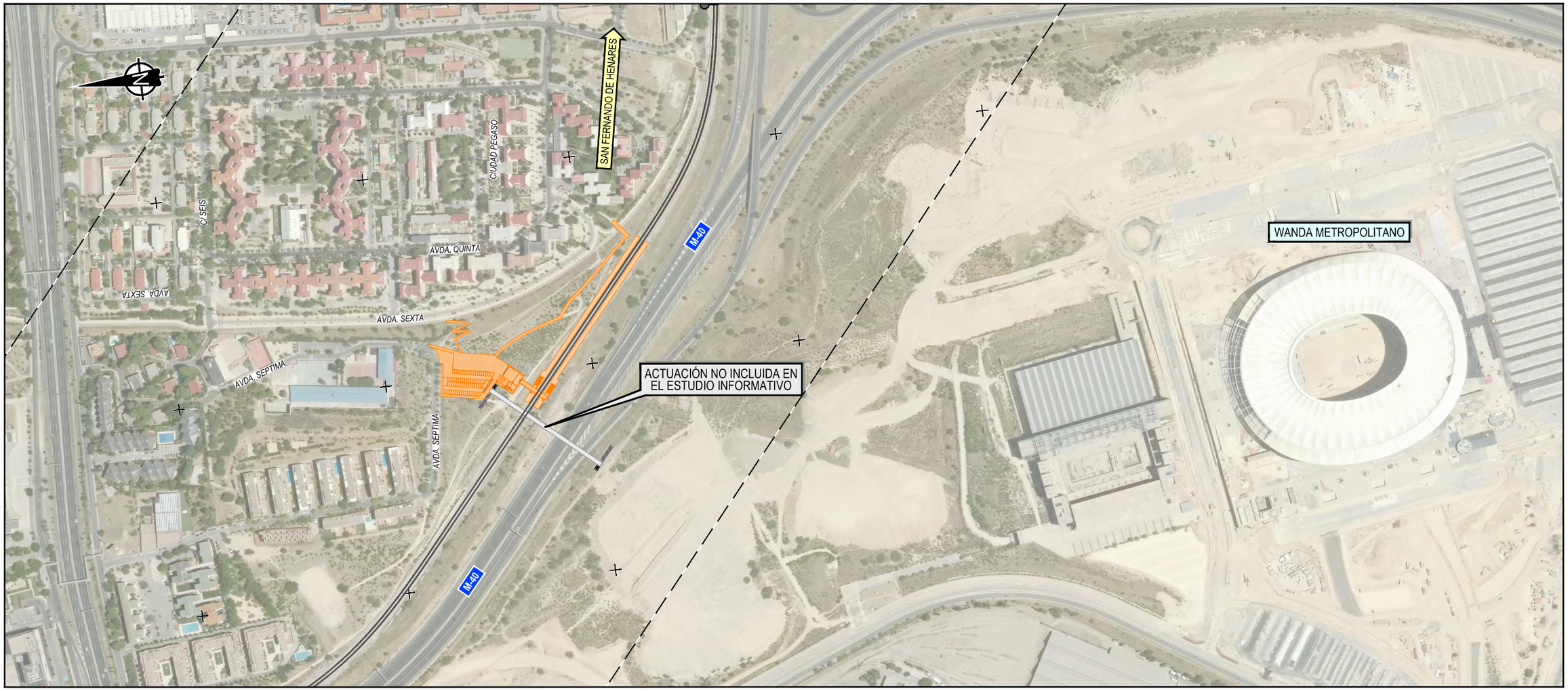
ESCALA ORIGINAL A3:
1/5,000 — 0 50 100 150m
1/1.000 — 0 10 20 30m
NUMÉRICA GRÁFICA

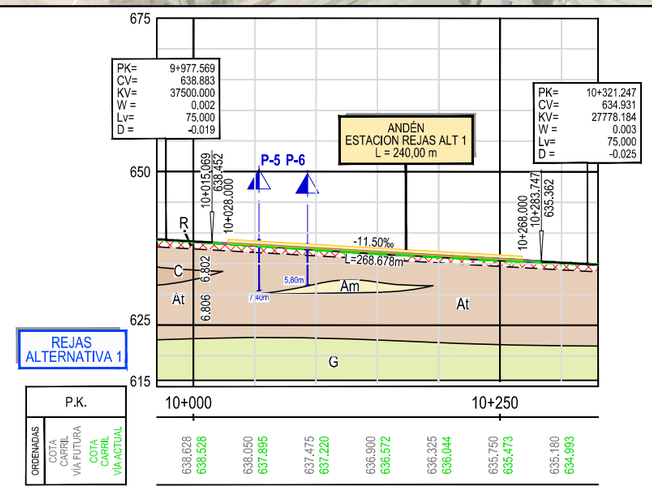
FECHA:
JULIO 2021

Nº DE PLANO:
An4 Ap3.2

Nº DE HOJA:
HOJA 1 DE 2

TÍTULO DE PLANO:
ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
ESTACIÓN CAMPO DE LAS NACIONES
PLANTA Y PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL. ALTERNATIVA 1





GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA	SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA	TÍTULO PROYECTO: ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES	AUTOR DEL ESTUDIO: ineco	ESCALA ORIGINAL A3: 1/5.000 0 50 100 150m 1/1.000 0 10 20 30m NUMÉRICA GRÁFICA	FECHA: JULIO 2021	Nº DE PLANO: An4 Ap3.2 Nº DE HOJA: HOJA 2 DE 2	TÍTULO DE PLANO: ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA ESTACIÓN REJAS PLANTA Y PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL. ALTERNATIVA 1

Z:\PROYECTOS 2020\F-2020 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-\2D0C 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap3-REJAS\An4Ap3.2-PL_PF-GEOL_ALT1.REJAS.dwg

3.3. PLANTA Y PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL.

ALTERNATIVA 2

LITOLOGÍA

RELLENOS ANTRÓPIOS

R RELLENO ANTRÓPICO DE VIALES

TERCIARIO

MIOCENO

Am ARENAS ARCÓSICAS DE GRANO GRUESO. "ARENA DE MIGA"

At ARENAS ARCÓSICAS DE GRANO MEDIO A GRUESO. "ARENA TOSQUIZA"

C ARENAS FINAS CON LIMOS. "CAYUELA"

P ARCILLAS Y MARGAS AZUL GRISÁCEAS. "PEÑUELA"

G ARENAS Y ARCILLAS ARENOSAS AMARILLENTAS. "GREDAS"

SIMBOLOGÍA

CONTACTO CONCORDANTE

CONTACTO DISCORDANTE

N.F. NIVEL FREÁTICO

CAMPAÑAS RECOPILADAS

S-01 SONDEOS MECÁNICOS

P-01 ENSAYOS DE PENETRACIÓN DINÁMICA (DPSH)

C-01 CALICATAS MECÁNICAS

CAMPAÑAS REALIZADAS

P-01 ENSAYOS DE PENETRACIÓN DINÁMICA (DPSH)

Z:\PROYECTOS 2020\F-2020.36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-Y-2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap3-REJAS\An4Ap3.3-PL-PF-GEOL_ALT2-REJAS.dwg

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TÍTULO PROYECTO:
ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES

AUTOR DEL ESTUDIO:
ineco

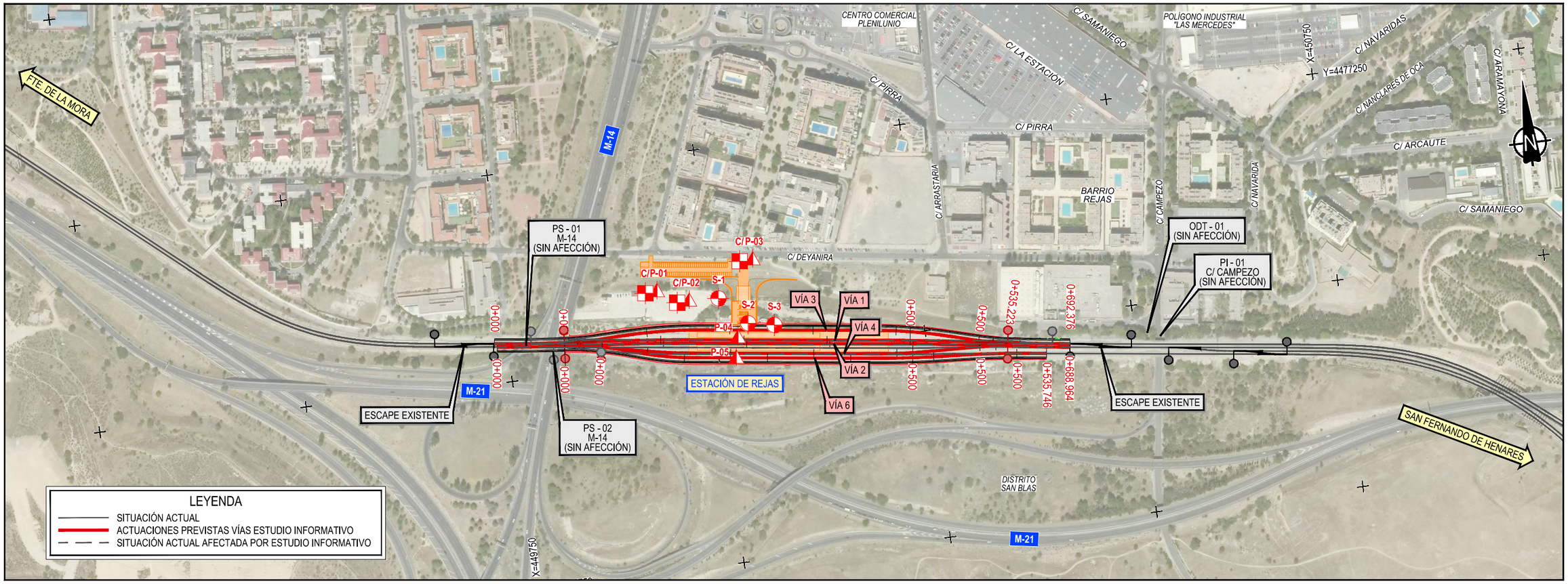
ESCALA ORIGINAL A3:
1/5,000 — 0 50 100 150m
1/1.000 — 0 10 20 30m
NUMÉRICA GRÁFICA

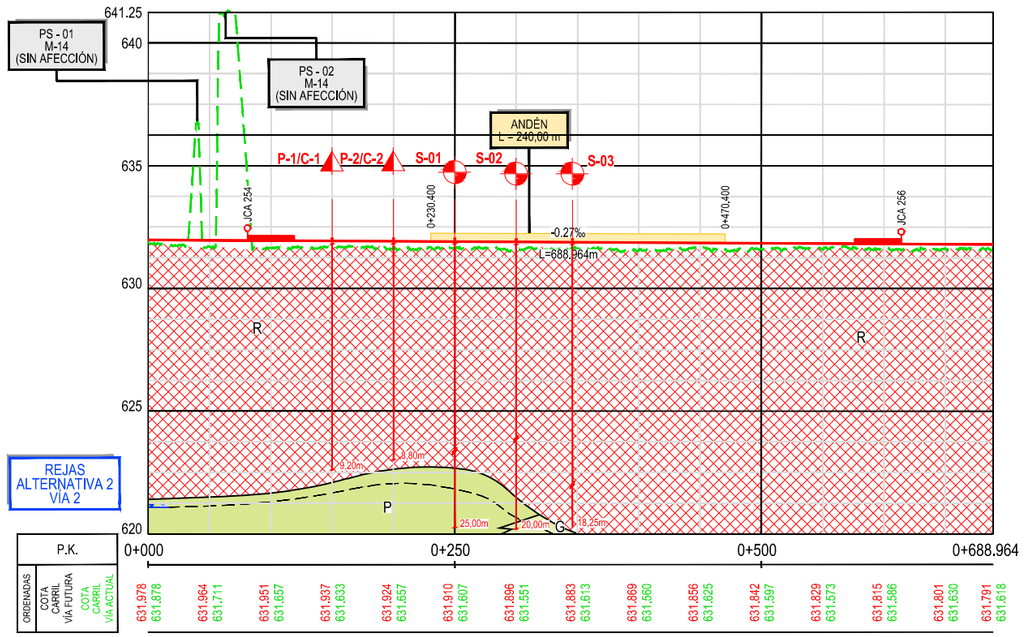
FECHA:
JULIO 2021

Nº DE PLANO:
An4 Ap3.3

Nº DE HOJA:
HOJA 1 DE 2

TÍTULO DE PLANO:
ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
ESTACIÓN CAMPO DE LAS NACIONES
PLANTA Y PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL. ALTERNATIVA 2





GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA	SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA	TÍTULO PROYECTO: ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES	AUTOR DEL ESTUDIO: ineco	ESCALA ORIGINAL A3: 1/5,000 (0 50 100 150m) 1/250 (0 2.5 5 7.5m) NUMÉRICA GRÁFICA	FECHA: JULIO 2021	Nº DE PLANO: An4 Ap3.3 Nº DE HOJA: HOJA 2 DE 2	TÍTULO DE PLANO: ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA ESTACIÓN REJAS PLANTA Y PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL. ALTERNATIVA 2

Z:\PROYECTOS 2020\F-2020.36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO+V2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap3-REJAS\An4Ap3.3-PL_PF-GEOL_ALT2.REJAS.dwg

APÉNDICE 4. SAN FERNANDO DE HENARES

4.1. PLANTA DE SITUACIÓN DE INVESTIGACIONES

4.1.1. ALTERNATIVA 1

TÉRMINO MUNICIPAL MADRID

TÉRMINO MUNICIPAL COSLADA

M-21

X=452500

Y=4476800

X=452000

Y=4476700

X=451900

Y=4476500

FTE. DE LA MORA

SAN FERNANDO DE HENARES

C-01

C-02

P-01

P-02

VÍA 1 (VÍA CONTORNO)

VÍA 2 (VÍA CONTORNO)

VIADUCTO - 01
CALLE DE LA RIOJA
L= 29,50 m

FERROCARRIL

C/ LA RIOJA

C/ HOLANDA

C/ SUECIA

LEYENDA

- SITUACIÓN ACTUAL
- VÍAS CERCANÍAS
- VÍAS MERCANCÍAS
- VÍAS TRÁFICO MIXTO
- SITUACIÓN ACTUAL AFECTADA

DISTRIBUCIÓN DE HOJAS

1 2 3 4 5

FTE. DE LA MORA — SAN FERNANDO DE HENARES

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TÍTULO PROYECTO:
ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES

AUTOR DEL ESTUDIO:
ineco

ESCALA ORIGINAL A3:
1/2.000
0 20 40 60m
NUMÉRICA GRÁFICA

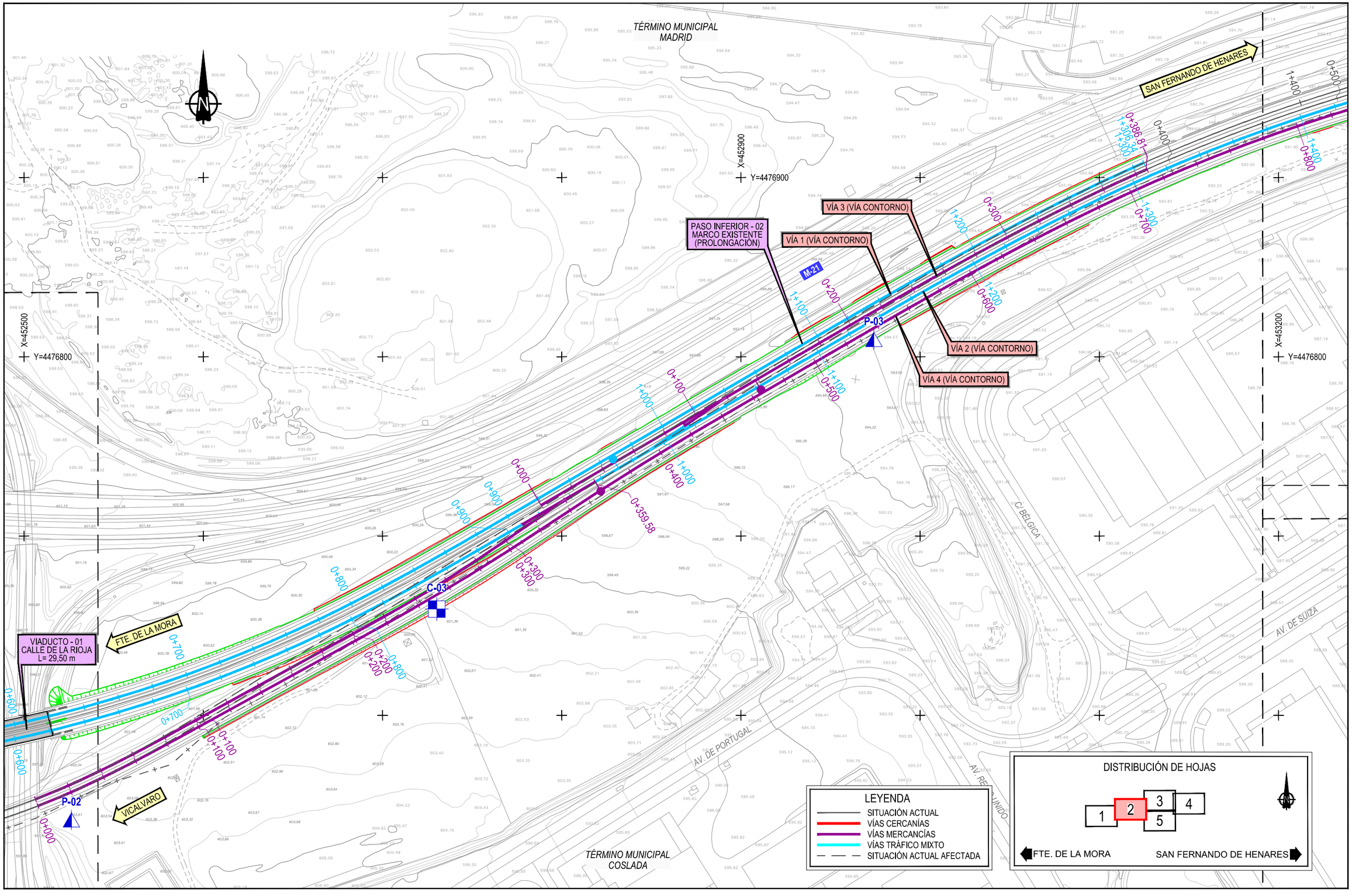
FECHA:
JULIO 2021

Nº DE PLANO:
An4Ap4.1.1

Nº DE HOJA:
HOJA 1 DE 5

TÍTULO DE PLANO:
ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
SALTO DE CARNERO SAN FERNANDO DE HENARES
PLANTA DE SITUACIÓN DE INVESTIGACIONES. ALTERNATIVA 1

Z:\PROYECTOS 2020\F-2020.36-APEADEROS CERCANÍAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO+2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap4-SAN FERNANDO\An4Ap4.1.1-SAN FER Pl-alt1.dwg



Z:\PROYECTOS 2020\F-2020.36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-\2D\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap4-SAN FERNANDO\An4Ap4.1.1-SAN FER Pla01.dwg

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TÍTULO PROYECTO:
ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES

AUTOR DEL ESTUDIO:
ineco

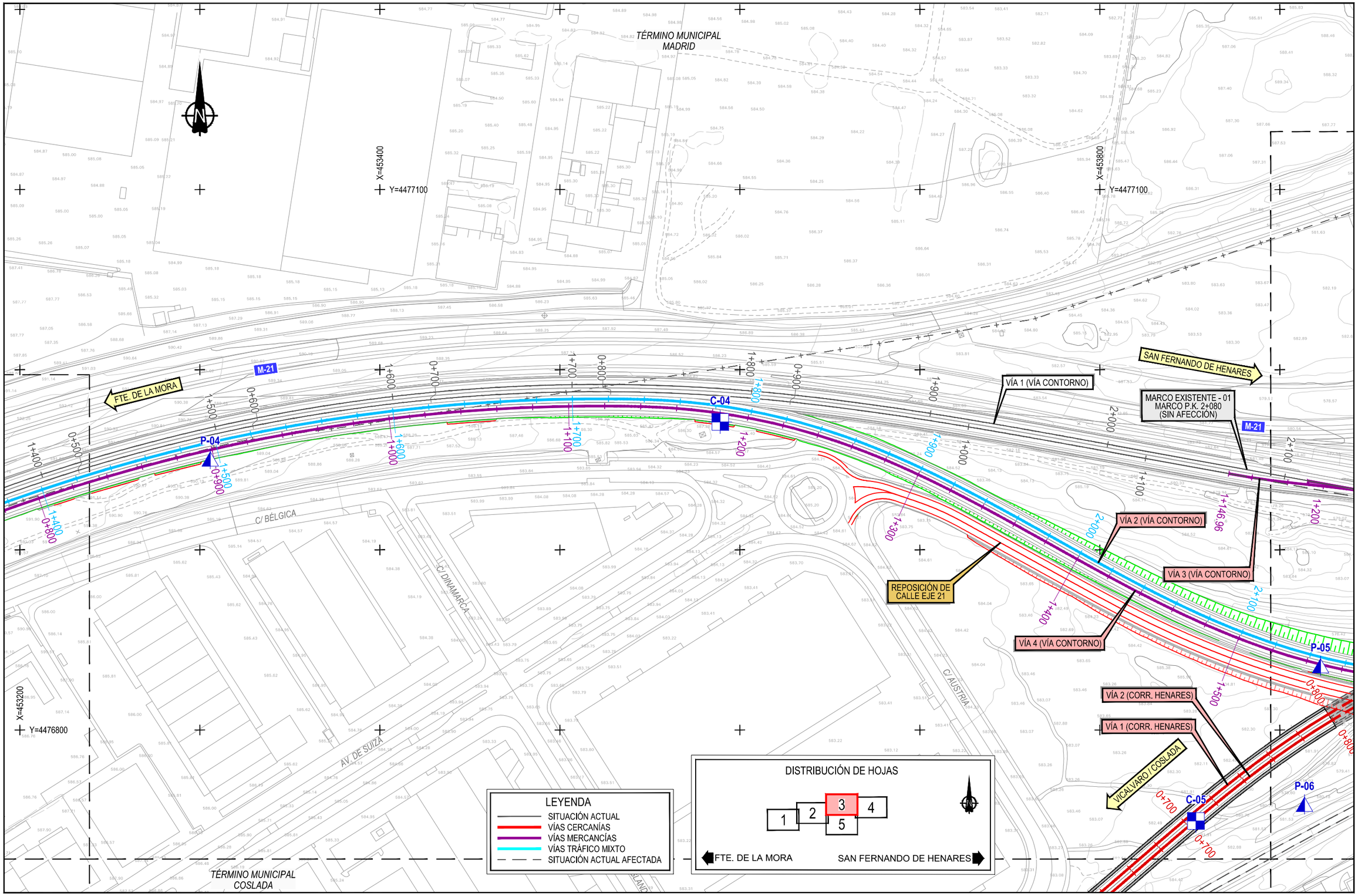
ESCALA ORIGINAL A3:
1/2.000
0 20 40 60m
NUMÉRICA GRÁFICA

FECHA:
JULIO 2021

Nº DE PLANO:
An4Ap4.1.1

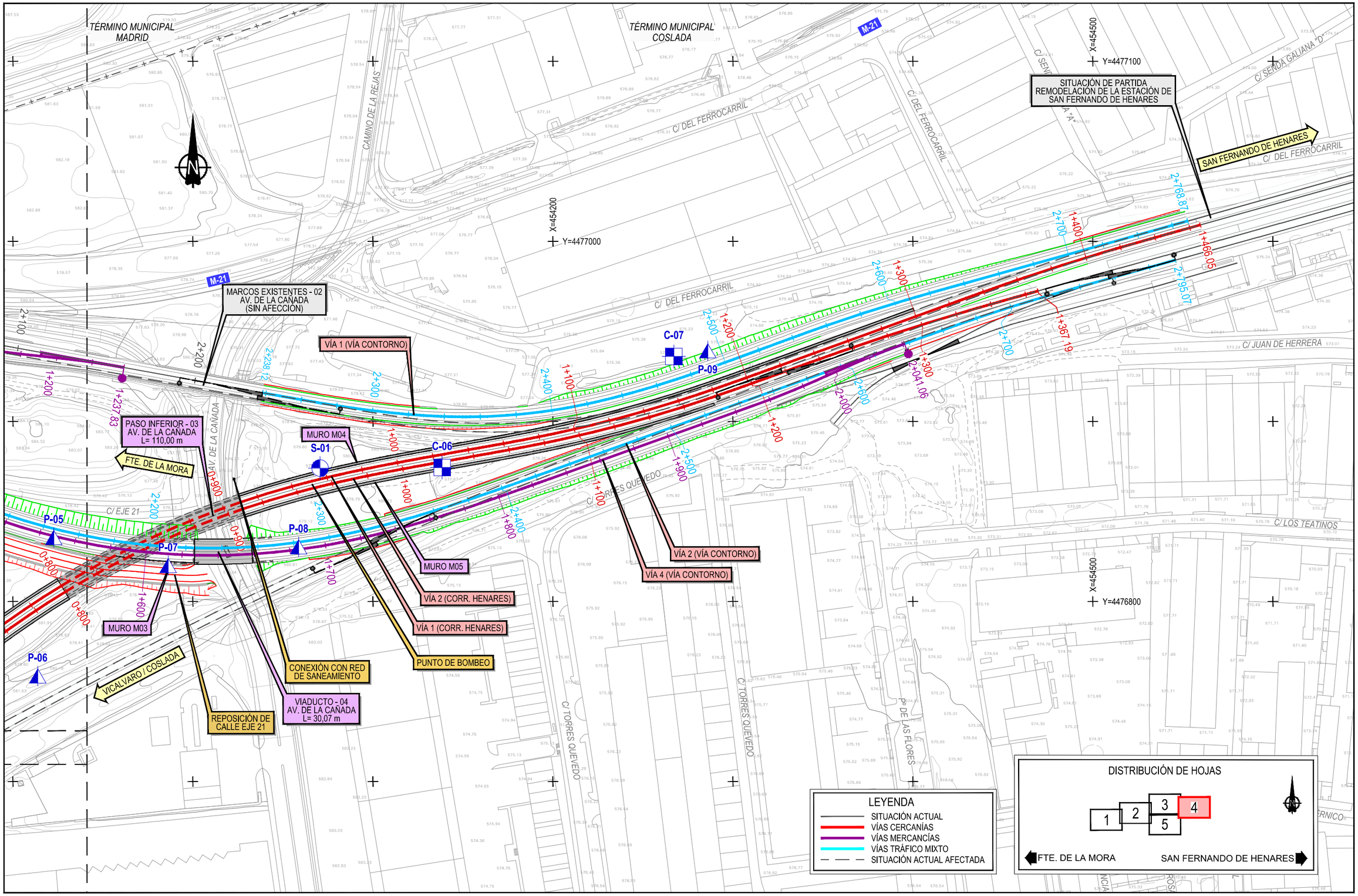
Nº DE HOJA:
HOJA 2 DE 5

TÍTULO DE PLANO:
ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
SALTO DE CARNERO SAN FERNANDO DE HENARES
PLANTA DE SITUACIÓN DE INVESTIGACIONES. ALTERNATIVA 1



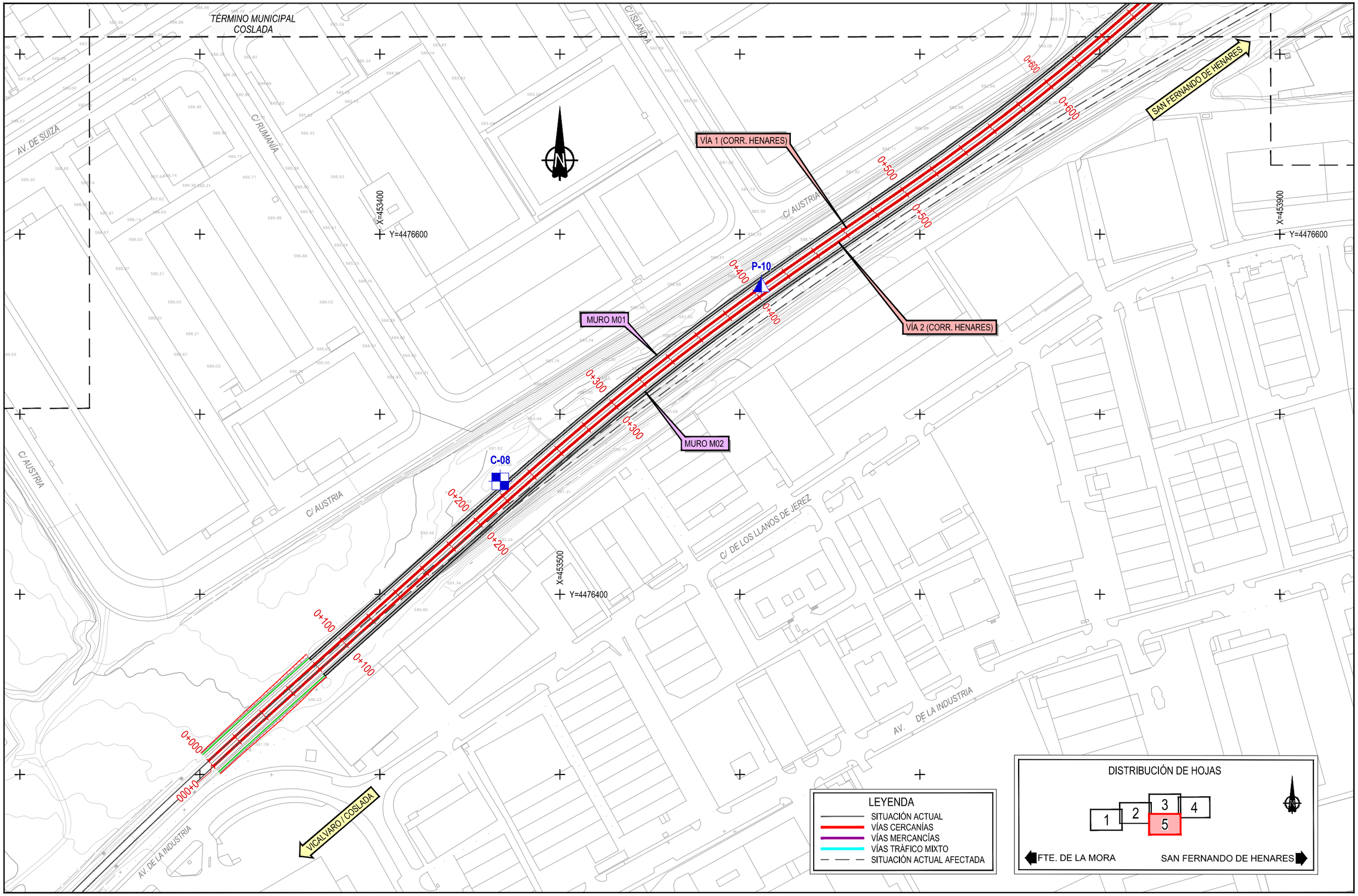
Z:\PROYECTOS 2020\F-2020 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-V2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap4-SAN FERNANDO\An4Ap4-1.1.-SAN FER Pl-alt1.dwg

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA	SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA	TÍTULO PROYECTO: ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES	AUTOR DEL ESTUDIO: ineco	ESCALA ORIGINAL A3: 1/2,000 0 20 40 60m NUMÉRICA GRÁFICA	FECHA: JULIO 2021	Nº DE PLANO: An4Ap4.1.1 Nº DE HOJA: HOJA 3 DE 5	TÍTULO DE PLANO: ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA SALTO DE CARNERO SAN FERNANDO DE HENARES PLANTA DE SITUACIÓN DE INVESTIGACIONES. ALTERNATIVA 1



GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA	SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA	TÍTULO PROYECTO: ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES	AUTOR DEL ESTUDIO: ineco	ESCALA ORIGINAL A3: 1/2.000 0 20 40 60m NUMÉRICA GRÁFICA	FECHA: JULIO 2021	Nº DE PLANO: An4Ap4.1.1 Nº DE HOJA: HOJA 4 DE 5	TÍTULO DE PLANO: ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA SALTO DE CARNERO SAN FERNANDO DE HENARES PLANTA DE SITUACIÓN DE INVESTIGACIONES. ALTERNATIVA 1

Z:\PROYECTOS 2020\F-2020 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO+V2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap4-SAN FERNANDO\An4ap4.1.1-SAN FER Pl-sit11.dwg



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TÍTULO PROYECTO:
ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES

AUTOR DEL ESTUDIO:
ineco

ESCALA ORIGINAL A3:
1/2,000
0 20 40 60m
NUMÉRICA GRÁFICA

FECHA:
JULIO 2021

Nº DE PLANO:
An4Ap4.1.1

Nº DE HOJA:
HOJA 5 DE 5

TÍTULO DE PLANO:
ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
SALTO DE CARNERO SAN FERNANDO DE HENARES
PLANTA DE SITUACIÓN DE INVESTIGACIONES. ALTERNATIVA 1

Z:\PROYECTOS 2020\F-2020.36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-V2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap4-SAN FERNANDO\An4Ap4.1.1-SAN FER Plait1.dwg

4.1.2. ALTERNATIVA 2

TÉRMINO MUNICIPAL MADRID

X=452500

Y=4476800

X=452000

Y=4476700

X=451900

Y=4476500

M-21

FTE. DE LA MORA

SAN FERNANDO DE HENARES

C-01

C-02

P-01

P-02

VIADUCTO - 01
CALLE DE LA RIOJA
L= 29,50 m

VÍA 1 (VÍA CONTORNO)

VÍA 2 (VÍA CONTORNO)

0+000

0+100

0+200

0+300

0+400

0+500

0+600

FERROCARRIL

C/ LA RIOJA

C/ HOLANDA

C/ SUECIA

TÉRMINO MUNICIPAL COSLADA

LEYENDA

- SITUACIÓN ACTUAL
- VÍAS CERCANÍAS
- VÍAS MERCANCÍAS
- VÍAS TRÁFICO MIXTO
- SITUACIÓN ACTUAL AFECTADA

DISTRIBUCIÓN DE HOJAS

1 | 2 | 3 | 4 | 5

FTE. DE LA MORA — SAN FERNANDO DE HENARES

Z:\PROYECTOS 2020\F-2020.36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO\2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap4-SAN FERNANDO\An4ap4.1.2-SAN FER PS-alt02.dwg

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TÍTULO PROYECTO:
ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES

AUTOR DEL ESTUDIO:
ineco

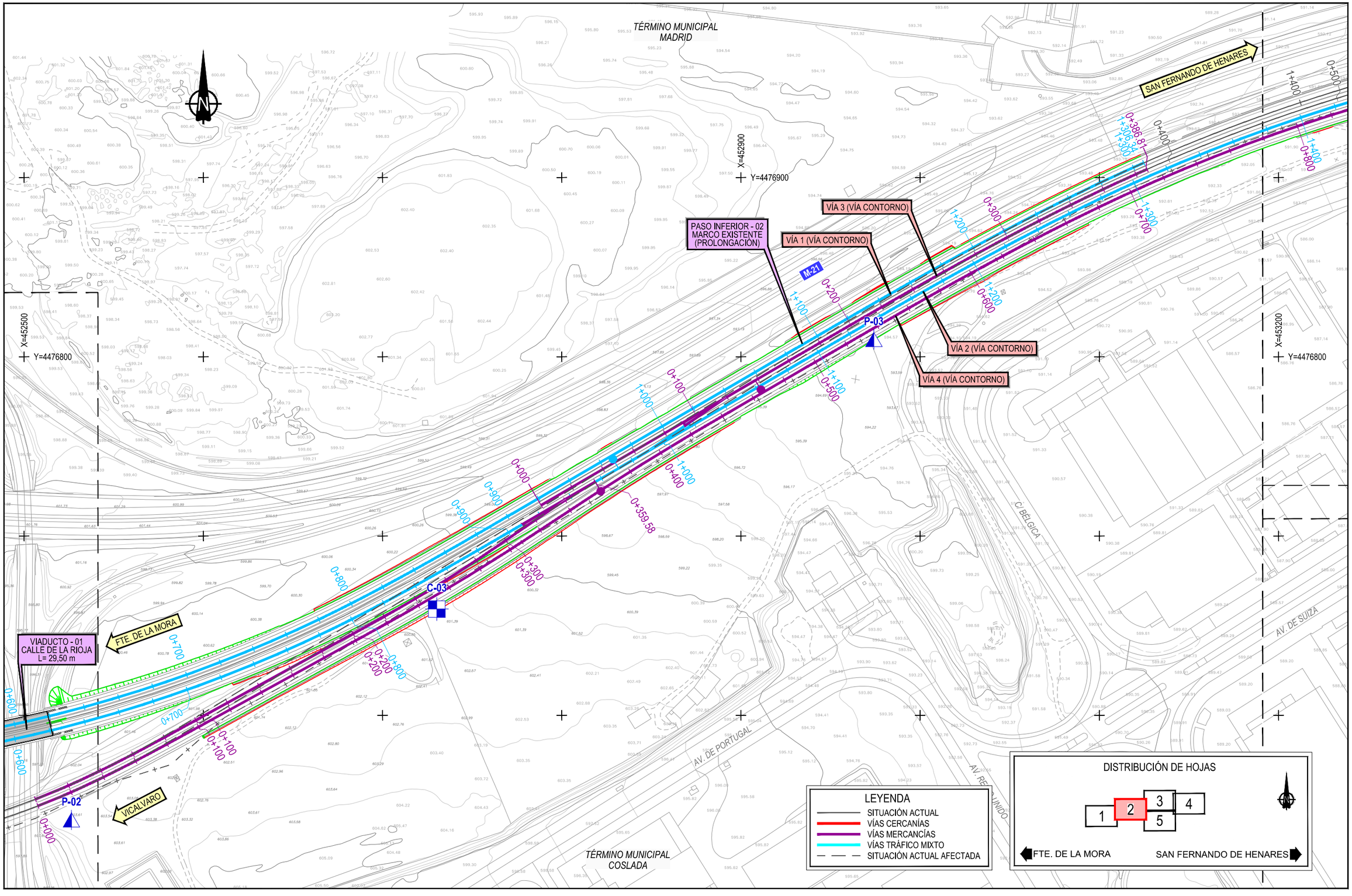
ESCALA ORIGINAL A3:
1/2.000
0 20 40 60m
NUMÉRICA GRÁFICA

FECHA:
JULIO 2021

Nº DE PLANO:
An4Ap4.1.2

Nº DE HOJA:
HOJA 1 DE 5

TÍTULO DE PLANO:
ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
SALTO DE CARNERO SAN FERNANDO DE HENARES
PLANTA DE SITUACIÓN DE INVESTIGACIONES. ALTERNATIVA 2



Z:\PROYECTOS 2020\F-2020.36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-\2D\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap4-SAN FERNANDO\An4Ap4.1.2-SAN FER PS-alt2.dwg

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TÍTULO PROYECTO:
ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES

AUTOR DEL ESTUDIO:
ineco

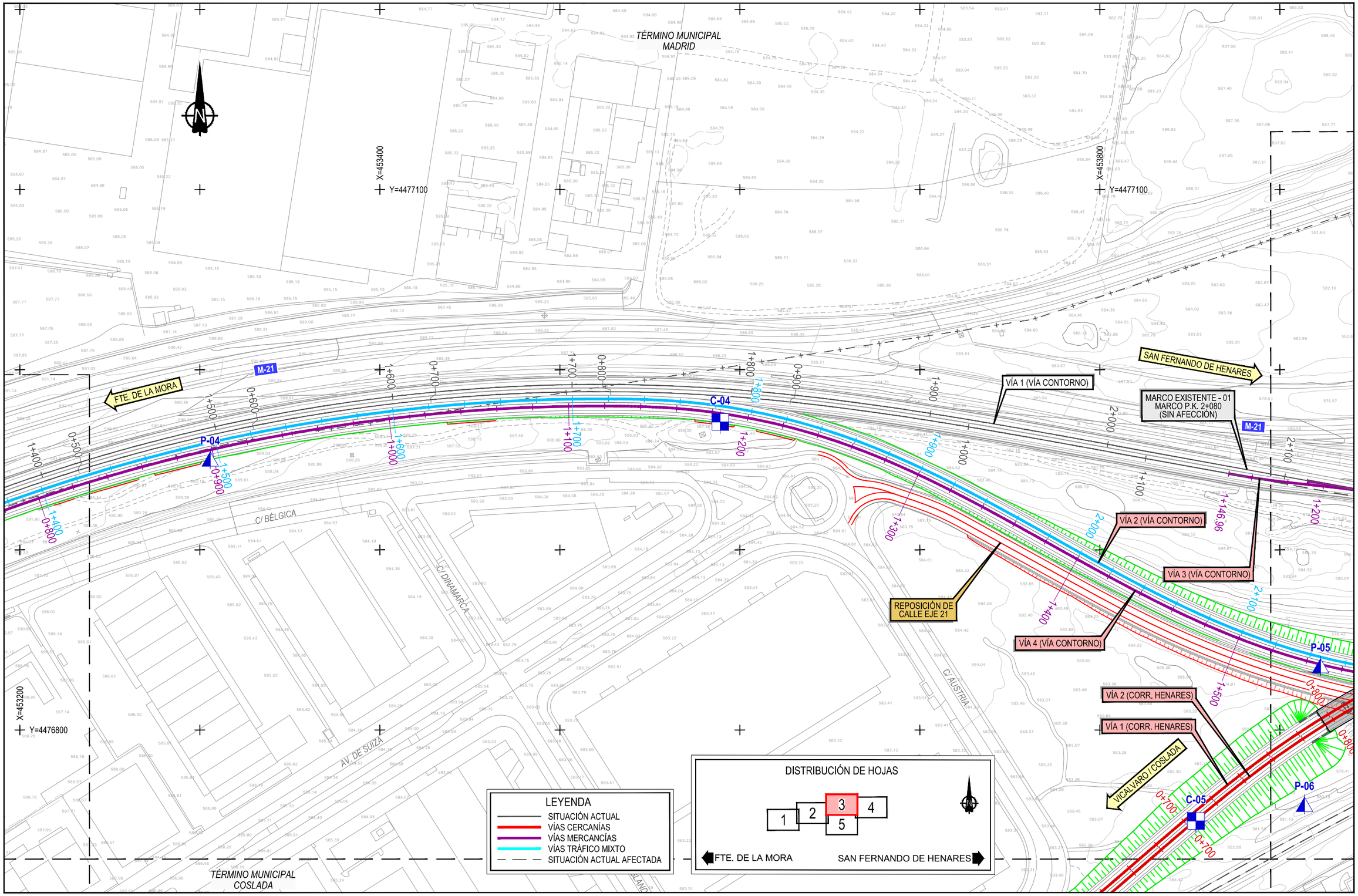
ESCALA ORIGINAL A3:
1/2.000
0 20 40 60m
NUMÉRICA GRÁFICA

FECHA:
JULIO 2021

Nº DE PLANO:
An4Ap4.1.2

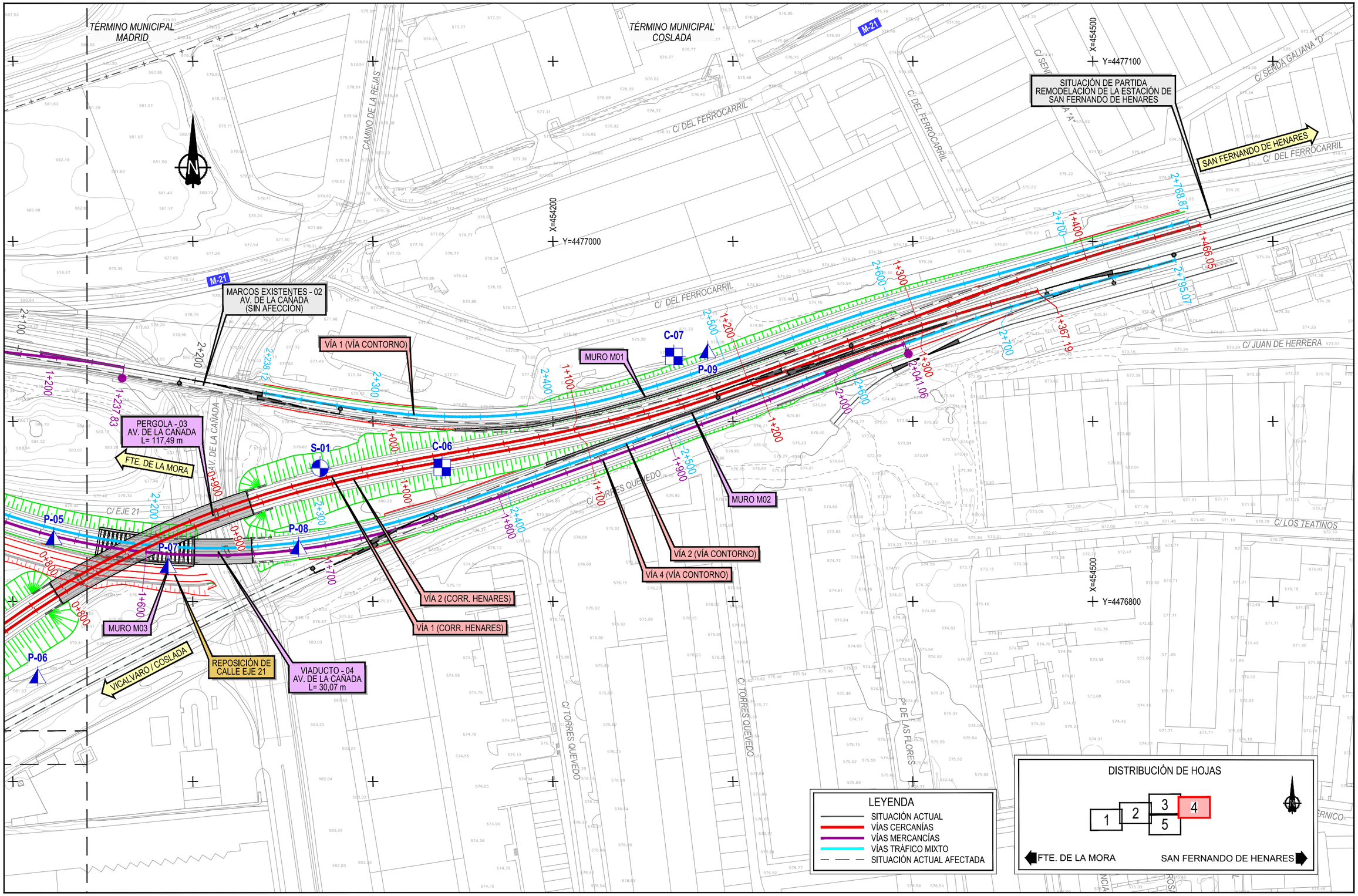
Nº DE HOJA:
HOJA 2 DE 5

TÍTULO DE PLANO:
ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
SALTO DE CARNERO SAN FERNANDO DE HENARES
PLANTA DE SITUACIÓN DE INVESTIGACIONES. ALTERNATIVA 2



Z:\PROYECTOS 2020\F-2020 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-V2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap4-SAN FERNANDO\An4Ap4-1,2-SAN FER PS-alt2.dwg

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA	SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA	TÍTULO PROYECTO: ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES	AUTOR DEL ESTUDIO: ineco	ESCALA ORIGINAL A3: 1/2,000 0 20 40 60m NUMÉRICA GRÁFICA	FECHA: JULIO 2021	Nº DE PLANO: An4Ap4.1.2 Nº DE HOJA: HOJA 3 DE 5	TÍTULO DE PLANO: ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA SALTO DE CARNERO SAN FERNANDO DE HENARES PLANTA DE SITUACIÓN DE INVESTIGACIONES. ALTERNATIVA 2



Z:\PROYECTOS 2020\F-2020 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-V2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap4-SAN FERNANDO\An4Ap4.1.2-SAN FER PS-alt2.dwg

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TÍTULO PROYECTO:
ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES

AUTOR DEL ESTUDIO:
ineco

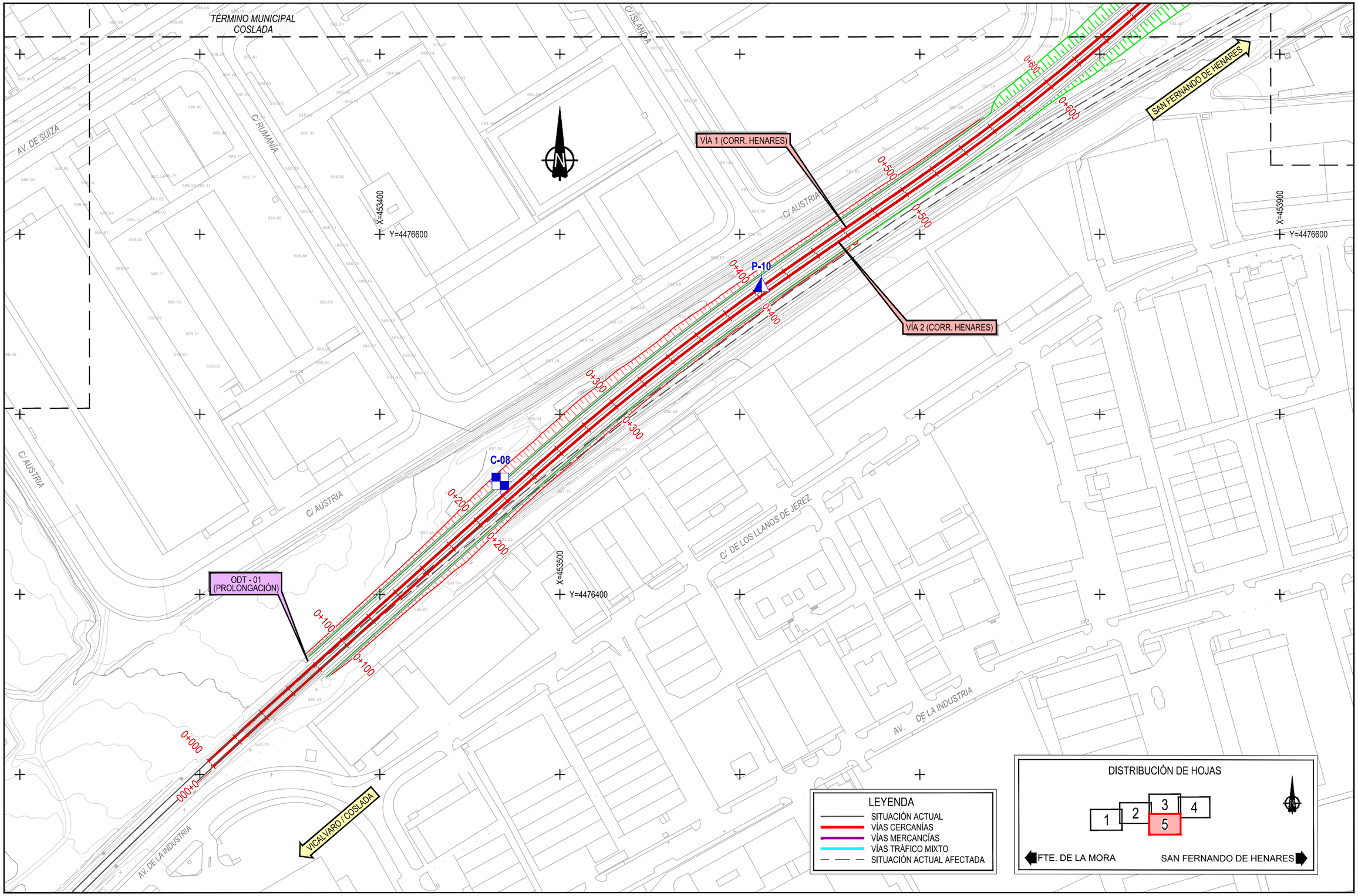
ESCALA ORIGINAL A3:
1/2.000
0 20 40 60m
NUMÉRICA GRÁFICA

FECHA:
JULIO 2021

Nº DE PLANO:
An4Ap4.1.2

Nº DE HOJA:
HOJA 4 DE 5

TÍTULO DE PLANO:
ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
SALTO DE CARNERO SAN FERNANDO DE HENARES
PLANTA DE SITUACIÓN DE INVESTIGACIONES. ALTERNATIVA 2

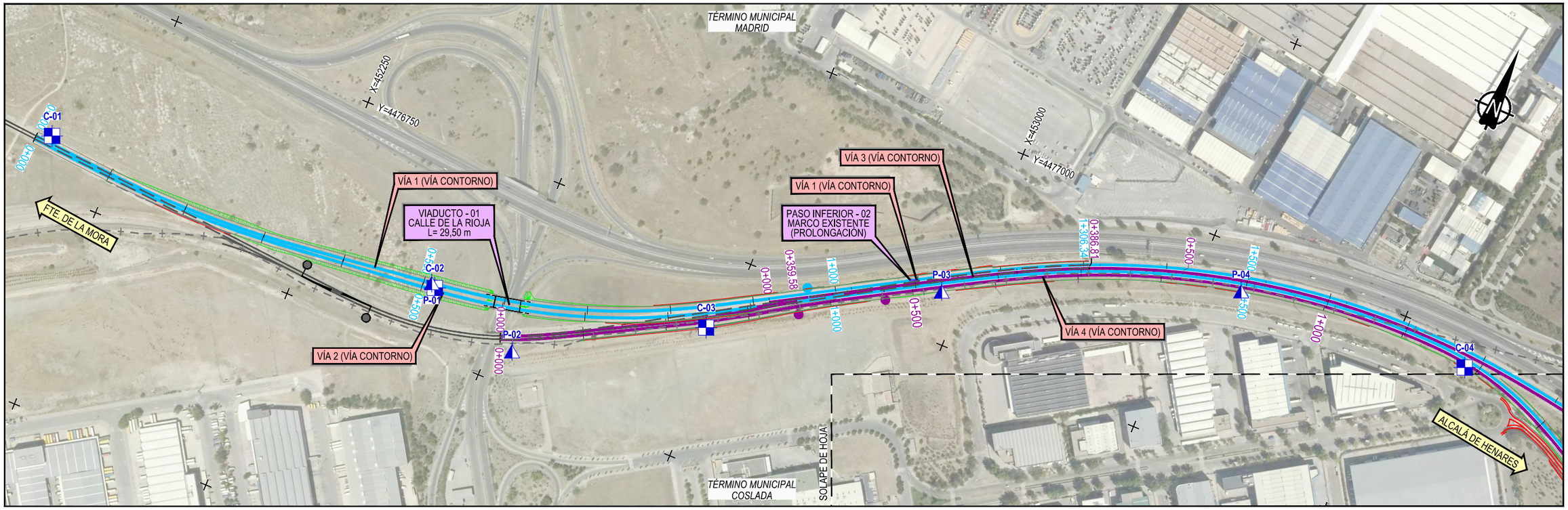


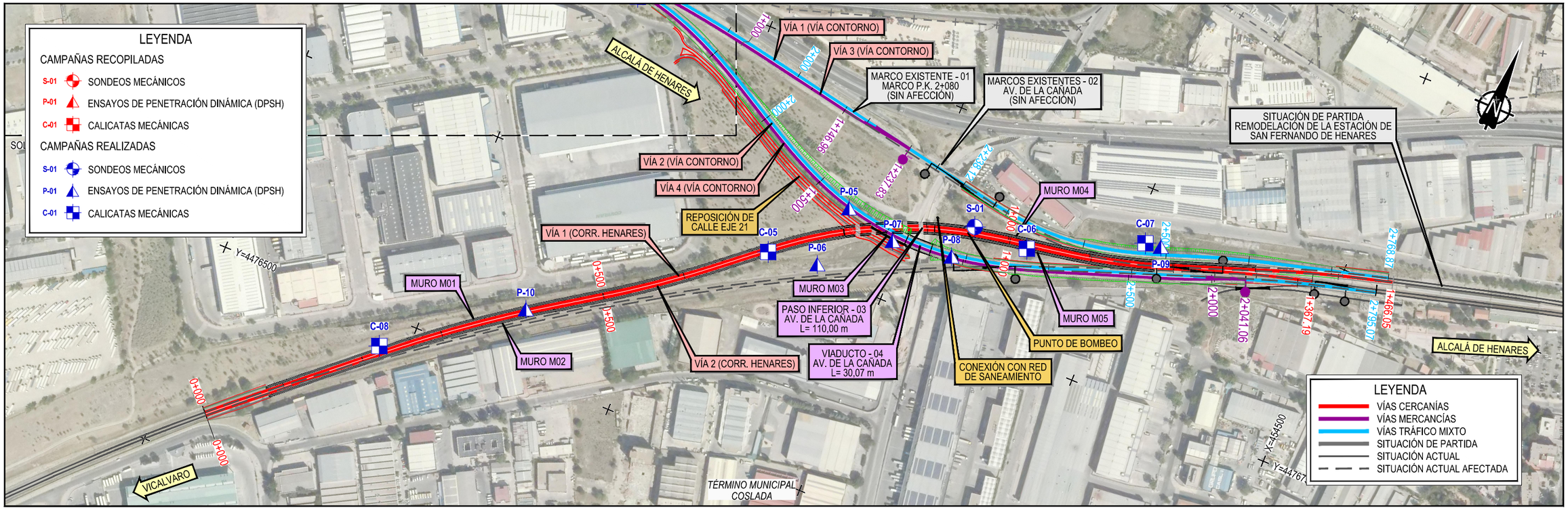
Z:\PROYECTOS 2020\F-2020 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-V2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap4-SAN FERNANDO\An4Ap4-1.2-SAN FER PS-alt2.dwg

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA	SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA	TÍTULO PROYECTO: ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES	AUTOR DEL ESTUDIO: ineco	ESCALA ORIGINAL A3: 1/2.000 0 20 40 60m NUMÉRICA GRÁFICA	FECHA: JULIO 2021	Nº DE PLANO: An4Ap4.1.2 Nº DE HOJA: HOJA 5 DE 5	TÍTULO DE PLANO: ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA SALTO DE CARNERO SAN FERNANDO DE HENARES PLANTA DE SITUACIÓN DE INVESTIGACIONES. ALTERNATIVA 2

4.2. PLANTA Y PERFIL GEOLÓGICO. ALTERNATIVA 1

4.2.1. PLANTA





GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TÍTULO PROYECTO:
ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES

AUTOR DEL ESTUDIO:
ineco

ESCALA ORIGINAL A3:
1/5.000
1/1.000
0 50 100 150m
0 10 20 30m
NUMÉRICA GRÁFICA

FECHA:
JULIO 2021

Nº DE PLANO:
An4Ap4.2.1

Nº DE HOJA:
HOJA 1 DE 1

TÍTULO DE PLANO:
ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
SALTO DE CARNERO SAN FERNANDO DE HENARES
PLANTA GEOLÓGICA. ALTERNATIVA 1

Z:\PROYECTOS 2020\F-20200 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO+V2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap4-SAN FERNANDO\An4ap4.2.1-PL_ALT1_SAN FER.dwg

4.2.2. PERFIL LONGITUDINAL

LITOLOGÍA

RELLENOS ANTRÓPICOS

R RELLENO ANTRÓPICO DE VIALES

TERCIARIO

CUATERNARIO

Qt ARENAS CON GRAVA, LIMOS Y ARCILLAS "TERRAZAS DEL RÍO JARAMA"

MIOCENO

G ARENAS Y ARCILLAS ARENOSAS AMARILLENTAS. "GREDOS"

Y YESOS TABLEADOS Y NODULARES ENTRE ARCILLAS

SIMBOLOGÍA

CONTACTO CONCORDANTE

CONTACTO DISCORDANTE

N.F. NIVEL FREÁTICO

CAMPAÑAS REALIZADAS

S-01 SONDEOS MECÁNICOS

P-01 ENSAYOS DE PENETRACIÓN DINÁMICA (DPSH)

C-01 CALICATAS MECÁNICAS

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TÍTULO PROYECTO:
ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES

AUTOR DEL ESTUDIO:
ineco

ESCALA ORIGINAL A3:
1/5.000 0 50 100 150m
1/1.000 0 10 20 30m
NUMÉRICA GRÁFICA

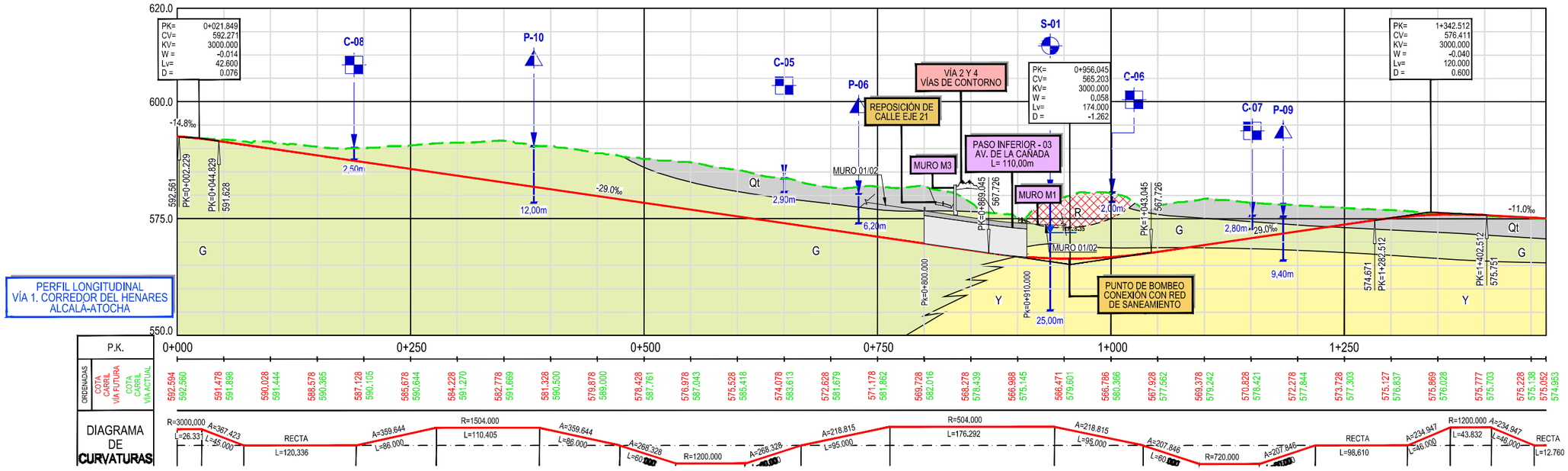
FECHA:
JULIO 2021

Nº DE PLANO:
An4Ap4.2.2

Nº DE HOJA:
HOJA 0 DE 2

TÍTULO DE PLANO:
ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
SALTO DE CARNERO SAN FERNANDO DE HENARES
PERFILES LONGITUDINALES GEOLÓGICOS. ALTERNATIVA 1

Z:\PROYECTOS 2020\F-2020 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-\2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap4-SAN FERNANDO\An4Ap4.2.2-PF ALT1_SAN FER.dwg



Z:\PROYECTOS 2020\F-2020\ 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-V2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap4-SAN FERNANDO\An4Ap4.2.2-PF ALT1_SAN FER.dwg

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TÍTULO PROYECTO:
ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES

AUTOR DEL ESTUDIO:
ineco

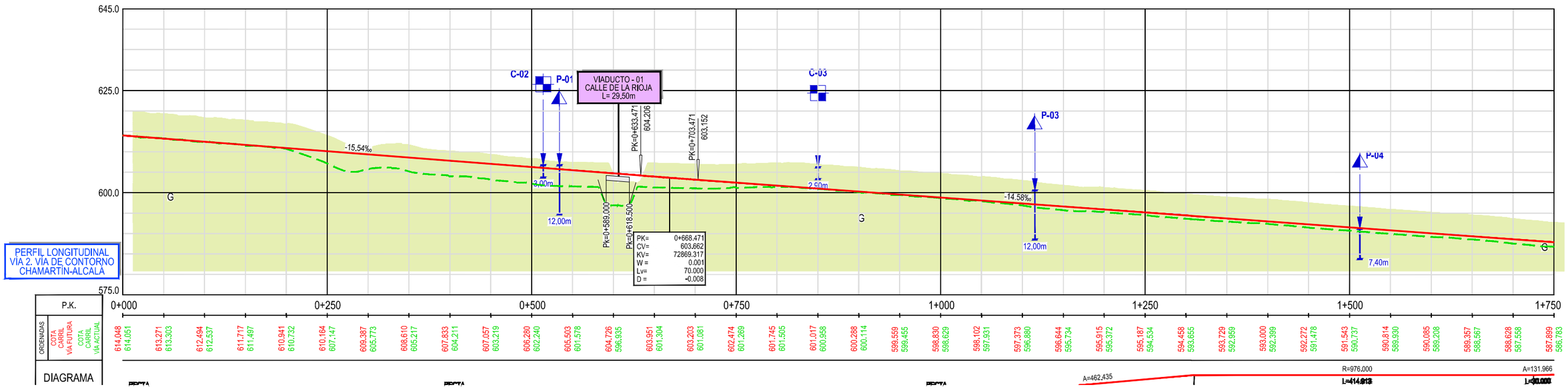
ESCALA ORIGINAL A3:
1/5.000
1/1.000
0 50 100 150m
0 10 20 30m
NUMÉRICA
GRÁFICA

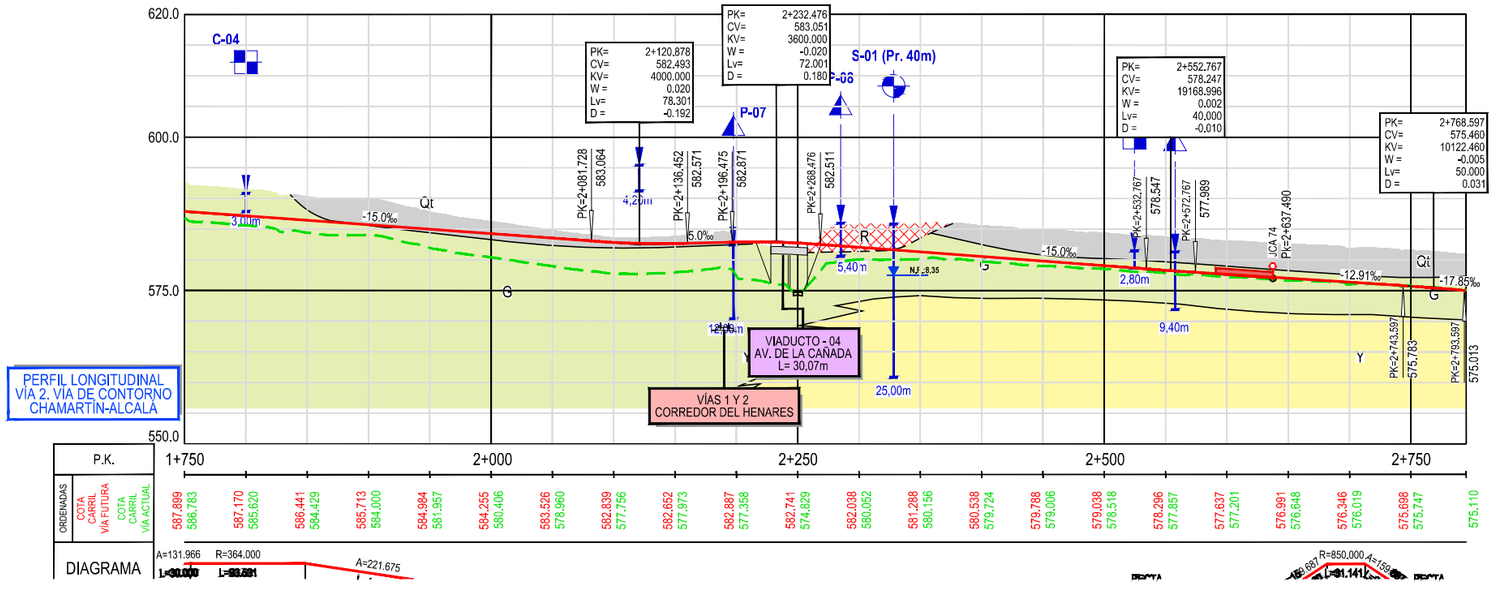
FECHA:
JULIO 2021

Nº DE PLANO:
An4Ap4.2.2

Nº DE HOJA:
HOJA 1 DE 2

TÍTULO DE PLANO:
ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
SALTO DE CARNERO SAN FERNANDO DE HENARES
PERFILES LONGITUDINALES GEOLÓGICOS. ALTERNATIVA 1



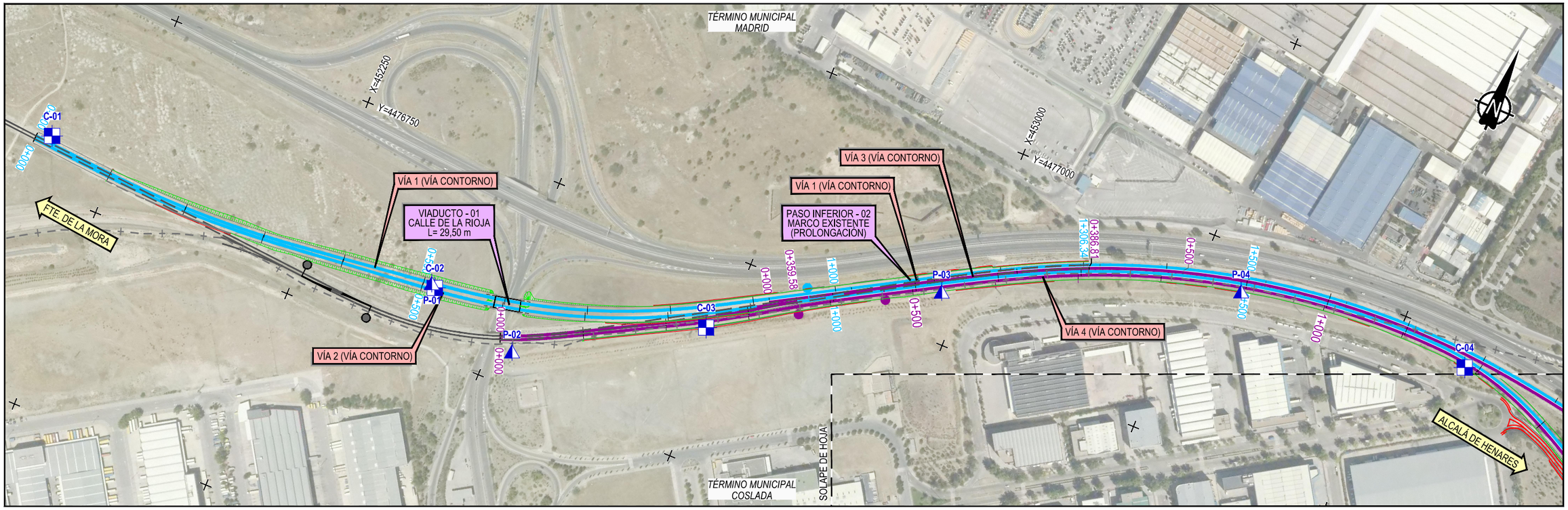


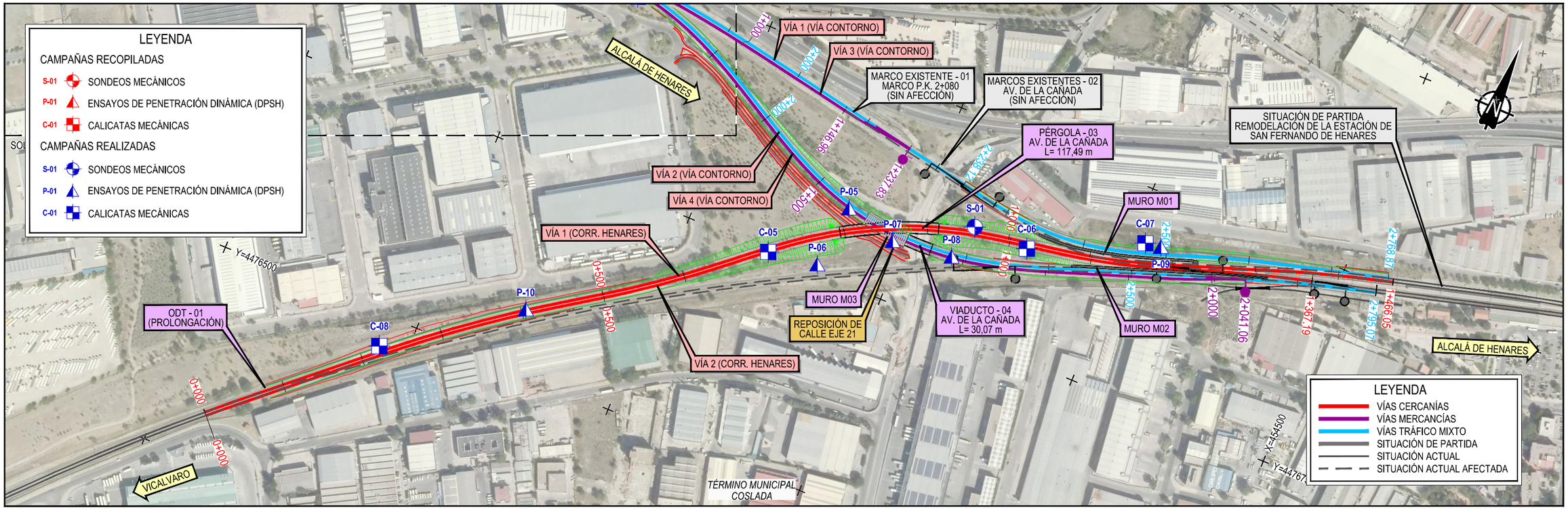
GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA	SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA	TÍTULO PROYECTO: ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES	AUTOR DEL ESTUDIO: ineco	ESCALA ORIGINAL A3: 1/5.000 0 50 100 150m 1/1.000 0 10 20 30m NUMÉRICA GRÁFICA	FECHA: JULIO 2021	Nº DE PLANO: An4Ap4.2.2 Nº DE HOJA: HOJA 2 DE 2	TÍTULO DE PLANO: ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA SALTO DE CARNERO SAN FERNANDO DE HENARES PERFILES LONGITUDINALES GEOLÓGICOS. ALTERNATIVA 1

Z:\PROYECTOS 2020\F-2020 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-V2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4ap4-SAN FERNANDO\An4Ap4.2.2-PF ALT1_SAN FER.dwg

4.3. PLANTA Y PERFIL GEOLÓGICO. ALTERNATIVA 2

4.3.1. PLANTA





GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TÍTULO PROYECTO:
ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES

AUTOR DEL ESTUDIO:
ineco

ESCALA ORIGINAL A3:
1/5.000
1/1.000
0 50 100 150m
0 10 20 30m
NUMÉRICA GRÁFICA

FECHA:
JULIO 2021

Nº DE PLANO:
An4Ap4.3.1

Nº DE HOJA:
HOJA 1 DE 1

TÍTULO DE PLANO:
ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
SALTO DE CARNERO SAN FERNANDO DE HENARES
PLANTA GEOLÓGICA. ALTERNATIVA 2

Z:\PROYECTOS 2020\F-2020 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO+V2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap4-SAN FERNANDO\An4Ap4.3.1-PL ALT2_SAN FER.dwg

4.3.2. PERFIL LONGITUDINAL

LITOLOGÍA

RELLENOS ANTRÓPICOS

R RELLENO ANTRÓPICO DE VIALES

TERCIARIO

CUATERNARIO

Qt ARENAS CON GRAVA, LIMOS Y ARCILLAS "TERRAZAS DEL RÍO JARAMA"

MIOCENO

G ARENAS Y ARCILLAS ARENOSAS AMARILLENTAS. "GREDOS"

Y YESOS TABLEADOS Y NODULARES ENTRE ARCILLAS

SIMBOLOGÍA

CONTACTO CONCORDANTE

CONTACTO DISCORDANTE

N.F. NIVEL FREÁTICO

CAMPAÑAS REALIZADAS

S-01 SONDEOS MECÁNICOS

P-01 ENSAYOS DE PENETRACIÓN DINÁMICA (DPSH)

C-01 CALICATAS MECÁNICAS

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TÍTULO PROYECTO:
ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES

AUTOR DEL ESTUDIO:
ineco

ESCALA ORIGINAL A3:
1/5.000 0 50 100 150m
1/1.000 0 10 20 30m
NUMÉRICA GRÁFICA

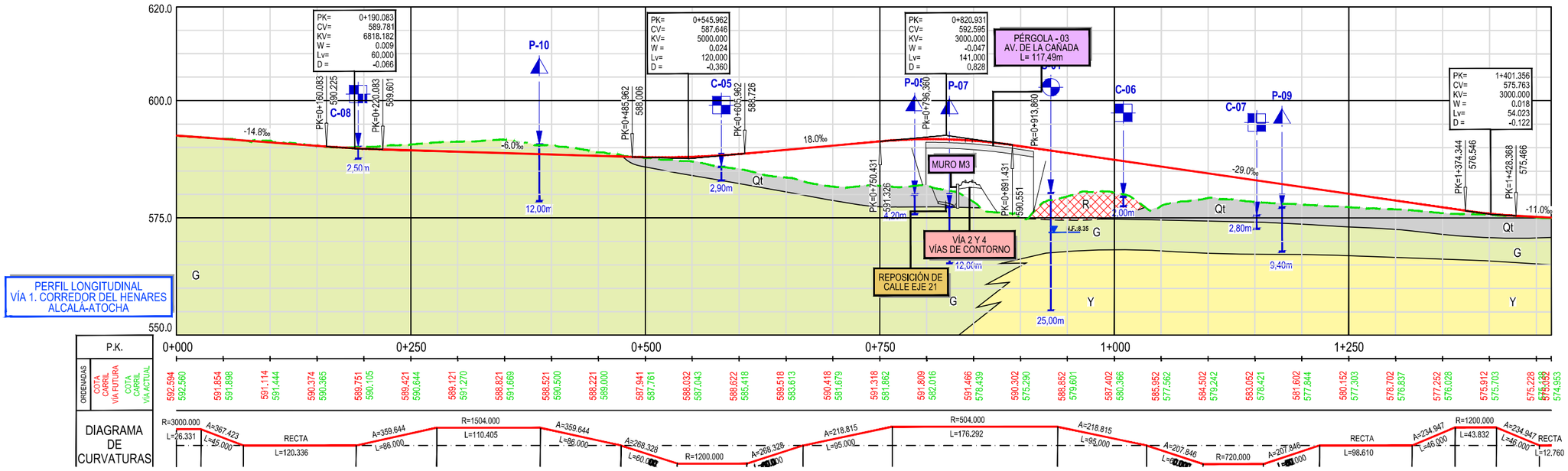
FECHA:
JULIO 2021

Nº DE PLANO:
An4Ap4.3.2

Nº DE HOJA:
HOJA 0 DE 2

TÍTULO DE PLANO:
ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
SALTO DE CARNERO SAN FERNANDO DE HENARES
PERFILES LONGITUDINALES GEOLÓGICOS. ALTERNATIVA 2

Z:\PROYECTOS 2020\F-2020 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-\2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap4-SAN FERNANDO\An4Ap4.3.2-PF ALT2_SAN FER.dwg



Z:\PROYECTOS 2020\F-20203 96-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-V2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap4-SAN FERNANDO\An4Ap4.3.2-PF ALT2_SAN FER.dwg

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TÍTULO PROYECTO:
ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES

AUTOR DEL ESTUDIO:
ineco

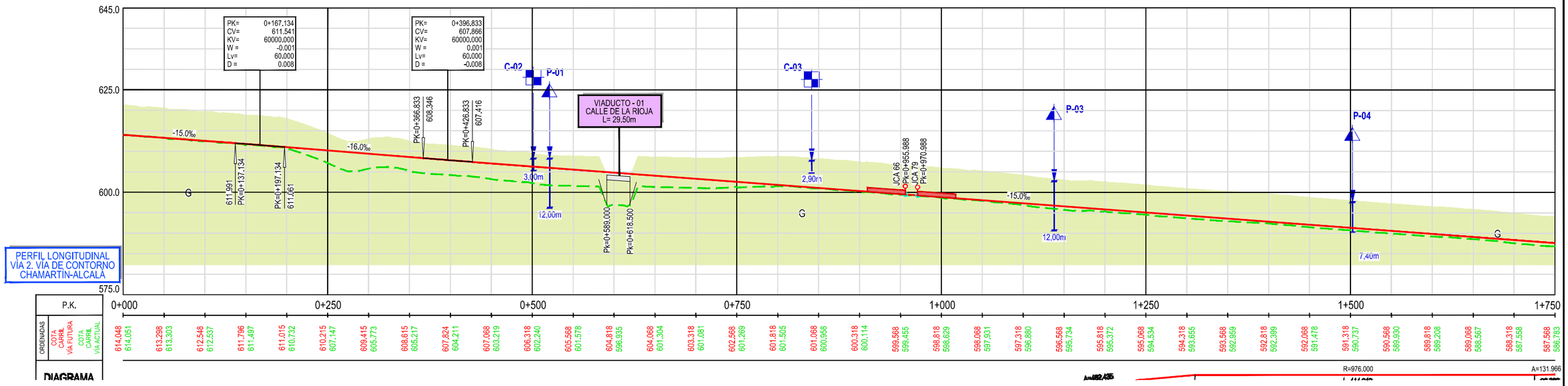
ESCALA ORIGINAL A3:
1/5.000 — 0 50 100 150m
1/1.000 — 0 10 20 30m
NUMÉRICA GRÁFICA

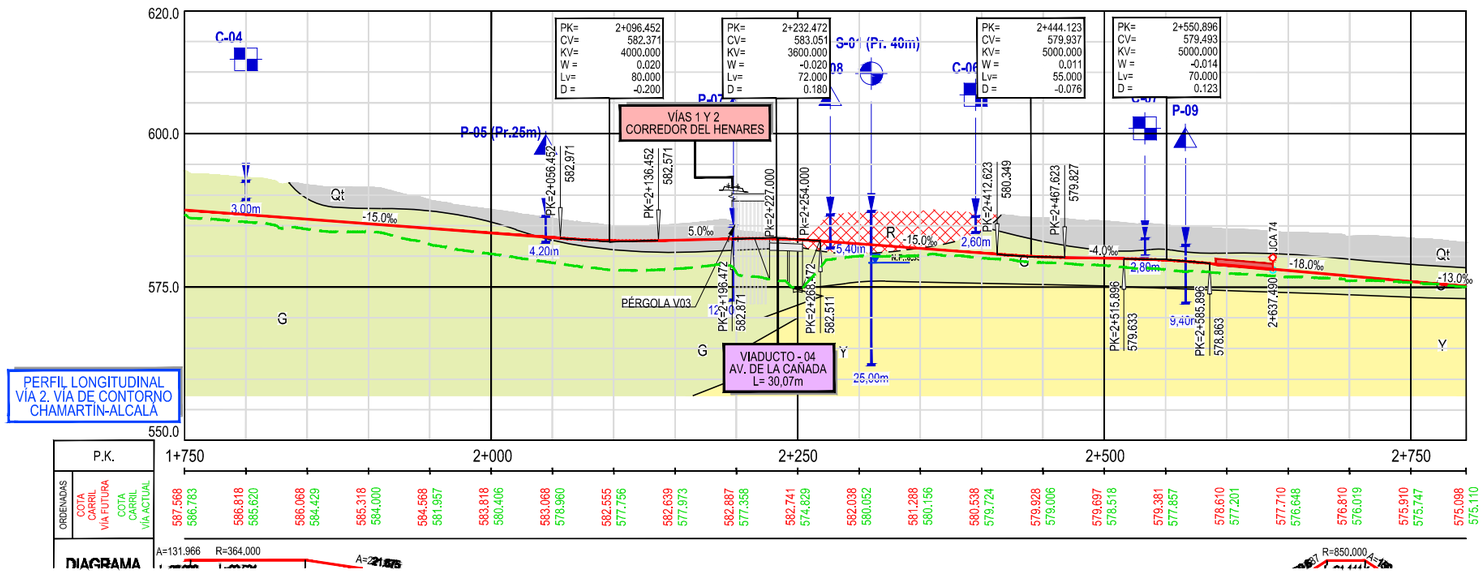
FECHA:
JULIO 2021

Nº DE PLANO:
An4Ap4.3.2

Nº DE HOJA:
HOJA 1 DE 2

TÍTULO DE PLANO:
ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
SALTO DE CARNERO SAN FERNANDO DE HENARES
PERFILES LONGITUDINALES GEOLÓGICOS. ALTERNATIVA 2





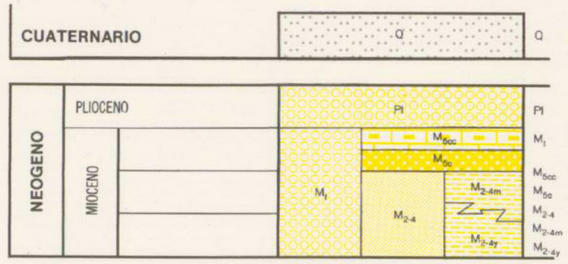
GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA	SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA	TÍTULO PROYECTO: ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES	AUTOR DEL ESTUDIO: ineco	ESCALA ORIGINAL A3: 1/5.000 (0 50 100 150m) 1/1.000 (0 10 20 30m) NUMÉRICA GRÁFICA	FECHA: JULIO 2021	Nº DE PLANO: An4Ap4.3.2 Nº DE HOJA: HOJA 2 DE 2	TÍTULO DE PLANO: ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA SALTO DE CARNERO SAN FERNANDO DE HENARES PERFILES LONGITUDINALES GEOLÓGICOS. ALTERNATIVA 2

Z:\PROYECTOS 2020\F-2020 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap4-SAN FERNANDO\An4Ap4.3.2-PF ALT2_SAN FER.dwg

APÉNDICE 5. ESTUDIO DE MATERIALES

5.1. PLANTA DE UBICACIÓN DE CANTERAS, GRAVERAS Y PLANTAS DE SUMINISTRO

LEYENDA



Q Aluviones, terrazas y coluviones

Pl Rañas, arcillas, areniscas y caliza

M_1 Facies detrítica

M_{5oc} Calizas

M_{5o} Conglomerados y areniscas

M_{2-4} (Indiferenciado)

M_{2-4m} Margas, calizas, yesos, arenas y silex

M_{2-4y} Margas yesíferas

O Areniscas, arcillas, conglomerados, margas, calizas y yesos

C_{1-6} Calizas, calizas arenosas, calizas margosas y margas

ξ_m Esquistos micáceos

ξ Gneis

ξ_c Gneis con calizas cristalinas

T Granitos

T_A Aplitas

YACIMIENTOS Y EXPLOTACIONES

UTILIZACION	ESTADO ACTUAL	RESERVAS
Rocas de Construcción	Activo	Pequeña
Aglomerantes	Inactivo	Mediana
Aridos	No Explotado	Grande
Vidrio	Depósitos Artificiales	
Productos Cerámicos		
Diversas	Estación de observación	Número de yacimiento 168

SIMBOLOGIA Y CLAVE DE ROCAS INDUSTRIALES

Cr	Arcilla	Fy	Yeso	Qc	Caliza
Dg	Grava	Mg	Gneis	Sm	Magnesita
Dr	Arena	Pg	Granito	Ss	Sepiolita
Fp	Porfido				

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TÍTULO PROYECTO:
ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES

AUTOR DEL ESTUDIO:
ineco

ESCALA ORIGINAL A3:
SIN ESCALA
NUMÉRICA GRÁFICA

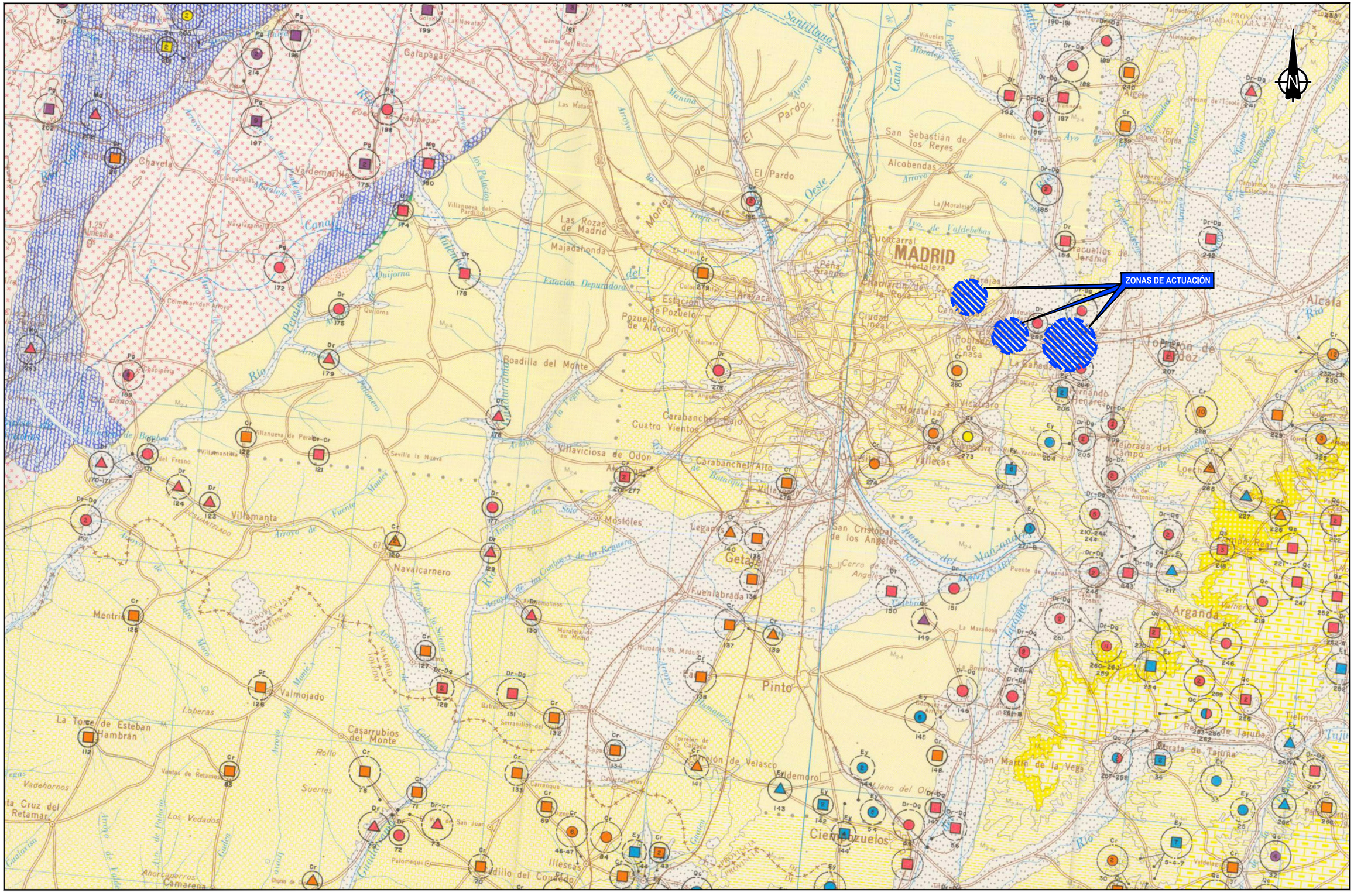
FECHA:
JULIO 2021

Nº DE PLANO:
An4 Ap5.1

Nº DE HOJA:
HOJA 1 DE 2

TÍTULO DE PLANO:
ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
ESTUDIO DE MATERIALES
MAPA DE ROCAS INDUSTRIALES

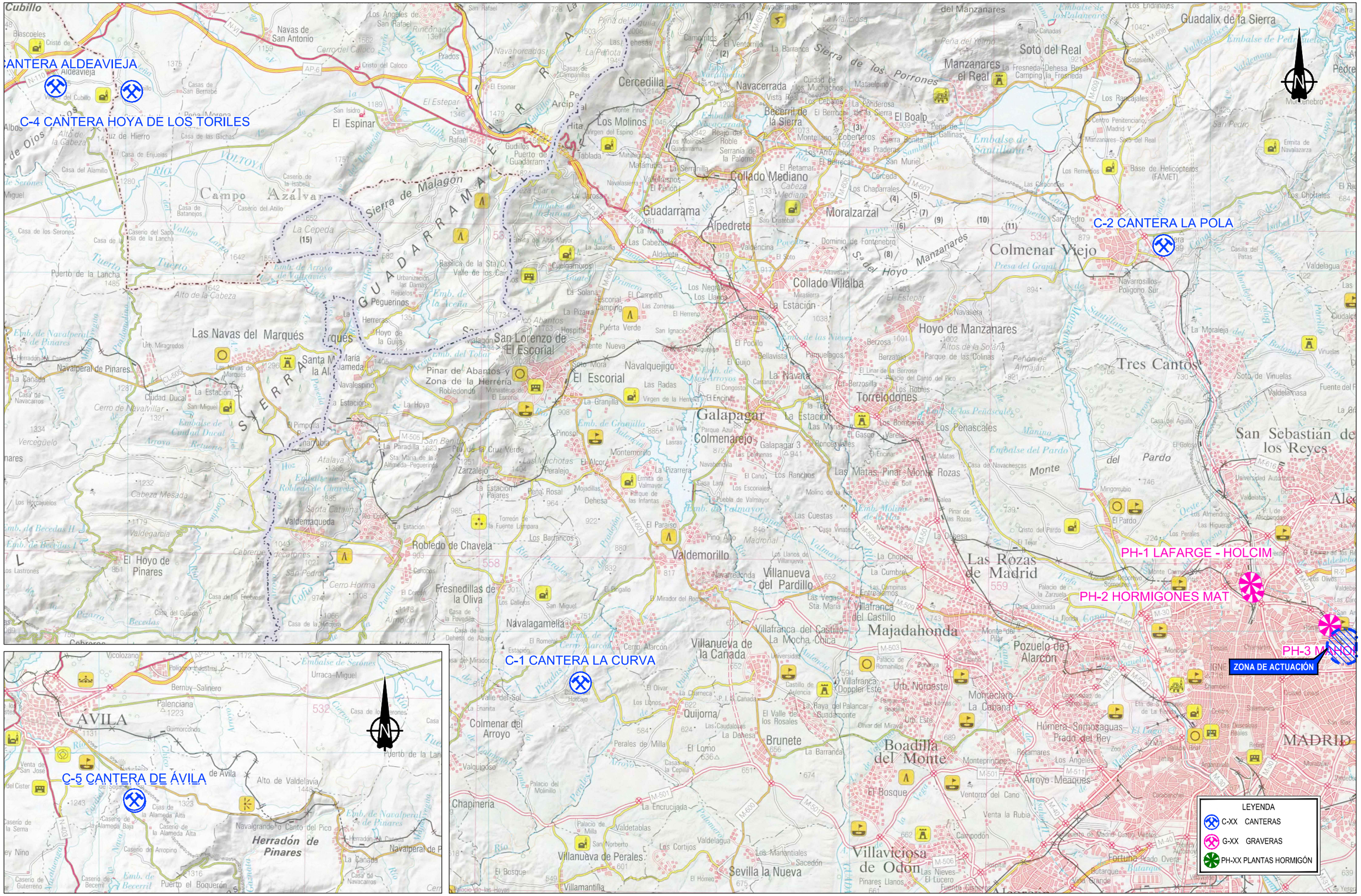
Z:\PROYECTOS 2020\F-2020 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-V2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap5-ESTUDIO MATERIALES\An4Ap5.1-Mapa Rocas Industriales.dwg



Z:\PROYECTOS 2020\F-2020 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-V2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap5-ESTUDIO MATERIALES\An4Ap5.1-Mapa Rocas Industriales.dwg

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA	SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA	TÍTULO PROYECTO: ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES	AUTOR DEL ESTUDIO: ineco	ESCALA ORIGINAL A3: 1/200,000 0 2 4 6Km NUMÉRICA GRÁFICA	FECHA: JULIO 2021	Nº DE PLANO: An4 Ap5.1 Nº DE HOJA: HOJA 2 DE 2	TÍTULO DE PLANO: ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA ESTUDIO DE MATERIALES MAPA DE ROCAS INDUSTRIALES

5.2. SITUACIÓN DE CANTERAS, GRAVERAS Y PLANTAS DE SUMINISTRO



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TÍTULO PROYECTO:
ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES

AUTOR DEL ESTUDIO:
ineco

ESCALA ORIGINAL A3:
1/20.000
0 2 4 6Km
NUMÉRICA GRÁFICA

FECHA:
JULIO 2021

Nº DE PLANO:
An4 Ap5.2

Nº DE HOJA:
HOJA 1 DE 2

TÍTULO DE PLANO:
ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
ESTUDIO DE MATERIALES
SITUACIÓN DE CANTERAS, GRAVERAS Y PLANTAS DE SUMINISTRO

Z:\PROYECTOS 2020\F-2020 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO+1\2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap5-ESTUDIO MATERIALES\An4Ap5.2-Sit Canteras.dwg

PH-2 HORMIGONES MAT

PH-3 MANHORSA

ZONAS DE ACTUACIÓN

C-1 CANTERA LA CURVA

G-2 FUENPEÑA

G-4 GRA. VALDOCARROS

G-3 ROMÁN

G-1 GRA. SOTOPAJARES

C-6 TRICALSA

C-7 MORATA II

G-5 ÁRIDO LA CABEZA

G-6 GRA. EL PUENTE

LEYENDA

C-XX CANTERAS

G-XX GRAVERAS

PH-XX PLANTAS HORMIGÓN

Z:\PROYECTOS 2020\F-2020 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-\2DOC 1_ANEJOSAn04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap5-ESTUDIO MATERIALES\An4Ap5.2-Sit Canteras.dwg

GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS

DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TÍTULO PROYECTO:

ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES

AUTOR DEL ESTUDIO:

ineco

ESCALA ORIGINAL A3:

1/20.000

0 2 4 6Km

NUMÉRICA GRÁFICA

FECHA:

JULIO 2021

Nº DE PLANO:

An4 Ap5.2

Nº DE HOJA:

HOJA 2 DE 2

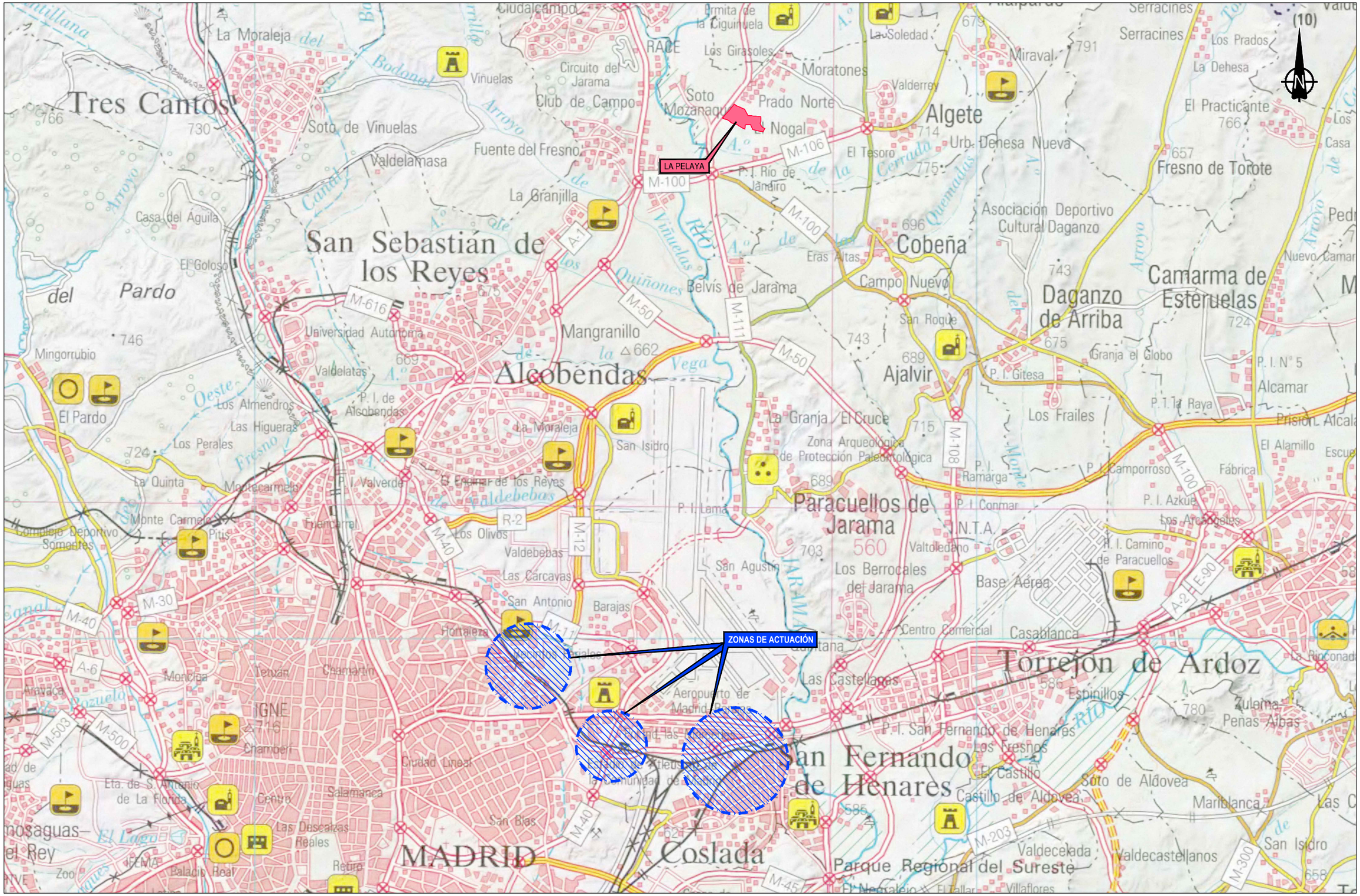
TÍTULO DE PLANO:

ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

ESTUDIO DE MATERIALES

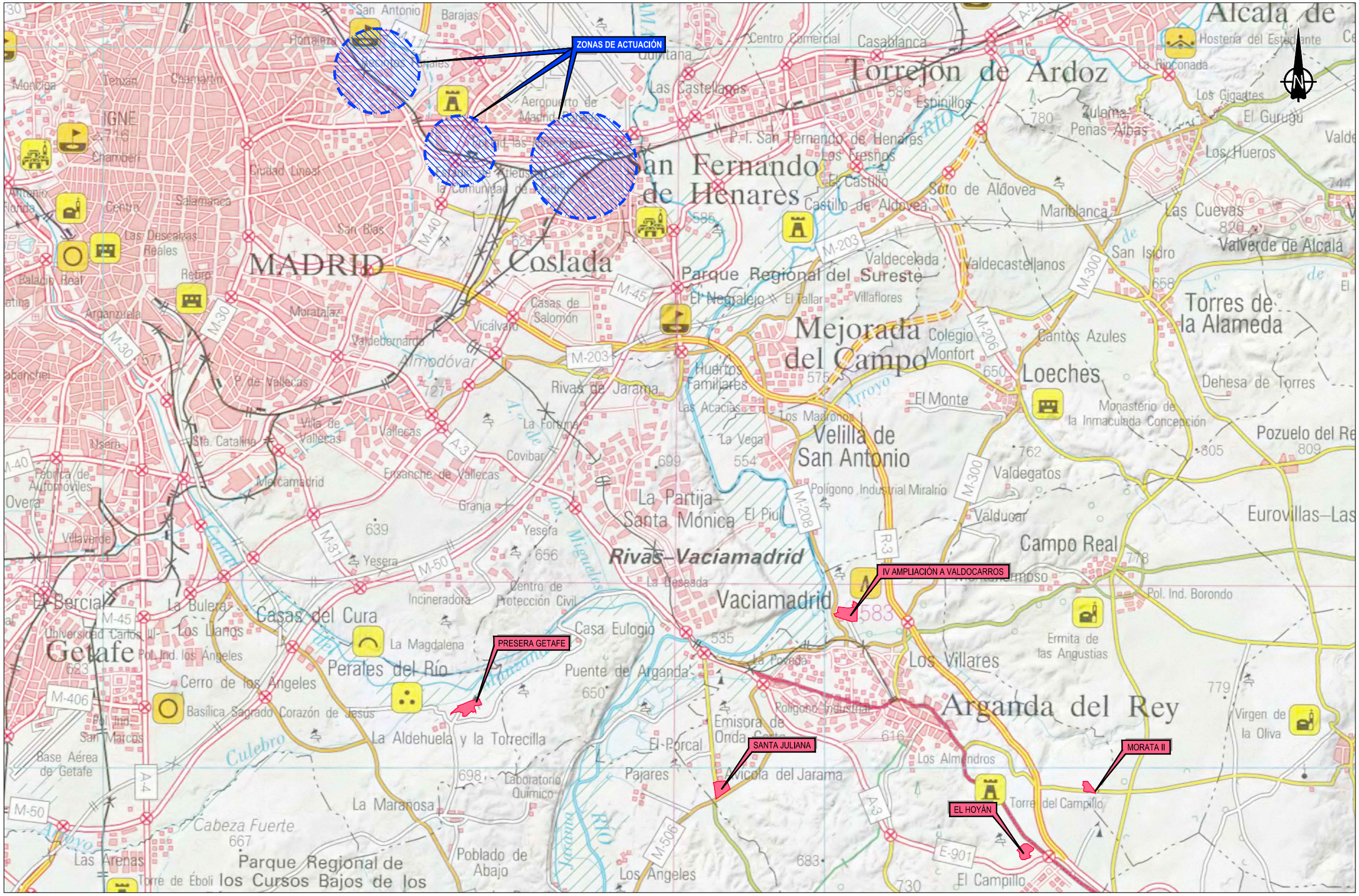
SITUACIÓN DE CANTERAS, GRAVERAS Y PLANTAS DE SUMINISTRO

5.3. SITUACIÓN DE VERTEDEROS



GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA	SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA	TÍTULO PROYECTO: ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES	AUTOR DEL ESTUDIO: ineco	ESCALA ORIGINAL A3: 1/100,000 0 1 2 3Km NUMÉRICA GRÁFICA	FECHA: JULIO 2021	Nº DE PLANO: An4 Ap5.3 Nº DE HOJA: HOJA 1 DE 2	TÍTULO DE PLANO: ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA ESTUDIO DE MATERIALES SITUACIÓN DE VERTEDEROS

Z:\PROYECTOS 2020\F-2020 38-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-Y2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap5-ESTUDIO MATERIALES\An4Ap5.3-Sit Vertederos.dwg



GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA	SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA	TÍTULO PROYECTO: ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES	AUTOR DEL ESTUDIO: ineco	ESCALA ORIGINAL A3: 1/100.000 0 1 2 3Km NUMÉRICA GRÁFICA	FECHA: JULIO 2021	Nº DE PLANO: An4 Ap5.3 Nº DE HOJA: HOJA 2 DE 2	TÍTULO DE PLANO: ANEJO 4. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA ESTUDIO DE MATERIALES SITUACIÓN DE VERTEDEROS

Z:\PROYECTOS 2020\F-2020 36-APEADEROS CERCANIAS (INECO)\TRABAJO\04-PROYECTO-V2\DOC 1_ANEJOS\An04-GEOLOGIA Y GEOTECNIA\An4Ap5-ESTUDIO MATERIALES\An4Ap5-3-Sit Vertederos.dwg