GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y VIABILIDAD DEL TRAMO BILBAO-SANTANDER DEL CORREDOR CANTÁBRICO-MEDITERRÁNEO

APÉNDICE 1 GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

ÍNDICE

1. Introducción y antecedentes 1

2. Marco geológico regional 3

2.1. Cuenca Vasco-Cantábrica 3

2.2. Geología de la zona 5

2.2.1. Bloque Santanderino o Dominio Periasturiano 5

2.2.2. Arco Vasco 5

2.2.3. Bloque Alavés 7

2.3. Puntos de interés geológico 8

3. Unidades litoestratigráficas 9

3.1. Triásico 11

3.2. Jurásico 11

3.3. Cretácico 11

3.3.1. Cretácico Inferior 11

3.3.2. Cretácico Superior 12

3.4. Terciario 12

3.5. Cuaternario 12

4. Hidrogeología 13

4.1. Masas de agua subterránea 13

4.1.1. Masas de aguas subterránea del Cantábrico Occidental 14

4.1.2. Masas de aguas subterránea del Cantábrico Oriental 26

4.2. Unidades hidrogeológicas 26

5. Sismicidad 27

6. Concesiones mineras 29

7. Caracterización geotécnica 29

7.1. Clasificación geotécnica 29

7.1.1. Excavabilidad 29

7.1.2. Reutilización de materiales 30

7.1.3. Taludes en desmonte 30

7.1.4. Taludes en terraplén 31

7.1.5. Capacidad portante 31

7.1.6. Cimentaciones 31

7.1.7. Asientos 32

7.1.8. Permeabilidad y tipo de transmisividad 32

7.1.9. Drenaje 32

7.1.10. Calidad del macizo rocoso (RMR) 32

7.1.11. Grados de meteorización 32

7.2. Unidades geotécnicas 33

7.3. Condicionantes geotécnicos 35

8. Descripción geológica – geotécnica de las alternativas de tráfico mixto 39

8.1. Alternativa A1: con parada en Laredo pasando por las marismas, por el Norte de Peña Cabarga 39

8.2. Alternativa A2: con parada en Laredo pasando por las marismas, por el Sur de Peña Cabarga 40

8.3. Alternativa B1: con parada en Laredo sin pasar por las marismas, por el Norte de Peña Cabarga.....41

8.4. Alternativa B2: con parada en Laredo sin pasar por las marismas, por el Sur de Peña Cabarga.....43

8.5. Alternativa C1: sin parada en Laredo por el Sur de Peña Cabarga 43

8.6. Alternativa C2: sin parada en Laredo por el Sur de Peña Cabarga 43

9. Descripción geológica – geotécnica de las alternativas de tráfico exclusivo de viajeros 43

9.1. Alternativa A1 Modificada: con parada en Laredo pasando por las marismas, por el Norte de Peña Cabarga 43

10. Valoración geológica - geotécnica 44

11. Conclusiones 47

ANEXOS

ANEXO 1. Leyenda de la Planta Geológica

ANEXO 2: Planta Geológica

ANEXO 3: Mapa Hidrogeológico

ANEXO 4: Mapa de Valoración Geotécnica

1. Introducción y antecedentes

El presente apéndice recoge el estudio geológico-geotécnico del "Estudio de Alternativas y Viabilidad del Tramo Bilbao-Santander del Corredor Cantábrico-Mediterráneo". Los principales aspectos que se tratan en este apéndice son los siguientes:

- ✓ Encuadre del proyecto en el marco geológico regional
- ✓ Descripción y definición de la estratigrafía y de las unidades litoestratigráficas afectados por los trazados propuestos en el presente estudio
- ✓ Evaluación de la afección de los trazados a los puntos de interés geológico existentes en la zona de estudio
- ✓ Descripción de la hidrogeología y de las masas de agua afectadas por los trazados del Estudio de Alternativas
- ✓ Sismicidad de la zona de estudio
- ✓ Evaluación de la afección del trazado a las concesiones mineras existentes
- ✓ Caracterización geotécnica y obtención de los condicionantes geotécnicos que afectan a los trazados del Estudio de Alternativas
- ✓ Descripción geológica – geotécnica de cada una de las alternativas del Estudio de Alternativas
- ✓ Valoración geológica – geotécnica

Para la elaboración del presente Apéndice se han considerado los siguientes documentos:

- ✓ Anejo de Geología y Geotecnia del Estudio de Alternativas del Proyecto del Corredor Cantábrico – Mediterráneo. Tramo: Bilbao – Santander (2010)
- ✓ Anejo de Geología y Geotecnia del Estudio Informativo de la Variante Sur Ferroviaria de Bilbao Fase I (2018)

Además, se ha consultado la siguiente bibliografía:

- ✓ Mapa Geológico de España. Hoja 5/12 (6-1/6-2). Bermeo / Bilbao. E. 1/200.000. IGME, 1985
- ✓ Mapa Geológico de España serie MAGNA. Hoja 34 (18-4) Torrelavega. E: 1/50.000. IGME, 1974
- ✓ Mapa Geológico de España serie MAGNA. Hoja 35 (19-4) Santander. E: 1/50.000. IGME, 1974.
- ✓ Mapa Geológico de España serie MAGNA. Hoja 36 (20-4) Castro Urdiales. E: 1/50.000. IGME, 1974
- ✓ Mapa Geológico de España serie MAGNA. Hoja 37 (21-4) Algorta. E: 1/50.000. IGME, 1973
- ✓ Mapa Geológico de España serie MAGNA. Hoja 58 (18-5) Los Corrales de Buelna. E: 1/50.000. IGME, 1978
- ✓ Mapa Geológico de España serie MAGNA. Hoja 59 (19-5) Villacarriedo. E: 1/50.000. IGME, 1976
- ✓ Mapa Geológico de España serie MAGNA. Hoja 60 (20-5) Valmaseda. E: 1/50.000. IGME, 1978
- ✓ Mapa Geológico de España serie MAGNA. Hoja 61 (21-5) Bilbao. E: 1/50.000. IGME, 1973
- ✓ Cartografía Geológica Digital continua (GEODE). E: 1/50.000. IGME
- ✓ Mapa geológico del País Vasco. Hoja 60-I y III Carranza. E: 1/25.000. EVE, 1992
- ✓ Mapa geológico del País Vasco. Hoja 60-II Trucios. E: 1/25.000. EVE, 1992
- ✓ Mapa geológico del País Vasco. Hoja 60-III y 85-I Zamala. E: 1/25.000. EVE, 19932

- ✓ Mapa geológico del País Vasco. Hoja 60-IV y 85-II Balmaseda. E: 1/25.000. EVE, 1992
- ✓ Mapa geológico del País Vasco. Hoja 61-I Santurtzi. E: 1/25.000. EVE, 1993
- ✓ Mapa geológico del País Vasco. Hoja 61-II Bilbao. E: 1/25.000. EVE, 1993
- ✓ Mapa geológico del País Vasco. Hoja 61-III Gueñes. E: 1/25.000. EVE, 1993
- ✓ Mapa geológico Digital de Cantabria. Hoja 35-I (7-37) Santander. E: 1:25.000. IGME, 2008
- ✓ Mapa geológico Digital de Cantabria. Hoja 35-II (7-38) Noja. E: 1:25.000. IGME, 2008
- ✓ Mapa geológico Digital de Cantabria. Hoja 35-II (8-37) Astillero. E: 1:25.000. IGME, 2008

Mapa geológico Digital de Cantabria. Hoja 35-IV (8-38) Entrambasaguas. E: 1:25.000. IGME, 2008

- ✓ Estructura cortical de la Zona de Transición entre los Pirineos y la Cordillera Cantábrica. D. Pereira Rodríguez, 2004
- ✓ Libro Jubilar J. M. Ríos: Geología de España. ITGE, 1983
- ✓ Base de datos y Mapa de los Puntos de Interés Geológico en España. IGME
- ✓ Mapa del Karst de España. E: 1/100.000. IGME, 1986
- ✓ Mapa Hidrogeológico de España a escala 1/1.000.000. IGME, 2000
- ✓ Mapa Hidrogeológico de España a escala 1/200.000. IGME, 2009
- ✓ Mapa Hidrogeológico de España. Hoja 4 (5-1) Santander. E: 1/200.000. ITGE, 1989
- ✓ Mapa hidrogeológico del País Vasco. E: 1/100.000. EVE
- ✓ Las Aguas Subterráneas en España. Estudio de Síntesis. ITGE, 1989
- ✓ Estudio 07/88. Delimitación de las Unidades Hidrogeologicas del Territorio Peninsular e Islas Baleares y Síntesis de sus Características. MOP, 1988
- ✓ Libro Blanco de las Aguas Subterráneas. MINER-MOPT, 1994
- ✓ Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de Cantábrico Occidental 2015-2021
- ✓ Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descarga por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico. Masa de Agua Subterránea 016.209 Santander-Camargo. IGME
- ✓ Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descarga por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico. Masa de Agua Subterránea 016.210 Alisas-Ramales. IGME
- ✓ Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descarga por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico. Masa de Agua Subterránea 016.211 Castro Urdiales. IGME
- ✓ El Mundo Subterráneo en Euskal Herria. Sendoa Argitaletxea, 1997
- ✓ Mapa Geotécnico General. Hoja 4 (5-1) Santander. E: 1/200.000. IGME, 1974.
- ✓ -Mapa Geotécnico General. Hoja 5/12 (6-1/6-2). Bermeo / Bilbao. E: 1/200.000. IGME, 1974
- ✓ Mapa Previsor de Riesgo por Expansividad de Arcillas de España. E: 1:1.000.000. IGME, 1986

2. Marco geológico regional

Desde el punto de vista geológico, la zona de estudio se encuentra en el sistema del Pirineo Occidental. Dentro del Pirineo Occidental se distinguen cuatro grandes unidades (representadas en la siguiente figura), las cuales están constituidos por rocas anteriores al Oligoceno, plegados en estructuras más o menos complejas.



Figura 1. Zonas del sistema de los Pirineos Occidentales

- ✓ Zona Norpirenaica
- ✓ Zona Axial
- ✓ Zona Surpirenaica
- ✓ Cuenca Vasco-Cantábrica

Las diferentes alternativas que se valoran en el presente proyecto se encuentran íntegramente en la Cuenca Vasco-Cantábrica.

2.1. Cuenca Vasco-Cantábrica

La Cuenca Vasco – Cantábrica se encuentra limitada al norte por el cañón de Cap Bretón en el Mar Cantábrico, al Sur por las depresiones del Ebro y Duero, al Oeste por el Macizo Asturiano y al Este por los macizos paleozoicos vascos de Cinco Villas y Alduides, y por la alineación de diapiros navarros o Falla de Pamplona, tal como se puede apreciar en la siguiente imagen.

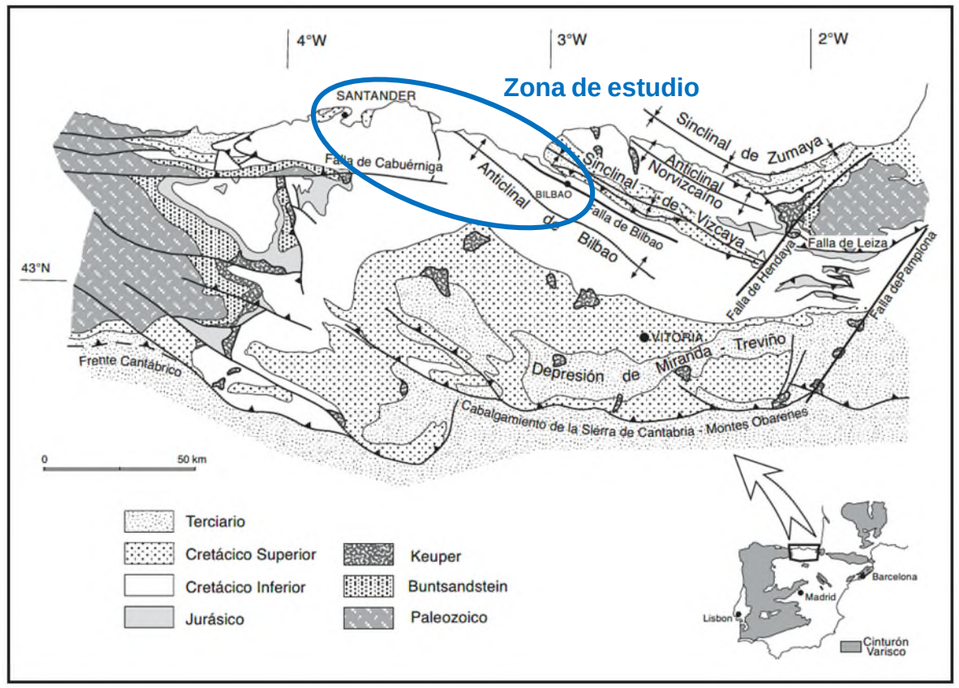


Figura 2. Esquema geológico de la Cuenca Vasco – Cantábrica

Fuente: Pedreira, 2004

La evolución de la Cuenca Vasco Cantábrica está ligada a la extensión del Atlántico Norte y la apertura del golfo de Bizkaia durante el Mesozoico (Triásico y Cretácico Inferior) y al desplazamiento de la placa ibérica respecto de la placa europea en el Cretácico-Terciario. Dentro de la evolución de la Cuenca Vasco - Cantábrica se distinguen dos etapas de rifting, desde el Triásico inferior al Jurásico superior-Cretácico inferior, separadas por dos fases de quietud relativa y subsidencia a escala regional (Triásico medio-Jurásico medio y Cretácico superior-Paleógeno). Estas etapas condicionaron el desarrollo y estilo de los sistemas sedimentarios, pudiéndose así distinguir cuatro fases principales de relleno de la Cuenca Vasco Cantábrica.

- ✓ Triásico: está representado por areniscas y lutitas continentales, evaporitas y escasas calizas marinas en subcuencas delimitadas por fallas.
- ✓ Jurásico Inferior y Medio: calizas, dolomías y margas en amplias plataformas controladas por subsidencia supra-regional.
- ✓ Jurásico superior-Cretácico inferior: acúmulo de grandes espesores de materiales diversos en cuencas controladas por fallas: areniscas , lutitas, margas y carbonatos de carácter continental (complejo Purbeck-Weald); calizas y margas de plataformas carbonatadas marinas y surcos margosos inter-plataforma, areniscas y lutitas de medios costeros y continentales (complejo Urgoniano); calizas de plataformas carbonatadas residuales, areniscas y lutitas de medios fluviales, deltaicos, de estuario y de mar profundo (complejo supraurgoniano).
- ✓ Cretáceo superior – Paleógeno: extensas plataformas carbonatadas, medios sedimentarios de mar profundo y edificios volcánicos submarinos en un contexto de subsidencia regional.

Los materiales más antiguos afloran a través de diapiros y son arcillas yesíferas y sales del Keuper. El Jurásico y Cretácico está representado por sucesivos depósitos de dolomías, calizas y margas. Del Paleoceno solo quedan restos en las sierras de Urbasa y Andía, formadas por calcarenitas, conglomerados, margas y caliza.

En base a criterios estructurales, los materiales de la Cuenca Vasco Cantábrica se han repartido en tres dominios: Bloque Santanderino, Arco Vasco y Bloque Alavés, tal como se aprecia en la siguiente figura.

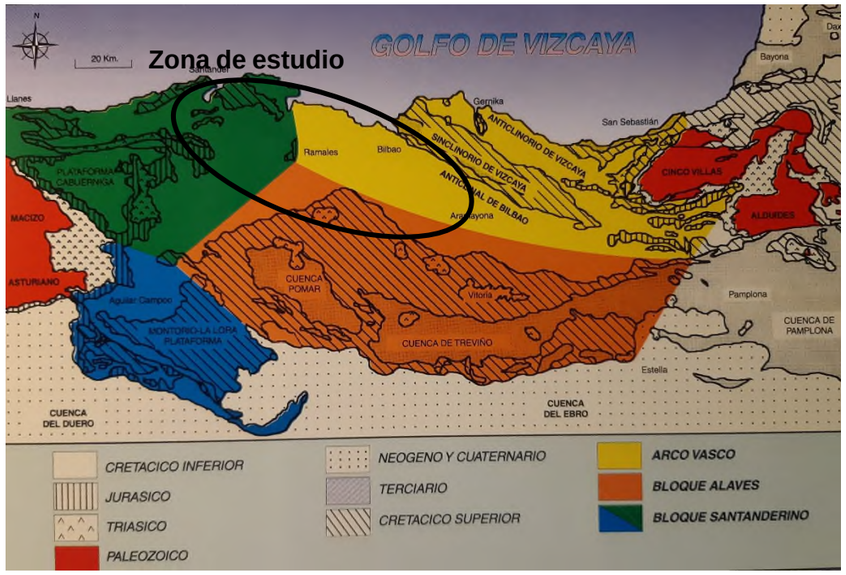


Figura 3. Principales dominios geológicos de la Cuenca Vasco – Cantábrica

Fuente: El Mundo Subterráneo en Euskal Herria, 1997



Figura 4. Principales estructuras tectónicas de la Cuenca Vasco – Cantábrica

2.2. Geología de la zona

A continuación, se describen los principales aspectos geológicos locales de los tres dominios geológicos que conforman la Cuenca Vasco – Cantábrica:

- ✓ Bloque Santanderino
- ✓ Arco Vasco
- ✓ Bloque Alavés

2.2.1. Bloque Santanderino o Dominio Periasturiano

Ocupa la parte occidental de la Cuenca Vasco - Cantábrica a partir del accidente N-S de Ramales. A su vez se encuentra dividido en dos zonas, el Escudo de Cabuérniga al Norte y la Plataforma de Montorio-La Lora al Sur, donde limita con la Cuenca del Duero por medio de la terminación occidental del frente surpirenaico.

Comprende materiales desde el Triásico al Eoceno que se extienden al este del Macizo Paleozoico Asturiano hasta la falla de Ramales. Las lineaciones estructurales son principalmente de dirección E-W. Abarca el este de Cantabria y parte del norte de las provincias de Burgos y Palencia.

Este Bloque queda afectado por los trazados del Estudio de Alternativas en la zona comprendida desde las inmediaciones de Santander hasta la localidad de Laredo en los trazados más cercanos a la costa, o la localidad de Ramales de la Victoria en los trazados que se sitúan más hacia el interior.

2.2.2. Arco Vasco

Corresponde a la zona noreste de la Cuenca. Constituido por los Macizos Paleozoicos Vascos y los materiales mesozoicos y terciarios adyacentes que se extienden desde la falla de Pamplona hasta la falla de Ramales. Las lineaciones estructurales son principalmente de dirección NO-SE.

Está constituido por materiales Eocenos en la Sierra de Urbasa, formados por calizas, calcarenitas y calizas arcillosas. Aparecen también materiales mesozoicos definidos por una serie de alineaciones Este-Oeste de relieves calizos jurásicos-cretácicos que dan lugar a la Sierra de Aralar, alineación “Huici-Arrarás” y “Manto de los Mármoles” al Norte de Leiza. Estas sierras se encuentran rodeadas de materiales cretácicos tipo flysch, compuestos por margas, areniscas y calizas.

Los sectores de los trazados propuestos en esta Fase I que discurren en el Arco Vasco, son los que se encuentran entre Laredo (trazados de la costa) o Ramales de la Victoria (trazados del interior) hasta llegar a las inmediaciones de Bilbao.

2.2.2.1. Estructura y tectónica del Arco Vasco

Se trata de una morfoestructura que se conserva sin grandes alteraciones en la geometría geológica original, apareciendo los relieves estructurales bien marcados en el paisaje. La estructura está fuertemente plegada con dirección general Este-Oeste, con fallas inversas y zonas tectonizadas asociadas.

La sierra queda limitada al sur por un importante accidente estructural: la falla inversa de Sakana, continuación de otra gran fractura, la falla de Bilbao-Altsasua, con la cual se une al oeste de Etxarri-Aranatz, formando una zona de pliegues apretados entre Aitziber y Etxegarate. Esta falla es ligeramente vergente hacia el sur, y su terminación oriental se sitúa en las cercanías de Irurzun. Es aquí donde presenta su mayor salto, poniendo en contacto las margas del Albiense superior con margas del Campaniense.

El límite norte de la Sierra de Aralar viene representado principalmente por la falla inversa de Aralar, la cual se extiende con dirección aproximada E-W desde el sur de Larraitz hasta Iribas, pasando inmediatamente al norte del pico Balerdi. Hacia Latasa cambia a rumbo NW-SE, formando el límite oriental de Aralar, y termina uniéndose al sureste de Irurzun con la falla de la Sakana. Al sur de Zaldibia, la falla inversa de Aralar se une con la falla de Angiozar-Olaberria, importante fractura paralela septentrionalmente a la falla de Bilbao que conlleva metamorfismo asociado. El desplazamiento más importante de la falla inversa de Aralar se localiza en la zona de Baraibar, donde pone en contacto dolomías del Lías con margas y areniscas del Albiense superior.

Finalmente, el límite oeste de la Sierra de Aralar es otra interesante estructura: el domo de Ataún. Este accidente estructural es el resultado de la interferencia de dos

pliegues anticlinales: uno de dirección WSW-ENE, que se extiende paralelamente a la falla inversa de Aralar (Anticlinal de Aralar), y otro de menor entidad y de dirección NNW-SSE desarrollado entre el sur de Zaldibia y Lizarrusti. De esta manera surgió la estructura de cúpula bien marcada por los relieves calizos del Aptiense inferior que forman el también llamado "circo" de Altzaarte, al este de San Gregorio. Hacia Enirio, el Domo de Ataún se estrangula mediante un sinclinal apretado. El pliegue más importante de Aralar es el ya mencionado Anticlinal de Aralar. Paralelos a éste, hacia el sur, se sitúan el sinclinal y anticlinal de Oderiz-Madotz, limitados por una falla inversa longitudinal a ambos.

Por último, citar un anticlinal muy fracturado situado al sur de Latasa, que representa el relevo final de la estructura plegada de Aralar en su conjunto. Este pliegue se sitúa en la terminación oriental de Aralar y, por tanto, su dirección es paralela a la falla inversa que lo limita, es decir, NW-SE. En el borde sureste de este pliegue se localiza la que podríamos considerar la última cima de Aralar: el pico Erga.

Dentro del Arco Vasco se puede distinguir a su vez otras subunidades que de norte a sur son: Anticlinorio de Bizkaia y Sinclinorio de Bizkaia.

- ✓ Anticlinorio de Bizkaia (afectado directamente por los corredores del estudio): se trata de un amplio pliegue de dirección general NW-SE. Articula el sector meridional de Bizkaia y Guipúzcoa, formando parte de la divisoria de aguas Cantábrico-Mediterránea. Se inicia en el anticlinal del Monte Ventoso (Cantabria), prolongándose hacia el Este a través de los Montes de Triano, Ganekogorta, Gorbea, Duranguesado, Anboto, Udalaitz, Arlaban (a partir de aquí se va cerrando), Aitzgorri y Aralar. Su estructura es simple y regular, pudiendo diferenciar las siguientes subunidades: anticlinal de Galdames, anticlinal de Ganekogorta, anticlinal del Gorbea o del valle del Arratia, anticlinal de Dima y complejo supraurgoniano de Urquiola, anticlinal de Mañaria (Sierra de Anboto y Aramotz) y anticlinal de Udalaitz, Aitzgorri y Aralar.

- ✓ Sinclinorio de Bizkaia: se desarrolla fundamentalmente en territorio Vizcaíno, extendiéndose desde Punta Galea hasta los alrededores de Beasaín. Constituye una estrecha banda de areniscas eocenas de 50 km de longitud y 2-6 km de anchura. La zona Vizcaína presenta una estructura muy simple, constituida por el sinclinal de Guecho y sinclinorio del Oiz. En Guipúzcoa, la situación se complica considerablemente debido a la aparición de basaltos espilíticos submarinos (sector comprendido entre Bergara, Eibar, Elgoibar, Zumárraga y Mondragón). Dentro de este conjunto podemos diferenciar la zona Eibar-Garín, muy abrupta y escarpada, y la zona más oriental, caracterizada por presentar un grado máximo de complicación debido a las numerosas fracturas de dirección NNO-SSE y NNE-SSO que afectan a todo el conjunto.

2.2.2.2. Geomorfología del Arco Vasco

Morfológicamente el Arco Vasco es el Dominio más abrupto de la zona de estudio, condicionado las características geológicas mencionadas (estructuras, tectónica y litología), se caracteriza por sucesión de montañas y valles con altas pendientes.

Debido a la constitución, a base de materiales predominantemente calcáreos, en este dominio se han formado una forma particular de modelado del relieve que es el exokarst, en los dos macizos más importantes del Arco Vasco. el macizo de Aitzgorri y la Sierra de Aralar. No obstante, la Sierra de Altzania, que se encuentra entre ambos macizos, al estar formada por materiales margosos, presenta unas pendientes más suaves, no encontrándose karstificación de ningún tipo.

La arquitectura de las formas estructurales exokársticas están muy desarrolladas en la sierra de Aralar, así como los relieves en cuesta y erosiones diferenciales. Estas morfologías son el resultado de la acción tectónica sobre unas formaciones litológicas de condiciones muy dispares. Los ejemplos más significativos son:

- ✓ El domo de Ataún, formado por la primera barra urgoniana, fuertemente karstificada, presenta a lo largo del anillo un modelado en cuesta, con el frente abrupto correspondiente al talud de la primera barra hacia el interior del domo y el dorso hacia el exterior, con un modelado de lapiaz sobre su superficie.

- ✓ En general, allí donde aparece la primera barra urgoniana se forma un modelado de erosión diferencial cuyo aspecto difiere en conjunto dependiendo de la potencia de la barra. El modelado diferencial se realiza entre la barra urgoniana, mecánicamente más rígida y compacta y la formación arcillosa que se halla en su base. Es el caso de la barra de Ausa-Gaztelu, Akaitz, Desao,

etc. y de Larraone y de Balerdi al Norte, aunque en estos casos en la diferenciación morfológica intervienen así mismo importantes fallas de desgarre.

- ✓ Un tipo similar de modelado diferencial se realiza entre las barras de caliza para-arrecifales más margosa que la urgoniana y las series más o menos arcillosas intercaladas. Los ejemplos más visibles se hallan en la zona de Aia-Iturrieta-Ataún.

- ✓ Modelado en cuesta en la zona de las Malloas, resultado del cabalgamiento de la Escama Norte de Aralar, dejando al descubierto las series jurásicas en disposición monoclinal, con la característica en este caso de que también el flanco inverso cretácico participa en la formación de la cuesta.

2.2.3. Bloque Alavés

Formado por la franja de materiales del Cretácico superior y Terciario del sur de la Cuenca Vasco Cantábrica, abarcando parte del norte de Burgos, Álava y sur de Navarra. Presenta importantes intrusiones diapíricas. Su límite meridional está representado por el Cabalgamiento de la Sierra de Cantabria.

En principio, este Bloque no se verá afectado por los corredores previstos en el Estudio de Alternativas, pero por su interés geológico (al ser el tercer bloque que forma la Cuenca Vasco – Cantábrica) se incluye su descripción geológica.

2.2.3.1. Estructura y tectónica del Bloque Alavés

Se trata de una estructura tabular, constituida por rocas alpinas, en la que los materiales se disponen sobre un amplio sinclinal débilmente asimétrico con el eje ligeramente desplazado hacia el Sur. El núcleo está ocupado por las series continentales terciarias de la Depresión Miranda-Treviño y la Depresión Medina del Pomar. El límite meridional se dispone como una superficie poco ondulada, con pliegues anticlinales y sinclinales de suave configuración, tomando sus ejes la dirección NW-SE introduciéndose hacia el SE. Los motivos estructurales más destacables son el sinclinal de los Huetos, y el anticlinal de Zuazo-Villodas, con charnelas y flancos poco apretados y de escasa pendiente. La inclinación o buzamiento de las capas raramente sobrepasan los 15º. En cuanto a la fracturación y la densidad de las fracturas se encuentra íntimamente ligada a dos hechos estructurales destacables; como son por un lado el diapiro de Murguía que en su levantamiento salino ha provocado una intensa fracturación en las rocas circundantes. Por otro lado, la existencia de la estructura de Zuazo-Villodas, cuya charnela, favorecida por la rigidez y competencia de las rocas, provoca un importante diaclasamiento con fracturas dispuestas longitudinal y transversalmente a la dirección del eje. Los pliegues y fallas son debidos a las últimas fases de la Orogenia Alpina, disponiéndose la mayoría según la dirección principal NW-SE, y en otros casos según la dirección complementaria.

2.2.3.2. Geomorfología del Bloque Alavés

La evolución más reciente del bloque alavés puede seguirse a partir de pliegues suaves y regulares, en la que durante el cuaternario actuó una erosión fluvial con carácter diferencial, hasta excavar una cuenca semiendorreica que posteriormente se colmata por nuevos aportes de detríticos procedentes de los relieves circundantes. De este modo, en la gran llanura central, en la que la red fluvial, ya con carácter senil, se hace divagante sobre los materiales detríticos de relleno, se engarzan algunos relieves residuales y montes islas poco acusados y ligeramente más elevados que la propia llanura.

De esta manera, el relleno de la gran llanura central se realiza por depósitos aluviales y depósitos fluviales:

- ✓ Los depósitos aluviales: éstos depósitos se corresponden con el relleno multiepisódico de una superficie de erosión previa, a partir de antiguos ríos de canales entrecruzados estructurados en varios abanicos. Están constituidos por gravas heterométricas y angulosas, englobadas en una matriz arcillo-arenosa. Están formadas fundamentalmente por cantos de caliza y lentejones irregulares de arenas y arcillas. Se distinguen tres niveles que se encuentran a 25, 10 y 5 metros sobre el nivel de acumulación actual.

- ✓ Depósitos fluviales: se sitúan estratigráficamente por encima de los aluviales. Están constituidos fundamentalmente por arcillas, ricas en materia orgánica, de color oscuro, en espesores de entre 0,1 y 3 metros. En la base suelen existir

niveles de arenas de grano grueso y, ocasionalmente, gravas relativamente homométricas y bien rodadas. La litología de los clastos es idéntica a la existente en la formación aluvial. Estos depósitos están asociados a ríos de tipo meandriforme, que atraviesan en general el fondo de valle del bloque alavés.

2.3. Puntos de interés geológico

Se ha consultado la base de datos y la documentación facilitada por el IGME (Instituto Geológico y Minero de España) referente a los puntos de interés geológicos (PIG). Con dicha información, se ha podido comprobar que los trazados definidos en la Fase I de este Estudio de Alternativas no afectan a ningún punto de interés geológico, aunque hay dos de ellos que se encuentran próximos o muy próximos.

A continuación, se enumeran los puntos de interés geológico que se encuentran más próximos a los trazados de este Estudio de Alternativas:

- ✓ CV005 (Geosite UR005). Mineralizaciones de hierro de Peña Cabarga (Mina Orconera y otras). Los trazados rodean y evitan toda la zona de Peña Cabarga y Peña Cabarga por motivos medio ambientales. Sin afección.
- ✓ 59001. Poljé de Matienzo. Este PIG se sitúa muy al sur al Sur de los trazados de todas las alternativas. Sin afección.
- ✓ 36001 Diapiro de Liendo. Las alternativas A2, B1 y B2 tienen su trazado muy próximo a este Punto de Interés geológico
- ✓ PV094. Playa y dunas de La Arena. Este PIG se sitúa al Norte al Sur de los trazados de todas las alternativas. Sin afección.
- ✓ PV141. Filones de hierro en Laia – El Sauco. Este PIG se sitúa al sur al Sur de los trazados de todas las alternativas. Sin afección.
- ✓ PV140 (Geosite UR006). Mina interior y corta de Bodovalle. El final de todos los trazados se encuentra cerca de esta antigua explotación, pero aparentemente sin llegar a afectarla, aunque será necesario estudiar la extensión de la mina subterránea.
- ✓ PV149 (Geosite UR006). Explotación a cielo abierto de La Reineta-Arboleda. El final de todos los trazados se encuentra cerca de esta antigua explotación, pero sin llegar a afectarla.
- ✓ PV059. Karst en Agujas de Peñas Blancas. Los trazados no alcanzan esta zona. Sin afección.

3. Unidades litoestratigráficas

Se ha llevado a cabo una definición de las unidades litoestratigráficas que son representativas para todos los trazados previstos en este Estudio de Alternativas. Estas unidades estratigráficas han sido establecidas teniendo en consideración tanto características litológicas como estratigráficas, y han sido definidas a partir de los mapas geológicos de la serie MAGNA (Escala 1:50.000) y las memorias de los mismos editados por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

En el plano de este Apéndice denominado “Planta Geológica” (Anejo 2) se incluyen los trazados objeto de análisis de esta fase de estudio sobre la cartografía geológica de la serie MAGNA. Para cubrir toda el área que aparece en los planos de la planta de los corredores se han empleado las siguientes hojas de la serie MAGNA:

- ✓ Hoja 34. Torrelavega
- ✓ Hoja 35. Santander
- ✓ Hoja 36. Castro Urdiales
- ✓ Hoja 37. Algorta
- ✓ Hoja 58. Los Corrales de Buelnes
- ✓ Hoja 59. Villacarriedo
- ✓ Hoja 60. Valmaseda
- ✓ Hoja 61. Bilbao

Realmente los trazados considerados en la Fase I del Estudio de Alternativas solo afectan a algunas de estas hojas, que son con las que se ha establecido la equivalencia entre las unidades litoestratigráficas definidas en los próximos apartados y las formaciones definidas en cada una de las hojas de los mapas de la serie MAGNA afectadas por los trazados. Las hojas que no quedan afectados por los trazados del Estudio de Alternativas (o que prácticamente no se ven afectados) son las siguientes:

- ✓ Hoja 37. Algorta
- ✓ Hoja 58. Los Corrales de Buelnes
- ✓ Hoja 59. Villacarriedo

En la tabla de la siguiente página se presenta la equivalencia entre las unidades estratigráficas definidas en este Estudio de Alternativas y las formaciones definidas en las hojas de la serie MAGNA que realmente se ven afectadas por los trazados objeto de estudio.

En cualquier caso, en el plano de este Apéndice denominado “Leyenda de Planta Geológica” (Anejo 1) se presenta la leyenda de todas las hojas de la serie MAGNA que aparecen en la “Planta Geológica”.

Tabla 1. Equivalencia entre las unidades litoestratigráficas definidas en este Estudio de Alternativas y las formaciones definidas en los mapas geológicos se la serie MAGNA (IGME)

Estudio de Alternativas BILBAO-SANTANDER		HOJA 34 TORRELAVEGA		HOJA 35 SANTANDER		HOJA 36 CASTRO URDIALES		HOJA 60 VALMASEDA		HOJA 61 BILBAO	
Número	**Descripción**	**Número**	**Descripción**	**Número**	**Descripción**	**Número**	**Descripción**	**Número**	**Descripción**	**Número**	**Descripción**
UL-1	**Arcillas abigarradas y yesos (Keuper, Triásico)**	2	Arcillas abigarradas y yesos	2	Arcillas abigarradas y yesos	2	Arcillas abigarradas y yesos	1	Arcillas versicolores y yesos		
UL-2	**Ofitas (Keuper, Triásico)**	1	Ofitas	1	Ofitas	1	Ofitas				
UL-3	**Dolomías y calizas (Jurásico Lías)**	3	Dolomías y calizas microcristalinas	3	Dolomías y calizas microcristalinas	3	Dolomías, brechas calizo-dolomíticas y calizas microcristalizas	2	Carniolas, dolomías y calizas		
UL-4	**Margas y calizas arcillosas (Jurásico Lías)**	4	Margas y calizas arcillosas	4	Margas y calizas arcillosas	4	Margas y calizas arcillosas	3	Alternancia de margas y calizas arcillosas		
UL-5	**Areniscas, arcillas y limos (Facies Weald, Cretácico Inferior)**	5	Limos, arcillas y areniscas	5	Areniscas y arcillas lomolíticas (Weald)	6	Areniscas y limos arcillosos	7	Areniscas y arcillas limolíticas	2	Areniscas, margas y areniscas calcáreas
UL-6	**Calizas con Rudistas y Orbitolinas (Cretácio Inferior)**	10	Calizas con Rudistas y Orbitolinas. Dolomías	6	Calizas con Rudistas y Orbitolinas y dolomías	7	Calizas con Rudistas y Orbitolinas	9	Calizas con Rudistas y Orbitolinas. Areniscas en la base	3	Calizas
				7	Calizas con Toucasia						
UL-7	**Calcarenitas, areniscas y arcillas (Cretácio Inferior)**	7	Calcarenitas con Orbitolinas, arcillas y areniscas	8	Calcarenitas con Orbitolinas, arcillas y areniscas			8	Areniscas y calizas con Orbitolinas. Margas arenosas y areniscas en el Este		
				11	Calizas con intercalaciones de margas y arenas						
UL-8	**Calizas arcillosas, margas, areniscas y arenas (Cretácico Inferior)**			15	Margas grises y calizas	8	Calizas arcillosas con espículas	20	Calizas arcillosas con espículas	6	Margas y areniscas
				16	Calizas y margas con intercalaciones de arenas y areniscas	10	Areniscas, margas y calizas	13	Margas hojosas y calizas arcillosas. Intercalaciones de areniscas		
		15	Arenas, limos y arcillas e intercalaciones calizas (Pirita y restos carbonosos)	17	Arenas, limos y arcillas e intercalaciones calizas (Pirita y restos carbonosos)						
				18	Margas y arenas					9	Margas y areniscas
				19	Arenas y areniscas	9	Areniscas y arcillas limolíticas	19	Areniscas y arcillas arenosas	10	Areniscas
				20	Intercalación caliza						
				21	Calizas, margas y arenas						
UL-9	**Calcarenitas (Cretácico Superior)**	18	Calcarenitas	22	Calcarenitas						
UL-10	**Margas y calizas (Cretácico Superior)**			23	Margas y calizas arcillosas. Localmente calcarenitas	12	Margas hojosas y calizas arcillosas	22	Margas y calizas arcillosas	12	Margas
		19	Margas y calizas arcillosas. Glauconita en la base	24	Margas y calizas arcillosas. Glauconita en la base					13	Margas y calizas
				25	Margas y calizas arcillosas					14	Margas y calizas
		20	Margas y calizas arenosas con Micraster	26	Margas y calizas arenosas con Micraster					15	Margas y calizas
UL-11	**Cubetas de decalcificación (Cuaternario)**	36	Cubetas de decalcificación	41	Cubetas de decalcificación	16	Cubetas de decalcificación	26	Cubetas de decalcificación		
UL-12	**Depósitos de marismas y ría (Cuaternario)**	32	Marismas y rías	37	Marismas y rías	19	Marismas				
UL-13	**Depósitos aluviales (Cuaternario)**	31	Aluviones	36	Aluviones	20	Aluviones	24	Aluviones	20	Aluviones
UL-14	**Depósitos antrópicos (Cuaternario)**	37	Sedimentos antrópicos	42	Sedimentos antrópicos						

En los siguientes apartados se esboza la estratigrafía existente en la el área de estudio y sus alrededores, y se lleva a cabo una descripción de las unidades litoestratigráficas que se han definido.

3.1. Triásico

Del Triásico únicamente se encuentran materiales correspondientes a la Facies Keuper y corresponden a los materiales de edades más antiguas afectados por los corredores.

Unidad Litoestratigráfica UL-1. **Arcillas abigarradas y yesos (Keuper)**. Estos materiales afloran de forma diapírica y están constituidos fundamentalmente por arcillas abigarradas, en ocasiones hojosas y generalmente plásticas, con niveles intercalados de yesos variolados (negros, blancos o rojos) en filones. No se puede descartar la presencia de evaporitas (sales) en profundidad, aunque no son visibles en superficie.

Se localizan en las partes bajas de los principales ríos (en la zona de estudio se encuentran en torno a los ríos que desembocan en la Bahía de Santander y el Río Asón).

Localmente engloban masas o bloques de materiales de formaciones más modernas, principalmente dolomías vacuolares (carniolas) o dolomías compactas negras del Lías Inferior y también areniscas pertenecientes a las facies Weald.

Unidad Litoestratigráfica UL-2. **Ofitas (Keuper).** Dentro del Keuper, de manera esporádica, aparecen masas de ofitas embebidas en las arcillas. Se trata de unas rocas subvolcánicas alteradas en superficie y que litológicamente corresponden a basaltos. Se caracterizan por presentar una estructura holocristalina, textura ofítica o diabásica y están compuestas por piroxenos, anfiboles y plagioclasas con minerales opacos como accesorios.

3.2. Jurásico

En los corredores previstos el jurásico únicamente se encuentra representado por el Lías, y habitualmente aparecen junto a los afloramientos del Keuper, por lo que las localizaciones de los afloramientos del Jurásico coinciden con los del Triásico. Los contactos con otras unidades son siempre mecanizados, principalmente en la base de estas formaciones, que se apoyan tectónicamente sobre los materiales del Keuper.

Del Jurásico se puede diferenciar claramente entre materiales del Lías Inferior-Medio y del Lías Superior:

Unidad Litoestratigráfica UL-3 Dolomías y calizas (Lías Inferior-Medio). Litológicamente está conformado por dolomías masivas en la base y dolomías tableadas o bandeadas hacia techo, y por calizas microcristalinas, estratificadas en bancos de 30 a 70 cm. Se trata de pequeños afloramientos, normalmente incluidos entre los materiales del Keuper.

Unidad Litoestratigráfica UL-4. Margas y calizas arcillosas (Lías Superior). Está compuesta por una alternancia de calizas arcillosas, grises y microcristalinas, con margas negruzcas, hojosas, con abundante material orgánica y pirita.

3.3. Cretácico

Se trata de los materiales mayoritariamente aflorantes; se caracterizan por la gran potencia que desarrollan en esta zona, junto con su gran variabilidad, que van desde margas, lutitas o areniscas hasta calizas o dolomías masivas pasando por todos los términos intermedios. En esta edad destacan las siguientes facies: Facies Weald, Complejo Urgoniano y Complejo Supraurgoniano.

Se han distinguido varias unidades cretácicas, tanto del Cretácico Inferior, como del Cretácico Superior.

3.3.1. Cretácico Inferior

Del Cretácico Inferior los corredores previstos coinciden con formaciones en Facies Weald, del Aptiense y del Albiense:

Unidad Litoestratigráfica UL-5. Areniscas, arcillas y limos (Facies Weald): al contrario que el resto del Cretácico Inferior, la Facies Weald es una facies de ambiente continental. Los materiales del Weald que coinciden con los trazados del Estudio de Alternativas están compuestos por una serie de areniscas ferruginosas y

micáceas con estratificación cruzada, que presentan intercalaciones de arcillas limolíticas de colores amarillentos o rojizos y en ocasiones negruzcos por la presencia de materia orgánica.

Unidad Litoestratigráfica UL-6. Calizas con Rudistas y Orbitolinas (Aptiense). Esta unidad comprende calizas y calcarenitas bioclásticas masivas, localmente dolomitizadas y bien estratificadas que pueden tener intercalaciones margosas, arcillosas, limosas y de arenas. Presentan rudistas, orbitolinas y toucasia. Comprenden todo el Aptiense extendiéndose hasta el Albiense Medio.

Unidad Litoestratigráfica UL-7. Calcarenitas, areniscas y arcillas (Aptiense). Está compuesta por calizas y calcarenitas cristalinas algo arenosas y por alternancias de arenas, limos, arcillas calcáreas y calcarenitas grises, localmente dolomitizadas. La fauna que domina estas formaciones son las orbitolinas, habiéndose formado estos materiales durante el Aptiense Inferior y Medio.

Unidad Litoestratigráfica UL-8. Calizas arcillosas, margas, areniscas y arenas (Albiense). En esta unidad encontramos variadas litologías, aunque todas ellas corresponden al Albiense y al Cenomaniense Inferior. Las litologías que se ven afectadas por los trazados previstos en esta fase son los siguientes: margas grises y calizas; calizas y margas con intercalaciones de arenas y areniscas; margas y arenas; arenas y areniscas; calizas, margas y arenas.

3.3.2. Cretácico Superior

Los trazados se topan con materiales que corresponden con la mitad inferior del Cretácico Superior:

Unidad Litoestratigráfica UL-9. Calcarenitas (Cenomaniense). Se trata de unas calcarenitas de tonos beige, estratificadas en capas de un metro aproximadamente. Son abundantes las orbitolinas, tanto en las partes inferiores como en las superiores de la formación. Son materiales formados durante el Cenomaniense Medio y Superior.

Unidad Litoestratigráfica UL-10. Margas y calizas (Cretácico Superior Medio). Está formada por una serie monótona de margas grises, generalmente hojosas, con intercalaciones de calizas arcillosas. En alguno de los afloramientos de esta unidad se ha encontrado glauconita en la base de la formación. Se formaron en la parte central del Cretácico Superior (Turoniense y Coniaciense)

3.4. Terciario

Estos materiales aparecen en zonas muy puntuales y se trata de una alternancia de calizas y calcarenitas con algunos niveles de areniscas o margas. Afloran próximos a la línea de costa desde Santander hasta San Vicente de la Barquera, por lo que no están afectados por los corredores objeto de estudio.

3.5. Cuaternario

Muy desarrollados a lo largo de toda la zona debido a la climatología de la zona, destacan los depósitos de tipo marisma, aluviales, coluviales de ladera y suelos de decalcificación en zonas kársticas.

Unidad Litoestratigráfica UL-11. Depósitos de decalcificación (Q). De arcillas arenosas rojizas provenientes de la alteración química de las calizas y dolomías. Rellenan el fondo de depresiones kársticas tipo poljés, dolinas o uvalas. Generalmente se encuentran muy cubiertas de vegetación. Se han localizado varias zonas con este tipo de depósitos afectando a los corredores previstos: Hoznayo, Solórzano, Hazas, Rasines

Unidad Litoestratigráfica UL-12. Depósitos de marisma y ría (Q). En general, son materiales de granulometría muy fina: arcillas, limos y fangos con abundante contenido en materia orgánica y frecuentemente saturados en agua. Los depósitos de marisma y ría más destacado y que afectan a los trazados del estudio son la Ría de Solía y la Ría de Treto.

Unidad Litoestratigráfica UL-13. Depósitos aluviales (Q). Constituidos por depósitos de bolos y gravas heterogéneas y redondeadas con matriz de arenas gruesas limpias a arenas-arcillosas y arenas-limosas, siendo frecuente la presencia de materia orgánica. Los ríos afectados por los trazados que presentan depósitos aluviales de mayor entidad son: Río Miera, Río Asón, Río Aguera y Río Nervión.

Unidad Litoestratigráfica UL-14. Depósitos antrópicos (Q). Constituidos por acumulaciones de materiales muy heterogéneos en cuanto a origen y tamaño,

normalmente son escombreras y vertederos, aunque también se incluyen rellenos para obras civiles. Los depósitos antrópicos cartografiados que afectan a los corredores analizados se encuentran en torno a las Ría de Solía y de San Salvador, así como en las inmediaciones de las ciudades de Bilbao y Santander, fuera del alcance de este estudio. En la realidad, a lo largo de los trazados de esta fase existen más depósitos antrópicos, ya que la población se encuentra bastante dispersa y hay un gran número de vías de comunicación e infraestructuras, pero se trata de depósitos de menor entidad que se escapan a la escala se la presente fase de estudio.

Igualmente, a lo largo de los corredores se encontrarán otros depósitos cuaternarios, que, por su menor entidad, no se encuentran cartografiados a esta escala. Estos depósitos pueden ser los ya mencionados y coluviones, pequeñas terrazas de ríos, u otro tipo de depósitos recientes.

4. Hidrogeología

4.1. Masas de agua subterránea

Según la Directiva Marco del Agua (DMA, Directiva 2000/60/CE), para la evaluación de las aguas subterráneas, se debe hablar de masas de agua subterránea, las cuales contienen los distintos acuíferos, en vez de las conocidas unidades hidrogeológicas o sistemas acuíferos. Es conveniente diferenciar entre el concepto físico de acuífero, entendido como formación geológica capaz de almacenar y transmitir agua, y el concepto administrativo de masa de agua subterránea, formada por uno o más acuíferos, que se agrupan a efectos de conseguir una racional y eficaz administración del agua y cuyos límites pueden incluir también porciones del territorio donde no existen acuíferos.

En este apartado se identifican y se muestran las características principales de las masas de agua subterránea (MASb) que se encuentran en los corredores del Estudio de Alternativas.

Los corredores previstos en el Estudio de Alternativas coinciden con la distribución de cuatro masas de agua, pertenecientes a dos cuencas hidrográficas diferentes:

- ✓ Cuenca Hidrográfica del Cantábrico Occidental
    - o Santander – Carmargo
    - o Alisas – Ramales
    - o Castro Urdiales
- ✓ Cuenca Hidrográfica del Cantábrico Oriental
    - o Sopuerta

4.1.1. Masas de aguas subterránea del Cantábrico Occidental

En la siguiente imagen se pueden apreciar las masas de agua que se han identificado en el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de Cantábrico Occidental, correspondiente al periodo 2015-2021:

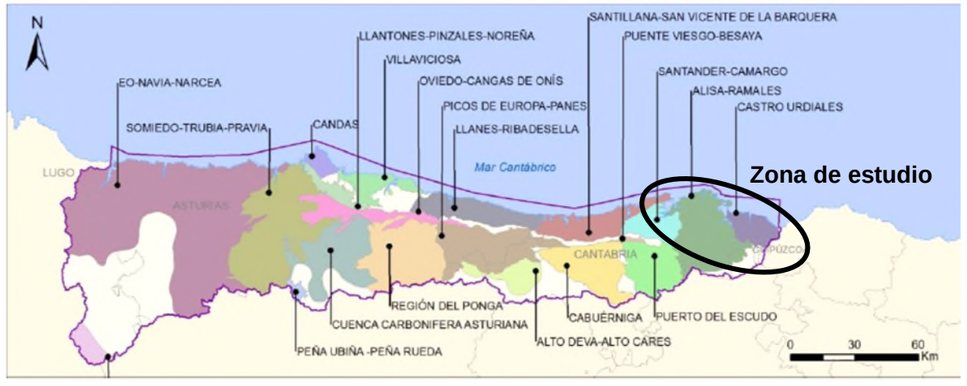


Figura 5. Masas de agua subterráneas identificadas en la Cuenca Cantábrica

Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de Cantábrico Occidental 2015-2021

Los corredores objeto de estudio se encuentran sobre las siguientes masas de agua:

- ✓ Masa de agua subterránea de Santander-Camargo (12009)
- ✓ Masa de agua subterránea de Alisas Ramales (12010)
- ✓ Masa de agua subterránea de Castro Urdiales (12011)

En la Hoja 1 del Mapa Hidrogeológico (Anexo 3 de este Anejo) se puede apreciar con mayor detalle la distribución de las masas de agua subterránea que se encuentran a lo largo de los corredores del estudio. Este mapa se ha obtenido del Mapa Hidrogeológico de España a Escala 1:200.000 continuo y en formato digital (IGME, 2009).

En las siguientes tablas se van a exponer las características principales de las masas de agua subterránea del Cantábrico Occidental que se encuentran bajo los corredores objeto de estudio. La información ha sido obtenida del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de Cantábrico Occidental, periodo 2015-2021.

En la siguiente tabla se identifica cada una de estas masas de agua subterráneas:

Tabla 2. Identificación de las masas de agua subterráneas del Cantábrico Occidental

Código MASb	Nombre MASb	Localización geográfica		Superficie MASb (km²)
		Provincia	Superficie (km²)	
12009	Santander-Camargo	Cantabria	333,6	333,6
12010	Alisas-Ramales	Bizkaia	55,1	962,2
		Burgos	0,4	
		Cantabria	906,2	
12011	Castro Urdiales	Bizkaia	25,1	279,5
		Cantabria	254,4	

En la tabla siguiente se muestran de forma resumida las principales características de los acuíferos en los que se sitúan las masas de agua subterránea de la Confederación Hidrográfica del Cantábrico Occidental; se indica la superficie total de la masa, la superficie de afloramiento, la litología y tipo de acuífero y el horizonte en que se encuentra la masa.

Tabla 3. Características generales de las masas de agua subterráneas del Cantábrico Occidental

Código MASb	Nombre MASb	Superficie (km^2)	Superficie permeable (km^2)	Nombre del acuífero	Tipo del acuífero	Litología	Horizonte
12009	Santander-Camargo	333,6	275	Gajano	Mixto	Calizas, calcarenitas, dolomías	Superior
12010	Alisas-Ramales	962,2	319	Ajo	Libre	Calizas, calcarenitas	Superior
				Cretácico	Libre	Caliza, arenas y calizas arenosas	
				Jurásico	Confinado	Caliza, dolomías	
12011	Castro urdiales	279,5		Castro Urdiales	Libre	Caliza, calcarenitas	Superior

La distribución del recurso de aguas subterráneas por masa de agua subterránea se resume en la tabla siguiente:

Tabla 4. Recursos de las masas de agua subterráneas

Código MASb	Nombre MASb	Superficie (km^2)	Recurso renovable (hm^3/año)	Reserva (hm^3/año)	Requerimiento medioambiental (hm^3/año)	Recurso disponible (hm^3/año)	Salidas por manantiales (hm^3/año)	Salidas por extracción (hm^3/año)	Índice de explotación
12009	Santander-Camargo	333,6	105,10	28,43	28,43	76,67	4,49	7,49	0,0977
12010	Alisas-Ramales	962,2	412,86	24,13	55,42	357,44	2,27	5,11	0,0143
12011	Castro urdiales	279,5	92,04	7,81	16,77	75,26	0,50	0,11	0,0014

A continuación, se expone la metodología que se ha empleado en el mencionado Plan Hidrológico para la evaluación de los recursos hídricos de las masas de agua subterránea (MASb) de la Cuenca Hidrográfica del Cantábrico Occidental.

Los flujos totales en régimen natural constan de una componente de escorrentía superficial directa y de una componente de origen subterráneo. Esta componente subterránea de la escorrentía total, coincide básicamente -dejando a salvo los efectos de transferencias subterráneas externas- con la recarga natural de los acuíferos.

Pese a estas dificultades, el conocimiento de la recarga resulta de gran interés teórico y práctico, pues viene a acotar las posibilidades máximas de explotación sostenible a largo plazo de las aguas subterráneas de un acuífero.

La mayor parte del agua que recarga los acuíferos se descarga diferida en el tiempo a la red fluvial, de forma difusa o a través de manantiales, y en muchas cuencas es uno de los constituyentes básicos de la aportación de los ríos. Otra parte de la recarga, en general mucho más reducida, se transfiere subterráneamente a otros acuíferos o, en el caso de los acuíferos costeros, descarga al mar.

Se han considerado como recursos renovables de las masas de agua subterránea el sumatorio de la infiltración media de lluvia, los retornos de riego y las entradas laterales procedentes de otras cuencas. Estos valores son medios interanuales y en el caso de la infiltración por lluvia se corresponden con los valores medios de la serie histórica (1940/41-2005/06) y la serie correspondiente a los últimos 26 años (1980/81-2005/06).

Cuando se está refiriendo a explotación de aguas subterráneas nos estamos refiriendo a aguas extraídas mediante bombeo de los acuíferos, y no a la fracción de origen subterráneo de la escorrentía total.

En referencia a la evaluación del recurso disponible de aguas subterráneas, de acuerdo con el nuevo concepto introducido por la DMA que en su artículo 2.27, define como recurso disponible de aguas subterráneas “el valor medio interanual de la tasa de recarga total de la masa de agua subterránea, menos el flujo interanual medio requerido para conseguir los objetivos de calidad ecológica para el agua superficial asociada para evitar cualquier disminución significativa en el estado ecológico de tales aguas, y cualquier daño significativo a los ecosistemas terrestres asociados…”.

Por lo tanto, en la evaluación del recurso disponible de aguas subterráneas, se tiene que reservar del recurso renovable, el volumen de descargas de las masas de agua subterránea a los ríos, manantiales, zonas húmedas, etc., para posibilitar la consecución de los objetivos ambientales.

Las extracciones se han calculado a partir de los volúmenes concedidos inscritos en el Registro de Agua, cuyo origen es manantial o pozo y que se encuentran ubicados dentro de los límites de una determinada masa de agua subterránea. Para la Demarcación del Cantábrico Occidental el volumen concedido, de origen subterráneo, que cae dentro de masa de agua subterránea es del 96%.

Dicho recurso disponible por masa de agua subterránea se calcula como la diferencia entre el recurso renovable y el requerimiento ambiental.

El recurso renovable es la infiltración media correspondiente al periodo 1980/81-2005/06 calculado con SIMPA. Algunas de las masas de agua subterráneas, según criterio de experto y a falta de estudios de detalle de los recursos de las masas de agua subterráneas, presentan en el ámbito del Plan menores recursos que los que de manera natural se pueden dar, debido a la simplificación del modelo, que en casos concretos no llega a representar la realidad.

Para el cálculo del requerimiento ambiental por masa de agua subterránea, se ha utilizado la suma de los caudales naturales de todos los tramos de ríos que se encuentran dentro de espacios naturales protegidos, durante el periodo de estiaje de éstos, ya que generalmente son los acuíferos los que mantienen los caudales de los ríos en dicho periodo. Para las masas de agua subterránea en las cuales el considerado, como medida de protección de los ecosistemas terrestres asociados, un mínimo del 10%.

4.1.1.1. Masa de agua subterránea Santander – Camargo (12009)

La MASb de Santander Camargo se encuentra en la parte central de Cantabria, al Sur de la ciudad de Santander. Su poligonal envolvente tiene una superficie total de

334 km², de los cuales 66 km² constituyen su superficie permeable aflorante que está formada por calizas, dolomías y calcarenitas de edad cretácica principalmente, aunque también existen algunos afloramientos de calizas y dolomías del Jurásico. Esta MASb se corresponde con la “Unidad Diapirizada de Santander” definida por el IGME en 1984.

Por la MASb discurren varios cursos de agua clasificados como masas de agua superficiales (MAS), entre los que destacan los ríos Besaya, Pas, Pisueña y Miera. Dentro de la poligonal ninguno de estos cauces está considerado tramo prioritario por la Dirección General del Agua (DGA).

Las lluvias son frecuentes durante todo el año, con un máximo en otoño-invierno; la precipitación media oscila entre 1.000 mm/año en la costa, y 1.700 mm/año en el interior. La temperatura no ofrece grandes variaciones a lo largo del año, con una media anual entre los 13-14º C. La evapotranspiración real está comprendida entre 500 mm/año en la costa y 700 mm/año en el interior. La lluvia útil oscila entre 400 mm/año en la zona de San Vicente de la Barquera y 1.200 mm/año en el interior.

4.1.1.1.1. Litoestratigráfia y permeabilidad

Se han definido tres formaciones geológicas permeables dentro de la MASb Santander - Camargo:

- ✓ Calizas y dolomías del Jurásico de “Santander-Camargo”
- ✓ Calizas y calcarenitas del Aptiense-Albiense de “Santander-Camargo”
- ✓ Calcarenitas masivas del Aptiense de “Santander-Camargo”

Las calizas y dolomías jurásicas corresponden a la Unidad Litoestratigráfica UL-3 de este Estudio de Alternativas, pero afloran escasamente dentro de los límites de la MASb.

Las calizas y calcarenitas del Aptiense-Albiense y las calcarenitas masivas del Aptiense corresponden mayoritariamente a la unidad litoestratigráfica UL-6 de este Estudio de Alternativas. Presentan una permeabilidad alta o muy alta. El substrato impermeable de estas formaciones permeables son las lutitas, areniscas, conglomerados y calizas arenosas de Facies Weald (UL-5).

Las calizas y calcarenitas del Aptiense-Albiense tienen una potencia de 650 m, mientras que en las calcarenitas masivas del Aptiense es de 250 m.

Los límites de la MASb los constituyen al sur los materiales impermeables triásicos de la "Franja cabalgante del Escudo de Cabuérniga", al este por los materiales impermeables a muro de la MASb Alisas-Ramales y al oeste por los materiales impermeables a muro de la MASb Santillana-San Vicente de la Barquera.

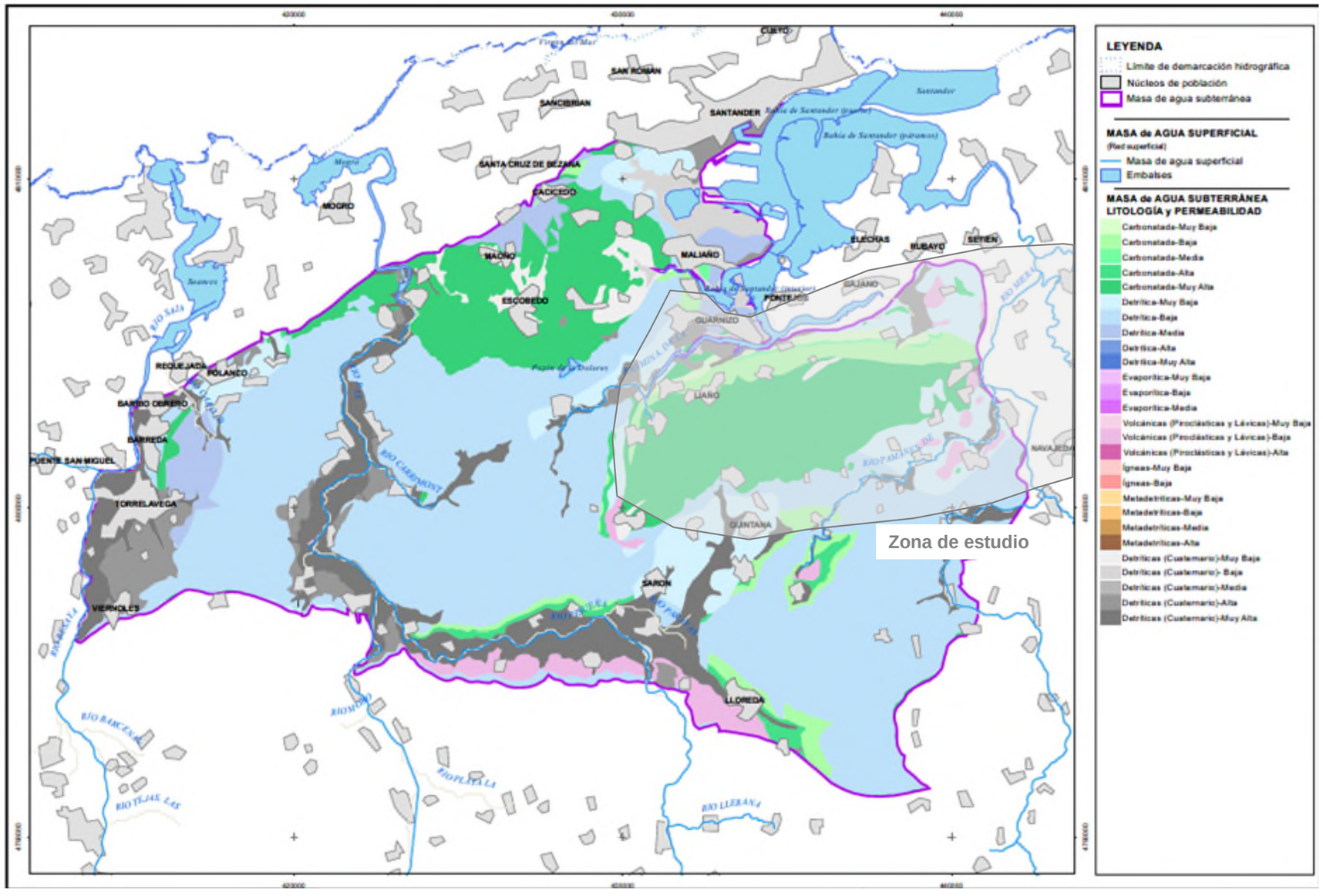


Figura 6. Mapa de permeabilidades de la MASb Santander - Camargo (12009)

Fuente: Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descarga por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico. Masa de Agua Subterránea 016.209 Santander-Camargo. IGME

4.1.1.1.2. Estructura geológica

Desde el punto de vista estructural, la MASb Santander-Camargo se encuentra suavemente plegada y fallada, con los materiales impermeables de la Facies Weald como substrato impermeable.

Dentro de la estructura general se pueden diferenciar dos sectores acuíferos, el primero compuesto por calizas y calcarenitas dolomitizadas de edad Aptiense-Albiense situado al norte y otro compuesto por calcarenitas masivas del Aptiense al sur del primero.

En estas condiciones, las relaciones río-acuífero que se puedan producir se establecerán allí donde los acuíferos drenen por manantiales o bien allí donde los cauces de los ríos los atraviesen por debajo de su nivel piezométrico.

4.1.1.1.3. Funcionamiento hidrogeológico

La recarga de esta MASb se produce por la infiltración del agua de lluvia caída sobre los afloramientos permeables, mientras que las salidas tienen lugar a través de manantiales, algunos de ellos de cierto caudal y constante durante todo el año, y a través de los ríos que los atraviesan dentro de los cuales se incluirían El Besaya, Pas, Pisueña y Miera.

Los principales manantiales que se encuentran dentro de la MASb Santander-Camargo son Medio Cudeyo a 50 m s.n.m. que drenaría el acuífero de Calcarenitas masivas del Aptiense en su sector oriental, y un caudal estimado de 35 l/s, y Fuente El Collado a 70 m s.n.m. que drenaría el acuífero de Calizas y calcarenitas del Aptiense-Albiense, y un caudal estimado de 20 l/s. También se han observado otros manantiales de menor entidad, a 290 m s.n.m. y 138 m s.n.m. respectivamente, en los que se ha comprobado que gracias a ellos surge el Río Parayas, tributario del río Pisueña, que drenaría el acuífero de las Calizas y dolomías del Jurásico, en el sector meridional de la MASb.

Por último, las salidas naturales a través de manantiales se han estimado en unos 100 l/s (3,2 hm^3/año) sin que se conozcan en detalle las aportaciones directas que recibe cada río que la cruza. En total se han estimado unas aportaciones del orden de los 35-52 hm^3/año.

4.1.1.2. Masa de agua subterránea Alisas – Ramales

Ocupa parte del Este-Centro de Cantabria y una pequeña parte del Oeste de Bizkaia. Su poligonal envolvente tiene una superficie total de 962 km^2, de los cuales más de la mitad constituirían sus afloramientos permeables, en concreto materiales carbonatados karstificados del Cretácico. La cota máxima dentro de la MASb es de 1.708 m s.n.m., la cota mínima está al nivel del mar, situándose la cota media en 377 m s.n.m.

Por Alisas-Ramales discurren hasta 15 masas de agua superficiales distintas, entre las que destacan los ríos Miera, Aguanaz, Pontones, Campiazo, Clarín y Clarón, Asón, Gándara, Calera y Carranza, siendo todos ellos protagonistas en la mayoría de las relaciones río-acuífero identificadas.

Las lluvias son frecuentes durante todo el año, con un máximo en otoño-invierno. La pluviometría media varía entre los 1.000 mm/año en la zona costera a 2.000 mm/año en las zonas montañosas del sur. La temperatura media anual varía entre 14º C en la costa a 8º C en las montañas meridionales. La evapotranspiración real está comprendida entre 500 mm/año, en la franja costera, a más de 900 mm/año en las zonas montañosas. La lluvia útil oscila entre 500 mm/año en la costa y cifras superiores a los 1.300 mm/año en las montañas.

4.1.1.2.1. Litoestratigráfica y permeabilidad

La MASb de Alisas-Ramales se aloja en formaciones porosas carbonatadas, en las cuales se puede distinguir dos zonas:

- ✓ “Complejo Urgoniano” del sector meridional
- ✓ “Complejo Urgoniano” del sector septentrional

Ambas se corresponden con las Calizas masivas arrecifales, con rudistas, calizas bioclásticas, dolomías y margas del Aptiense-Cenomaniense (que se corresponden con la Unidad Litoestratigráfica UL-6 de este Estudio de Alternativas), de permeabilidad muy alta, y en menor medida con las Margas, calizas, arcillas y dolomías del Aptiense-Cenomaniense (Unidades Litoestratigráficas UL-7 y UL-8), de permeabilidad media. Las calizas masivas presentan una permeabilidad por

porosidad secundaria, desarrollada por procesos de disolución y erosión que avanzan por vías preferentes, debidas a fracturación y/u otro tipo de discontinuidad (endokarst). Son característicos su anisotropía y el desarrollo de grandes formas de absorción y conducción, estructurados según redes bien definidas. El “Complejo Urgoniano” presenta frecuentes cambios de facies dentro del propio complejo, pasando de tramos carbonatados hacia tramos margosos de menor permeabilidad. La potencia en conjunto de estos materiales suele alcanzar los varios centenares de metros.

Los aluviales cuaternarios se circunscriben a los cursos de agua más importantes de la MASb. Presentan escasos espesores y suelen tener elevadas permeabilidades. Se corresponden con las Gravas, arenas, limos (Depósitos de aluviales, fondos de valle y terrazas bajas en los ríos principales) del Cuaternario . Su interés radica en que pueden estar en conexión hidráulica con los materiales carbonatados kársticos del Cretácico.

Como impermeable de base se consideran las formaciones lutíticas de facies Purbeck-Weald en la mitad oriental de la MASb, o también las formaciones margosas del propio Complejo Urgoniano en el resto. Los materiales carbonatados presentan escasa continuidad lateral, constituyendo cuerpos o sistemas acuíferos aislados. Aunque la mayoría de estos afloramientos guardan relación con cursos de agua, no todos lo hacen con las masas de agua superficiales existentes.

La formación carbonatada septentrional (la que más afecta a la zona de estudio) se correspondería con los afloramientos carbonatados situados en el río Miera al Norte de la población de dicha denominación, los del Alto de la Follada, Puerto de Alisas, Alto del Tocornal y Puerto de la Cruz Uzano, e incluiría la totalidad de la cuenca del río Clarín. Por su parte la formación carbonatada meridional se correspondería esencialmente con los afloramientos que dominan las elevaciones de la Sierra del Hornijo que tendrían su continuidad hacia el Oeste, hasta alcanzar el río Miera, hacia el Sur a lo largo del Valle del río Asón y hacia el Este hasta que los afloramientos carbonatados sobrepasan el río Carranza, quedando incluido en la misma la zona del Alto de las Campas. El sector acuífero meridional tiene una superficie de afloramientos carbonatados de 243 km^2, mientras que el sector septentrional tiene 202 km^2 .

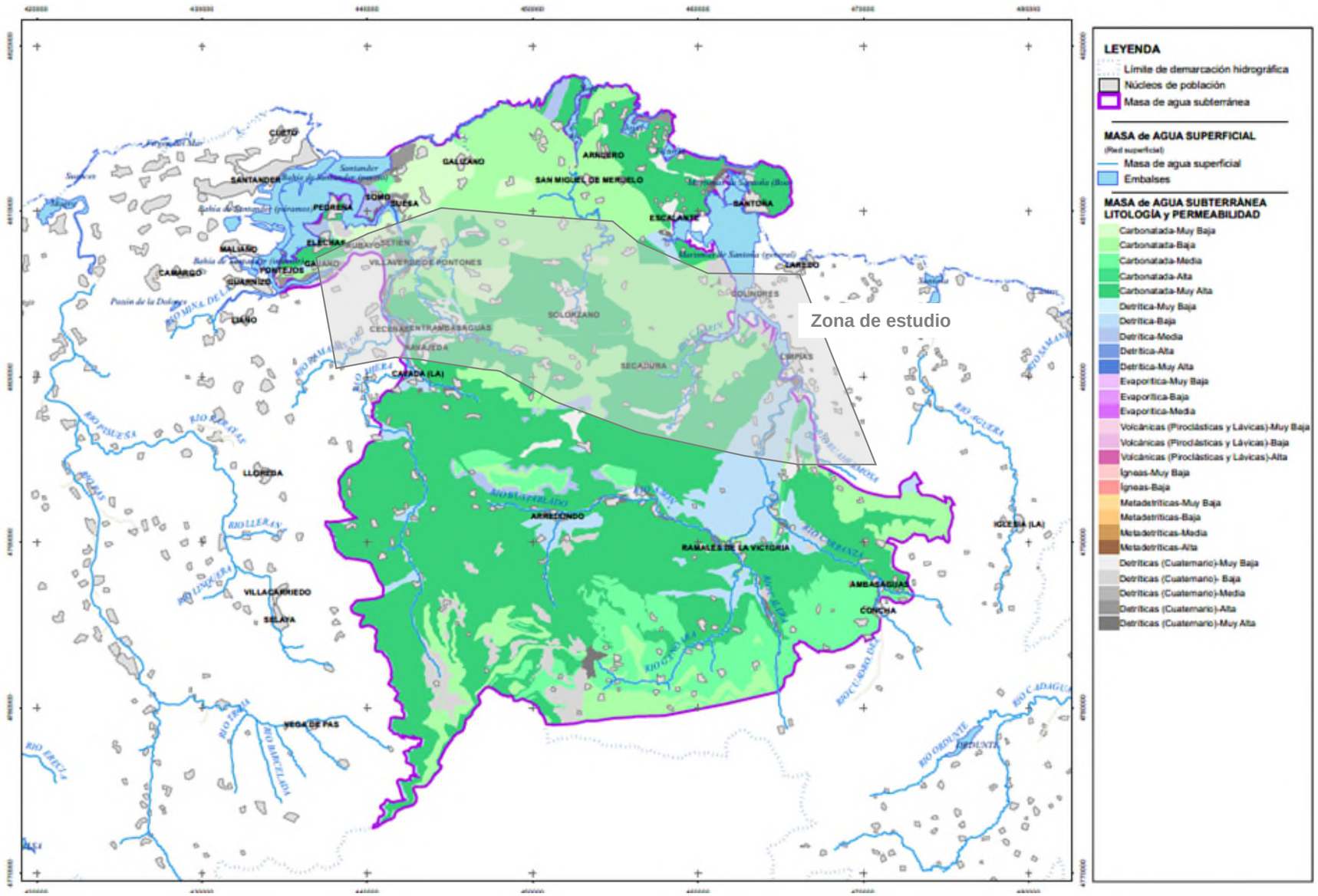


Figura 7. Mapa de permeabilidades de la MASb Alisas - Ramales

Fuente: Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descarga por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico. Masa de Agua Subterránea 016.210 Alisas - Ramales. IGME

4.1.1.2.2. Estructura geológica

Desde el punto de vista estructural, la MASb Alisas - Ramales presenta un importante grado de fracturación y plegamiento.

La estructura de la MASb responde a una gran antiforma con eje de dirección E-O con flancos septentrionales generalmente buzantes hacia el Norte y meridionales buzantes hacia el Sur, definiéndose dentro de ella diferentes pliegues subsidiarios de gran radio que con frecuencia quedan interrumpidos por fallas. En la zona central de la MASb, en una franja que uniría las poblaciones de Miera, Arredondo y Ramales de la Victoria, afloran los materiales del substrato, lo que permite la subdivisión de la misma en dos subunidades Septentrional y Meridional.

La MASb Alisas Ramales posee un importante desarrollo kárstico como se pone de manifiesto con la gran presencia de formas exokársticas como son los lapiaces, las dolinas, las uvalas o poljes. Además, el karst también tiene un gran desarrollo del endokarst, situándose en esta MASb varios de los sistemas kársticos de mayor desarrollo de España y del mundo, contabilizándose en tres de ellos más de 100 km de galerías exploradas y topografiadas.

Los materiales carbonatados presentes, al haber sufrido una intensa karstificación, muchos de los caudales de los ríos tienen su origen en los aportes subterráneos procedentes de los sistemas kársticos, a veces de forma muy espectacular mediante salidas por cuevas y en otras ocasiones de forma difusa. Dada la composición de los materiales y la karstificación que les afecta, debe existir una gran falta de homogeneidad en su comportamiento hidráulico, cabe resaltar además la frecuente presencia de arcillas de descalcificación que rellenan los conductos kársticos y las fisuras.

En estas condiciones, es frecuente que los ríos pierdan gran parte de su caudal a través de sumideros, integrándose a continuación en complejas redes de circulación, volviendo a aparecer en puntos distantes situados aguas abajo.

4.1.1.2.3. Funcionamiento hidrogeológico

Esta MASb se alimenta de la infiltración de lluvia caída sobre los afloramientos permeables. Todas las salidas naturales se producen a través de manantiales y descargas difusas, que van a parar a los ríos.

La formación porosa del “Complejo Urgoniano” del sector septentrional tendría sus salidas localizadas a lo largo de los ríos: Campiazo, Revilla, Aguanaz, Pontones, Clarín, mientras que la formación porosa del “Complejo Urgoniano” del sector meridional tendría sus salidas relacionadas con los cursos de agua: Asón, Bustablado, Calera, Carcabal, Gándara, Miera y Ruahermosa.

Los recursos subterráneos totales de la MASb Alisas-Ramales para años medios es de 250 hm^3/año, que varían de años tipo seco a años tipo húmedo entre 130 y 370 hm^3/año, respectivamente. De estos recursos medios totales tanto al sector septentrional como al meridional le corresponderían a cada uno 125 hm^3/año.

4.1.1.3. Masa de agua subterránea Castro Urdiales

Ocupa la parte más oriental de Cantabria y parte del Oeste de la provincia de Bizkaia. Su poligonal envolvente tiene una superficie total de 280 km², de los cuales aproximadamente 76 km² corresponden a materiales carbonatados karstificados del Cretácico, todos ellos muy permeables.

La cota máxima dentro de la MASb es de 799 m s.n.m., la cota mínima está al nivel del mar, situándose la cota media en 251 m s.n.m.

Por la masa de agua subterránea de Castro-Urdiales discurren los ríos Asón, Agüera, Mioño y Sámano entre los más importantes (éste último no está clasificado como masa de agua superficial), los cuales guardan relación con el sistema acuífero. Además, el primero de ellos es también protagonista en muchas de las relaciones río-acuífero identificadas en la vecina MASb Alisas-Ramales.

4.1.1.3.1. Litoestratigrafía y permeabilidad

Se han definido dos formaciones geológicas permeables dentro de la MASb Castro - Urdiales:

- ✓ Calizas arrecifales del “Complejo Urgoniano” de “Castro Urdiales”

- ✓ Aluviales cuaternarios de “Castro Urdiales”

Las primeras se corresponden con las Calizas arrecifales, con rudistas, calizas bioclásticas, dolomías y margas del Aptiense-Cenomaniense (que se corresponden con la Unidad Litoestratigráfica UL-6 de este Estudio de Alternativas), de permeabilidad muy alta, y en menor medida con las Margas, calizas, arcillas y dolomías del Aptiense-Cenomaniense (Unidades Litoestratigráficas UL-7 y UL-8), de permeabilidad media. Las calizas masivas presentan una permeabilidad por porosidad secundaria, desarrollada por procesos de disolución y erosión que avanzan por vías preferentes, debidas a fracturación y/u otro tipo de discontinuidad (endokarst). Son característicos su anisotropía y el desarrollo de grandes formas de absorción y conducción, estructurados según redes subterráneas bien definidas. El “Complejo Urgoniano” presenta frecuentes cambios de facies, pasando lateralmente de tramos carbonatados hacia formaciones margosas de menor permeabilidad. La potencia en conjunto de estos materiales suele alcanzar los varios centenares de metros.

De los depósitos cuaternarios destacan el complejo cuaternario de Colindres-Laredo, los depósitos aluviales de la parte final de los ríos Asón y Aguera y el depósito aluvial de Castro Urdiales.

El resto de materiales aluviales se circunscriben a los cursos de agua más importantes de la MASb, presentan escasos espesores y suelen tener elevadas permeabilidades. Se corresponden con las Gravas, arenas, limos (Depósitos de aluviales, fondos de valle y terrazas bajas en los ríos principales, UL-13) del Cuaternario. Su interés radica en que pueden estar en conexión hidráulica con los materiales carbonatados kársticos del Cretácico.

El impermeable de base lo forman las formaciones lutíticas de facies Purbeck-Weald en la mitad oriental de la MASb, y también las formaciones margosas del propio “Complejo Urgoniano” en el resto.

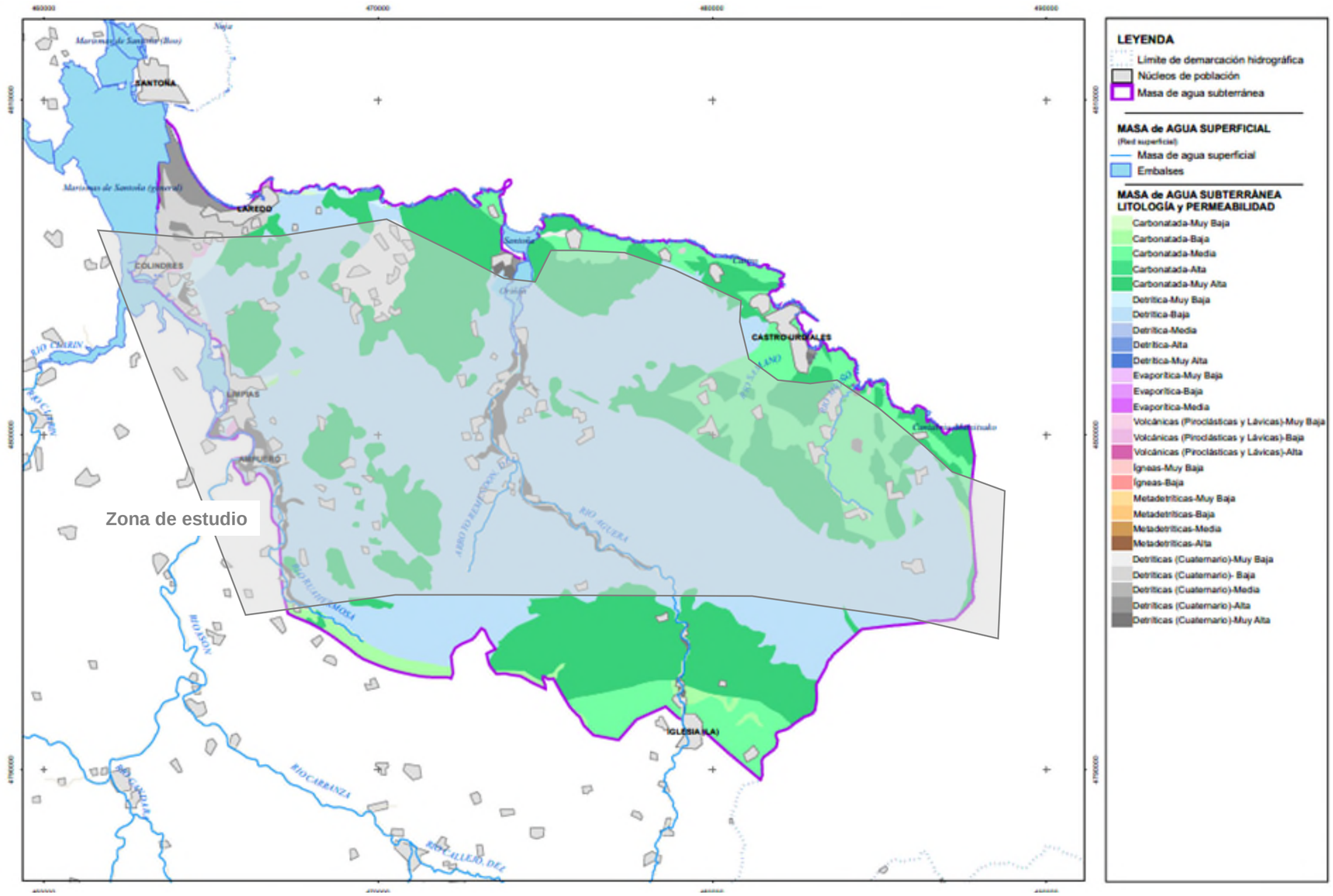


Figura 8. Mapa de permeabilidades de la MASb Castro Urdiales

Fuente: Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descarga por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico. Masa de Agua Subterránea 016.211 Castro Urdiales. IGME

4.1.1.3.2. Estructura geológica

Desde el punto de vista estructural, la MASb Castro-Urdiales presenta un importante grado de fracturación y plegamiento, provocando que los materiales carbonatados tengan escasa continuidad lateral, constituyendo cuerpos o sistemas acuíferos aislados. Aunque la mayoría de estos afloramientos guardan relación con cursos de agua, no todos lo hacen con las masas de agua existentes.

Se han definido los siguientes sectores acuíferos como los más relevantes: Sámano, Ampuero y El Juncal. Presentan una superficie de afloramientos carbonatados de 20, 7,5-12 y 17 km^2, respectivamente. Otros sectores son Liendo y Castro-Urdiales, pero no presentan importancia desde el punto de la relación río-acuífero ya que drenan hacia el mar Cantábrico.

El sector de Ampuero tiene una morfología alargada en la dirección NO-SE, respondiendo a una estructura de sinclinal de gran radio con orientación O-E. En su límite meridional se localiza una gran fractura y en su sector septentrional, fracturas de dirección aproximada N-S, las cuales podrían originar desconexiones locales.

El sector de Sámano presenta una disposición bandeada que se extiende desde el río Agüera hasta el río Mioño. La estructura responde a un sinclinal de gran radio en el que los materiales se encuentran afectados por fracturas que trastocan los flancos. La banda de materiales carbonatados se encuentra delimitada en su borde meridional por una gran fractura de dirección ONO-ESE que hacia el oeste origina un salto que hace que la estructura sinclinal general evolucione a un gran monoclinal vergente al sur.

Por último, el sector de El Juncal presentaría una estructura en sinclinal sin mayores complicaciones.

Los materiales carbonatados han sufrido una intensa karstificación, por lo que el caudal de los ríos se incrementa debido a los aportes subterráneos procedentes de los sistemas kársticos, a veces de forma muy espectacular mediante salidas por cuevas y en otras ocasiones de forma difusa. Dada la composición de los materiales y la karstificación que les afecta, existe cierta heterogeneidad en el comportamiento hidráulico de los materiales de la MASb, con la frecuente presencia de arcillas de descalcificación que rellenan los conductos kársticos y las fisuras.

En este contexto estructural, es frecuente que los ríos pierdan gran parte de su caudal a través de sumideros, integrándose a continuación en complejas redes de circulación, volviendo a aparecer en puntos distantes situados aguas abajo. Este último comportamiento se ha observado sobretodo en la vecina MASb Alisas-Ramales.

4.1.1.3.3. Funcionamiento hidrogeológico

La MASb se alimenta de la infiltración de lluvia caída sobre los afloramientos permeables. Todas las salidas naturales se producen a través de manantiales y descargas difusas que van a parar a los ríos. A continuación se describirá el funcionamiento de los tres principales sectores acuíferos de la MASb:

El sector acuífero de Sámano drena fundamentalmente mediante pequeños manantiales y también de forma difusa hacia los ríos que lo atraviesan, pero también existen algunas descargas puntuales significativas como son los manantiales La Suma y manantial de la Cueva que drenan hacia el río Sámano. Los cursos de agua que recogen las descargas subterráneas son el Sámano, así como sus afluentes La Suma y Brazomar, con un caudal medio de 400 l/s (12,6 hm^3/año), los cuales corresponden en su mayoría a descargas subterráneas. El sector oriental descargaría hacia el río Mioño, que constituye la única masa de agua superficial existente en este sector, el cual presentaría un caudal medio, antes de la toma de abastecimiento a Castro, de unos 253 l/s (8 hm^3 /año).

El sector acuífero de Ampuero es drenado por el río Toberas, afluente del río Ruahermosa que es a su vez afluente del río Asón, y que discurre por su límite suroccidental. Su caudal medio es de unos 578 l/s (18 hm^3 /año), sin embargo este valor debe incluir un porcentaje importante de escorrentía superficial ya que las aportaciones subterráneas al río se han estimado en tan solo 8,5 hm^3 /año. Los manantiales más importantes son Fuente La Cueva y Fuente de las Toberas.

El sector acuífero de El Juncal descarga casi exclusivamente hacia el río Agüera, ya que éste registra un significativo incremento del caudal a su paso por los

afloramientos permeables. El río gana entre 100 y 503 l/s (11,9 hm^3/año), prácticamente la mitad del caudal medio en ese tramo, entre 425 y 801 l/s (19,3 hm^3/año). Los manantiales más importantes son Fuente La Mazuela, Fuente Campo Pedreo, Fuente Las Pilas y Fuente Cojorcón.

Otros manantiales importantes de la MASb son Fuente Iseca con 108 l/s y Fuente Oriñon con 48 l/s, ambas drenan las Calizas arrecifales del "Complejo Urgoniano" en el sector de Liendo.

4.1.2. Masas de aguas subterránea del Cantábrico Oriental

La zona objeto de estudio afecta a una de las masas de agua subterráneas (MASb) perteneciente a la Confederación Hidrográfica del Cantábrico Oriental. Se trata de la MASb de Sopuerta (con código europeo de la masa de agua ES111S000023).

En la siguiente imagen se puede observar las masas de agua subterránea en la provincia de Bizkaia, entre las que se encuentra la MASb de Sopuerta:

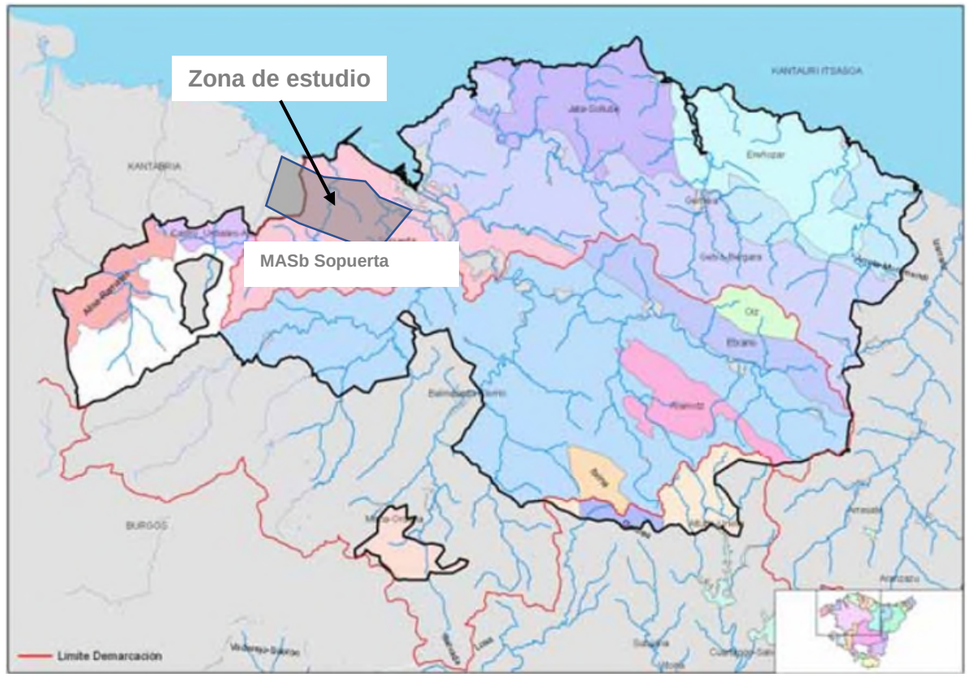


Figura 9. Mapa masas de agua subterráneas de Bizkaia

Fuente: El Medio Acuático en Bizkaia. Diputación Foral de Bizkaia

La masa de agua subterránea de Sopuerta está constituida fundamentalmente por una serie de materiales carbonatados y detríticos de edad comprendida entre el Jurásico y el Cretácico inferior.

Al igual que en el resto de MASb descritas en este Estudio de Alternativas, las formaciones de mayor permeabilidad también se corresponden con las calizas masivas urgonianas (Unidad Litoestratigráfica UL-6 de este Estudio de Alternativas), las cuales presentan una permeabilidad por porosidad secundaria, desarrollada por procesos de disolución y erosión que avanzan por vías preferentes, debidas a la fracturación y/u otro tipo de discontinuidad. Son característicos su anisotropía y el desarrollo de grandes formas de absorción y conducción, estructurados según redes bien definidas.

Sin embargo, la importancia de esta masa de agua subterránea es menor que las anteriormente descritas, ya que los afloramientos porosos son más reducidos y compartimentados, dominándose en esta zona los afloramientos de margas y areniscas del Cretácico Inferior.

4.2. Unidades hidrogeológicas

Sin perjuicio de lo anterior, en la Hoja 2 del Mapa de Hidrogeología de este Apéndice (Anexo 3) se pueden apreciar las unidades hidrogeológicas que quedan afectadas en el presente Estudio de Alternativas y que quedarían englobadas en las masa de agua subterráneas anteriormente descritas. Estas unidades son las siguientes:

- ✓ Unidad Hidrogeológica 01.08. Aitzgorri-Amboto-Ortuella
- ✓ Unidad Hidrogeológica 01.09. Castro Urdiales - Ajo
- ✓ Unidad Hidrogeológica 01.10. Alisa Ramales
- ✓ Unidad Hidrogeológica 01.11. Santander-Camargo

Debido a que ya se ha descrito las características de las masas de agua subterráneas, se considera que no tiene relevancia caracterizar las unidades hidrogeológicas, ya que se trata de la misma hidrogeología, pero con diferente clasificación.

5. Sismicidad

En España la evaluación del riesgo sísmico viene regulado en la Norma de Construcción Sismorresistente NCSE-02 publicada en el B.O.E. nº 244 (octubre, 2002). Según esta norma, la peligrosidad sísmica del territorio nacional se define por medio del mapa de peligrosidad sísmica de la Figura 10 (se incluye el mapa de peligrosidad sísmica actualizado en 2015). Dicho mapa suministra, expresada en relación al valor de la gravedad g, la aceleración sísmica básica a_b (un valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno).

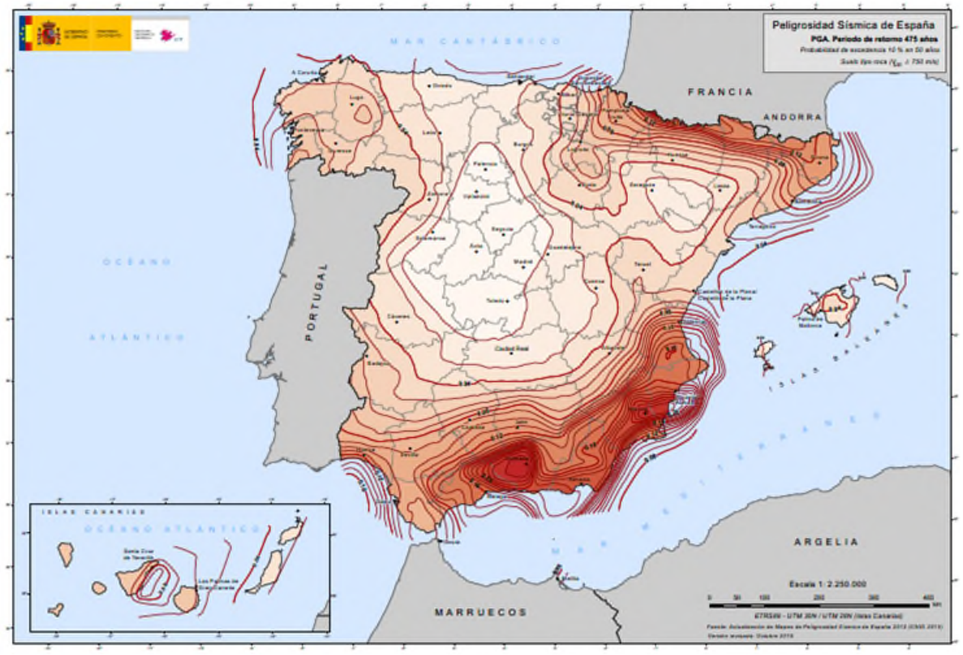


Figura 10. Mapa de peligrosidad sísmica

Fuente: Norma de Construcción Sismorresistente NCSE-02

Como puede observarse en la figura anterior, la zona de estudio presenta una aceleración sísmica básica a_b, inferior a 0,04 g, siendo g la aceleración de la gravedad.

Esta Norma no es de obligatoria aplicación en los siguientes casos:

- ✓ En las construcciones de moderada importancia, esto es, aquéllas con probabilidad despreciable de que su destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio primario o producir daños económicos significativos a terceros.
- ✓ En las construcciones de importancia normal o especial cuando la aceleración sísmica básica sea inferior a 0,04 g, entendiendo por construcciones de importancia normal aquéllas cuya destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio para la colectividad, o producir importantes pérdidas económicas, sin que en ningún caso se trate de un servicio imprescindible ni pueda dar lugar a efectos catastróficos. Construcciones de especial importancia corresponden a aquéllas cuya destrucción por el terremoto pueda interrumpir un servicio imprescindible o dar lugar a efectos catastróficos.
- ✓ En las construcciones de importancia normal, con pórticos bien arriostrados entre sí en todas las direcciones, cuando la aceleración sísmica básica ab sea inferior a 0,08 g.

La aceleración sísmica de cálculo se define como:

$$a_c = s \cdot \rho \cdot a_b$$

Y donde:

a_b: es la aceleración sísmica básica

ρ: es un coeficiente adimensional de riesgo cuyo valor, función de la probabilidad aceptable de que se exceda a_c en el período de vida para el que se proyecta la construcción. Toma los siguientes valores:

Para construcciones de normal importancia: $\rho = 1$

Para construcciones de especial importancia: $\rho = 1{,}30$

s: coeficiente de amplificación del terreno. Toma el valor de:

Para $\rho \cdot a_b \leq 0{,}1$ g $\quad S = \frac{C}{1{,}25}$

Para 0,1 g < $\rho \cdot a_b$ < 0,4 g $\quad S = \frac{C}{1{,}25} + 3.33 \cdot \left(\rho \cdot \frac{a_b}{g} - 0{,}1\right)\left(1 - \frac{C}{1{,}25}\right)$

Para 0,4 g $\leq \rho \cdot a_b$ $\quad S = 1{,}0$

Siendo:

C: coeficiente de terreno. Depende de las características geotécnicas del terreno de cimentación.

En esta Norma, los terrenos se clasifican en los siguientes tipos:

- ✓ Terreno tipo I: Roca compacta, suelo cementado o granular muy denso. Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla, Vs > 750 m/s.
- ✓ Terreno tipo II: Roca muy fracturada, suelos granulares densos o cohesivos duros. Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla, 750 m/s ≥ Vs > 400 m/s.
- ✓ Terreno tipo III: Suelo granular de compacidad media, o suelo cohesivo de consistencia firme a muy firme. Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla, 400 m/s ≥ Vs > 200 m/s.
- ✓ Terreno tipo IV: Suelo granular suelto, o suelo cohesivo blando. Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla, Vs ≤ 200 m/s.

A cada uno de estos tipos de terreno se le asigna el valor del coeficiente C indicado en la tabla adjunta:

Tabla 5. Coeficientes C según el tipo de terreno

Tipo de terreno	Coeficiente C
I	1,0
II	1,3
III	1,6
IV	2,0

Para obtener el valor del coeficiente C de cálculo se determinarán los espesores e_1, e_2, e_3 y e_4 de terrenos de los tipos I, II, III, IV respectivamente, existentes en los 30 primeros metros bajo la superficie.

Se adoptará como valor de C el valor medio obtenido al ponderar los coeficientes C_i de cada estrato con su espesor e_i, en metros, mediante la expresión:

$$C = \frac{\sum C_i \cdot e_i}{30}$$

El coeficiente C no contempla el posible colapso del terreno bajo la estructura durante el terremoto debido a la inestabilidad del terreno como en el caso de arcillas sensibles, densificación de suelos, hundimiento de cavidades subterráneas, movimientos de ladera, etc. Especialmente habrá de analizarse la posibilidad de licuación (o licuefacción) de los suelos susceptibles a la misma.

Aplicado a la zona de estudio, la aceleración sísmica básica a_b es inferior a 0,04 g, por lo que no es de obligatorio cumplimiento la citada Norma.

6. Concesiones mineras

En la presente Fase1 del Estudio de Alternativas aun no se han analizado en detalle las explotaciones mineras susceptibles de coincidir con los trazados que han sido definidos para esta primera fase del estudio, debido a que ésta se analiza principalmente el esquema funcional de las alternativas de trazado entre Santander y Bilbao. Además, hay que tener en cuenta que la escala de la Fase 1 permitiría fácilmente trasladar el trazado para evitar concesiones mineras (u otro tipo de accidente u obstáculo a evitar), por lo que este detalle no es objeto de análisis para la actual escala de estudio.

7. Caracterización geotécnica

7.1. Clasificación geotécnica

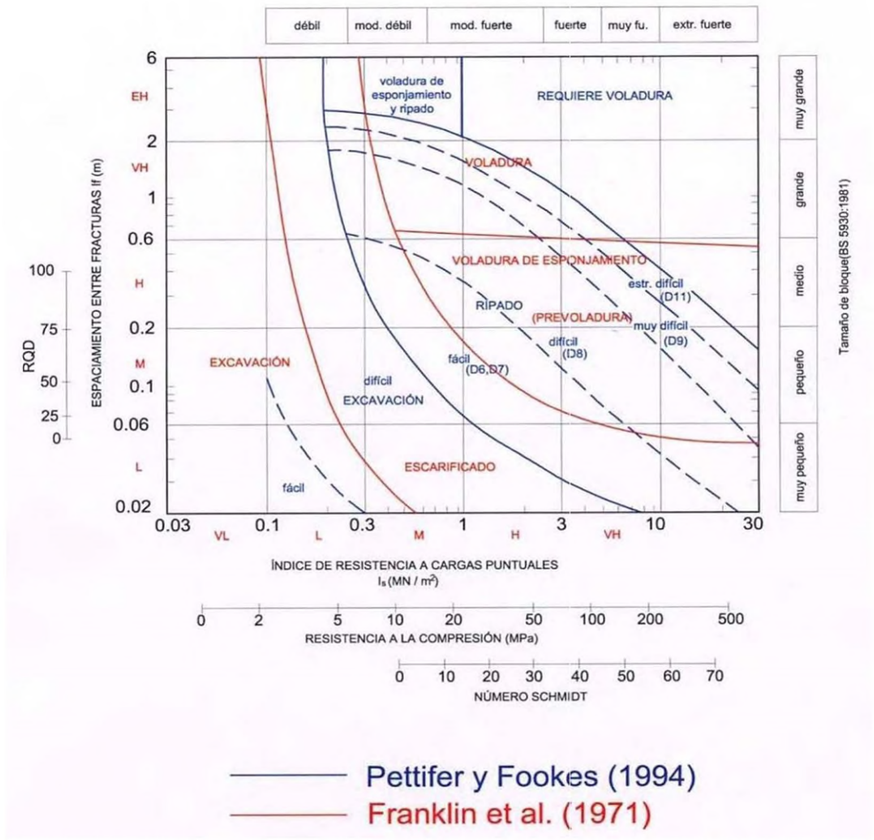
Las unidades litoestratigráficas definidas anteriormente se han agrupado en unidades geotécnicas con características comunes de cara a la definición geométrica de las obras de tierra, la reutilización de los materiales excavados, los medios necesarios para su excavación, la afección de la roca meteorizada, los eventuales problemas geotécnicos asociados, la aptitud como terreno de cimentación y la calidad del macizo rocoso para los túneles y desmontes. Se cubren así los aspectos fundamentales de cara a la selección del trazado óptimo y la adecuada valoración del mismo.

7.1.1. Excavabilidad

La excavabilidad de los macizos rocosos se encuentra determinada por el espaciamiento de las zonas de debilidad del macizo (sean juntas o intercalaciones de materiales más blandos) y la resistencia del material más duro limitado por ellas. Franklin reflejó esta situación en el diagrama presentado a continuación, en el que predice la excavabilidad del macizo en función del espaciamiento entre juntas y la resistencia a compresión simple de la roca.

En el diagrama se distinguen 4 campos, correspondientes a:

- ✓ Materiales excavables (con traílla).
- ✓ Materiales ripables.
- ✓ Materiales que precisan prevoladuras para permitir su ripado.
- ✓ Materiales que precisan el empleo exhaustivo de voladuras para su excavación.



Excavabilidad en función del la resistencia de la roca y el espaciado entre discontinuidades (o el tamaño de los bloques y el RQD). Franklin (1974). Modificado. Pettifer y Fookes (1994)

Figura 11. Clasificación de las rocas según su excavabilidad

Junto a las características del macizo rocoso se ha tenido en cuenta la presencia y el espesor de la capa de alteración del mismo.

7.1.2. Reutilización de materiales

Se entiende por aprovechabilidad del material excavado su aptitud para ser utilizado como relleno. Para cada grupo geotécnico se ha valorado la proporción de reutilización del material excavado y el tipo de utilización del mismo (pedraplén, todo-uno, terraplén).

7.1.3. Taludes en desmonte

Para cada una de las unidades geotécnicas consideradas se ha estimado una pendiente de talud para los desmontes a realizar en las mismas.

Los ángulos de los taludes en desmonte se han estimado usando como guía las pendientes naturales del terreno y la experiencia proveniente de desmontes anteriormente ejecutados en materiales similares. Los taludes más verticales corresponden a los materiales rocosos. Los valores adoptados deben considerarse como valores medios. La exposición a los agentes climáticos de la roca inicialmente sana y su consiguiente meteorización pueden hacer necesaria la adopción de medidas de protección de la superficie expuesta para garantizar la estabilidad del talud a largo plazo.

Aunque para alturas de desmonte de pequeñas a moderadas puede plantearse la ejecución de un talud más tendido que permita la revegetación del mismo y así proteja al talud frente a la erosión, la recomendación de taludes utilizada para la estimación no ha tenido en cuenta este aspecto y obedece exclusivamente a criterios geotécnicos.

Adicionalmente, para cada ángulo y altura de desmonte le corresponde unas dimensiones de cunetón de pie de talud. Para ello, se utilizarán los criterios de Ritchie, recogidos en la Ficha UIC-719-R, que se reproducen a continuación, aunque para la presente fase del estudio aún no ha sido implementado.

Tabla 6. Características del cunetón Ritchie en función de la pendiente y altura de los taludes

ÁNGULO DEL TALUD (grados)	ALTURA DEL TALUD h (m)	ANCHURA EN CABEZA DEL CUNETÓN l (m)	PROFUNDIDAD DEL CUNETÓN d (m)
76 a 90	5-10	3	1
	10-20	5	1,5
	>20	6,5	1,5
66 a 75	5-10	3	1
	10-20	5	1,5

ÁNGULO DEL TALUD (grados)	ALTURA DEL TALUD h (m)	ANCHURA EN CABEZA DEL CUNETÓN l (m)	PROFUNDIDAD DEL CUNETÓN d (m)
	20-35	6,5	2
	>35	8	2
56 a 65	5-10	3	1,5
	10-20	5	2
	20-35	6,5	2 (*)
	>35	8	3 (*)
46 a 55	0-10	3	1
	10-20	5	1,5
	>20	5	2
≤45	0-10	3	1
	10-20	3	1,5 (*)
	>20	5	2 (*)

(*) Si se dispone una barrera la profundidad del cunetón puede reducirse en estos casos a 120 m.

La importancia de los cunetones a la hora de calcular los volúmenes de desmonte queda evidenciada por el hecho de que habitualmente suponen un incremento entre el 40 y el 100% en el ancho de la plataforma.

7.1.4. Taludes en terraplén

La decisión sobre las pendientes a adoptar en el proyecto de terraplenes tiene, en general, menor incidencia medioambiental que la decisión análoga en desmontes, debido a que los terraplenes, por el carácter más tendido de sus taludes, siempre o casi siempre ofrecen la posibilidad de revegetar éstos.

Para cada una de las unidades geotécnicas consideradas se ha estimado el talud admisible para los terraplenes a ejecutar sobre dicha unidad, de acuerdo con las características que la misma presenta como cimiento.

Se ha adoptado, en general, una pendiente máxima 2H:1V, de forma que los terraplenes no presenten problemas de estabilidad interna. Se abre la posibilidad a un talud de mayor pendiente en los casos en que se considera que el material del cimiento es capaz de soportar esa pendiente de forma estable y, además, suponiendo que el cuerpo del relleno estará formado por un material tipo pedraplén o todo-uno.

7.1.5. Capacidad portante

Se ha efectuado una estimación preliminar de la capacidad portante del terreno atendiendo a las indicaciones de la cartografía geotécnica del IGME y a las características litológicas de las diferentes unidades. Se diferencia entre los siguientes grupos:

- ✓ Capacidad portante baja. Presión admisible < 100 kPa.
- ✓ Capacidad portante media Presión admisible 100 a 200 kPa.
- ✓ Capacidad portante media-alta. Presión admisible de 200 a 500 kPa.
- ✓ Capacidad portante alta. Presión admisible > 500 kPa.

7.1.6. Cimentaciones

Para cada grupo geotécnico se indica la tipología de cimentación recomendada para los tipos de estructuras más frecuentes en una obra lineal:

- ✓ Viaductos
- ✓ Pasos superiores
- ✓ Pasos inferiores

Para los viaductos se ha estimado una carga por pila del orden de:

$$15\ m \times 30\ m \times 40\ kN/m^2 = 18.000\ kN$$

Se ha fijado la dimensión crítica de la zapata de un viaducto en 50 m^2 (aproximadamente zapata cuadrada de 7 m de lado). La presión admisible crítica es por tanto de 18.000/50 = 360 kPa (3,6 kg/cm^2). Para terrenos cuya carga admisible se sitúa por debajo de este valor se ha supuesto que resultará más adecuado recurrir a la cimentación profunda.

La carga por pila para los pasos superiores es de:

$$15\ m \times 10\ m \times 30\ kN/m^3 = 4.500\ kN$$

Se ha fijado la dimensión crítica de la zapata de un paso superior en 24 m^2 (que corresponde a una zapata rectangular de 4 por 6 metros). La presión crítica es por tanto de 4.500/24 = 187 kPa (1,9 kg/cm^2). Para terrenos cuya carga admisible se sitúa por debajo de este valor se ha supuesto que resultará más rentable recurrir a la cimentación profunda.

7.1.7. Asientos

Se ha efectuado una estimación preliminar de la deformabilidad del terreno atendiendo a las indicaciones de la cartografía geotécnica 1:200.000 del I.T.G.E. y a las características litológicas de las diferentes unidades.

Se distinguen cuatro grupos de acuerdo con la magnitud de los asientos previsibles:

- ✓ Nulos.
- ✓ Bajos.
- ✓ Moderados.
- ✓ Altos.

Dado que la magnitud de los asientos y la velocidad a la que éstos se producen está generalmente ligada a la presencia de materiales cohesivos, en muchos casos la clasificación presentada no es sino un reflejo de la presencia de éstos en las capas superficiales del terreno.

Para una obra lineal de este tipo la profundidad de afección a efectos de cálculo de asientos es aproximadamente una vez y media a dos veces la anchura del terraplén proyectado, con un mínimo de 20 m.

En los terrenos en que no se espera ningún asiento o el asiento previsto es bajo, no será preciso tratamiento previo del terreno más allá de la retirada de la tierra vegetal. Para los terrenos con asientos indicados como medios puede ser necesaria la mejora del cimiento del terraplén debajo de terraplenes de gran altura.

Finalmente, los terrenos en que son previsibles asientos altos requerirán un tratamiento de mejora del terreno para terraplenes de altura moderada e incluso bajos.

7.1.8. Permeabilidad y tipo de transmisividad

Se ha estimado la permeabilidad de cada una de las unidades geotécnicas a partir de sus características litológicas, así como de la información procedente de la descripción de las masas de agua subterráneas. Adicionalmente, se complementa esta información con la exposición del mecanismo de transmisividad del agua (intergranular, por fisuración o mediante la karstificación).

7.1.9. Drenaje

Para la valoración del drenaje se ha tenido en cuenta tanto la permeabilidad del macizo como la expresión geomorfológica del mismo. Se ha considerado el drenaje desfavorable cuando el terreno es impermeable y la orografía es llana. El drenaje se ha considerado favorable cuando la permeabilidad del terreno es alta y/o las pendientes del terreno son fuertes.

7.1.10. Calidad del macizo rocoso (RMR)

Se ha clasificado el macizo rocoso de acuerdo con Bieniawski, en función de las características mecánicas de la roca y la fracturación del macizo rocoso.

7.1.11. Grados de meteorización

Se entiende por meteorización la modificación sufrida en la composición o estructura de una roca situada en la superficie terrestre o próxima a ella, como consecuencia de la acción de los agentes atmosféricos.

Los procesos de meteorización se pueden subdividir dependiendo de si ésta es producida por agentes físicos (desintegración de la roca), o bien por agentes químicos (descomposición de la roca).

En la zona de estudio, cuando se habla de rocas meteorizadas se hace referencia a los procesos de descomposición de la roca, tanto por ser los que producen los cambios en el macizo rocoso a mayor profundidad, como por ser los más frecuentes en el clima.

Debido a la meteorización la roca sana pasa, bajo sucesivos estados, a suelo. Los términos extremos de esta gradación tienen unas características y comportamiento bien diferenciados, pero hay una gama de materiales intermedios que participan de las propiedades comunes de los dos. En la tabla siguiente se clasifica el grado de meteorización según la ISRM.

Tabla 7. Evaluación del grado de meteorización en un macizo rocoso

Grado de meteorización	Tipo	Descripción
I	Fresco	No aparecen signos de meteorización.
II	Ligeramente meteorizado	La decoloración indica alteración del material rocoso y de las superficies de discontinuidad. Todo el conjunto rocoso está decolorado por meteorización.
III	Moderadamente meteorizado	Menos de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.
IV	Altamente meteorizado	Más de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.
V	Completamente meteorizado	Todo el macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. Se conserva la estructura original del macizo rocoso.
VI	Suelo residual	Todo el macizo rocoso se ha transformado en un suelo. Se ha destruido la estructura del macizo y la fábrica del material.

(ISRM, 1981).

No se ha definido un grado de meteorización de cada unidad geotécnica, pero se ha considerado la afección de esta meteorización al resto de características geológico-geotécnicas: excavabilidad, estabilidad de taludes, capacidad portante y asientos, permeabilidad, etc.

7.2. Unidades geotécnicas

En función de las características geológico – geotécnicas de los materiales afectados por los trazados propuestos en la Fase I del Estudio de Alternativas Bilbao – Santander se han definido 8 Unidades Geotécnicas (U.G.), cada una de las cuales alberga una o más unidades litoestratigráficas. En el siguiente cuadro se enumeran las Unidades Geotécnicas y se incluyen las unidades litoestratigráficas que contiene cada una de ellas:

Tabla 8. Equivalencia unidades geotécnicas (UG) – unidades litoestratigráficas (UL)

UNIDADES GEOTÉCNICAS		UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	
Número	**Descripción**	**Número**	**Descripción**
UG-1	**Arcillas y yesos (Keuper)**	UL-1	Arcillas abigarradas y yesos (Keuper, Triásico)
UG-2	**Ofitas (Keuper)**	UL-2	Ofitas (Keuper, Triásico)
UG-3	**Alternancia de calizas, dolomías, margas areniscas y arcillas**	UL-3	Dolomías y calizas (Jurásico Lías)
		UL-4	Margas y calizas arcillosas (Jurásico Lías)
		UL-7	Calcarenitas, areniscas y arcillas (Cretácio Inferior)
		UL-8	Calizas arcillosas, margas, areniscas y arenas (Cretácico Inferior)
		UL-9	Calcarenitas (Cretácico Superior)
UG-4	**Areniscas, arcillas y limos**	UL-5	Areniscas, arcillas y limos (Facies Weald, Cretácico Inferior)
UG-5	**Calizas masivas**	UL-6	Calizas con Rudistas y Orbitolinas (Cretácio Inferior)
UG-6	**Margas y calizas arcillosas**	UL-10	Margas y calizas (Cretácico Superior)
UG-7	**Depósitos cuaternarios blandos**	UL-11	Cubetas de decalcificación (Cuaternario)
		UL-12	Depósitos de marismas y ría (Cuaternario)
UG-8	**Depósitos cuaternarios aluviales, coluviales y antrópicos**	UL-13	Depósitos aluviales (Cuaternario)
		UL-14	Depósitos antrópicos (Cuaternario)

En la siguiente tabla se resumen las características geotécnicas más relevantes de cada U.G.

Tabla 9. Principales características geotécnicas de las unidades geotécnicas

CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA											
UNIDAD GEOTÉCNICA	**DESCRIP-CIÓN**	**UNIDADES LITOESTIG.**	**EXCAVABI-LIDAD**	**REUTILIZACIÓN DE MATERIALES. TIPO DE RELLENO**	**TALUDES DESMONTE ESTIMADOS**	**TALUDES EN RELLENO**	**CAPACIDAD PORTANTE. TIPO CIMENTACIÓN**	**ASIENTOS**	**PERMEABILIDAD. TIPO PERMEABILIDAD**	**DRENAJE SUPERFICIAL**	**CALIDAD DE LA ROCA**
UG-1	Arcillas y yesos (Keuper)	UL-1	Medios mecánicos	No reutilizables	2H:1V a 3H:2V	2H:1V	Baja - Media (saneo cimiento de rellenos). Profunda	Moderados a bajos	Muy baja. Acuitardo/intergranular	Desfavorable	IV-V (mala-muy mala)
UG-2	Ofitas (Keuper)	UL-2	Voladura	Muy alta o alta. Pedraplén (localmente todo-uno en zona alterada)	2H:3V (roca alterada) 1H:3V (roca sana)	3H:2V (con pedraplén)	Alta o media alta en zonas alteradas. Directa	Nulos a bajos en zonas de meteorización	Medio. Por fisuración	Aceptable	II (buena)
UG-3	Alternancia de calizas, dolomías, margas areniscas y arcillas	UL-3 UL-4 UL-7 UL-8 UL-9	Ripable, zona alterada y fracturada Voladura, roca sana	Alta. Todo uno o pedraplén	1H:1V en zona de roca alterada o fracturada a 1H:2V en zona de roca sana	3H:2V (con pedraplén) a 2H:1V	Alta a media. Directa	Nulos a bajos (puntualmente moderados en zonas alteradas)	Baja, puntualmente alta en calizas. Por fisuración	Aceptable/deficiente	II-III (buena a media)
UG-4	Areniscas, arcillas y limos (Weald)	UL-5	Ripable, zona alterada y fracturada Voladura (puntual) o ripable, roca sana	Alta. Todo uno o pedraplén	1H:1V en zona de roca alterada o fracturada o capas más cohesivas a 1H:2V en zona de areniscas sanas	3H:2V (con pedraplén) a 2H:1V	Media a alta. Directa	Nulos a bajos (puntualmente moderados en zonas alteradas)	Muy baja a baja, puntualmente alta en areniscas. Intergranular en areniscas	Deficiente a aceptable o favorable en areniscas	III-II (media a buena)
UG-5	Calizas masivas	UL-6	Voladura	Muy alta o alta. Pedraplén o todo uno en zona fracturada o alterada	2H:3V (roca alterada) 1H:2V (roca sana)	3H:2V (con pedraplén)	Alta o media alta en zonas alteradas. Directa	Nulos a bajos en zonas de meteorización	Muy alta. Por fisuración y karstificación	Favorable	II (buena)
UG-6	Margas y calizas arcillosas	UL-10	Medios mecánicos o ripable (voladuras puntuales)	Terraplén-todo-uno	1H:1V	3H:2V (con pedraplén) a 2H:1V	Media a alta (posible saneo cimiento de rellenos) Directa	Nulos a bajos (puntualmente moderados en zonas alteradas)	Baja o muy baja Por fracturación	Deficiente (posibilidad de encharcamientos)	III-II (media a buena)
UG-7	Depósitos cuaternarios blandos	UL-11 UL-12	Medios mecánicos	Nula	3H:1V a 2H:1V	2H:1V a 3H:1V	Baja. Profunda	Altos	Muy baja	Muy deficiente. Zonas encharcadas y encharcables	-
UG-8	Depósitos cuaternarios aluviales, coluviales y antrópicos	UL-13 UL-14	Medios mecánicos	Alta a media. Terraplén	2H:1V – 3H:2V	2H:1V	Baja a media (saneo cimiento de rellenos). Profunda	Moderados a altos	Alta Intergranular	Favorable	-

7.3. Condicionantes geotécnicos

De cara a establecer las áreas de mayor problemática y poder valorar el grado de dificultad desde el punto de vista geotécnico para la construcción de las obras previstas que presentan las diferentes unidades geotécnicas, se han identificado una serie de condicionantes geológico-geotécnicos asociados a las mismas.

Los condicionantes analizados son los siguientes:

- ✓ Condicionantes de tipo geomorfológico
- ✓ Condicionantes hidrogeológicos
- ✓ Condicionantes geotécnicos
- ✓ Condicionantes singulares

Condicionantes de tipo geomorfológico

Se indica el tipo de relieve asociado a cada unidad geotécnica, así como los posibles problemas principales relacionados con éste (abarrancamiento, potenciales deslizamientos, presencia de suelos en laderas, etc). Las formaciones geológicas de mayor resistencia (en el caso del presente estudio corresponden a los materiales carbonatados y terrígenos del Mesozoico) serán las que produzcan un relieve más abrupto, lo que suele estar asociado a abarrancamientos y depósitos de pie coluvio -aluviales.

Condicionantes de tipo hidrogeológico

Se estima el grado y tipo de permeabilidad de los terrenos y la afección de la línea ferroviaria a los acuíferos existentes.

En el caso particular de los trazados definidos en la Fase I del Estudio de Alternativas de Bilbao – Santander los acuíferos existentes se encuentran alojados principalmente en los materiales carbonatados del Cretácico, por lo que su afección se produce a lo largo de la mayor parte de los trazados. Concretamente, en las calizas masivas (UL-6 y UG-5), la permeabilidad es muy alta, principalmente por karstificación, por lo que la problemática hidrogeológica es más acusada. En el resto de unidades del Cretácico (UL-5 a UL-10, excepto UL-6) la permeabilidad es baja o baja-media, localmente permeables por porosidad intergranular o fisuración en las capas más carbonatadas, por lo que la problemática será menos acusada.

Los túneles pueden tener una afección muy alta a los acuíferos, y en menor medida los desmontes, por lo que se debe prestar especial atención a zonas del trazado en túnel que se encuentren en las calizas masivas (UL-6 y UG-5).

Condicionantes geotécnicos

Se definen los principales problemas geotécnicos a tener en cuenta dependiendo de las obras a realizar: obras de tierra, estructuras o túneles. Se refiere a los problemas en la cimentación de las estructuras de tierra y las estructuras de fábrica y a la construcción y mantenimiento de los túneles. Por tanto, las unidades geotécnicas que pueden presentar problemas serán aquellas que presentan baja capacidad portante y/o una mayor deformabilidad, es decir, las unidades asociadas a depósitos cuaternarios: depósitos de ría y de marisma, rellenos antrópicos, y en menor medida, depósitos aluviales o coluviales y las unidades que presenten una mayor fracturación o heterogeneidad, produciendo dificultades para la construcción de túneles.

Condicionantes singulares

Se trata de condicionantes producidos por características físico – químicas particulares existentes en algunas de las formaciones que componen las unidades geotécnicas. Los condicionantes singulares que se han identificado en el presente estudio son los siguientes:

- ✓ Expansividad de arcillas: este fenómeno se produce en arcillas que contienen una mineralización concreta en su composición, combinado con variaciones de humedad. Las arcillas yesíferas del Keuper (UL-1 y UG-1) son materiales expansivos. Este condicionante afecta muy especialmente en el diseño los túneles, y según los trazados de las alternativas, está previsto el diseño de túneles en esta formación, por lo que tendrá que ser un aspecto relevante a considerar. Esta expansividad también puede afectar a la plataforma ferroviaria en fondos de desmonte, en zonas de transición y en zonas de rellenos bajos.

- ✓ Karstificación: se trata de la generación de ciertas formaciones geomorfológicos producto de la disolución del carbonato cálcico (mineral mayoritario en las rocas calizas) por parte del agua y el dióxido de carbono. Las formaciones más comunes son las dolinas, cuevas y cavernas (con relleno o no), dolinas, gargantas, etc. Este proceso es muy acusado en las calizas masivas (UL-6 y UG-5), y en menor medida en el resto de rocas calcáreas, y puede tener una afección mayor en la construcción de los túneles y más baja en la construcción de rellenos y desmontes.

A continuación, se presentan en forma de tabla los principales condicionantes a considerar para cada unidad geotécnica. En la tabla, los condicionantes singulares se han incluido en alguno de los otros tipos de condicionantes a los que está relacionado: la expansividad de arcillas a los condicionantes geotécnicos y la karstificación a los condicionantes hidrogeológicos y/o geotécnicos.

Tabla 10. Condicionantes geotécnicos de las diferentes unidades geotécnicas diferenciadas

CONDICIONANTES GEOTÉCNICOS							
UNIDAD GEOTÉCNICA	**DESCRIPCIÓN**	**UNIDADES LITOESTIGRÁF.**	**HIDROGEOLÓGICOS**	**GEOTÉCNICOS**			**GEOMORFOLÓGICOS**
				Obras de tierra	**Estructuras**	**Túneles**	
UG-1	Arcillas y yesos (Keuper)	UL-1	Permeabilidad baja a muy baja. Surgencias de escaso caudal en contacto con materiales permeables. Piezometría próxima a superficie.	Presencia de suelos de alteración con baja capacidad portante y asientos medios-elevados. Alta expansividad con cambios de humedad, pudiendo afectar a plataforma en desmontes y rellenos bajos. Muy baja reutilización del material	Expansividad con cambios de humedad, baja capacidad portante, solubilidad de yesos, colapso cavidades kársticas. Agresividad de agua y suelo al hormigón.	Expansividad alta, presencia de niveles yesíferos y/o calizos intercalados, con posible aporte de agua. Materiales evolutivos con presencia de agua. Baja calidad del macizo	Relieve ondulado. Posibles zonas encharcables em zonas llanas
UG-2	Ofitas (Keuper)	UL-2	Baja permeabilidad por fisuración con presencia de acuíferos de escasa entidad en los niveles superiores de alteración	Notable diferencia de deformabilidad con la UG-1 circundante. Puntualmente, formación de cuñas en desmontes		Puntualmente, caída de bloques y cuñas	Relieve intermedio y abrupto
UG-3	Alternancia de calizas, dolomías, margas areniscas y arcillas	UL-3 UL-4 UL-7 UL-8 UL-9	Materiales de baja permeabilidad, localmente permeables por porosidad intergranular o fisuración. Constituyen acuíferos pobres, aunque localmente pueden formar acuíferos relevantes (zonas meteorizadas, tectonizadas y puntualmente litologías algo más permeables, como areniscas o algunas calizas).	En desmontes, graves problemas de estabilidad, por cuñas y bloques, en zonas de estructura desfavorable y deslizamientos por fracturación y presencia de roca meteorizada. Presencia de suelos de alteración. Puntualmente, problemas de apoyo de rellenos a media ladera		Formación de bloques y cuñas en clave y hastiales. En boquillas deslizamientos por fracturación y presencia de roca meteorizada. En zonas tectonizadas la calidad de la roca es muy mala, con posible presencia de agua. Localmente acuíferos locales poco productivos. Diferencias geomecánicas importantes entre diferentes litologías que conforman las UL y UG	Relieve abrupto, posibilidad de deslizamientos de ladera en zonas alteradas y caídas de bloques (especialmente en niveles margasos o a favor de ellos)
UG-4	Areniscas, arcillas y limos (Weald)	UL-5	Permeabilidad muy baja a impermeable. Supone el muro impermeable de los acuíferos de la UG-5 y UG-3. Localmente, pueden formar acuíferos los niveles de areniscas y areniscas alteradas.	Inestabilidades en desmonte por caída de bloques y cuñas o deslizamientos en zonas de roca alterada. Presencia de suelos de alteración. Puntualmente, problemas de apoyo de rellenos a media ladera		Formación de bloques y cuñas en clave y hastiales. En boquillas deslizamientos por fracturación y presencia de roca meteorizada. Calidad de roca mala en zonas de alteración. Diferencias geomecánicas importantes entre diferentes litologías que conforman la UG-4	Relieve abrupto, posibilidad de deslizamientos de ladera y caídas de bloques
UG-5	Calizas masivas	UL-6	Materiales permeables por karstificación y fisuración, constituyendo importantes acuíferos. Formas exokársticas y endokársticas muy desarrolladas (sistemas subterráneos de gran profundidad y desarrollo). Descargas de manantiales con caudales elevados	Puntualmente, formación de bloques y cuñas en desmontes con estructura desfavorable. Problemas en apoyo de plataforma y rellenos por karstificación (cavidades bajo plataforma y relleno). Afección local a manantiales en desmontes.	Problemas puntuales por karstificación (cavidades bajo cimentaciones).	Problemas importantes de karstificación (afección de cavidades en el frente y bajo el túnel) y de afección a acuíferos por drenaje de los mismos. Afección a manantiales. Posibles cargas hidráulicas elevadas. Formación de bloques y cuñas en bóveda y hastiales.	Relieve montañoso y abrupto. Formación de abarrancamientos. Posibilidad de caídas de bloques. Formación al pie de sierras de depósitos mixtos aluvial-gravitacional

CONDICIONANTES GEOTÉCNICOS							
UNIDAD GEOTÉCNICA	DESCRIPCIÓN	UNIDADES LITOESTIGRÁF.	HIDROGEOLÓGICOS	GEOTÉCNICOS			GEOMORFOLÓGICOS
				Obras de tierra	Estructuras	Túneles	
UG-6	Margas y calizas arcillosas	UL-10	Material impermeable. Localmente pueden aparecer acuíferos aislados asociados a los niveles intercalados calizos	Problemas frecuentes por degradación y alteración en desmontes. Posibilidad de deslizamientos en laderas y desmontes. Meteorización muy penetrativa. Inestabilidad por cuñas en zonas de estructura desfavorable. Problemas de apoyo de rellenos a media ladera	Puntualmente, baja capacidad portante en niveles superiores de alteración	Acuíferos locales en las proximidades macizos kársticos. Formación de bloques y cuñas en bóveda y hastiales. Posible presencia local de gases sulfurosos locales	Relieve abrupto, valles encajados. Presencia de deslizamientos de ladera
UG-7	Depósitos cuaternarios blandos	UL-11 UL-12	Materiales saturados en agua, pero permeabilidad muy baja. Drenaje deficiente, zonas encharcables. No constituyen acuíferos. Piezometría próxima a superficie.	Baja o muy baja capacidad portante y grandes asientos muy alargados en el tiempo (consolidación).	Muy baja capacidad portante. Alto contenido en materia orgánica.	Los túneles previstos no afectan a UG-7	Relieve totalmente llano, en fondos de valle o costa
UG-8	Depósitos cuaternarios aluviales, coluviales y antrópicos	UL-13 UL-14	Permeabilidad media a alta, drenaje favorable. Presencia de acuíferos locales o de cierta extensión asociados a ríos, con piezometría próxima a superficie	Baja capacidad portante. Deformabilidad. Problemas en apoyo de rellenos a media ladera. Degradabilidad de taludes.	Baja capacidad portante y deformabilidad	Los túneles previstos no afectan a UG-8	Relieve ondulado a intermedio (pie de monte) con posibilidad de acarcavamientos y deslizamientos (puntuales)

8. Descripción geológica – geotécnica de las alternativas de tráfico mixto

8.1. Alternativa A1: con parada en Laredo pasando por las marismas, por el Norte de Peña Cabarga

El trazado tiene su inicio en las proximidades de la Estación de Guarnizo en la línea de ff.cc. Madrid-Santander. Los primeros km de trazado discurren en relleno o pequeños desmontes (con un paso bajo la autovía A-8) entre las arcillas del Keuper (UL-1 y UG-1), los materiales terrígenos del Weald (UL-5 y UG-4) o sobre depósitos antrópicos (UL-14 y UG-8) que se apoyan sobre estos materiales. En el PK 3+129 empieza un túnel de algo más de 1 km cuya primera mitad se excavaría en calizas masivas (UL-6 y UG-5), donde habrá que investigar la existencia de cavidades, la afección a posibles acuíferos y la avenida de grandes caudales durante la construcción del túnel) y en la segunda mitad atravesará las margas y calizas arcillosas del Cretácico superior (UL-10 y UG-6). A continuación del túnel el trazado continúa con una sucesión de terraplenes y algunos desmontes sobre las propias margas y calizas y las arcillas del Keuper (en las cuales se tocan afloramientos de ofitas (UL-2 y UG-2), calizas de jurásico (UL-3 y UG-3) e incluso calizas masivas. En ocasiones, sobre las arcillas se encuentran depósitos antrópicos y de marisma (suelos blandos) que afectarían al trazado.

En el PK 12+449 empieza un túnel hasta el PK 13+635 que inicialmente se excavará en el Keuper, por lo que habrá que atender a la expansividad de estas arcillas, y que después pasa por el Weald, margas y calizas arcillosas del Jurásico (UL-4 y UG-3) y sale en las margas y calizas del Cretácico (UL-10 y UG-6). Esta sucesión de formaciones se produce mediante contactos mecánicos, por lo que habrá que atender a la tectonización y alteración en las zonas de falla. A la salida del túnel el trazado discurre en rellenos y desmontes sobre las mismas margas y calizas del Cretácico o sobre depósitos aluviales que yacen estas margas.

En el PK 15+420 comienza un túnel que atravesará calcarenitas del Cretácico Cenomaniense (UL-9 y UG-3) y calizas y margas del Albiense (UL-8 y UG-3), por lo que será necesario el estudio de posible formación de cuñas y bloques en bóveda y hastiales, así como atender a zonas de gran alteración. El emboquille de salida del túnel y el inicio del viaducto siguiente ya se encuentra en las areniscas del Weald, pero la segunda parte del viaducto y el terraplén posterior se sitúan sobre las calizas y margas arcillosas (UL-10 y UG-6).

Desde el PK 17+485 hasta el 34+546 hay 9 túneles, la mayoría de ellos en curva y bastante largos (6 de ellos mayores de 1 km y de hasta 2,4 km de longitud máxima), dos viaductos y varios desmontes y rellenos, varios de los cuales también son de gran altura. Todas estas estructuras se construirán en calizas, margas y areniscas (UL-8) y calizas con margas y arenas (UL-7), ambas pertenecientes a la UG-3. Consecuentemente, en los túneles y desmontes será necesario analizar la caída de bloques y formación de cuñas y atender a posibles zonas de suelo residual o roca muy alterada que puede resultar inestable o con una mayor deformabilidad para los rellenos.

En el PK 34+546 comienza el viaducto que cruza la Ría y Marismas de Santoña, el cual tiene su estribo e inicio sobre la misma unidad UL-8, pasando a los depósitos de marismas (suelos blandos, cohesivos y saturados, con problemas de capacidad portante y de consolidación) donde también se encuentra el estribo de salida y el terraplén posterior. Este terraplén también se apoya sobre las arcillas yesíferas del Keuper (UL-1 y UG-1, que contiene arcillas expansivas).

En estas arcillas yesíferas también se encuentra el emboquille y el inicio de un túnel (PK 37+414) de gran longitud (4,9 km), en los que habrá que estudiar la afección de la expansividad de estas arcillas, pero la mayor parte del trazado de este túnel discurre en las areniscas del Weald (UL-5 y UG-4, con problemas de formación de bloques y cuñas y posibles problemas de inestabilidad en zonas de roca muy alteradas) y en las calizas masivas (UL-6 y UG-5), donde habrá que prestar mucha atención a la afección de acuíferos, avenida de grandes caudales y la presencia de cavidades formados por karstificación. Después de este túnel están previstos otros dos pequeños túneles, seguidos de otro gran túnel de 3,5 km de longitud que llega hasta justo antes del cruce del Río Agüera (PK 46+446) y algunas obras de tierra, pequeñas en longitud, pero con altura considerable entre los túneles. Todas estas

obras se encuentran en las mismas areniscas del Weald y calizas masivas, con los problemas geotécnicos que acabamos de mencionar.

Este viaducto se apoyará sobre el Weald y el depósito aluvial asociado al Río Agüera (baja capacidad portante). Una vez cruzado el río, y después de un desmonte alto, el trazado vuelve a entrar en un largo túnel (en el PK 47+592, de 4,2 km), el cual también atravesará las calizas masivas y un poco las areniscas del Weald al inicio.

A partir de este punto (PK 52+028) y hasta el final del trazado (PK 73+719) se suceden 5 túneles de 1,1 km, 1,8 km, 3,5 km, 0,8 km y 5,7 km de longitud, alternado con 6 viaductos, todos ellos entre 125 y 480 m, excepto uno, que tiene 2,4 km de longitud y varias estructuras de tierra, algunas de importantes dimensiones. Todas estas obras se llevarían a cabo sobre tres unidades: las areniscas del Weald (UL-5 y UG-4, en el que habrá que prestar atención por la posible formación de bloques y cuñas en túneles y desmontes, y a la estabilidad y deformabilidad de los suelos residuales), las calizas masivas (UL-6 y UG-5, donde habrá que prestar mucha atención a la afección de los acuíferos y las formaciones kársticas, además de la formación de bloques y cuñas) y las calizas arcillosas (UL-8 y UG-3 donde también se deberá analizar la posible formación de bloques y cuñas en túneles y desmontes, y a la estabilidad y deformabilidad de los suelos residuales). Cabe señalar, que en todo este tramo se cruzan numerosas estructuras tectónicas, por lo que el material puede encontrarse tectonizado y con mayor alteración, y por tanto más inestable.

8.2. Alternativa A2: con parada en Laredo pasando por las marismas, por el Sur de Peña Cabarga

Esta alternativa comienza igualmente en las proximidades de la estación de Guarnizo y, después de cruzar la autovía S-30 el trazado discurre en relleno hasta el PK 1+883, apoyándose sobre las arcillas yesíferas del Keuper (por lo que habrá que tener en cuenta la presión de hinchamiento) y rellenos antrópicos que hay sobre esta unidad, que presentarán una alta heterogeneidad y deformabilidad.

En dicho PK empieza un túnel de 4,5 km, que discurre en areniscas de facies Weald, excepto en el último tramo, donde el trazado se mete en una serie formada por las Dolomías y Calizas del Jurásico (UL-3 y UG-3) y las ofitas del Keuper (UL-2 y UG-2), donde se encuentra el emboquille de salida. Inmediatamente después de este túnel, se sucede otro de 1 km de longitud, el cual pasa de las ofitas del Keuper a las arcillas yesíferas también del Keuper (UL-1 y UG-1), vuelve a salir al Weald para volver a atravesar las arcillas yesíferas, donde se encuentra el emboquille de salida (PK 4+471). Por tanto, se deberá prestar atención a las arcillas yesíferas en los túneles por su expansividad y tener en cuenta que todos los contactos mencionados son mecánicos con su consecuente tectonización de todos los materiales.

Después de este segundo túnel se alternan varios desmontes y terraplenes, que no presentan gran altura, pero se apoyan sobre las arcillas yesíferas (con potencial de expansividad) o sobre un aluvial (UL-13 y UG-8) depositado sobre esta unidad (baja capacidad portante).

En el PK 11+351 empieza otro túnel (L=1,6 km) que se encuentra en una zona de cabalgamiento en el que las Margas y calizas arcillosas del Jurásico (UL-4 y UG-3) se ponen sobre las areniscas del Weald (UL-5 y UG-4), por lo que el emboquille puede estar en una zona tectonizada, fracturada y/o meteorizada. Esta problemática también puede aparecer a lo largo de la primera mitad del túnel, ya que la falla discurre paralela al trazado, pero en la segunda mitad del túnel, el trazado se mete en las areniscas del Weald, donde se encuentra el emboquille de salida. En el Weald también se encuentra el siguiente túnel, de 1,0 km de longitud y que acaba en el 14+506, así como un tramo en desmontes y terraplenes.

En el PK 16+215 se encuentra el emboquille del siguiente túnel (L=2.5 km), que se vuelve a encontrar otro contacto mecánico, en este caso las arcillas yesíferas del Keuper (UL-1 y UG-1) se ponen sobre las areniscas del Weald, por lo que volvemos a encontrarnos con los problemas de tectonización, además de la expansividad de las arcillas.

Inmediatamente después de este túnel se ha previsto un viaducto para cruzar el Río Miera que se apoyará sobre el mismo Weald y un depósito aluvial del propio río (posible baja capacidad portante).

Entre los PK 19+253 y el 22+847 entramos en un tramo en Calcarenitas del Cretácico (UL-7 y UG-3) y Calizas masivas (UL-6 y UG-5). En dicho tramo hay tres

túneles cortos, de los cuales dos en la UG-3 (problemas de formación de cuñas y bloques en túneles y desmontes, y posibles problemas con los suelos residuales y zonas muy meteorizadas) y uno en las calizas masivas, con importantes problemas de afección a acuíferos, posible presencia de cavidades y formaciones kársticas e importantes avenidas de agua en el túnel. También se cruza mediante un relleno una cubeta de decalcificación, donde habrá que estudiar la deformabilidad de este depósito.

El tramo entre los PK 22+847 y 27+979 se trata de una alternancia de desmontes y rellenos, algunos de gran altura, pero que se sitúa mayoritariamente en las areniscas del Weald y en menor proporción sobre las calizas arcillosas y margas (UL-8 y UG-3). En este tramo, por tanto, habrá que analizar la posible formación de bloques y cuñas en los desmontes y la afección de los suelos residuales y roca muy meteorizada a la estabilidad de terraplenes y desmontes.

El PK 27+979 es el inicio de un túnel de 5,4 km de longitud, el cual comienza en las areniscas del Weald pero cruza la unidad UL-8 para acabar otra vez en el Weald. Cabe destacar que el túnel atravesaría varias zonas de falla, por lo que será necesario analizar la tectonización y alteración en cada una de ellas. En el PK 33+383 el tramo vuelve a entrar en las calizas masivas (UL-6 y UG-5), pero hasta el PK 37+317 están previstos varios desmontes (uno de ellos de gran altura), algunos rellenos y un viaducto, por lo que los problemas que esta unidad presenta serán menos relevantes.

En el PK 37+317 empieza un túnel de 4,5 km de longitud que atravesará la unidad UL-8 (UG-3, con problemas de formación de cuñas y bloques, principalmente) y las calizas masivas (UG-5), donde otra vez habrá que analizar la afección a acuíferos e investigar las formaciones kársticas, además de la posible inestabilidad por cuñas y bloques).

Después de este túnel se encuentra el Río Asón, para lo cual está previsto de un viaducto de 565 m que se apoya sobre las calizas masivas, depósitos aluviales o de marisma asociado al río (baja capacidad portante) y las arcillas yesíferas del Keuper. A continuación, después de un desmonte hay otro viaducto de similar longitud pero que se apoya sobre las ofitas del Keuper y las areniscas del Weald. En toda esta zona se atraviesan fallas y estructuras diapíricas, por lo que habrá que estudiar su afección a las cimentaciones y estructuras de tierra.

Hasta el PK 44+617 hay dos túneles pequeños, varios terraplenes también cortos y un desmonte. El primer túnel se encontrará en las areniscas del Weald, pero el segundo cruzará a las margas y calizas arcillosas (UL-4 y UG-3) donde tiene el emboquille. En esta zona además hay varias fallas, por lo que se puede encontrar con materiales tectonizados y alterados.

Entre los PK 44+617 y hasta el PK 65+800 aproximadamente el tramo atraviesa una alternancia de dos unidades: las areniscas del Weald (UL-5 y UG-4) y las calizas masivas del Cretácico (UL-6 y UG-5). En el tramo está previsto el diseño de 4 túneles largos (de 3,2; 2,6; 3,7 y 8,1 km de longitud), tres viaductos de 370, 100 y 410 m de longitud y varios desmontes y rellenos, algunos de grandes dimensiones. En todos los túneles será necesario el análisis de estabilidad por la formación de bloques y cuñas en bóveda y hastiales, pero sobre todo en los túneles que coincidan con la UG-5 habrá que enfrentarse a la problemática de la posible afección a los acuíferos existentes, la posibilidad de grandes presiones y avenidas de agua y la presencia de cavidades y otras formaciones kársticas. Estos condicionantes también deberán tenerse en cuenta en el diseño de los desmontes, aunque tengan un menor impacto. Uno de los viaductos cruza el Río Aguera, por lo que habrá que tener en cuenta la baja capacidad portante del depósito aluvial. Lo mismo sucede en el viaducto que atraviesa un depósito de decantación.

A partir del 65+800 el trazado de esta alternativa se une al trazado de la alternativa A1 en su PK 56+300. Por tanto, a partir de dicho PK, aplicaría la descripción realizada en la alternativa A1 hasta el final del trazado.

8.3. Alternativa B1: con parada en Laredo sin pasar por las marismas, por el Norte de Peña Cabarga

Hasta el PK 13+600 aproximadamente la Alternativa B1 comparte trazado con la Alternativa A1, por lo que la descripción realizada en la alternativa A1 es de aplicación en la B1 hasta dicho PK.

A partir del PK 13+600 el trazado de la Alternativa B1 continúa con un gran relleno que se apoyará sobre el depósito aluvial del Río Miera (que presentará baja capacidad portante), un desmonte en las margas y calizas del Cretácico (UL-10 y UG-6) y otro relleno que discurre sobre las calcarenitas del Cretácico (UL-9 y UG-3).

Posteriormente hay un túnel del 1,6 km cuya longitud se encuentra enteramente en la UG-3: los emboquilles se construirían en las calcarenitas del Cretácico (UL-9), mientras que la mayor parte del túnel se excavaría en las margas y arenas de la UL-8.

Entre los PK 16+734 19+653 está previsto la construcción de dos viaductos (de 1 km y 0,5 km aproximadamente) que se situarían mayoritariamente sobre las margas y calizas arcillosas del Cretácico (UL-10 y UG-6).

Después de un relleno y desmonte no muy altos sobre las calizas masivas (UL-6 y UG-5), entre los PK 20+318 y 29+898 el trazado atraviesa un tramo conformado por la unidad UG-3, pero que presenta diferentes litologías: mayoritariamente se encuentra en las calizas y margas de la UL-8, pero también atraviesa al inicio las calizas con margas y arenas de la UL-7. En este tramo está previsto el diseño de 3 túneles de 3,7, 0,3 y 3,8 km y 2 viaductos de casi 300 m cada uno. En los túneles habrá que analizar la formación de los bloques y cuñas durante la construcción de los mismos, y en general analizar la existencia de zonas de suelo residual y roca muy alterada o fracturada. En último de los túneles tiene su última parte y emboquille en las calizas masivas (UG-5).

En estas calizas masivas cretácicas y hasta el 33+713 el trazado discurre en una sucesión de rellenos, desmontes (algunos de ellos altos) y dos viaductos de unos 300 y 600 m cada uno. Esta unidad es favorable para los rellenos y cimentación de estructuras, aunque en los desmontes altos será necesario estudiar afecciones a acuíferos y su posible inestabilidad por la formación de bloques y cuñas. La existencia de cavidades y formaciones kársticas deberá tenerse en cuenta en todo tipo de estructuras (de fábrica y de tierra).

En el PK 33+713 está previsto el diseño de un túnel de 4,7 km de longitud, el cual atravesará las calizas masivas (UL-6 y UG-5, donde habrá que prestar mucha atención a la afección de acuíferos, presión de agua, existencia de formaciones kársticas y formación de bloques y cuñas en hastiales y bóveda), areniscas y arcillas limolíticas (UL-8 y UG-3 donde habrá que analizar la formación de cuñas y bloques y la existencia de zonas de mayor alteración) y saldrá en las areniscas del Weald (UL-5 y UG-4, con problemas similares a la UG-3, aunque se espera menor presencia de agua).

Seguidamente a este túnel el trazado discurre sobre dos viaductos separados por un túnel que permite atravesar una colina formada por las areniscas del Weald. El primero de los viaductos mencionados se apoyará en el propio Weald y en el depósito aluvial del Río Asón, mientras que el segundo viaducto se apoyará sobre las dolomías y calizas del Jurásico (UL-3 y UG-3) y algo sobre el Weald. Como todos los contactos que estratigráficamente se encuentran por debajo del Weald, son contactos mecánicos, será necesario atender a sus correspondientes zonas tectonizadas, fracturadas y alteradas.

A continuación, hay un desmonte cuyo eje prácticamente en su primera mitad coincide con el contacto mediante falla entre las dolomías y calizas del Jurásico y las calizas masivas del Cretácico, y en su segunda mitad se encontrará en las areniscas del Weald.

Entre los PK 40+650 y 44+650 todo el trazado discurre sobre las areniscas del Weald (UL-5 y UG-4). En este tramo se suceden, prácticamente sin obras de tierra intermedias, dos viaductos (de 447 y 22 m de longitud) y dos túneles (de 0,35 y 2.7 km). Esta formación no ofrece grandes problemas para la cimentación de las estructuras de fábrica (sí hay que tener en cuenta la existencia de un depósito aluvial en el primero de los viaductos), pero para los túneles y desmontes hay que tener en cuenta la posible formación de bloques y túneles en la bóveda y hastiales, y presencia de zonas muy alteradas.

En el PK 44+650 empieza un túnel de 3,1 km de longitud. El túnel tiene su emboquille e inicio en las areniscas del Weald, pero pasa a las calizas masivas (UG-5, con sus condicionantes asociados de afección de acuíferos y karstificación ya mencionados), y en el PK 46+400 aproximadamente se solapa con el trazado de la Alternativa A2,

en su PK 46+480 aproximadamente. Por tanto, a partir de dicho PK, aplicaría la descripción realizada en la alternativa A2.

8.4. Alternativa B2: con parada en Laredo sin pasar por las marismas, por el Sur de Peña Cabarga

La Alternativa B2 coincide con la Alternativa A2 desde su inicio hasta el PK 33+380 aproximadamente. Consecuentemente, la descripción de la Alternativa A2 aplica para la Alternativa B2 hasta dicho PK.

Entre los PK 33+380 y el final del trazado, la Alternativa B2 coincide con el trazado de la Alternativa B1 en su PK 29+900 aproximadamente. Por tanto, la descripción de la Alternativa B1 aplica para la Alternativa B2 desde el PK.33+380 hasta el final del trazado.

8.5. Alternativa C1: sin parada en Laredo por el Sur de Peña Cabarga

La Alternativa C1 coincide con el trazado de la Alternativa B1 hasta el PK 41+823. Consecuentemente, la descripción de la Alternativa B1 aplica para la Alternativa C1 hasta dicho PK.

En el PK 41+823 se sitúa el inicio de un túnel de 7.2 km que en la mayor parte de su longitud atraviesa a las areniscas del Weald (UL-5 y UG-4), por lo que será necesario analizar la estabilidad del túnel por posible formación de bloques y cuñas y posibles zonas de roca muy alterada o presencia de suelo residual. Según la información disponible, el túnel atravesará las calizas masivas (UL-6 y UG-5), donde se tendrá que poner especial atención a la afección de acuíferos, a la presión de agua y posibles avenidas durante la construcción, y a la existencia de formaciones kársticas que afecten al trazado. Después del túnel, está previsto la excavación de un gran desmonte en las areniscas del Weald, con los mismos condicionantes que el túnel, pero con una menor incidencia.

En el PK 49+633 se ha previsto el diseño de un viaducto de 578 m de longitud para cruzar el Río Aguera. Este puente se apoyará sobre el depósito aluvial (UL-13 y UG-8), que presumiblemente presentará una baja capacidad portante y alta deformabilidad, y en menor medida, sobre el Weald, que además se encuentra subyacente al depósito aluvial.

En el PK 50+318 inicia otro túnel de 8.2 km en las areniscas del Weald. Aproximadamente en el PK 52+400 el trazado vuelve a coincidir con el trazado de la Alternativa A2 (que a su vez coincide con los trazados de B1 y B2) en su PK 59+700. Por tanto, la descripción de la Alternativa A2 aplica para la Alternativa C1 desde el PK 52+400 hasta el final del trazado.

8.6. Alternativa C2: sin parada en Laredo por el Sur de Peña Cabarga

La Alternativa C2 coincide con la Alternativa A2 desde su inicio hasta el PK 33+380 aproximadamente. Consecuentemente, la descripción de la Alternativa A2 aplica para la Alternativa B2 hasta dicho PK.

Entre los PK 33+380 y el final del trazado, la Alternativa C2 coincide con el trazado de la Alternativa C1. Por tanto, la descripción de la Alternativa C1 aplica para la Alternativa B2 desde el PK.33+380 hasta el final del trazado.

9. Descripción geológica – geotécnica de las alternativas de tráfico exclusivo de viajeros

9.1. Alternativa A1 Modificada: con parada en Laredo pasando por las marismas, por el Norte de Peña Cabarga

Esta alternativa tiene exactamente el mismo trazado en planta que la Alternativa A1 aunque con ligeras variaciones en el perfil longitudinal. A efectos de los condicionantes geológico-geotécnicos se considera que, para esta fase de estudio,

las diferencias entre ambas alternativas son irrelevantes, por lo que la descripción geológica-geotécnica de la Alternativa A1 se puede aplicar íntegramente.

10. Valoración geológica - geotécnica

Se han establecido 5 categorías de dificultades, con una puntuación del 1 al 5, considerando 1 para las menores dificultades y 5 para los problemas de mayor importancia.

Tabla 11. Valoración de los grados de dificultad geotécnica

GRADOS DE DIFICULTAD GEOTÉCNICA	VALORACIÓN
MUY BAJO: sin dificultades geotécnicas significativas	**1**
BAJO: con dificultades geotécnicas puntuales	**2**
MEDIO: con dificultades geotécnicas frecuentes	**3**
ALTO: con dificultades geotécnicas importantes	**4**
MUY ALTO: con dificultades geotécnicas muy importantes y frecuentes	**5**

Considerando la caracterización geotécnica de las unidades definidas y los condicionantes geotécnicos que se han expuesto, se ha realizado una valoración cualitativa de las dificultades geotécnicas y constructivas que presentan de cara a la ejecución de las principales obras previstas (obras de tierra, estructuras de fábrica y túneles).

Tabla 12. Grados de dificultad geotécnica de cada tipo de obra para cada UG

UNIDAD GEOTECNICA	GRADOS DE DIFICULTAD			OBSERVACIONES
	OBRAS DE TIERRA	ESTRUCTURAS	TÚNELES	
UG-1 Arcillas y yesos (Keuper)	MEDIO	BAJO	ALTO	Problemas de expansividad, degradabilidad y presencia de yesos. Zonas tectonizadas
UG-2 Ofitas (Keuper)	MUY BAJO	MUY BAJO	BAJO	Puntualmente, caída de bloques y cuñas en túneles
UG-3 Alternancia de calizas, dolomías, margas areniscas y arcillas	MEDIO	MUY BAJO	ALTO	Frecuentes inestabilidades por cuñas y bloques. Comportamiento geomecánico heterogéneo. Presencia local de acuíferos. Zonas tectonizadas o alteradas

UNIDAD GEOTECNICA	GRADOS DE DIFICULTAD			OBSERVACIONES
	OBRAS DE TIERRA	ESTRUCTURAS	TÚNELES	
UG-4 Areniscas, arcillas y limos	BAJO	MUY BAJO	MEDIO	Inestabilidades por formación de cuñas y bloques en desmontes y túneles. Comportamiento geomecánico heterogéneo. Presencia de zonas alteradas y suelo residuaeles
UG-5 Calizas Masivas	MEDIO	BAJO	MUY ALTO	En túneles: presencia de formaciones kársticas, afección a acuíferos mediante su drenaje, importantes cargas de agua. Cuñas puntuales. Cimentaciones de rellenos y estructuras y fondos desmonte: problemas puntuales por karst-
UG-6 Margas y calizas arcillosas	MEDIO	MUY BAJO	ALTO	Meteorización penetrativa. Inestabilidades en zonas alteradas y suelo residual. Acuíferos locales en proximidades de macizos kársticos. Inestabilidad puntual de cuñas.
UG-7 Depósitos cuaternarios blandos	ALTO	MEDIO	No aplica	Capacidad portante muy baja. Asientos elevados y prolongados en el tiempo (consolidación). Inestabilidad de rellenos y desmontes. Terreno saturado. Drenaje muy deficiente (zonas encharcadas o encharcables)
UG-8 Depósitos cuaternarios aluviales, coluviales y antrópicos	MEDIO	BAJO	No aplica	Baja capacidad portante. Deformabilidad. Inestabilidad de taludes y rellenos. Freático próximo a superficie. Terreno heterogéneo.

Esta valoración ha tenido en cuenta de forma cualitativa la afección de cada una de las unidades geotécnicas a cada tipo de obra prevista en términos de longitud.

Una vez asignado el grado de dificultad de cada unidad geotécnica a cada tipo de obra, se ha sumado la valoración correspondiente de cada tipo de obra para una misma unidad, obteniendo unos resultados comprendidos entre 4 y 10.

En función del resultado obtenido se ha clasificado cada unidad geotécnica según la condición geotécnica constructiva de acuerdo a la siguiente valoración:

- ✓ Resultado menor o igual a 5 (R ≤ 6) => Condición ACEPTABLE
- ✓ Resultado comprendido entre 7 y 8 (7 ≤ R ≤ 8) => Condición TOLERABLE
- ✓ Resultado mayor o igual a 9 (R ≥ 9) => Condición DESFAVORABLE

Tabla 13. Condición geotécnica constructiva de cada Unidad Geotécnica

UNIDAD GEOTECNICA	GRADOS DE DIFICULTAD			SUMA = RESULTADO	CONDICIÓN GEOTÉCNICA CONSTRUCTIVA
	OBRAS DE TIERRA	ESTRUCTU-RAS	TÚNELES		
UG-1 Arcillas y yesos (Keuper)	3	2	4	**9**	**DESFAVORABLE**
UG-2 Ofitas (Keuper)	1	1	2	**4**	**ACEPTABLE**
UG-3 Alternancia de calizas, dolomías, margas areniscas y arcillas	3	1	4	**8**	**TOLERABLES**
UG-4 Areniscas, arcillas y limos (Weald)	2	1	3	**6**	**ACEPTABLE**
UG-5 Calizas Masivas	3	2	5	**10**	**DESFAVORABLE**
UG-6 Margas y calizas arcillosas	3	1	4	**8**	**TOLERABLES**
UG-7 Depósitos cuaternarios blandos	4	3	0	**7**	**DESFAVORABLE (*)**
UG-8 Depósitos cuaternarios aluviales, coluviales y antrópicos	3	2	0	**5**	**TOLERABLES (*)**

(*) La condición constructiva de estas unidades geotécnicas ha sido ponderada teniendo en cuenta que han sido puntuadas solo con dos tipos de obra.

De cara a determinar el grado de dificultad geotécnica que presentan las alternativas de trazado, se ha realizado una tramificación de cada una de ellas atendiendo a la condición geotécnica constructiva. Dicha tramificación puede observarse en el Anexo 4 de este Apéndice.

En la tabla siguiente, se ha llevado a cabo una valoración de cada alternativa asignando la siguiente valoración para de cada condición geotécnica constructiva:

- ✓ Condición ACEPTABLE => Valoración: 1
- ✓ Condición TOLERABLE => Valoración: 3
- ✓ Condición DESFAVORABLE => Valoración: 5

Tabla 14. Puntuación de cada alternativa según la condición geotécnica constructiva

ALTERNA-TIVA	LONGITUD EN CADA CONDICIÓN GEOTÉCNICA (km)			LONG. TOTAL	VALORACIÓN TOTAL
	ACEPTABLE Valoración: 1	TOLERABLES Valoración: 3	DESFAVORABLE Valoración: 5		
ALTERNATIVA A1	16.548	33.357	23.813	73.718	**3.197**
ALTERNATIVA A2	34.075	22.457	26.396	82.928	**2.815**
ALTERNATIVA B1	27.080	31.047	24.782	82.909	**2.945**
ALTERNATIVA B2	38.300	21.706	26.595	86.601	**2.730**
ALTERNATIVA C1	27.783	29.431	18.355	75.569	**2.750**
ALTERNATIVA C2	38.851	20.524	19.886	79.261	**2.521**
ALTERNATIVA A1 MODIFICADA	16.548	33.357	23.813	73.718	**3.197**

Como puede observarse, la Alternativa C2 es la que tiene una puntuación de la condición geotécnica constructiva inferior, por lo que sería la alternativa con un menor grado de dificultad geotécnica. Por el contrario, la Alternativa A1 (y por tanto la Alternativa A1 Modificada, que comparte el trazado con la A1) es la que presenta un mayor grado de dificultad geotécnica.

11. Conclusiones

El ferrocarril entre Bilbao y Santander se encuentra en el sistema del Pirineo Occidental. Dentro del Pirineo Occidental se localiza en la región Vasco-Cantábrica.

Lo materiales que se ven afectados por los trazados de este Estudio de Alternativas van desde el Triásico (facies Keuper) hasta el Cuaternario, teniendo gran representación los materiales calcáreos y terrígenos (facies Weald) del Cretácico, especialmente el Cretácico Inferior.

Del análisis geológico- geotécnico de los materiales se han extraído los principales condicionantes geotécnicos que afectan a los trazados de las alternativas. De entre todos ellos podemos destacar tres:

- ✓ Arcillas expansivas y presencias de yesos en las arcillas abigarradas del Keuper. Esta expansividad puede afectar a la plataforma en desmonte o rellenos de alturas bajas pero muy especialmente en el diseño de los túneles. Además, la presencia de yesos puede dar lugar a disoluciones rápidas y ambiente agresivo para el hormigón.

- ✓ Calizas masivas: estas calizas presentan un proceso de karstificación muy acusado, destacando la presencia de cuevas y cavernas. Estás pueden afectar a la plataforma si se llegan a encontrar por debajo de la misma (riesgo de colapso) y de forma más acusada a la construcción de los túneles. Pero el riesgo más relevante es la posible afección a los acuíferos que existen en estas formaciones, pudiendo llegar a provocar una descarga parcial o total de uno de los acuíferos durante la construcción de los túneles (y en mucha menor medida durante la excavación de grandes desmontes)

- ✓ Marismas y suelos blandos: estos depósitos presentan una consistencia muy baja y problemas de consolidación, lo cual puede afectar a la cimentación de estructuras y rellenos.

Se ha llevado a cabo una valoración geotécnica de cada alternativa, habiéndose obtenido la siguiente valoración:

Tabla 15. Resumen de la puntuación geotécnica de cada alternativa

ALTERNA-TIVA	LONG. TOTAL	VALORACIÓN TOTAL
ALTERNATIVA A1	73.718	**3.197**
ALTERNATIVA A2	82.928	**2.815**
ALTERNATIVA B1	82.909	**2.945**
ALTERNATIVA B2	86.601	**2.730**
ALTERNATIVA C1	75.569	**2.750**
ALTERNATIVA C2	79.261	**2.521**
ALTERNATIVA A1 MODIFICADA	73.718	**3.197**

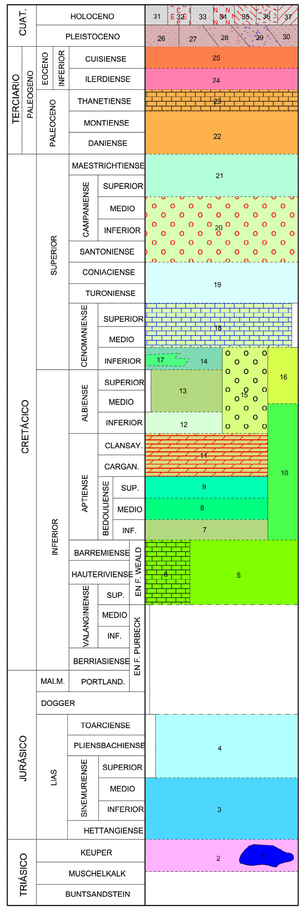
Como puede observarse, la alternativa C1 es la más favorable desde el punto de vista geotécnico, mientras que la alternativa A1 sería la más desfavorable.

ANEXO 1

LEYENDA DE PLANTA GEOLÓGICA

HOJA Nº 34
TORRELAVEGA

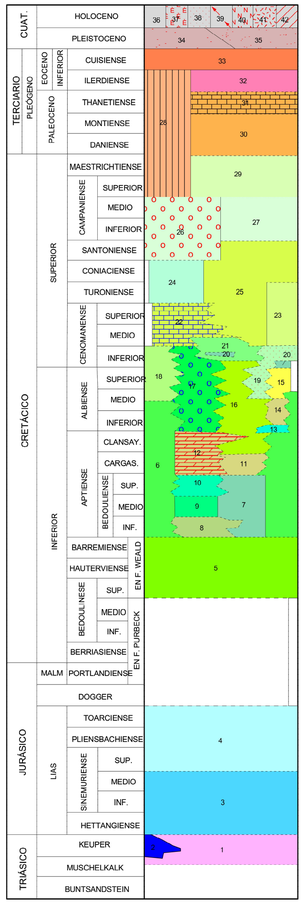
LEYENDA



37 Sedimentos antrópicos
36 Cubetas de decalcificación
35 Coluviones
34 Dunas
33 Playas
32 Marismas y rías
31 Aluviones
30 Terraza 4
29 Terraza 3
28 Terraza 2
27 Terrazas fluviales. T 1
26 Playas levantadas
25 Caliza arenosas
24 Calizas con Alveolinas y Nummulites (Estrada)
23 Calizas con Algas Rodoficeas
22 Dolomías y calizas
21 Calcarenitas y calizas arenosas con orbitoides
20 Margas y calizas arenosas con Micráster
19 Margas y calizas arcillosas. Glauconita en la base
18 Calcarenitas
17 Calcarenitas
16 Calizas arcillosas, margas y arenas
15 Arenas, limos, arcillas e intercalaciones calcáreas (piritas y restos carbonosos)
14 Arenas, limos e intercalaciones calcáreas
13 Calizas y calcarenitas con glauconita
12 Arenas y limos (piritas y restos carbonosos)
11 Calizas con Pseudotoucasia. Dolomías
10 Calizas con Rudistas y Orbitolinas. Dolomías
9 Arenas, limos, arcillas y calizas arcillosas con grandes Ostreidos
8 Calizas con Miliólidos y Toucasia
7 Calcarenitas con Orbitolinas, arcillas y areniscas
6 Calizas lacustres, areniscas y limos
5 Limos, arcillas y areniscas
4 Margas y calizas arcillosas
3 Dolomías y calizas microcristalinas
2 Arcillas abigarradas y yesos
1 Ofitas

HOJA Nº 35
SANTANDER

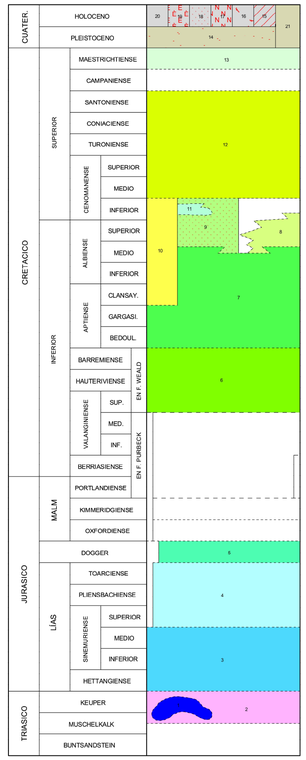
LEYENDA



42 Sedimentos antrópicos
41 Cubetas de decalcificación
40 Dunas
39 Flechas litorales
38 Playas
37 Marismas y rías
36 Aluviones
35 Terraza 2
34 Terrazas fluviales.T1
33 Calizas arenosas. (Hortigal)
32 Calizas con Alveolinas y Nummulites. (Estrada)
31 Calizas con Algas Rodoficeas
30 Dolomías y calizas
29 Calcarenitas y calizas arenosas con Orbitoides
28 Calcarenitas y dolomías (Muñorrodero)
27 Calizas arenosas, calcarenitas y margas con Equinocorys
26 Margas y calizas arenosas con Micraster
25 Margas y calizas arcillosas
24 Margas y calizas arcillosas. Glauconita en la base
23 Margas y calizas arcillosas. Localmente calcarenitas
22 Calcarenitas
21 Calizas, margas y arenas
20 Intercalción caliza
19 Arenas y areniscas
18 Margas y arenas
17 Arenas, limos, arcillas e intercalaciones calizas.(Pirita y restos carbonosos)
16 Calizas y margas con intercalaciones de arenas y areniscas
15 Margas grises y calizas
14 Calizas con Rudistas y Orbitolinas
13 Arcillas limoníticas, areniscas y calizas
12 Calizas con Pseudotoucasia
11 Calizas con intercalaciones de margas y arenas
10 Arenas, limos, margas y calizas con grandes Ostreidos
9 Calizas con Miliólidos y Toucasia
8 Calcarenitas con Orbitolinas, arcillas y areniscas
7 Calizas con Toucasia
6 Calizas con Rudistas y Orbitolinas y dolomías
5 Areniscas y arcillas limoníticas. (Weald)
4 Margas y calizas arcillosas
3 Dolomías y calizas microcristalinas
2 Arcillas abigarradas y yesos
1 Ofitas

HOJA Nº 36
CASTRO URDIALES

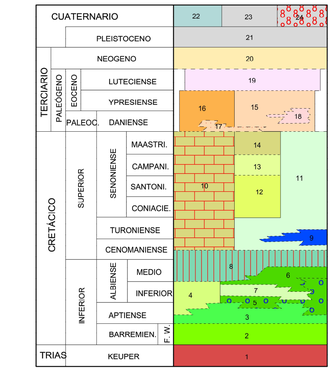
LEYENDA



21 Cuaternario indiferenciado
20 Aluviones
19 Marismas
18 Playas
17 Dunas
16 Cubetas de descalcificación
15 Sedimentos antrópicos
14 Terrazas
13 Margas y calizas arcillosas
12 Margas hojosas y calizas arcillosas
11 Intercalaciones de caliza
10 Areniscas, margas y calizas
9 Areniscas y arcillas limolíticas
8 Calizas arcillosas con espículas
7 Calizas con Rudistos y Orbitolinas
6 Areniscas y limos arcillosos
5 Calizas y margas
4 Margas y calizas arcillosas
3 Dolomías, brechas calizo-dolomíticas y calizas microcristalizas
2 Arcillas abigarras, yesos y sales
1 Ofitas

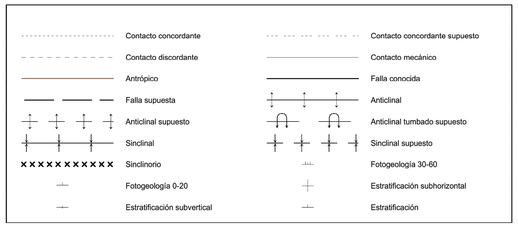
HOJA Nº 37
ALGORTA

LEYENDA



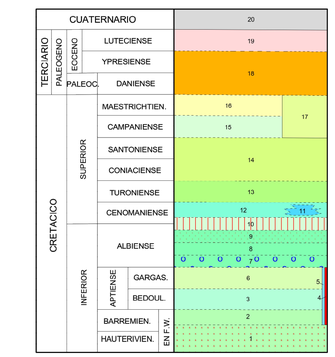
24 Dunas
23 Playa
22 Aluvial
21 Arenas
20 Arenas y areniscas
19 Calizas y arenas
18 Crestones calcáreos
17 Crestones Microconglomeráticos
16 Calizas Arenosas y Margas (en Fm. de "capas rojas")
15 Calizas, arenosas y margas
14 Calizas, margas Y arenas
13 Margas y calizas
12 Calizas y margas
11 Tramo calcáreo
10 Tramo calcáreo (en Fm. de "capas rojas")
9 Basaltos
8 Argiolitas y cuarzoarenitas
7 Crestones calcáreos
6 Calizas y argiolitas
5 Margas
4 Argiolitas calcáreas masivas
3 Caliza arrecifal
2 Margas, arenas y areniscas
1 Arcillas y margas

SIMBOLOS CONVENCIONALES



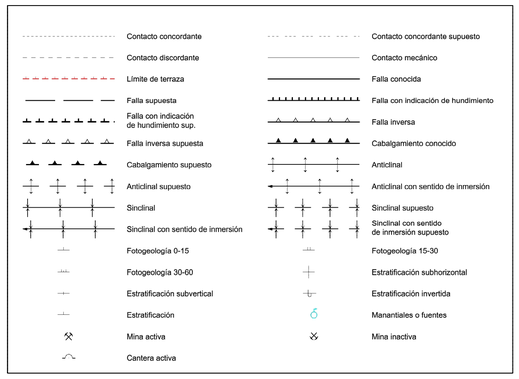
HOJA Nº 61
BILBAO

LEYENDA

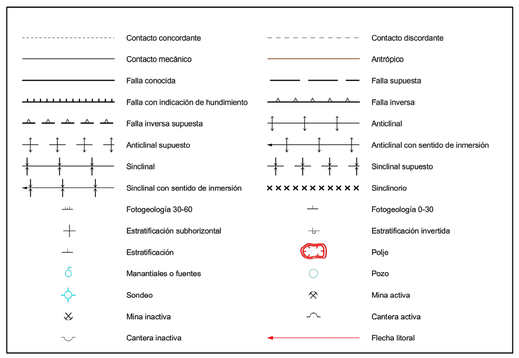


20 Aluviones
19 Areniscas y arenas
18 Microconglomerados, areniscas, margas, arenas, margas rojas y calizas litográficas
17 Margas, calizas y areniscas
16 Margas, calizas y arenas
15 Margas y calizas
14 Margas y calizas
13 Margas y calizas
12 Margas
11 Basaltos y espilitas
10 Areniscas
9 Margas y areniscas
8 Margas y calizas de espículas
7 Margas
6 Margas y areniscas
5 Diques de diabasas
4 Filones de cuarzo
3 Calizas
2 Areniscas, margas y areniscas calcáreas
1 Margas y areniscas

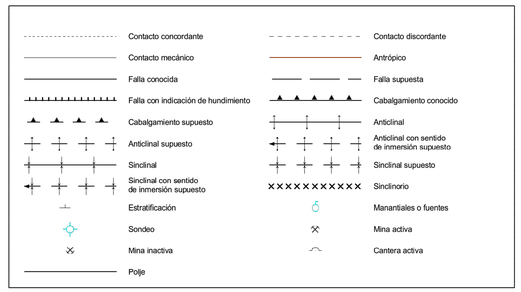
SIMBOLOS CONVENCIONALES



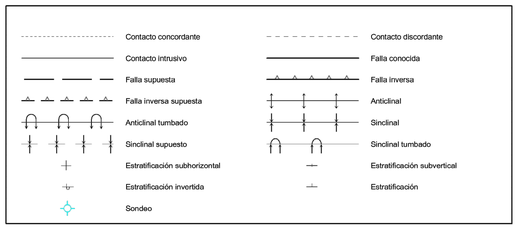
SÍMBOLOS CONVENCIONALES



SIMBOLOS CONVENCIONALES



SÍMBOLOS CONVENCIONALES



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:
ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y VIABILIDAD DEL TRAMO BILBAO - SANTANDER DEL CORREDOR CANTÁBRICO MEDITERRÁNEO

AUTORES:
wsp
SENER

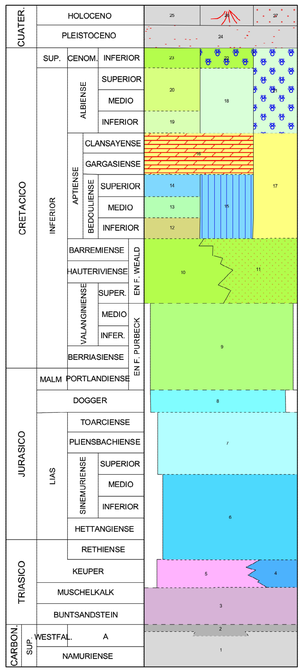
ESCALA ORIGINAL:
S/E
Numérica: DIN A-1
Gráfica:

TITULO DEL PLANO:
LEYENDA DE PLANTA GEOLÓGICA

HOJA
01 DE 02

HOJA Nº 58 CORRALES

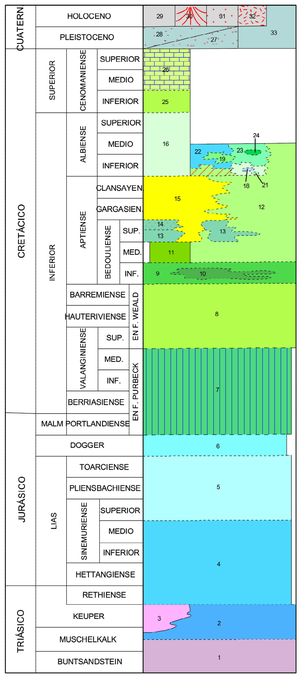
LEYENDA



27 Coluviones
26 Conos de deyección
25 Fondos de valle y terraza inferior
24 Terrazas
23 Arenas, limolitas y arcillas, localmente calizas arenosas
22 Margas y calizas arcillosas
21 Calcarenitas, calizas y arenas
20 Calizas y calcarenitas
19 Arenas, limolitas y arcillas. Niveles de calizas
18 Arenas y areniscas
17 Calizas con Orbitolinas y Rudistas, dolomías, margas y areniscas
16 Areniscas, margas y calizas con Miliólidos
15 Calizas con Rudistas (Pseudotoucasia) y dolomías
14 Dolomías y margas
13 Calizas con Orbitolinas, Miliólidos y Rudistas (Toucasia)
12 Arenas y limolitas
11 Areniscas microconglomeráticas, areniscas, limolitas y arcillas
10 Limolitas, areniscas y arcillas
9 Conglomerados silíceos y/o calcáreos, areniscas, arcillas, margas calcáreas y calizas. Niveles lumaquélicos
8 Calizas y margas. Niveles de margas negras hojosas
7 Alternancia de margas y calizas arcillosas, margas negras hojosas
6 Dolomías, brechas calizo-dolomíticas y calizas tableadas
5 Arcillas abigarradas plásticas, sal y yesos
4 Ofitas
3 Conglomerados silíceos, areniscas silíceas y feldespáticas, areniscas calcareo-dolomíticas y limolitas
2 Areniscas y pizarras con restos vegetales
1 Calizas recristalizadas gris-blanquecinas (Caliza de Montaña). Calcarenitas con Fusulinella

HOJA Nº 59 VILLACARRIEDO

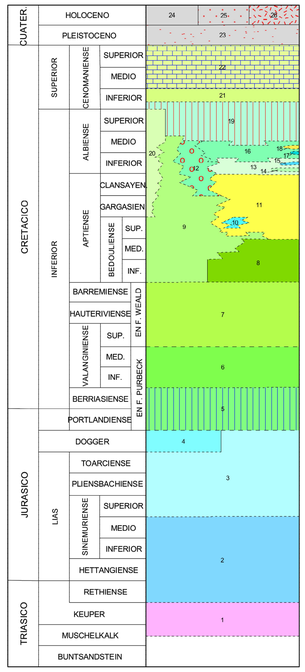
LEYENDA



33 Morrenas reelaboradas
32 Cubetas de descalcificación
31 Coluviones
30 Conos de deyección
29 Aluviones
28 Terrazas
27 Terrazas
26 Calizas y calcarenitas, intercalaciones de areniscas
25 Calizas, calizas arenosas, areniscas y margas
24 Calizas y margas
23 Arcillas hojosas y areniscas
22 Calizas
21 Areniscas
20 Margas hojosas y calizas arcillosas, intercalaciones de areniscas
19 Margas, areniscas, calizas arcillosas y conglomerados
18 Calizas con Rudistas y Orbitolinas
17 Alternancia de calizas con Rudistas y tramos terrígenos
16 Areniscas y calizas
15 Alternancia de calizas arrecifales y bancos de areniscas, arcillas y margas
14 Areniscas
13 Calizas arcillosas, calizas arenosas y areniscas
12 Calizas con Toucasia y Orbitolinas
11 Calizas con Rudistas y calcarenitas
10 Tramo de calizas con Rudistas y Orbitolinas
9 Calizas, calizas arenosas, arcillas y areniscas con Orbitolinas
8 Areniscas y arcillas limolíticas
7 Areniscas, arcillas, calizas lacustres, conglomerados basales. Localmente calizas arenosas
6 Calizas microcristalinas, calizas arcillosas y margas
5 Alternancia de margas y calizas arcillosas
4 Carniolas, dolomías y calizas
3 Arcillas varioladas y yesos
2 Ofitas
1 Areniscas, conglomerados y limolitas

HOJA Nº 60 VALMASEDA

LEYENDA

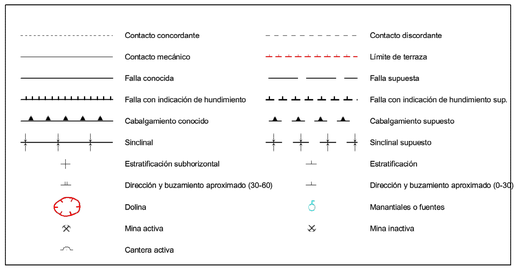


26 Cubetas de descalcificación
25 Coluviones
24 Aluviones
23 Terrazas
22 Margas y calizas arcillosas
21 Areniscas y arcillas con Orbitolinas
20 Calizas arcillosas con espículas
19 Areniscas y arcillas arenosas
18 Areniscas
17 Calizas y margas
16 Arcillas hojosas y areniscas
15 Calizas
14 Areniscas
13 Margas hojosas y calizas arcillosas. Intercalaciones de areniscas
12 Margas, calizas arcillosas y arcillas con pequeños biohermos calizos
11 Calizas arcillosas, lentejones de areniscas
10 Calcarenitas
9 Calizas con Rudistas y Orbitolinas. Areniscas en la base
8 Areniscas y calizas con Orbitolinas. Margas arenosas y areniscas en el E.
7 Areniscas y arcillas limolíticas
6 Calizas con Ostreidos y Briozoos
5 Conglomerados, areniscas, arcillas y calizas lacustres
4 Calizas microcristalinas, calizas arcillosas y margas
3 Alternancia de margas y calizas arcillosas
2 Carniolas, dolomías y calizas
1 Arcillas versicolores y yesos

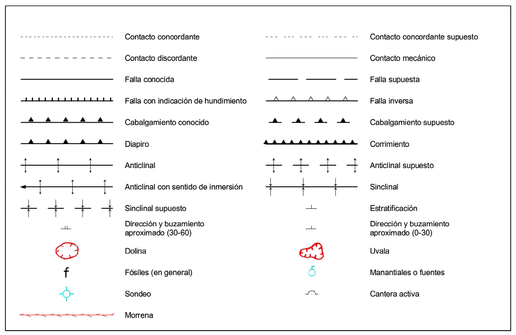
TABLA DE EQUIVALENCIA DE UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS DE ESTE ESTUDIO INFORMATIVO CON LAS UNIDADES DEFINIDAS EN LAS HOJAS DE LA SERIE MAGNA DEL IGME

Estudio de Alternativas BILBAO-SANTANDER		HOJA 34 TORRELAVEGA		HOJA 35 SANTANDER		HOJA 36 CASTRO URDIALES		HOJA 60 VALMASEDA		HOJA 61 BILBAO	
Número	Descripción	Número	Descripción	Número	Descripción	Número	Descripción	Número	Descripción	Número	Descripción
UL-1	Arcillas abigarradas y yesos (Keuper, Triásico)	2	Arcillas abigarradas y yesos	2	Arcillas abigarradas y yesos	2	Arcillas abigarradas y yesos	1	Arcillas versicolores y yesos		
UL-2	Ofitas (Keuper, Triásico)	1	Ofitas	1	Ofitas	1	Ofitas				
UL-3	Dolomías y calizas (Jurásico Lias)	3	Dolomías y calizas microcristalinas	3	Dolomías y calizas microcristalinas	3	Dolomías, brechas calizo-dolomíticas y calizas microcristalizas	2	Carniolas, dolomías y calizas		
UL-4	Margas y calizas arcillosas (Jurásico Lias)	4	Margas y calizas arcillosas	4	Margas y calizas arcillosas	4	Margas y calizas arcillosas	3	Alternancia de margas y calizas arcillosas		
UL-5	Areniscas, arcillas y limos (Facies Weald, Cretácico Inferior)	5	Limos, arcillas y areniscas	5	Areniscas y arcillas lomolíticas (Weald)	6	Areniscas y limos arcillosos	7	Areniscas y arcillas limolíticas	2	Areniscas, margas y areniscas calcáreas
UL-6	Calizas con Rudistas y Orbitolinas (Cretácico Inferior)	10	Calizas con Rudistas y Orbitolinas. Dolomías	6	Calizas con Rudistas y Orbitolinas y dolomías	7	Calizas con Rudistas y Orbitolinas	9	Calizas con Rudistas y Orbitolinas. Areniscas en la base	3	Calizas
				7	Calizas con Toucasia						
UL-7	Calcarenitas, areniscas y arcillas (Cretácico Inferior)	7	Calcarenitas con Orbitolinas, arcillas y areniscas	8	Calcarenitas con Orbitolinas, arcillas y areniscas			8	Areniscas y calizas con Orbitolinas. Margas arenosas y areniscas en el Este		
				11	Calizas con intercalaciones de margas y arenas						
UL-8	Calizas arcillosas, margas, areniscas y arenas (Cretácico Inferior)			15	Margas grises y calizas	8	Calizas arcillosas con espículas	20	Calizas arcillosas con espículas	6	Margas y areniscas
				16	Calizas y margas con intercalaciones de arenas y areniscas	10	Areniscas, margas y calizas	13	Margas hojosas y calizas arcillosas. Intercalaciones de areniscas		
		15	Arenas, limos y arcillas e intercalaciones calizas (Pirita y restos carbonosos)	17	Arenas, limos y arcillas e intercalaciones calizas (Pirita y restos carbonosos)						
				18	Margas y arenas					9	Margas y areniscas
				19	Arenas y areniscas	9	Areniscas y arcillas limolíticas	19	Areniscas y arcillas arenosas	10	Areniscas
				20	Intercalación caliza						
				21	Calizas, margas y arenas						
UL-9	Calcarenitas (Cretácico Superior)	18	Calcarenitas	22	Calcarenitas						
UL-10	Margas y calizas (Cretácico Superior)			23	Margas y calizas arcillosas. Localmente calcarenitas	12	Margas hojosas y calizas arcillosas	22	Margas y calizas arcillosas	12	Margas
		19	Margas y calizas arcillosas. Glauconita en la base	24	Margas y calizas arcillosas. Glauconita en la base					13	Margas y calizas
				25	Margas y calizas arcillosas					14	Margas y calizas
		20	Margas y calizas arenosas con Micraster	26	Margas y calizas arenosas con Micraster					15	Margas y calizas
UL-11	Cubetas de decalcificación (Cuaternario)	36	Cubetas de decalcificación	41	Cubetas de decalcificación	16	Cubetas de decalcificación	26	Cubetas de decalcificación		
UL-12	Depósitos de marismas y ría (Cuaternario)	32	Marismas y rías	37	Marismas y rías	19	Marismas				
UL-13	Depósitos aluviales (Cuaternario)	31	Aluviones	36	Aluviones	20	Aluviones	24	Aluviones	20	Aluviones
UL-14	Depósitos antrópicos (Cuaternario)	37	Sedimentos antrópicos	42	Sedimentos antrópicos						

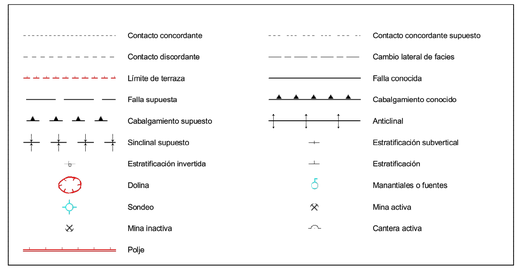
SÍMBOLOS CONVENCIONALES



SÍMBOLOS CONVENCIONALES



SÍMBOLOS CONVENCIONALES



EJES DE TRAZADO

- ALTERNATIVA A1
- ALTERNATIVA A2
- ALTERNATIVA B1
- ALTERNATIVA B2
- ALTERNATIVA C1
- ALTERNATIVA C2

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:
ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y VIABILIDAD DEL TRAMO BILBAO - SANTANDER DEL CORREDOR CANTÁBRICO MEDITERRÁNEO

AUTORES:
wsp
SENER

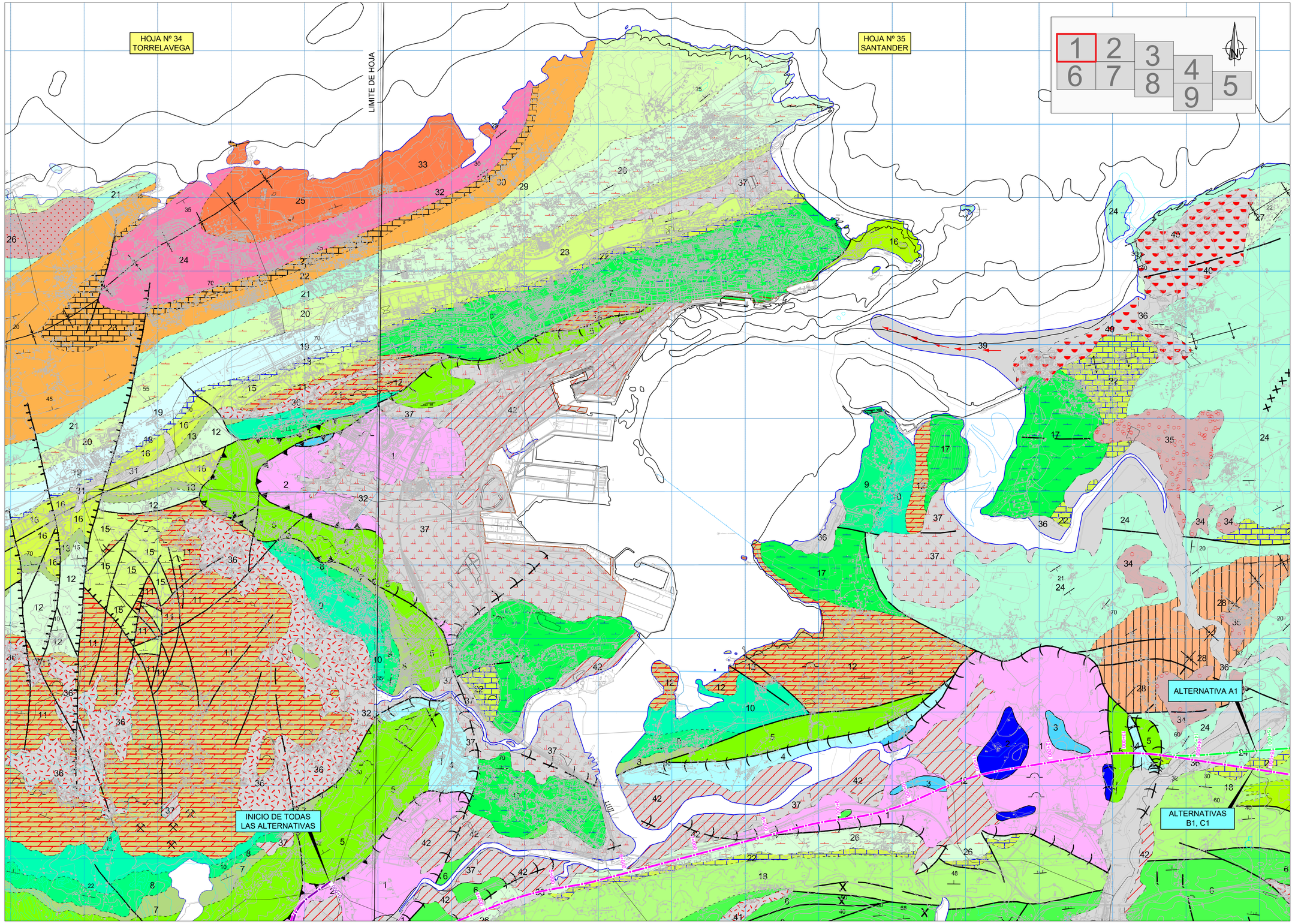
ESCALA ORIGINAL:
S/E
Numérica: DIN A-1
Gráfica:

TITULO DEL PLANO:
LEYENDA DE PLANTA GEOLÓGICA

HOJA 02 DE 02

ANEXO 2

PLANTA GEOLÓGICA



PLANTA GEOLÓGICA
ESCALA 1:25.000

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA PROCEDENTE DEL MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA, SERIE MAGNA. ESCALA 1/50.000. IGME

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

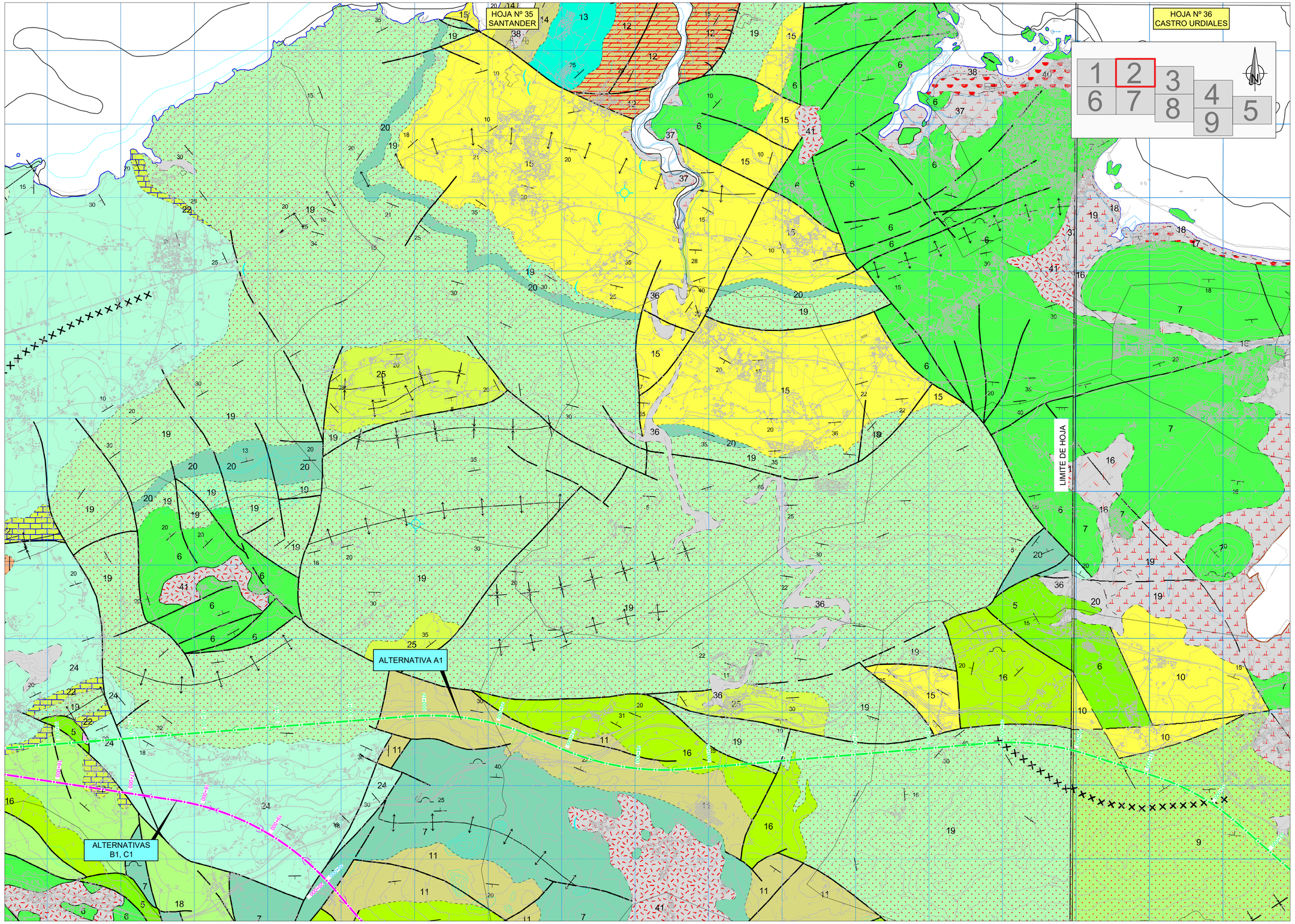
TÍTULO:
ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y VIABILIDAD DEL TRAMO BILBAO - SANTANDER DEL CORREDOR CANTÁBRICO MEDITERRÁNEO

AUTORES:
wsp
SENER

ESCALA ORIGINAL:
1:25.000
0 500 1.000m
Numérica: DIN A-1
Gráfica:

TITULO DEL PLANO:
PLANTA GEOLÓGICA

HOJA
01 DE 09



PLANTA GEOLÓGICA
ESCALA 1:25.000

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA PROCEDENTE DEL MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA, SERIE MAGNA. ESCALA 1/50.000. IGME

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:
ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y VIABILIDAD DEL TRAMO BILBAO - SANTANDER DEL CORREDOR CANTÁBRICO MEDITERRÁNEO

AUTORES:
wsp
SENER

ESCALA ORIGINAL:
1:25.000
0 500 1.000m
Numérica: DIN A-1
Gráfica:

TITULO DEL PLANO:
PLANTA GEOLÓGICA

HOJA
02 DE 09

HOJA Nº 36
CASTRO URDIALES

1 2 3 4 5
6 7 8 9

ALTERNATIVA A1

ALTERNATIVA C1

ALTERNATIVA B1

ALTERNATIVA A2

PLANTA GEOLÓGICA

ESCALA 1:25.000

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA PROCEDENTE DEL MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA, SERIE MAGNA. ESCALA 1/50.000. IGME

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

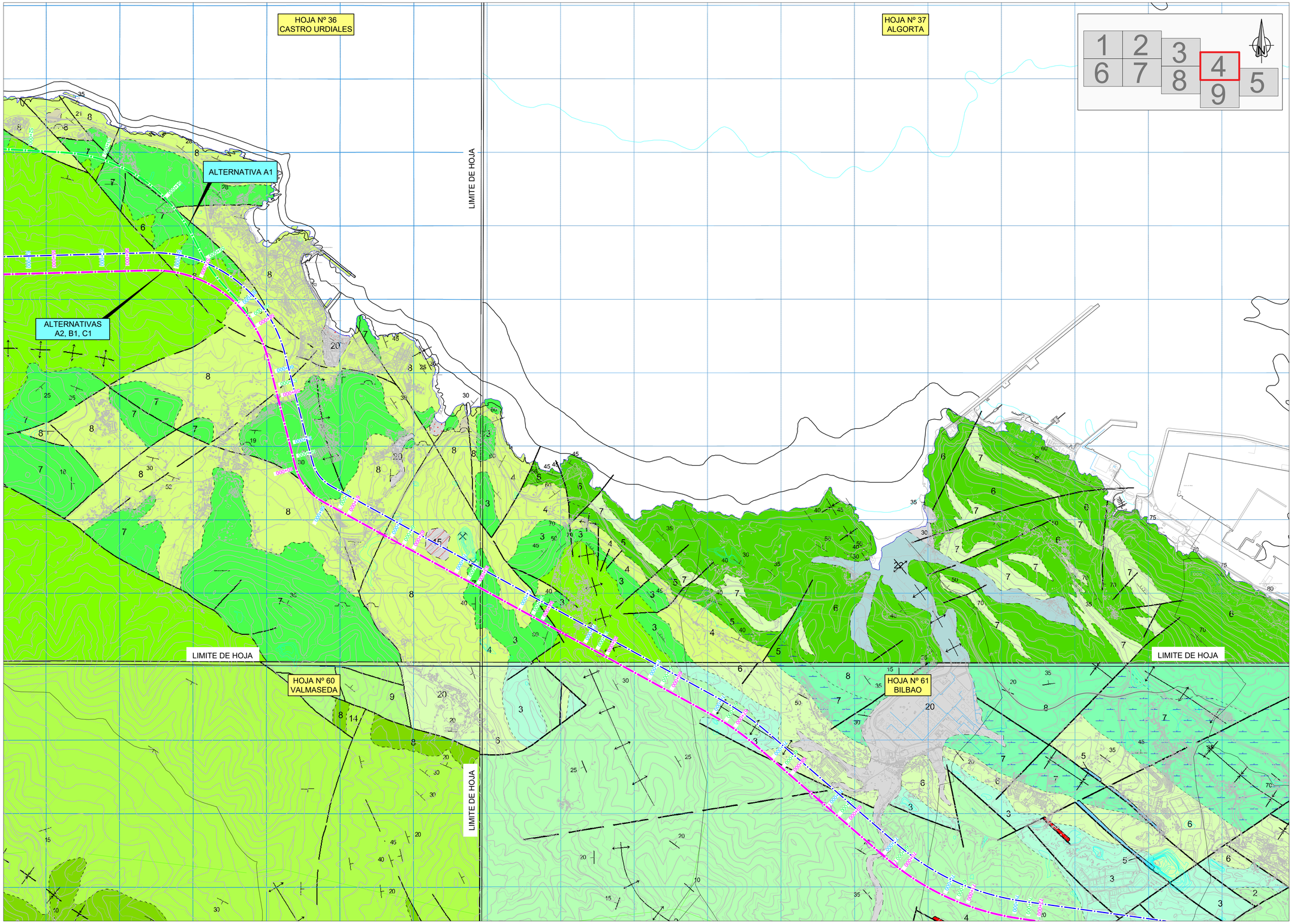
TÍTULO:
ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y VIABILIDAD DEL TRAMO BILBAO - SANTANDER DEL CORREDOR CANTÁBRICO MEDITERRÁNEO

AUTORES:
wsp SENER

ESCALA ORIGINAL:
1:25.000
0 500 1.000m
Numérica: DIN A-1
Gráfica:

TITULO DEL PLANO:
PLANTA GEOLÓGICA

HOJA
03 DE 09



PLANTA GEOLÓGICA
ESCALA 1:25.000

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA PROCEDENTE DEL MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA, SERIE MAGNA. ESCALA 1/50.000. IGME

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

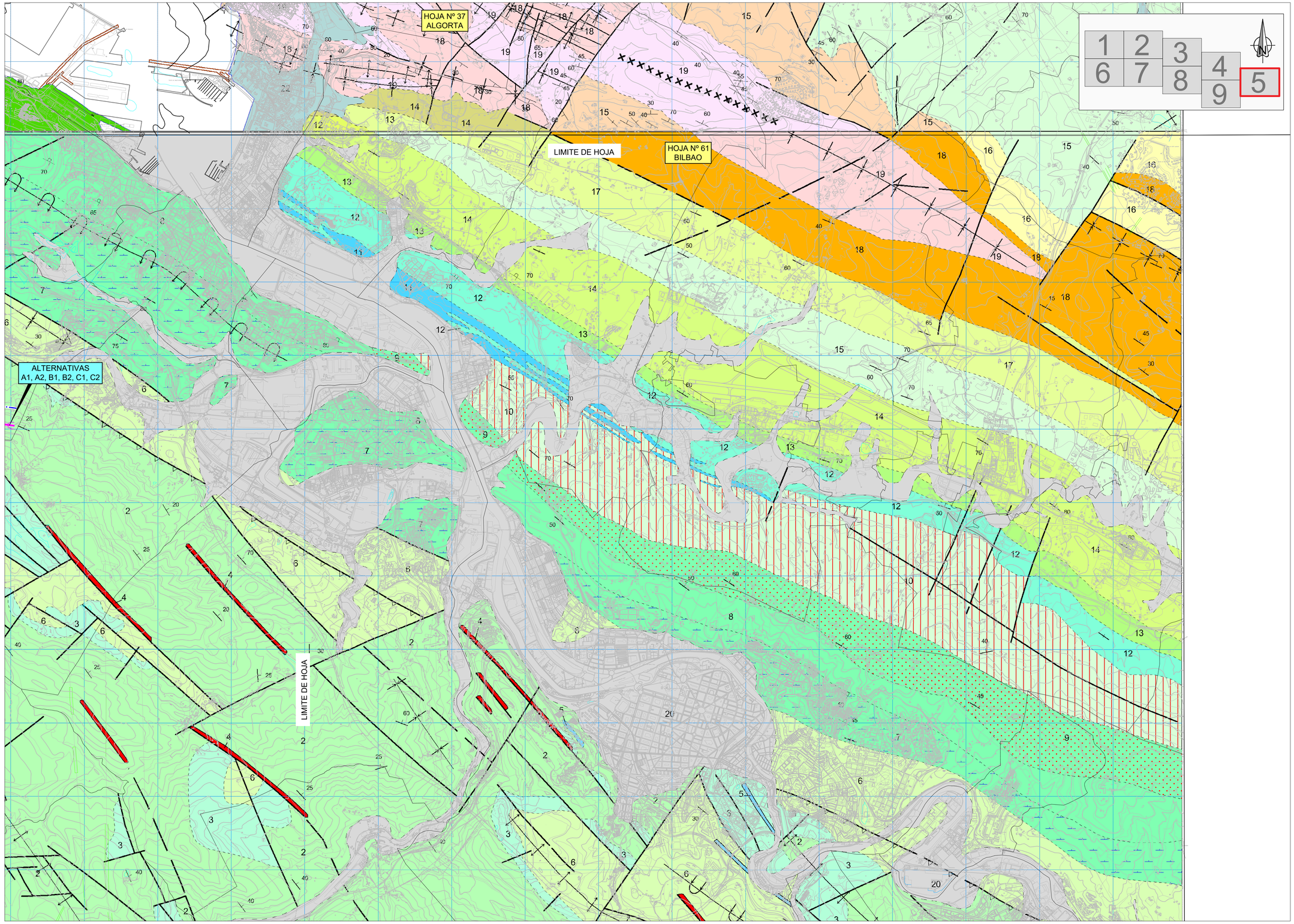
TÍTULO:
ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y VIABILIDAD DEL TRAMO BILBAO - SANTANDER DEL CORREDOR CANTÁBRICO MEDITERRÁNEO

AUTORES:
wsp
SENER

ESCALA ORIGINAL:
1:25.000
0 500 1.000m
Numérica: DIN A-1
Gráfica:

TITULO DEL PLANO:
PLANTA GEOLÓGICA

HOJA
04 DE 09



PLANTA GEOLÓGICA
ESCALA 1:25.000

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA PROCEDENTE DEL MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA, SERIE MAGNA. ESCALA 1/50.000. IGME

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

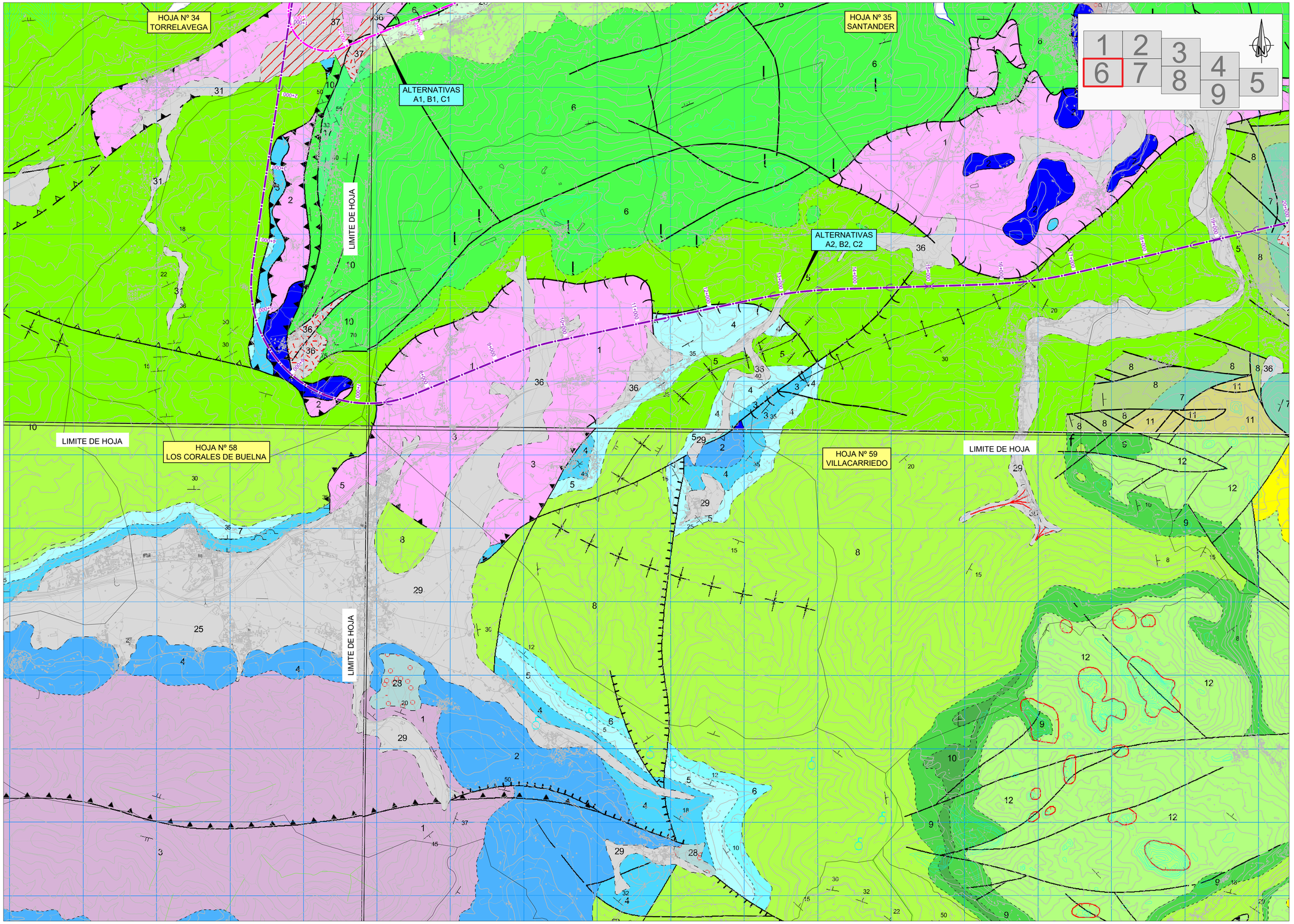
TÍTULO:
ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y VIABILIDAD DEL TRAMO BILBAO - SANTANDER DEL CORREDOR CANTÁBRICO MEDITERRÁNEO

AUTORES:
wsp
SENER

ESCALA ORIGINAL:
1:25.000
0 500 1.000m
Numérica: DIN A-1
Gráfica:

TITULO DEL PLANO:
PLANTA GEOLÓGICA

HOJA
05 DE 09



PLANTA GEOLÓGICA
ESCALA 1:25.000

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA PROCEDENTE DEL MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA, SERIE MAGNA. ESCALA 1/50.000. IGME

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

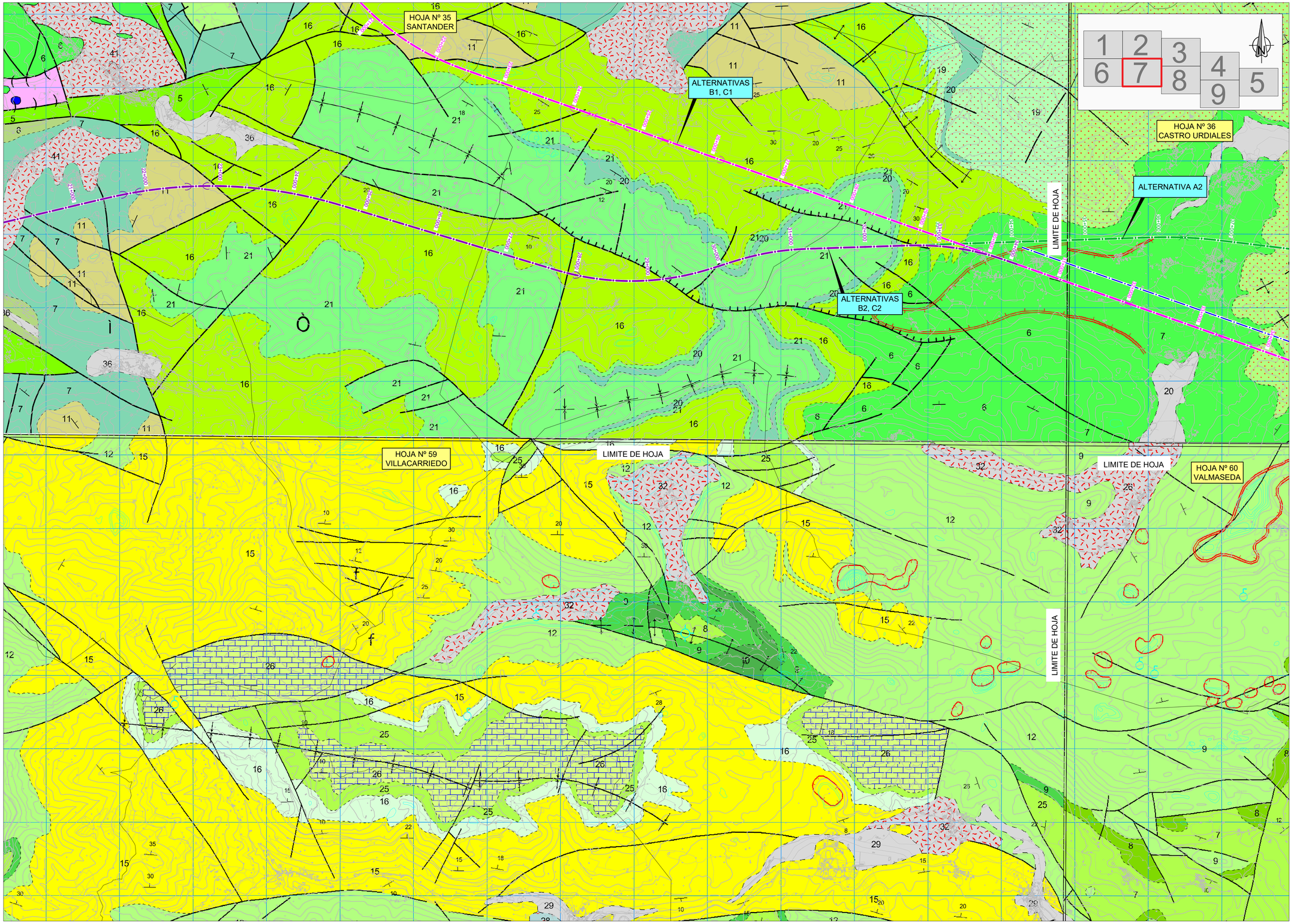
TÍTULO:
ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y VIABILIDAD DEL TRAMO BILBAO - SANTANDER DEL CORREDOR CANTÁBRICO MEDITERRÁNEO

AUTORES:
wsp
SENER

ESCALA ORIGINAL:
1:25.000
0 500 1.000m
Numérica: DIN A-1
Gráfica:

TITULO DEL PLANO:
PLANTA GEOLÓGICA

HOJA
06 DE 09



PLANTA GEOLÓGICA
ESCALA 1:25.000

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA PROCEDENTE DEL MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA, SERIE MAGNA. ESCALA 1/50.000. IGME

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

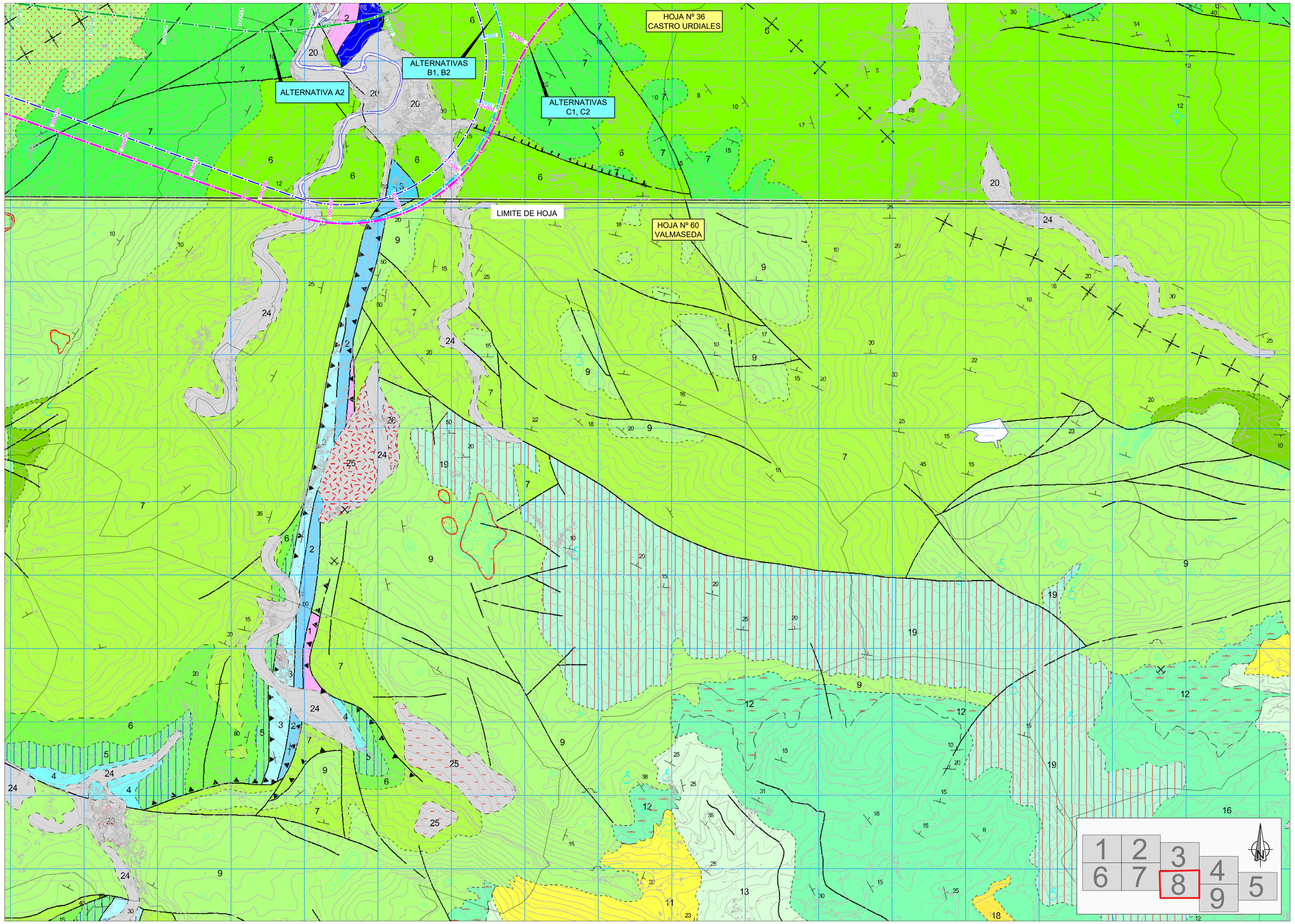
TÍTULO:
ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y VIABILIDAD DEL TRAMO BILBAO - SANTANDER DEL CORREDOR CANTÁBRICO MEDITERRÁNEO

AUTORES:
wsp
SENER

ESCALA ORIGINAL:
1:25.000
0 500 1.000m
Numérica: DIN A-1
Gráfica:

TITULO DEL PLANO:
PLANTA GEOLÓGICA

HOJA
07 DE 09



PLANTA GEOLÓGICA
ESCALA 1:25.000

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA PROCEDENTE DEL MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA, SERIE MAGNA. ESCALA 1/50.000. IGME

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

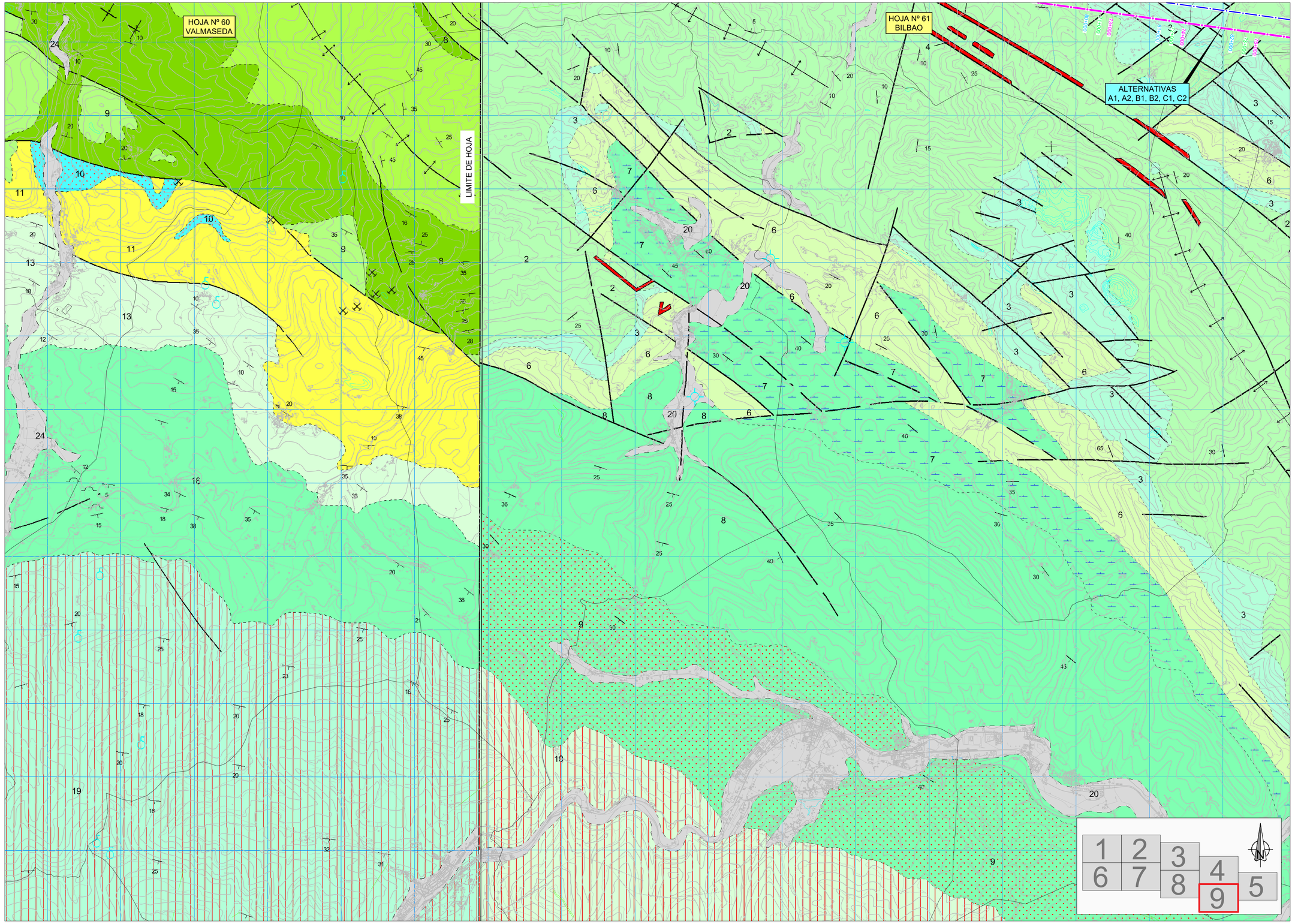
TÍTULO:
ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y VIABILIDAD DEL TRAMO BILBAO - SANTANDER DEL CORREDOR CANTÁBRICO MEDITERRÁNEO

AUTORES:
wsp
SENER

ESCALA ORIGINAL:
1:25.000
0 500 1.000m
Numérica: DIN A-1
Gráfica:

TITULO DEL PLANO:
PLANTA GEOLÓGICA

HOJA
08 DE 09



PLANTA GEOLÓGICA
ESCALA 1:25.000

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA PROCEDENTE DEL MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA, SERIE MAGNA. ESCALA 1/50.000. IGME

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:
ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y VIABILIDAD DEL TRAMO BILBAO - SANTANDER DEL CORREDOR CANTÁBRICO MEDITERRÁNEO

AUTORES:
wsp
SENER

ESCALA ORIGINAL:
1:25.000
0 500 1.000m
Numérica: DIN A-1
Gráfica:

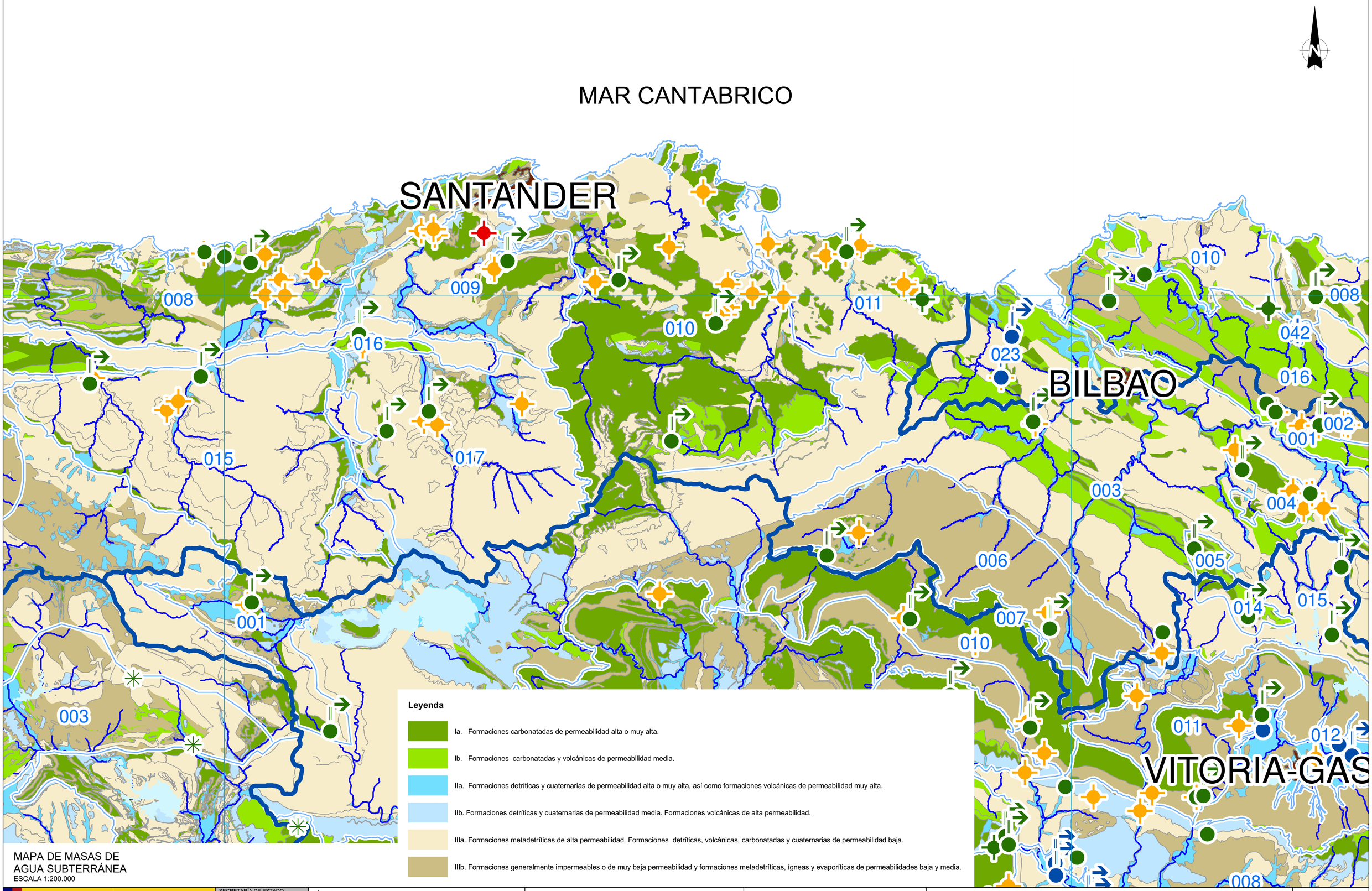
TITULO DEL PLANO:
PLANTA GEOLÓGICA

HOJA
08 DE 09

ANEXO 3

MAPA HIDROGEOLÓGICO

MAPA HIDROGEOLÓGICO DE ESPAÑA. ESCALA 1/200.000. IGME, 2009



MAPA DE MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA
ESCALA 1:200.000

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

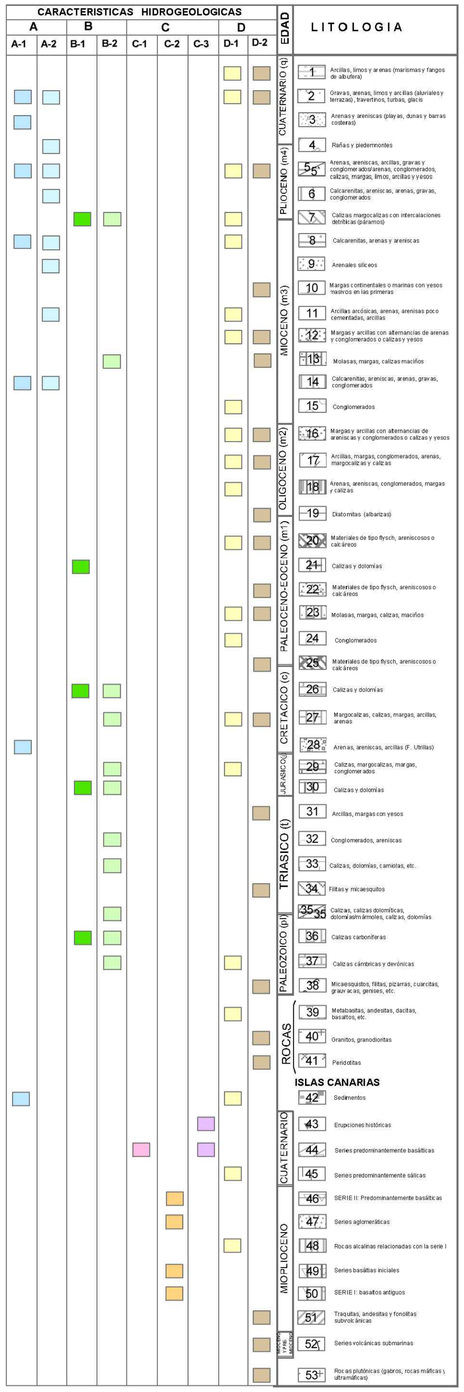
TÍTULO:
ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y VIABILIDAD DEL TRAMO BILBAO - SANTANDER DEL CORREDOR CANTÁBRICO MEDITERRÁNEO

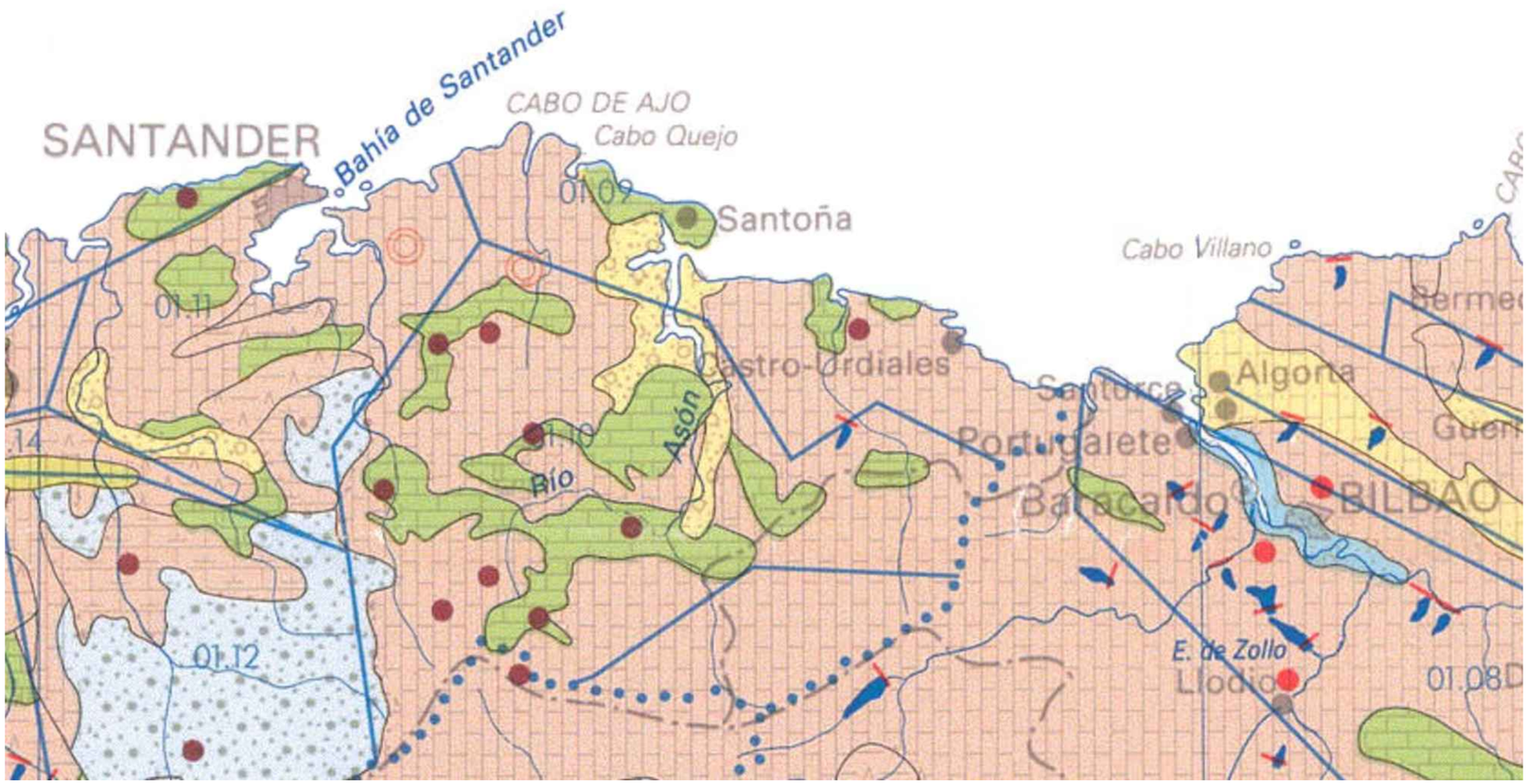
AUTORES:
wsp SENER

ESCALA ORIGINAL:
1:200.000
0 4.000 8.000m
Numérica: DIN A-1
Gráfica:

TITULO DEL PLANO:
MAPA HIDROGEOLÓGICO
MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEAS

HOJA
01 DE 02





MAPA DE UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

ESCALA 1:200.000

MAPA HIDROGEOLÓGICO DE ESPAÑA. ESCALA 1/1.00.000. IGME, 2000

A: FORMACIONES DETRITICAS PERMEABLES EN GENERAL NO CONSOLIDADAS

- A-1 Acuíferos generalmente extensos, muy permeables y productivos
- A-2 Acuíferos extensos, discontinuos y locales de permeabilidad y producción moderada. No excluyen la existencia en profundidad de otros acuíferos cautivos y más productivos

B: FORMACIONES CARBONATADAS PERMEABLES POR FISURACIÓN-KARSTIFICACIÓN

- B-1 Acuíferos muy permeables, generalmente extensos y productivos
- B-2 Acuíferos extensos, discontinuos y locales, de permeabilidad y producción moderadas. (No excluyen la existencia en profundidad de otros acuíferos cautivos y más productivos)

C: FORMACIONES PERMEABLES EN TERRENOS VOLCÁNICOS

- C-1 Acuíferos muy permeables y productivos
- C-2 Acuíferos de permeabilidad y producción moderadas
- C-3 Formaciones permeables con acuíferos colgados y/o en el contacto con otras formaciones

D: FORMACIONES DE BAJA PERMEABLILIDAD O IMPERMEABLES

- D-1 Formaciones generalmente extensas, en general de baja permeabilidad que pueden albergar en profundidad acuíferos de mayor permeabilidad y productividad, incluso de interés regional
- D-2 Formaciones generalmente impermeables o de muy baja permeabilidad, que pueden albergar a acuíferos superficiales por alteración o fisuración, en general poco extensos y de baja productividad, aunque pueden tener localmente un gran interés. Los modernos pueden recubrir en algunos casos a acuíferos cautivos productivos

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:
ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y VIABILIDAD DEL TRAMO BILBAO - SANTANDER DEL CORREDOR CANTÁBRICO MEDITERRÁNEO

AUTORES:
wsp
SENER

ESCALA ORIGINAL:
1:200.000
0 4.000 8.000m
Numérica: DIN A-1
Gráfica:

TITULO DEL PLANO:
MAPA HIDROGEOLÓGICO
UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

HOJA
02 DE 02

ANEXO 4

MAPA DE VALORACIÓN GEOTÉCNICA

HOJA Nº 34
TORRELAVEGA

LIMITE DE HOJA

HOJA Nº 35
SANTANDER

1 2 3 4 5
6 7 8 9

N

CONDICIÓN GEOTÉCNICA CONSTRUCTIVA
- ACEPTABLE
- TOLERABLE
- DESFAVORABLE

INICIO TRAZADO DE
TODAS LAS ALTERNATIVAS

ALTERNATIVA A1

ALTERNATIVAS
B1, C1

MAPA DE VALORACION GEOTECNICA
ESCALA 1:25.000

MAPA ELABORADO A PARTIR DE LA CARTOGRFIA GEOLOGICA PROCEDENTE DEL MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA, SERIE MAGNA. ESCALA 1/50.000. IGME

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

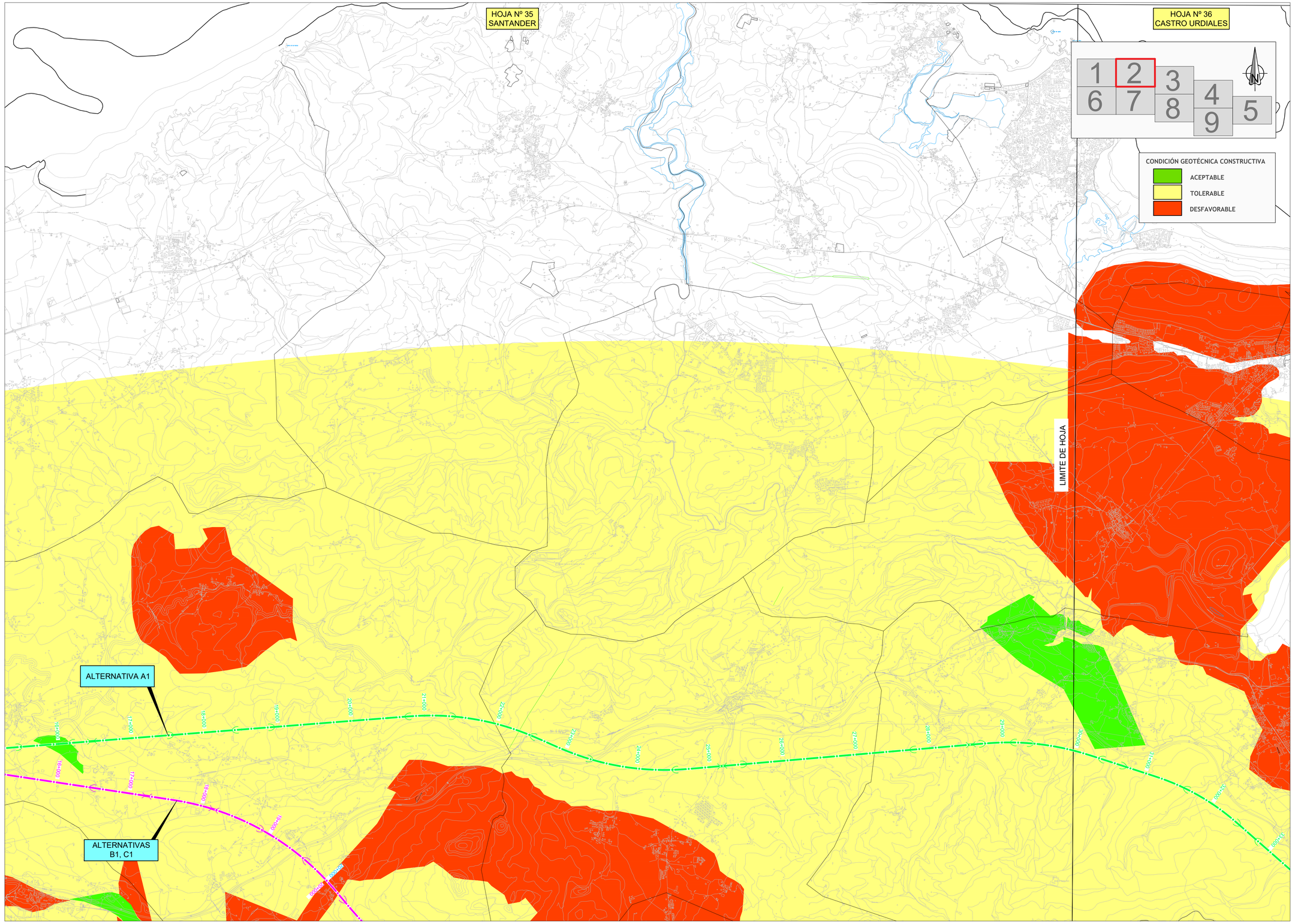
TÍTULO:
ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y VIABILIDAD DEL TRAMO BILBAO - SANTANDER DEL CORREDOR CANTÁBRICO MEDITERRÁNEO

AUTORES:
wsp
SENER

ESCALA ORIGINAL:
1:25.000
0 500 1.000m
Numérica: DIN A-1
Gráfica:

TITULO DEL PLANO:
MAPA DE VALORACION GEOTECNICA

HOJA
01 DE 09



MAPA DE VALORACION GEOTECNICA
ESCALA 1:25.000

MAPA ELABORADO A PARTIR DE LA CARTOGRFIA GEOLOGICA PROCEDENTE DEL MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA, SERIE MAGNA. ESCALA 1/50.000. IGME

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:
ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y VIABILIDAD DEL TRAMO BILBAO - SANTANDER DEL CORREDOR CANTÁBRICO MEDITERRÁNEO

AUTORES:
wsp
SENER

ESCALA ORIGINAL:
1:25.000
0 500 1.000m
Numérica: DIN A-1
Gráfica:

TITULO DEL PLANO:
MAPA DE VALORACION GEOTECNICA

HOJA
02 DE 09

HOJA Nº 36
CASTRO URDIALES

1 2 3 4 5 6 7 8 9

CONDICIÓN GEOTÉCNICA CONSTRUCTIVA
- ACEPTABLE
- TOLERABLE
- DESFAVORABLE

ALTERNATIVA A1

ALTERNATIVA A2

ALTERNATIVA B1

ALTERNATIVA C1

MAPA DE VALORACION GEOTECNICA
ESCALA 1:25.000

MAPA ELABORADO A PARTIR DE LA CARTOGRFIA GEOLOGICA PROCEDENTE DEL MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA, SERIE MAGNA. ESCALA 1/50.000. IGME

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:
ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y VIABILIDAD DEL TRAMO BILBAO - SANTANDER DEL CORREDOR CANTÁBRICO MEDITERRÁNEO

AUTORES:
wsp SENER

ESCALA ORIGINAL:
1:25.000
0 500 1.000m
Numérica: DIN A-1
Gráfica:

TITULO DEL PLANO:
MAPA DE VALORACION GEOTECNICA

HOJA
03 DE 09

HOJA Nº 36
CASTRO URDIALES

HOJA Nº 37
ALGORTA

ALTERNATIVA A1

ALTERNATIVAS
A2, B1, C1

LIMITE DE HOJA

LIMITE DE HOJA

LIMITE DE HOJA

LIMITE DE HOJA

HOJA Nº 60
VALMASEDA

HOJA Nº 61
BILBAO

1 2 3 4 5 6 7 8 9

N

CONDICIÓN GEOTÉCNICA CONSTRUCTIVA

- ACEPTABLE
- TOLERABLE
- DESFAVORABLE

MAPA DE VALORACION GEOTECNICA
ESCALA 1:25.000

MAPA ELABORADO A PARTIR DE LA CARTOGRFIA GEOLOGICA PROCEDENTE DEL MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA, SERIE MAGNA. ESCALA 1/50.000. IGME

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

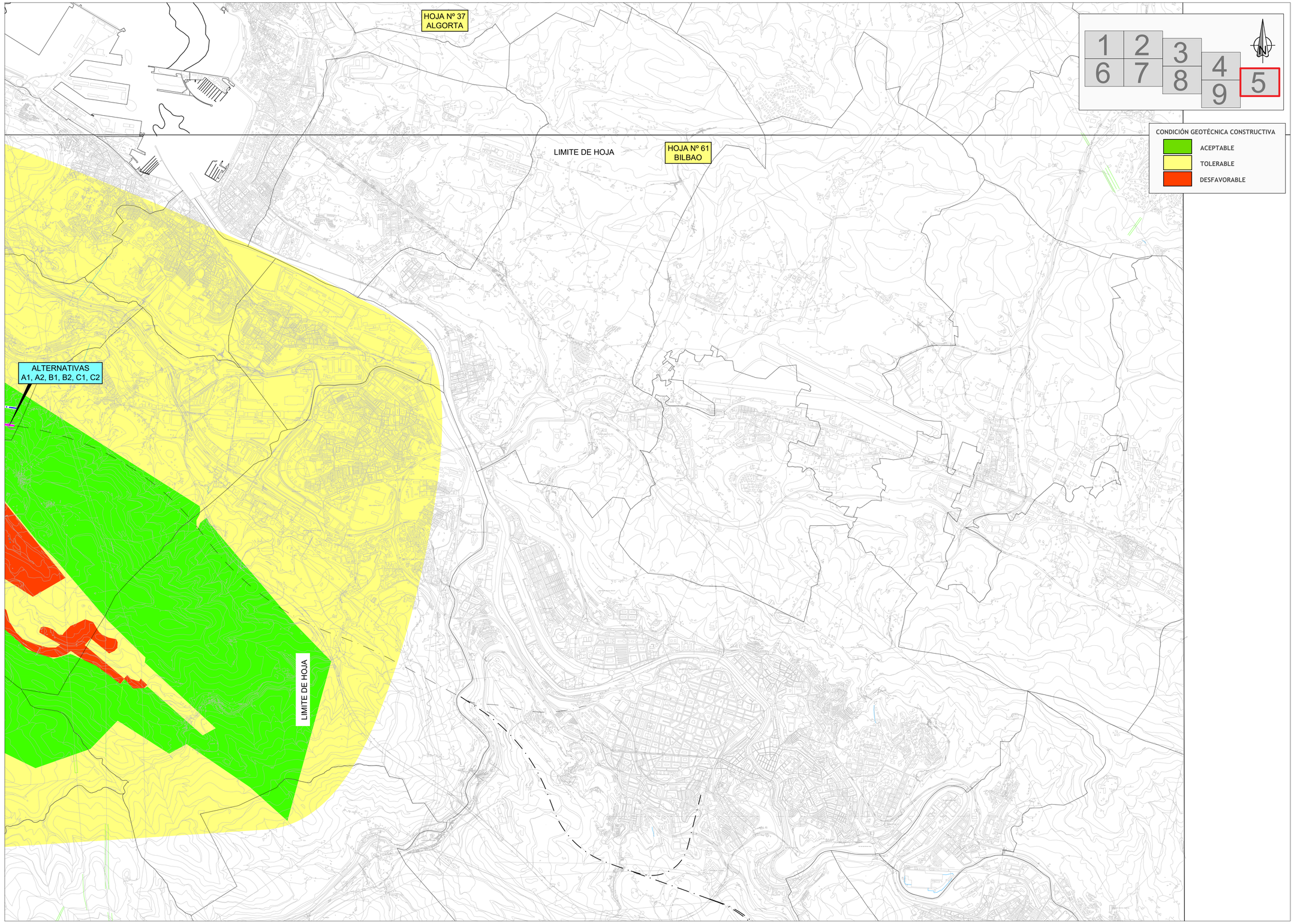
TÍTULO:
ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y VIABILIDAD DEL TRAMO BILBAO - SANTANDER DEL CORREDOR CANTÁBRICO MEDITERRÁNEO

AUTORES:
wsp SENER

ESCALA ORIGINAL:
1:25.000
0 500 1.000m
Numérica: DIN A-1
Gráfica:

TITULO DEL PLANO:
MAPA DE VALORACION GEOTECNICA

HOJA
04 DE 09



MAPA DE VALORACION GEOTECNICA
ESCALA 1:25.000

MAPA ELABORADO A PARTIR DE LA CARTOGRFIA GEOLOGICA PROCEDENTE DEL MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA, SERIE MAGNA. ESCALA 1/50.000. IGME

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

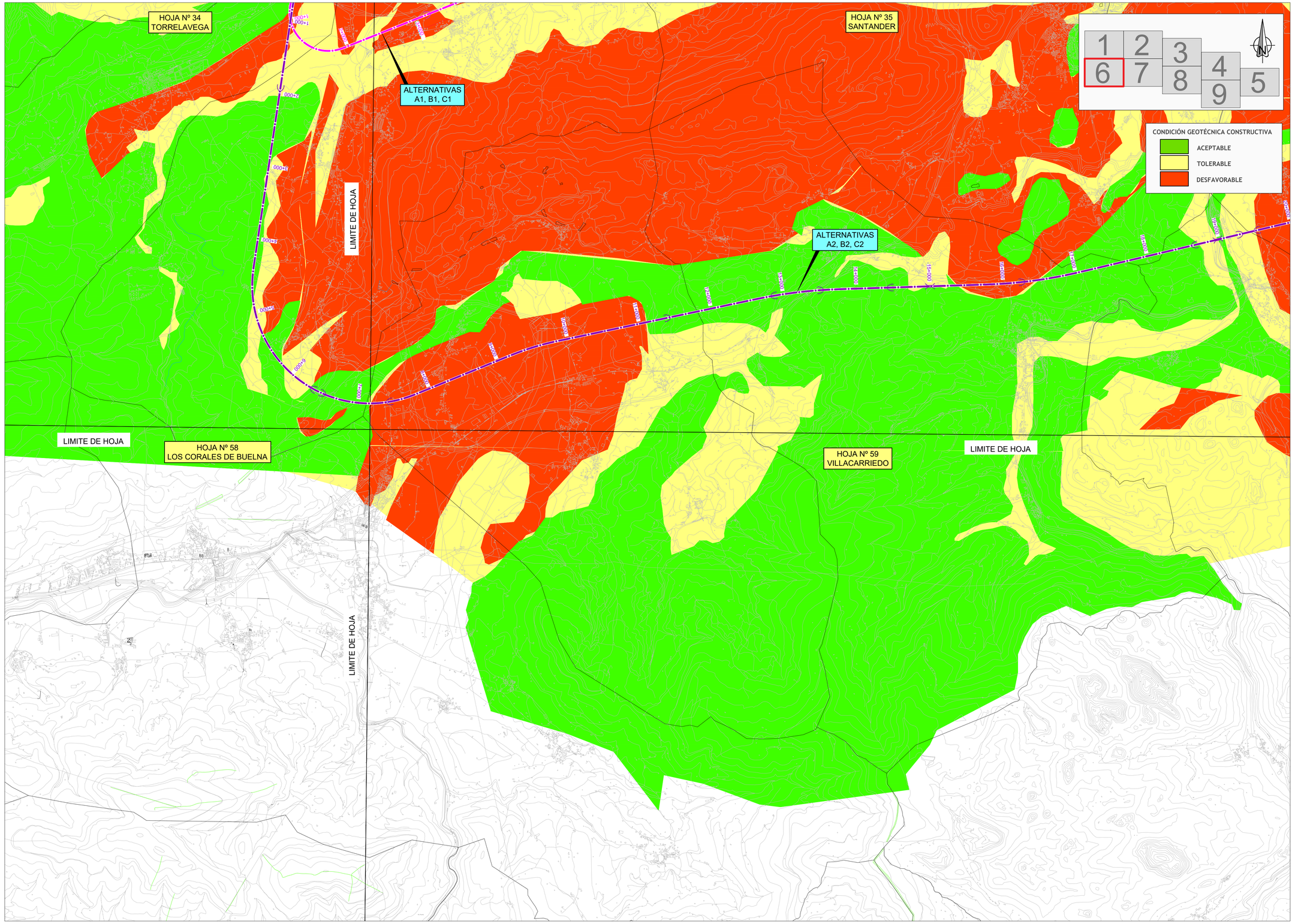
TÍTULO:
ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y VIABILIDAD DEL TRAMO BILBAO - SANTANDER DEL CORREDOR CANTÁBRICO MEDITERRÁNEO

AUTORES:
wsp
SENER

ESCALA ORIGINAL:
1:25.000
0 500 1.000m
Numérica: DIN A-1
Gráfica:

TITULO DEL PLANO:
MAPA DE VALORACION GEOTECNICA

HOJA
05 DE 09



MAPA DE VALORACION GEOTECNICA
ESCALA 1:25.000

MAPA ELABORADO A PARTIR DE LA CARTOGRFIA GEOLOGICA PROCEDENTE DEL MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA, SERIE MAGNA. ESCALA 1/50.000. IGME

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:
ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y VIABILIDAD DEL TRAMO BILBAO - SANTANDER DEL CORREDOR CANTÁBRICO MEDITERRÁNEO

AUTORES:
wsp
SENER

ESCALA ORIGINAL:
1:25.000
0 500 1.000m
Numérica: DIN A-1
Gráfica:

TITULO DEL PLANO:
MAPA DE VALORACION GEOTECNICA

HOJA
06 DE 09

HOJA Nº 35
SANTANDER

HOJA Nº 36
CASTRO URDIALES

ALTERNATIVAS
B1, C1

ALTERNATIVA A2

ALTERNATIVAS
B2, C2

LIMITE DE HOJA

HOJA Nº 59
VILLACARRIEDO

LIMITE DE HOJA

LIMITE DE HOJA

HOJA Nº 60
VALMASEDA

LIMITE DE HOJA

1 2 3 4 5
6 7 8 9

N

CONDICIÓN GEOTÉCNICA CONSTRUCTIVA

- ACEPTABLE
- TOLERABLE
- DESFAVORABLE

MAPA DE VALORACION GEOTECNICA
ESCALA 1:25.000

MAPA ELABORADO A PARTIR DE LA CARTOGRFIA GEOLOGICA PROCEDENTE DEL MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA, SERIE MAGNA. ESCALA 1/50.000. IGME

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

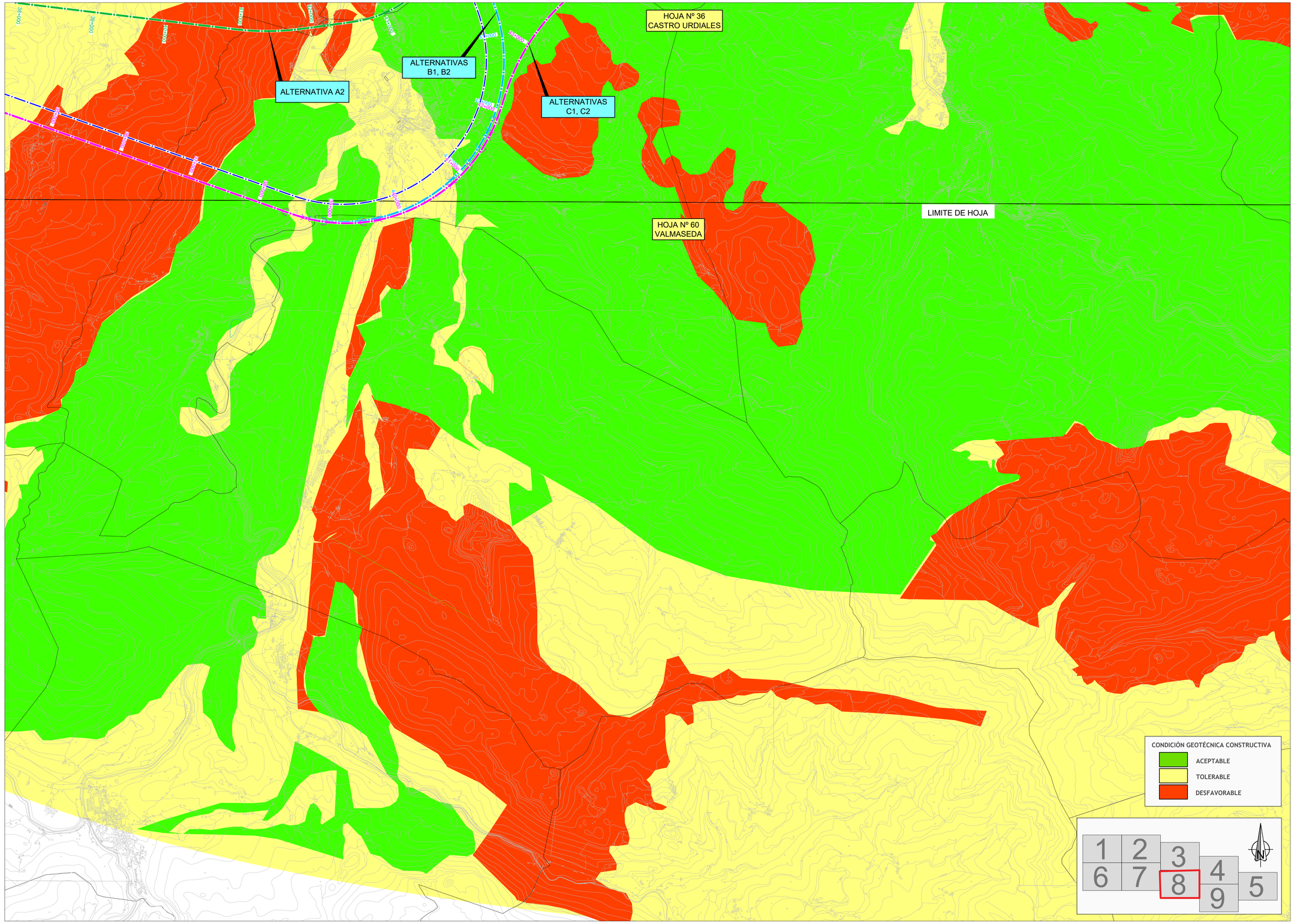
TÍTULO:
ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y VIABILIDAD DEL TRAMO BILBAO - SANTANDER DEL CORREDOR CANTÁBRICO MEDITERRÁNEO

AUTORES:
wsp
SENER

ESCALA ORIGINAL:
1:25.000
0 500 1.000m
Numérica: DIN A-1
Gráfica:

TITULO DEL PLANO:
MAPA DE VALORACION GEOTECNICA

HOJA
07 DE 09



MAPA DE VALORACION GEOTECNICA
ESCALA 1:25.000

MAPA ELABORADO A PARTIR DE LA CARTOGRFIA GEOLOGICA PROCEDENTE DEL MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA, SERIE MAGNA. ESCALA 1/50.000. IGME

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

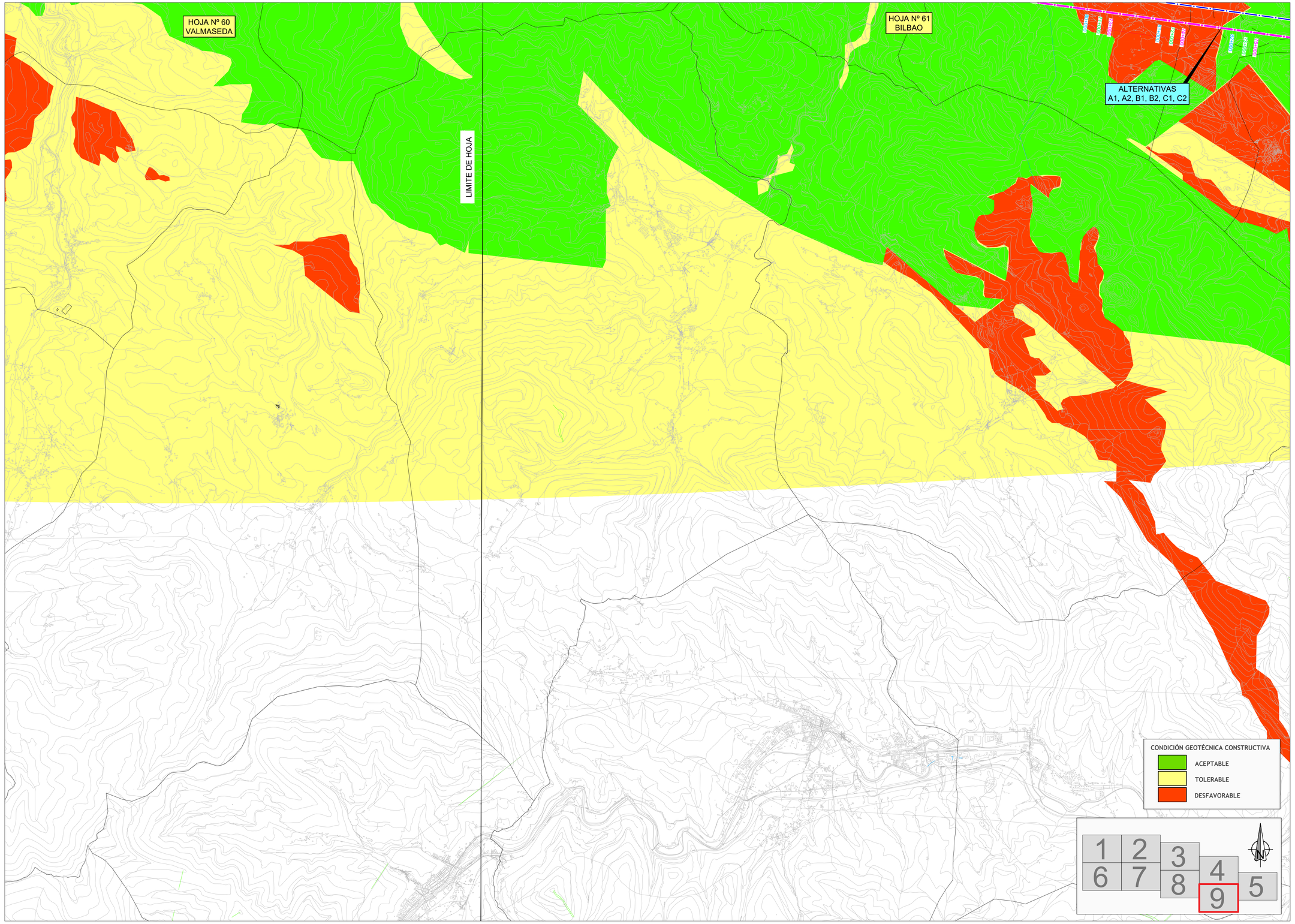
TÍTULO:
ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y VIABILIDAD DEL TRAMO BILBAO - SANTANDER DEL CORREDOR CANTÁBRICO MEDITERRÁNEO

AUTORES:
wsp
SENER

ESCALA ORIGINAL:
1:25.000
0 500 1.000m
Numérica: DIN A-1
Gráfica:

TITULO DEL PLANO:
MAPA DE VALORACION GEOTECNICA

HOJA
08 DE 09



MAPA DE VALORACION GEOTECNICA
ESCALA 1:25.000

MAPA ELABORADO A PARTIR DE LA CARTOGRFIA GEOLOGICA PROCEDENTE DEL MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA, SERIE MAGNA. ESCALA 1/50.000. IGME

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:
ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y VIABILIDAD DEL TRAMO BILBAO - SANTANDER DEL CORREDOR CANTÁBRICO MEDITERRÁNEO

AUTORES:
wsp
SENER

ESCALA ORIGINAL:
1:25.000
0 500 1.000m
Numérica: DIN A-1
Gráfica:

TITULO DEL PLANO:
MAPA DE VALORACION GEOTECNICA

HOJA
08 DE 09