

PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA VARIANTE DE LESAKA EN LA CARRETERA NA-4000

Proyecto de Trazado

Abril 2026

ANEJO Nº2: GEOLOGÍA Y GEOTECNIA



Gobierno de Navarra
Nafarroako Gobernua



ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN.....	9	3.4.2.- Estructuras generadas por la intrusión granítica	20
1.1.- INFORMACIÓN CONSULTADA	9	3.4.3.- Cronología de la deformación	21
1.2.- NORMATIVA	9	3.5.- SISMICA	22
2.- TRABAJOS REALIZADOS	10	3.5.1.- Cálculo de acciones sísmicas	22
2.1.- VISITA DE CAMPO	10	3.6.- RIESGOS GEOLÓGICOS	23
2.2.- CAMPAÑA DE INVESTIGACIÓN.....	10	4.- CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA.....	24
2.2.1.- Sondeos.....	11	4.1.- METODOLOGIA DE OBTENCION DE PARÁMETROS	24
2.2.2.- Penetrómetros	11	4.1.1.- Descripción geotécnica de las unidades	24
2.2.3.- Geofísica.....	11	4.1.2.- Estimación de los parámetros del macizo rocoso	24
2.2.4.- Ensayos de laboratorio.....	11	4.1.3.- Módulo de deformación del macizo a partir de los parámetros de la roca intacta	24
3.- GEOLÓGIA DE LA ZONA	12	4.1.4.- Ensayos presiométricos.....	25
3.1.- ESTRATIGRAFÍA Y LITOLOGÍA.....	13	4.1.5.- Análisis químico.....	26
3.1.1.- Carbonífero.....	13	4.1.6.- Estimación del K30.....	26
3.1.1.1.- Esquisto, grauvacas y pizarras (CPE)	13	4.2.- CARACTERIZACIÓN DE LAS UNIDADES.....	27
3.1.1.2.- Caliza (Cc)	14	4.2.1.- UG-Cc alt	27
3.1.2.- Cuaternario	14	4.2.1.1.- Identificación y estado	28
3.1.2.1.- Depósitos aluviales (QAL).....	14	4.2.1.2.- Parámetros resistentes.....	28
3.1.2.2.- Deposito coluvial (Qc).....	14	4.2.1.3.- Permeabilidad	29
3.1.2.3.- Depósitos de fondo de valle (QFV).....	15	4.2.1.4.- Aprovechamiento	29
3.1.2.4.- Rellenos antrópicos (QRA y QRC).....	15	4.2.1.5.- Parámetros resumen	29
3.2.- GEOMORFOLOGÍA	16	4.2.2.- UG-Cc sana	30
3.2.1.- Modelado	16	4.2.2.1.- Identificación y estado	31
3.2.2.- Procesos erosivos actuales.....	17	4.2.2.2.- Parámetros resistentes.....	31
3.3.- HIDROGEOLOGÍA	17	4.2.2.3.- Parámetros deformacionales.....	32
3.3.1.- Descripción hidrogeológica	18	4.2.2.4.- Permeabilidad	33
3.3.1.1.- Acuíferos aislados del Paleozoico (Devónico y Carbonífero)	18	4.2.2.5.- Aprovechamiento	33
3.3.1.2.- Cuaternario	18	4.2.2.6.- Parámetros resumen	33
3.3.2.- Funcionamiento hidrogeológico	18	4.2.3.- UG-Qc.....	34
3.4.- TECTÓNICA	19	4.2.3.1.- Identificación y estado	34
3.4.1.- Estructuras del basamento	20	4.2.3.2.- Parámetros resistentes.....	35
		4.2.3.3.- Parámetros deformacionales.....	36

4.2.3.4.- Parámetros químicos	36
4.2.3.5.- Aprovechamiento	36
4.2.3.6.- Parámetros resumen.....	36
4.2.4.- Resumen de parámetros.....	37
5.- OBRAS DE TIERRAS	38
5.1.- METODOLOGÍA DE CÁLCULO	38
5.1.1.- Análisis de estabilidad.....	38
5.1.1.1.- Rotura global de los taludes.....	38
5.1.2.- Criterios de excavabilidad	38
5.1.3.- Modelo constitutivo	39
5.1.3.1.- Taludes en suelo.....	39
5.1.3.2.- Taludes en roca	40
5.1.4.- Materiales de nueva construcción	41
5.2.- DESMONTES	42
5.2.1.- Aspectos generales a tener en cuenta para la estabilidad de taludes	42
5.2.2.- Estudio de cada desmonte	43
5.2.2.1.- D1.....	43
5.2.2.2.- D2.....	47
5.2.2.3.- D3.....	49
5.2.2.4.- D4.....	50
5.2.2.5.- D5.....	54
5.2.2.6.- Resumen de desmontes	55
5.3.- RELLENOS	56
5.3.1.- Análisis de rellenos	57
5.3.1.1.- T-PI.....	57
6.- GEOTÉCNIA DE LAS ESTRUCTURAS	59
6.1.- METODOLOGÍA DE ANÁLISIS	59
6.1.1.- Cimentaciones directas.....	59
6.1.1.1.- Capacidad portante en suelos	59
6.1.1.2.- Capacidad portante en roca.....	60
6.1.1.3.- Coeficiente de balasto.....	61

6.1.1.4.- Asientos en cimentaciones directas.....	63
6.1.1.5.- Coeficiente de rozamiento hormigón-terreno.....	64
6.2.- CIMENTACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS	64
6.2.1.- Viaducto	64
6.2.1.1.- Descripción general.....	64
6.2.2.- Muro PK 0+130-0+220.....	65
6.2.3.- Muro PK 1+260 y 1+320	66
6.2.4.- Muros para estribos del viaducto. PK 1+600 y 1+660	67
6.2.5.- Muro de escollera paso peatonal	68
7.- MOVIMIENTO DE TIERRAS	69
7.1.- INTRODUCCIÓN	69
7.2.- MEDICIONES.....	69
7.3.- APROVECHAMIENTO DE LOS MATERIALES	69
7.4.- COEFICIENTES DE PASO	70
7.5.- TIERRA VEGETAL.....	70
7.6.- EXCAVACIONES.....	70
7.7.- RELLENOS	70
7.8.- BALANCE DE TIERRAS.....	70
7.9.- CANTERAS Y VERTEDEROS	71
8.- CONCLUSIONES	72
8.1.- CAMPAÑA DE RECONOCIMIENTOS.....	72
8.2.- OBRAS DE TIERRA.....	73
8.2.1.- Desmontes	73
8.2.2.- Rellenos	73
8.3.- CIMENTACIÓN DE ESTRUCTURAS	73
8.4.- MOVIMIENTO DE TIERRAS	74

TABLAS

Tabla 1. Recopilación de puntos de observación.	10
Tabla 2. Recopilación de fichas de talud.....	10

Tabla 3. Recopilación de estaciones geomecánicas.....	10
Tabla 4. Recopilación de puntos de agua.	10
Tabla 5. Sondeos realizados durante la campaña geotécnica.....	11
Tabla 6. Penetrómetro realizado durante la campaña geotécnica y profundidad de rechazo.	11
Tabla 7. Perfiles de sísmica de refracción.....	11
Tabla 8. Resumen de ensayos de laboratorio.....	11
Tabla 9. Tabla 27 1.b del Código Estructural. Clasificación de la agresividad química.....	26
Tabla 10. Resumen de ensayos de laboratorio para la unidad UG-Cc alt.....	27
Tabla 11. Parámetros resumen en sondeo para la unidad UG-Cc-alt.....	28
Tabla 12. Ensayos de laboratorio realizado en materiales de relleno.....	28
Tabla 13. Ensayos de permeabilidad realizados.....	29
Tabla 14. Parámetros resumen de la unidad Cc alt.....	29
Tabla 15. Resumen de ensayos de laboratorio para la unidad UG-Cc sana.....	31
Tabla 16. Parámetros resumen en sondeo para la unidad UG-Cc sana.....	31
Tabla 17. Estimación del valor Ep según ensayo presiométrico.....	32
Tabla 18. Módulo de elasticidad obtenido a partir del módulo presiométrico. UG-Cc.....	32
Tabla 19. Ensayos de permeabilidad en UG-Cc sana.....	33
Tabla 20. Parámetros resumen de la unidad Cc sana.....	33
Tabla 21. Resumen de ensayos de laboratorio en la unidad UG-Qc.....	34
Tabla 22. Parámetros resumen de la unidad UG-Qc.....	36
Tabla 23. Resumen de parámetros del terreno.....	37
Tabla 24. Propiedades propuestas para los rellenos.....	41
Tabla 25. Resumen de los desmontes analizados.....	56
Tabla 26. Resumen de los terraplenes propuesto.....	56
Tabla 27. Tabla A.5 (UNE-EN 1997-1). Coeficientes parciales γ_R aplicables a las resistencias, en el cálculo de cimentaciones directas (Conjunto R2).....	59
Tabla 28. Valores de k_0 según la relación (n) de las dimensiones de la cimentación L/B.....	62
Tabla 29. Perfil tipo y propiedades de los materiales para el viaducto.....	65
Tabla 30. Perfil tipo y propiedades de los materiales para el muro PK 1+260 - 1+320.....	66
Tabla 31. Perfil tipo y propiedades de los materiales para los muros PK 1+600 - 1+660.....	67
Tabla 32. Volúmenes obtenidos mediante el programa ISTRAM.....	69

Tabla 33. Resumen de los materiales a excavar.....	70
Tabla 34. Resumen del volumen de necesidades.....	70
Tabla 35. Resumen de los volúmenes de excavaciones. Siendo CP el coeficiente de paso y CE el coeficiente de esponjamiento a vertedero.....	70
Tabla 36. Volumen de material a vertedero.....	71
Tabla 37. Resumen de necesidades y procedencias.....	71
Tabla 38. Listados de vertederos propuestos.....	71
Tabla 39. Listados de canteras propuestos.....	71
Tabla 40. Resumen de parámetros del terreno.....	73
Tabla 41. Resumen de propiedad del macizo rocoso.....	73
Tabla 42. Resumen de desmontes del trazado.....	73
Tabla 43. Resumen de rellenos del trazado.....	73
Tabla 44. Resumen de los volúmenes de relleno.....	74
Tabla 45. Volumen de material a vertedero.....	74

FIGURAS

Figura 1. Cartografía geológica 1:50.000. Hoja nº65. Vera de Bidasoa.....	12
Figura 2. Leyenda. Cartografía geológica. Hoja nº65. Vera de Bidasoa.....	12
Figura 3. Perfil geológico esquemático cercano a la zona de estudio.....	13
Figura 4. Esquema tectónico de la cadena pirenaica.....	19
Figura 5. Esquema tectónico de la región de estudio. Cartografía MAGNA. 1:50.000. Hoja nº65. Vera de Bidasoa.....	21
Figura 6. Estimación del valor α según ensayo presiométrico para suelos o rocas alteradas o fracturadas.....	25
Figura 7. Valores de cu en función de NSPT, según Terzaghi y Peck (1948) solo para arcillas saturadas.....	25
Figura 8. Valores de K30 propuestos por Terzaghi para diferentes materiales.....	26
Figura 9. Valores de K30 propuestos por diversos autores para suelos y rocas.....	26
Figura 10. Resistencia a la compresión simple. UG-Cc alt.....	28
Figura 11. Ajuste resistencia para la roca alterada. UG-Cc alt.....	29
Figura 12. Resistencia a la compresión simple. UG-Cc sana.....	32

Figura 13. Ajuste resistencia para la roca alterada. UG-Cc.....	32	Figura 43. Ubicación D3 y prospecciones disponibles.....	49
Figura 14. Distribución granulométrica media. UG-Qc.	35	Figura 44. Sección PK 1+460. Situación sin sismo. F.S. 1.509.....	49
Figura 15. Clasificación USCS. UG-Qc.....	35	Figura 45. Sección PK 1+460. Situación con sismo. F.S. 1.297.....	50
Figura 16. Plasticidad de la unidad Qc	35	Figura 46. Perfil sísmico de refracción. TMS-3.	50
Figura 17. Golpeos Nspt frente a profundidad.	36	Figura 47. Ubicación D4 y prospecciones disponibles.....	51
Figura 18. Tabla de ripabilidad basada en la máquina D-10R de Caterpillar. (Geotechnical Engineering Techniques and Practices, Hunt, Roy E, McGraw-Hill Book Company, 1986).	38	Figura 48. Sección PK 1+700. Situación persistente. F.S. 2,041.	51
Figura 19. Límites de ripabilidad de las Calizas.....	39	Figura 49. Sección PK 1+700. Situación persistente. F.S. 2.248.	51
Figura 20. Esquema de fuerzas resultantes que actúan sobre una masa deslizante.	39	Figura 50. Estación geomecánica EG2. D4.	52
Figura 21. Sistema de fuerzas actuantes.....	40	Figura 51. Análisis de formación de cuñas. D4.....	52
Figura 22. Descomposición en dovelas de un talud.	40	Figura 52. Análisis de deslizamientos planares. D4.	52
Figura 23. Principales mecanismos de rotura por fallo estructural.	41	Figura 53. Análisis de rotura por vuelco. D4.	52
Figura 24. Estimación de parámetros resistentes en materiales de tipo terraplén compactado ..	41	Figura 54. Análisis de cuñas. D4.....	53
Figura 25. Parámetros de materiales compactados ROM 0.5-05.....	42	Figura 55. Análisis de cuñas. D4. Sostenimiento.....	53
Figura 26. Ubicación D1 y prospecciones disponibles.	43	Figura 56. Perfil sísmico de refracción. TMS-4.	54
Figura 27. Sección PK 1+040. Situación sin sismo. F.S. 1.789.....	44	Figura 57. Ubicación D5 y prospecciones disponibles.....	54
Figura 28. Sección PK 1+040. Situación con sismo. F.S. 1.543.	44	Figura 58. Desmontes existentes en el camino asfaltado.....	54
Figura 29. Medidas obtenidas en la EG-1.....	44	Figura 59. Paso peatonal sección PK 0+080 Situación con sismo. F.S. 4,745.	55
Figura 30. Análisis de formación de cuñas. D1.....	44	Figura 60. Paso peatonal sección PK 0+080 Situación sin sismo. F.S. 5,517.	55
Figura 31. Análisis de rotura planar. D1.....	45	Figura 61. Ubicación T-PI.....	57
Figura 32. Análisis de rotura por vuelco. D1.	45	Figura 62. Perfil longitudinal. T-PI. PK 1+660.	57
Figura 33. Análisis de cuñas. D1.....	45	Figura 63. Cálculo de estabilidad Relleno en paso peatonal en situación sin sismo. FS= 1.521. 58	
Figura 34. Análisis de cuñas con sostenimiento. D1.	45	Figura 64. Cálculo de estabilidad Relleno en paso peatonal en situación con sismo. FS= 1.309.	58
Figura 35. Perfil sísmico de refracción. PMS-1a.....	46	Figura 65. Valores recomendados según el tipo de roca.....	60
Figura 36. Perfil sísmico de refracción. PMS-1b.....	46	Figura 66. Estimación de la tensión admisible en rocas de tipo 3 (sedimentarias y metamórficas)	61
Figura 37. Ubicación D2 y prospecciones disponibles.	47	Figura 67. Estimación de la tensión admisible en roca para materiales de tipo 4 (margas o rocas poco soldadas).	61
Figura 38. Análisis de formación de cuñas. D2.....	47	Figura 68. Cálculo de asentamientos en cimentaciones superficiales rígidas. V=Componente vertical de las acciones. E, v, Parámetros elásticos del terreno de cimiento.	63
Figura 39. Análisis de deslizamientos planares. D2.	47	Figura 69. Cálculo de asentamientos en cimentaciones superficiales flexibles. P=Tensión de trabajo de la cimentación flexible. E, =Parámetros elásticos del terreno de cimiento.	63
Figura 40. Análisis de rotura por vuelco. D2.	48		
Figura 41. Análisis de cuñas con sostenimiento. D2.	48		
Figura 42. Perfil sísmico de refracción. TMS-2.	49		

Figura 70. Estimación de valores genéricos de rozamiento terreno-hormigón..... 64

Figura 71. Sección transversal. PK 0+260. 65

Figura 72. Ubicación en planta del muro entre PK 1+260 y 1+320..... 66

Figura 73. Ubicación en planta del muro de escollera. 68

FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Aspecto de la ladera en la que se emplaza el trazado. PK 0+600. 9

Fotografía 2. Afloramiento de pizarras-esquistosas C_{PE} identificadas en el PO-10..... 14

Fotografía 3. Afloramiento de calizas C_c con vetas de calcita y mineralizaciones de pirita en la zona de estudio..... 14

Fotografía 4. Suelo vegetal en transición a suelo eluvial identificado en PO-8. 15

Fotografía 5. Explanada de asfalto y hormigón con varios acopios de restos de la construcción identificado en PO-11. Final del tramo. 15

Fotografía 6. Vista aérea de la ladera norte de Lesaka. 16

Fotografía 7. Mapa de las masas subterráneas en Navarra. fuente: cartografía de la O.P.H de la Confederación Hidrográfica del Ebro y del Cantábrico. 18

Fotografía 8. Mapa de peligrosidad sísmica de España 2015 (en valores de aceleración)..... 22

Fotografía 9. Valor de peligrosidad sísmica en el municipio de Lesaka. 22

Fotografía 10. Caliza alterada con fracturas llenas de material blando. Sondeo S-2 de 7,00 a 10,10 m. 27

Fotografía 11. Caliza sana con alguna fracturas. Sonde S-4 de 17,00 a 20,00 m. 30

Fotografía 12. Depósitos coluviales. Sondeo S-2 de 0,00 a 3,70 m. 34

Fotografía 13. Vista del talud cercano en PK 0+940 en la unidad C_c..... 42

Fotografía 14. Vista del talud cercano en PK 0+420 en la unidad C_c..... 43

Fotografía 15. Ubicación en planta del viaducto entre PK 1+621 y 1+650. 65

Fotografía 16. Ubicación en planta del muro entre PK 1+600 y 1+660. 67

APÉNDICES

- APÉNDICE N°1: PLANTA GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA
- APÉNDICE N°2: PERFIL GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO
- APÉNDICE N°3: PERFILES TRANSVERSALES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS

- APÉNDICE N°4: REGISTRO DE SONDEOS
- APÉNDICE N°5: REGISTRO DE PENETRÓMETROS
- APÉNDICE N°6: INFORME DE GEOFÍSICA
- APÉNDICE N°7: ENSAYOS PRESIOMÉTRICOS
- APÉNDICE N°8: ENSAYOS DE PERMEABILIDAD
- APÉNDICE N°9: ESTACIONES GEOMECÁNICAS
- APÉNDICE N°10: FICHAS DE TALUDES
- APÉNDICE N°11: PUNTOS DE AGUA
- APÉNDICE N°12: PUNTOS DE OBSERVACIÓN GEOLÓGICA
- APÉNDICE N°13: ENSAYOS DE LABORATORIO

5404027-L1-DD-204_02

1.- INTRODUCCIÓN

A lo largo de este anejo se desarrolla el estudio de las características geológicas y geotécnicas de los materiales que afloran en la Variante de Lesaka en la carretera NA-4000 para definir los aspectos geotécnicos de los que depende el diseño del proyecto.

Después de consultar la información existente de índole geológico-geotécnica de la zona, se lista la normativa seguida para la redacción de este documento.

A continuación, se mencionan los trabajos realizados y se realiza un encuadre geológico general que comprende los siguientes aspectos: geología, estratigrafía, tectónica, geomorfología, hidrogeología y riesgos geológicos.



Fotografía 1. Aspecto de la ladera en la que se emplaza el trazado. PK 0+600.

Una vez definidos los aspectos geológicos y los reconocimientos realizados se pasan a definir las características geotécnicas de los materiales, base para el diseño posterior. Se definen por último los aspectos de las obras de tierra y se apuntan las cimentaciones óptimas para las estructuras planteadas en el proyecto.

En general, el proyecto se caracteriza por transcurrir a media ladera y generar varios desmontes de alturas considerables.

1.1.- INFORMACIÓN CONSULTADA

A continuación, se citan las principales fuentes de información que se han consultado para la elaboración de este documento.

- Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 (Hoja N° 65, Vera de Bidasoa).
- Cartografía Geológica de Navarra a escala 1:25.000 (Hoja N° 65-III, Lesaka).
- Mapa Geológico de España a escala 1:200.000 (Hoja N° 13, Pamplona).
- Mapa Geotécnico a escala 1:200.000 (Hoja N° 13, Pamplona).

1.2.- NORMATIVA

- Eurocódigo 8. 2016. Anejo nacional UNE-EN 1998.
- PG-3 “Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes”.
- Guía para el diseño de cimentaciones en obras de carreteras.
- Eurocódigo 7 (UNE-EN 1997-1): Proyecto geotécnico. Parte 1. Reglas generales.
- Eurocódigo 8 (UNE-EN 1998-2): Proyecto de Estructuras sismorresistentes. Parte 1: Reglas generales, acciones sísmicas y reglas para edificación, julio 2018, versión corregida febrero 2022.
- Eurocódigo 8 (UNE-EN 1998-5): Proyecto de Estructuras sismorresistentes. Parte 5: Cimentaciones, estructuras de contención y aspectos geotécnicos, julio 2018.

2.- TRABAJOS REALIZADOS

El entorno en el que se desarrolla el proyecto está caracterizado por ser una ladera de fuerte pendiente con vegetación abundante lo que ha condicionado la ejecución de los trabajos. En varios de los puntos planteados no fue posible la realización de trabajos geotécnicos lo cual ha condicionado el diseño y se ha tratado de ser conservador a la hora de llevar a cabo el análisis.

A continuación, se presentan los trabajos realizados en la zona de investigación.

2.1.- VISITA DE CAMPO

Se llevó a cabo una visita de campo en la cual se elaboró una cartografía geológica, confeccionando 4 fichas de talud, 4 puntos de agua, 12 puntos de observación y 2 estaciones geomecánicas que se han incluido en las plantas y al final del documento en formato apéndices.

A continuación, se resumen los inventarios realizados.

DENOMINACIÓN PUNTO DE OBSERVACIÓN GEOLÓGICO	P.K.	LITOLOGÍA	GRADO METEORIZACIÓN
PO.1	0+300	Calizas cristalinas marmóreas grises	I-II
PO.2	0+420	Calizas cristalinas marmóreas grises	I-II
PO.3	0+470	Calizas duras	I
PO.4	0+470	Calizas	I
PO.5	1+300	Suelo eluvial	-
PO.6	1+680	Pizarras-esquistos	III
PO.7	1+620	Calizas marmóreas	II-III
PO.8	1+600	Suelo vegetal a eluvial	-
PO.9	1+680	Calizas	
PO.10	1+690	Pizarras y esquistos	III
PO.11	1+960	Explanada de asfalto y hormigón	-
PO.14	0+099	Depósito eluvial	-

Tabla 1. Recopilación de puntos de observación.

FICHA DE TALUD N°	P.K.	Descripción	ALTURA (m)	LONGITUD (m)
FT-1	0+420	Calizas marmóreas grises duras a muy duras con venas de calcita replegadas.	10	80
FT-2	0+940	Calizas marmóreas grises duras a muy duras con venas de calcita replegadas.	9	100
FT-3	0+980	Transición de calizas GM III a suelos eluviales y cobertera vegetal.	3	10
FT-4	1+100	Eluvial de la unidad Cc. Arcillas limosas de color marrón con bastantes cantos centimétricos de caliza.	6	15

Tabla 2. Recopilación de fichas de talud.

ESTACIÓN N°	P.K.	LITOLOGÍA	RMR (sin correg.)
EG-1	0+540	Caliza marmórea dura a muy dura de tonos grises en corte fresco y grado de alteración I-II. Se presentan venas de calcita plegadas y falladas.	76
EG-2	0+960	Caliza marmórea dura a muy dura de tonos grises azulados en corte fresco y grado de alteración I-II. Se presentan venas de calcita plegadas y falladas.	74

Tabla 3. Recopilación de estaciones geomecánicas.

DENOMINACIÓN PUNTO DE AGUA	PK	CARACTERÍSTICAS
PA-1	0+360	Fuente artificial con surtidor no natural
PA-2	0+480	Fuente en la que fluye continua el agua que corre por el valle.
PA-3	0+990	Drenaje de muro. Rezume que lo mantiene húmedo.
PA-4	1+000	Arroyo canalizado en el fondo del valle.

Tabla 4. Recopilación de puntos de agua.

2.2.- CAMPAÑA DE INVESTIGACIÓN

Entre los días 25 de agosto al 17 de septiembre de 2025 se llevaron a cabo los trabajos geotécnicos dentro del ámbito de estudio de la Variante de Lesaka en la carretera NA-4000.

La campaña se ha centrado en investigar la zona a partir del PK 0+800, en donde se empiezan a desarrollar los desmontes que caracterizan geotécnicamente este proyecto.

Los trabajos de campo realizados se han dividido en función de su tipología en los siguientes tipos:

- Sondeos
- Penetrómetros
- Geofísica

Durante la realización de la campaña de campo, se han llevado a cabo sondeos y penetrómetros, en ellos se ha medido el nivel freático y se han realizado ensayos in situ de tipo SPT, presiómetros, permeabilidad Lefranc y Lugeon.

Además, se han tomado muestras para su posterior estudio en laboratorio, tanto de suelos como de roca.

2.2.1.- Sondeos

En la propuesta de campaña se planteó la realización de 4 sondeos; sin embargo, debido a la complejidad de los accesos y la falta de permisos en algunas de las localizaciones, finalmente se desarrollaron 3 sondeos, alcanzando un total de 54 metros perforados.

Durante la perforación de los mismos, se tomaron 2 muestras inalteradas, 3 ensayos SPT y 20 plastificaciones de testigos para su posterior ensayo en el laboratorio. Además, se han recogido 2 muestras de agua en aquellos sondeos en los que se ha localizado el nivel freático.

A continuación, se incluye una tabla resumen de los sondeos realizados con sus profundidades alcanzadas, localizaciones y sus respectivas cotas:

Sondeos	Coordenadas			Prof. (m)
	X	Y	Z	
S-2	604.663	4.789.298	108	17
S-3	604.567	4.789.324	98	15
S-4	604.494	4.789.306	116	22

Tabla 5. Sondeos realizados durante la campaña geotécnica.

2.2.2.- Penetrómetros

La campaña de penetrómetros ha consistido en la realización de 1 ensayo hacia el final del tramo.

A continuación, se incluye una tabla resumen del ensayo de penetración dinámica continua, realizado con su profundidad alcanzada, localización y sus respectivas cotas:

Investigación	Coordenadas			Prof. (m)
	X	Y	Z	
DPSH-1	604.276,92	4.789.104,78	82,00	7,40

Tabla 6. Penetrómetro realizado durante la campaña geotécnica y profundidad de rechazo.

Del registro del ensayo de penetración dinámica continua se han podido determinar zonas de golpes bajos al final de la traza, correspondiendo con un sector en el que los depósitos cuaternarios predominan.

2.2.3.- Geofísica

Ante la falta de accesibilidad y la dificultad para la realización de prospecciones directas, se optó por completar la información mediante una campaña de perfiles de sísmica de refracción para el estudio de los desmontes y las cimentaciones de las estructuras.

A continuación, se resumen los trabajos realizados:

Perfiles sísmicos	Coordenadas iniciales		Coordenadas finales		Orientación con respecto la traza	Longitud total (m)
	X	Y	X	Y		
TMS-1A	605.243	4.789.419	605.315	4.789.434	Longitudinal	80
TMS-1B	605.136	4.789.478	605.190	4.789.463	Longitudinal	60
TMS-2	604.910	4.789.329	605.029	4.789.350	Longitudinal	125
TMS-3	604.552	4.789.325	604.717	4.789.281	Longitudinal	185
TMS-4	604.456	4.789.264	604.505	4.789.350	Longitudinal	105
TMS-5	604.442	4.789.315	604.456	4.789.259	Transversal	65
TOTAL						620 m

Tabla 7. Perfiles de sísmica de refracción.

2.2.4.- Ensayos de laboratorio

Durante la campaña de reconocimientos del trazado se realizaron ensayos de laboratorio en las muestras recogidas. A continuación, se presenta una tabla resumen con el tipo y número de ensayos de laboratorio llevados a cabo:

ENSAYOS DE ENSAYO		
Unidad de medida	Tipo de ensayo	Medición
Ud.	Determinación de la humedad natural	21
Ud.	Determinación de la densidad aparente	14
Ud.	Determinación de peso específico	15
Ud.	Determinación de los límites Atterberg	4
Ud.	Determinación de granulometría por tamizado	4
Ud.	Ensayo de compresión simple en suelos	2
Ud.	Ensayo de corte directo, consolidado y drenado, sobre muestra inalterada	1
Ud.	Ensayo edométrico con al menos siete escalones de carga y tres de descarga, y curvas de consolidación-tiempo	1
Ud.	Ensayo de compresión simple en roca, i/ tallado	9
Ud.	Ensayo de compresión simple en roca, instrumentado con bandas extensométricas	4
Ud.	Ensayo de corte sobre discontinuidades en roca i/ tallado y preparación	4
Ud.	Ensayo Franklin	1
Ud.	Determinación cuantitativa de carbonatos	2
Ud.	Determinación cuantitativa de sulfatos	3
Ud.	Determinación cualitativa de sulfatos en suelos o agua	2
Ud.	Determinación cuantitativa de materia orgánica	2
Ud.	Análisis químico completo de agua, para determinar su agresividad	2
Ud.	Determinación del contenido de sales solubles de los suelos	2

Tabla 8. Resumen de ensayos de laboratorio.

3.- GEOLÓGIA DE LA ZONA

Desde el punto de vista geológico, zona de estudio forma parte de la Zona Norpirenaica, separada de la zona sur por la falla Norpirenaica. La zona presenta dos grandes dominios geológicos:

- El macizo granítico de Peñas de Aya.
- El macizo paleozoico de Cinco Villas.

El macizo granítico de Peñas de Aya aflora, en toda la zona occidental de la región de estudio en su parte Navarra. Con una extensión de aproximadamente 75 km2, se presenta encajado en depósitos carboníferos, mediante contactos netos. En él se distinguen dos zonas de petrografía diferenciada. Una interna correspondiente a granitos calcoalcalinos y otra externa de carácter leucogranítico.

El macizo paleozoico de Cinco Villas forma parte de la zona Axial de la cordillera Pirenaica. Este orógeno pirenaico, a grandes rasgos, se caracteriza por un cinturón de pliegues y cabalgamientos de orientación E-O, desarrollados entre el Cretácico superior y el Mioceno inferior, como resultado de la convergencia entre las placas Ibérica y Europea. Presenta una elevada simetría con respecto a la franja central denominada Zona Axial, integrada fundamentalmente por rocas plutónicas y materiales paleozoicos, que constituyen el zócalo regional. Flanqueando a la zona axial, se disponen las zonas Norte y Surpirenaica, constituidas por materiales mesozoicos y paleógenos, intensamente plegados, que integran la cobertera.

El macizo de Cinco Villas, según la terminología de HEDDEBAUT (1973), se puede diferenciar en dos dominios desde el punto de vista estratigráfico: el dominio oriental, que estaría representado por materiales fundamentalmente devónicos, y el dominio occidental, en el cual se encuadra la zona de estudio, caracterizado por una litología muy monótona devónico-carbonífera y pobre en fósiles.

A continuación, se muestra el mapa geológico a escala 1:50.000 de la zona de estudio.

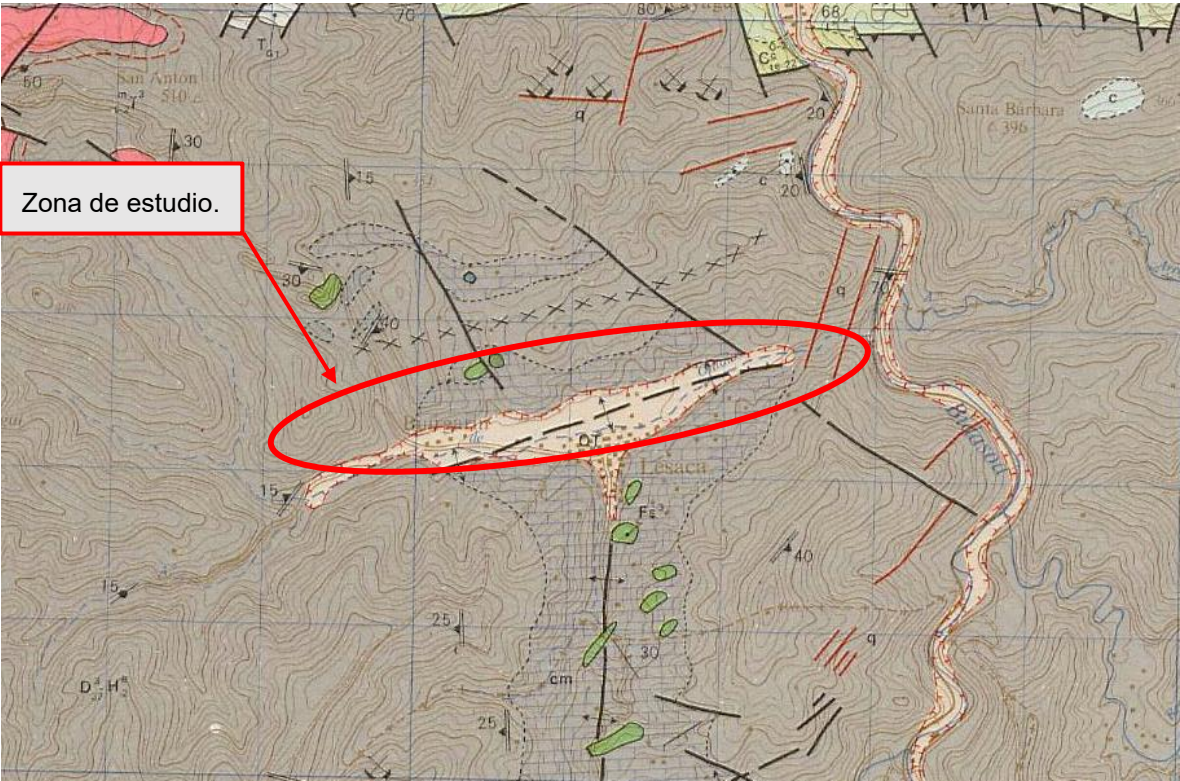


Figura 1. Cartografía geológica 1:50.000. Hoja n°65. Vera de Bidasoa.

CUATERNARIO				QL	QT	QL	Terrazas fluviales: limos gravas
CARBON	SUPER	STEPHANIENSE		H ₃ ⁸		H ₃ ⁸	Pizarras carbonosas y piritosas
		WESTFALIENSE		D ₃₂ ² H ₂ ⁸		D ₃₂ ² H ₂ ⁸	Esquistos y grauwas alternantes cg: conglomerados c: calizas tableadas s: silixitas cm: calizas marmóreas q: filones de cuarzo
DEVONICO	SUPERIOR	FAM.	SUP.	D ₃₁ ³⁻¹		D ₃₁ ³⁻¹	Esquistos arenosos y areniscas Niveles lenticulares de caliza
		FRASN.	INF.	D ₁₃ ³		D ₁₃ ³	Calizas, margas, esquistos y areniscas
	INFERIOR	EMSIENSE	SUP.	D ₁₂ ²		D ₁₂ ²	Areniscas blancas masivas, dolomias y brechas
		SIEGIENSE		D ₁₁ ²		D ₁₁ ²	(β) Basaltos

Figura 2. Leyenda. Cartografía geológica. Hoja n°65. Vera de Bidasoa.

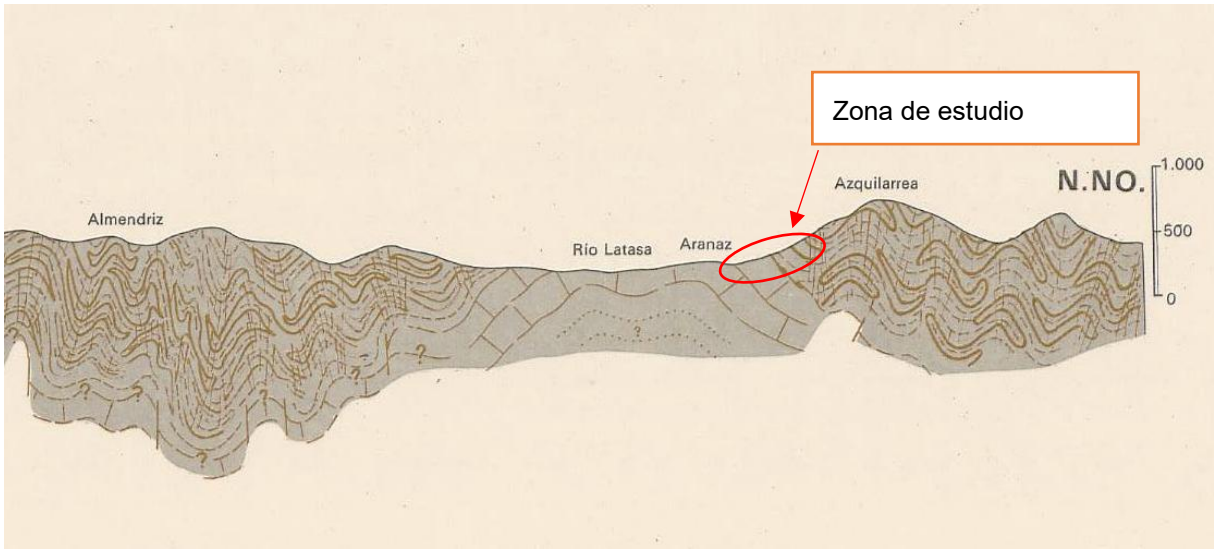


Figura 3. Perfil geológico esquemático cercano a la zona de estudio.

Regionalmente, la estructura que describen los materiales es un gran anticlinal que coincide con el valle en el que se encuadra el pueblo de Lesaka y, en cuyos flancos se desarrollan anticlinorios y sinclinorios menores fallados.

3.1.- ESTRATIGRAFÍA Y LITOLOGÍA

A continuación, se describen los materiales que afectan al estudio, desde el punto de vista estratigráfico de mayor a menor edad.

3.1.1.- Carbonífero

Estos materiales constituyen el sustrato rocoso de toda el área de estudio. Compone el tramo superior del Paleozoico antehercínico que aflora en gran parte de la región de estudio. Paradójicamente es el de mayor pobreza de fauna, lo que, unido a la considerable monotonía de su litología hace imposible una división cronoestratigráfica.

3.1.1.1.- Esquisto, grauvacas y pizarras (C_{PE})

Se observa una alternancia rítmica y monótona entre esquistos y grauvacas en facies “Culm”, con una potencia que puede alcanzar los 1000 m. Estas grauvacas corresponden a subarcosas con matriz sericítica cementada por óxidos de hierro y biotita alterada a clorita. El techo del conjunto está afectado por una discordancia regional que separa esta unidad de la inmediatamente superior. Los niveles de pizarras presentan, en general, bajo grado de metamorfismo, aunque se aprecia un incremento progresivo hacia el este.

Cabe destacar que esta unidad no ha sido identificada en las investigaciones llevadas a cabo, pero sí se reconoció durante las visitas de campo, lo que permitió su cartografía detallada



Fotografía 2. Afloramiento de pizarras-esquistosas C_{PE} identificadas en el PO-10.

3.1.1.2.- Caliza (C_c)

El afloramiento más extenso de calizas en la región corresponde a calizas masivas, de tonalidades que varían entre blanco y gris azulado, con carácter marmóreo. Estas calizas afloran ampliamente en el área de Lesaka-Yanci y Aranaz, ocupando una posición basal dentro de la serie pizarroso-detritica, según su disposición estructural. El contacto con las unidades adyacentes no es neto, como podría sugerir la cartografía, sino que se establece de manera gradual mediante niveles transicionales donde las calizas se intercalan con pizarras.

La potencia de estas calizas se ha estimado en aproximadamente 500 m, a partir de un sondeo realizado en las proximidades de Lesaka, que alcanzó el muro a unos 100 m bajo la superficie. De forma más irregular aparecen paquetes lenticulares de calizas, cuya potencia no supera los 100 m. Estas calizas, de color oscuro o gris azulado, se presentan en bancos finos, a menudo ondulados, con intercalaciones muy delgadas de esquistos. En algunos cortes, próximos a estos lentejones calizos, se observan horizontes de lilitas negras (sílex).



Fotografía 3. Afloramiento de calizas C_c con vetas de calcita y mineralizaciones de pirita en la zona de estudio.

3.1.2.- Cuaternario

3.1.2.1.- Depósitos aluviales (Q_{AL})

Se trata de depósitos aluviales pertenecientes al río Onin y a otros pequeños arroyos. Estos materiales rellenan el valle situado al sur del trazado, caracterizado por una topografía plana. La unidad fue reconocida durante las visitas de campo, lo que permitió su identificación y cartografía.

3.1.2.2.- Depósito coluvial (Q_c)

Esta unidad está compuesta por depósitos gravitacionales que se originan por erosión y desplazamiento del sustrato rocoso en zonas de pendiente. También aparecen en las laderas y al fondo de barrancos y vaguadas de fuerte desnivel.

Litológicamente, están muy influidos por el área madre. Al pie de los relieves de las calizas carboníferas, están compuestos por arcillas y limos de tonalidades beige, ocre o rojizas, con cantos e incluso bloques angulosos y subangulosos de caliza.



Fotografía 4. Suelo vegetal en transición a suelo eluvial identificado en PO-8.

3.1.2.3.- Depósitos de fondo de valle (Q_{FV})

Esta unidad, aunque no se ha detectado en las investigaciones llevadas a cabo, por imposibilidad de acceso, sí que se ha identificado en campo. Se trata de aquellos materiales que ocupan los fondos de algunos de los valles de la red fluvial secundaria. Los clastos que se engloban en la matriz arcillo-limosa sufren un corto transporte, dando clastos angulosos que se relacionan fácilmente con el área madre.

Estos materiales afectarán de manera leve al trazado en las zonas de valle encajado.

3.1.2.4.- Rellenos antrópicos (Q_{RA} y Q_{RC})

Esta unidad está compuesta por los rellenos antrópicos asociados a la actividad humana. En el entorno del trazado se han cartografiado rellenos antrópicos de dos tipos, por un lado rellenos de viales

compactados (Q_{RC}) que aparecen tanto al inicio, conformando el relleno de la propia carretera a reponer hasta el PK 0+080, como al final del tramo, en donde se vuelve a proyectar el entronque con la NA-4000.

Por otro lado, se han detectado rellenos de naturaleza desconocida sobre los que se han construido losetas de hormigón o se ha pavimentado y sobre los que se localizan restos de construcción en la parte final del tramo, que han sido cartografiados como (Q_{RA}).



Fotografía 5. Explanada de asfalto y hormigón con varios acopios de restos de la construcción identificado en PO-11. Final del tramo.

3.2.- GEOMORFOLOGÍA

Desde el punto de vista geológico-estructural se pueden reconocer varios dominios en la región de estudio:

- El Macizo Paleozoico de Cinco Villas, en donde se localiza el proyecto.
- El Macizo Granítico de Peñas de Aya.
- El Valle del río Latza.

En la parte oriental y centro del Macizo de Cinco Villas, mayoritariamente formado por pizarras y grauvacas, existe una zona, constituida por calizas que ofrece una morfología algo diferente. Los relieves más importantes pertenecen a los terrenos, con alturas de 1037 m, en Komizko Gaina Araina, 912 m en Belzunzako- Arriz y 839 m en Negusoro. A partir de estos puntos, la topografía va descendiendo, de forma paulatina en todas direcciones, pero, en cualquier caso, la morfología es accidentada, con grandes contrastes altimétricos.

La erosión fluvial ha labrado profundos barrancos, de márgenes acusadas que dan lugar a una sucesión de valles y aristas que se suceden de forma ininterrumpida por toda la región. La zona de topografía más suave y de características algo diferentes es la ocupada por las calizas; en ella, además de la morfología fluvial y de la de laderas, hay ejemplos de modelado kárstico.

Localmente, el área de estudio está formada por un relieve montañoso en el que se encaja el valle fluvial del Biurrana excavado en los materiales de edad Fameniense-Westfaliense. Este estrecho valle se ensancha en la zona de Lesaka, dando pie al asentamiento poblacional, para volver a estrecharse aguas abajo.



Fotografía 6. Vista aérea de la ladera norte de Lesaka.

A ambos lados del valle, en la zona de estudio, se encuentran laderas de pendiente media y relieves redondeados, tapizadas por vegetación.

3.2.1.- Modelado

En la región de estudio se han localizado las siguientes formas del modelado:

- Formas de ladera: Coluviones y canchales, deslizamientos, caídas de bloques y avalanchas de bloques.
- Formas fluviales: El desarrollo de la morfología fluvial es bastante importante, pero con un predominio del carácter erosivo. La escasez de depósitos es patente, limitándose a fondos del valle y a algunos conos de deyección.
- Formas kársticas: Están representadas por el conjunto de dolinas y uvalas que aparecen en la formación de calizas pertenecientes al Macizo Paleozoico de Cinco Villas. Se agrupan al sur de la localidad de Lesaka y también al sur de la localidad de Arantza.
- Formas poligénicas: A este grupo pertenecen todas aquellas formas que son el resultado de la actuación de varios procesos. En la hoja de Lesaka pertenecen a este grupo las divisorias suaves de origen mixto y los aluviales-coluviales.

3.2.2.- Procesos erosivos actuales

Los procesos erosivos que gobiernan actualmente la zona de estudio se enumeran a continuación:

- Erosión fluvial
- Movimientos de ladera

Dentro de la erosión fluvial uno de los procesos más acusados es el de incisión vertical de la red que ha dado lugar a profundos barrancos, sin depósito alguno, como sucede en la mayoría de la red secundaria. Esta intensa erosión se debe a que el área pertenece a una zona de montaña, próxima a una gran divisoria, donde se instalan numerosas cabeceras con un carácter erosivo dominante. Este carácter se mantendrá así al menos en un futuro inmediato. La erosión será más o menos intensa dependiendo de los movimientos tectónicos recientes, del nivel de base general y sobre todo de la competencia o incompetencia de los sedimentos.

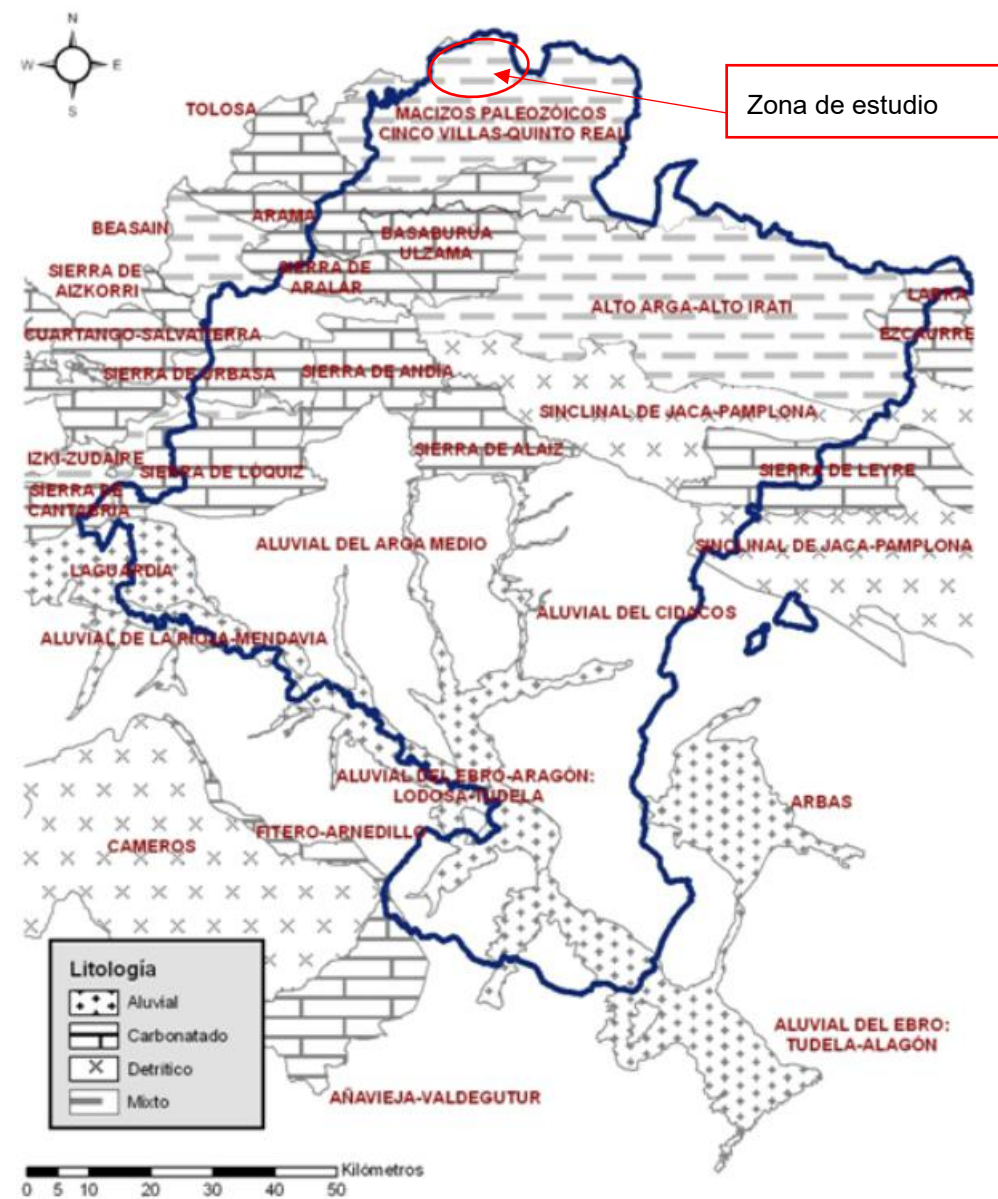
Los procesos de ladera también se manifiestan activos, al menos en algunos puntos, estando representados por las caídas de bloques y algunos deslizamientos. Los primeros se producen a partir de los escarpes debidos, en primer lugar, al grado de fracturación. El agua meteórica penetra por las numerosas discontinuidades (diaclasas, grietas, fracturas, planos de estratificación, etc.) provocando la apertura de estas, durante la estación fría. Este proceso tiende a la separación de bloques, del escarpe, que, al estar en una posición de inestabilidad, como sucede en el borde de estos, tienden a caer por gravedad, depositándose en cotas inferiores de la vertiente.

Por otra parte, los deslizamientos, también constituyen parte de la dinámica actual. La naturaleza blanda o alternante de algunos materiales, unida al clima y a las fuertes pendientes, favorecen la inestabilidad de las masas a deslizar, una vez que el agua meteórica ha entrado por los planos de discontinuidad y se produce un desequilibrio en el sistema. Hay que señalar, sin embargo, que muchos de los deslizamientos están actualmente estabilizados. Aunque todos estos procesos que se han detallado puedan ser puntualmente de gran envergadura, no se prevén grandes cambios, en el relieve, en un futuro inmediato. La tendencia, a largo plazo es a una suavización de las formas, por las diferentes acciones erosivas, con evacuación de los materiales hacia las grandes venas de agua.

3.3.- HIDROGEOLOGÍA

La zona de Lesaca (65-III) comprende una zona montañosa de relieves contrastados, con dos áreas litológicamente bien definidas. El macizo granítico de Peñas de Aya que ocupa parte de la zona septentrional y el macizo de Cinco Villas, donde afloran depósitos paleozoicos en una serie pelítica monótona. El centro de la región está recorrido por una alineación montañosa de dirección aproximada norte-sur que separa dos subcuencas, la cuenca del Bidasoa, en la zona oriental y la del Urumea en la oriental. Ambas son cuencas pertenecientes a la Cuenca Cantábrica.

En la subcuenca del Bidasoa el principal cauce fluvial en esta hoja es el río Latza, afluente del Bidasoa, mientras que en la cuenca del Urumea es el río Añarbe el principal.



Fotografía 7. Mapa de las masas subterráneas en Navarra. fuente: cartografía de la O.P.H de la Confederación Hidrográfica del Ebro y del Cantábrico.

En cuanto a las masas de agua, la zona queda dentro de los macizos paleozoicos de Cinco Villas-Quinto Real.

3.3.1.- Descripción hidrogeológica

Entre las formaciones aflorantes en el ámbito de estudio, se han distinguido aquellas que, por sus características hidrogeológicas, son susceptibles de desarrollar acuíferos.

Como acuíferos principales se consideran las formaciones con permeabilidad media-alta cuya potencia y extensión permite desarrollar buenos acuíferos ya sean detríticos o kársticos. Los acuíferos

secundarios engloban formaciones con permeabilidad menor o muy variable o bien aquellos materiales que presentan buenas condiciones por sus parámetros hidrogeológicos pero que su extensión no permite su desarrollo.

Dentro de la zona objeto de estudio se han distinguido los niveles acuíferos Paleozoico y Cuaternario, de naturaleza secundaria:

3.3.1.1.- Acuíferos aislados del Paleozoico (Devónico y Carbonífero)

Se incluyen los materiales calcáreos (Cc) formados por calizas y dolomías, en ocasiones intensamente recrystalizadas, con un espesor muy variable. Los afloramientos calcáreos del Carbonífero no son muy numerosos la región y están reducidos a pequeños lentejones intercalados en la serie pelítica. En general, estos niveles paleozoicos presentan un elevado grado de recrystalización y se encuentran muy compartimentados por efecto de la tectónica regional que les afecta. Por este motivo, en ocasiones, los niveles acuíferos se encuentran desconectados unos de otros y su permeabilidad disminuye por el recrecimiento cristalino que impide la circulación de agua subterránea.

3.3.1.2.- Cuaternario

En la parte baja de la zona de estudio se han cartografiado depósitos aluviales y rellenos antrópicos. El sistema de terrazas está muy poco desarrollado, constituido por un conjunto de gravas y cantos de naturaleza cuarcítica y calcárea mayoritariamente con una matriz areno limosa o areno arcillosa. Estos depósitos tienen un grado de permeabilidad medio-alto, debido a la elevada porosidad intergranular que presentan. No obstante, dado su escaso desarrollo y extensión no constituyen acuíferos de importancia, aunque la utilización conjunta asociada a los cursos superficiales resulta altamente interesante.

Los coluviones y deslizamientos están formados por acumulación de materiales al pie de los relieves montañosos, con mayor o menor espesor y ordenados o no, según el grado de madurez del depósito. Suelen presentar una extensión superficial limitada. Litológicamente están formados por depósitos sueltos, de cantos o bloques con matriz arcillo-lutítico-arenosa, que dificulta la percolación. Hidrogeológicamente presentan una permeabilidad media-baja en función de su litología.

3.3.2.- Funcionamiento hidrogeológico

En los materiales paleozoicos del macizo de Cinco Villas, se localizan algunos manantiales dispersos con caudales variables que no suelen superar los 3 l/s, aunque pueden presentar incrementos estacionales en la época de lluvias. En general estos acuíferos son pequeños y con respuesta rápida a la recarga.

Además de estas existen otras muchas dispersas y de carácter básicamente estacional que drenan los recursos almacenados en los materiales paleozoicos a favor de la red de fracturas que les afecta. La

variación de los caudales de estos puntos de descarga es significativa, lo que confirma el funcionamiento Kárstico de los materiales que drenan.

La alimentación de todos estos niveles acuíferos se realiza a partir de la infiltración directa del agua de lluvia y de las fuertes escorrentías que se producen en la zona, sobre la extensa superficie aflorante de materiales permeables. En general los niveles acuíferos presentan un comportamiento libre donde aflora y confinado por materiales de permeabilidad muy baja en el resto. Presenta cierto grado de compartimentación por efecto de la tectónica por lo que en ocasiones el funcionamiento hidráulico es independiente. La descarga de estos niveles se produce por numerosos manantiales ubicados en los contactos permeable-impermeable, con caudales muy variables, también se produce un drenaje difuso hacia los cauces fluviales por lo que los depósitos cuaternarios pueden ser recargado por niveles calcáreos.

También se realizan extracciones en pozos ubicados en los aluviales de los principales cursos fluviales, que han desarrollado un pequeño sistema de terrazas fluviales. Estas captaciones no suelen superar los 10 metros de profundidad. La composición química del agua subterránea es relativamente constante en los acuíferos que son uniformes litológicamente. En general se trata de facies bicarbonatadas cálcicas y magnésicas con mineralización débil o muy débil y baja dureza.

3.4.- TECTÓNICA

El área de estudio se sitúa en el extremo más occidental de la Cadena Pirenaica, cadena alpina que se extiende desde el Golfo de Vizcaya hasta el Mediterráneo, y próxima a la Cuenca Vasco Cantábrica y está ocupada en su práctica totalidad por materiales paleozoicos pertenecientes al Macizo de Cinco Villas. Transversalmente, la cadena de los Pirineos presenta una aparente simetría a partir de un eje constituido por los materiales paleozoicos. Esta alineación montañosa es la resultante de la compresión producida entre las placas Europea e Ibérica y ha sido clasificada y subdividida en numerosas ocasiones, siendo una de las más utilizadas la realizada por MATTAUER y SEGURET (1.971), basada en criterios estructurales y estratigráficos. En ella se diferencian la Zona Axial, constituida fundamentalmente por materiales paleozoicos dispuestos a modo de eje de simetría de la cadena, dos zonas meso terciarias despegadas, denominados Nor y Surpirenaica y dos antepaíses terciarios plegados.

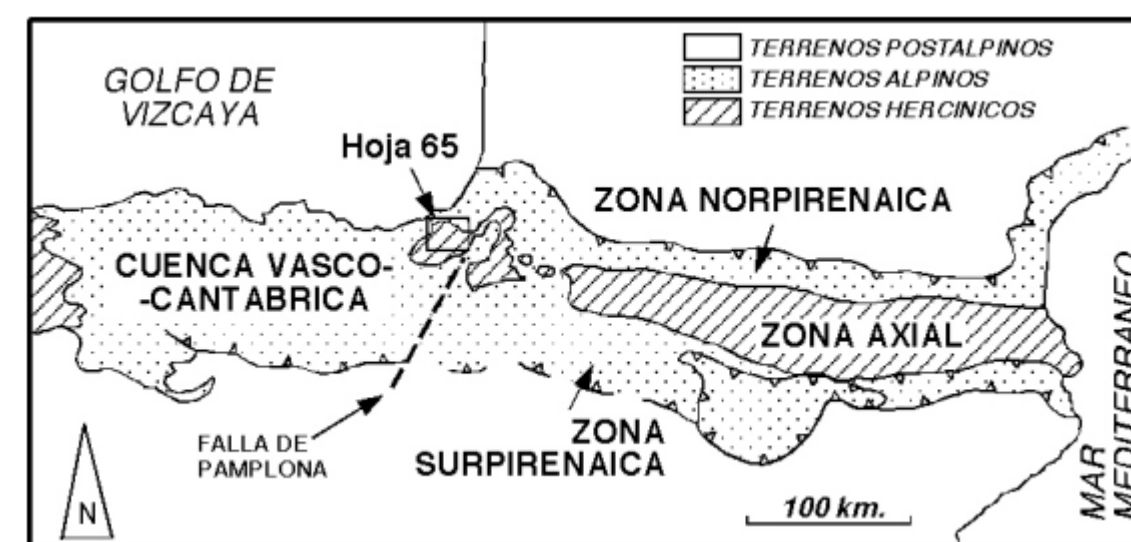


Figura 4. Esquema tectónico de la cadena pirenaica.

El diferente comportamiento de los materiales frente a la deformación permite distinguir los siguientes dominios estructurales: “zócalo”, constituido por los materiales escincos; “tegumento”, formado por los depósitos de las facies “Buntsandstein” y “Muschelkalk”; “nivel de despegue” integrado por las facies “Keuper”; y “cobertera” constituida por la serie sedimentaria jurásico-paleógena. En general el zócalo y la cobertera se han deformado independientemente gracias al nivel de despegue de las evaporitas triásicas, con una deformación mucho más acusada de la cobertera, si bien en la Zona Axial el zócalo también ha sido estructurado e incorporado a las estructuras alpinas, aunque la superposición de fases tectónicas dificulta la diferenciación de la deformación hercínica de la alpina, máxime cuando ambos ciclos, el escinco y el alpino, se manifiestan polifásicamente. De todos estos términos, en la zona, solamente se encuentran los materiales paleozoicos que forman el zócalo, pertenecientes a la zona axial pirenaica. La orogenia alpina tuvo influencia en la deformación sufrida por el macizo. En la zona noroccidental, aparece el borde Sur del stock granítico de Peñas de Aya, cuya intrusión supuso una deformación adicional sobre la estructura de los materiales.

El paleozoico del Macizo de Cinco Villas no tiene el carácter de “zócalo”, entendido este como un zócalo cristalino que reacciona frágilmente ante unos esfuerzos tardíos. Por el contrario, la potente sucesión de sedimentos pelíticos, muy poco metamorfizados, no se han comportado de forma rígida ante las deformaciones alpínicas, por lo que, a las estructuras originadas durante la orogenia hercínica, se han sobrepuesto las producidas en la orogenia alpina.

Para el estudio de las estructuras se han diferenciado en función de su origen en las siguientes:

- Estructuras del basamento paleozoico
- Estructuras originadas por la intrusión granítica

3.4.1.- Estructuras del basamento

Las características estructurales del Paleozoico son complejas, debido, tanto a la superposición de las Orogenias Hercínica y Alpina, como a la proximidad del stock granítico de Peñas de Aya, con la deformación adicional que supuso su intrusión. A esta complejidad tectónica se añaden otros dos factores que dificultan la comprensión de la estructura: por un lado la monotonía litológica de los materiales carboníferos paleozoicos en la que no se aprecian niveles guía, a excepción del contacto con las denominadas “Calizas de Aranaz” y algunos niveles conglomeráticos y calizos intercalados en la serie pero de poca continuidad espacial, y por otro, los afloramientos son escasos y pésimos, condiciones que no permiten observar y estudiar la estructura, que puede llegar a ser muy compleja en detalle.

Son varios los autores que han estudiado la tectónica del macizo de Cinco Villas. Entre los autores más recientes destacan CAMPOS, 1979; HEUSCHMIDT, 1977, AIZPIRI et al., 1984 y MARTINEZ-TORRES et al., 1984. Tomando como referencia estos estudios las fases de deformación hercínica se pueden resumir en:

- Fase H1: representada por pliegues isoclinales tumbados, de escala decimétrica y dirección dispersa, con vergencia poco clara, posiblemente W. Lleva asociada una pizarrosidad (“slate cleavage”) muy penetrativa a escala del macizo, subparalela a la estratificación (S0), especialmente en los flancos de los pliegues. Las direcciones principales de estas estructuras son N-S a N 20° E.
- Fase H2: desarrolla pliegues angulares decimétricos, de dirección NE-SW, con esquistosidad de crenulación subvertical muy desarrollada. Tanto los pliegues como las esquistosidades son los rasgos estructurales más característicos del macizo de Cinco Villas.
- Fase H3: desarrollo muy localizado de pliegues angulares decimétricos NWSE, ortogonales a los pliegues de la fase anterior, con esquistosidad vertical asociada muy poco desarrollada.

- Presencia local de Kink-bands tardíos: Proyección equiangular en el hemisferio inferior de ejes y polos de planos axiales de la primera H1 y segunda H2 fases hercínicas del Macizo de Cinco Villas. (MARTINEZ-TORRES, 1984).

3.4.2.- Estructuras generadas por la intrusión granítica

El macizo granítico de Peñas de Aya tiene una forma elíptica cuya bóveda posee una dimensión superficial (75 km² aproximadamente) comparable con la de los granitos sensu stricto (PESQUERA, 1985). Esta forma elíptica muestra un eje mayor de dirección aproximada NE-SO, dirección en la que se debió de producir el inflamamiento.

Aunque esta bóveda está dislocada por numerosas fallas, lo que ha afectado a su geometría original, su forma es más congruente con intrusiones sincinemáticas que con intrusiones postcinemáticas, que tienden a dar formas equidimensionales. Las medidas de la esquistosidad regional obtenidas en el macizo de Cinco Villas y, especialmente, en la aureola de contacto del granito muestran una adaptación al contorno del stock granítico.

Para CAMPOS (1979), este hecho se debe a la deformación de bóveda debida a la propia intrusión del stock, y por tanto posterior a la fase tectónica principal. Por el contrario, para PESQUERA (1985), esta esquistosidad representa la traza del plano principal de aplastamiento producido durante la 2ª fase de deformación hercínica. Mientras que se produce una orientación global ENE-OSO en zonas alejadas de la intrusión, en las zonas próximas, la esquistosidad regional pasa a adaptarse a los contornos del macizo, de tal forma que inyección magmática y deformación tectónica son procesos simultáneos en el tiempo.

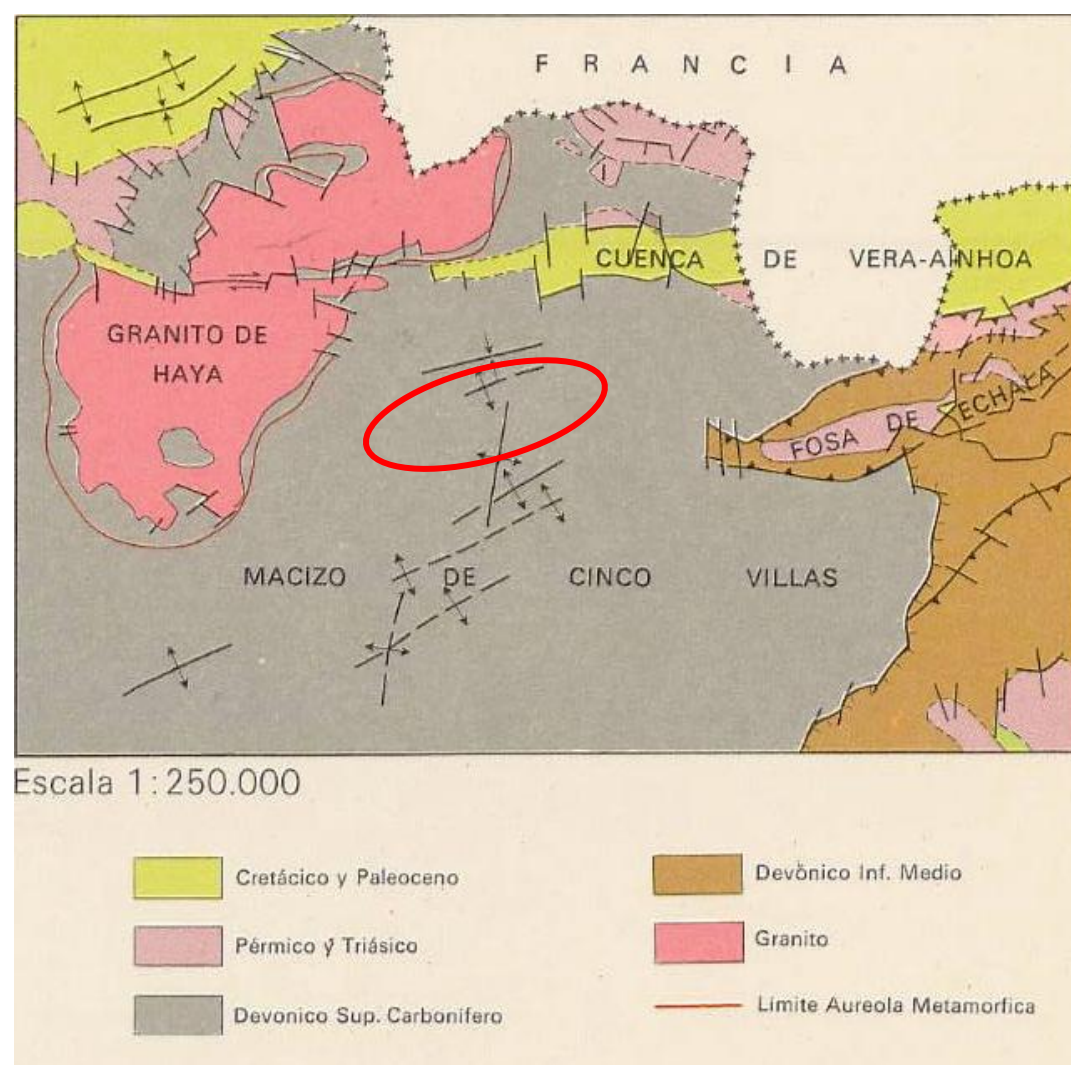


Figura 5. Esquema tectónico de la región de estudio. Cartografía MAGNA. 1:50.000. Hoja n°65. Vera de Bidasoa.

3.4.3.- Cronología de la deformación

La evolución tectónica de la región puede referirse a dos grandes ciclos, muy desigualmente representados: el ciclo escincó, puesto de manifiesto por los materiales paleozoicos, que ocupan gran parte de toda esta zona y el ciclo alpino, caracterizado por los materiales mesozoicos, representados en el Sinclinal de Vera Zugarramurdi, el Sinforme de Etxalar y en los afloramientos que aparecen a lo largo de la falla de Aritxulegui. Además, aparecen las deformaciones sufridas por la intrusión del stock granítico de Peñas de Aya.

El primer ciclo, el ciclo hercínico, se caracteriza por la existencia de tres fases de deformación, en los que destaca la primera fase, que origina pliegues isoclinales tumbados de dirección norteada, con desarrollo de pizarrosidad acusada, subparalela a la estratificación, posteriormente se produce una nueva fase que produce pliegues angulares decimétricos de dirección NE-SW, con esquistosidad de crenulación vertical muy desarrollada y dominante en todo el macizo. La tercera fase origina pliegues

angulares en zonas muy localizadas. Finalmente, en las etapas tardías de la deformación hercínica, se desarrollan kink-bands muy locales.

Durante el período Estefaniense-Pérmico tuvo lugar una fase de fracturación a escala continental, conocida como etapa tardihercínica y caracterizada por la génesis de desgarres de direcciones NE-SO y NO-SE. Entre los accidentes tardihercínicos más destacados en la historia posterior de la región, se encuentran la Falla de Pamplona y la Falla de Leiza.

Los accidentes tardihercínicos son de gran importancia en la historia tectónica de esta región, ya que constituyen un elemento fundamental durante el posterior ciclo alpino. Su reactivación durante la distensión mesozoica controló la geometría de las cuencas de sedimentación y durante la compresión terciaria actuaron como zonas de debilidad, a favor de las cuales se produciría el desplazamiento de cabalgamientos y desgarres.

De la evolución general de la región se pueden extraer una serie de eventos producidos durante el ciclo alpino. Durante la fase prealbiense, en relación con el giro sinextroso de Iberia respecto a la estable Europa, se produjeron las primeras diferenciaciones posthercínicas. En esta época se reactivaron las fracturas tardihercínicas, acompañadas de movimientos verticales, que ocasionaron el levantamiento de los macizos hercínicos, como el Cinco Villas, y el subsiguiente arrastre de gran parte de la cobertera permo-triásica. Las siguientes fases de actividad tectónica tuvieron lugar durante el rifting cretácico superior, en las que la compartimentación en bloques levantados y hundidos se acentuó aún más; así se produjo el levantamiento de los macizos de Cinco Villas y Larún, con la formación entre ellos de la cuenca de Vera.

Por último, en las fases terciarias de plegamiento alpino, fase pirenaica, se produjeron deformaciones del zócalo con formación de pliegues y desarrollo de fracturas de gran envergadura. Es en este período cuando la falla de Aritxulegui alcanza su mayor desarrollo. El carácter dextroso de esta falla se explica como un accidente tardihercínico que rejuega ante unos esfuerzos submeridianos

3.5.- SISMICA

Cerca de la zona del proyecto, en los alrededores de la ciudad de Pamplona, se han sucedido varios terremotos de los cuales, históricamente, hay catalogados tres con intensidades entre IV y IV-V, uno en 1903 con intensidad VI y otro con intensidad IV en 1990; al sur de Pamplona se dispone registro de dos con intensidad V ocurridos en Legarda (M 4,5) en 1982 y en Gazólaz (M 4,0) en 1996; y, más recientemente, cabe destacar un terremoto de magnitud 4,2 registrado en Olave en 2017 con intensidad V y los registrados el 30 septiembre y el 1 de octubre de 2020 en el municipio de Lizoain, de Intensidad V (M 4,5 y 4,4).

Para la redacción del presente apartado de sismica se ha consultado el anejo nacional del Eurocódigo 8 (UNE-EN 1998) 2016.

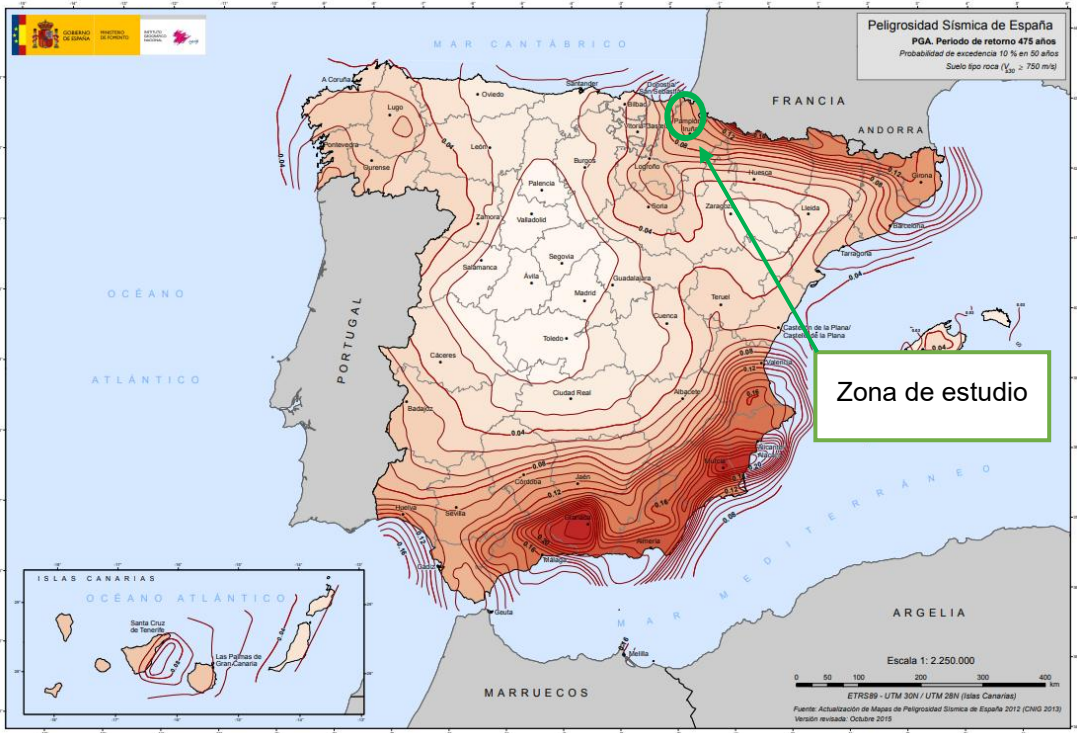
Según el Eurocódigo 8 no será necesaria la consideración de las acciones sísmicas en las situaciones siguientes:

- Cuando la aceleración sísmica horizontal básica del emplazamiento, a_b , sea inferior a 0,04 g; siendo g la aceleración de la gravedad.
- Cuando la aceleración sísmica horizontal de cálculo a_c sea inferior a 0,04 g.

3.5.1.- Cálculo de acciones sísmicas

La Norma de Construcción Sismorresistente NCSR-02 delimita la peligrosidad sísmica de cada punto del territorio nacional, en base a lo que denomina aceleración sísmica básica (a_b). La aceleración sísmica básica se representa en relación con el valor de la gravedad, g, e indica un valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno.

La siguiente figura se muestra el mapa de peligrosidad sísmica publicado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), aplicable en la Norma de construcción sismorresistente NCSR-02 para el territorio español y para un periodo de 500 años:



Fotografía 8. Mapa de peligrosidad sísmica de España 2015 (en valores de aceleración).

En el mapa anterior se muestran los valores de la aceleración sísmica básica, a_b , de los Términos Municipales con $a_b \geq 0,04$ g, organizado por Comunidades Autónomas. Según este mapa, el valor de la aceleración sísmica horizontal básica, a_b , para el municipio por donde discurre el trazado, Lesaka, respectivamente, es superior a 0,04g, siendo g la aceleración de la gravedad. En este caso, para el cálculo se tomará $a_b = 0,09g$.



Fotografía 9. Valor de peligrosidad sísmica en el municipio de Lesaka.

De acuerdo con los criterios de aplicación establecidos en las normas indicadas, al ser $a_b > 0,04g$ es preceptiva la consideración de las acciones sísmicas en el diseño de los elementos estructurales y actuaciones de este proyecto.

3.6.- RIESGOS GEOLÓGICOS

Los procesos que afectan a la superficie terrestre dan lugar a movimientos y variaciones del terreno de diferente magnitud y características, que pueden constituir riesgos geológicos al afectar, de forma directa o indirecta, a las infraestructuras proyectadas.

Se describen a continuación las diferentes tipologías de los riesgos geológicos potenciales considerados en el entorno del tramo objeto de estudio.

- Riesgo de deslizamientos y desprendimientos: En general, dentro de este tipo de riesgo geológico se incluyen los movimientos de ladera asociados a inestabilidades gravitacionales, motivados por cambios en las condiciones hidrogeológicas, por procesos de degradación y alteración superficial o por modificaciones artificiales de las geometrías estables. En el entorno del trazado no se han detectado grandes deslizamientos de laderas, ya que el trazado discurre dentro de un macizo rocoso sano. No obstante, dada la naturaleza del terreno en los niveles superiores, sí pueden darse pequeños deslizamientos y desprendimientos de bloques en los taludes de la traza.
- Riesgos derivados de la presencia de rocas sensibles al agua y de comportamiento evolutivo, como es el nivel superior de roca meteorizada. Este riesgo afecta de manera moderada a todo el trazado.
- Riesgo de presencia de depósitos de baja consistencia, de naturaleza cohesiva, correspondientes a rellenos de fondos de valles. De acuerdo con lo observado en la campaña de reconocimientos, se han detectado suelos blandos en algunos sectores, coincidiendo con un material cuaternario aluvial de la unidad QFV. El resto del trazado presenta espesores reducidos de este tipo de suelos que deberán ser saneados. Este riesgo se presenta como bajo-medio a lo largo de la traza.
- Riesgo sísmico: Como ya se ha indicado en el apartado de sismicidad, la zona de estudio presenta un grado de peligrosidad sísmica media, con valores de la aceleración sísmica básica p es igual a 0,09g.
- Riesgo tectónico. Existe una alta tectonización en el área de proyecto, con pliegues y fallas importantes, lo que unido a la alta actividad sísmica constituye un riesgo geológico que puede afectar a las laderas y taludes al combinar fracturación de las rocas.
- Los materiales tipo suelo presentes a lo largo de la traza, depósitos de coluvión, estarán formados por una alternancia de niveles de granulometría variable arenas, gravas y limo-arcillosas, por lo que se deberá tener en cuenta a estas litologías a la hora de evaluar este riesgo.
- Riesgo de afección a niveles acuíferos. Este riesgo se valora sobre todo el trazado, en donde se puede afectar a los subsistemas de Bidadosoa y Urumea. Los niveles freáticos encontrados

se asocian a filtraciones de agua de lluvias a través del sistema de fracturación, no considerándose niveles acuíferos de importancia mayor. En algunos puntos el desmonte la afección será de poca importancia puesto que los niveles encontrados se localizan por debajo a cota de rasante en los casos que más alto se han medido y no son considerados niveles acuíferos importantes.

4.- CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

En este apartado se lleva a cabo la caracterización geotécnica de las unidades, de acuerdo con los datos obtenidos durante la campaña de reconocimientos de campo.

La mayor parte de los materiales que afectan al trazado son de tipo suelo o roca alterada, pasando a roca sana en profundidad para el caso de la parte baja de los desmontes más profundos.

4.1.- METODOLOGIA DE OBTENCION DE PARÁMETROS

4.1.1.- Descripción geotécnica de las unidades

De todas las unidades litoestratigráficas descritas, las siguientes 3 unidades afectan mayoritariamente al trazado.

- UG-Cc
- UG-QC
- UG-QRA

La unidad Cc aparece con dos grados de alteración, resultando que se puede encontrar con un grado de alteración III-IV en su parte más superficial, pasando a un grado II en la parte más profunda, más favorable para la cimentación de las estructuras. Por ello, se ha dividido esta unidad litoestratigráfica en dos unidades geotécnicas.

- UG-Cc-alt: calizas con grado de alteración III-IV.
- UG-Cc: calizas con grado de alteración II.

Por encima de la unidad anterior aparecen las unidades de UG-QC, UG-QAL, UG-QRA y QRC.

4.1.2.- Estimación de los parámetros del macizo rocoso

De cara a establecer parámetros resistentes del macizo rocoso, se recurre a los datos de los sondeos perforados, las estaciones geomecánicas de superficie y los ensayos de laboratorio llevados a cabo en muestras tomadas en sondeo.

A partir de esos datos iniciales tanto de la roca matriz como del macizo rocoso, se aplica el criterio de Hoek y Brown para la estimación de los parámetros del macizo. Este criterio tiene en cuenta los siguientes parámetros:

- Resistencia roca Intacta: Se obtiene a partir del análisis de ensayos de RCS de cada unidad.

- GSI: Se obtiene analizando el RMR que se ha calculado a partir del análisis de los sondeos y estaciones geomecánicas disponibles y restando 5 puntos al RMR básico o seco.
- m_i : Se ha estimado a partir de la curva en la que se analizan, para cada unidad, los diferentes ensayos resistentes de la roca intacta. Esta curva se realiza mediante el programa Roclab:
 - ✓ Las resistencias a tracción
 - ✓ La resistencia de compresión uniaxial
 - ✓ Ensayos triaxiales

De las poblaciones de datos disponibles de los tres ensayos, se ha llevado a cabo el análisis estadístico y descartado los valores anómalos antes de incluirlos en la fórmula de la envolvente de Hoek-Brown.

- Módulo de deformación. Se obtiene a partir del análisis de los ensayos disponibles:
 - ✓ Roca intacta. Resistencia a Compresión simple con bandas extensiométricas.
 - ✓ Macizo. Presiómetros.
- RMR: Se obtiene a partir de los datos disponibles en reconocimientos y ensayos.
- GSI: Se obtiene a partir de los datos disponibles en reconocimientos y ensayos. El GSI se calcula a partir del valor obtenido del RMR básico o seco, restando 5 puntos a este valor.
- Parámetro D. Este parámetro, que define el tipo de excavación se ha considerado como 0 en el caso de zonas de falla o rocas fracturadas. Este valor se aplica dado que, en estas zonas sensibles, se recomienda excavar de forma cuidadosa. En el caso de rocas sanas y poco fracturadas, es posible considerar un parámetro D de 0,7, lo que equivale a una excavación poco cuidadosa y rápida.

4.1.3.- Módulo de deformación del macizo a partir de los parámetros de la roca intacta

Para la estimación del módulo de deformación del macizo rocoso a partir de los parámetros de la roca intacta, se acude a la siguiente fórmula de Hoek y Diederichs de 2006:

$$E_{mm} = E_i \left(0.02 + \frac{1 - D/2}{1 + e^{((60+15D-GSI)/11)}} \right).$$

Donde:

E_i = Módulo de deformación de la roca intacta.

D = Factor de perturbación.

4.1.4.- Ensayos presiométricos

Se analizan los Parámetros deformacionales a partir de los presiómetros. Así, para obtener el módulo elástico de estos materiales, se consultan los ensayos presiométricos y se obtiene el módulo mediante la relación Módulo presiométrico (Ep)/ Presión límite (Pl). Esta relación se usa para asignar un parámetro α que, y posteriormente resulta el módulo elástico E: $E = E_p / \alpha$.

Table 8-2 The Rheological Factor α for Various Soils (Baguelin et al., 1978)

Soil Type	Peat		Clay		Silt		Sand		Sand and gravel	
	E/P _l [*]	α	E/P _l [*]	α	E/P _l [*]	α	E/P _l [*]	α	E/P _l [*]	α
Over-consolidated			>16	1	>14	2/3	>12	1/2	>10	1/3
Normally consolidated		1	9-16	2/3	8-14	1/2	8-12	1/3	6-10	1/4
Weathered and/or remolded			8-9	1/2		1/2		1/3		1/4
Rock	Extremely fractured		Other		Slightly fractured or extremely weathered					
	$\alpha = 1/3$		$\alpha = 1/2$		$\alpha = 2/3$					

Figura 6. Estimación del valor α según ensayo presiométrico para suelos o rocas alteradas o fracturadas.

En el caso de roca sana poco fracturada, se aplica un α de 0,67 para obtener el módulo elástico.

A partir del ensayo presiométrico, también se puede obtener, a modo orientativo, la resistencia al corte no drenada del macizo mediante el método semiempírico, que relaciona este parámetro con la presión límite.

Así pues,

$$C_u = \frac{P_L^*}{\beta^*}$$

Siendo:

Pl* la presión límite neta: Pl-Poh.

β^* : Parámetro dependiente del tipo de terreno. En este caso, para los materiales de tipo rocoso que afectan al trazado, se ha estimado conservadoramente un valor de 8.

Para la asignación del parámetro β^* Ménard (1957) propuso valores variables entre 2 y 5, que son válidos para suelos normalmente consolidados. Cassan y Jézéquel (1972) adoptaron un valor medio de 5,5. Para arcillas rígidas Marsland y Randolph (1977) consideraron un valor de β^* de 8.

En general, cuanto más rígido es el suelo, el coeficiente presiométrico adopta valores superiores.

En este caso, el valor más conservador de los que se manejan habitualmente es el de 8, por lo que se propone adoptar ese valor para la obtención de la cu a partir de la presión límite del presiómetro. En el caso de los suelos cuaternarios, se propone utilizar valores algo menores como los propuestos por Ménard. (2-5).

Amar y Jézéquel (1972) adoptaron un valor medio de β^* 5,5. Partiendo de la base de que el ensayo presiométrico tiende a sobreestimar netamente los valores de la cohesión y subestimar los del ángulo de rozamiento interno, existen otras correlaciones empíricas que relacionan la presión límite (Pl) con la cohesión sin drenaje (cu), considerando el valor de la tensión de confinamiento (σ_{HS}), entre las que se cita la propuesta por Amar y Jézéquel (1972):

Rango (Pl- σ_{HS}) kPa	C _u , en kPa
< 300	(Pl - σ_{HS}) / 5.5
> 300	[(Pl - σ_{HS}) / 10] + 25

Para realizar análisis de sensibilidad del valor de la Cu en el caso de no disponerse de ensayos directos, se utiliza la siguiente relación:

N _{SPT}	c _a Kg/cm²
< 2	< 0.125
2 - 4	0.125 - 0.25
4 - 8	0.25 - 0.5
8 - 15	0.5 - 1
15 - 30	1 - 2
> 30	> 2

Figura 7. Valores de cu en función de NSPT, según Terzaghi y Peck (1948) solo para arcillas saturadas.

Por otro lado, en materiales cohesivos puros, se valora la aproximación a la Cu a partir de la resistencia a la compresión del terreno qu, mediante la relación $Cu = q_u/2$.

4.1.5.- Análisis químico

Para la designación del ambiente del terreno o el agua en cuanto a su agresividad química, se sigue el Código Estructural.

A continuación, se muestran los rangos considerados para los diferentes parámetros:

Tipo de medio agresivo	Parámetros	Tipo de exposición		
		XA1	XA2	XA3
		Ataque débil	Ataque medio	Ataque fuerte
AGUA.	VALOR DEL pH, según UNE 83952.	6,5 - 5,5	5,5 - 4,5	< 4,5
	CO ₂ AGRESIVO (mg CO ₂ / l), según UNE-EN 13577.	15 - 40	40 - 100	> 100
	IÓN AMONIO (mg NH ₄ ⁺ / l), según UNE 83954.	15 - 30	30 - 60	> 60
	IÓN MAGNESIO (mg Mg ²⁺ / l), según UNE 83955.	300 - 1000	1000 - 3000	> 3000
	IÓN SULFATO (mg SO ₄ ²⁻ / l), según UNE 83956.	200 - 600	600 - 3000	> 3000
	RESIDUO SECO (mg / l), según UNE 83957.	75 - 150	50 - 75	< 50
SUELO.	GRADO DE ACIDEZ. BAUMANN-GULLY (ml/kg), según UNE-EN 16502.	> 200	(*)	(*)
	IÓN SULFATO (mg SO ₄ ²⁻ / kg de suelo seco), según UNE 83963.	2000 - 3000	3000 - 12000	> 12000

(*) Estas condiciones no se dan en la práctica.

Tabla 9. Tabla 27 1.b del Código Estructural. Clasificación de la agresividad química.

En función de su agresividad, los materiales pueden presentar ambientes desde no agresivos hasta XA1, XA2 y XA3.

4.1.6.- Estimación del K30

Para asignar el K30, se pueden utilizar los siguientes valores propuestos por Terzaghi para suelos arcillosos o arenosos:

VALORES DE K30 PROPUESTOS POR TERZAGHI	
Suelo	k30 (kp/cm³)
Arena seca o húmeda:	
-Suelta	0,64-1,92 (1,3)*
-Media	1,92-9,60 (4,0)
-Compacta	9,60-32 (16,0)
Arena sumergida:	
-Suelta	(0,8)
-Media	(2,50)
-Compacta	(10,0)
Arcilla:	
qu=1-2 kp/cm²	1,6-3,2 (2,5)
qu=2-4 kp/cm²	3,2-6,4 (5,0)
qu>4 kp/cm²	>6,4 (10)
*Entre paréntesis los valores medios propuestos	

Figura 8. Valores de K30 propuestos por Terzaghi para diferentes materiales.

Para arcillas Terzaghi propuso la siguiente correlación $K30 = 1,645 \times q_u$.

VALORES DE K30 PROPUESTOS POR DIVERSOS AUTORES	
Suelo	k30 (kp/cm³)
Arena fina de playa	1,0-1,5
Arena floja, seca o húmeda	1,0-3,0
Arena media, seca o húmeda	3,0-9,0
Arena compacta, seca o húmeda	9,0-20,0
Gravilla arenosa floja	4,0-8,0
Gravilla arenosa compacta	9,0-25,0
Grava arenosa floja	7,0-12,0
Grava arenosa compacta	12,0-30,0
Margas arcillosas	20,0-40,0
Rocas blandas o algo alteradas	30,0-500
Rocas sanas	800-30.000

Figura 9. Valores de K30 propuestos por diversos autores para suelos y rocas.

El valor de K obtenido es posible extrapolarlo para losas y zapatas de dimensiones BxL mediante la siguiente expresión:

$$K' = \frac{2}{3} \cdot K \cdot \left(1 + \frac{b}{2 \cdot l} \right)$$

4.2.- CARACTERIZACIÓN DE LAS UNIDADES

A continuación, se incluye la caracterización de las unidades que afectan al trazado de más antigua a más moderna.

4.2.1.- UG-Cc alt

Se trata de calizas masivas recrystalizadas, con un alto grado de karstificación, grado de meteorización III-IV, que han sido identificadas con una potencia de 0,9 m en el sondeo S-3, y en el sondeo S-2 se ha identificado una potencia mayor a 12,2 m, sin haberse alcanzado la base de la unidad en la perforación.



Fotografía 10. Caliza alterada con fracturas llenas de material blando. Sondeo S-2 de 7,00 a 10,10 m.

A continuación, se resumen los ensayos de laboratorio realizados en el conjunto de esta unidad:

PROSPECCION	DESCRIPCION	UNIDAD GEOTECNICA	MUESTRA					Humedad (UNE 103300)	Peso Específico Part. (UNE 103302)	Densidad Seca (UNE 103301)	Densidad Aparente (UNE 103301)	Compresión Simple (UNE 22950-1)		Corte por Diaclasa		Franklín (UNE-22950-1 y NLT-252)
			TIPO	PROFUNDIDAD INICAL	PROFUNDIDAD FINAL	PROFUNDIDAD MEDIA	GOLPEOS	W	P. específico	Yseca	Yap.	q u	e	c	φ	
								(%)	(kN/m³)	(kN/m³)	(kN/m³)	Mpa	(mm)	Kpa	(°)	Kpa
S2	Caliza IV	Cc-alt	TP	5,15	5,45	5,3						33,18				
S2	Caliza IV	Cc-alt	TP	7,00	7,30	7,2		0,1	22,3	27	27			179,45	33,84	
S2	Caliza IV	Cc-alt	TP	7,80	8,00	7,9		0,3	23,7	26,8	26,8	37,35				
S2	Caliza IV	Cc-alt	TP	11,80	12,00	11,9		0,6	24,5	26,00	26,1					5,93

NUMERO DE VALORES	3	3	3	3	2	0	1	1	1
VALOR MEDIO	0,33	23,50	26,60	26,63	35,27		179,45	33,84	5,93
VALOR CARACTERÍSTICO	0,21	22,94	26,34	26,40	33,79				
DESVIACIÓN TÍPICA	0,25	1,11	0,53	0,47	2,95				
VALOR MÁXIMO	0,60	24,50	27,00	27,00	37,35		179,45	33,84	5,93
VALOR MÍNIMO	0,10	22,30	26,00	26,10	33,18		179,45	33,84	5,93
MEDIANA	0,30	23,70	26,80	26,80	35,27		179,45	33,84	5,93
VARIANZA	0,06	1,24	0,28	0,22	8,69				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0,75	0,05	0,02	0,02	0,08		0,00	0,00	0,00

Tabla 10. Resumen de ensayos de laboratorio para la unidad UG-Cc alt.

4.2.1.1.- Identificación y estado

Se han llevado a cabo tres ensayos de densidad en muestras de roca de esta unidad en las que se han obtenido valores similares de 26,1y 27 kN/m3, resultando un valor medio de 26,4 kN/m3.

- $\gamma = 26,4 \text{ kN/m}^3$

Por otro lado, del análisis llevado a cabo de esta roca en los sondeos llevados a cabo para el estudio del trazado, se obtienen los siguientes parámetros característicos:

Se resumen a continuación, los parámetros obtenidos en los sondeos en los que se ha perforado esta unidad:

UG	Potencia (m)	Grado alteración	RQD (%)	JRC	GSI	RMR ₈₉
Cc-alt	0,9 - 12 m	III-IV	20	10-12	20	25

Tabla 11. Parámetros resumen en sondeo para la unidad UG-Cc-alt

Adicionalmente, se han ensayos dos muestras tomas en el sondeo S-2 que corresponden con el material arcillo que se ha identificado dentro de las zonas de fracturación de la unidad.

PROSPECCION	DESCRIPCION	UNIDAD GEOTECNICA	MUESTRA		Humedad (UNE 103300)	Compresión Simple (UNE 103400)
					W	C. Simple
			PROFUNDIDAD MEDIA	GOLPEOS	(%)	qu (kPa)
S2	Caliza IV-Relleno	Cc-alt	9,0		23,7	176
S2	Caliza IV-Relleno	Cc-alt	9,7		24,8	103

Tabla 12. Ensayos de laboratorio realizado en materiales de relleno.

Obteniéndose de estos dos ensayos de compresión simple una humedad de 24,3% y una resistencia a compresión de 140 kPa.

4.2.1.2.- Parámetros resistentes

Para caracterizar la resistencia de la matriz rocosa, se cuenta con ensayos de laboratorio de compresión simple, corte por diaclasas y un ensayo franklin. En la siguiente grafica se muestra la distribución de la resistencia a compresión simple en función de la profundidad.

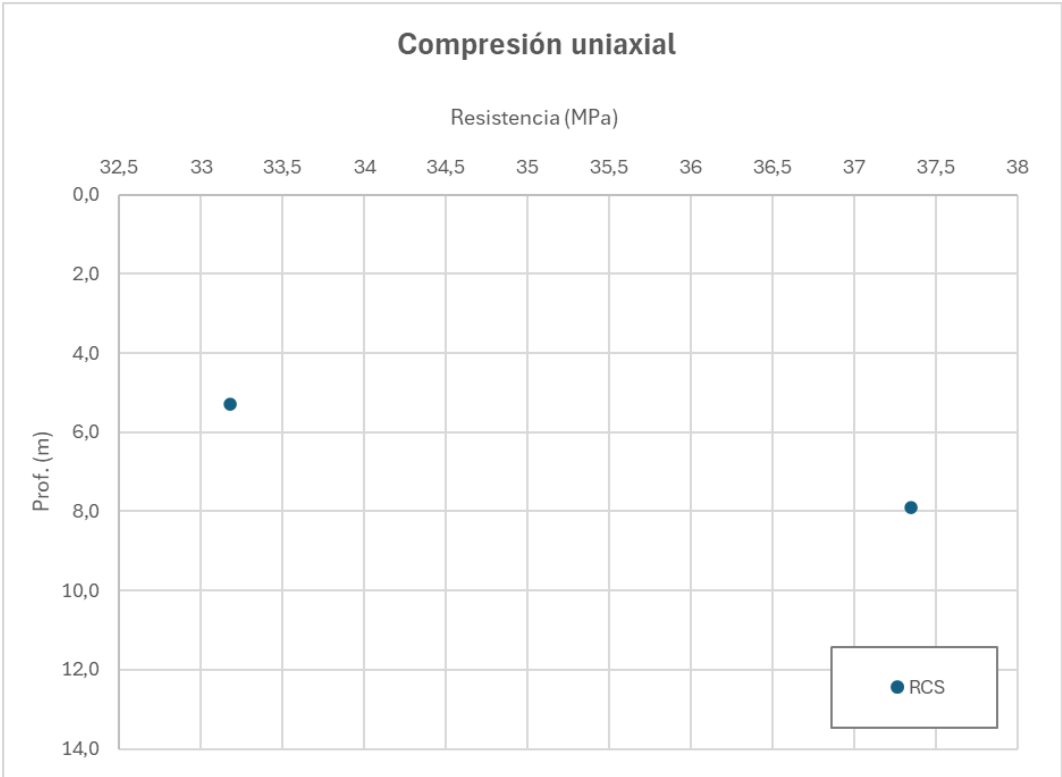


Figura 10. Resistencia a la compresión simple. UG-Cc alt.

En base los datos obtenidos en los ensayos de resistencia compresión simple y utilizando el programa de RSData del Rocscience se estima el módulo de deformación:

- RCS: 33 MPa
- E: 530 MPa

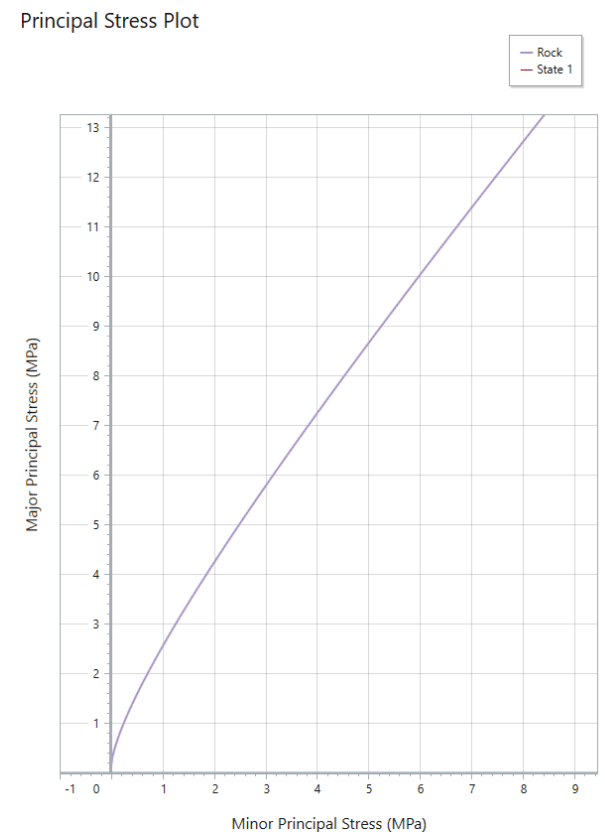


Figura 11. Ajuste resistencia para la roca alterada. UG-Cc alt.

Además, se ha realizado un ensayo de corte por diaclasas, obteniendo los siguientes resultados:

- C: 179 kPa
- Φ : 33 °

4.2.1.3.- Permeabilidad

En el sondeo S-2 se han realizado dos ensayos lugeon y un ensayo lefranc, pero debido al grado de alteración y fracturación del material perforado no se han podido tomar medidas de la permeabilidad. A continuación, se muestran las profundidades a las que se intentó realizar los ensayos.

Sondeo	Tipo	Prof. superior (m)	Prof. inferior (m)
S-2	Lefranc	0	13
S-2	Lugeon	11	13
S-2	Lugeon	15	17

Tabla 13. Ensayos de permeabilidad realizados.

4.2.1.4.- Aprovechamiento

En base a los datos disponibles es razonable pensar que la unidad que nos ocupa podría ser apta como núcleo de terraplén o pedraplén, descartando los niveles arcillosos y aprovechando los niveles de roca sana fracturada. En este caso, este nivel, entendiendo que el tramo resulta excedentario en materiales, y existe un material de mejores características a excavar, no será aprovechado.

4.2.1.5.- Parámetros resumen

A continuación, se presentan los parámetros característicos de esta unidad.

Los parámetros del terreno se proponen en base a los anteriores apartados, siempre basados en ensayos de laboratorio. Para este tipo de materiales rocosos, se estima, de acuerdo a los criterios indicados en el apartado 4.1.6 un K30 característico de 30 kg/cm3 al tratarse de una roca caliza alterada con compresión simple de 33 MPa.

No se considera que la unidad presente agresividad.

UNIDAD	Espesor (m)	W	γ	RCS	E	c	ϕ	Ep	K30	Agresividad según cód. estructural
		(%)	(kN/m ³)	Mpa	Mpa	Kpa	(°)	Mpa	kg/cm3	
Cc alt	0,9- >12,2	0,21	22,94	33,8	530	179	33	-	30	-

Tabla 14. Parámetros resumen de la unidad Cc alt.

5404027-L1-DD-204_02

4.2.2.- UG-Cc sana

Se trata de calizas masivas de grado de alteración II, que han sido identificadas en los sondeos S-3 y S-4. En la siguiente fotografía se muestra la unidad perforada en el sondeo S-4:



Fotografía 11. Caliza sana con alguna fracturas. Sonde S-4 de 17,00 a 20,00 m.

A continuación, se resumen los ensayos de laboratorio realizados en el conjunto de esta unidad:

PROSPECCION	DESCRIPCION	UNIDAD GEOTECNICA	MUESTRA					Humedad (UNE 103300)	Peso Específico Part. (UNE 103302)	Densidad Seca (UNE 103301)	Densidad Aparente (UNE 103301)	Compresión Simple (UNE 22950- 1)	Compresión Simple con bandas (UNE 22950-3)			Corte por Diaclasa		PRESIÓMETRO		
			TIPO	PROFUNDIDAD INICAL	PROFUNDIDAD FINAL	PROFUNDIDAD MEDIA	GOLPEOS	W	P. especifico	Y _{seca}	Y _{ap}	q _u	q _u	E	v	c	φ			
								(%)	(kN/m³)	(kN/m³)	(kN/m³)	Mpa	Mpa	Mpa		Kpa	(°)	Ep Fase elástica inicial (Mpa)	PL Presión Límite (Mpa)	Ep Ciclo Descarga- Recarga (Mpa)
S2	Caliza II	Cc-sana	TP	15,90	16,25	16,1		0,4	22,5	26,5	26,6		44,02	83300	0,33					
S3	Caliza II	Cc-sana	TP	3,10	3,60	3,4		0,2	21,8	26,8	26,9	46,06								
S3	Caliza II	Cc-sana		3,10	3,70	3,4												648,89	>4	842,50
S3	Caliza II	Cc-sana	TP	4,90	5,50	5,2		0,2	24,2	26,7	26,8	47,04								
S3	Caliza II	Cc-sana	TP	6,10	6,60	6,4		0,2	24,5	26,7	26,8	67,70								
S3	Caliza II	Cc-sana		10,30	10,90	10,6												138,30	>7	1084,60
S3	Caliza II	Cc-sana	TP	10,57	10,95	10,8		0,2	23,6	27,00	27,1					248,09	36,95			
S3	Caliza II	Cc-sana	TP	13,85	14,10	14,0		0,6					52,08	53809	0,3					
S3	Caliza II	Cc-sana	TP	14,30	14,55	14,4		0,2	23,4	27,1	27,1	38,92								
S4	Caliza II	Cc-sana	TP	4,80	5,06	4,9		0,3	23,9	27,1	27,2	39,34								
S4	Caliza II	Cc-sana	TP	8,00	8,60	8,3		1,4	24,7	26,7	27,1					244,17	38,63			
S4	Caliza II	Cc-sana	TP	10,25	10,75	10,5							10,42	19686	0,15					
S4	Caliza II	Cc-sana	TP	12,20	12,50	12,4		0,6					22,46	13110	0,27					
S4	Caliza II	Cc-sana	TP	16,75	17,00	16,9						14,73								
S4	Caliza II	Cc-sana	TP	17,00	17,35	17,2		0,1	23,3	26,9	26,9					181,41	30,13			
S4	Caliza II	Cc-sana	TP	20,00	20,20	20,1		0,1	23,4	26,9	26,8	32								

NUMERO DE VALORES	12	10	10	10	7	4	4	4	3	3	2		2
VALOR MEDIO	0,38	23,53	26,84	26,93	40,83	32,25	42476,25	0,26	224,56	35,24	393,60		963,55
VALOR CARACTERÍSTICO	0,19	23,09	26,74	26,84	32,78	22,65	26205,67	0,22	205,85	32,99	213,08		877,95
DESVIACIÓN TÍPICA	0,36	0,88	0,20	0,19	16,09	19,18	32541,16	0,08	37,42	4,50	361,04		171,20
VALOR MÁXIMO	1,40	24,70	27,10	27,20	67,70	52,08	83300,00	0,33	248,09	38,63	648,89		1084,60
VALOR MÍNIMO	0,10	21,80	26,50	26,60	14,73	10,42	13110,00	0,15	181,41	30,13	138,30		842,50
MEDIANA	0,20	23,50	26,85	26,90	39,34	33,24	36747,50	0,29	244,17	36,95	393,60		963,55
VARIANZA	0,13	0,78	0,04	0,04	258,83	368,05	1058927307	0,01	1400,06	20,26	130348,47		29308,15
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0,97	0,04	0,01	0,01	0,39	0,59	0,77	0,30	0,17	0,13	0,92		0,18

Tabla 15. Resumen de ensayos de laboratorio para la unidad UG-Cc sana.

4.2.2.1.- Identificación y estado

Se han llevado a cabo tres ensayos de densidad en muestras de roca de esta unidad en las que se han obtenido valores similares de 26,6 y 27,2 kN/m3, resultando un valor medio de 26,84 kN/m3.

- γ = 26,8 kN/m3

Se resumen a continuación, los parámetros obtenidos en los sondeos en los que se ha perforado esta unidad:

UG	Potencia (m)	Grado alteración	RQD (%)	JRC	GSI	RMR ₈₉
Cc-sana	>12 m	II	70	6-8	75	80

Tabla 16. Parámetros resumen en sondeo para la unidad UG-Cc sana

4.2.2.2.- Parámetros resistentes

Para caracterizar la resistencia de la matriz rocosa, se cuenta con ensayos de laboratorio de compresión simple y corte por diaclasas sobre muestras tomadas en sondeo.

5404027-L1-DD-204_02

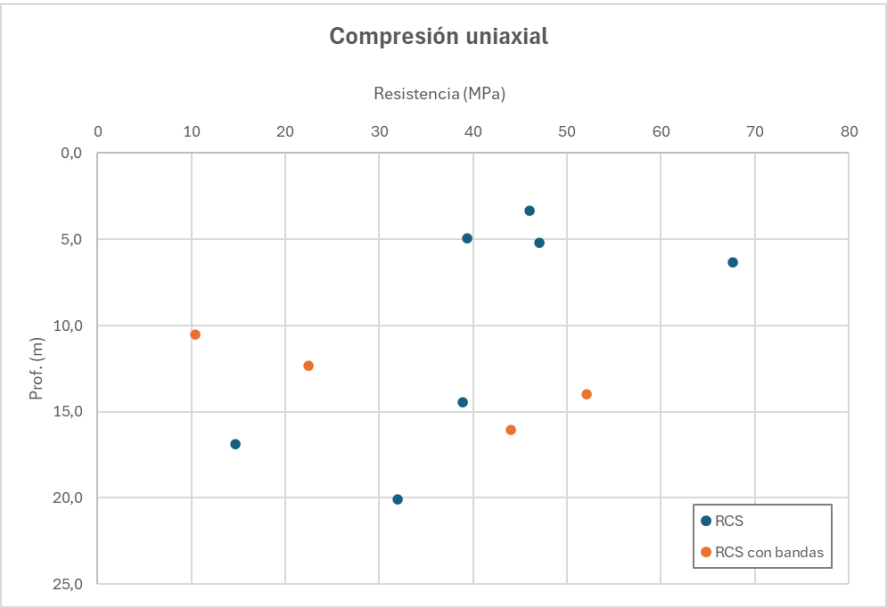


Figura 12. Resistencia a la compresión simple. UG-Cc sana.

En base los datos obtenidos en los ensayos de resistencia compresión simple y resistencia con bandas, se ha utilizado el programa de RSData del Rocscience se estima el módulo de deformación:

- RCS: 37 MPa
- E: 8.211 MPa

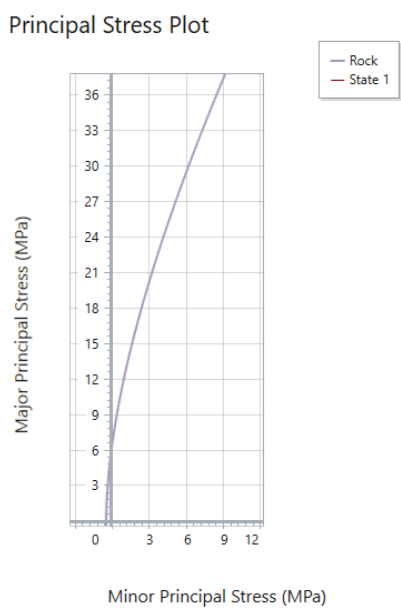


Figura 13. Ajuste resistencia para la roca alterada. UG-Cc

De los cuatro ensayos de compresión simple con bandas se han obtenido los siguientes valores para el módulo elástico y poisson:

- E: 26205.7 MPa

- ν : 0.22

Además, se ha realizado un ensayo de corte por diaclasas, obteniendo los siguientes resultados:

- C: 205 kPa
- Φ : 33 °

4.2.2.3.- Parámetros deformacionales

En esta unidad de tipo rocoso no se han llevado a cabo ensayos de SPT o penetrómetros, estimándose que se obtendrían golpes de rechazo sistemáticos.

Para obtener el módulo elástico de estos materiales, se consultan los ensayos presiométricos y se obtiene el módulo mediante la metodología expuesta en el apartado de Metodología para la caracterización geotécnica. Se dispone de varios ensayos presiométricos cuyos resultados se muestran a continuación:

PROSPECCION	MUESTRA		PRESIÓMETRO		
	PROFUNDIDAD INICAL	PROFUNDIDAD FINAL	Ep Fase elástica inicial (Mpa)	PL Presión Límite (Mpa)	Ep Ciclo Descarga-Recarga (Mpa)
S3	3,10	3,70	648,89	>4	842,50
S3	10,30	10,90	138,30	>7	1084,60

Tabla 17. Estimación del valor Ep según ensayo presiométrico.

En base a este ensayo, se obtiene el siguiente módulo elástico para los materiales de esta unidad:

PROSPECCION	MUESTRA		PL Presión Límite (Mpa)	Ep Ciclo Descarga-Recarga (Mpa)	Ep/PI	α	E (elasticidad)
	PROFUNDIDAD INICAL	PROFUNDIDAD FINAL					MPa
S3	3,10	3,70	4	842,50	210,62	0,67	1263,7
S3	10,30	10,90	7	1084,60	154,94	0,67	1626,9

Tabla 18. Módulo de elasticidad obtenido a partir del módulo presiométrico. UG-Cc

Con estos ensayos, se obtienen valores medios de presión límite de 5,5 MPa, un Módulo de presiométrico de 878 MPa, y un módulo elástico de 1316,9 MPa.

A partir del ensayo presiométrico, también se puede obtener la resistencia al corte no drenada del macizo mediante el método semiempírico, que relaciona este parámetro con la presión límite.

Así pues,

$$C_u = \frac{P_L^*}{\beta^*}$$

Siendo:

PI* la presión límite neta: PI-Poh.

β^* : Parámetro dependiente del tipo de terreno. En este caso, para los materiales de tipo rocoso que afectan al trazado, se ha estimado conservadoramente un valor de 8.

En este caso, se obtiene una cu para esta unidad de 545 kPa.

Como se indica en el apartado de metodología, los valores de β^* suelen variar dependiendo del autor y del tipo de material estudiado, estando los valores que se mencionan en la bibliografía entre 2 y 8. En el caso de adoptarse valores de 2, la Cu ascendería hasta los 2,5 MPa, siendo de 1 MPa en el caso de adoptar un valor de β^* de 5.

Para el caso de materiales rocosos, los cálculos de cimentación sobre este tipo de materiales no requieren de la definición de este parámetro, por lo que la recomendación de un valor conservador se considera lo más razonable.

Para este tipo de materiales rocosos, se estima, de acuerdo con los criterios indicados en el apartado 4.1.6 un K30 característico de 800 kg/cm3 al tratarse de una roca sana caliza con compresión simple de 37 MPa.

UNIDAD	Espesor (m)	W	γ	RCS	E	c	φ	Ep	K30	Agrasividad según cód. estructural
		(%)	(kN/m³)	Mpa	Mpa	Kpa	(°)	Mpa	kg/cm3	
Cc sana	>12	0,19	23,5	37	1317	205	33	213	800	XA1

Tabla 20. Parámetros resumen de la unidad Cc sana.

4.2.2.4.- Permeabilidad

Se ha realizado un ensayo de permeabilidad tipo lugeon en el sondeo S-4, alcanzado la presión suficiente para mostrar resultados, siendo la permeabilidad de 1.21x10⁻⁶ m/s, lo que se califica como una permeabilidad baja.

Sondeo	Tipo	Prof. superior (m)	Prof. inferior (m)	U.L.	k (m/s)
S-4	Lugeon	15,5	17,5	128,5	1,21E-06

Tabla 19. Ensayos de permeabilidad en UG-Cc sana.

Sólo uno de ellos alcanzó la presión suficiente para mostrar un resultado, siendo este de 1,41x10-6 m/s, lo que se califica como una permeabilidad baja.

4.2.2.5.- Aprovechamiento

Esta unidad, de naturaleza calcárea y estado sano, se considera apta para su utilización en los rellenos del tramo, pudiendo considerarse como pedraplén. Una vez excavada, deberá ser debidamente machacada para obtener el tamaño de bloque adecuado al espesor de tongada.

4.2.2.6.- Parámetros resumen

Los parámetros del terreno se proponen en base a los anteriores apartados, siempre basados en ensayos de laboratorio y presiómetros disponibles en esta unidad. No se considera que la unidad presente agresividad.

5404027-L1-DD-204_02

4.2.3.- UG-Qc

En todas las investigaciones se ha identificado un nivel superficial de materiales cuaternarios asociado a depósitos coluviales, con profundidades que varían desde 2,2 m en el sondeo S-3 hasta los 4,8 m en los sondeos S-2 y S-4.



Fotografía 12. Depósitos coluviales. Sondeo S-2 de 0,00 a 3,70 m.

A continuación, se muestran los ensayos de laboratorio disponibles realizados en esta unidad:

			Humedad (UNE 103300)		Peso Especifico Part. (UNE 103302)	Densidad Seca (UNE 103301)	Densidad Aparente (UNE 103301)	Granulometría Tamiz (UNE 103101)																Límites Atterberg (UNE 103103-104)			Clasificación de suelos SUCS	Materia Orgánica (UNE 103204)	Carbonatos (UNE 103200)	Sulfatos (UNE 103201)	Sales Solubles (NLT-114/99)	Corte Directo (UNE 103401)			Edómetro (UNE 103405)				
PROSPECCION	UNIDAD GEOTECNICA	MUESTRA			W	P específico	Y _{seca}	Y _{sp}	Granulometría (mm)																Límites Atterberg			E. Químicos				CORTE DIRECTO			e o	C c	Cs	Em (Mpa)	
		TIPO	PROFUNDIDAD MEDIA	GOLPEOS	(%)	(kN/m³)	(kN/m³)	(kN/m³)	100	63	50	40	25	20	12,5	10	6,3	5	2	1,25	0,63	0,4	0,16	0,08	LL	LP		IP	USCS					Tipo					c' kPa
S4	Qcd	MI	0,8	13	13,3	22,6		100	100	100	100	84,32	77,43	64,89	58,65	50,78	46,43	35,77	29,83	26,34	24,14	20,31	15,26	28,0	25,1	2,9	GM	0,23	0	9	0,04								
S4	Qcd	SPT	1,4	3	8,1			100	100	100	100	100	91,94	71,11	67,13	61,97	58,63	42,99	34,55	30,45	27,89	23,40	17,42	28,1	24,2	3,9	GM												
S2	Qcd	MI	1,1	11	19,8	22	16,5	19,8	100	100	100	100	100	100	96,83	96,83	96,14	95,32	92,28	89,97	88,41	87,39	84,88	77,08	36,4	24	12,4	CL	0,35	0	8	0,12	CDCD	11	36	0,239	0,064	0,008	9,66
S2	Qcd	SPT	1,7	9	20,9			100	100	100	100	100	100	100	100	98,97	98,54	94,98	91,81	89,81	88,51	85,53	77,53	35,7	23	12,7	CL												
			NUMERO DE VALORES		4	2	1	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2	3	2		1	1	1	1	1	1	
			VALOR MEDIO		15,53	22,30			100,00	100,00	100,00	100,00	96,08	92,34	83,21	80,65	76,96	74,73	66,51	61,54	58,75	56,99	53,53	46,82	32,05	24,08	7,98		0,29	0,00	8,00	0,08							
			VALOR CARACTERÍSTICO		15,14				100,00	100,00	100,00	100,00	96,08	92,34	82,09	79,53	75,96	73,59	65,55	60,89	58,25	56,59	53,30	46,66	31,80	23,72	7,87												
			DESVIACIÓN TÍPICA		0,78				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,24	2,24	2,00	2,28	1,91	1,30	0,99	0,79	0,46	0,32	0,49	0,71	0,21												
			VALOR MÁXIMO		20,90	22,60			100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,97	98,54	94,98	91,81	89,81	88,51	85,53	77,53	36,40	25,10	12,70		0,35	0,00	9,00	0,12							
			VALOR MÍNIMO		8,10	22,00			100,00	100,00	100,00	100,00	84,32	77,43	64,89	58,65	50,78	46,43	35,77	29,83	26,34	24,14	20,31	15,26	28,00	23,00	2,90		0,23	0,00	7,00	0,04							
			MEDIANA		16,55	22,30			100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	95,97	83,97	81,98	79,05	76,97	67,64	62,26	59,43	57,64	54,14	47,25	31,90	24,10	8,15		0,29	0,00	8,00	0,08							
			VARIANZA		35,75	0,18			0,00	0,00	0,00	0,00	61,45	113,26	316,54	434,40	587,55	683,56	990,88	1152,87	1231,96	1281,32	1339,27	1239,90	21,42	0,74	28,09		0,01	0,00	1,00	0,00							
			COEFICIENTE DE VARIACIÓN		0,05				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03											

Tabla 21. Resumen de ensayos de laboratorio en la unidad UG-Qc.

4.2.3.1.- Identificación y estado

Los ensayos de granulometría presentan poblaciones variables, siendo las muestras tomadas en el sondeo S-2 arcillo-arenosas mientras que las tomadas en el sonde S-4 son más gruesas, si bien existe una gran variabilidad de tamaños granulométricos no se considera anómalo debido al origen y formación de estos depósitos coluviales.

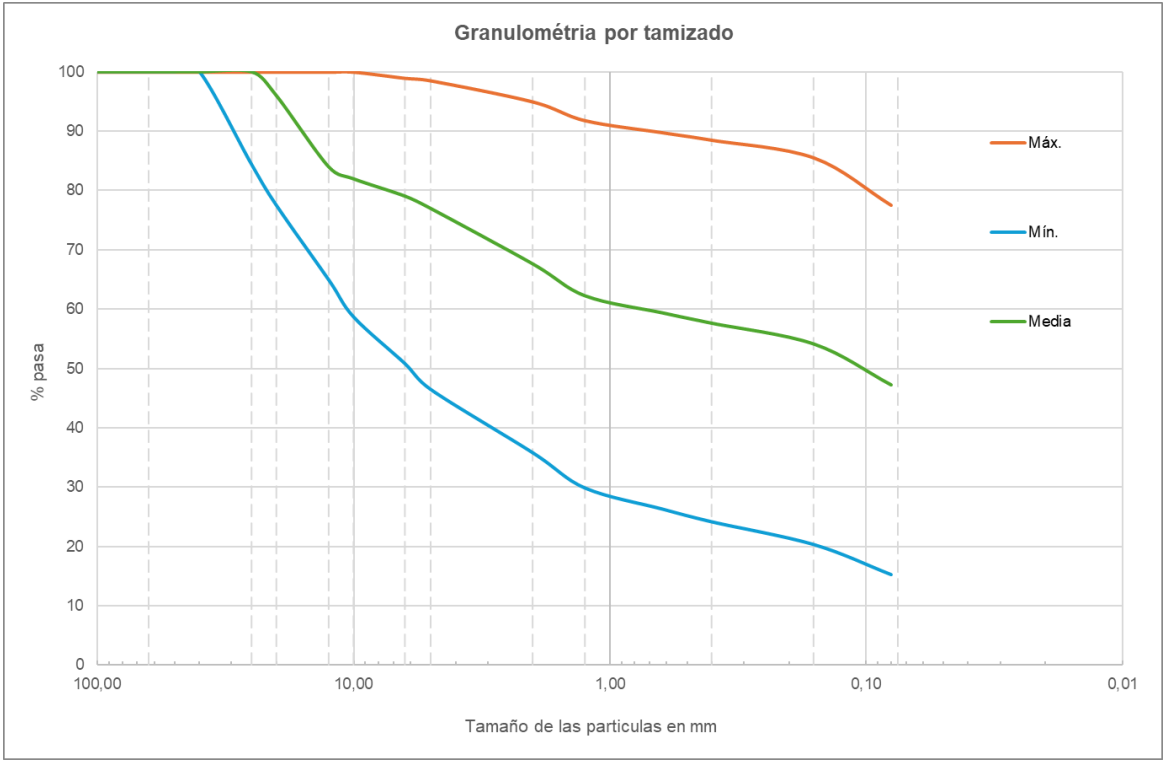


Figura 14. Distribución granulométrica media. UG-Qc.

Según su granulometría y plasticidad, las muestras ensayadas, se clasifican del siguiente modo, siendo la mitad de las muestras ensayadas GM y la otra mitad CL.

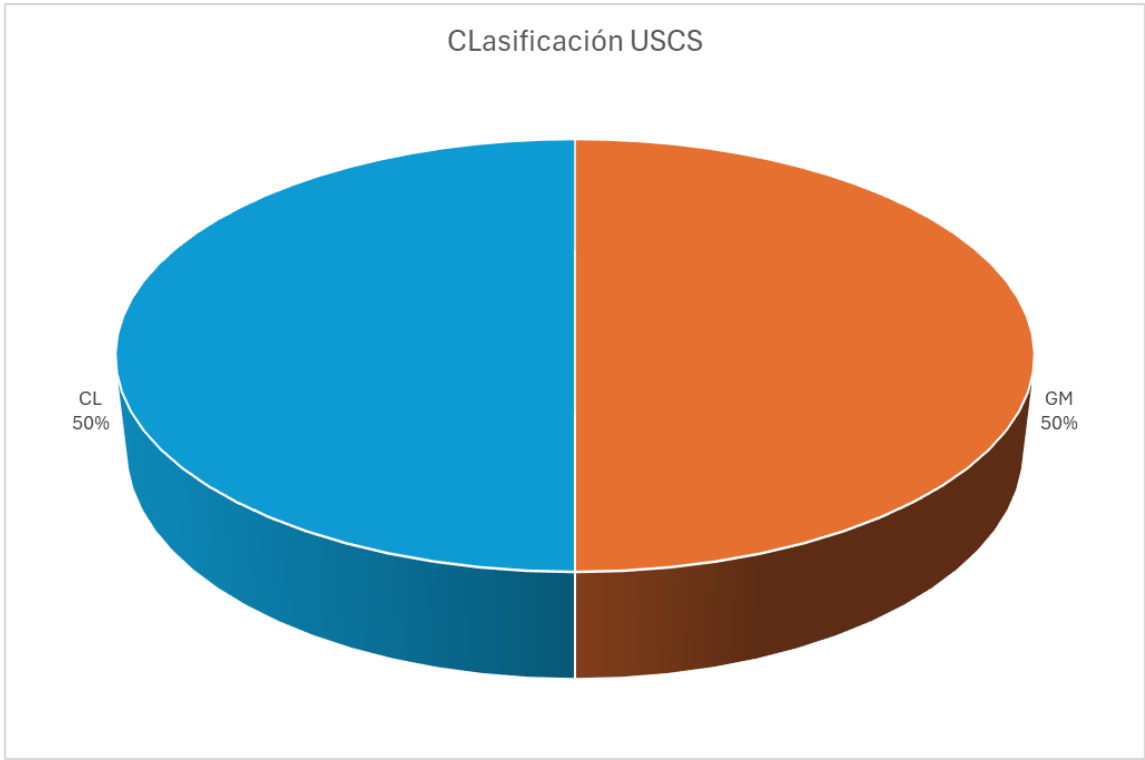


Figura 15. Clasificación USCS. UG-Qc.

Por su parte, los límites presentan una población homogénea con límites líquidos variando entre 28 y 36% en su mayor parte, indicando una plasticidad baja.

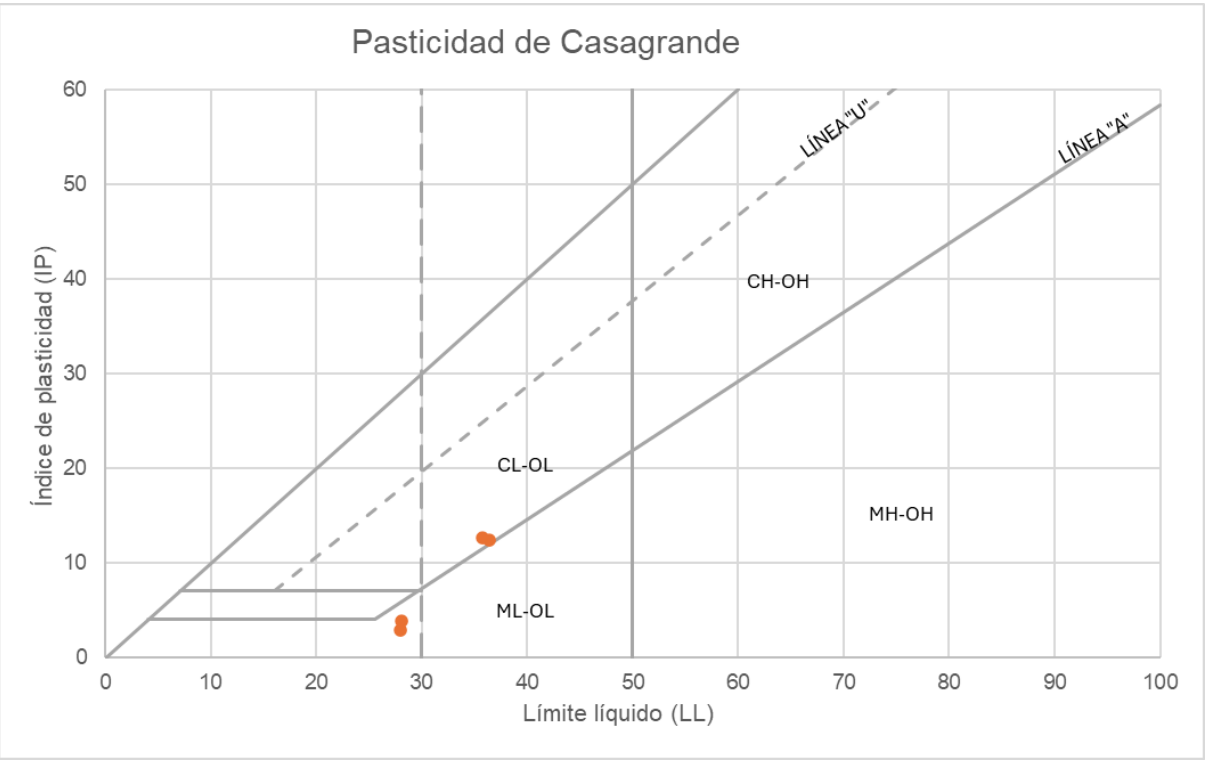


Figura 16. Plasticidad de la unidad Qc

En cuanto a la humedad y densidad de las muestras de esta unidad, se determina que la humedad media de la unidad es de 15,5%. Por otro lado, la densidad natural media es de 22,3 kN/m3 y la densidad seca de 16,5 kN/m3.

4.2.3.2.- Parámetros resistentes

Se indican a continuación, los goleos de SPT obtenidos en los sondeos perforados en la UG-Qc:

Se obtienen valores de entre 3 y 9. A continuación, se muestra la relación de estos golpes con la profundidad:

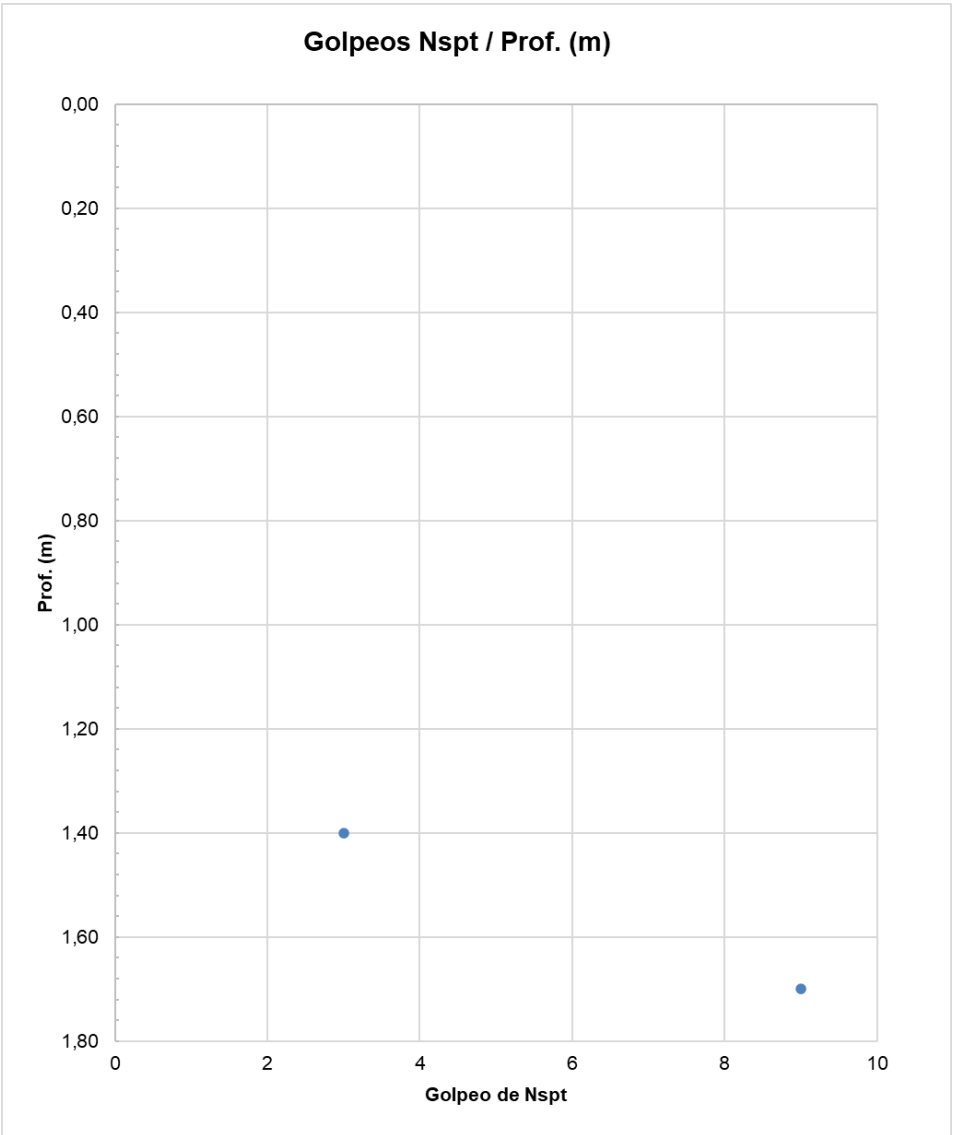


Figura 17. Golpes Nspt frente a profundidad.

4.2.3.3.- Parámetros deformacionales

Se dispone de 1 ensayo edométrico realizados en esta unidad. Se indican a continuación los parámetros obtenidos en dicho ensayo:

UNIDAD	Espesor (m)	W	γ	RCS	E	c	φ	Ep	K30	Agrasividad según cód. estructural
		(%)	(kN/m³)	Mpa	Mpa	Kpa	(°)	Mpa	kg/cm3	
Qc	2,2-4,8	15,1	22,3	-	-	10	35	-	9	No agresivo

Tabla 22. Parámetros resumen de la unidad UG-Qc.

- $e_0 = 0,239$
- $C_c = 0,064$
- $C_s = 0,008$

4.2.3.4.- Parámetros químicos

Se dispone de 3 ensayos de contenido en sulfatos que indican un valor medio de sulfatos SO4 de 0,02% y SO4 de 7,65 mg/Kg. Para el contenido de materia orgánica se han realizado 2 ensayos obteniendo 0,3 %, para el contenido de carbonatos >0%, y para el contenido de sales solubles se oba tenido una media de 0,0 %.

En base a los datos obtenidos, el análisis realizado para esta unidad se determina que no es agresiva al hormigón según el Código Estructura.

4.2.3.5.- Aprovechamiento

Dado que el tramo resulta excedentario en materiales, se recomienda retirar esta unidad a vertedero.

4.2.3.6.- Parámetros resumen

Se indican a continuación los parámetros característicos de esta unidad.

Los parámetros del terreno se proponen en base a los anteriores apartados, siempre basados en ensayos de laboratorio. Para este tipo de materiales granular, se estima, de acuerdo con los criterios indicados en el apartado 4.1.6 un K30 característico de 9 kg/cm3 al tratarse de un suelo. Se trata de una unidad que presenta no agresividad por sulfatos.

4.2.4.- Resumen de parámetros.

A continuación, se resume en forma de tabla las propiedades recomendadas para los materiales que afectan al diseño de las cimentaciones:

UNIDAD	Espesor (m)	W	γ	RCS	E	c	φ	Ep	K30	Agrasividad según cód. estructural
		(%)	(kN/m³)	Mpa	Mpa	Kpa	(°)	Mpa	kg/cm3	
Cc alt	0,9- >12,2	0,21	22,94	33,8	530	179	33	-	30	-
Cc sana	>12	0,19	23,5	37	1317	205	33	213	800	XA1
Qc	2,2-4,8	15,1	22,3	-	-	10	35	-	9	No agresivo

Tabla 23. Resumen de parámetros del terreno.

5.- OBRAS DE TIERRAS

A continuación, se describen la problemática y los criterios de diseño asociados a los desmontes y rellenos del proyecto.

5.1.- METODOLOGÍA DE CÁLCULO

En los siguientes apartados, se expone la metodología empleada para el diseño de las obras de tierra.

5.1.1.- Análisis de estabilidad

Se desarrollan a continuación los fundamentos de cálculo utilizados para el estudio de la estabilidad de las excavaciones.

5.1.1.1.- Rotura global de los taludes

Este análisis se refiere a la posibilidad de que se produzca la rotura global del talud en forma circular. Las condiciones en las que se da normalmente la rotura circular son aquellas en las que el tamaño de las partículas del terreno, entendido como un medio continuo, es muy pequeño en comparación con las dimensiones del talud. Esto sucede en suelos o en macizos rocosos muy fracturados y/o alterados.

El análisis de rotura global se ha realizado con ayuda del programa SLIDE V 7.0 (RocScience Inc.). Este programa calcula el equilibrio plástico que se da en un círculo de rotura predeterminado. Los datos que requiere el programa son: cohesión, ángulo de rozamiento, peso específico de los terrenos, geometría del talud y posición del nivel freático.

El programa calcula en una malla de centros dada por el usuario, el factor de seguridad de los posibles círculos que resultan de variar el radio en cada uno de los centros. Así es posible disponer de los contornos de factores de seguridad, lugar geométrico de los centros de los círculos de rotura, solventándose en parte la limitación de los métodos de equilibrio límite de tener que prefijar el círculo de rotura a priori. No obstante, también es posible analizar un círculo determinado.

5.1.2.- Criterios de excavabilidad

Para definir los límites de ripabilidad de los materiales del subsuelo se ha utilizado una tabla de correlación empírica que relaciona las velocidades de transmisión de ondas P, obtenidas en los modelos, con diferentes rangos de excavabilidad según los tipos de litologías existentes.

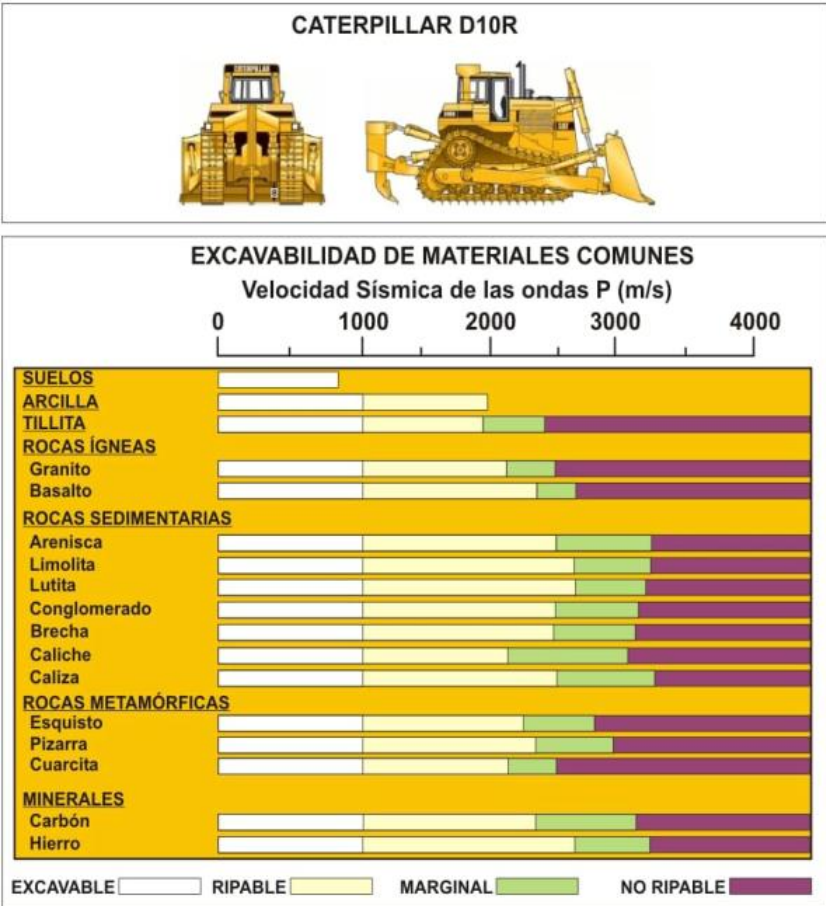


Figura 18. Tabla de ripabilidad basada en la máquina D-10R de Caterpillar. (Geotechnical Engineering Techniques and Practices, Hunt, Roy E, McGraw-Hill Book Company, 1986).

Los rangos definidos están relacionados con la potencia de una máquina ripadora determinada; En este caso se ha escogido la D10R de Caterpillar.

Los materiales se clasifican según su excavabilidad en:

- Excavable: Puede ser retirado mediante la pala de la excavadora.
- Ripable: Puede ser retirado mediante ripado con excavadora.
- Marginal: En función de su fracturación, estructura y buzamiento puede llegar a ser ripado.
- No ripable: No puede ser retirado ni con pala ni ripando (volable).

Según esta tabla de ripabilidades y teniendo en cuenta las litologías predominantes en la zona de estudio, se han definido como límites de ripabilidad los de las Rocas sedimentarias: Calizas.

- Materiales excavables: (velocidades inferiores a 1000 m/s). Se relacionan con material excavables que se corresponden con la cobertera vegetal, suelos o roca muy alterada.

- Materiales ripables: (Velocidades de entre 1000-2500 m/s). Se relacionan con niveles ripables que se corresponden con la roca alterada o fracturada.
- Materiales marginales: (Velocidades de entre 2500-3250 m/s). Se relacionan con niveles marginalmente ripables que corresponden a roca sana y poco fracturada.
- Materiales no ripables o volables. (Velocidades superiores a 3250 m/s). Se relacionan con niveles no ripables, que corresponden a roca más sana con bajo grado de alteración y fracturación.

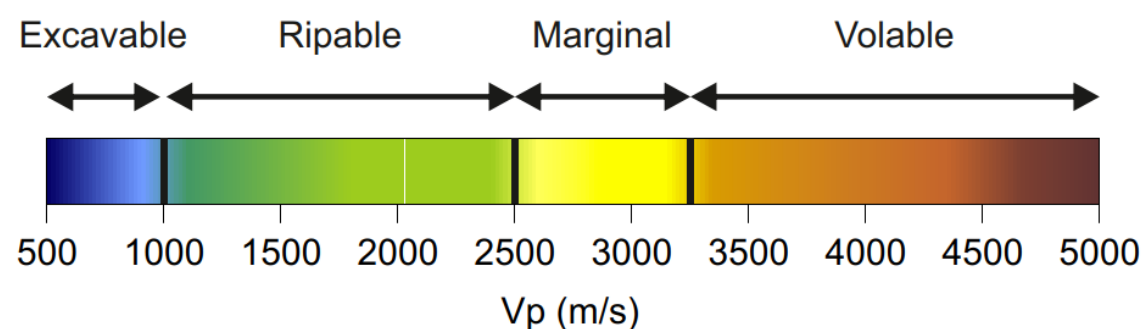


Figura 19. Límites de ripabilidad de las Calizas.

En el apéndice 6, se incluye el informe de geofísica realizado en los desmontes del trazado, en el que se pueden consultar los perfiles realizados.

5.1.3.- Modelo constitutivo

Para el análisis de las obras de tierra se han definido las unidades afectadas por las obras mediante el modelo de Mohr-Coulomb, utilizando la cohesión y fricción en el caso de los materiales de tipo suelo o roca alterada. En el caso de la unidad Cc la estabilidad de los taludes viene condicionada por las juntas de la roca.

5.1.3.1.- Taludes en suelo

Los análisis se basan en la posibilidad de que se produzca la rotura global del talud de forma circular, que es la forma en la que ocurre normalmente en los suelos. Las condiciones en las que se produce la rotura circular son aquellas en las que el tamaño de las partículas del suelo es muy pequeño en comparación con las dimensiones del talud.

Para analizar un talud determinado, es necesario conocer las características resistentes del material o materiales afectados y determinar la posición del centro y diámetro del círculo por donde se producirá o podrá producirse el deslizamiento.

Este círculo, conocido como círculo crítico, ha de satisfacer que la relación entre la resistencia al corte del suelo o material equivalente a lo largo de la superficie de deslizamiento y los esfuerzos tangenciales que tienden a producirlo son mínimos, en caso contrario se producirán inestabilidades.

Excepto en los casos en los que ya se ha producido el deslizamiento, en los que el círculo de rotura queda claramente definido, en el resto la posición de éste es meramente subjetiva.

Como se observa en el esquema de la figura siguiente, las fuerzas que actúan sobre una masa deslizante son: su propio peso, W , la resultante de las fuerzas exteriores gravitatorias que actúan sobre ella, A , la resultante de las fuerzas efectivas normales a la línea de rotura, $\tilde{N}$, la resultante de las tensiones tangenciales a la superficie de rotura, T , y la resultante de las presiones intersticiales sobre esta línea, U .

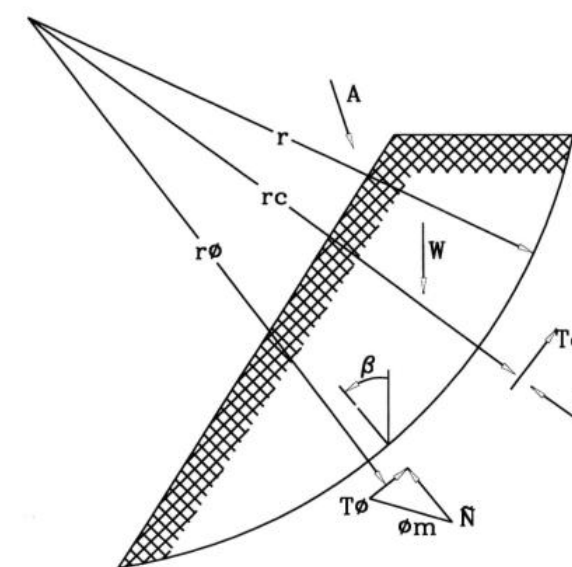


Figura 20. Esquema de fuerzas resultantes que actúan sobre una masa deslizante.

Existe una serie de métodos generales para estudiar este tipo de roturas en taludes. Uno de ellos es el método de las fajas, en el que la hipótesis de cálculo es que los esfuerzos normales se concentran en un punto único del círculo de deslizamiento.

En aquellos casos en que la superficie del talud es muy irregular o las superficies de rotura involucran materiales con características geotécnicas diferentes, es necesario analizar la estabilidad del talud mediante otros métodos, todos los cuales están basados en el denominado método de las fajas.

En el método de las fajas, la masa deslizante es dividida en un determinado número de dovelas verticales y se considera el equilibrio de cada una de ellas. En el esquema de la figura siguiente se muestra una faja con el sistema de fuerzas actuantes.

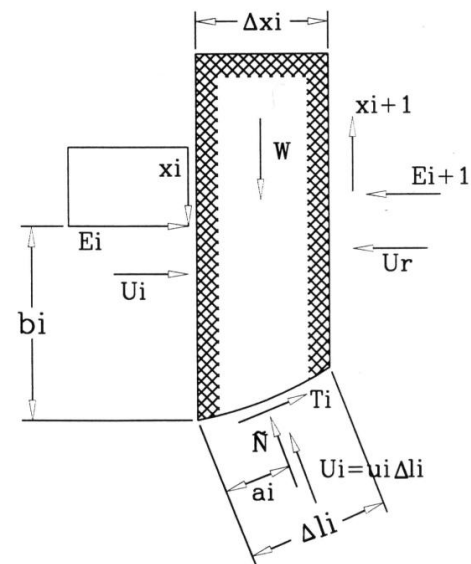


Figura 21. Sistema de fuerzas actuantes.

- Sistema de fuerzas actuante en una dovela:

Según el método de Bishop el factor de seguridad del círculo analizado se define en función de los momentos de las fuerzas resistentes y actuantes respecto del centro del círculo de deslizamiento.

$F = \text{Momento de fuerzas resistentes} / \text{Momento de fuerzas desfavorables}$.

En el esquema de la figura siguiente se muestra la descomposición en dovelas de un talud para su análisis mediante el estado de equilibrio límite, aplicando el método de Bishop.

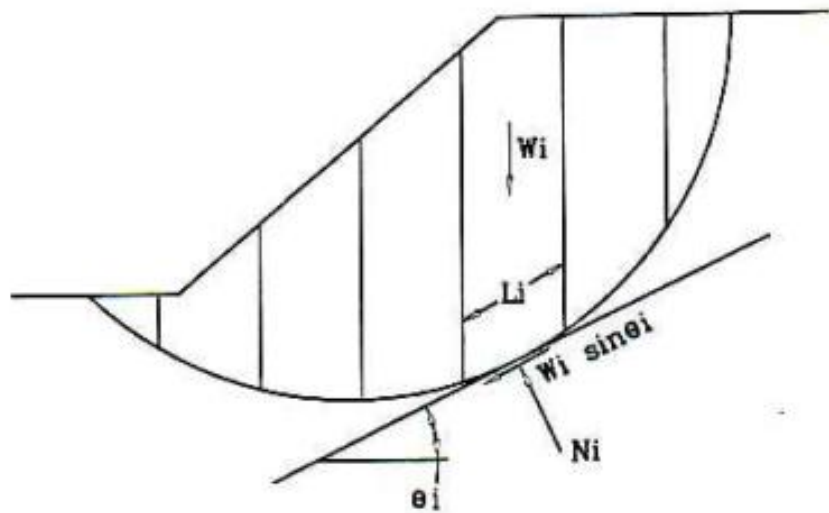


Figura 22. Descomposición en dovelas de un talud.

- Método de Bishop:

Los análisis (para los desmontes y terraplenes) se han realizado mediante la ayuda del programa informático SLIDE2, realizado por la casa comercial Rocscience. Este programa calcula el equilibrio límite que se produce en un círculo de rotura determinado.

Los datos que requiere el programa son:

- ✓ Cohesión, ángulo de rozamiento interno y peso específico de los suelos.
- ✓ Geometría del talud. Es posible adaptar la geometría prácticamente sin limitaciones, así como considerar diferentes terrenos, cada uno de ellos con su geometría y características geotécnicas particulares.
- ✓ Es posible considerar un nivel freático de geometría lineal.
- ✓ Se puede considerar un círculo de rotura, y a partir de él obtener valores aproximados de la cohesión y del ángulo de rozamiento interno, conocido el peso específico del terreno.

En cuanto a los parámetros geotécnicos, se usarán los obtenidos en las unidades que afecten a cada desmonte.

5.1.3.2.- Taludes en roca

Dado que algunos de los desmontes a excavar también afectarán a materiales rocosos, se ha estudiado la posibilidad de que se produzcan roturas estructurales a favor de las discontinuidades existentes.

El análisis de rotura estructural de los taludes rocosos se refiere a la posibilidad de que la estructura de la fracturación independice volúmenes de roca inestables. El análisis cinemático (posibilidad de movimiento de las masas rocosas independizadas por las juntas) se ha realizado utilizando la proyección estereográfica, con ayuda del programa DIPS.

La configuración de los principales tipos de bloques inestables en taludes ha sido definida por Hoek y Bray (1981) según se presenta en la figura siguiente. Los tipos más comunes de rotura según dicha figura son:

- Deslizamiento plano.
- Deslizamiento en cuña.
- Rotura por vuelco o "toppling".

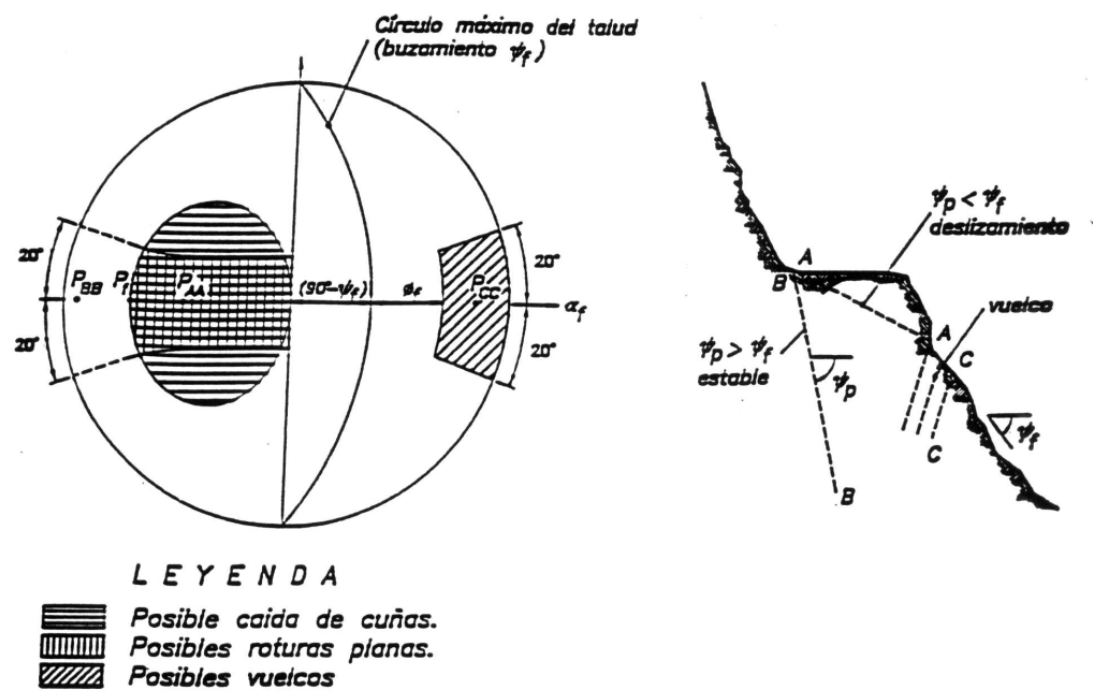


Figura 23. Principales mecanismos de rotura por fallo estructural.

5.1.4.- Materiales de nueva construcción

Se indica aquí la justificación de los parámetros a adoptar en los materiales de tipo terraplén, pedraplén o escollera.

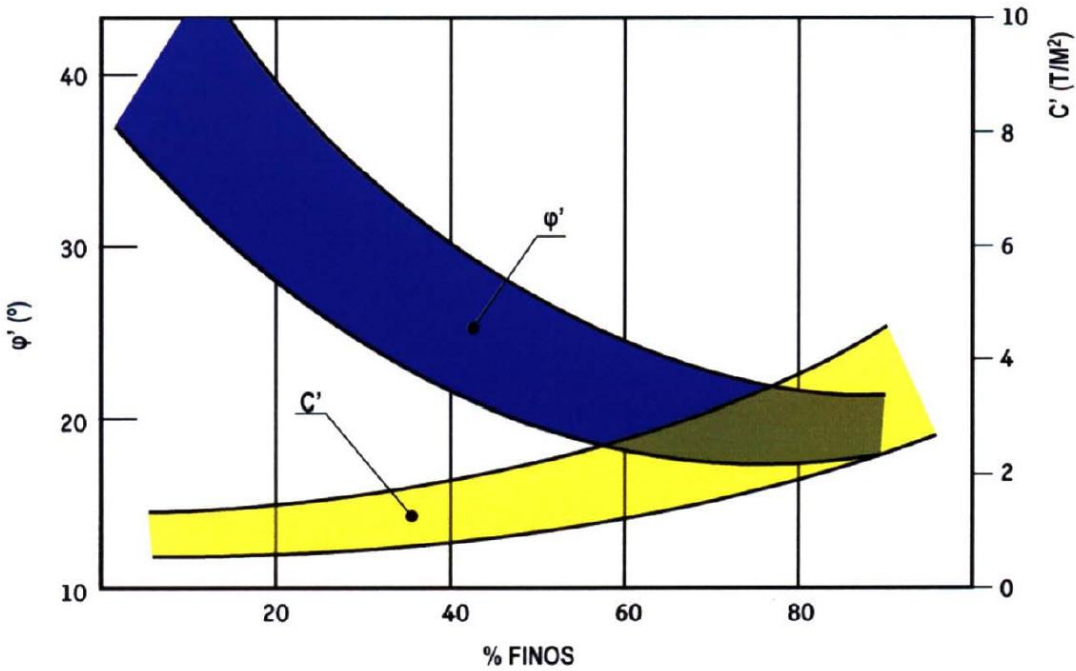
En el caso de los rellenos, se han adoptado las siguientes propiedades para las capas menos ensayables utilizadas en los cálculos propios de rellenos:

Unidad	Propiedades propuestas		
	γ kN/m ³	c kPa	φ °
Terrplén compactado	19	10	35
Terraplén cantera	19	5	35
Pedraplén	26	0	45

Tabla 24. Propiedades propuestas para los rellenos.

En el caso de los terraplenes, para la definición de los parámetros resistentes del material de tipo todo uno o terraplén del tramo, se ha de tener en cuenta que parte del material a emplear en la ejecución de los rellenos deberá proceder de cantera o de roca de machaqueo con variedad de tamaños y granulometría general de suelos gruesos granulares con un porcentaje medio a bajo de finos y del trazado.

En este tipo de materiales la definición de parámetros resistentes resulta muy compleja, especialmente en la definición de todo uno, ya que cuando no es un pedraplén, las normativas y códigos (PG3 y PPT) recomiendan que sean tratados como "terraplenes". Al no ser posible preparar muestras representativas del suelo compactado y realizar sobre ellas ensayos de corte directo o triaxiales. Una técnica habitual es la de acudir a la experiencia de obras similares o bibliografía. En este sentido, se destacan las recomendaciones del Profesor Oteo (2003), que desarrolló en base a las experiencias en todo tipo de obras de terraplenes viarios y ferroviarios la siguiente gráfica tentativa para establecer pares de cohesión y fricción de los terraplenes según su contenido en finos:



POSIBLE RESISTENCIA AL CORTE DE TERRAPLENES SEGÚN EL CONTENIDO DE FINOS (OTEO, 2003).

Figura 24. Estimación de parámetros resistentes en materiales de tipo terraplén compactado

Existen en la bibliografía técnica numerosas referencias de propiedades resistentes de terraplenes de tipo todo uno pétreo y pedraplén, generalmente asociados a la construcción de presas de materiales sueltos y escombreras mineras. Dada la elevada importancia de este tipo de obras, sí se suelen realizar ensayos en materiales gruesos mezclados con finos. Para un relleno que predominen los gruesos de cantera se podrían asumir valores de 42-45° y cohesión nula y para mezclas de suelos con fragmentos de roca, gravas y arenas valores de 36° y 30 KPa a 45° y cohesión nula, según referencias de ensayos reales en materiales compactados de presas en España:

VALORES DE LA RESISTENCIA AL CORTE TOMADOS EN ALGUNAS PRESAS ESPAÑOLAS (DE CEA Y OLALLA, 1991)

PRESA	Material	Granulometría	Densidad Proctor	Ensayos de resistencia			
				Tipo ensayo	dmax (")	C' (T/m²)	φ' (°)
Pajares (Logroño)	Zahorras	Pasa tamiz 3": 46,1% Pasa tamiz 200: 2%	2,02	Triaxial Ø 4"	1/2	0	33-45°
	Cuarcitas	Sin datos	2,20				
S. Rafael de Navallana (Córdoba)	Gran....??? y Pizarras	—	> 1,90	—	—	—	—
Zahara (Cádiz)	Calizas	—	1,95	—	—	0	45° (*)
La Viñuela (Málaga)	Esquistos, gravas y arenas	—	2,3	Triaxial Ø 4" C. Directo E. Pasivo	¾"	3 0 0	36° 47° 45,5° (**)
Arenas (Castellón)	Calizas	—	—	—	—	0 0	45° (***) 42° (****)

(*) Valores adoptados
(**) Ensayo de campo
(***) Adoptado en parte superior
(****) Adoptado en parte inferior

En otras referencias sobre materiales compactados como la ROM 0.5-05, se señalan valores de todo uno de cantera de 50° entendiendo que este tipo de parámetros se debe contrastar adecuadamente.

Tabla 4.9.9. Valores típicos para algunas propiedades de rellenos compactados en seco

Tipo de material	Peso específico seco γ_d (kN/m^3)	Resistencia al corte			Módulo de deformación $E_s^{(1)}$ (MN/m^2)
		Sin drenaje	Con drenaje		
			s_u (kN/m^2)	c (kN/m^2)	
Todo-uno de cantera	23	—	0	50	200
Gravas arenosas	21	—	0	45	150
Arenas limpias	19	—	0	35	50
Arenas limosas ⁽²⁾	18	—	10	32	40
Limos ⁽³⁾	14	40	20	28	20
Arcillas de baja plasticidad	16	200	20	25	20
Arcillas de alta plasticidad	13	100	20	20	10

(1) Módulo de recarga de ensayos de placa de carga de 30 cm de diámetro.
(2) Con más del 10% de contenido en finos.
(3) Los limos, compactados en seco, pueden colapsar (asentar sin variar la carga vertical) al saturarse.

Figura 25. Parámetros de materiales compactados ROM 0.5-05

5.2.- DESMONTES

En el trazado se han proyectado 4 tramos en desmonte con alturas variables que pueden alcanzar los 35 m en algunos puntos.

5.2.1.- Aspectos generales a tener en cuenta para la estabilidad de taludes

De acuerdo con los taludes inventariados en infraestructuras próximas al trazado, las pendientes que se podrán dar a los desmontes en roca podrían ser de 1H:3V con bermas de 2 m de ancho cada 10 m de altura. En la zona de estudio se han observado taludes similares sin aparentes signos de inestabilidad global, pudiendo comprobarse, por ejemplo, taludes cercanos excavados en el PK 0+940 con 9-10 m de altura y pendientes superiores a 70°.

En aquellas zonas donde la información es escasa o se dan signos de fractura o alteración en la roca se recomienda emplear taludes algo más tendidos 2H:3V cuando el talud tiene más de 20 m de altura. En caso de alturas menores de 20 m se recomienda un talud de 1H:2V.

Por último, para aquellos taludes en suelos se recomiendan taludes generales de 1H:1V.



Fotografía 13. Vista del talud cercano en PK 0+940 en la unidad Cc.

En el recorrido de campo se detectan signos de cuñas antiguas posiblemente desprendidas durante la excavación, no se aprecian caídas recientes, las bases de los taludes están limpias.



Fotografía 14. Vista del talud cercano en PK 0+420 en la unidad Cc.

Las bermas deberán ser ejecutadas con pendiente hacia el talud y cuneta de recogida de aguas que encaucen el agua de la lluvia que discurra por el talud y la evacuen hacia los laterales del desmonte.

Ninguno de los taludes inventariados presenta cuneta en coronación, si bien se considera recomendable proyectar este tipo de cuneta para reconducir el agua que pueda circular sobre la cara de los desmontes.

5.2.2.- Estudio de cada desmonte

A continuación, se describe cada desmonte individualizado como Obra Elemental en el perfil geotécnico incluido al final de este anejo.

5.2.2.1.- D1

5.2.2.1.1.- Geometría

Este desmonte se localiza entre los PK 0+780 y 1+140, con una altura máxima de 37 m. Se proyecta un talud 1H:3V en roca sana con bermas de 2 m cada 10 m de altura, biselando los dos metros superiores al 1H:1V.

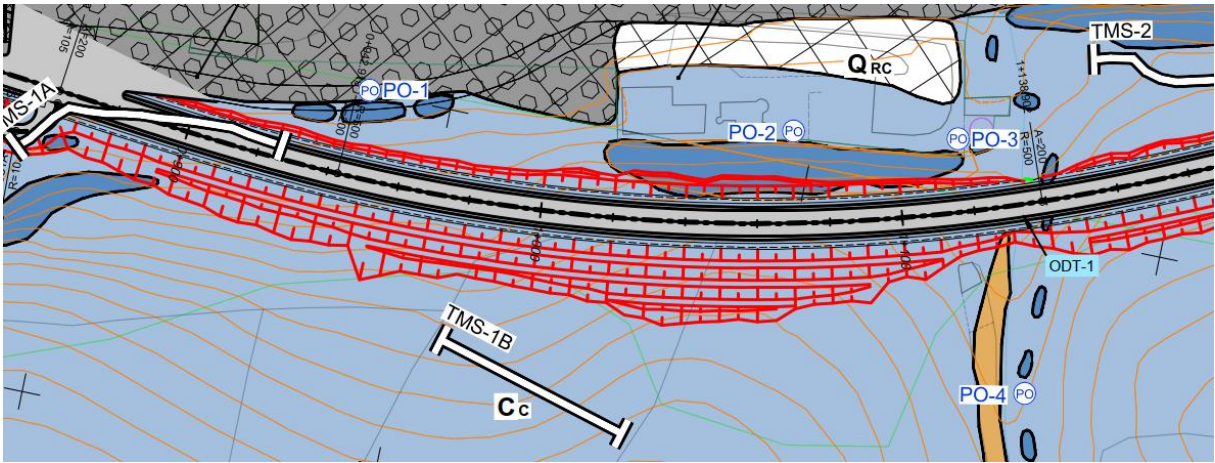


Figura 26. Ubicación D1 y prospecciones disponibles.

5.2.2.1.2.- Reconocimientos disponibles

En el entorno de este desmonte se hace difícil la realización de prospecciones. Existe un camino privado que lo atraviesa en el que no se ha permitido realizar trabajos.

Para el estudio de este desmonte se cuenta con los puntos de observación PO-1, PO-2, PO-3 y PO-4, además de los perfiles sísmicos cercanos TMS-1a y TMS-1b.

5.2.2.1.3.- Perfil litológico

De acuerdo con las prospecciones disponibles, este desmonte se excavará principalmente en la unidad geotécnica Cc con grado de alteración II.

5.2.2.1.4.- Estabilidad

Una vez definidas las características del terreno, se realiza a continuación un análisis de estabilidad

- Estabilidad global

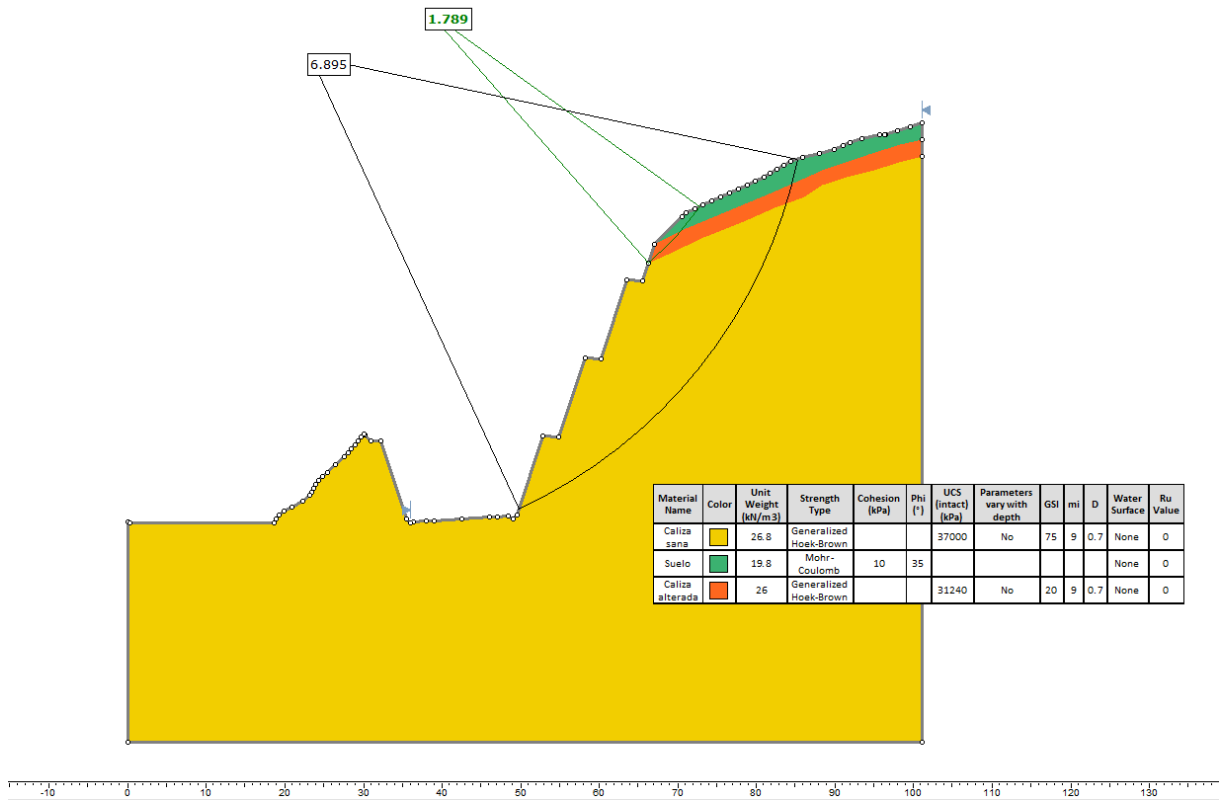


Figura 27. Sección PK 1+040. Situación sin sismo. F.S. 1.789.

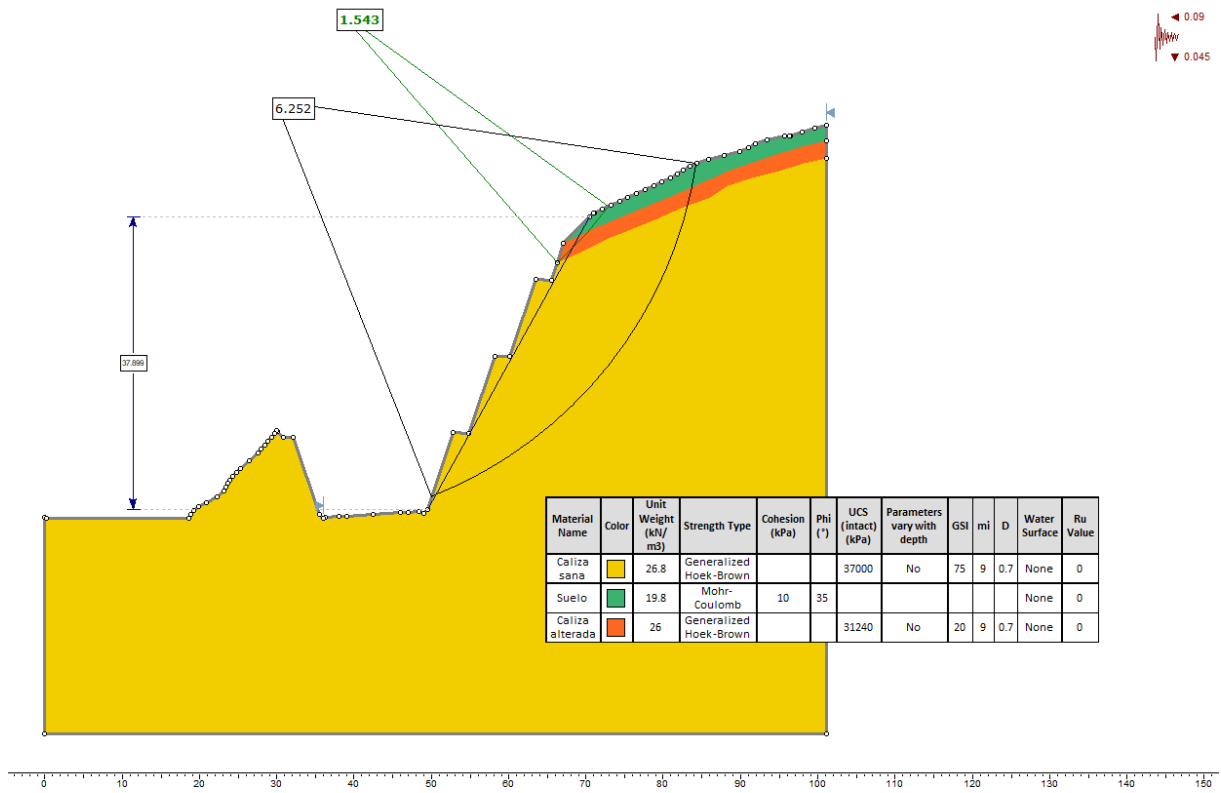


Figura 28. Sección PK 1+040. Situación con sismo. F.S. 1.543.

Se ha propuesto un talud de 1H:3V con un talud de 1H:1V en los 2 m superiores, obteniéndose un factor de seguridad razonable tanto en la situación sin sismo como en sismo.

- Análisis cinemático

Para el análisis cinemático se cuenta con la información de la estación geomecánica EG-1.

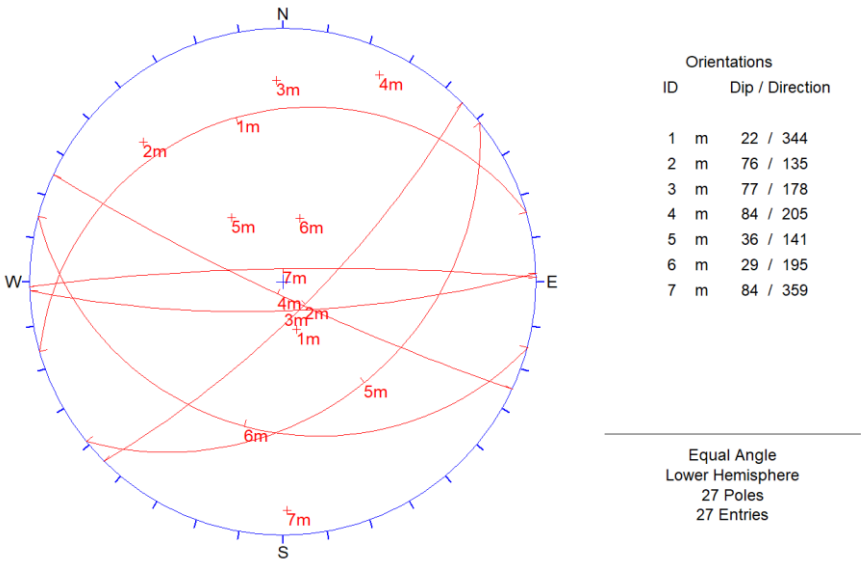


Figura 29. Medidas obtenidas en la EG-1.

Se analiza a continuación, en base a las medidas disponibles, la posibilidad de formación de cuñas, vuelco o deslizamientos planares.

Análisis de cuñas

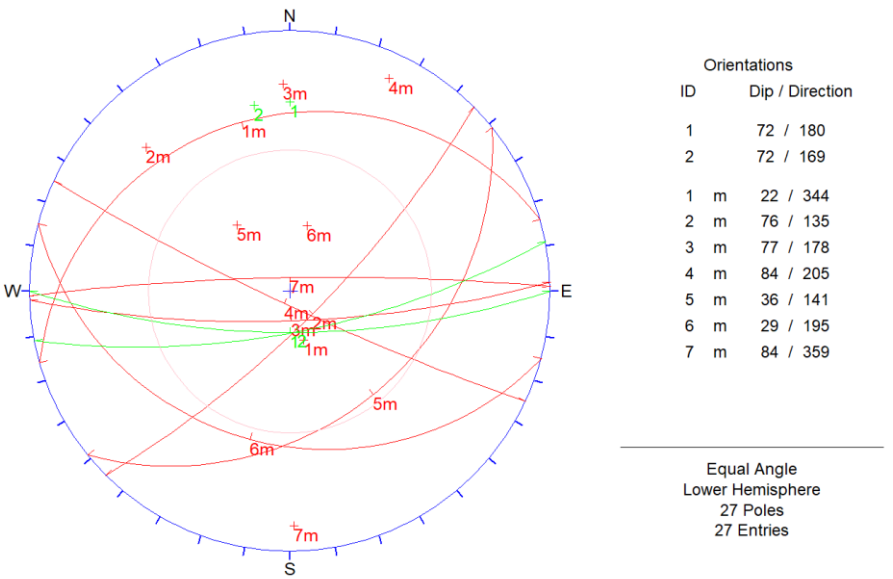


Figura 30. Análisis de formación de cuñas. D1.

Análisis de deslizamientos planares

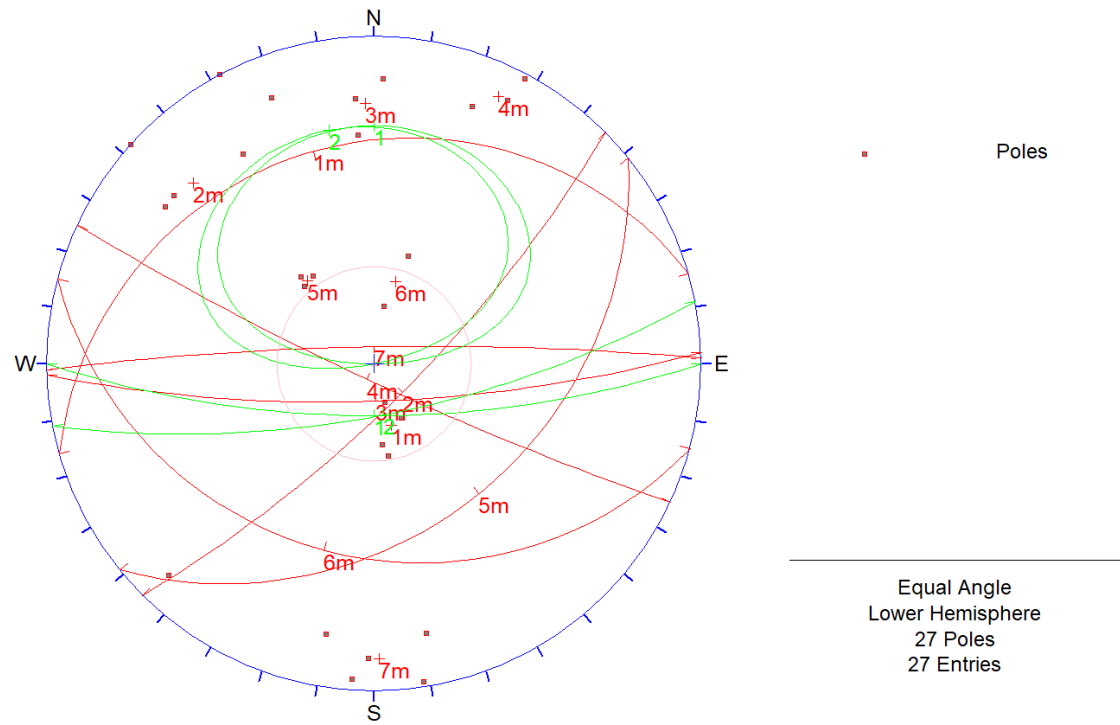


Figura 31. Análisis de rotura planar. D1.

Análisis de rotura por vuelco

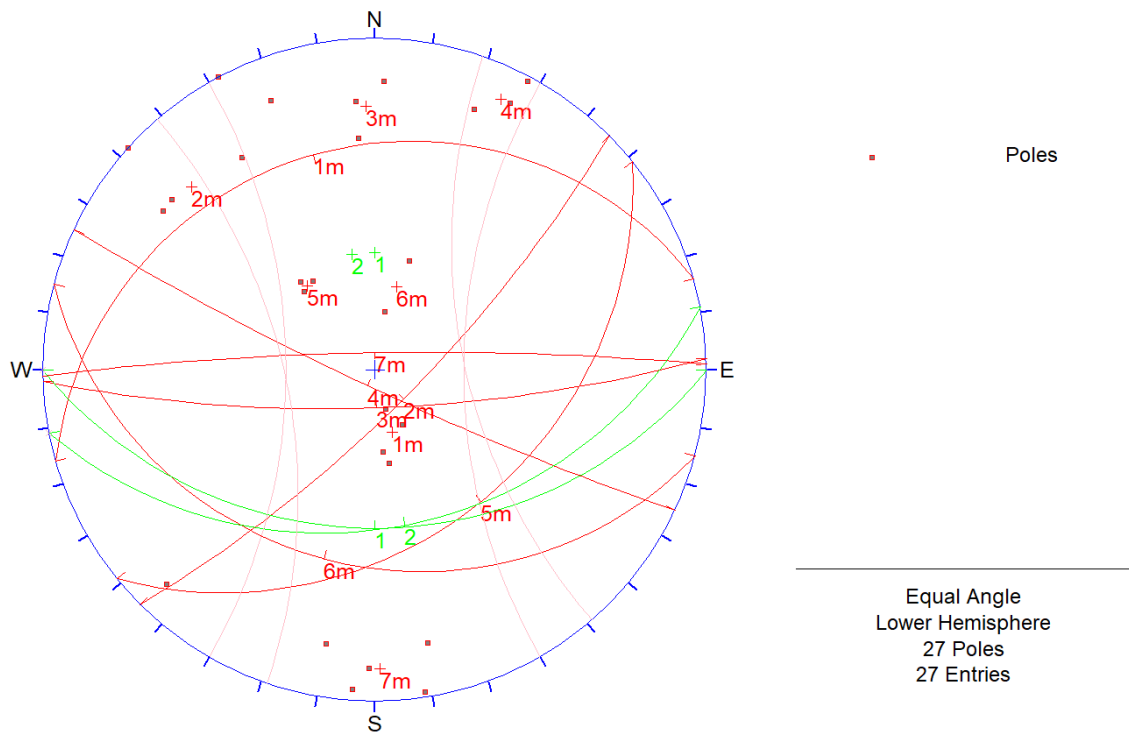


Figura 32. Análisis de rotura por vuelco. D1.

Del análisis realizado, se interpreta que, con los datos disponibles, la formación de cuñas podrá ser posible entre las familias 4 y 5, si bien el cruce de juntas se localiza casi en el límite. Se ha analizado esta inestabilidad mediante el programa SWEDGE, resultando que, de manera conservadora, para un talud de 35 m con inclinación 72°, el factor de seguridad obtenido es de 0.89, lo cual se considera inestable.

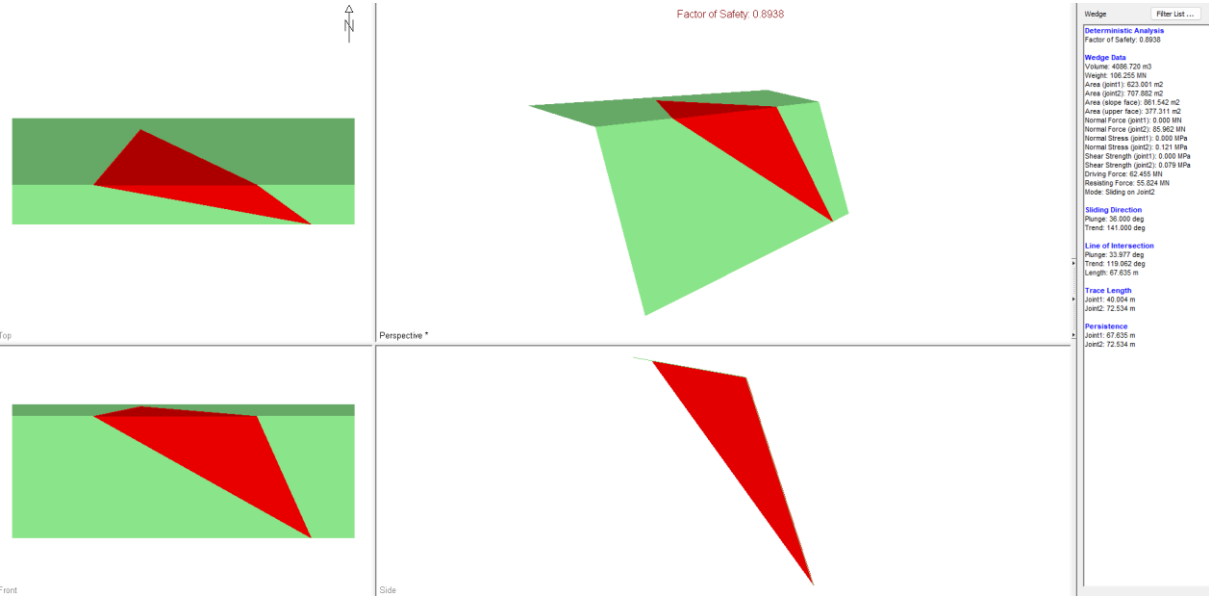


Figura 33. Análisis de cuñas. D1.

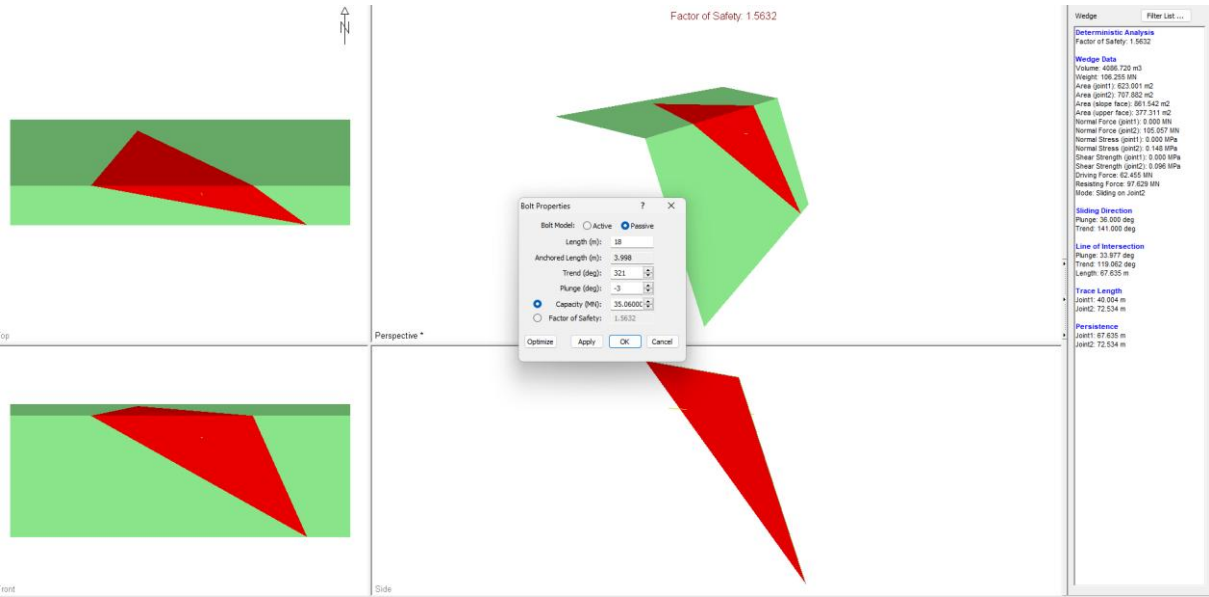


Figura 34. Análisis de cuñas con sostenimiento. D1.

Para estabilizar esta cuña máxima se calcula el sostenimiento necesario para obtener un factor de seguridad de 1.5. En este caso, son necesarios 35000 KN para estabilizar la cuña máxima. Si bien es poco probable que se produzca esta cuña, teniendo en cuenta que se produce por juntas, que suelen ser menos penetrativas, y no por la estratificación, se calcula que, aplicando bulones de barra de 32

mm con capacidad unitaria de 220 KN, deberían colocarse unas 155 unidades en toda la superficie de la cuña. Si esta cuña genera una superficie de 861 m², la malla obtenida de bulones es de 2x2,5 m.

En el caso de roturas planares, la familia 3 podría generar alguna rotura planar si bien la media de la familia queda fuera de la zona considerada potencialmente inestable. Lo mismo psa con la familia 6. En el caso de la familia de juntas 5, quedaría dentro de lo considerado inestable. Se considera que el sostenimiento planteado para la contención de las cuñas será válido también para contener este otro tipo de inestabilidad provocado por la misma familia.

Por otro lado, el vuelco de estratos se podrá dar a favor de la familia 7, considerándose que con el sostenimiento previsto esta inestabilidad podrá ser contenida.

5.2.2.1.5.- Tratamientos del terreno

Se deberán implementar bermas de 2 m de ancho cada 10 m.

Debido a la dificultad para la toma de datos en esta zona y al análisis realizado, se cree razonable recomendar para este desmonte una malla de 2x2,5 m de bulones de diámetro 32 mm, de longitudes variables entre 18 y 9 m, a medida que se profundice.

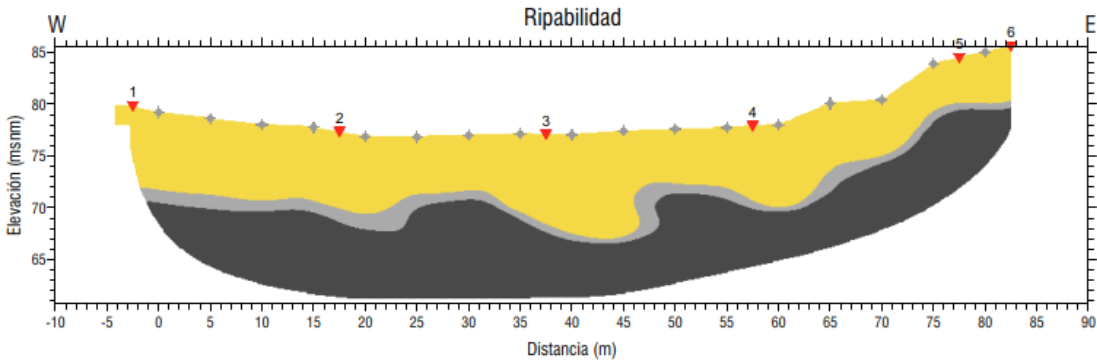
Debido a la dificultad de acceso y a la falta de permisos que impidieron la realización de una campaña de reconocimientos detallada en este desmonte, se recomienda ampliar en fase de obra el grado de conocimiento geotécnico. La excavación del desmonte deberá ser revisada por un geólogo experto. Los tratamientos propuestos deberán ser valorados en obra una vez se disponga de un mayor grado de conocimiento del terreno y, a medida que el desmonte se vaya excavando.

5.2.2.1.6.- Fondo de desmonte

El fondo de desmonte se considera de tipo roca, al ser esperable que quede en la unidad UG-Cc.

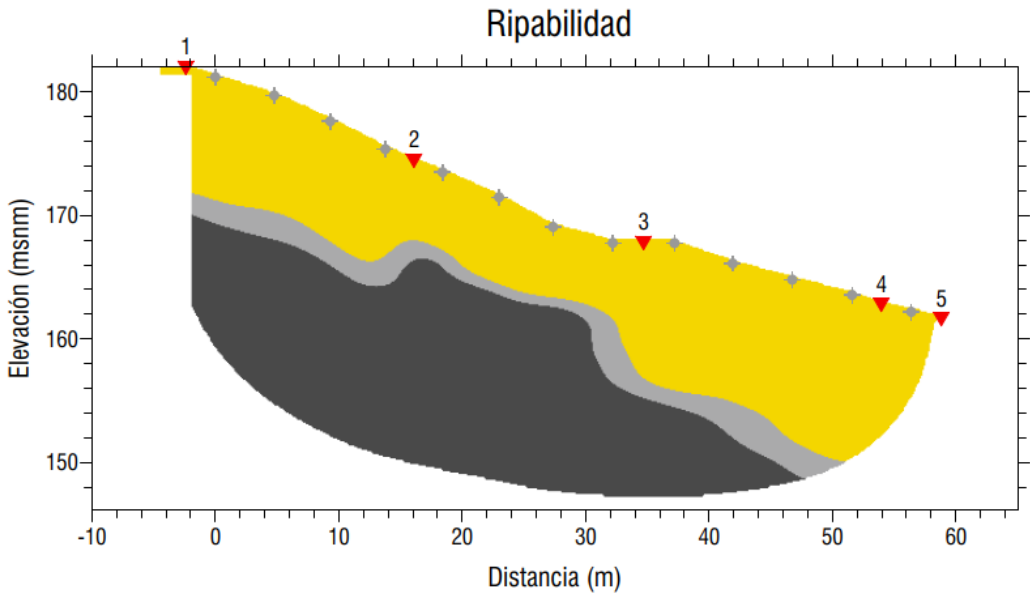
5.2.2.1.7.- Excavabilidad

De acuerdo con los perfiles sísmicos llevados a cabo en esta zona, los 10 primeros metros serán ripables al caracterizarse por velocidades Vp inferiores a 2000 m/s, necesitándose utilizar voladura en los siguientes metros.



Fuente: Nota: En amarillo velocidades comprendidas entre 500 y 2.000 m/s, en gris claro entre 2.000 y 2.500 m/s, y gris oscuro velocidades superiores a 2.500 m/s

Figura 35. Perfil sísmico de refracción. PMS-1a



Fuente: Nota: En amarillo velocidades comprendidas entre 500 y 2.000 m/s, en gris claro entre 2.000 y 2.500 m/s, y gris oscuro velocidades superiores a 2.500 m/s

Figura 36. Perfil sísmico de refracción. PMS-1b.

5.2.2.2.- D2

5.2.2.2.1.- Geometría

Este desmonte se localiza entre los PK 1+140 y 1+300, con una altura máxima de 15 m.

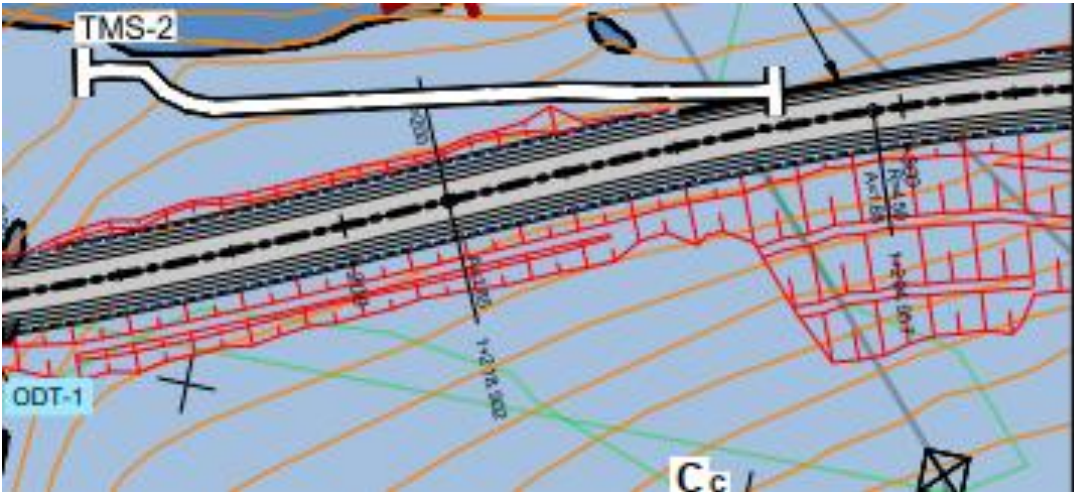


Figura 37. Ubicación D2 y prospecciones disponibles.

El talud proyectado es 1H:3V, biselando al 1H:1V los dos metros superiores.

5.2.2.2.2.- Reconocimientos disponibles

Para el estudio de este desmonte se cuenta con los puntos de observación PO-5 y la estación geomecánica EGM-1, además del perfil sísmico TMS-2 y TMS-1b. Debido a la complejidad de los accesos con la maquinaria de perforación no se pudieron realizar técnicas directas de reconocimiento geotécnico en esta zona, estando también limitada la ejecución de técnicas indirectas como la geofísica.

En la zona central del desmonte no se pudieron tomar datos debido a la orografía y la densa vegetación.

5.2.2.2.3.- Perfil litológico

De acuerdo con las prospecciones disponibles, este desmonte se excavará en la unidad geotécnica Cc con grado de alteración II.

5.2.2.2.4.- Estabilidad

En este caso, el mecanismo de rotura que se podrá dar con mayor probabilidad serán las roturas por juntas presentes en el macizo rocoso, considerando que la estabilidad global está garantizada al tratarse de un terreno de tipo roca sana.

• Análisis cinemático

Análisis de cuñas:

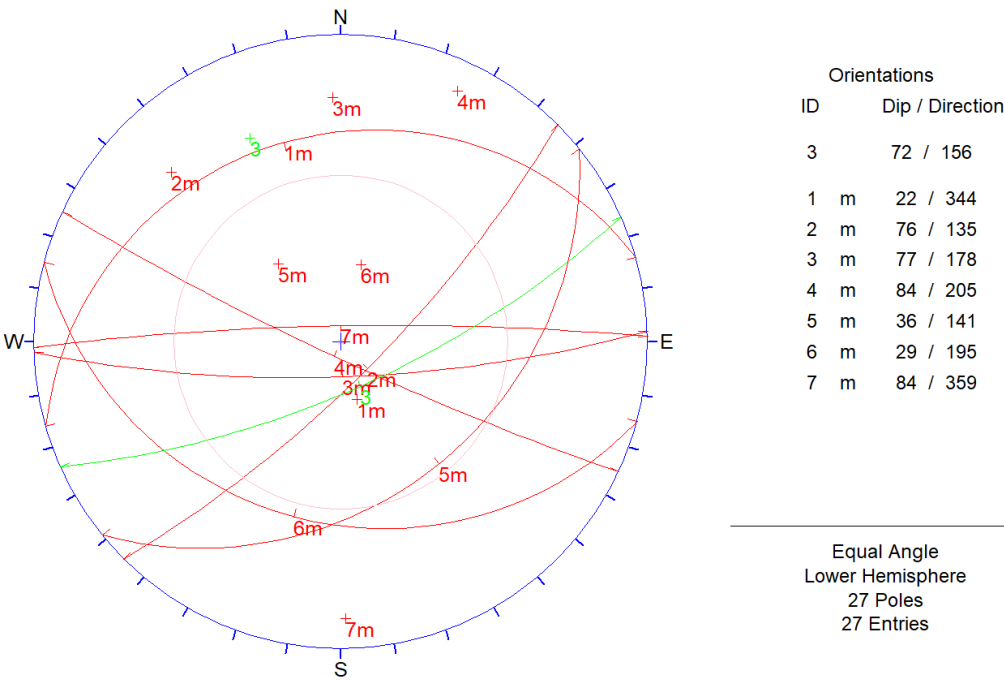


Figura 38. Análisis de formación de cuñas. D2.

Análisis de deslizamientos planares:

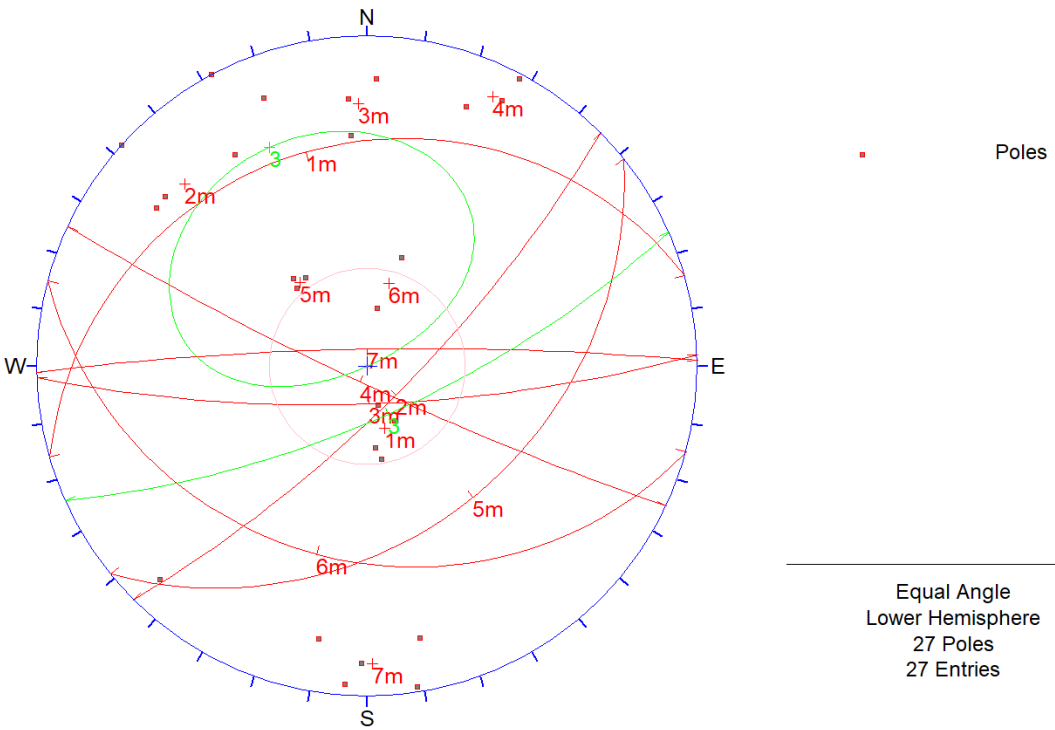


Figura 39. Análisis de deslizamientos planares. D2.

Rotura por vuelco:

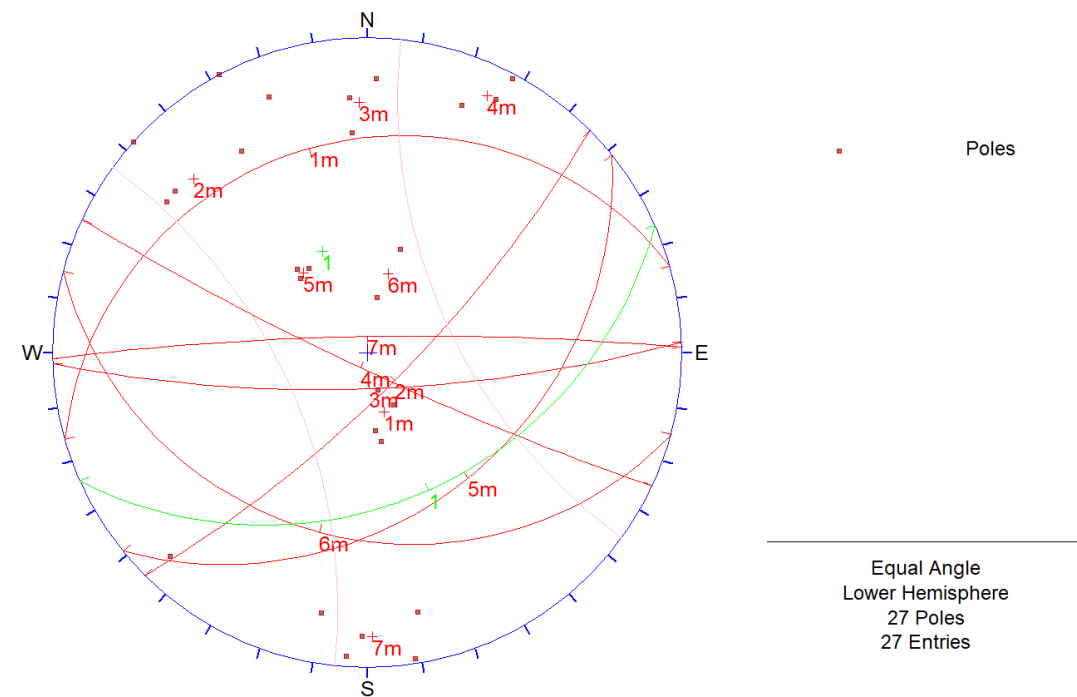


Figura 40. Análisis de rotura por vuelco. D2.

Introduciendo las juntas 4 y 5 en el talud D2 se obtiene un factor de seguridad inestable, por lo que se lleva a cabo el dimensionamiento de la fuerza necesaria para la contención de la cuña máxima en un talud de unos 15 m.

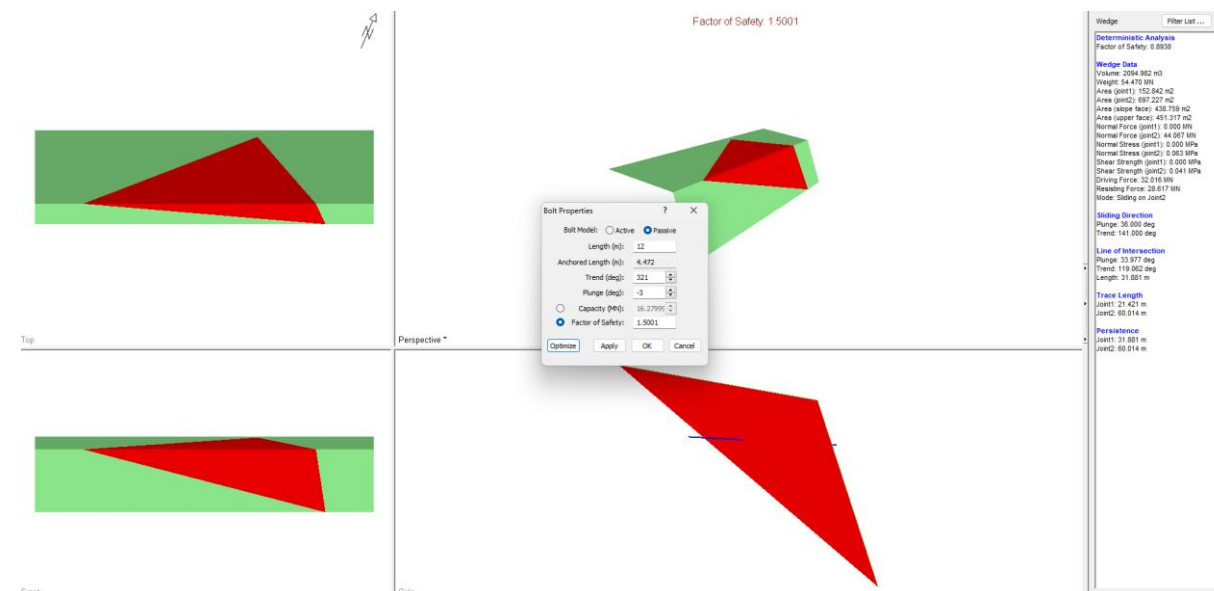


Figura 41. Análisis de cuñas con sostenimiento. D2.

Para estabilizar esta cuña máxima se calcula el sostenimiento necesario para obtener un factor de seguridad de 1.5. En este caso, son necesarios 16000 KN para estabilizar la cuña máxima. Si bien es

poco probable que se produzca esta cuña, teniendo en cuenta que se produce por juntas, que suelen ser menos penetrativas, y no por la estratificación, se calcula que, aplicando bulones de barra de 32 mm con capacidad unitaria de 220 KN, deberían colocarse unas 73 unidades en toda la superficie de la cuña. Si esta cuña genera una superficie de 439 m², la malla obtenida de bulones es de 2x3 m.

En el caso de roturas planares, la familia 3 podría generar alguna rotura planar si bien la media de la familia queda fuera de la zona considerada potencialmente inestable. Lo mismo pasa con la familia 6. En el caso de la familia de juntas 5, quedaría dentro de lo considerado inestable. Se considera que el sostenimiento planteado para la contención de las cuñas será válido también para contener este otro tipo de inestabilidad provocado por la misma familia.

Por otro lado, el vuelco de estratos se podrá dar a favor de la familia 7, considerándose que con el sostenimiento previsto esta inestabilidad podrá ser contenida.

Se deberán implementar bermas de 2 m de ancho cada 10 m al tratarse de materiales degradables en el tiempo. Las bermas deberán estar hormigonadas o impermeabilizadas completamente para encauzar las aguas que circulen por el talud y evacuarlas hasta zonas de bajante o los extremos del desmonte.

5.2.2.2.5.- Tratamientos del terreno

Se deberán implementar bermas de 2 m de ancho cada 10 m.

Debido a la dificultad para la toma de datos en esta zona y al análisis realizado, se cree razonable recomendar para este desmonte una malla de 2x3 m de bulones de diámetro 32 mm, de 12 m de longitud.

Debido a la dificultad de acceso para la realización de una campaña de reconocimientos detallada en este desmonte, se recomienda ampliar en fase de obra el grado de conocimiento geotécnico. La excavación del desmonte deberá ser revisada por un geólogo experto. Los tratamientos propuestos deberán ser valorados en obra una vez se disponga de un mayor grado de conocimiento del terreno y, a medida que el desmonte se vaya excavando.

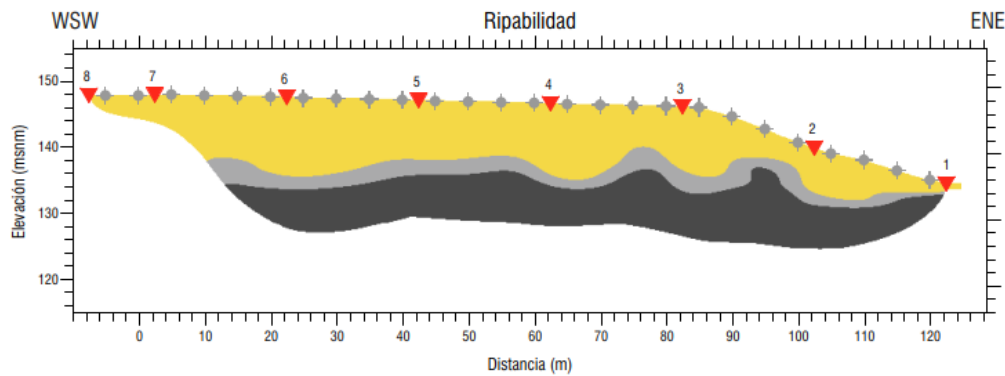
5.2.2.2.6.- Fondo de desmonte

El fondo de desmante en este sector será de tipo roca.

5.2.2.2.7.- Excavabilidad

De acuerdo con el perfil sísmico llevado a cabo en esta zona, el desmonte podrá ser excavado mediante ripado en los 10 m superiores, necesiéndose utilizar voladura a partir de esa profundidad.

La mayor parte del desmonte se excavará en la unidad UG-Cc alt con velocidades inferiores a 2000 m/s siendo esperable que se encuentre la roca sana UG-Cc en el fondo.



Fuente: Nota: En amarillo velocidades comprendidas entre 500 y 2.000 m/s, en gris claro entre 2.000 y 2.500 m/s, y gris oscuro velocidades superiores a 2.500 m/s

Figura 42. Perfil sísmico de refracción. TMS-2.

5.2.2.3.- D3

5.2.2.3.1.- Geometría

Este desmonte se localiza entre los PK 1+300 y 1+621, con una altura máxima de 32 m.

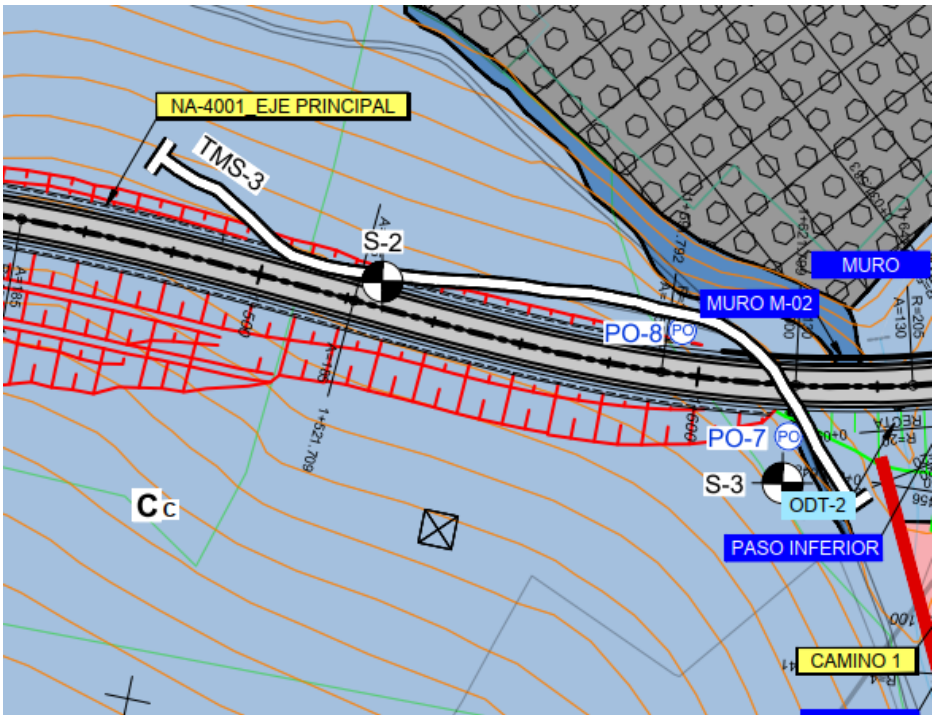


Figura 43. Ubicación D3 y prospecciones disponibles.

El talud proyectado para este desmonte es 2H:3V, rebajando al 1H:1V los 5 m superiores en suelos.

5.2.2.3.2.- Reconocimientos disponibles

Para el estudio de este desmonte se cuenta con el punto de observación PO-8, la estación geomecánica EGM-2, los sondeos S-2 y S-3, además del perfil sísmico TMS-3.

5.2.2.3.3.- Perfil litológico

De acuerdo con las prospecciones disponibles, en especial el sondeo S2, este desmonte se excavará en suelos los 5 metros superiores, pasando a roca fracturada Cc alt y karstificada hasta los 20 m de profundidad.

5.2.2.3.4.- Estabilidad

El mecanismo de rotura que se podrá dar con mayor probabilidad en este tramo será el de tipo global o circular. En base a ello, se ha calculado la estabilidad de la sección del PK 1+460, de mayor altura del tramo.

Para la situación sin sostenimiento, el cálculo resulta inestable, con factores de seguridad inferiores a 1.5, por ello, se ha llevado a cabo el análisis del sostenimiento necesario para estabilizar el talud.

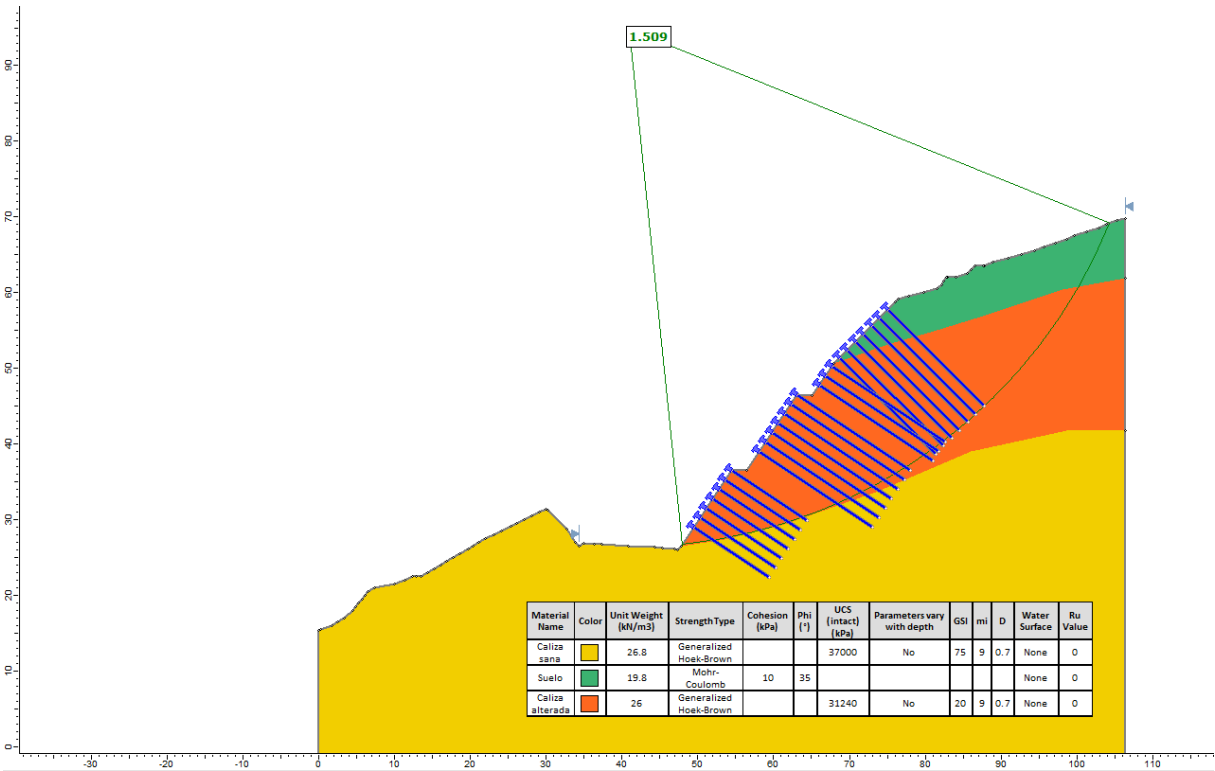


Figura 44. Sección PK 1+460. Situación sin sismo. F.S. 1.509.

5404027-L1-DD-204_02

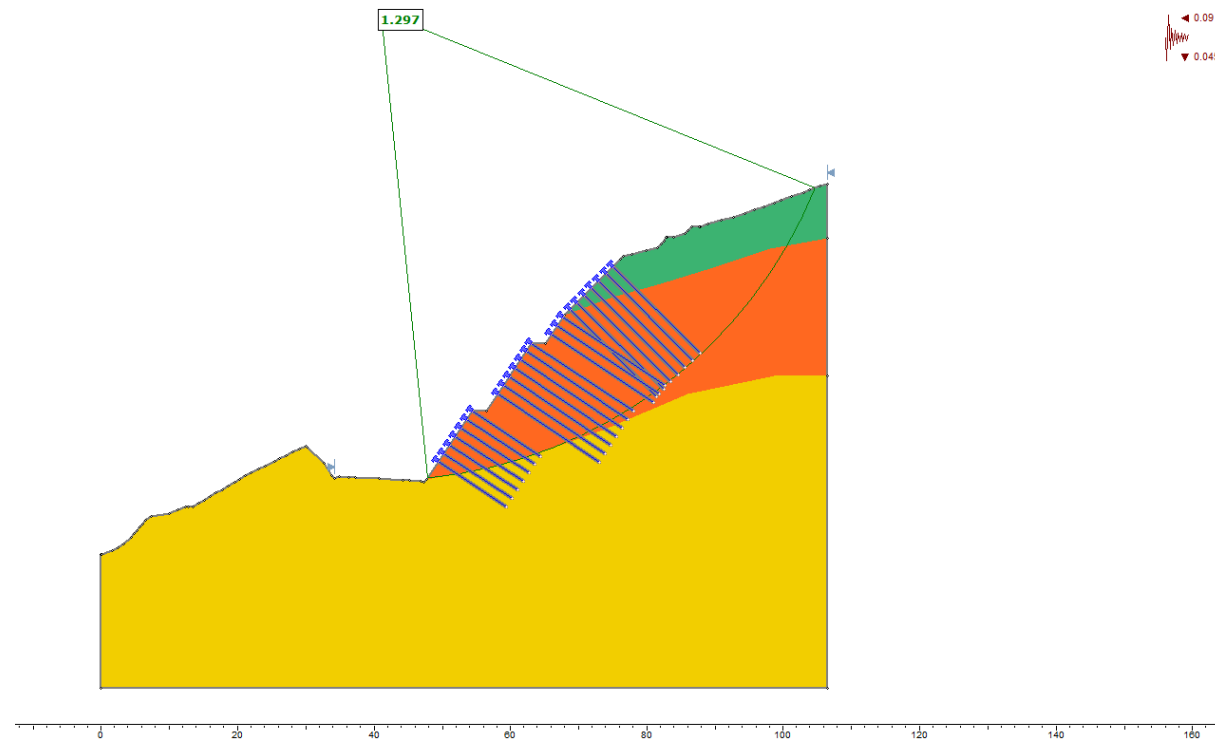


Figura 45. Sección PK 1+460. Situación con sismo. F.S. 1.297.

El factor de seguridad en la situación con sismo es de 1.297, lo que se considera estable.

5.2.2.3.5.- Tratamientos del terreno

Para obtener un factor de seguridad válido para la estabilidad de este talud se recomienda colocar una malla de bulones de barra de 32 mm de diámetro en malla de 1,5x1,5m, en toda la superficie del talud, con una longitud de 18 metros en la parte superior, y 12 m en la bancada inferior. El sostenimiento se completará con mallazo electrosoldado y una capa de 10 cm de hormigón proyectado.

Además, para dejar salir el agua que pueda acumularse en el paramento, se recomienda instalar una malla de drenes californianos de 6 m de longitud colocados en malla cuadrada de 5x5m.

Debido a la dificultad de acceso para la realización de una campaña de reconocimientos detallada en este desmonte, se recomienda ampliar en fase de obra el grado de conocimiento geotécnico. La excavación del desmonte deberá ser revisada por un geólogo experto. Los tratamientos propuestos deberán ser valorados en obra una vez se disponga de un mayor grado de conocimiento del terreno y, a medida que el desmonte se vaya excavando.

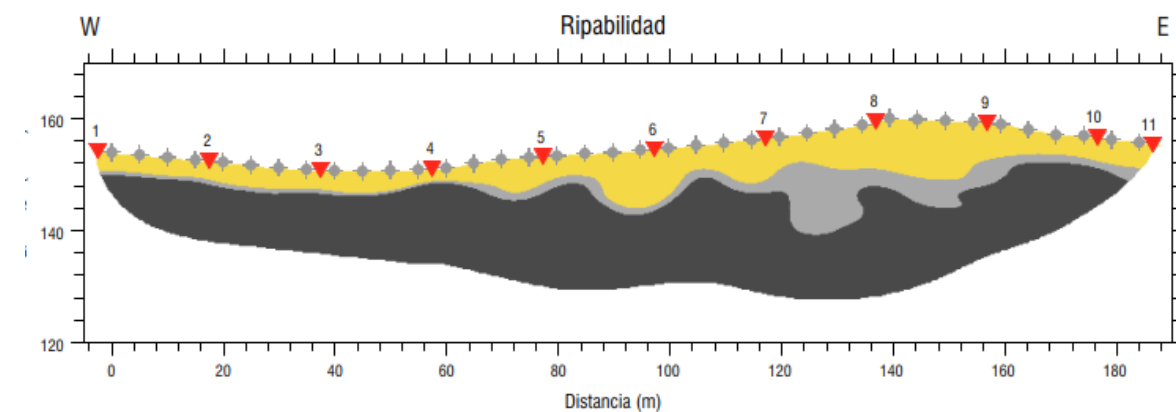
5.2.2.3.6.- Fondo de desmonte

El fondo de desmonte de este sector se considera de tipo roca.

5.2.2.3.7.- Excavabilidad

De acuerdo con el perfil sísmico llevado a cabo en esta zona, el desmonte podrá ser excavado al 20% mediante medios mecánicos, necesiéndose utilizar voladura en el 80% restante.

La mayor parte del desmonte se excavará en las Cc y Qc con velocidades inferiores a 2000 m/s, mientras que, a cierta profundidad, las velocidades superan es límite, por lo que se considera que un pequeño porcentaje del desmonte será ripable.



Fuente: Nota: En amarillo velocidades comprendidas entre 500 y 2.000 m/s, en gris claro entre 2.000 y 2.500 m/s, y gris oscuro velocidades superiores a 2.500 m/s

Figura 46. Perfil sísmico de refracción. TMS-3.

5.2.2.4.- D4

5.2.2.4.1.- Geometría

Este desmonte se localiza entre los PK 1+680 y 1+940, con una altura máxima de 32 m.

Geométricamente se diferencian dos zonas, una primera entre los PK 1+680 y 1+740, y una segunda zona que discurre desde el PK1+740 hasta el final del desmonte.

Esta separación se ha realizado en base a los taludes proyectados y los espesores de terreno existentes, ya que entre los PK1+680 y 1+740 se encuentra un depósito de agua en la parte superior del talud que está asociado a unos 5 m de rellenos, mientras que en el segundo tramo no existe limitación.

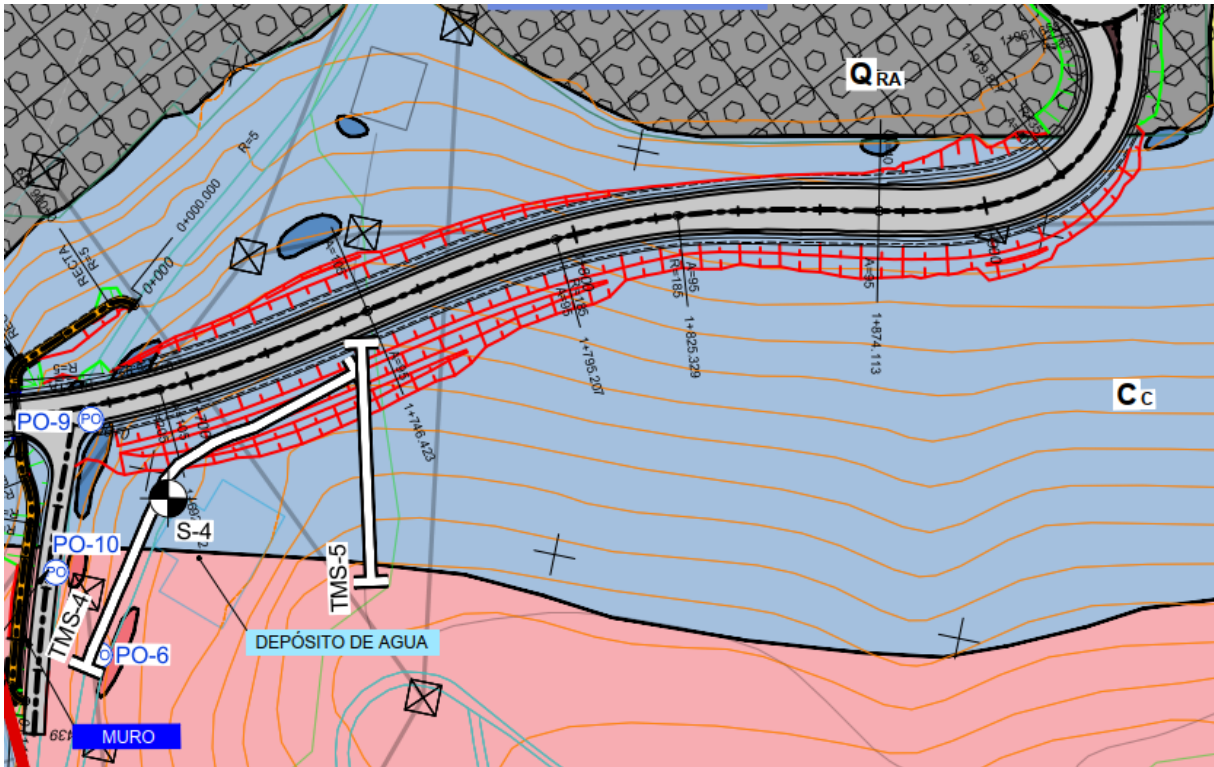


Figura 47. Ubicación D4 y prospecciones disponibles.

En el primer tramo se ha propuesto un talud de 1H:3V en roca, con un talud de 50° los 5 m superiores en los que se espera excavar un suelo o relleno antrópico. En el segundo, tramo se ha propuesto un talud 1H:3V suavizándose al 1H:1V los 2 m superiores.

5.2.2.4.2.- Reconocimientos disponibles

Para el estudio de este desmonte se cuenta con los puntos de observación PO-6, PO-9, PO-10 y PO-11, el sondeo S-4, además de los perfiles sísmicos TMS-4 y TMS-5.

5.2.2.4.3.- Perfil litológico

De acuerdo con las prospecciones disponibles, este desmonte se excavará en la unidad geotécnica Cc con grado de alteración II-III. En el sector cercano al depósito, hacia el PK 1+700, se han perforado unos 5 m de relleno-suelos que pueden tener que ver con la obra realizada para la construcción del propio depósito.

5.2.2.4.4.- Estabilidad

Se analiza a continuación, la sección del PK 1+700, en donde el depósito de agua se localiza en su punto más cercano a la cabeza del talud.

- Estabilidad global

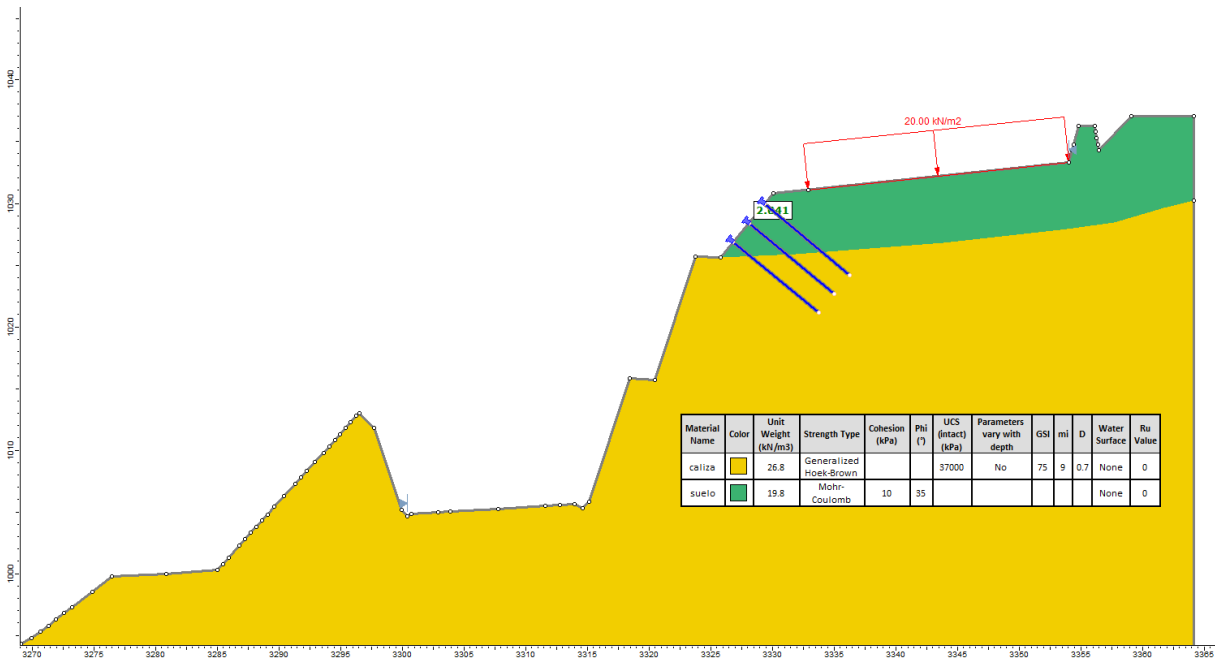


Figura 48. Sección PK 1+700. Situación persistente. F.S. 2,041.

En el caso con sismo el factor de seguridad obtenido es también estable:

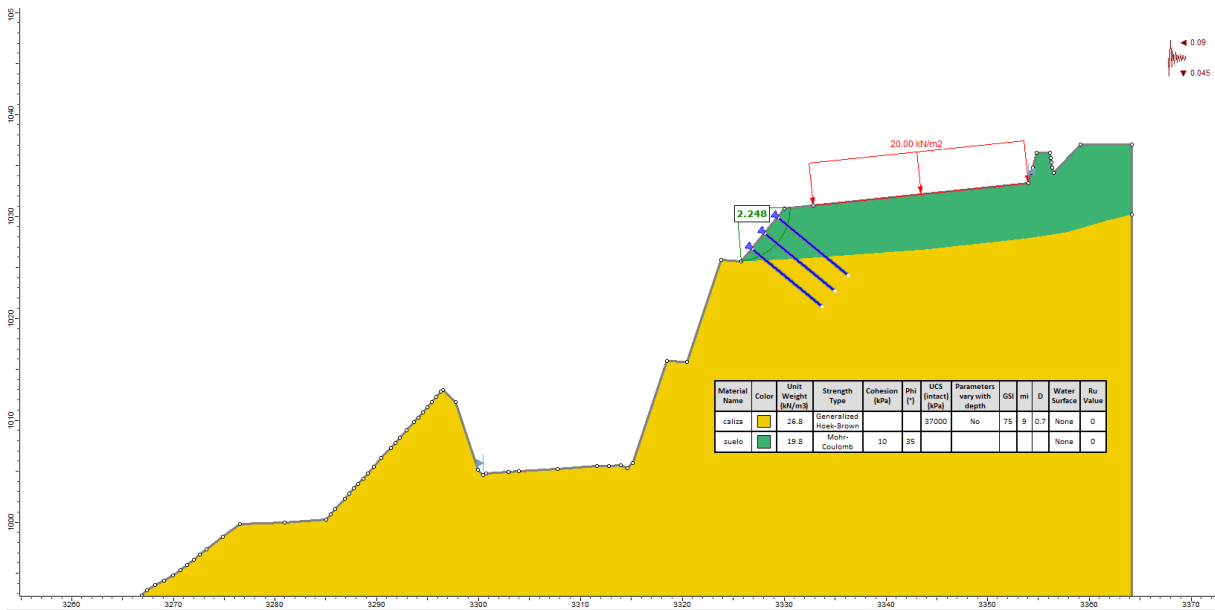


Figura 49. Sección PK 1+700. Situación persistente. F.S. 2.248.

Se considera pues que aplicando soil nailing a base de mallazo electrosoldado, hormigón proyectado y bulones de 9 m en malla de 2x2m, se conseguirá un talud estable en la parte superior en suelos.

- Análisis cinemático

Se analiza a continuación la posibilidad de formación de deslizamientos por juntas en la roca sana.

A continuación, se muestran las familias de juntas medidas en la EG-2 realizada hacia el PK 1+600:

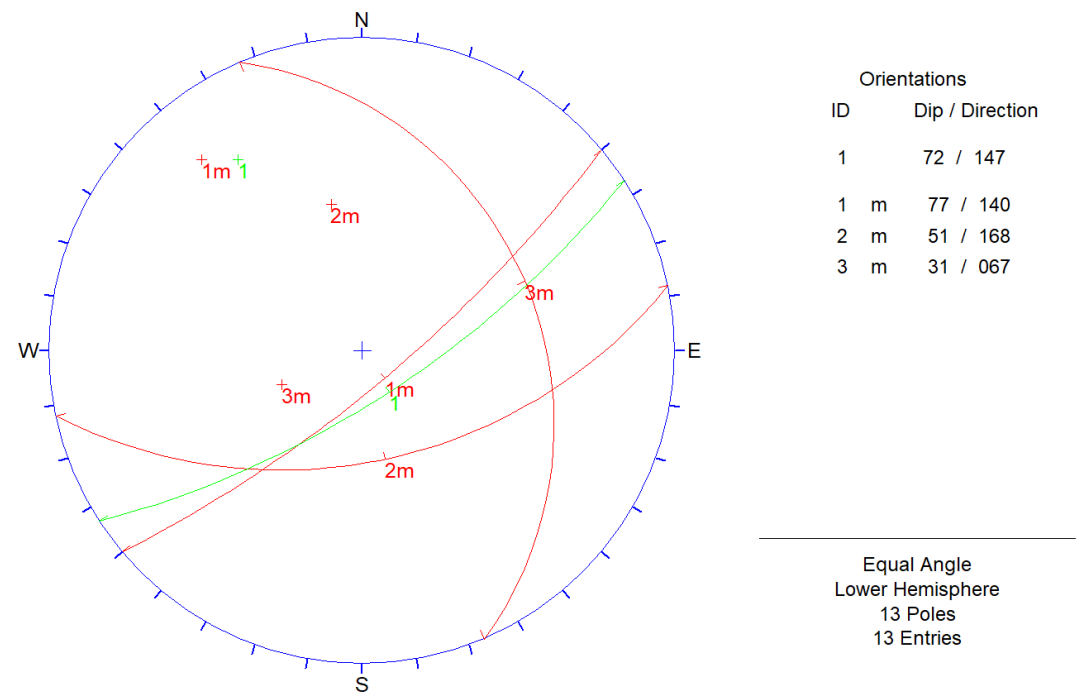


Figura 50. Estación geomecánica EG2. D4.

Análisis de cuñas:

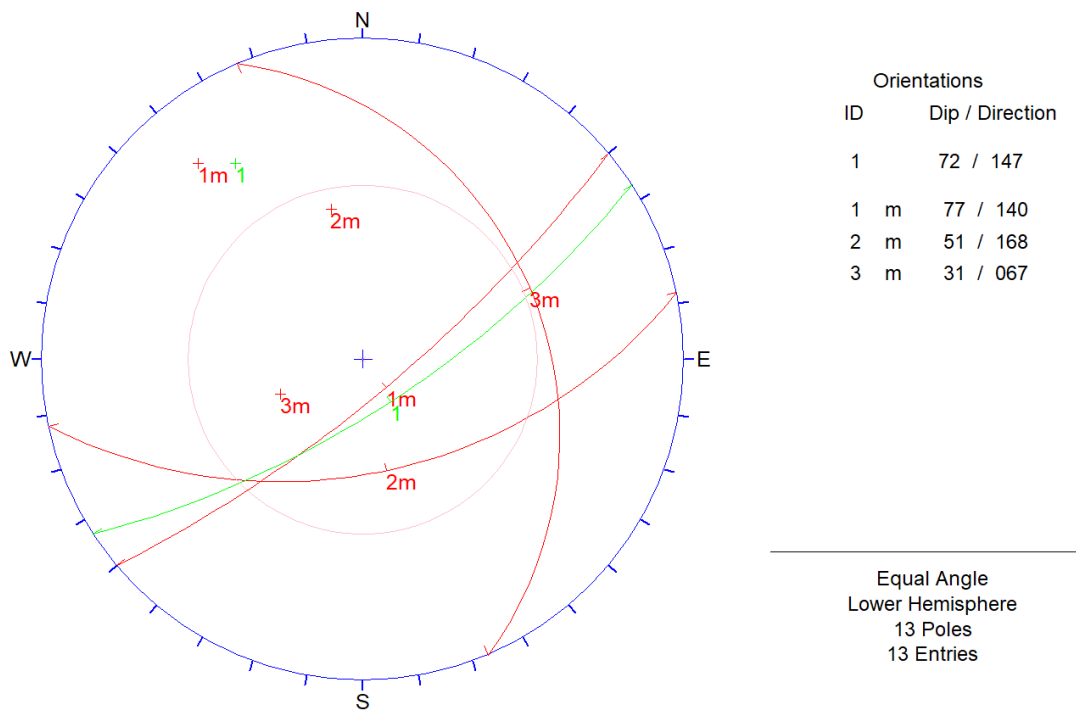


Figura 51. Análisis de formación de cuñas. D4.

Análisis de deslizamientos planares:

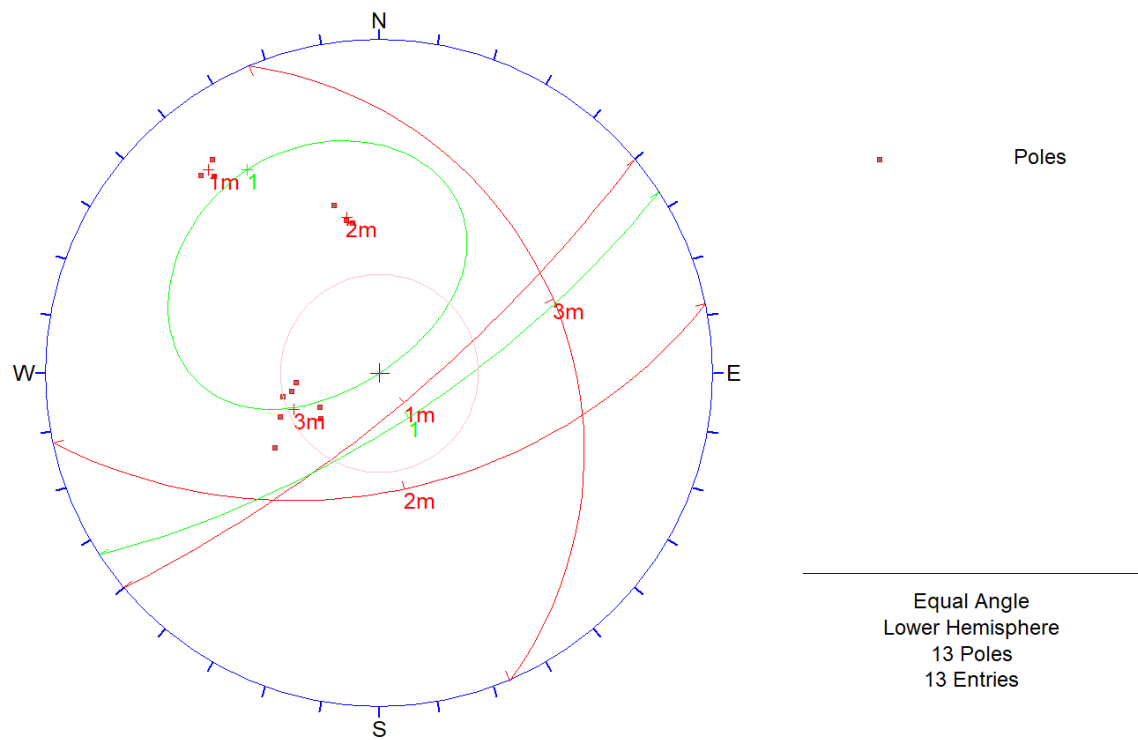


Figura 52. Análisis de deslizamientos planares. D4.

Rotura por vuelco:

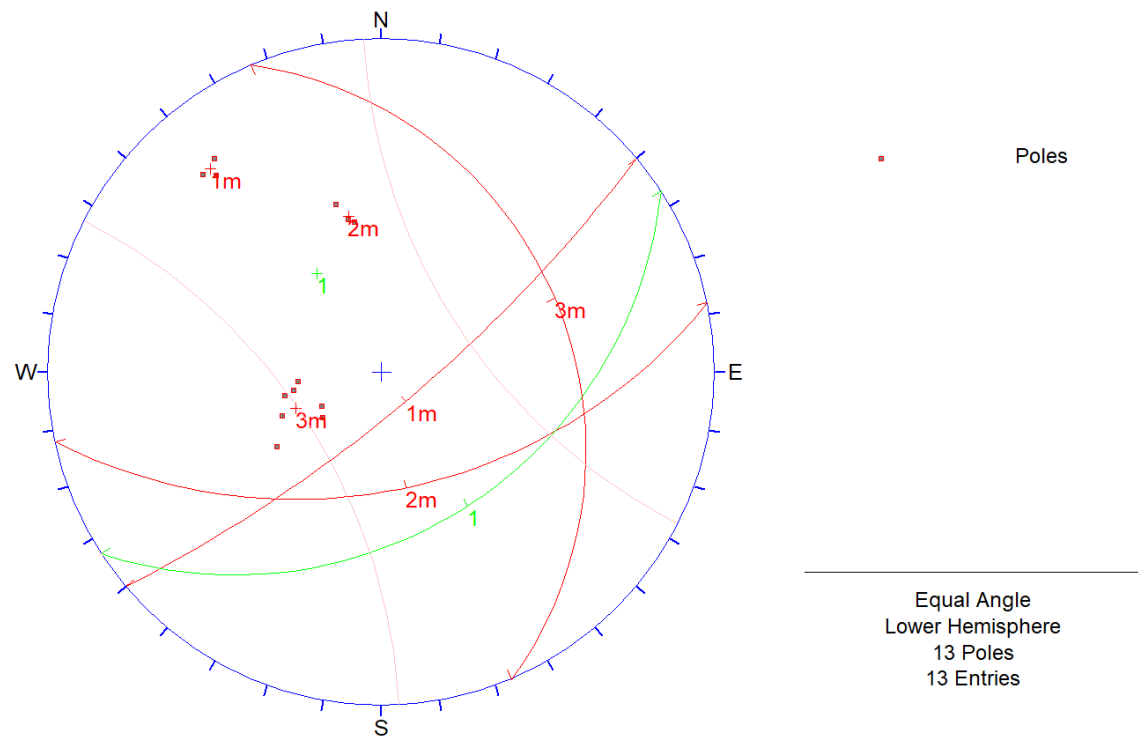


Figura 53. Análisis de rotura por vuelco. D4.

De acuerdo con el análisis realizado, las familias 1 y 2 pueden generar cuñas, mientras que la familia 2 podrá generar un deslizamiento planar.

Se analiza a continuación el factor de seguridad obtenido para la cuña que se forma entre las juntas 1 y 2.

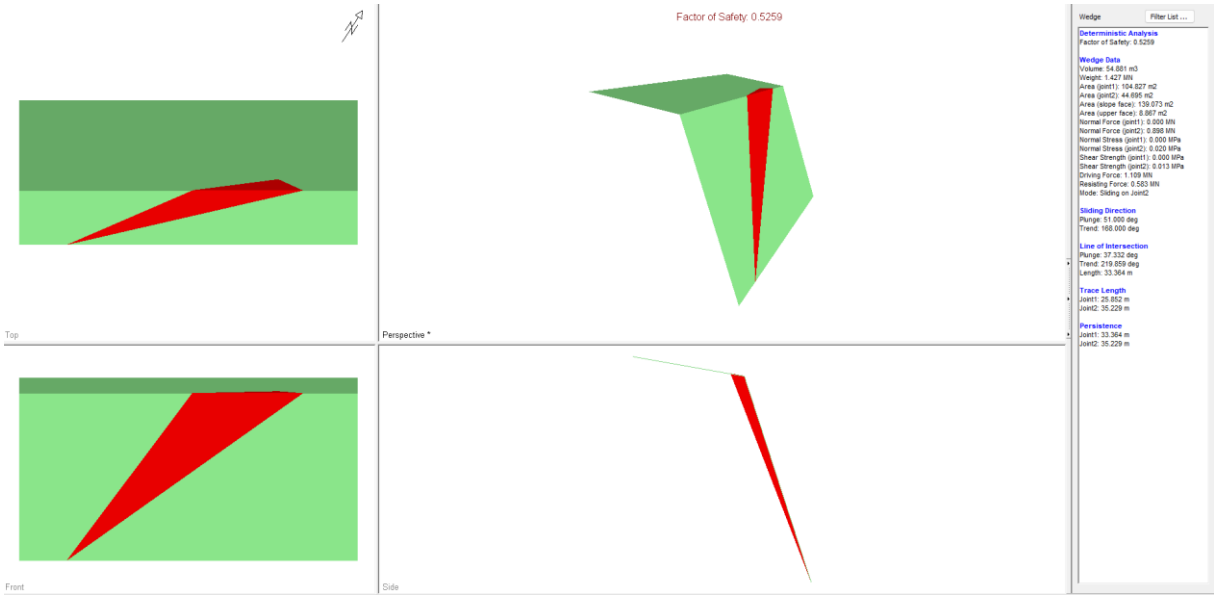


Figura 54. Análisis de cuñas. D4.

Se aprecia que se genera una cuña muy esbelta con un factor de seguridad bastante bajo. Para sostener esta cuña y obtener un factor de seguridad de 1.5 harán falta 1.000 KN de fuerza, lo que se traduce en 5 unidades de bulones de 32 mm aplicadas en una superficie de 139 m2.

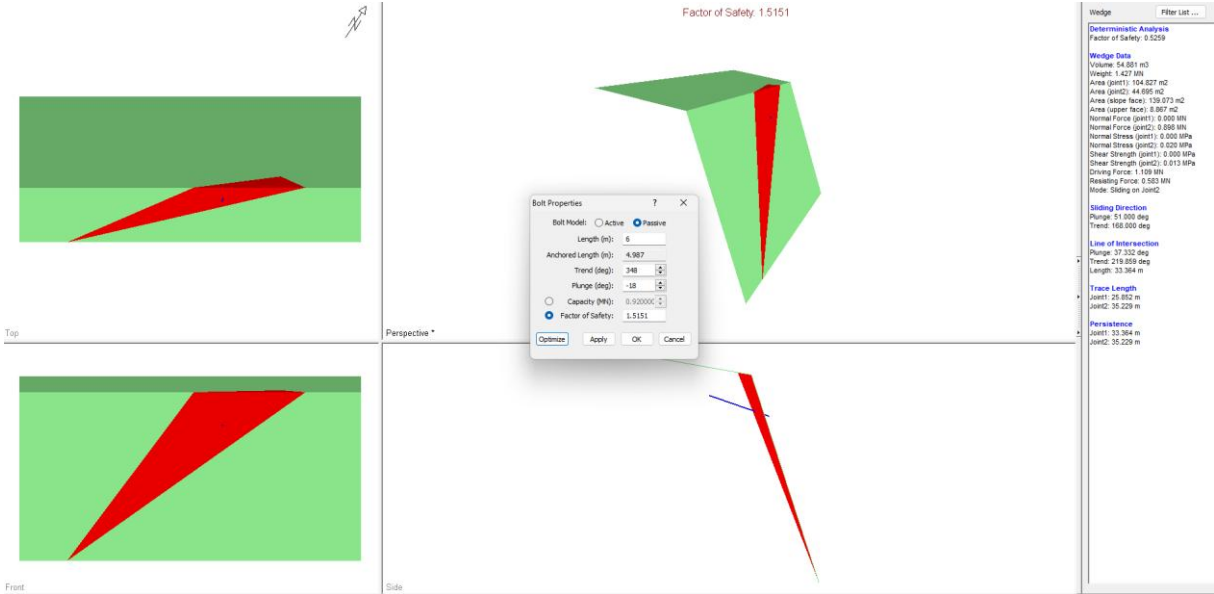


Figura 55. Análisis de cuñas. D4. Sostenimiento.

Para estabilizar esta cuña, será necesario colocar una malla de 5x5 m de bulones de 32 mm y 6 m de longitud. El tratamiento sería aplicable a los dos sectores de este desmonte excavados en roca.

5.2.2.4.5.- Tratamientos del terreno

En esta sección, para la contención de los metros superiores, se hace necesario aplicar un sostenimiento a base de bulones de 9 m en malla de 2x2m. El tratamiento se completará con la aplicación de mallazo electrosoldado y 10 cm de hormigón proyectado. Además, para asegurar la estabilidad, se cree razonable plantear una pantalla de carriles hincados de 6 m de longitud, separados 1 m, en el sector más cercano al depósito, procediéndose a la excavación con talud con posterioridad a su colocación. La hincas de carriles servirá además para la delimitación del espesor de suelos en esta zona.

En el talud en roca, se plantea un sostenimiento de bulones esporádicos en malla de 5x5 m con 6 m de longitud y 32 mm de diámetro.

Debido a la dificultad de acceso y a la falta de permisos para la realización de prospecciones en parte de este desmonte, se recomienda ampliar en fase de obra el grado de conocimiento geotécnico. La excavación del desmonte deberá ser revisada por un geólogo experto. Los tratamientos propuestos deberán ser valorados en obra una vez se disponga de un mayor grado de conocimiento del terreno y, a medida que el desmonte se vaya excavando.

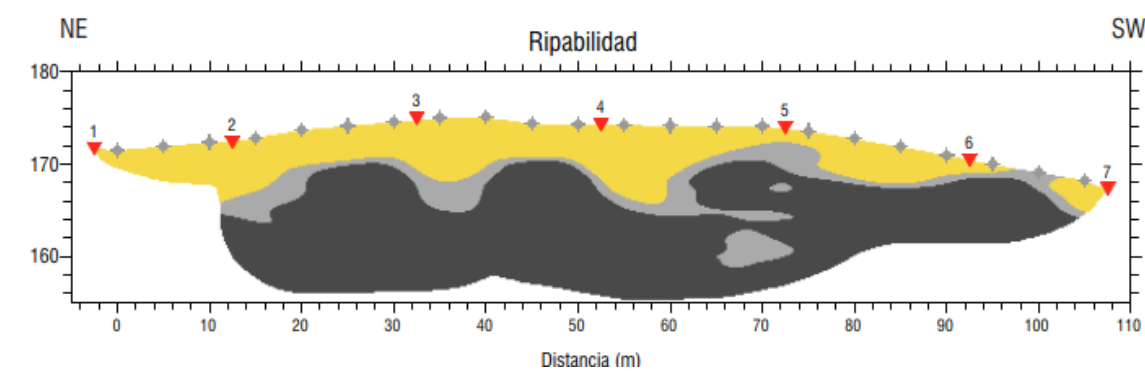
5.2.2.4.6.- Fondo de desmonte

El fondo de desmonte en este sector será de tipo roca.

5.2.2.4.7.- Excavabilidad

De acuerdo con el perfil sísmico llevado a cabo en esta zona, el desmonte podrá ser excavado en sus 5 m superiores mediante ripado, necesitándose utilizar voladura a partir de esa profundidad. En el sector cercano al depósito, en base al sondeo S4, se podrá excavar con medios mecánicos el relleno-suelo superficial asociado a su construcción.

5404027-L1-DD-204_02



Fuente: Nota: En amarillo velocidades comprendidas entre 500 y 2.000 m/s, en gris claro entre 2.000 y 2.500 m/s, y gris oscuro velocidades superiores a 2.500 m/s

Figura 56. Perfil sísmico de refracción. TMS-4.

5.2.2.5.- D5

5.2.2.5.1.- Geometría

El desmonte se localiza en el paso peatonal, en el PK 0+080, y presenta una altura máxima de 2 m. Su ejecución tiene como finalidad permitir la instalación del apoyo de media tensión. Se proyecta un talud con una pendiente 1H:3V.

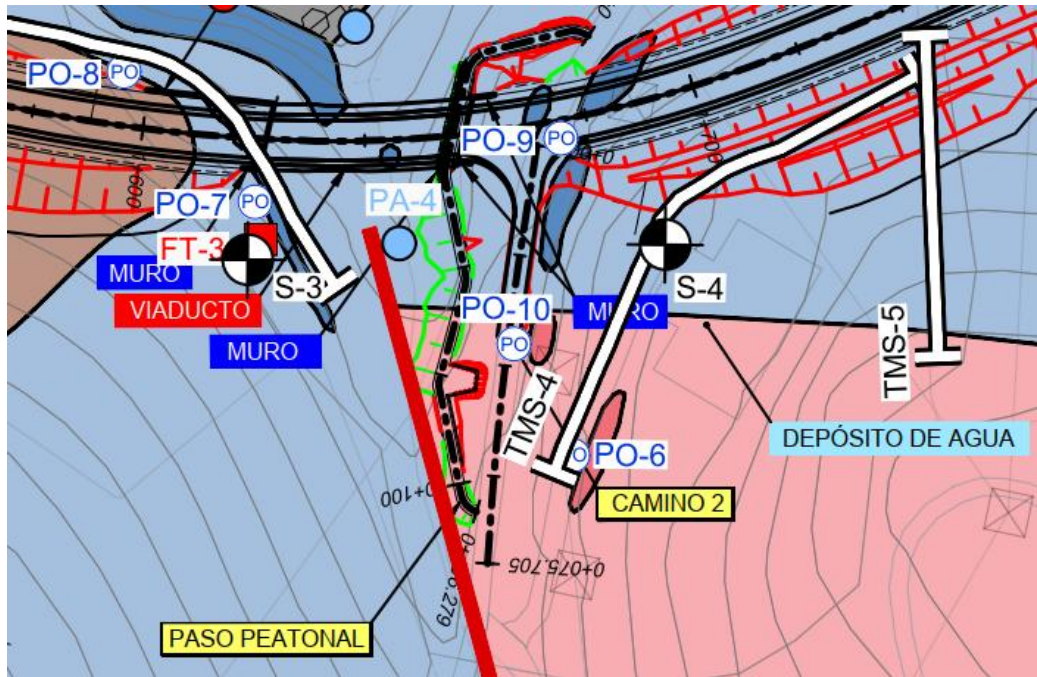


Figura 57. Ubicación D5 y prospecciones disponibles.

5.2.2.5.2.- Reconocimientos disponibles

El entorno de este desmonte presenta un acceso limitado. No obstante, se dispone de los desmontes existentes del camino asfaltado superior, que facilitarán las labores de observacion.



Figura 58. Desmontes existentes en el camino asfaltado.

5.2.2.5.3.- Perfil litológico

De acuerdo con lo observado en el entorno, la excavación se realizará principalmente en roca sana.

5.2.2.5.4.- Estabilidad

Una vez definidas las características del terreno, se realiza a continuación un análisis de estabilidad

- Estabilidad global

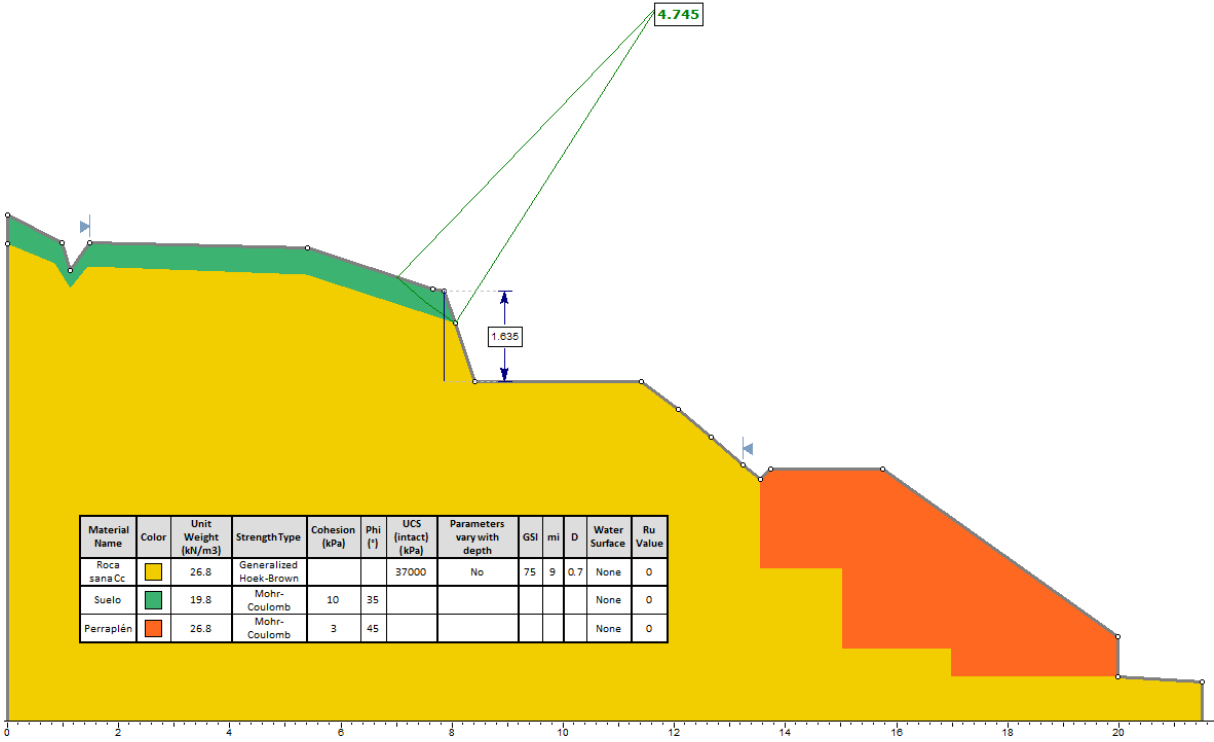


Figura 59. Paso peatonal sección PK 0+080 Situación con sismo. F.S. 4,745.

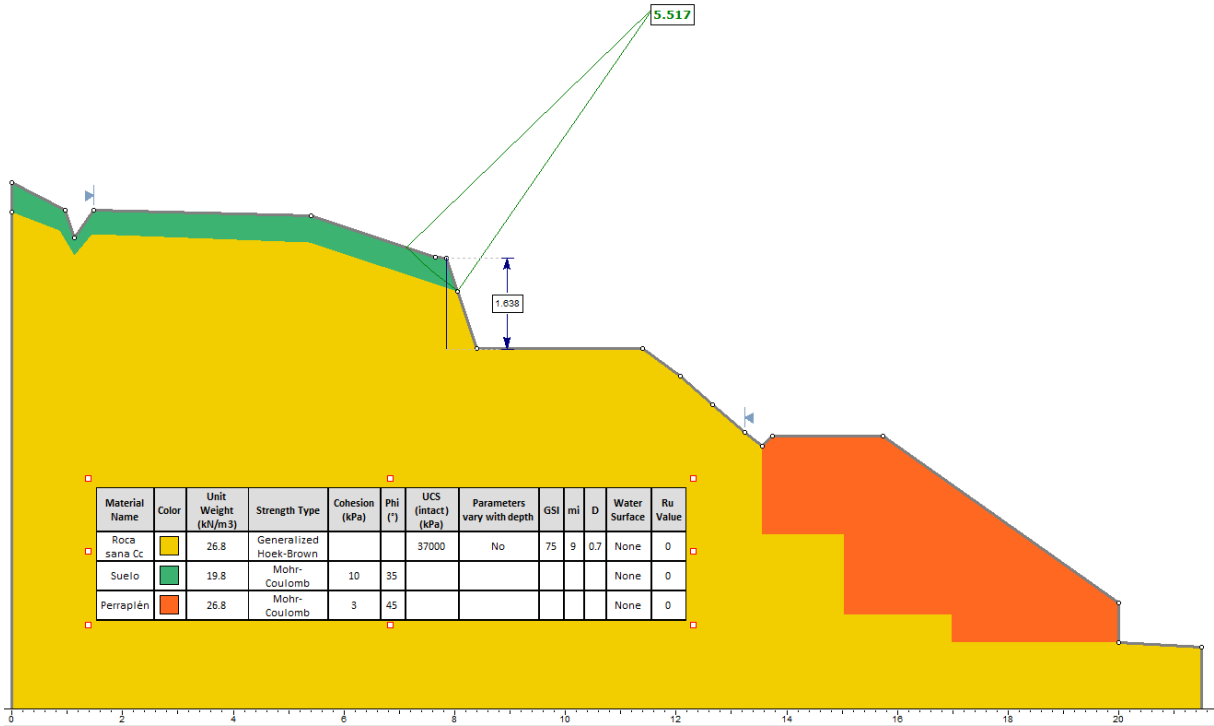


Figura 60. Paso peatonal sección PK 0+080 Situación sin sismo. F.S. 5,517.

Se ha propuesto un talud de 1H:3V, obteniéndose un factor de seguridad razonable tanto en la situación sin sismo como en sismo.

- Análisis cinemático

Para el análisis cinemático, y debido a la complejidad de la zona, se ha tomado como referencia la estación geomecánica más cercana, la EG-2, cuyo estudio fue desarrollado en el capítulo anterior correspondiente al desmonte D4.

5.2.2.5.5.- Tratamientos del terreno

En base a la información disponible, será necesario ampliar el conocimiento geotécnico durante la obra y que un geólogo experto revise y ajuste el sostenimiento conforme se vayan exponiendo las condiciones reales del terreno. No obstante, de forma preliminar se propone la instalación de una malla de bulones, cuyas dimensiones deberán ajustarse a medida que se disponga de la información procedente de la excavación.

5.2.2.5.6.- Fondo de desmonte

El fondo de desmonte se considera de tipo roca, al ser esperable que quede en la unidad UG-Cc.

5.2.2.5.7.- Excavabilidad

En base a la información disponible y por criterios de proximidad, se estima que el desmonte se realizará en material rocoso, adoptándose la caracterización obtenida en los perfiles sísmicos TMS-4 y sus parámetros de referencia hasta disponer de información directa procedente de la excavación.

5.2.2.6.- Resumen de desmontes

A continuación, se resumen las principales características de los desmontes proyectados:

Obra	PK inicio	PK fin	H máxima (m)	Talud	Excavabilidad	Tipo de cuneta desmonte Roca/Suelos
D1	0+780	1+140	37	1H:3V 1H:1V los 2 m superiores	20% Excavación medios mecanicos 80% Voladura	Desmonte en roca competente
D2	1+140	1+300	15	1H:3V 1H:1V los 2 m superiores	20% Excavación medios mecanicos 80% Voladura	Desmonte en roca competente
D3	1+300	1+621	32	>20 m: 1H:1V 5 m superiores 2H:3V Resto <20 m 1H:1V 5 m superiores 1H:2V Resto	40% Excavación medios mecanicos 60% Voladura	Desmonte en 5 metros de suelo, por debajo roca fraturada karstificada (20 metros de espesor), sobre sustrato rocoso sano
D4a	1+680	1+760	32	1H:3V 50° de inclinacion los 5 m superiores	20% Excavación medios mecanicos 80% Voladura	Desmonte en 5 metros de suelo sobre sustrato rocoso sano
D4b	1+760	1+940	30	1H:3V 1H:1V los 2 m superiores	20% Excavación medios mecanicos 80% Voladura	Desmonte en roca competente
D5	PASO PEATONAL 0+080		2	1H:3V	20% Excavación medios mecanicos 80% Voladura	Desmonte en roca competente

Tabla 25. Resumen de los desmontes analizados.

5.3.- RELLENOS

Si bien el tramo está caracterizado principalmente por desmontes, se generan en la traza, en zonas de vaguada o ladera abajo, pequeños rellenos de alturas menores a 2 m. Estos rellenos se pueden encontrar hacia los PPKK 0+840 y 1+300. En el segundo de estos casos, se ha proyectado un muro para contener las tierras en la parte inferior de la ladera.

Entre los PPKK 1+600 y 1+700 se generarán los rellenos de acceso a los estribos del viaducto proyectado en este sector. Estos rellenos se han planteado entre muros y apoyados en roca sana.

Por último, a partir del PK 1+930, se construirá un relleno de unos 2,5 m sobre rellenos antrópicos y depósitos aluviales.

Para la construcción de estos rellenos, se plantea un talud 2H:1V y el saneo de los rellenos o suelos superficiales que se localicen en su base, eliminando esta capa más blanda y recudiendo los posibles asientos que se podrían derivar de la cimentación sobre estos materiales.

Como relleno independiente del tronco, se plantea la construcción de un paso peatonal en la zona del viaducto que deberá apoyarse sobre roca sana. Este relleno se plantea con talud 1H:1V, pudiendo estar formado por escollera en el sector bajo el viaducto, donde la pendiente de la ladera es más pronunciada.

Obra	PK inicio	PK fin	Altura máxima (m)	Talud	Material apoyo	Tratamientos
T1	0+820	0+840	2	2H 1V	Gr	Saneos 2 m bajo tierra vegetal.
T2	1+280	1+320	2	2H 1V	Gr, Gr	Saneos 0,5 m bajo relleno antrópico.
Estribos viaducto	1+620	1+660	5-6	Muro	Gr	Saneos 0,5 m bajo relleno antrópico.
T-R	1+650		4	1H 1V	Gr, Gr	Saneos 2 m bajo tierra vegetal.

Tabla 26. Resumen de los terraplenes propuesto.

Los rellenos del sector final del trazado se apoyarán sobre materiales de tipo suelo Qra y QAL con golpes de rechazo a poca profundidad.

A continuación, se lleva a cabo el estudio de estabilidad y asientos de la sección más desfavorable del trazado:

5.3.1.1.1.- Geometría

Este relleno se localiza entre los PK 1+621 y 1+680 y posee unos 4 m de altura máxima. Este relleno se proyecta con 1H:1V de pendiente.

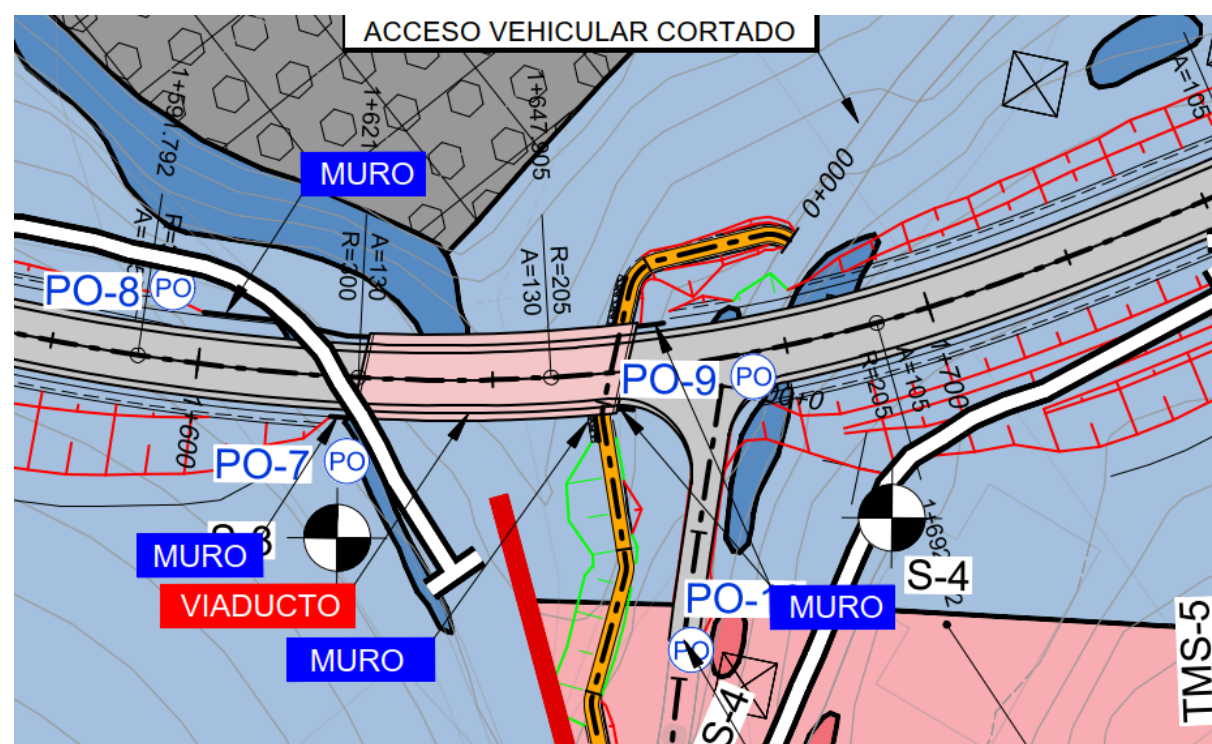


Figura 61. Ubicación T-PI.

Para su caracterización se cuenta con la proximidad de los sondeos S-3 y S-4, en donde se han perforado unos 0,9 m de suelos de origen coluvial en el sondeo S-3 y 4,8 m de suelos en el sondeo S-4, por debajo de esa profundidad se ha identificado ya roca caliza competente.

Para el análisis de este relleno se ha elegido la sección con máxima altura (4 m) en el PK 1+660, el perfil tipo es el siguiente:

- 0,0-1,0 m: UG-Qc
- >1,0 m: UG-Cc sana

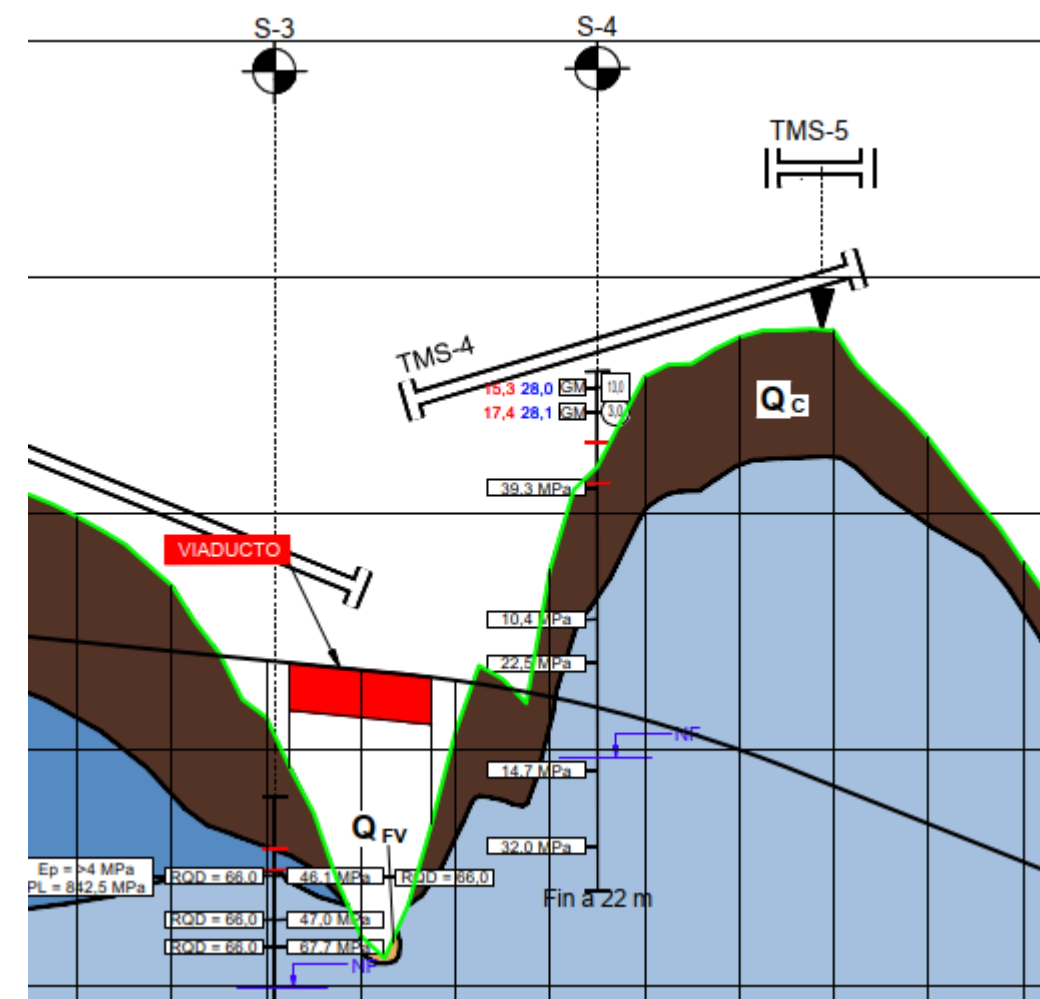


Figura 62. Perfil longitudinal. T-PI. PK 1+660.

5.3.1.1.4.- Estabilidad

Se lleva a cabo el análisis de estabilidad de la sección más desfavorable del PK 1+660, con unos 4 m de altura máxima. Los parámetros utilizados en los cálculos han sido los indicados en las tablas del apartado 4.2.4.

A continuación, se muestra el cálculo realizado:

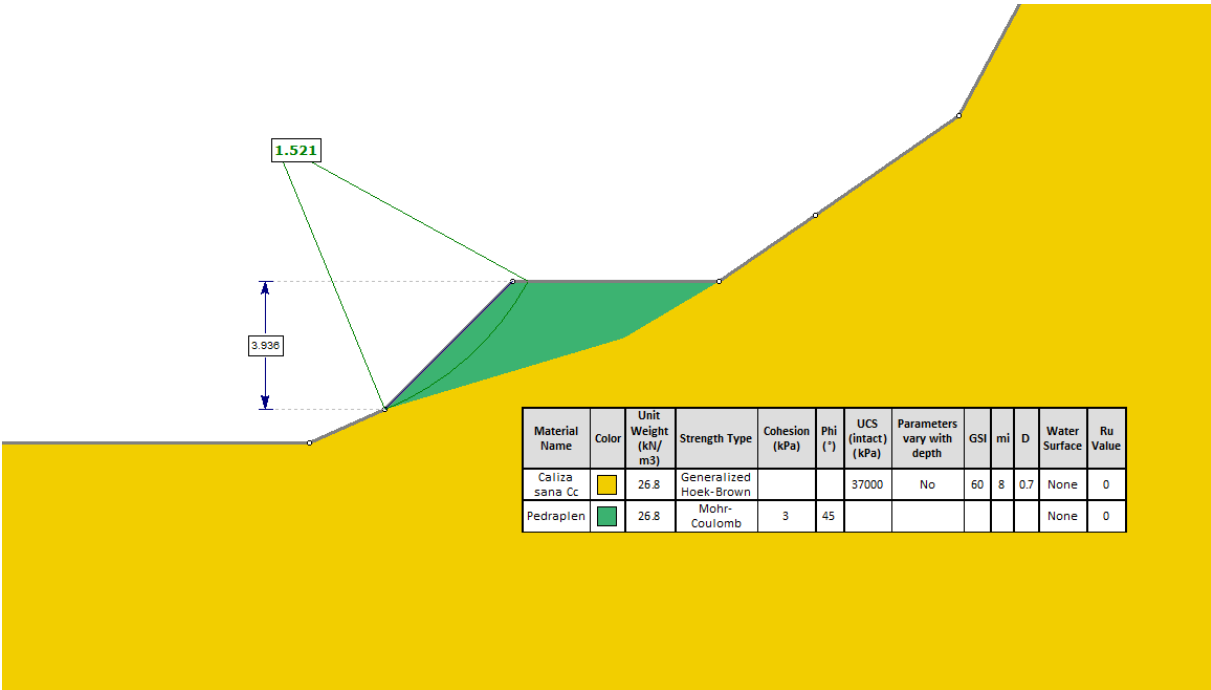


Figura 63. Cálculo de estabilidad Relleno en paso peatonal en situación sin sismo. FS= 1.521.

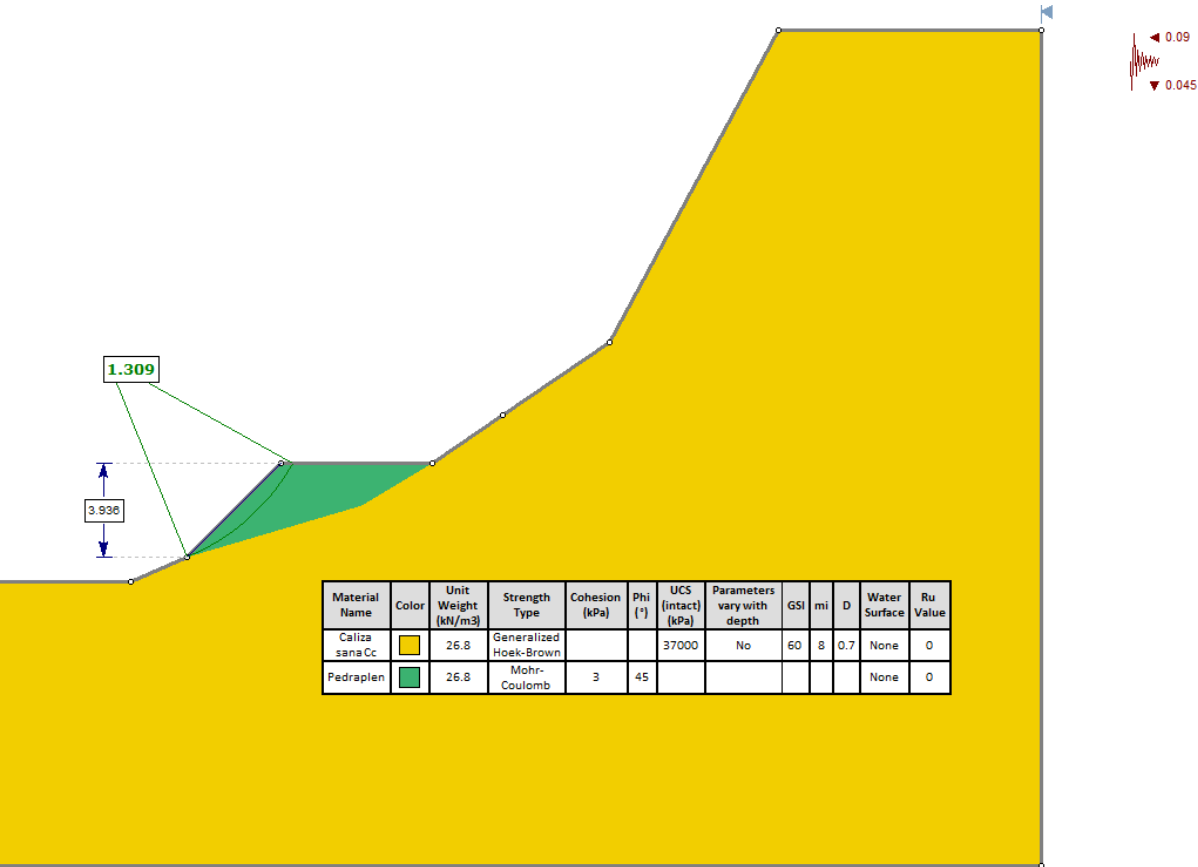


Figura 64. Cálculo de estabilidad Relleno en paso peatonal en situación con sismo. FS= 1.309.

Para un talud 1H:1V de estas características, los factores de seguridad obtenidos son aceptables. En las secciones anteriores y posteriores del relleno, donde el espesor de materiales blandos y la altura del relleno son menores, la estabilidad se considera garantizada.

6.- GEOTÉCNIA DE LAS ESTRUCTURAS

6.1.- METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

En este apartado se señala la metodología de análisis que se utilizará para el cálculo de las cimentaciones.

En base a las características geotécnicas de los materiales existentes, así como al tipo de estructuras diseñadas, se puede definir el tipo de cimentación a emplear.

La metodología de cálculo a seguir para establecer las características de la misma será la que se expone a continuación.

6.1.1.- Cimentaciones directas

En los siguientes apartados se exponen los criterios a seguir para el cálculo de la capacidad portante, coeficiente de balasto y asientos, en el caso de cimentaciones directas.

6.1.1.1.- Capacidad portante en suelos

El valor de cálculo de la resistencia al hundimiento del terreno es:

$R_d = R_k / \gamma_{Rv}$

donde Rk es el valor característico de la resistencia al hundimiento del terreno (es decir, calculada con los valores característicos de sus parámetros) y γ_{Rv} el coeficiente parcial para la resistencia al hundimiento.

El valor de los coeficientes parciales se establece en el Anejo Nacional UNE-EN 1997-1 de la forma siguiente:

- Coeficientes parciales para las acciones γ_F (conjunto A1): En situación persistente y transitoria, su valor se fija en la tabla A.3a del Anejo Nacional y, en situación accidental, son iguales a la unidad, de acuerdo con el primer párrafo de 2.4.7.1(3) del Anejo Nacional.
- Coeficientes parciales aplicables a los parámetros geotécnicos γ_M (conjunto M1): Son iguales a la unidad, de acuerdo con la tabla A.4a del Anejo Nacional, para situaciones persistentes, transitorias y accidentales.
- Coeficientes parciales para la resistencia γ_{Rv} (conjunto R2): Su valor se fija en la tabla A.5 del Anejo Nacional para para situaciones persistentes, transitorias y accidentales.

Resistencia	Símbolo	Valor	
		Estructuras de edificación	Otras estructuras
Hundimiento	$\gamma_{R,v}$	2,15	1,85
Deslizamiento por la base	$\gamma_{R,h}$	1,10	1,10

Tabla 27. Tabla A.5 (UNE-EN 1997-1). Coeficientes parciales γ_R aplicables a las resistencias, en el cálculo de cimentaciones directas (Conjunto R2).

El valor característico de la resistencia al hundimiento del terreno se calcula a partir de la siguiente expresión:

$R_k = q N_q \xi_q + c N_c \xi_c + 0,5 \gamma B' \xi_\gamma$

donde:

- Rk: Valor característico de la resistencia al hundimiento.
- q: Sobrecarga del terreno a nivel de la cimentación.
- c: Cohesión del terreno.
- γ : Peso específico del terreno.
- B': Anchura efectiva de la cimentación.
- N: Factores adimensionales de corrección que dependen del ángulo de fricción del terreno (Φ). Los factores adimensionales de capacidad de carga se calcularán mediante las siguientes expresiones analíticas:

$$N_q = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} e^{\pi \tan \varphi} \rightarrow N_c = \frac{N_q - 1}{\tan \varphi} \rightarrow N_\gamma = 2 (N_q - 1) \tan \varphi \quad (\text{condiciones drenadas})$$
$$N_q = 1 \rightarrow N_c = \pi + 2 = 5,14 \rightarrow N_\gamma = 0 \quad (\text{condiciones no drenadas})$$
- ξ : Factores adimensionales para considerar el efecto de la resistencia al corte local del terreno situado sobre el plano de apoyo, la inclinación de la carga, la forma de la cimentación, la proximidad de la cimentación a un talud y la inclinación del plano de apoyo.

En el caso de cimentaciones en suelos, el diseño viene en numerosas ocasiones condicionado por los asientos admisibles por la estructura.

Cuando la superficie de rotura afecte a terrenos de distinta naturaleza, es necesario tener en cuenta este aspecto. Siempre que las diferencias en las características resistentes sean moderadas, se podrá asimilar el terreno heterogéneo a otro homogéneo con unos parámetros de cálculo equivalentes. Cuando el terreno bajo la cimentación esté estratificado horizontalmente y las diferencias en el ángulo de rozamiento sean de menos de 15° se podrán suponer los siguientes parámetros equivalentes:

$$\gamma_{eq} = \frac{1}{H} \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i \rightarrow c_{eq} = \frac{1}{H} \sum_{i=1}^n \gamma c_i h_i \rightarrow \ln(\tan \varphi_{eq}) = \frac{1}{H} \sum_{i=1}^n h_i \ln(\tan \varphi_i)$$

donde,

- hi: Espesor de cada estrato existente bajo el plano de cimentación (hasta una profundidad H).
- γ i, ci, Φi: Parámetros γ , c, Φ que corresponden al estrato i de los n en que puede dividirse la profundidad H.
- H: Profundidad de la zona de afección de la cimentación, en la que debe realizarse esa ponderación, tomándose a estos efectos la profundidad que, estando comprendida entre B' y 3B', conduzca al valor más bajo del ángulo de rozamiento equivalente.

6.1.1.2.- Capacidad portante en roca

Para el caso del apoyo de manera directa sobre roca se propone utilizar la formulación incluida en la Guía de Cimentaciones para Obras de Carreteras en la que se calcula la presión vertical admisible del terreno según la siguiente expresión:

$$P_{v adm} = P_0 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \sqrt{\frac{q_u}{P_0}}$$

Donde

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

El parámetro α1 se obtendrá dependiendo del tipo de terreno:

TABLA 4.3. VALORES DE α₁ SEGÚN EL TIPO DE ROCA

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

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

Figura 65. Valores recomendados según el tipo de roca.

En todo caso se recomienda que cuando aparezcan varios tipos de roca en un mismo apoyo, o existan dudas en esta clasificación y salvo información específica en otro sentido, se tome como valor de cálculo α 1 = 0,4.

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

- Grado de meteorización I (Roca sana o fresca): α 2 = 1,0
- Grado de meteorización II (Roca ligeramente meteorizada): α 2 = 0,7
- Grado de meteorización III (Roca moderadamente meteorizada): α 2 = 0,5

La separación entre litoclasas debe caracterizarse de dos formas diferentes:

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

En todo caso, la zona de referencia será el volumen de roca situado bajo la cimentación hasta una profundidad igual a 1,5 B*.

Partiendo de estos datos, se calculará α 3 como el mínimo de entre los dos valores siguientes:

$$\alpha_3 = \min(\alpha_{3a}, \alpha_{3b}) \quad \alpha_{3a} = \sqrt{\frac{s}{1\text{m}}} \quad \alpha_{3b} = \sqrt{\frac{\text{RQD}(\%)}{100}}$$

- s = Espaciamiento entre las litoclasas expresado en m. Se utilizará el correspondiente a la familia de diaclasas que conduzca a un valor menor.
- 1m = Valor que se utiliza para hacer adimensional la expresión correspondiente.
- RQD = Valor del parámetro «Rock Quality Designation», expresado en tanto por ciento.

En el Eurocódigo se incluyen gráficas de cálculo de la tensión admisible en roca para cada tipo de terreno con las que se obtienen resultados similares a los obtenidos mediante el método descrito con anterioridad:

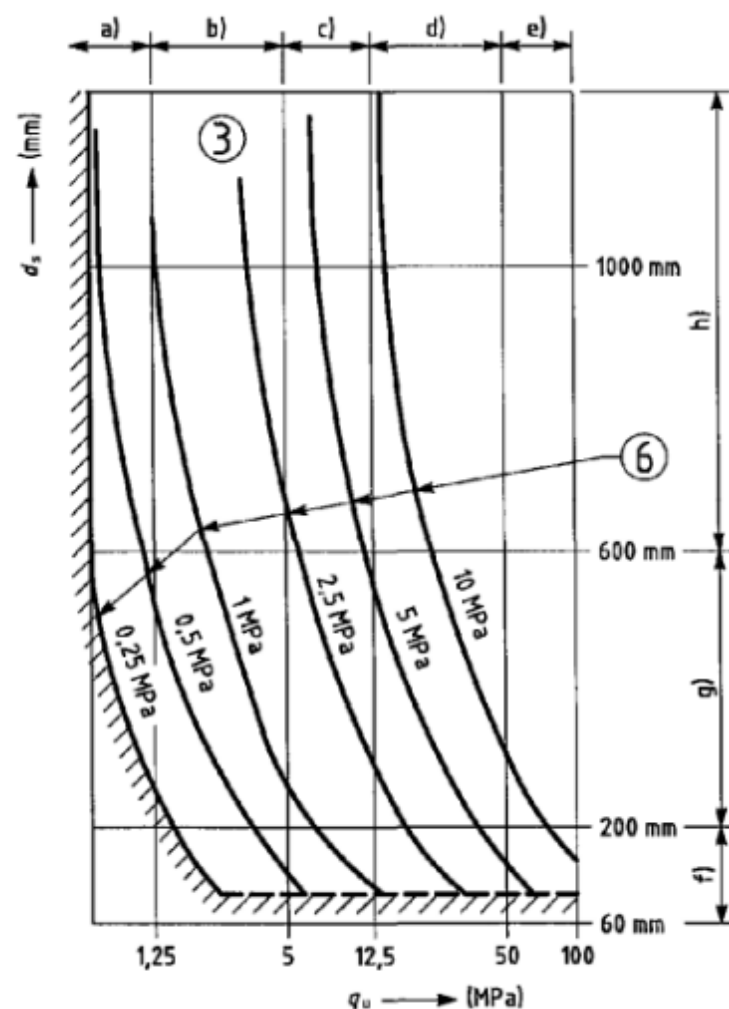


Figura 66. Estimación de la tensión admisible en rocas de tipo 3 (sedimentarias y metamórficas)

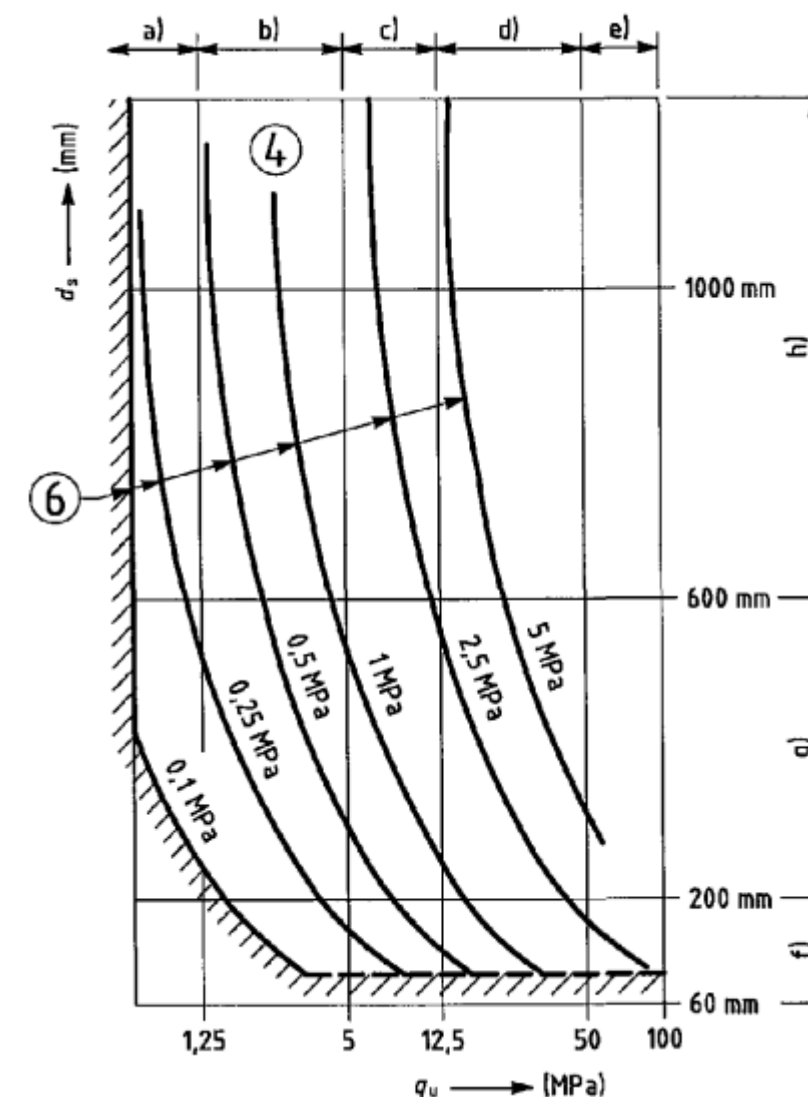


Figura 67. Estimación de la tensión admisible en roca para materiales de tipo 4 (margas o rocas poco soldadas).

En estos casos de apoyo sobre roca, el método de cálculo proporciona una tensión admisible, por lo que para obtener la resistencia de diseño R_d correspondiente se multiplicará el valor obtenido por 3, obteniendo la R_k y se dividirá este valor entre 1,85.

6.1.1.3.- Coeficiente de balasto

Para la determinación de los esfuerzos en el caso de cimentaciones flexibles es necesario considerar la deformabilidad del terreno.

El modelo más sencillo sería el denominado modelo de Winkler en el que el terreno es sustituido por unos "resortes" cuya rigidez viene determinada por la expresión siguiente:

$$R = k \cdot A$$

donde,

- R = Rigidez del modelo de Winkler.
- k = Módulo de balasto.
- A = Área del terreno representada por el “resorte”.

La elección de un valor adecuado para el parámetro k resulta complicada al depender del estado tensional alcanzado y de las dimensiones del área cargada, existiendo numerosas expresiones de carácter empírico y correlaciones.

Cuando se cuente con datos del módulo de deformación del terreno (E), es posible emplear el método elástico para obtener el módulo de balasto vertical (kv) mediante la expresión:

$$k_v = \frac{E}{B(1 - \nu^2)K_o} \text{ (asiento elástico placa rígida rectangular)}$$

donde,

- kv Módulo de balasto vertical.
- E Módulo de deformación del terreno.
- U Coeficiente de Poisson del terreno.
- K0 Coeficiente de forma. Dependiente de la relación (n) entre las dimensiones de la cimentación (L/B), tal y como se muestra en la Tabla siguiente (ancho B - longitud L, con L/B≤10).
- B Ancho de la cimentación.
- L Longitud de la cimentación.

n = L/B	K _o
1	0,88
1,5	1,08
2	1,22
3	1,44
4	1,61
5	1,72
6	1,81
7	1,93
8	2,01
9	2,07
10	2,12

Tabla 28. Valores de k0 según la relación (n) de las dimensiones de la cimentación L/B.

En el caso de muros anclados por bataches para la contención del terreno, el cálculo del módulo de balasto horizontal (kh) se asimila al módulo de balasto vertical, empleando la misma formulación y considerando:

- B: Ancho de batache.
- L: Altura del muro.

Cuando no se dispone de ensayos presiómetros en la zona, como es el caso de las estructuras de tipo paso inferior u ODT, el módulo de balasto puede obtenerse mediante la siguiente expresión:

Terzaghi propuso, para zapatas cuadradas de ancho b (m) las expresiones siguientes:

$$K = K_{30} \left(\frac{0,30}{b} \right); \text{ suelos cohesivos}$$

$$K = K_{30} \left(\frac{b + 0,30}{2b} \right)^2; \text{ suelos granulares}$$

Donde K30 es un valor de referencia sobre el que existen datos bibliográficos y correspondiente a una placa de 30x30 cm.

6.1.1.4.- Asientos en cimentaciones directas

En numerosas ocasiones la tensión de trabajo viene condicionada por los asientos admisibles por la estructura, y no por las tensiones admisibles.

Para el cálculo de asientos se aplican las expresiones indicadas en la figura siguiente, que consideran un terreno de cimiento elástico, válida para zapatas rígidas.

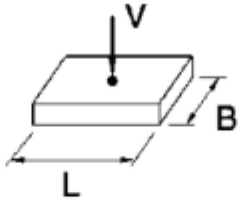
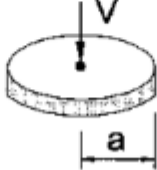
Área rectangular Asiento		$s = \frac{V(1 - \nu^2)}{1,25 E \sqrt{BL}}$ $L/B \leq 5$
Área circular Asiento bajo el centro		$s = \frac{V(1 - \nu^2)}{2aE}$

Figura 68. Cálculo de asientos en cimentaciones superficiales rígidas. V=Componente vertical de las acciones. E, ν , Parámetros elásticos del terreno de cimiento.

Para estimar los asientos en losas u otras cimentaciones de tipo flexible se aplican las expresiones incluidas en la siguiente figura:

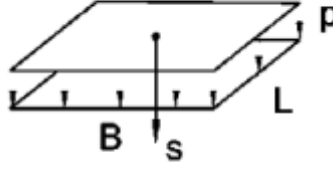
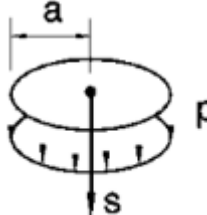
Área rectangular Asiento bajo el centro		$s = \frac{2}{\pi} R \frac{p(1 - \nu^2)}{E}$ Donde: $R = B \operatorname{argsh} \left(\frac{L}{B} \right) + L \operatorname{argsh} \left(\frac{B}{L} \right)$ NOTA: argsh, es la función argumento del seno hiperbólico.
Área circular Asiento bajo el centro		$s = 2 \frac{p a (1 - \nu^2)}{E}$

Figura 69. Cálculo de asientos en cimentaciones superficiales flexibles. P=Tensión de trabajo de la cimentación flexible. E, ν =Parámetros elásticos del terreno de cimiento.

Aunque estas formulaciones están pensadas para terrenos homogéneos, puede utilizarse para terrenos heterogéneos después de calcular los parámetros elásticos del terreno equivalentes de la siguiente forma:

$$E_{eq} = \frac{\sum \Delta \sigma_i h_i}{\sum \left(\frac{\Delta \sigma_i}{E_i} \right) h_i}$$

donde,

- Eeq: Módulo de elasticidad medio equivalente.
- Ei: Módulo de elasticidad del estrato i.
- Hi: Espesor del estrato i.
- $\Delta \sigma_i$ Incremento de la presión vertical total, en el centro del estrato i, en la vertical del centro de la cimentación creado por la carga aplicada sobre la misma.

Para estimar los valores de σ a utilizar en la expresión anterior, se cree suficientemente precisa la aplicación de la siguiente expresión:

$$\Delta \sigma = p \cos^3 \alpha$$

donde,

- P: Presión media transmitida por la cimentación.
- α : $\arctg(a/z)$, expresado en radianes.
- a: Radio de la cimentación circular equivalente, $a=\sqrt{(A/\pi)}$
- A: Área de apoyo de la cimentación.
- z: Profundidad del punto en cuestión, bajo el plano de apoyo del cimient.

Para aquellos casos en los que la cimentación sea muy alargada (relaciones $L/B \geq 10$), se puede utilizar la expresión aproximada siguiente:

$$\Delta \sigma = p \frac{2\varepsilon + \operatorname{sen} 2\varepsilon}{\pi}$$

donde,

- p: Presión media transmitida por la cimentación.
- α : $\arctg(B/2z)$, expresado en radianes.
- B: ancho de la zona cargada.
- z: Profundidad del punto en cuestión, bajo el plano de apoyo del cimient.

Como módulo de Poisson equivalente (v_{eq}) se puede tomar el valor de la media ponderada, utilizando como pesos de ponderación los mismos valores $\Delta \sigma_i$ antes indicados. Es decir:

$$v_{eq} = \frac{\sum v_i h_i \Delta \sigma_i}{\sum h_i \Delta \sigma_i}$$

UNE-EN 1997-1, en su Anexo H, propone los siguientes valores límite para los asientos, que pueden tomarse como referencia para estructuras convencionales, en ausencia de límites específicos:

- Asiento absoluto: 5 cm.
- Asiento diferencial: $L / 500$, siendo L la distancia entre apoyos.

De acuerdo con UNE-EN 1997-1, el valor límite de 5 cm para el asiento absoluto podría superarse si se justifica adecuadamente.

6.1.1.5.- Coeficiente de rozamiento hormigón-terreno

De acuerdo con el Eurocódigo, se podrán adoptar los siguientes coeficientes de rozamiento entre el hormigón y el terreno:

Tabla 11 Coeficiente de rozamiento entre hormigón *in situ* y diferentes tipos de terreno

Tipo de terreno	$\tan \delta_k$
Roca sana	0,70
Grava, grava arenosa, arena gruesa	0,55 a 0,60
Arena media y fina, arena gruesa limosa, grava limosa o arcillosa	0,45 a 0,55
Arena fina, arena media y fina, limosa o arcillosa	0,35 a 0,45
Limo fino arenoso, limo no plástico	0,30 a 0,35
Arcilla de resistencia muy alta, arcilla preconsolidada	0,40 a 0,50
Arcilla de resistencia media, arcilla limosa	0,30 a 0,35

Figura 70. Estimación de valores genéricos de rozamiento terreno-hormigón.

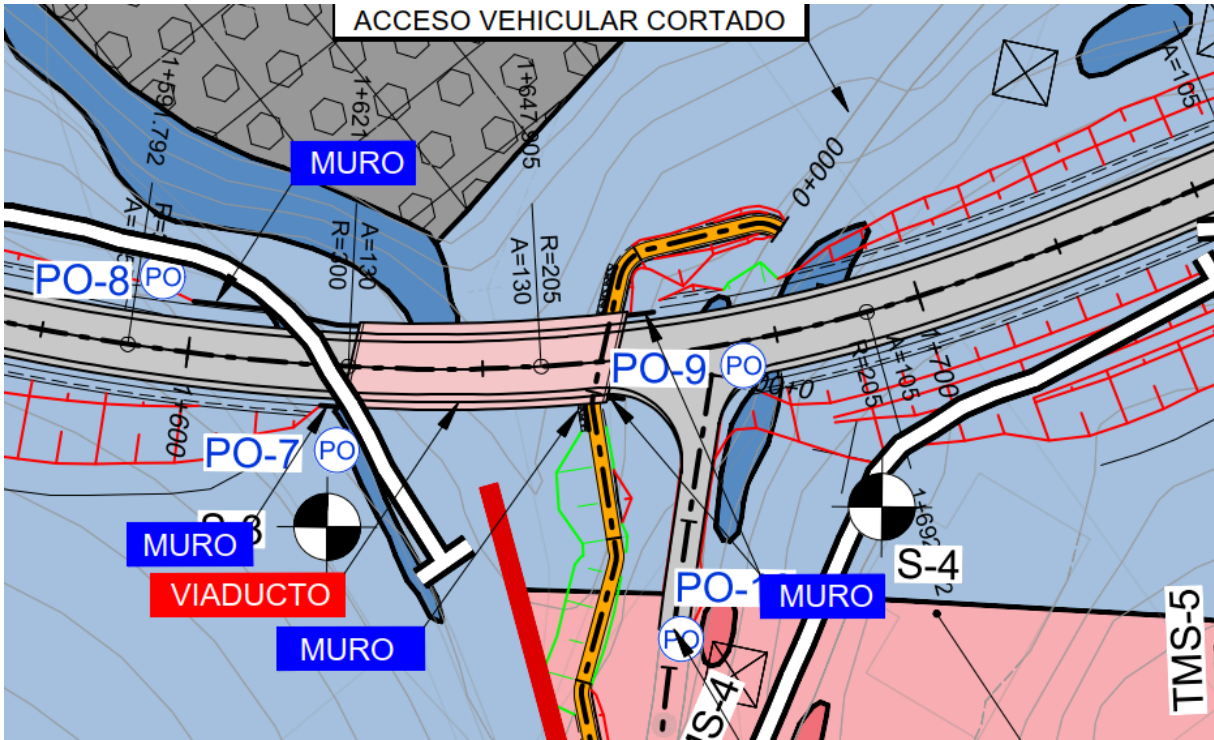
6.2.- CIMENTACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

El tramo de estudio comprende la construcción de un viaducto entre los PK 1+621 y 1+650, y de varios muros. En base a los datos disponibles, se describe a continuación las condiciones de cimentación de las estructuras de este proyecto:

6.2.1.- Viaducto

6.2.1.1.- Descripción general

Se trata de un viaducto ubicado entre los PK 1+621 y 1+650, en la siguiente imagen se muestra la ubicación en planta.



Fotografía 15. Ubicación en planta del viaducto entre PK 1+621 y 1+650.

UNIDAD	Espesor (m)	W	γ	RCS	E	c	φ	Ep	K30	Agradividad según cód. estructural
		(%)	(kN/m ³)	Mpa	Mpa	Kpa	(°)	Mpa	kg/cm3	
Cc alt	0,9- >12,2	9,9	23,5	33	913	179	33	-	30	-
Cc sana	>12	0,38	23,5	37	8211	-	-	213	800	XA1
Qc	2,2-4,8	15,53	22,3	-	-	10	35	-	9	No agresivo

Tabla 29. Perfil tipo y propiedades de los materiales para el viaducto.

6.2.2.- Muro PK 0+130-0+220

Este muro se ejecutará para la ampliación de la carretera en el sector inicial del tramo. Se trata de un muro de altura menor de 1,5 m, cimentado sobre suelos.

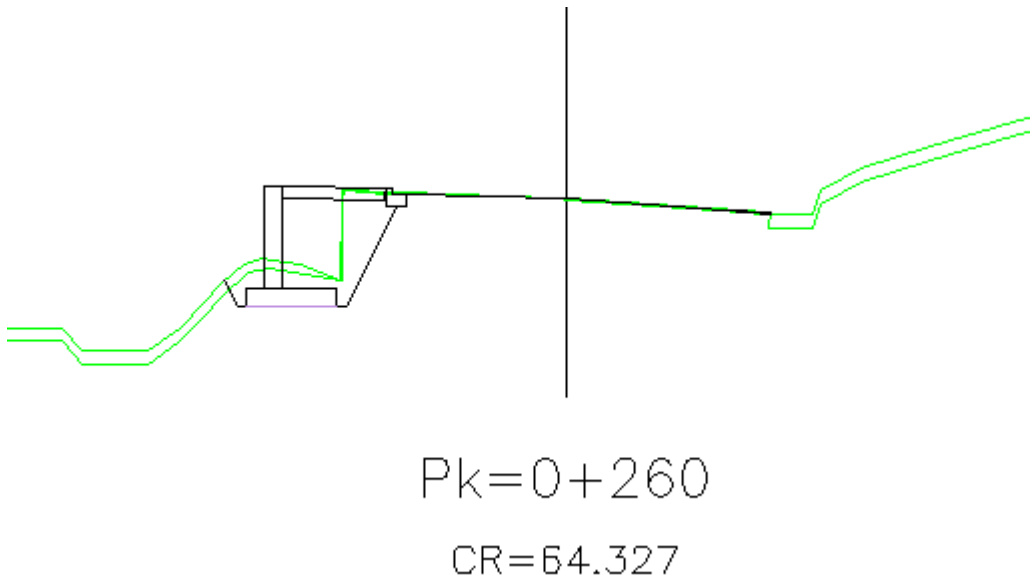


Figura 71. Sección transversal. PK 0+260.

Para su cimentación, se realizará un saneo del terreno blando superficial, compactando el cimientó enérgicamente.

6.2.3.- Muro PK 1+260 y 1+320

Se trata de un muro de 1,8 m de altura máxima, ubicado entre los PK 1+260 y 1+320. En la siguiente imagen se muestra la ubicación en planta.

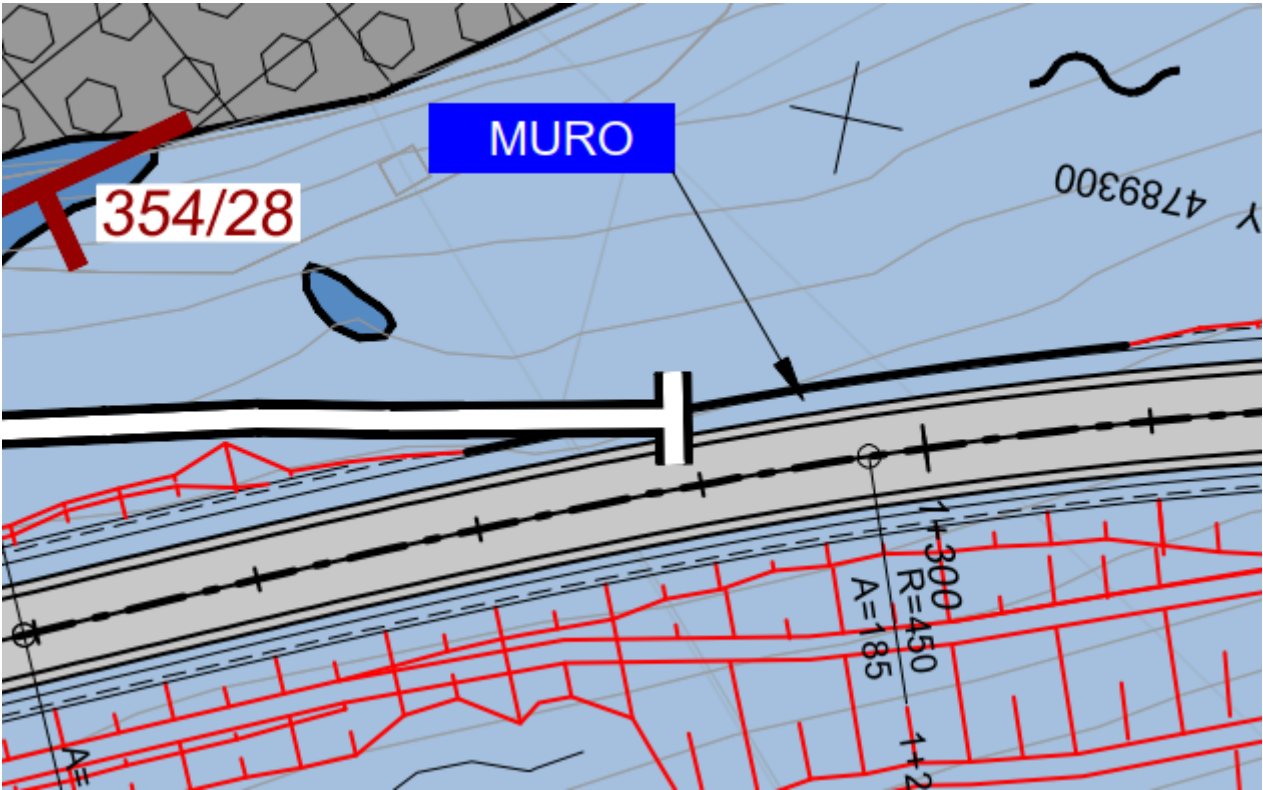


Figura 72. Ubicación en planta del muro entre PK 1+260 y 1+320.

UNIDAD	Espesor (m)	W	γ	RCS	E	c	φ	Ep	K30	Agrasividad según cód. estructural
		(%)	(kN/m ³)	Mpa	Mpa	Kpa	(°)	Mpa	kg/cm3	
Cc alt	0,9- >12,2	9,9	23,5	33	913	179	33	-	30	-
Cc sana	>12	0,38	23,5	37	8211	-	-	213	800	XA1
Qc	2,2-4,8	15,53	22,3	-	-	10	35	-	9	No agresivo

Tabla 30. Perfil tipo y propiedades de los materiales para el muro PK 1+260 - 1+320.

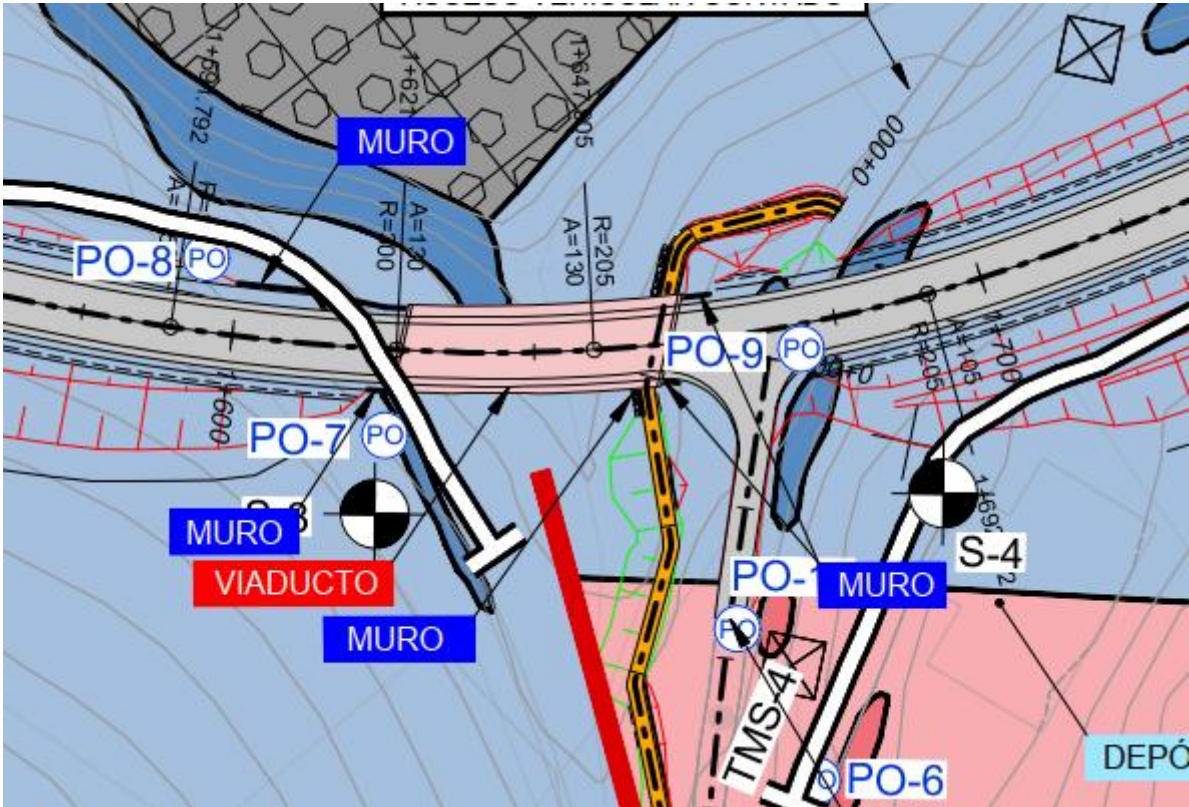
Según la información disponible, la cimentación de este viaducto se podrá realizar mediante zapatas apoyadas directamente en la roca sana.

Para el estudio de sus cimentaciones se cuenta con la información de la estación geomecánica EGM-1, así como el perfil sísmico TMS-2, además del punto de observación PO-5.

En base a estos trabajos, se estiman 2 m de suelos Qc bajo los cuales se encuentra la roca caliza sana Cc. El apoyo del muro se realizará sobre saneo, una vez eliminados los primeros metros de terreno blando. A continuación, se muestran las propiedades del terreno bajo esta estructura.

6.2.4.- Muros para estribos del viaducto. PK 1+600 y 1+660

Se trata de varios muros ubicados entre los PK 1+600 y 1+660 con alturas de entre 7 y 8 m, en la siguiente imagen se muestra la ubicación en planta.



Fotografía 16. Ubicación en planta del muro entre PK 1+600 y 1+660.

UNIDAD	Espesor (m)	W	γ	RCS	E	c	φ	Ep	K30	Agravidad según cód. estructural
		(%)	(kN/m ³)	Mpa	Mpa	Kpa	(°)	Mpa	kg/cm3	
Cc alt	0,9- >12,2	9,9	23,5	33	913	179	33	-	30	-
Cc sana	>12	0,38	23,5	37	8211	-	-	213	800	XA1
Qc	2,2-4,8	15,53	22,3	-	-	10	35	-	9	No agresivo

Tabla 31. Perfil tipo y propiedades de los materiales para los muros PK 1+600 - 1+660.

Para el estudio de sus cimentaciones se cuenta con la información de los sondeos S-3 y S-4, así como los perfiles sísmicos TMS-3 y TMS-4, además de los puntos de observación PO-7, PO-8 y PO-9.

En base a estos trabajos, se estima 1 m de suelos bajo los que se localiza el sustrato rocoso sano. El apoyo del muro se realizará sobre roca sana, una vez eliminados los primeros metros de terreno blando.

6.2.5.- Muro de escollera paso peatonal.

Para el paso peatonal bajo el viaducto, está planteado un muro de escollera en el sector bajo el viaducto.

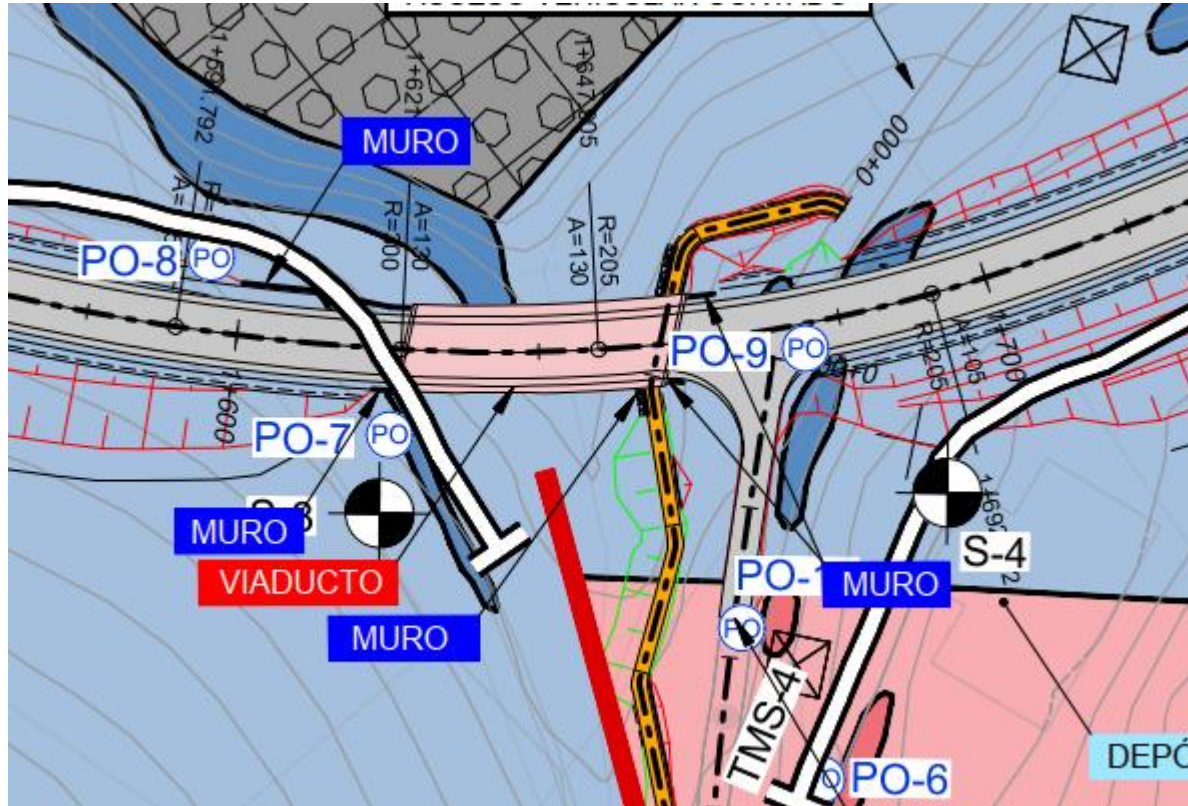


Figura 73. Ubicación en planta del muro de escollera.

En base a los trabajos disponibles, se estima 1 m de suelos bajo los que se localiza el sustrato rocoso sano. El apoyo del muro se realizará sobre roca sana, una vez eliminados los primeros metros de terreno blando.

7.- MOVIMIENTO DE TIERRAS

7.1.- INTRODUCCIÓN

En el presente apartado se describen los principales volúmenes de tierras que caracterizan las obras que comprende este proyecto. A partir de las mediciones obtenidas, el aprovechamiento de los materiales y los coeficientes de paso y esponjamiento aplicables a estos, se realiza el balance de tierras del tramo, obteniendo las necesidades de material externo al trazado y el volumen de material que deberá ser retirado a vertedero.

7.2.- MEDICIONES

Se reflejan, en primer lugar, los volúmenes obtenidos mediante el programa ISTRAM, pasando posteriormente a definir el aprovechamiento y los coeficientes de paso estimados para las unidades excavadas. Debe señalarse que este proyecto resulta, de inicio, excedentario en materiales rocosos sanos.

A continuación, se muestran los volúmenes obtenidos mediante el programa ISTRAM.

Los conceptos se definen a continuación:

EE	EXCAVACIONES				NECESIDADES				
	EX DESMONTE1	EX DESMONTE2	EX SANEOTERRAP	EX VEGETAL	SADECUADO	SSELECCIONADO2	RE TERRAPLEN	SANEO ROCA	RE SANEOTERRAP
	Volumen	Volumen	Volumen	Volumen	Volumen	Volumen	Volumen	Volumen	Volumen
NA-4001_Variante de Lesaka	88.792,2	149.918,7	891,3	11.981,1		2.289,4	1.922,2	35,4	926,7
Conexion NA-4000_Glorieta	510,8					759,3			
Conexion NA-4000_Eje 1	256,3					193,8			
Conexion NA-4000_Eje 2	262,2					134,5			
Camino 1	462,4	733,4		137,0	24,9				
Camino2	135,1	9,8			54,8				
Paso Peatonal	58,7	39,9	134,9	172,4			440,2	18,5	153,3
TOTAL	90.477,70	150.701,80	1.026,20	12.290,50	79,70	3.377,00	2.362,40	53,90	1.080,00

Tabla 32. Volúmenes obtenidos mediante el programa ISTRAM.

7.3.- APROVECHAMIENTO DE LOS MATERIALES

En base a las observaciones realizadas en campo así como lo observado en la caracterización geológica-geotécnica, aun sin haber llevado a cabo ensayos para el estudio de aprovechamiento, se

Ex Desmonte 1: Excavación superficial en suelos o roca alterada.

Ex Desmonte 2: Excavación profunda en roca sana.

Ex Saneoterrap: Excavación de saneo para el cimientto de terraplenes o estructuras.

Ex Vegetal: Excavación de tierra vegetal.

Sadecuado: Suelo adecuado para explanadas.

Sseleccionado2: Suelo seleccionado para explanadas.

Reterraplen: Volumen necesario para los rellenos del trazado.

Saneo roca: Excavación en roca para encaje de escalonados.

Re saneroterrap: Necesidad de relleno para los saneos.

considera razonable estimar que los materiales que componen las unidades UG-Qc y UG-Cc alt deban ser retiradas a vertedero, mientras que las calizas sanas de la unidad UG-Cc se podrán emplear como relleno de pedraplén para el cimientto y núcleo de los rellenos proyectados.

7.4.- COEFICIENTES DE PASO

Para definir el coeficiente de paso de los materiales excavados se ha considerado la densidad seca para los materiales del presente proyecto de 22,3 t/m3 para el caso de los materiales cuaternarios y de 23,5 t/m3 para el sustrato rocoso competente, por lo que se obtuvo un valor medio de densidad de 2,31 t/m3.

En el caso de la unidad UG-Cc, se considera un coeficiente de paso de 1,2, mientras que el coeficiente de esponjamiento del material sobrante será 1,4.

En el caso de los suelos, se estima, a falta de ensayos específicos que lo definan, un coeficiente conservador de esponjamiento de 1,25.

7.5.- TIERRA VEGETAL

De acuerdo a las observaciones realizadas y los reconocimientos geotécnicos llevados a cabo, se interpreta que el espesor medio de tierra vegetal a lo largo del tramo será de 0,3 m.

7.6.- EXCAVACIONES

El volumen de tierras a extraer mediante desmonte se obtiene a base de cuantificar los taludes a ejecutar en cada caso, tanto en número como en volumen (cubicación).

El material que se obtendrá de excavar los taludes será de dos tipos, por un lado, los materiales excavados en los primeros metros se corresponden con rellenos antrópicos y depósitos cuaternarios, y bajo estos, se presentara un terreno competente (calizas).

A continuación, se detallan los volúmenes de materiales a excavar.

EJE	EX DESMONTE1	EX DESMONTE2	EX SANEOS TERRAP.	EX VEGETAL
	Volumen	Volumen	Volumen	Volumen
NA-4001_Variante de Lesaka	88.792,2	149.918,7	891,3	11.981,1
Conexion NA-4000_Glorieta	510,8			
Conexion NA-4000_Eje 1	256,3			
Conexion NA-4000_Eje 2	262,2			
Camino 1	462,4	733,4		137,0
Camino2	135,1	9,8		
Paso Peatonal	58,7	39,9	134,9	172,4
TOTAL	90.477,70	150.701,80	1.026,20	12.290,50

Tabla 33. Resumen de los materiales a excavar.

7.7.- RELLENOS

Si bien es un volumen menor, será necesario llevar a cabo algunos rellenos que se construirán con el material calizo sano, previo machaqueo que será apto como pedraplén.

En el caso de las capas de la explanada, se ha considerado de manera conservadora que procedan de cantera.

A continuación, se definen los volúmenes definidos como necesidades:

EE	NECESIDADES				
	SADECUADO	SSELECCIONADO2	RE TERRAPLEN	SANEO ROCA	RE SANEOTERRAP
	Volumen	Volumen	Volumen	Volumen	Volumen
NA-4001_Variante de Lesaka		2.289,4	1.922,2	35,4	926,7
Conexion NA-4000_Glorieta		759,3			
Conexion NA-4000_Eje 1		193,8			
Conexion NA-4000_Eje 2		134,5			
Camino 1	24,9				
Camino2	54,8				
Paso Peatonal			440,2	18,5	153,3
TOTAL	79,70	3.377,00	2.362,40	53,90	1.080,00

Tabla 34. Resumen del volumen de necesidades.

7.8.- BALANCE DE TIERRAS

Se presenta el estudio de compensación de tierras a partir de los volúmenes obtenidos con la justificación indicada anteriormente y aplicando los coeficientes de paso expuestos en el apartado precedente.

En primer lugar, se incluye una tabla de desglose del volumen de material obtenido de las excavaciones y su destino.

EXCAVACIONES		Aprovechamiento	Vol m³	CP/CE	Vol m³	Destino
Excavacion Total	241179,5	Aprovecho	2913,6	1,20	3496,3	Terraplén
		No Aprovechado Desmonte 1	90477,7	1,25	113097,1	Vertedero
		No aprovechado Desmonte 2	147788,2	1,40	206903,5	Vertedero
Saneos		No Aprovechable	1026,2	1,25	1282,8	Vertedero
Tierra vegetal		Aprovechable	12290,5	1,00	12290,5	Revegetado

Tabla 35. Resumen de los volúmenes de excavaciones. Siendo CP el coeficiente de paso y CE el coeficiente de esponjamiento a vertedero.

En total se considera un volumen de material excavado de 241.179,5 m3. De este volumen se aprovechan 3.496,3 m3 con coeficiente de paso para los rellenos del tramo. El material sobrante

(113.097,1+206.903,5 m3) y el no aprovechable (1.282,8 m3) se retirarán a vertedero obteniéndose un total de 321.283,4 m3 esponjados.

El volumen de materiales sobrantes se trasladará a los vertederos detallados en el Anejo 5 Estudio de Impacto Ambiental.

VERTEDERO		Vol m ³
Sobrantes	No Aprovechado Desmonte 1	113.097,13
	No aprovechado Desmonte 2	206.903,50
	Saneos	1.282,75
TOTAL		321.283,38

Tabla 36. Volumen de material a vertedero.

Respecto a las necesidades de materiales, se define el siguiente volumen y procedencia estimada.

NECESIDADES	Vol m ³	Procedencia
Relleno de Terraplen	3.496,30	Traza
Suelo adecuado	79,70	Canteras
Suelo seleccionado	3.377,00	Canteras

Tabla 37. Resumen de necesidades y procedencias.

En total, se define un volumen de necesidades para rellenos de 6.953 m3.

7.9.- CANTERAS Y VERTEDEROS

Los materiales excedentarios o sobrantes del proyecto, 321.283,4 m3, se consideran que serán trasladados a gestores de residuos o vertederos, para su tratamiento o almacenamiento.

Para ello se propone los siguientes vertederos:

VERTEDEROS PROPUESTOS		
Num.	Área (m ²)	Volumen (m ³)
VERTEDERO 1	12.194	86.500
VERTEDERO 2	13.079	90.500
VERTEDERO 3	22.086	162.000

Tabla 38. Listados de vertederos propuestos.

Estos vertederos son definidos en el anejo nº5.

Por otro lado, las necesidades de materiales a traer de cantera son 3.456,7 m3, y por ello se a continuación se presenta una lista de canteras propuestas:

DENOMINACIÓN	EMPRESA	COORDENADAS		DISTACIA AL TRAZADO (km)	MATERIAL
		X	Y		
YANCI	CANTERAS DE YANCI S.A.	605.212	4.786.446	2,53	Caliza
AIZKIBEL	AIZKIBEL S.A.	580.916	4.787.909	24,1	Caliza
ELTZABURU	OFITA NAVARRA S.A	603.446	4.764.776	24,3	Ofilita
ANCHA	CANTERAS ANCHA S.A.	613.797	4.772.702	18,3	Caliza y ofilita

Tabla 39. Listados de canteras propuestos.

8.- CONCLUSIONES

La zona de estudio pertenece a la Zona Norpirenaica, limitada por la falla homónima, y presenta dos dominios principales: el macizo granítico de Peñas de Aya, con granitos calcoalcalinos en el núcleo y leucogranitos en la periferia, y el macizo paleozoico de Cinco Villas, integrado en la Zona Axial pirenaica, caracterizada por pliegues y cabalgamientos E-O originados por la colisión Ibérica-Europea. Estructuralmente, la región forma un gran anticlinal con estructuras menores falladas.

Desde el punto de vista estratigráfico, el Carbonífero constituye el sustrato rocoso, formado por esquistos, grauvacas y pizarras en facies Culm, con una potencia cercana a 1000 m, y por calizas masivas de hasta 500 m, que presentan contactos graduales con pizarras e intercalaciones de sílex. Sobre este sustrato se disponen depósitos cuaternarios: aluviales, coluviales, de fondo de valle y rellenos antrópicos, todos identificados en campo y cartografiados.

El área de estudio está formada por un relieve montañoso en el que se encaja el valle fluvial del Birrana excavado en los materiales que afectan al trazado. El valle se estrecha en la zona de Lesaka donde da pie al asentamiento poblacional, para volver a estrecharse aguas abajo.

Desde el punto de vista hidrogeológico, la zona se enmarca en la separación de dos subcuencas, la cuenca del Bidasoa y la del Urumea, ambas pertenecientes a la Cuenca Cantábrica. Entre las formaciones aflorantes en el ámbito de estudio, se han distinguido materiales que por sus características hidrogeológicas son susceptibles de desarrollar acuíferos. Distinguiendo se así los niveles acuíferos Paleozoico y Cuaternario, de naturaleza secundaria. Los niveles de acuíferos aislados del Paleozoico se componen por materiales calcáreas corresponden a un conjunto de calizas y dolomías en ocasiones intensamente recrystalizadas. Los acuíferos del Cuaternarios se componen por depósitos de terraza muy poco desarrollados, constituido por un conjunto de gravas y cantos de naturales cuarcítica y calcárea, con un grado medio-alto de permeabilidad debido a su elevada porosidad.

8.1.- CAMPAÑA DE RECONOCIMIENTOS

En la visita de campo llevada a cabo para la redacción de este documento, se ha comprobado la abrupta orografía y la densa vegetación de la zona de estudio. Estos condicionantes han influido en la realización de trabajos geotécnicos como sondeos o penetrómetros, incluso dificultan la realización de perfiles geofísicos.

Se ha realizado una campaña de campo razonable en base las complicaciones de acceso de la zona, con la que se obtenidos parámetros y datos del terreno que han ayudado al diseño tanto de los taludes y sus posibles medidas de sostenimiento como de las condiciones de cimentación del muro proyectado.

La propuesta de campaña de reconocimientos de campo ha consistido en los siguientes reconocimientos:

- 3 sondeos verticales a rotación con recuperación continua de testigo.
- 1 ensayos de penetración dinámica continua.
- 6 perfiles de sísmica de refracción.

De todas las unidas litoestratigráficas descritas, las siguientes 3 unidades afectan directamente al trazado.

- UG-Cc
- UG-Qc
- UG-Q_{RA}

La unidad Cc aparece con dos grados de alteración, resultado que se puede encontrar con un grado alteración III-IV en su parte más superficial, pasando a un grado II en la parte más profunda, más favorable para la cimentación de las estructuras. Por ello, se ha dividido esta unidad litoestratigráfica en dos unidades geotécnicas.

- UG-Cc-alt: calizas con grado de alteración III-IV.
- UG-Cc: calizas con grado de alteración II.

Por encima de la unidad anterior apare las unidades de UG-Qc, UG-Q_{AL}, UG-Q_{RA} y QRC.

A continuación, se resumen los parámetros del terreno recomendados, en base a los datos disponibles, para el estudio del trazado:

UNIDAD	Espesor (m)	W	γ	RCS	E	c	φ	Ep	K30	Agrasividad según cód. estructural
		(%)	(kN/m³)	Mpa	Mpa	Kpa	(°)	Mpa	kg/cm3	
Cc alt	0,9- >12,2	0,21	22,94	33,8	530	179	33	-	30	-
Cc sana	>12	0,19	23,5	37	1317	205	33	213	800	XA1
Qc	2,2-4,8	15,1	22,3	-	-	10	35	-	9	No agresivo

Tabla 40. Resumen de parámetros del terreno.

UG	Potencia (m)	Grado alteración	RQD (%)	JRC	GSI	RMR ₈₉
Cc-alt	0,9 - 12 m	III-IV	20	10-12	20	25
Cc-sana	>12 m	II	70	6-8	75	80

Tabla 41. Resumen de propiedad del macizo rocoso.

8.2.- OBRAS DE TIERRA.

8.2.1.- Desmontes

En el trazado se han proyectado 4 tramos en desmonte con alturas variables que pueden alcanzar los 30 m en algunos puntos. De acuerdo con los análisis realizados, se indica a continuación las características geométricas y recomendaciones principales para cada desmonte proyectado

Obra	PK inicio	PK fin	H máxima (m)	Talud	Excavabilidad	Tipo de cuneta desmonte Roca/Suelos
D1	0+780	1+140	37	1H:3V 1H:1V los 2 m superiores	20% Excavación medios mecanicos 80% Voladura	Desmonte en roca competente
D2	1+140	1+300	15	1H:3V 1H:1V los 2 m superiores	20% Excavación medios mecanicos 80% Voladura	Desmonte en roca competente
D3	1+300	1+621	32	>20 m: 1H:1V 5 m superiores 2H:3V Resto <20 m 1H:1V 5 m superiores 1H:2V Resto	40% Excavación medios mecanicos 60% Voladura	Desmonte en 5 metros de suelo, por debajo roca fraturada karstificada (20 metros de espesor), sobre sustrato rocoso sano
D4a	1+680	1+760	32	1H:3V 50° de inclinacion los 5 m superiores	20% Excavación medios mecanicos 80% Voladura	Desmonte en 5 metros de suelo sobre sustrato rocoso sano
D4b	1+760	1+940	30	1H:3V 1H:1V los 2 m superiores	20% Excavación medios mecanicos 80% Voladura	Desmonte en roca competente

Tabla 42. Resumen de desmontes del trazado

8.2.2.- Rellenos

El tramo contempla la realización de varios tramos en relleno o terraplén.

El relleno con mayor altura será el del paso peatonal en donde se recomienda un talud 1H:1V, mientras que, en el resto, al presentar una altura máxima de 2 m, se ha definido un talud 2H:1V.

Obra	PKinicio	PKfin	Altura máxima (m)	Talud	Material apoyo	Tratamientos
T1	0+820	0+840	2	2H1V	Gr	Saneos 2 m bajo tierra vegetal.
T2	1+280	1+320	2	2H1V	Gr, Gr	Saneos 0,5 m bajo relleno antropico.
Estribos viaducto	1+620	1+660	5-6	Muro	Gr	Saneos 0,5 m bajo relleno antropico.
T-R	1+650		4	1H1V	Grv, Gr	Saneos 2 m bajo tierra vegetal.

Tabla 43. Resumen de rellenos del trazado

8.3.- CIMENTACIÓN DE ESTRUCTURAS

El tramo de estudio comprende la construcción de un viaducto y 4 muros.

- Viaducto ubicado entre los PK 1+621 y 1+650.
- Muros de acompañamiento al estribo del viaducto.
- Muros de contención de tierras ladera abajo ubicados entre los PK 0+130-0+220 y 1+260-1+320.
- Muro de escollera en el paso peatonal.

La cimentación del viaducto se realizará de manera directa mediante zapatas apoyadas en la roca sana. En el caso de los muros, cuando no se alcance la roca, se apoyarán sobre saneo.

8.4.- MOVIMIENTO DE TIERRAS

En base a las mediciones realizadas y los criterios de aprovechamiento definidos en este anejo, se han calculo los principales volúmenes de tierras del proyecto. El balance de tierras indica un volumen total excavado de 241.179,5 m³, del que se aprovechan 3.496,3 m³ y se destinan a vertedero 321.283,4 m³ tras aplicar el coeficiente de esponjamiento. Las necesidades para rellenos se estiman en 6.953 m³, confirmando un excedente significativo. El volumen no reutilizable será transportado a los vertederos definidos en el anejo N°5 Estudio de Impacto Ambiental.

NECESIDADES	Vol m³	Procedencia
Relleno de Terraplen	3.496,30	Traza
Suelo adecuado	79,70	Canteras
Suelo seleccionado	3.377,00	Canteras

Tabla 44. Resumen de los volúmenes de relleno.

VERTEDERO		Vol m³
Sobrantes	No Aprovechado Desmonte 1	113.097,13
	No aprovechado Desmonte 2	206.903,50
	Saneos	1.282,75
TOTAL		321.283,38

Tabla 45. Volumen de material a vertedero.

APÉNDICE N°1: PLANTA GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

LEYENDA

MATERIALES

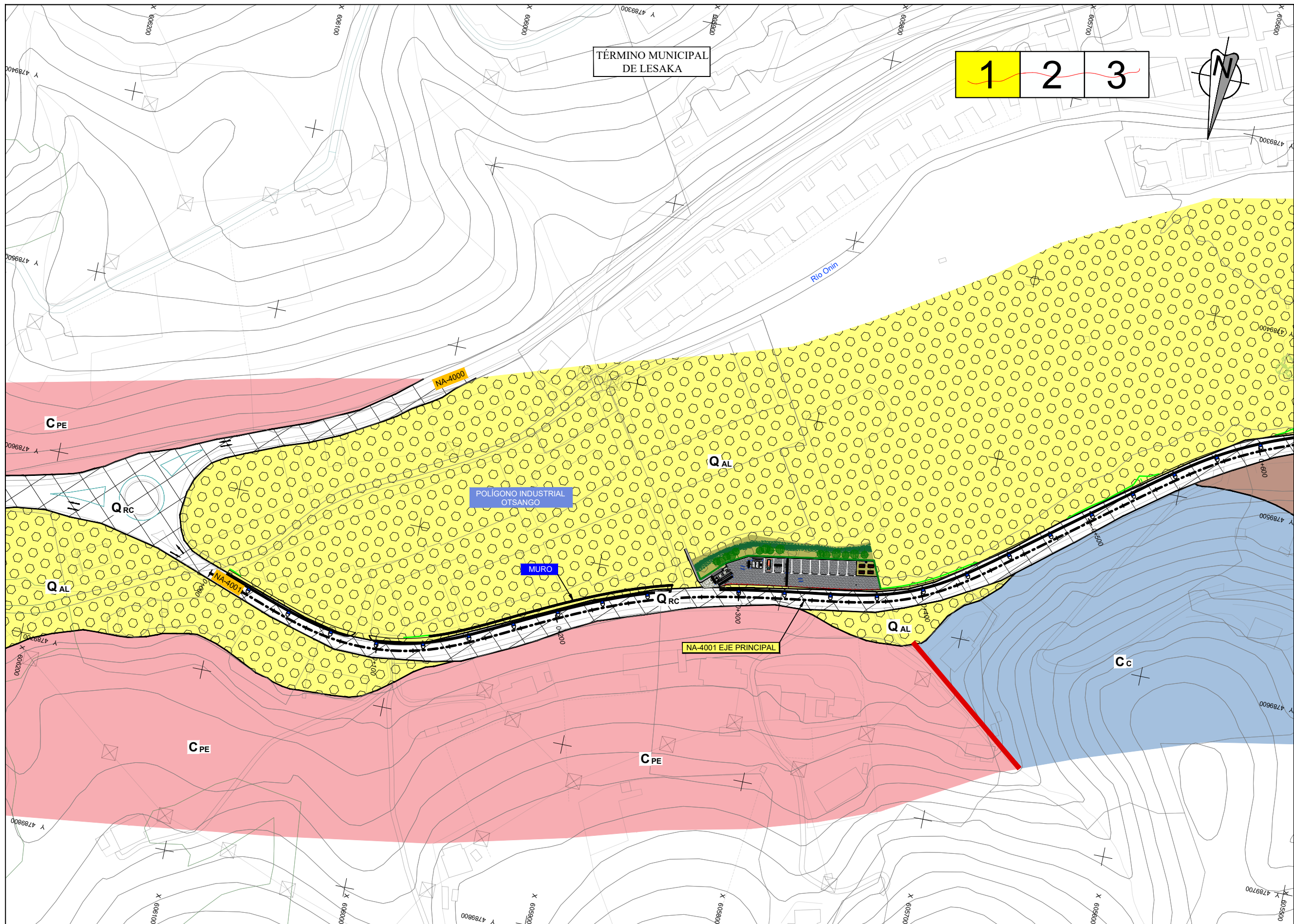
	(Q _{RC})	RELLENO ANTRÓPICO. CARRETERA
	(Q _{RA})	RELLENO ANTRÓPICO SOBRE ALUVIAL
	(Q _{AL})	ALUVIAL
	(Q _{FV})	FONDOS DE VALLE
	(Q _C)	DEPÓSITO COLUVIAL
	(C _C)	CARBONÍFERO. CALIZAS
	(C _{PE})	CARBONÍFERO. ESQUISTOS Y PIZARRAS

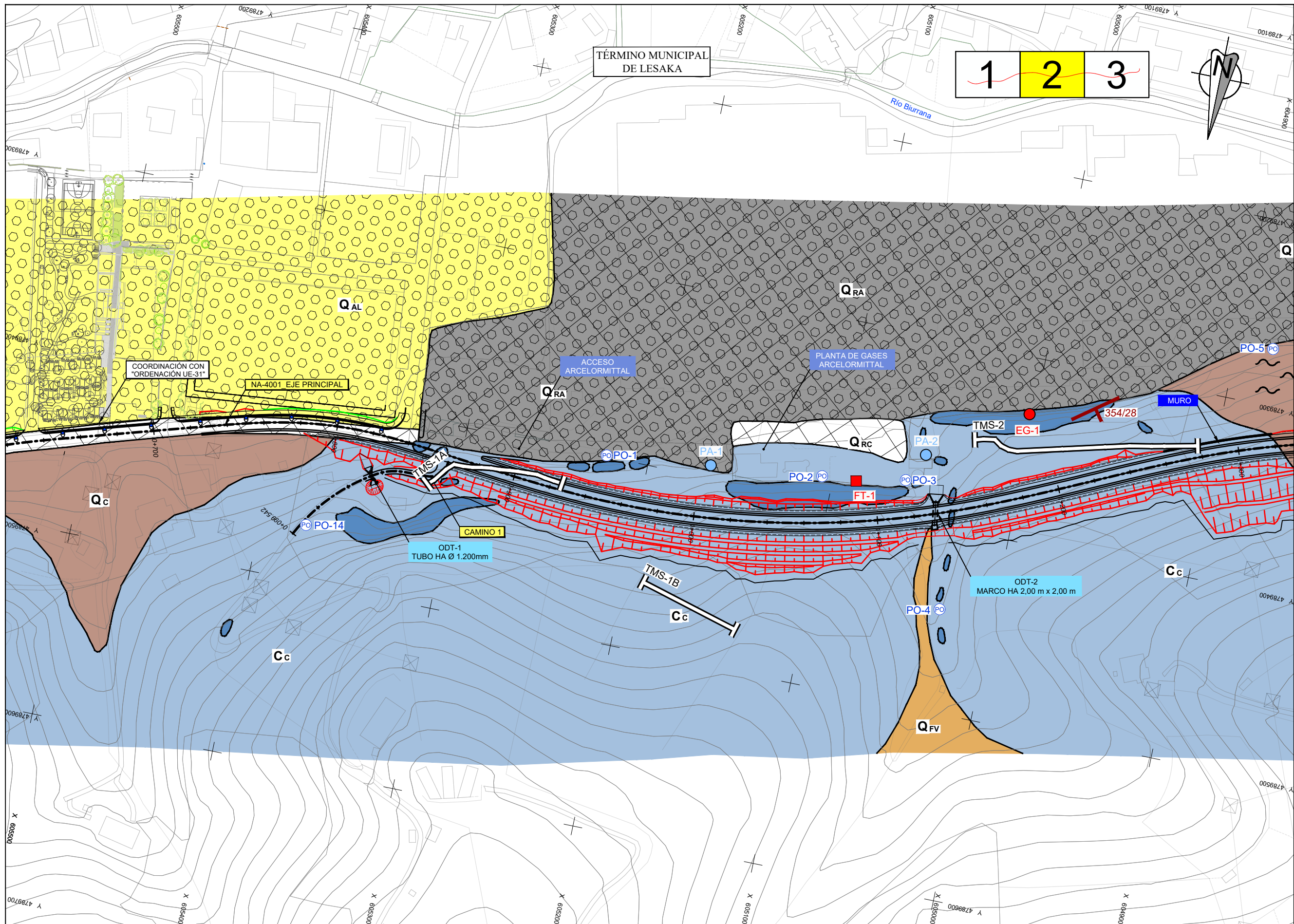
PROPUESTA DE CAMPAÑA

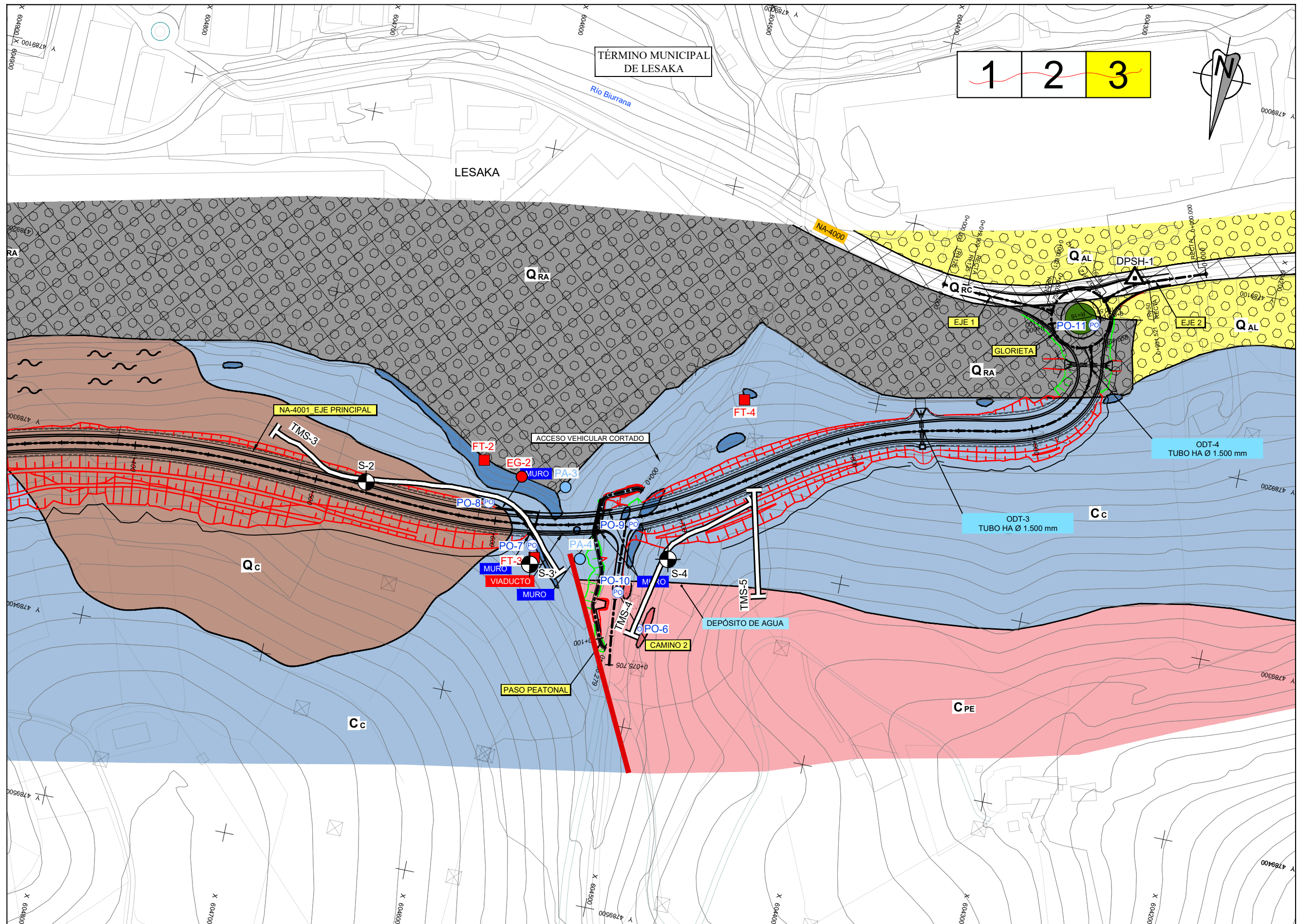
	SONDEOS
	PENETRÓMETRO
	PERFIL SÍSMICO REFRACCIÓN

SIMBOLOGÍA

	PUNTO DE OBSERVACIÓN
	ESTACIÓN GEOMECÁNICA
	FICHA DE TALUD
	PUNTO DE AGUA
	CONTACTO LITOLÓGICO
	ZONA DE FALLA
	BUZAMIENTO
	REPTACIÓN







APÉNDICE N°2: PERFIL GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

LEYENDA

MATERIALES

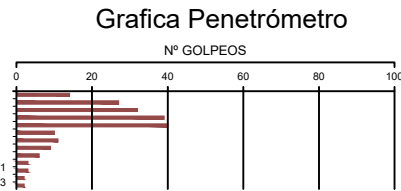
	(Q _{RC})	RELLENO ANTRÓPICO. CARRETERA
	(Q _{RA})	RELLENO ANTRÓPICO SOBRE ALUVIAL
	(Q _{AL})	ALUVIAL
	(Q _{FV})	FONDOS DE VALLE
	(Q _C)	DEPÓSITO COLUVIAL
	(C _C)	CARBONÍFERO. CALIZAS
	(C _{PE})	CARBONÍFERO. ESQUISTOS Y PIZARRAS

PROPUESTA DE CAMPAÑA

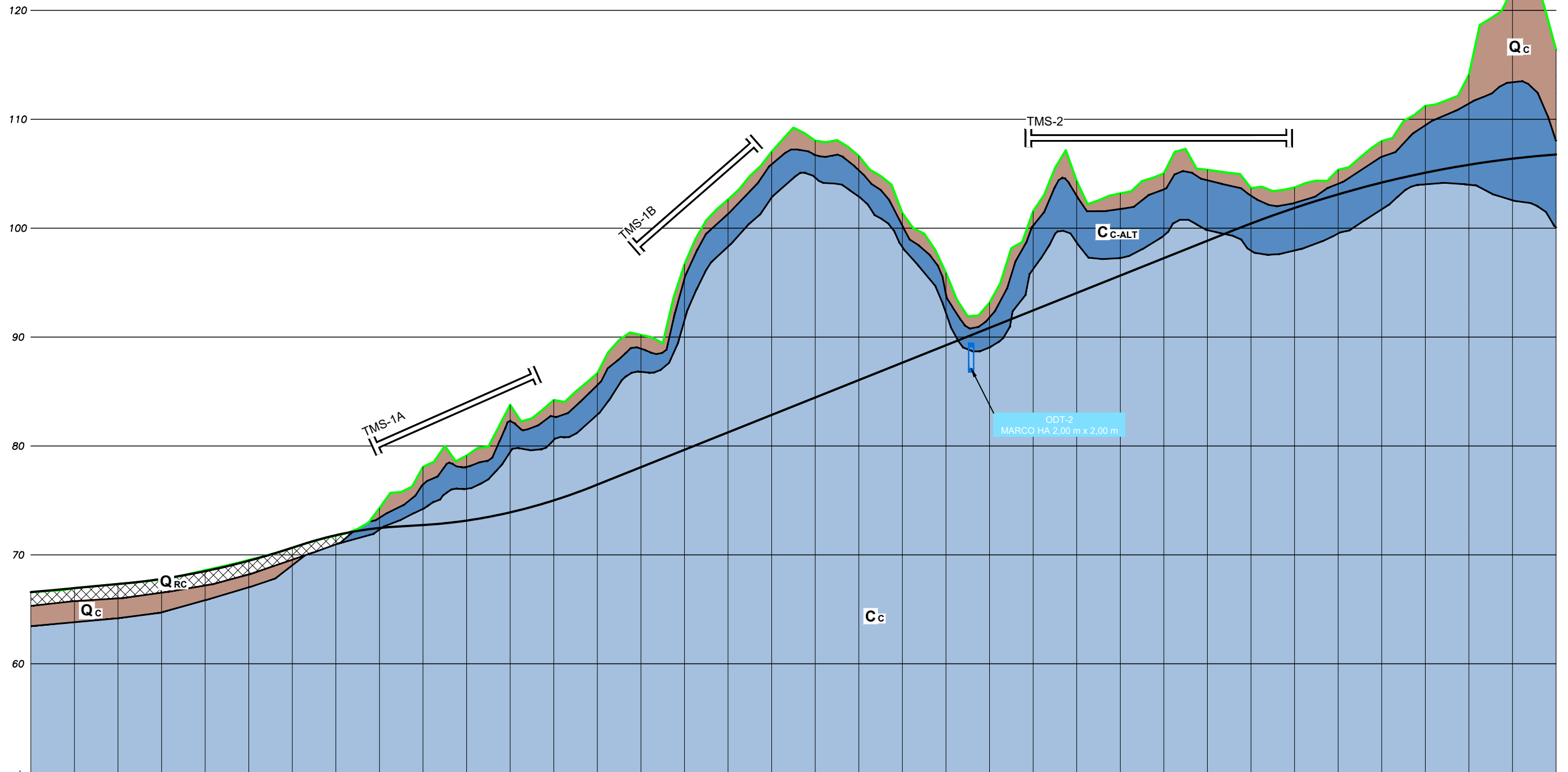
	SONDEOS
	PENETRÓMETRO
	PERFIL SÍSMICO REFRACCIÓN

SIMBOLOGÍA

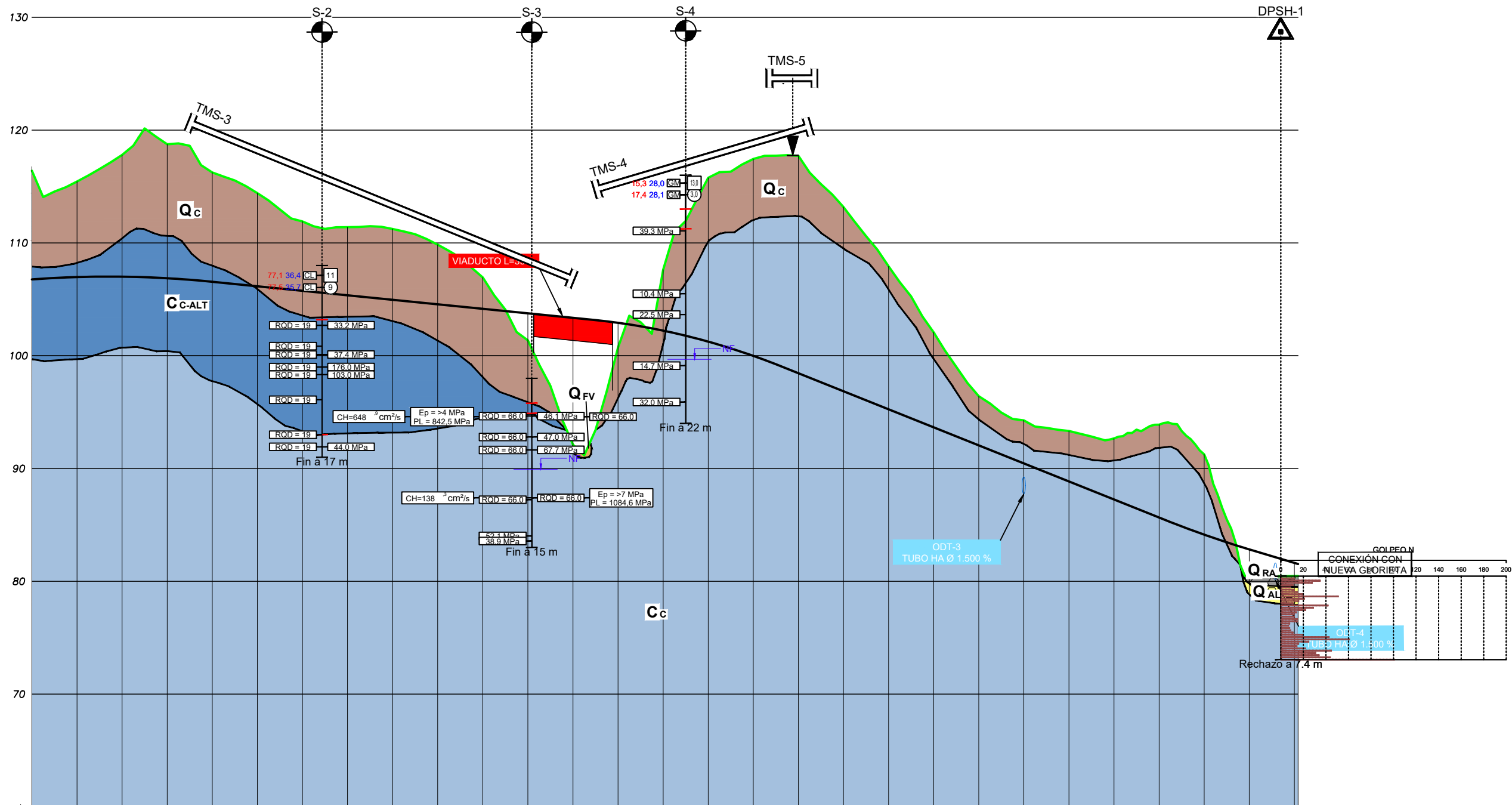
	CONTACTO LITOLÓGICO
	GOLPEO SPT
91 91	-PASA # 0.08 UNE / LIMITE LIQUIDO
18.6 MPa	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)
CL	CLASIFICACIÓN DE SUELO
Ep = 61.10 MPa PL = 3.10 MPa	MÓDULO PRESIOMÉTRICO(FASE ELÁSTICA INICIAL) PRESIÓN LÍMITE
K= 8.3X10 ⁻⁴ cm/s	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD
CV=8.6X10 ⁻³ cm ² /s	COEFICIENTE DE CONSOLIDACIÓN VERTICAL (EDÓMETRO)
C=9 KPa Ø = 20.8°	ENSAYO TRIAXIAL TIPO DE ENSAYO
0.078 MPa MH	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE CON CLASIFICACIÓN DE SUELO
N.F.	NIVEL FREÁTICO



 Nafarroako Gobernua Gobierno de Navarra Lurralde Kohesiorako Departamentua Departamento de Cohesión Territorial	DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS PÚBLICAS E INFRAESTRUCTURAS	DIRECTORA DEL PROYECTO	CONSULTOR	EL AUTOR DEL PROYECTO	DESIGNACIÓN:	ESCALAS (ORIGINALES EN DIN A-1)	DESIGNACIÓN DEL PLANO:	FECHA	PLANO
	SERVICIO DE ESTUDIOS Y PROYECTOS	M ^a Carmen González Martínez <i>Infra de la Sección de Proyectos</i>		Miguel Ángel de la Rúa Ruiz <i>Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos</i>	PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA VARIANTE DE LESAKA EN LA CARRETERA NA-4000.	H=1:1.000 0 50m. V=1:200 0 10m. GRAFICA:	PROPUESTA DE CAMPAÑA PERFIL LONGITUDINAL GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO	DICIEMBRE 2025	1.2.
									Hoja 1.1 DE 1.1



COTAS	RASANTE	66.582	66.949	67.324	67.795	68.508	69.462	70.659	71.810	72.473	72.743	73.153	73.907	75.007	76.450	78.050	79.650	81.250	82.850	84.450	86.050	87.650	89.250	90.850	92.450	94.050	95.650	97.250	98.850	100.429	101.855	103.108	104.187	105.091	105.822	106.379	106.762		
	TERRENO	66.58	66.95	67.33	67.75	68.59	69.53	70.65	71.76	74.30	78.09	79.12	83.78	84.23	86.68	90.20	96.69	102.62	107.02	108.03	106.64	101.39	95.90	93.16	101.56	104.34	103.20	105.03	105.36	103.68	103.73	105.36	108.00	111.23	114.07	122.00	116.40		
COTAS ROJAS	DESMONTE		0.00	0.00		0.09	0.07			1.82	5.35	5.97	9.87	9.22	10.23	12.14	17.04	21.37	24.17	23.58	20.59	13.74	6.65	2.31	9.11	10.29	7.54	7.78	6.51	3.25	1.87	2.25	3.82	6.14	8.25	15.62	9.64		
	TERRAPLEN	0.00			0.05			0.00	0.05																														
P.K.		0+700	0+800				0+900				1+000				1+100				1+200				1+300				1+400												
DIAGRAMA DE CURVATURAS																																							



COTAS	P.K.																			
	1+400	1+450	1+500	1+550	1+600	1+650	1+700	1+750	1+800	1+850	1+900	1+950	1+961.658							
RASANTE	106.762	106.971	107.006	106.868	106.555	106.155	105.755	105.355	104.955	104.555	104.155	103.755	103.355	102.917	102.226	101.249	99.986	98.453	96.853	95.253
TERRENO	116.40	115.44	117.80	118.74	116.25	114.41	111.90	111.39	111.23	109.85	106.94	101.36	92.11	100.73	107.63	115.77	117.44	117.72	113.19	107.92
DESMONTE	9.64	8.47	10.79	11.88	9.69	8.26	6.14	6.04	6.28	5.29	2.78				5.40	14.52	17.46	19.26	16.33	12.67
TERRAPLEN												2.40	11.25	2.19						
P.K.	1+400	1+450	1+500	1+550	1+600	1+650	1+700	1+750	1+800	1+850	1+900	1+950	1+961.658							
DIAGRAMA DE CURVATURAS	R=450	A=185																		
DIAGRAMA DE PERALTES	BD:6.62%	1+445.653	1+510.419	1+532.999	1+591.792	1+621.799	1+647.905	1+692.642	1+734.004	1+758.842	1+795.207	1+825.329	1+874.113	1+901.897	1+931.897	1+959.681				

APÉNDICE N°3: PERFILES TRANSVERSALES GEOLÓGICO- GEOTÉCNICOS

LEYENDA

MATERIALES

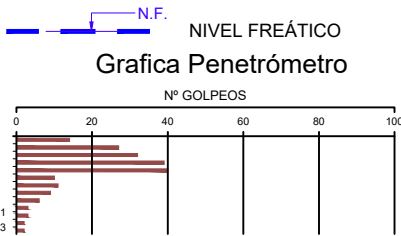
	(Q _{RC})	RELLENO ANTRÓPICO. CARRETERA
	(Q _{RA})	RELLENO ANTRÓPICO SOBRE ALUVIAL
	(Q _{AL})	ALUVIAL
	(Q _{FV})	FONDOS DE VALLE
	(Q _C)	DEPÓSITO COLUVIAL
	(C _C)	CARBONÍFERO. CALIZAS
	(C _{PE})	CARBONÍFERO. ESQUISTOS Y PIZARRAS

PROPUESTA DE CAMPAÑA

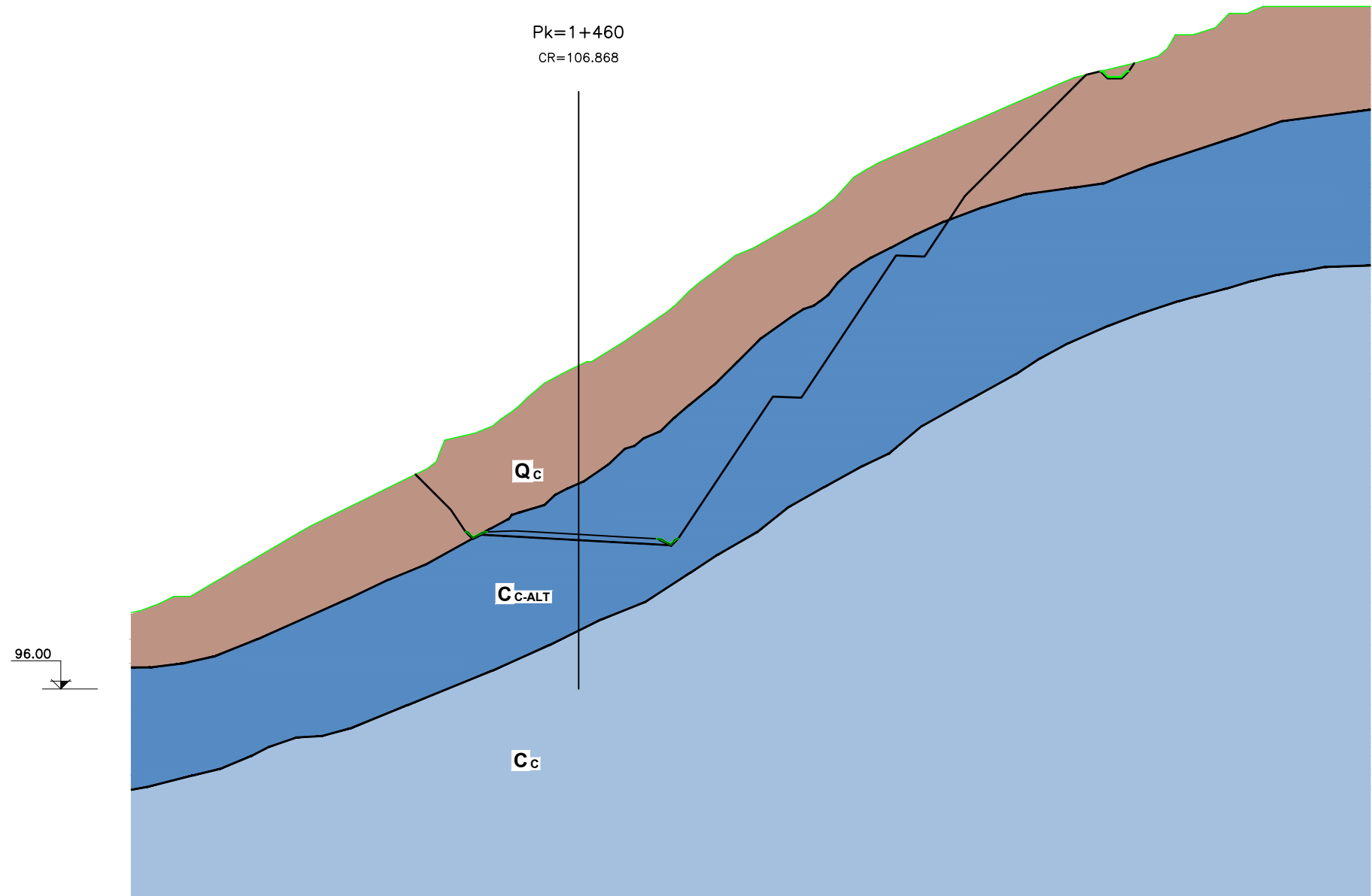
	SONDEOS
	PENETRÓMETRO
	PERFIL SÍSMICO REFRACCIÓN

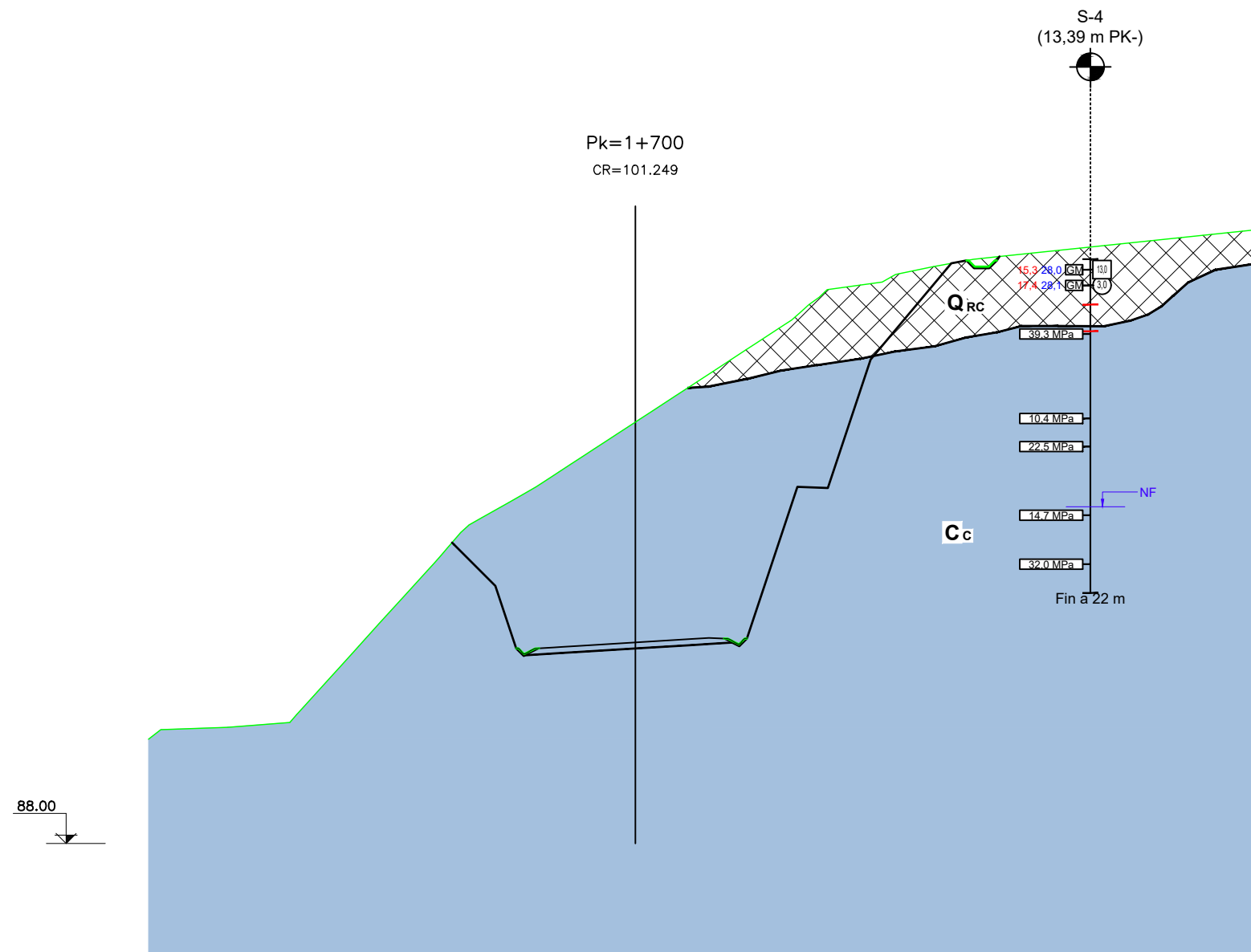
SIMBOLOGÍA

	CONTACTO LITOLÓGICO
	GOLPEO SPT
91 91	-PASA # 0.08 UNE / LIMITE LIQUIDO
18.6 MPa	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)
CL	CLASIFICACIÓN DE SUELO
Ep = 61.10 MPa PL = 3.10 MPa	MÓDULO PRESIOMÉTRICO(FASE ELÁSTICA INICIAL) PRESIÓN LÍMITE
K= 8.3X10 ⁻⁴ cm/s	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD
CV=8.6X10 ⁻³ cm ² /s	COEFICIENTE DE CONSOLIDACIÓN VERTICAL (EDÓMETRO)
C=9 KPa Ø = 20.8°	ENSAYO TRIAXIAL TIPO DE ENSAYO
0.078 MPa MH	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE CON CLASIFICACIÓN DE SUELO









APÉNDICE N°4: REGISTRO DE SONDEOS

Leyenda:

Observaciones:

Los ensayos Lugeon (11,00–17,00 m.) y Lefranc fueron fallidos. El ensayo Lugeon no coge presión y en el Lefranc se pierde el agua.



GTK Laboratorio Geotécnico

PLANO:
1

CONCEPTO:

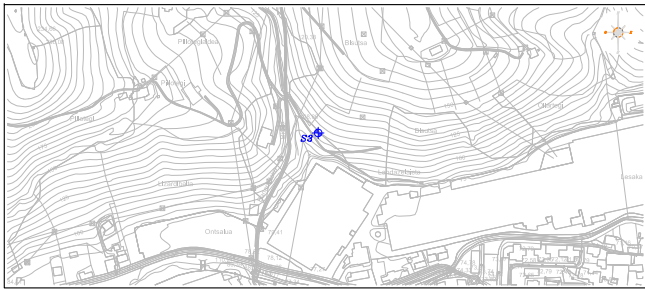
VARIANTE DE LESAKA: P. TRAZADO (NAVARRA)

SITUACIÓN:

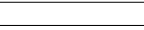
Lesaka (NAVARRA)

Sondeo S2

Hoja 1 de 1

[illegible]

Croquis de Situación

	Fecha:	Nombre:	CONCEPTO:	
Supervisor:	25/09/2025	Pablo Salazarrey Isequilla	VARIANTE DE LESAKA: P. TRAZADO (NAVARRA)	
Solicitante:	WSP SPAIN – APIA XXI, S.A.			
 GTK Laboratorio Geotécnico		PLANO: 2	SITUACIÓN: Lesaka (NAVARRA)	Sondeo S3 Hoja 1 de 1

Leyenda:

Observaciones:

La comprobación y muestreo del Nivel Piezométrico se realiza el día 18-09-2025.



GTK Laboratorio Geotécnico

PLANO:
3

CONCEPTO:

VARIANTE DE LESAKA: P. TRAZADO (NAVARRA)

SITUACIÓN:

Lesaka (NAVARRA)

Sondeo S4

Hoja 1 de 2

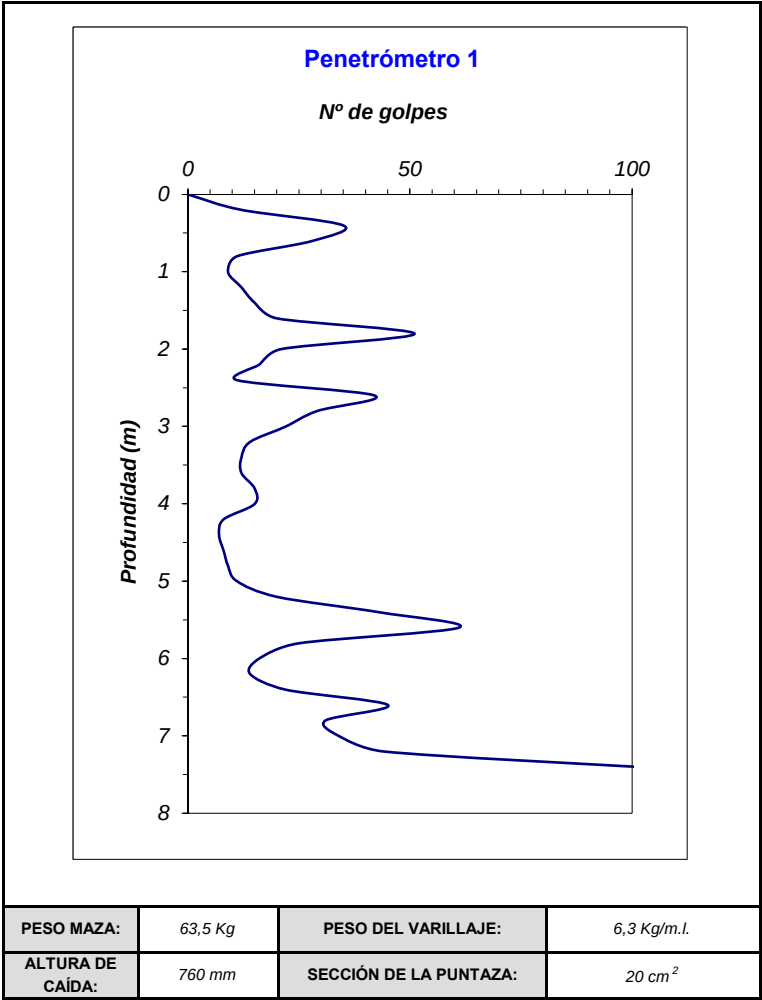
<i>Legenda:</i>					<i>Observaciones:</i>	
<i>B = Bateria Simple</i>	<i>W = Widia</i>	<i>Torvane = Ensayo de corte sin drenaje</i>	<i>L.L. = Límite Líquido</i>	<i>CU = Ensayo de corte Consolidado sin Drenaje</i>	<i>La comprobación y muestreo del Nivel Piezométrico se realiza el día 18-09-2025.</i>	
<i>T = Bateria Doble</i>	<i>D = Diamante</i>	<i>Soiltest = Micropenetrómetro</i>	<i>I.P. = Índice de Plasticidad</i>	<i>CD = Ensayo de corte Consolidado Drenado</i>		



GTK Laboratorio Geotécnico

APÉNDICE N°5: REGISTRO DE PENETRÓMETROS

PROYECTO:	Variante de Lesaka: P. Trazado (Navarra)
SOLICITANTE:	WSP SPAIN – APIA XXI, S.A.
FECHA EJECUCIÓN:	01/09/2025
COORD. EMPLAZ. :	X = 43,247536 Y = 1,715498 Z = 82 m



Prof.	N ₂₀	Prof.	N ₂₀
0	0	9,60	
0,20	12	9,80	
0,40	35	10	
0,60	28	10,20	
0,80	11	10,40	
1	9	10,60	
1,20	12	10,80	
1,40	15	11	
1,60	20	11,20	
1,80	51	11,40	
2	21	11,60	
2,20	16	11,80	
2,40	11	12	
2,60	42	12,20	
2,80	29	12,40	
3	22	12,60	
3,20	14	12,80	
3,40	12	13	
3,60	12	13,20	
3,80	15	13,40	
4	15	13,60	
4,20	8	13,80	
4,40	7	14	
4,60	8	14,20	
4,80	9	14,40	
5	11	14,60	
5,20	20	14,80	
5,40	43	15	
5,60	61	15,20	
5,80	25	15,40	
6	16	15,60	
6,20	14	15,80	
6,40	22	16	
6,60	45	16,20	
6,80	31	16,40	
7	34	16,60	
7,20	44	16,80	
7,40	101	17	
7,60		17,20	
7,80		17,40	
8		17,60	
8,20		17,80	
8,40		18	
8,60		18,20	
8,80		18,40	
9		18,60	
9,20		18,80	
9,40		19	

OBSERVACIONES: Empleo de puntaza perdida. Rechazo a 7,30 m de profundidad.

Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio

Fdo. Ignacio San José
Jefe de Área de Geotecnia

APÉNDICE N°6: INFORME DE GEOFÍSICA

INFORME GEOFÍSICO



ESTUDIO GEOFÍSICO MEDIANTE TOMOGRAFÍA SÍSMICA DE REFRACCIÓN PARA EL PROYECTO BÁSICO DE CONSTRUCCIÓN DE LA VARIANTE DE LESAKA (COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA)

Septiembre 2025
VERSIÓN 1



INFORME GEOFÍSICO

CÓDIGO DE PROYECTO
PR25-36

FECHA
25/09/2025

CLIENTE
WSP

CÓDIGO DE OFERTA
OF25-100

FECHA
03/07/2025

CONSULTOR
EVEREST GEOPHYSICS S.L.

AUTOR
THAIS MONTOYA (T.M.)

REVISIÓN
SENÉN SANDOVAL (S.S.)

CONTROL DE CAMBIOS

Versión	Fecha	Autor	Observaciones
V1	25/09/2025	T.M.	Versión original

NOTA LEGAL

El presente informe se ha realizado por profesionales geofísicos titulados de acuerdo con las normas geofísicas internacionales vigentes.

EVEREST GEOPHYSICS S.L. no realiza, en ninguna circunstancia, garantías expresas o implícitas relacionadas con la precisión o idoneidad para el propósito del estudio de la información y los datos contenidos en este informe.

El CLIENTE es el único responsable del uso, interpretación y aplicación de los datos e información descritos en este informe y de los costos incurridos y los gastos realizados en relación con los mismos.

El CLIENTE acepta que cualquier uso, reutilización, modificación o extensión de este informe es por cuenta y riesgo del CLIENTE, sin responsabilidad para EVEREST GEOPHYSICS S.L. En caso de que los datos y el informe estén disponibles total o parcialmente a un tercero, esa parte lo hace totalmente bajo su propio y exclusivo riesgo y EVEREST GEOPHYSICS S.L. se exime de cualquier responsabilidad ante dicha parte.

Los resultados y la interpretación que EVEREST GEOPHYSICS S.L. publica en este informe, representan solo la distribución de las condiciones del suelo y la geología que se pueden medir con la instrumentación geofísica que se utilizó. EVEREST GEOPHYSICS S.L. se esfuerza por garantizar que los resultados y su interpretación son tan precisas como se puede lograr mediante los equipos disponibles y técnicos cualificados.

El CLIENTE acepta y entiende que existen limitaciones en la exactitud de los resultados derivadas de la propia naturaleza indirecta de las técnicas geofísicas, de la capacidad de los equipos geofísicos empleados, del número y densidad de sensores, de la cantidad y distribución de los datos recopilados y que todos estos factores pueden derivar en respuestas geofísicas similares bajo condiciones geológicas o estructurales diversas no contempladas en las conclusiones del informe.

EVEREST GEOPHYSICS S.L. no se hace responsable de la existencia de cualquier condición limitante en la zona de estudio que no haya sido expresamente definida por el CLIENTE y que se encuentre descrita en la OFERTA TÉCNICA Y ECONÓMICA aceptada por el CLIENTE.

El paso del tiempo puede derivar cambios en las condiciones de la zona de estudio, ya sean naturales o artificiales. Los resultados presentados se refieren únicamente a las condiciones reveladas por las mediciones en los puntos de muestreo para la fecha en la que se realizaron las investigaciones.

Cuando en el procesado y en la interpretación se haya incluido información adicional proporcionados por el CLIENTE o por terceros en nombre del CLIENTE (cartografía, mapas geológicos, testificaciones, etc.), EVEREST GEOPHYSICS S.L. depositará absoluta confianza en la fiabilidad de estos. A menos que se indique lo contrario, EVEREST GEOPHYSICS S.L. no intentará verificar de forma independiente la exactitud o integridad de dicha información aportada por el CLIENTE o de terceros en nombre del CLIENTE. Durante la realización del informe EVEREST GEOPHYSICS S.L. no se hace responsable de inexactitudes en dicha información.

RESUMEN

El presente informe describe el trabajo de campo, el procesado y los resultados obtenidos a partir de un estudio geofísico realizado mediante seis perfiles de tomografía sísmica de refracción. Se pretende determinar la estructura interna del terreno para definir la ripabilidad del terreno y en concreto conocer la extensión en profundidad del sustrato rocoso para el Proyecto Básico de Construcción de la Variante de Lesaka (Carretera NA-400, Comunidad Foral de Navarra).

La campaña de campo se llevó a cabo durante los días 25, 26 y 27 de agosto de 2025, en un área septentrional de la localidad de Lesaka, en la Comunidad Foral de Navarra.

El objetivo principal de este estudio es determinar la velocidad de propagación de las ondas P en las zonas de estudio, para poder determinar la ripabilidad del terreno y conocer la extensión en profundidad del sustrato rocoso. Para ello se han realizado seis perfiles de tomografía sísmica, los cuales se han realizado en las posiciones consensuadas previamente con el CLIENTE.

En todos los modelos generados se identificaron refractores superficiales que concentraron la energía, generalmente debido a la presencia de cambios litológicos, contactos geomecánicos o diferencias en el grado de alteración. La litología, de carácter subvertical, está compuesta principalmente por depósitos de terrazas fluviales (limos y gravas) y por calizas marmóreas, inicialmente fracturadas y posteriormente sanas.

Los diferentes perfiles ponen en evidencia una capa superficial caracterizada por velocidades de V_p menores (< 2.000 m/s), interpretada como depósitos cuaternarios de terrazas fluviales (limos y gravas) y/o como la zona muy alterada o fracturada de las calizas, que se sitúa sobre un sustrato constituido por calizas marmóreas sanas.

El análisis de los perfiles muestra que:

- ✓ el espesor de los materiales ripables varía entre 6 y 23 m,
- ✓ el espesor de los materiales con ripabilidad marginal varía entre 1,6 y 7 m,
- ✓ la profundidad de los materiales no ripables se extiende de 9 a más de 23 m, siendo el perfil TMS-05 el de mayor profundidad (> 23 m).

Contenido

Índice de figuras	2
Índice de tablas	4
1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Antecedentes	5
1.2. Marco geológico	6
1.3. Objetivo y alcance de los trabajos	8
1.4. Códigos y estándares	8
2. EQUIPOS	9
3. TRABAJOS DE CAMPO	12
4. PROCESADO	15
5. RESULTADOS	16
5.1. TMS-1A	17
5.2. TMS-1B	19
5.3. TMS-2	20
5.4. TMS-3	21
5.5. TMS-4	23
5.6. TMS-5	24
6. CONCLUSIONES	26
ANEJO 1. METODOLOGÍA	
ANEJO 2. LOCALIZACIÓN DE ENSAYOS	
ANEJO 3. SISMOGRAMAS	
ANEJO 4. DOMOCRONAS	
ANEJO 5. MODELOS DE VELOCIDAD SÍSMICA	
ANEJO 6. MODELOS DE RIPABILIDAD	
ANEJO 7. REFERENCIAS	

Índice de figuras

Figura 1. Plano de ubicación general de la zona objeto de estudio	5
Figura 2. Imagen aérea de la zona de estudio.	6
Figura 3. Detalle del Mapa Geológico en la zona de estudio. El rectángulo rojo indica la ubicación de la zona de estudio. Fuente: Mapa Geológico de España 1:50.000. Serie MAGNA del Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Modificado de la Hoja nº65 (Vera de Bidasoa)	7
Figura 4. Maza de 9 kg y placa de teflón empleados para la generación de ondas sísmicas y el disparador digital o <i>trigger</i> (color rojo).	10
Figura 5. Detalle de uno de los geófonos de componente vertical (rojo) conectado con la unidad de digitalización remota (amarillo) y la cinta métrica.	10
Figura 6. Ordenador de campo empleado en la adquisición de datos sísmicos de campo ...	11
Figura 7. Sismógrafo empleado en la adquisición de datos sísmicos de campo.	11
Figura 8. Antena receptora de GPS empleada para geolocalizar los ensayos.	12
Figura 9. Sismograma obtenido en el perfil sísmico TMS-4 (tercer punto de golpeo, entre el geófono 7 y 8). La señal se encuentra sin procesar y muestra las amplitudes normalizadas.	14
Figura 12. Dromocronas correspondientes al perfil TMS-1A. Las cruces indican los tiempos de llegada de ondas P observados y las líneas continuas indican los tiempos de llegada teóricos del modelo que se presenta en el ANEJO 5.	18
Figura 13. Dromocronas correspondientes al perfil TMS-1B. Las cruces indican los tiempos de llegada de ondas P observados y las líneas continuas indican los tiempos de llegada teóricos del modelo que se presenta en el ANEJO 5.	19
Figura 14. Dromocronas correspondientes al perfil TMS-2. Las cruces indican los tiempos de llegada de ondas P observados y las líneas continuas indican los tiempos de llegada teóricos del modelo que se presenta en el ANEJO 5	20
Figura 15. Dromocronas correspondientes al perfil TMS-3. Las cruces indican los tiempos de llegada de ondas P observados y las líneas continuas indican los tiempos de llegada teóricos del modelo que se presenta en el ANEJO 5	22
Figura 16. Dromocronas correspondientes al perfil TMS-4. Las cruces indican los tiempos de llegada de ondas P observados y las líneas continuas indican los tiempos de llegada teóricos del modelo que se presenta en el ANEJO 5	23
Figura 17. Dromocronas correspondientes al perfil TMS-5. Las cruces indican los tiempos de llegada de ondas P observados y las líneas continuas indican los tiempos de llegada teóricos del modelo que se presenta en el ANEJO 5	24

Figura A1-1: Módulos elásticos. (A) Módulo de Young; (B) Módulo de compresibilidad volumétrica (Bulk); (C) Módulo de cizalla; (D) Módulo axial. Reynolds (2011).....	A1-3
Figura A1-2: Tipos de ondas sísmicas y desplazamientos que producen en el medio a su paso.	A1-5
Figura A1-3: Registro sísmico (componente vertical, amplitudes normalizadas). Se observan las ondas P al inicio del ensamblaje (línea azul) y a continuación las ondas Rayleigh de gran amplitud. El área anaranjada marca la dispersión de las ondas superficiales.	AA1-6
Figura A1-4: Ondas P y S reflejadas y refractadas en una discontinuidad entre dos medios de velocidad V_1 y V_2	A1-9
Figura A1-5: Refracción crítica en una discontinuidad entre dos medios de velocidad V_1 y V_2	A1-10
Figura A1-6: Tabla de ripabilidad según el tipo de material y la velocidad sísmica de las ondas P para una ripadora modelo D9R (primera imagen), D10R (segunda imagen) (Caterpillar, 2.000).....	A1-12
Figura A1-7: Curvas tiempo-distancia (dromocronas) en un ensayo de sísmica de refracción.	A1-15
Figura A1-8: Ejemplo de ensamblaje sísmico. Cada curva representa la vibración registrada en cada geófono.	A1-17
Figura A1-9: Diagrama comparativo entre el problema directo y el problema inverso.....	A1-19
Figura A1-10: Diagrama del problema inverso para el caso concreto de los ensayos de Tomografía Sísmica.....	A1-20
Figura A1-11: Ejemplo de proceso de convergencia iterativa para la obtención de dos modelos de velocidad sísmica. El error RMS se reduce progresivamente hasta alcanzar un valor definido (err1 y err2) por la calidad de los datos de campo. Cuando el error de ajuste del proceso iterativo alcanza un determinado valor, el proceso se detiene para evitar incluir artefactos en la solución final.	A1-22
Figura A1-12: Resultado final de una modelización tomográfica. Arriba: modelo de velocidades sísmicas obtenido. Abajo: distribución de ondas P en las que se identifica una superficie de refracción asociada en este caso a la base de un deslizamiento.	A1-23
Figura A1-13: Ejemplo de soluciones obtenidas en un problema inverso dependiendo del modelo inicial empleado en un espacio que contiene varios mínimos de la función objeto E. A la izquierda, convergencia al mínimo absoluto. A la derecha, convergencia a un mínimo secundario. (Adaptado de Menke, 1989).....	A1-24

Índice de tablas

Tabla 1. Características geométricas de los perfiles sísmicos.	13
Tabla 2. Coordenadas UTM de los perfiles sísmicos (ETRS89, 30N).....	13
Tabla 3. Errores de ajuste RMS para los modelos de velocidad sísmica V_p obtenidos.....	16

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El presente estudio se ha realizado por encargo de WSP (en adelante, el CLIENTE), en el Término Municipal de Lesaka, Comunidad Foral de Navarra (Figura 1).

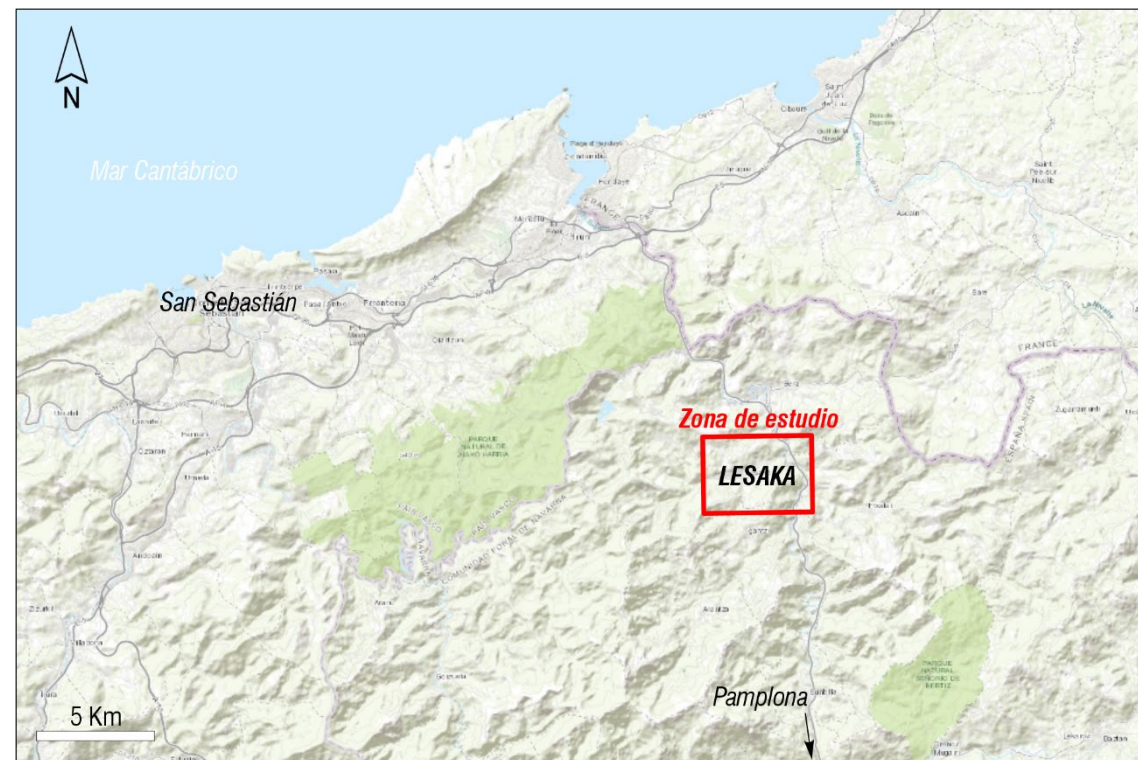


Figura 1. Plano de ubicación general de la zona objeto de estudio.

La zona de estudio se sitúa en una zona de desmonte, adyacente a la planta de galvanizados de ArcelorMittal, al norte del Término Municipal de Lesaka (Figura 2). El presente estudio geofísico consistió en realizar seis ensayos de sísmica de refracción, para definir las velocidades de onda P del terreno. Con estos modelos de velocidad se pretende conocer el techo del substrato rocoso y determinar la ripabilidad del terreno para el Proyecto Básico de Construcción de la Variante de Lesaka.

Para la elaboración de este informe se han empleado los siguientes documentos adicionales:

- Imágenes aéreas y topográficas de detalle en formato digital. Editadas y extraídas de Google Earth y ArcGIS.
- Mapa geológico de España a escala 1:50.000. Hoja nº65 (Vera de Bidasoa).
- Archivo *.kmz con la posición de los perfiles propuestos inicialmente y consensuado con el CLIENTE.



Figura 2. Imagen aérea de la zona de estudio.

1.2. Marco geológico

La geología de la zona de estudio se describe en la Hoja nº65 (Vera de Bidasoa) de la serie MAGNA 1:50.000 del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) (Figura 3).

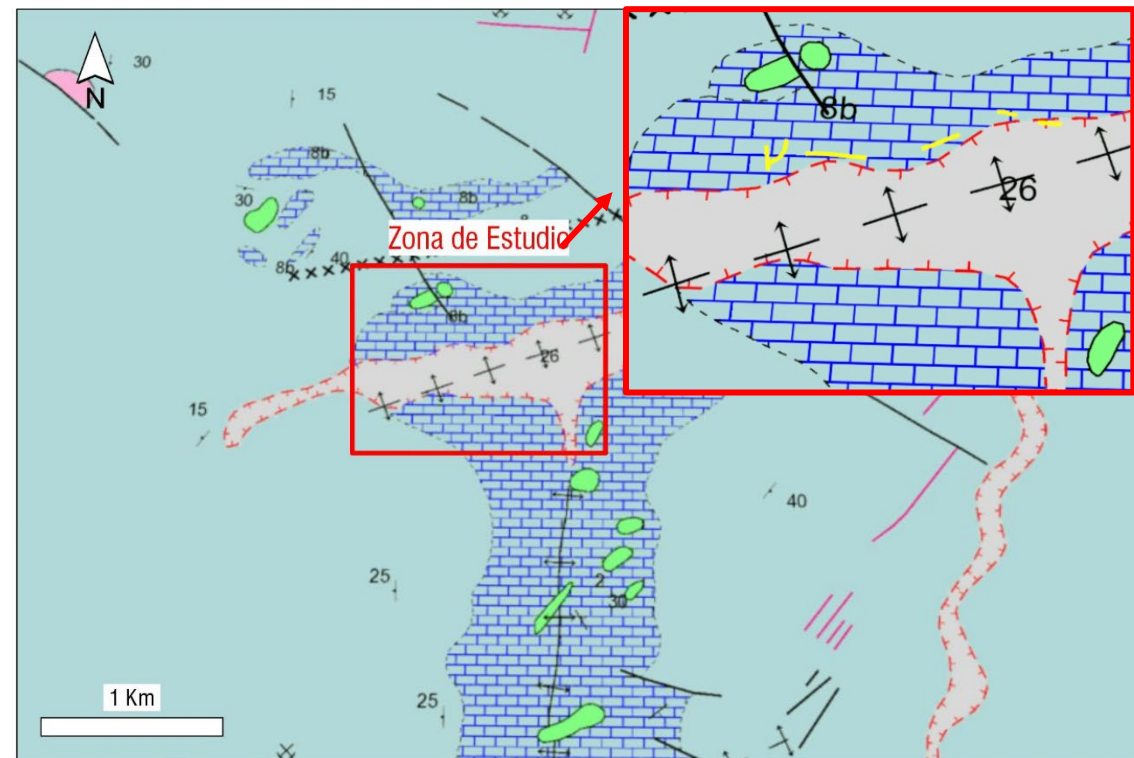
La zona de estudio se localiza al norte del Término Municipal de Lesaka, perteneciente a la Comunidad Foral de Navarra. La geología del lugar se muestra en la Figura 3 y está compuesta de sedimentos que se depositaron de manera continua y sin interrupciones entre los periodos devónicos y carboníferos. Con las fases hercínicas posteriores al carbonífero, se produce el plegamiento de estos materiales sobre los que se disponen los sedimentos. Diversas fases tectónicas han actuado sobre estos sedimentos, la última de las cuales, dentro de la orogénesis alpina y, probablemente intraoligocena, ha modelado la geología actual.

En la zona de estudio hay cuatro unidades geológicas principales:

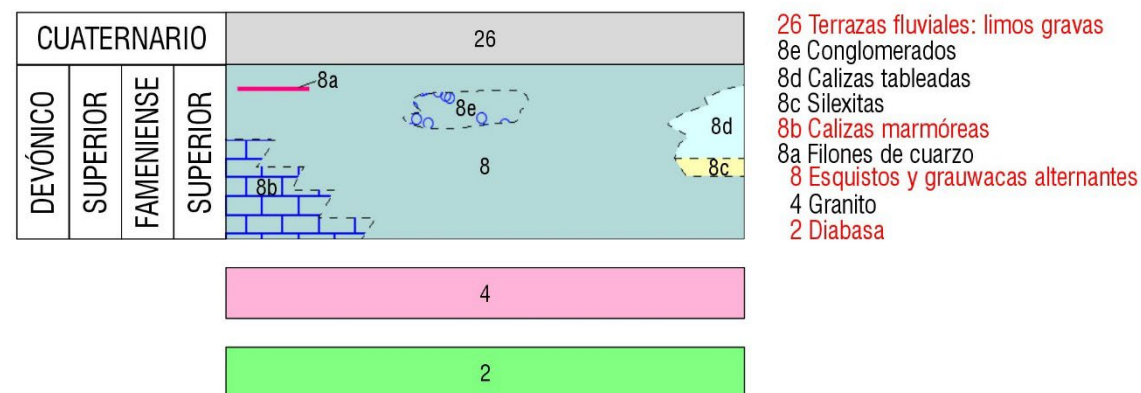
- Diabasa (nº 2 en la leyenda de la Figura 3).
- Esquistos y grauwacas alternantes (nº 8 en la leyenda de la Figura 3).
- Calizas marmóreas (nº 8b en la leyenda de la Figura 3)
- Terrazas fluviales: limos y gravas (nº 26 en la leyenda de la Figura 3)

La unidad geológica de diabasas, que está clasificada como nº2 en la hoja nº65 (Vera de Bidasoa) forman parte de afloramientos de rocas volcánicas básicas que encajan en términos

paleozoicos, presentándose tanto como filones que cortan la estratificación como en ramificaciones paralelas a las capas. Destaca la alineación de varios afloramientos al SE de Echalar, probablemente asociados a fracturas, y su presencia en las calizas de Yanci y Aranaz.



LEYENDA



SÍMBOLOS CONVENCIONALES

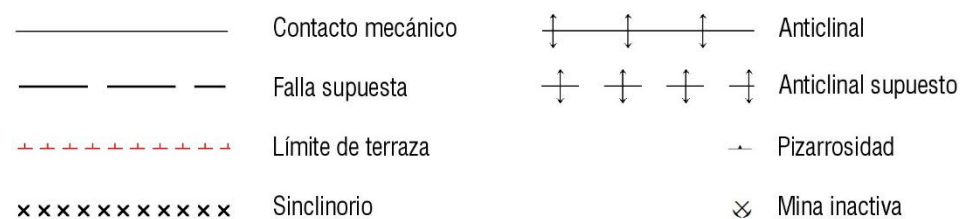


Figura 3. Detalle del Mapa Geológico en la zona de estudio. El rectángulo rojo indica la ubicación de la zona de estudio. Fuente: Mapa Geológico de España 1:50.000. Serie MAGNA del Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Modificado de la Hoja nº65 (Vera de Bidasoa).

La unidad de terrazas fluviales: limos y gravas, que está clasificada como nº26 en la hoja nº65 (Vera de Bidasoa), presentan, en general, un desarrollo limitado, salvo en la cuenca de Vera, donde alcanzan una mayor extensión de hasta 5 metros, formados por gravas, arenas y limos que recubren los afloramientos cretácicos.

1.3. Objetivo y alcance de los trabajos

El objetivo principal del estudio es determinar las propiedades geomecánicas del terreno para conocer la extensión en profundidad del sustrato rocoso, a partir del estudio de la velocidad de propagación de las ondas P (V_p). A partir de estas velocidades sísmicas se desea obtener la estructura del subsuelo y obtener la ripabilidad del terreno.

Para alcanzar los objetivos planteados se ha realizado una campaña sísmica, compuesta por seis perfiles de tomografía sísmica de refracción, obteniendo modelos de velocidad de ondas P (V_p) mediante el estudio de los tiempos de llegada de las mismas.

1.4. Códigos y estándares

La Tomografía sísmica de refracción tiene como estándar asociado la norma ASTM D5777.

Este trabajo se ha realizado siguiendo los siguientes estándares internacionales:

- D5777 *Guide for using the seismic refraction method for subsurface investigation*
- D420 *Guide to Site Characterization for Engineering Design and Construction Purposes*
- D653 *Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids*
- D5730 *Guide for Site Characterization for Environmental Purposes with Emphasis on Soil, Rock, the Vadose Zone and Ground Water*
- D6429 *Guide for Selecting Surface Geophysical Methods*

En el **ANEJO 1** se describe con detalle la metodología de la técnica empleada.

2. EQUIPOS

Los componentes del equipo que se ha empleado para la adquisición del perfil sísmico han sido:

- **Maza y placa.** La fuente sísmica empleada fue una maza de 9 Kg impactando sobre una placa de teflón (Figura 4).
- **Disparador.** La maza equipa un disparador digital (*trigger*) para determinar con precisión el momento del impacto e iniciar el registro sísmico. Esta señal eléctrica es recogida y digitalizada por la unidad de disparo (Figura 4) que la envía a la unidad de control para iniciar el registro.
- **Geófonos.** Se emplearon geófonos de componente vertical con una frecuencia nominal de 4,5 Hz (Figura 5).
- **Unidad de digitalización remota.** La señal analógica proveniente de los geófonos es digitalizada mediante unas unidades remotas (Figura 5) y transmitida a la unidad de control. Esto mejora la señal sísmica almacenada al evitar pérdidas de voltaje en la línea principal y se evitan inducciones electromagnéticas en la línea sísmica.
- **Cinta métrica.** Utilizada para ubicar los geófonos con un espaciamiento equis distante de 5 metros (Figura 5).
- **Ordenador portátil de campo.** Se empleó un ordenador portátil para la adquisición de datos. Mediante un programa específico del propio fabricante se programó y ejecutó la adquisición de datos de campo (Figura 6).
- **Sismógrafo.** Se ha empleado un sismógrafo modelo Summit X One (Figura 7) que recibe la señal digital de los sensores y la transmite al ordenador portátil de campo.
- **Unidad GPS.** Se ha utilizado un receptor GNSS de la marca Emlid, modelo Reach RS3 para georreferenciar las posiciones de estudio. Aporta un posicionamiento de nivel centimétrico en tiempo real (Figura 8). Las coordenadas obtenidas son en el sistema de referencia ETRS89 y para la altimetría se emplea el nivel medio del mar en Alicante.



Figura 4. Maza de 9 kg y placa de teflón empleados para la generación de ondas sísmicas y el disparador digital o *trigger* (color rojo).



Figura 5. Detalle de uno de los geófonos de componente vertical (rojo) conectado con la unidad de digitalización remota (amarillo) y la cinta métrica.



Figura 6. Ordenador de campo empleado en la adquisición de datos sísmicos de campo



Figura 7. Sismógrafo empleado en la adquisición de datos sísmicos de campo.



Figura 8. Antena receptora de GPS empleada para geolocalizar los ensayos.

3. TRABAJOS DE CAMPO

La campaña de campo se llevó a cabo durante los días 25, 26 y 27 de agosto de 2025, por cuatro trabajadores pertenecientes a la plantilla de EVEREST GEOPHYSICS S.L.

Se realizaron un total de seis (6) perfiles de tomografía sísmica de refracción en los cinco (5) lugares previstos inicialmente (del TMS-1 al TMS-5). Se realizaron seis perfiles en lugar de cinco debido a que el perfil TMS-1 tuvo que ser ligeramente desplazado y dividido en dos partes (TMS-1A y TMS-1B), debido a obstáculos en la zona donde se ubicaba dicho perfil.

Los seis perfiles sísmicos, de longitudes variables entre 60 y 185 metros, se adquirieron mediante la implantación de 13 a 38 geófonos de componente vertical con una frecuencia nominal de 4,5 Hz y con una separación entre ellos de 5 metros. Los puntos de golpeo se distribuyeron uniformemente cada 20m a lo largo de los perfiles, empezando 2,5m antes el primer geófono. A continuación, se adjunta en la [Tabla 1](#) las características geométricas de cada uno de ellos:

Tabla 1. Características geométricas de los perfiles sísmicos.

Perfil	Longitud (m)	Nº geófonos	Distancia entre geófonos (m)	Número de golpes
TMS-1A	80	17	5,0	6
TMS-1B	60	13	5,0	5
TMS-2	125	26	5,0	8
TMS-3	185	38	5,0	11
TMS-4	105	22	5,0	7
TMS-5	65	14	5,0	5

En total se han adquirido 620 metros lineales de perfiles sísmicos.

Los registros de campo tienen una duración de 500 milisegundos y una razón de muestreo de 1/16 milisegundos. En cada punto de golpeo se ejecutaron entre 3 y 5 golpes independientes y se apiló la señal resultante para mejorar la relación señal/ruido. En muchos casos, la señal obtenida presenta evidencias de ruido ambiental procedente de fuentes antrópicas en la zona (circulación de vehículos pesados provenientes de la fábrica que estaba cerca de los perfiles).

Todos los perfiles sísmicos fueron georreferenciados mediante un GPS diferencial con precisión centimétrica. En la [Tabla 2](#) se indican las coordenadas de inicio y final de cada uno de ellos.

Tabla 2. Coordenadas UTM de los perfiles sísmicos (ETRS89, 30N).

Ensayo	X (inicial)	Y (inicial)	X (final)	Y (final)
TMS-1A	605.243,30	4.789.419,34	605.315,21	4.789.434,22
TMS-1B	605.135,64	4.789.477,77	605.189,58	4.789.462,63
TMS-2	604.909,52	4.789.329,01	605.028,80	4.789.350,35
TMS-3	604.552,41	4.789.325,15	604.717,39	4.789.280,66
TMS-4	604.456,15	4.789.263,77	604.505,49	4.789.349,76
TMS-5	604.442,16	4.789.315,44	604.456,41	4.789.259,46

La localización de los seis perfiles de tomografía sísmica puede consultarse en los planos del **ANEJO 2**, adjunto al presente informe.

La [Figura 9](#) muestra un ejemplo de las señales registradas para el este estudio con el equipo descrito anteriormente. En los sismogramas se aprecia la llegada de las ondas P (de pequeña amplitud, al principio de los sismogramas).

Es importante destacar que, por lo general, en la mayoría de los registros brutos obtenidos se aprecia correctamente la dispersión en las ondas sísmicas registradas, aunque con algo de ruido sísmico en alguno de ellos. La característica más o menos dispersiva del terreno es una cualidad inherente del medio que viene condicionada por parámetros como son la naturaleza del subsuelo o la disposición de los materiales y no es posible modificarla de manera artificial.

Para garantizar la calidad de los modelos de velocidad sísmica generados, sólo se han empleado los tiempos de recorrido donde las ondas P puedan ser identificadas.

En el **ANEJO 3** y **ANEJO 4** se presentan los sismogramas y las curvas dromocronas de los perfiles correspondientes al presente estudio.

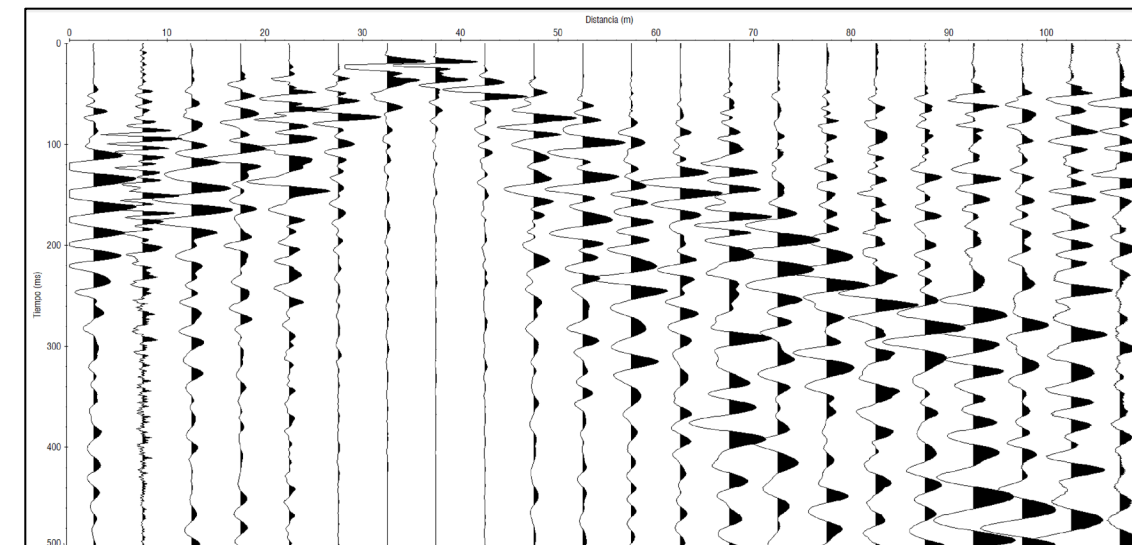


Figura 9. Sismograma obtenido en el perfil sísmico TMS-4 (tercer punto de golpeo, entre el geófono 7 y 8). La señal se encuentra sin procesar y muestra las amplitudes normalizadas.

4. PROCESADO

En el **ANEJO 1** se describe brevemente en qué consiste habitualmente el procesado de los datos de tomografía sísmica de refracción. El análisis concreto llevado a cabo en este proyecto se describe brevemente a continuación:

- A. El primer paso consistió en transformar el formato original de los datos de campo (seg2) en el que cada archivo contenía los registros de vibración a un formato nativo del programa de procesado en el que se obtuvo un único archivo con todas las señales de un mismo perfil.
- B. Edición de geometría. Consiste en introducir las posiciones (incluyendo la elevación) de los geófonos y de los puntos de disparo en las cabeceras de los ficheros de datos de campo.
- C. Los perfiles fueron reordenados y se giraron algunos de ellos para que en la presentación final todos se encuentren orientados en la misma dirección siguiendo el trazado del proyecto.
- D. Filtrado de la señal. Los filtros han consistido en:
 - DC-Shift (entre 0 y 500 ms) para eliminar cualquier voltaje estático en la señal de los geófonos.
- E. Ganancia. Se ha aplicado una ganancia tipo *AGC* para realzar la señal de la onda P en los offsets mayores. Se ha calculado la atenuación de la señal traza a traza y se ha compensado para ecualizar las amplitudes.
- F. Identificación de las ondas P.
- G. Estimación del grado de incertidumbre de los tiempos de llegada.
- H. Generación de modelos mediante un proceso tomográfico de inversión empleando como criterio de ajuste las incertidumbres estimadas en el paso anterior. Durante el proceso de inversión se ha empleado un total de 20 iteraciones (respectivamente) para cada perfil. En general, la evolución de la curva RMS (medida del error entre los datos de campo observados y los modelizados) se estabiliza a partir de la iteración 10.
- I. Edición gráfica de resultados

El procesado se ha realizado con programas comerciales y de elaboración propia desarrollados en PYTHON y MATLAB por técnicos de EVEREST GEOPHYSICS S.L.

5. RESULTADOS

Este estudio geofísico se ha realizado mediante seis perfiles de tomografía sísmica por refracción, para el proyecto de base de construcción de la variante de Lesaka (carretera NA-400, Comunidad Foral de Navarra).

En el marco de este estudio, se adquirieron seis perfiles sísmicos, con un total de 620 metros lineales estudiados, con el fin de determinar la estructura interna del terreno para definir su ripabilidad y conocer la profundidad del sustrato rocoso. Los datos de campo se procesaron utilizando la técnica de tomografía sísmica por refracción para obtener la velocidad de propagación de las ondas P (V_p). La posición de los perfiles sísmicos se muestra en el **ANEJO 2**.

Se instalaron geófonos a intervalos regulares de 5 metros en todos los perfiles. Los puntos de impacto se colocaron cada 20 metros a lo largo de los perfiles, desde 2,5 metros antes del primer geófono hasta después del último geófono instalado. Las distancias entre los geófonos y los puntos de impacto varían en función de la longitud y la ubicación de cada perfil.

A partir de los registros obtenidos en los diferentes puntos de impacto a lo largo de los perfiles, se obtuvieron seis modelos de propagación de ondas P (V_p), que se adjuntan en el **ANEJO 5**. El **ANEJO 4** presenta las curvas dromocronas obtenidos tras el procesamiento de los perfiles sísmicos, donde se observan los tiempos de llegada (observados y sintéticos) de las ondas P. En el **ANEJO 6** se muestra de manera gráfica el grado de ripabilidad del terreno.

Para iniciar el proceso iterativo se emplea un modelo 1D promedio que mejor ajusta todos los tiempos de llegada observados. Este modelo inicial presenta un error RMS (diferencia cuadrática media entre los tiempos observados y los tiempos sintéticos producidos por el modelo) que se va reduciendo paulatinamente hasta cierto valor final de ajuste. La siguiente tabla presenta los errores RMS finales para los modelos de velocidad obtenidos.

Tabla 3. Errores de ajuste RMS para los modelos de velocidad sísmica V_p obtenidos.

Perfil	Número de iteraciones	Error RMS	Error RMS normalizado
TMS-01A	20	1,15 ms	6,0 %
TMS-01B	20	1,12 ms	4,4 %
TMS-02	20	1,08 ms	5,6 %
TMS-03	20	1,59 ms	8,6 %
TMS-04	20	1,15 ms	8,3 %
TMS-05	20	3,01 ms	8,5 %

En todos los casos, el proceso de iteración reduce de manera monótona y continua el valor de RMS inicial hasta que se alcanza el valor mínimo definido por los datos de campo. En la iteración 20 el proceso se detiene ya que no se aprecia una disminución significativa del RMS y a partir de este punto es probable que se comiencen a generar en el modelo anomalías falsas que no tienen correlación con estructuras reales y que producirán una interpretación errónea.

En los modelos, la velocidad sísmica se muestra en forma de degradado de color, en el que los tonos fríos (azules y verdes) corresponden a velocidades bajas y los tonos cálidos (amarillos y rojos) corresponden a altas velocidades. De manera conjunta, se presenta el gráfico de cobertura, en el que se muestra en colores amarillos y claros las zonas de interfase entre dos medios con velocidades distintas y, por tanto, la posición de refractores.

A partir de los modelos de velocidad se ha estimado el grado de ripabilidad empleando como referencia las tablas de ripabilidad de Caterpillar para una ripadora modelo D9R.

Litológicamente, los perfiles se realizaron en una zona situada en el límite entre la terraza y las calizas marmóreas.

En el **ANEJO 6** se presentan los modelos de excavabilidad (ripable, marginal o no ripable) del terreno según dicha clasificación.

A continuación, se describen individualmente los modelos de velocidad de propagación resultados obtenidos para cada uno de los perfiles realizados.

5.1. TMS-1A

El perfil TMS-1A discurre en dirección W-E y presenta una longitud de 80 metros. Empleando un total de 17 geófonos espaciados cada 5 metros y realizando seis puntos de golpeo, cada 20m. Se han extraído los tiempos de llegada de las ondas P, los cuales se muestran en la [Figura 12](#) (cruces).

El proceso de inversión iterativo reduce de manera monótona y continua el valor de RMS (diferencia entre tiempos observados y teóricos) hasta que se alcanza un valor mínimo a partir del cual el proceso de ajuste no mejora significativamente. Este modelo alcanza un error RMS (diferencia cuadrática media entre los tiempos observados y los tiempos sintéticos producidos por el modelo) de 1,15 ms en la vigésima iteración.

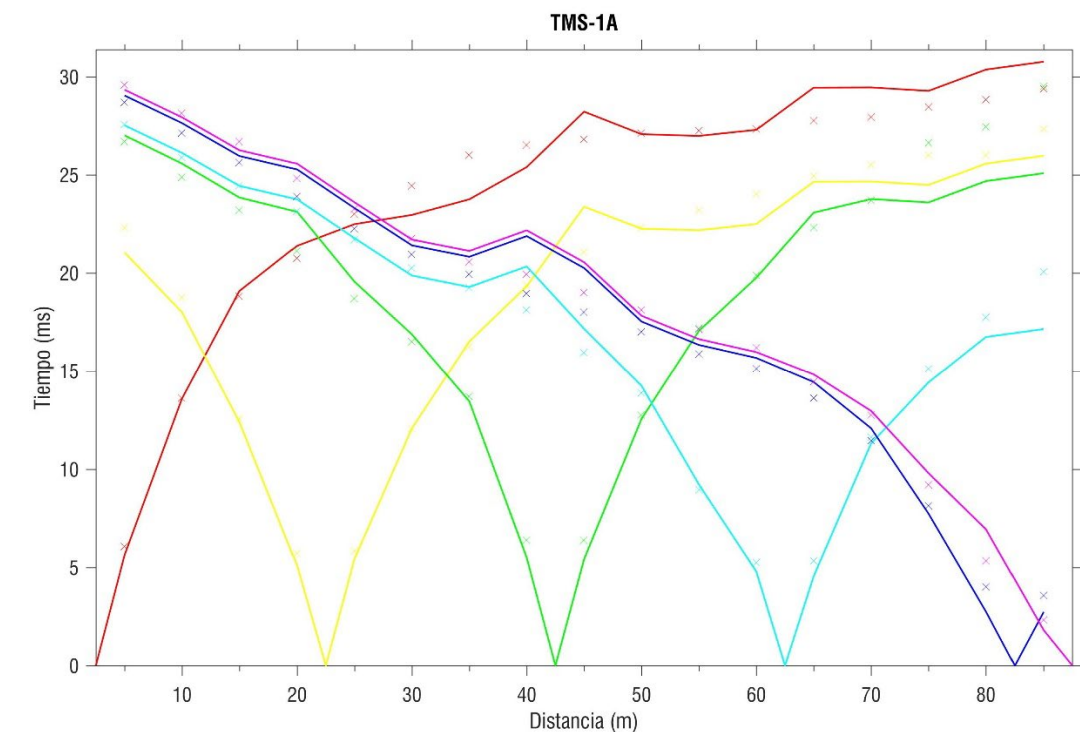


Figura 10. Dromocronas correspondientes al perfil TMS-1A. Las cruces indican los tiempos de llegada de ondas P observados y las líneas continuas indican los tiempos de llegada teóricos del modelo que se presenta en el ANEJO 5.

El modelo final de velocidad TMS-1A se muestra en el **ANEJO 5 (Plano A5-1, arriba)**. El modelo alcanza una profundidad máxima de 16 metros.

Presenta un rango de velocidades V_p que tiene un valor mínimo de 407 m/s y un valor máximo de 6.000 m/s.

En el modelo domina el gradiente vertical produciendo una distribución subhorizontal de la velocidad sísmica. Como es normal, los valores mínimos de V_p se encuentran en la superficie y van incrementando progresivamente en profundidad.

En superficie, se observan los valores de V_p más bajos, inferiores a 1.000 m/s, lo que probablemente indica la presencia de depósitos de terrazas fluviales (limos y gravas). El espesor de esta capa de baja velocidad varía entre 1,5 y 6 metros. El aumento progresivo de las velocidades de V_p con la profundidad refleja una mayor compactación de los materiales, atribuida a las calizas marmóreas. Los valores inferiores a 2.500 m/s indican la zona alterada de las calizas, cuyo espesor se estima entre 4 y 8 metros, mientras que los valores más elevados, superiores a 2.500 m/s, señalarían el techo de las calizas marmóreas sanas.

5.2. TMS-1B

El perfil TMS-1B discurre en dirección WNW-ESE y presenta una longitud de 60 metros. Empleando un total de 13 geófonos espaciados cada 5 metros y realizando cinco puntos de golpeo, cada 20m, se han extraído los tiempos de llegada de las ondas P, los cuales se muestran en la [Figura 13](#) (cruces).

El proceso de inversión iterativo reduce de manera monótona y continua el valor de RMS (diferencia entre tiempos observados y teóricos) hasta que se alcanza un valor mínimo a partir del cual el proceso de ajuste no mejora significativamente. Este modelo alcanza un error RMS (diferencia cuadrática media entre los tiempos observados y los tiempos sintéticos producidos por el modelo) de 1,12 ms en la iteración número 20.

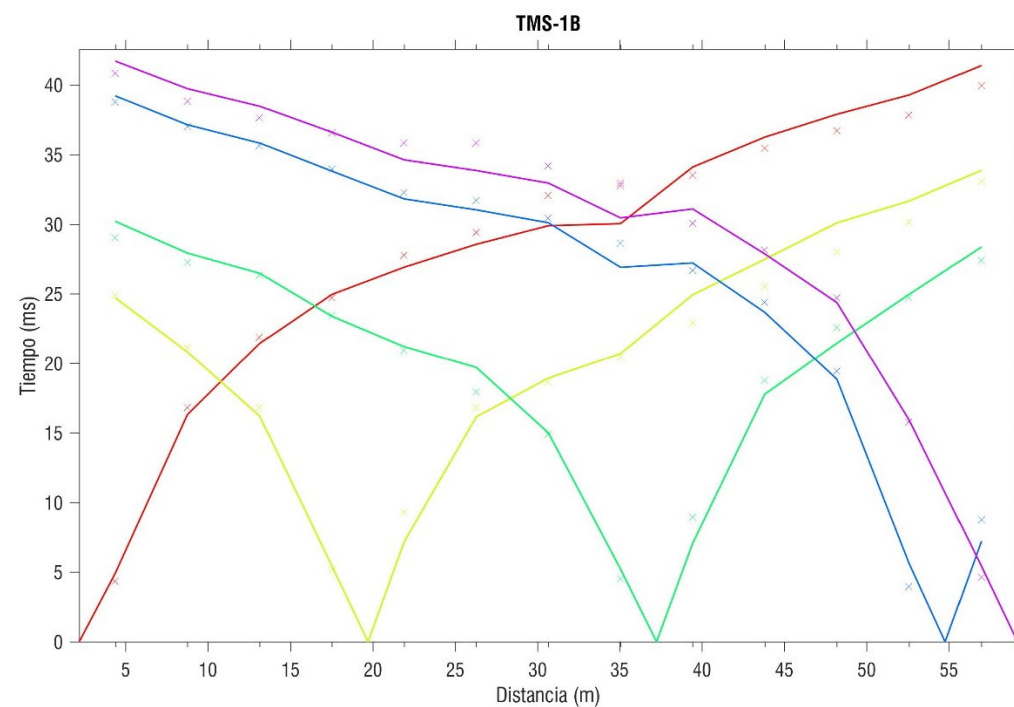


Figura 11. Dromocronas correspondientes al perfil TMS-1B. Las cruces indican los tiempos de llegada de ondas P observados y las líneas continuas indican los tiempos de llegada teóricos del modelo que se presenta en el ANEJO 5.

El modelo final de velocidad TMS-1B se muestra en el **ANEJO 5 (Plano A5-2, arriba)**. El modelo alcanza una profundidad máxima de 23 metros. Presenta un rango de velocidades V_p que tiene un valor mínimo de 306 m/s y un valor máximo de 5.911 m/s. En el modelo domina el gradiente vertical produciendo una distribución subhorizontal de la velocidad sísmica. Como es normal, los valores mínimos de V_p se encuentran en la superficie y van incrementando progresivamente en profundidad.

En superficie, se observan los valores de V_p más bajos, inferiores a 2.100 m/s, que pueden indicar la presencia de depósitos de terrazas fluviales (limos y gravas) y/o de la parte muy alterada de las calizas. El espesor de esta capa de baja velocidad varía entre 5 y 14 metros. El aumento progresivo de los valores de V_p con la profundidad refleja una mayor compactación de los materiales, correspondiente a las calizas.

En el modelo de cobertura (**Plano A5-2, abajo**), se distingue una superficie de refracción bien definida, situada entre 7 y 16 metros de profundidad, que corresponde a la isólinea de velocidad de 2.250 m/s y que podría estar asociada al techo de las calizas marmóreas sanas.

5.3. TMS-2

El perfil TMS-2 discurre en dirección W-E y presenta una longitud de 125 metros. Empleando un total de 26 geófonos espaciados cada 5 metros y realizando ocho puntos de golpeo, cada 20m, se han extraído los tiempos de llegada de las ondas P, los cuales se muestran en la [Figura 14](#) (cruces).

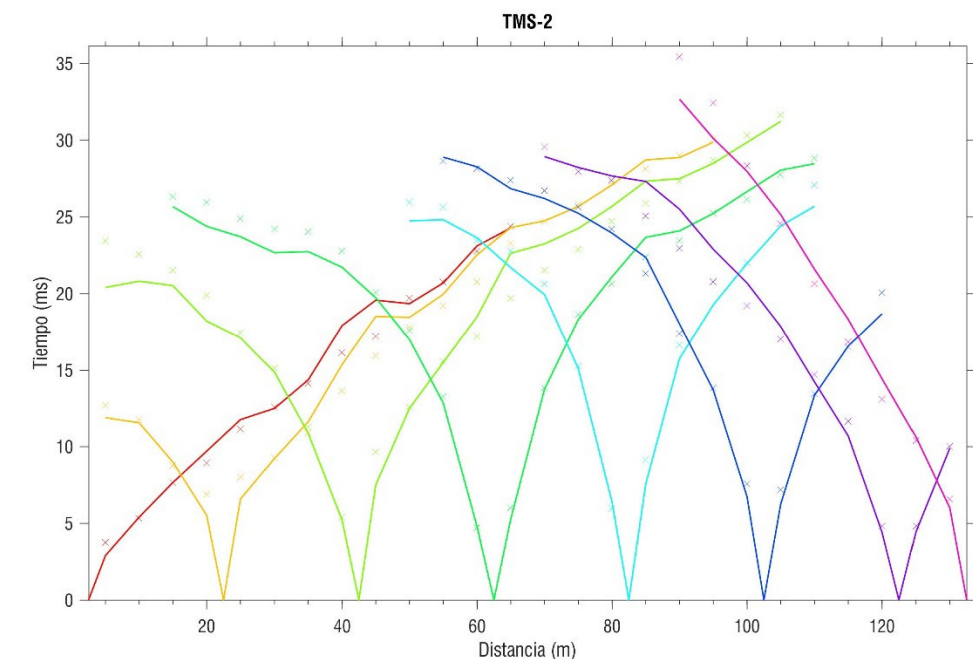


Figura 12. Dromocronas correspondientes al perfil TMS-2. Las cruces indican los tiempos de llegada de ondas P observados y las líneas continuas indican los tiempos de llegada teóricos del modelo que se presenta en el ANEJO 5.

El proceso de inversión iterativo reduce de manera monótona y continua el valor de RMS (diferencia entre tiempos observados y teóricos) hasta que se alcanza un valor mínimo a partir del cual el proceso de ajuste no mejora significativamente. Este modelo alcanza un error RMS

(diferencia cuadrática media entre los tiempos observados y los tiempos sintéticos producidos por el modelo) de 1,08 ms en la iteración número 20.

El modelo final de velocidad TMS-3 se muestra en el **ANEJO 5 (Plano A5-3, arriba)**. El modelo alcanza una profundidad máxima de 20 metros. Presenta un rango de velocidades V_p que tiene un valor mínimo de 309 m/s y un valor máximo de 5.980 m/s. En el modelo domina el gradiente vertical produciendo una distribución subhorizontal de la velocidad sísmica. Como es normal, los valores mínimos de V_p se encuentran en la superficie y van incrementando progresivamente en profundidad. Valores de V_p altos, superiores a 2.500 m/s pueden indicar la presencia de las calizas marmóreas sanas.

En superficie, se observan los valores de V_p más bajos, inferiores a 2.500 m/s, que pueden indicar la presencia de depósitos cuaternarios correspondientes a terrazas fluviales (limos y gravas) y/o a la parte muy alterada o fracturada de las calizas. El espesor de esta capa varía desde unos 2 m en la parte este del perfil hasta aproximadamente 9 m hacia el oeste, con algunas zonas puntuales que alcanzan alrededor de 11 m. El aumento progresivo de las velocidades de V_p con la profundidad refleja una disminución del grado de alteración de los materiales y una compactación creciente de las calizas marmóreas.

La isolínea de velocidad de 2.250 m/s, que marca una superficie de refracción situada entre 2 y 13 m de profundidad, correspondería al techo del sustrato formado por calizas marmóreas sanas.

5.4. TMS-3

El perfil TMS-3 discurre en dirección W-E y presenta una longitud de 185 metros. Empleando un total de 38 geófonos espaciados cada 5 metros y realizando once puntos de golpeo, cada 20 m, se han extraído los tiempos de llegada de las ondas P, los cuales se muestran en la **Figura 15** (cruces).

El proceso de inversión iterativo reduce de manera monótona y continua el valor de RMS (diferencia entre tiempos observados y teóricos) hasta que se alcanza un valor mínimo a partir del cual el proceso de ajuste no mejora significativamente. Este modelo alcanza un error RMS de 1,59 ms en la iteración número 20.

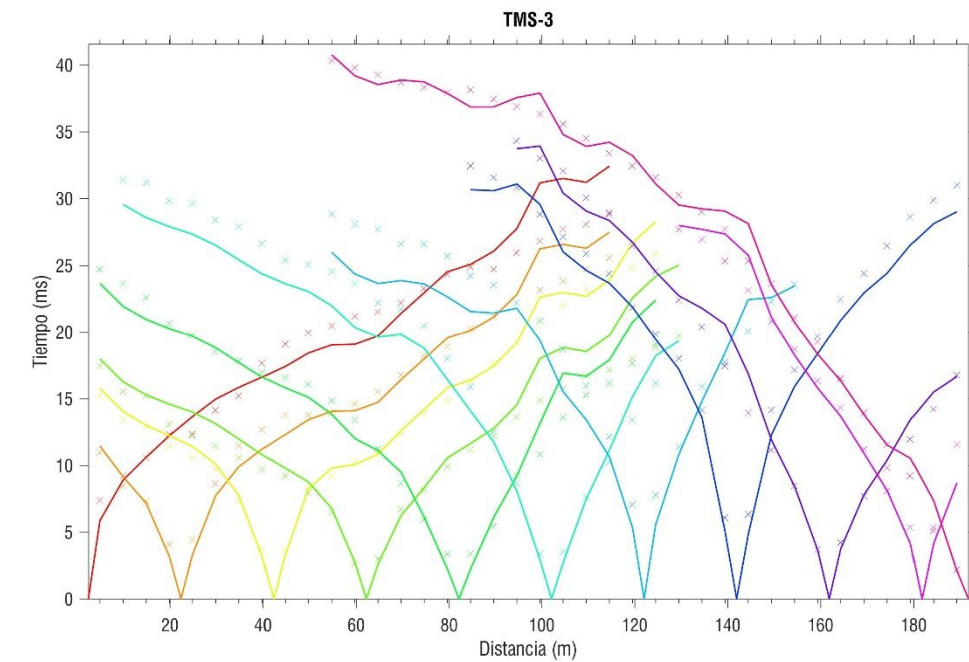


Figura 13. Dromocronas correspondientes al perfil TMS-3. Las cruces indican los tiempos de llegada de ondas P observados y las líneas continuas indican los tiempos de llegada teóricos del modelo que se presenta en el ANEJO 5.

El modelo de velocidad final TMS-3 se presenta en el **ANEXO 5 (Plano A5-4, arriba)**. El modelo alcanza una profundidad máxima de 47 m. Presenta un rango de velocidades V_p cuyo valor mínimo es de 395 m/s y el máximo de 6.000 m/s. Los valores mínimos de V_p se encuentran en la superficie y aumentan progresivamente con la profundidad en la parte occidental del perfil, mientras que la parte oriental se caracteriza por un aumento de estos valores más o menos bajos.

En superficie, se observan los valores de V_p más bajos, inferiores a 2.500 m/s, que pueden indicar la presencia de depósitos cuaternarios asociados a terrazas fluviales (limos y gravas) y/o a la parte muy alterada o fracturada de las calizas. En este caso, el espesor de esta capa de baja velocidad es reducido y varía entre unos 3 m en la parte oeste del perfil y 12 m en la parte este. El aumento progresivo de los valores de V_p con la profundidad refleja una disminución del grado de alteración de los materiales y una compactación creciente. Los valores de V_p más elevados, superiores a 2.500 m/s, podrían corresponder al sustrato constituido por calizas marmóreas sanas.

En el modelo de cobertura (**Plano A5-4, abajo**), no se observa ninguna superficie de refracción definida en la parte este. Por el contrario, la distribución de las ondas P es heterogénea, ligeramente superior en la mitad oeste del perfil. La mayor acumulación de ondas P se encuentra entre 7 y 12 m de profundidad, lo que corresponde a isolíneas de velocidad de 2.500 a 3.550 m/s, lo que podría estar relacionado con el techo del sustrato calcáreo sano.

5.5. TMS-4

El perfil TMS-4 discurre en dirección W-E y presenta una longitud de 105 metros. Empleando un total de 22 geófonos espaciados cada 5 metros y realizando siete puntos de golpeo, cada 20m, se han extraído los tiempos de llegada de las ondas P, los cuales se muestran en la [Figura 16](#) (cruces).

El proceso de inversión iterativo reduce de manera monótona y continua el valor de RMS (diferencia entre tiempos observados y teóricos) hasta que se alcanza un valor mínimo a partir del cual el proceso de ajuste no mejora significativamente. Este modelo alcanza un error RMS de 1,15 ms en la iteración número 20.

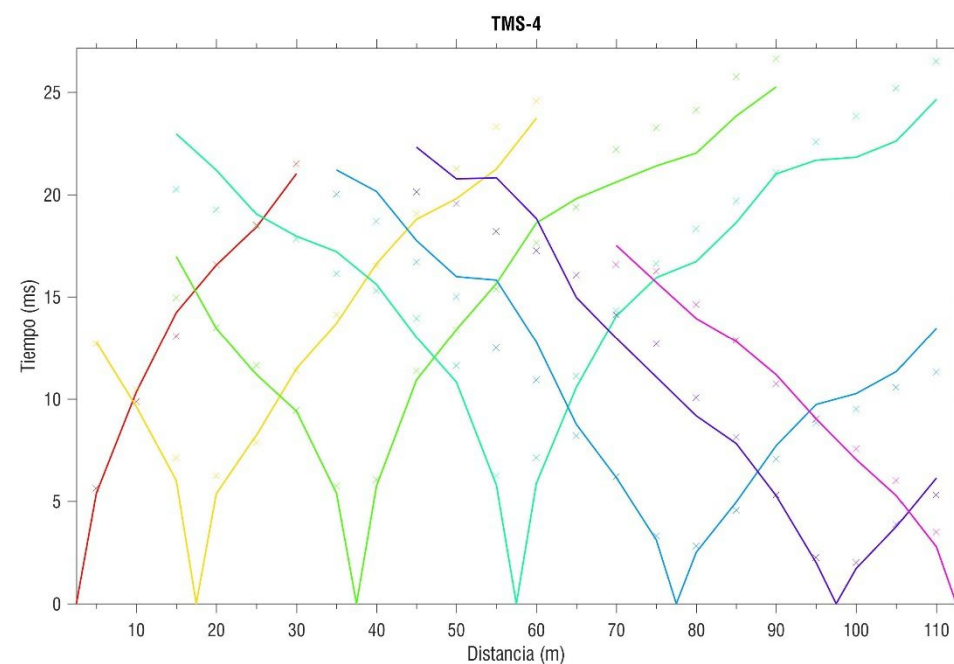


Figura 14. Dromocronas correspondientes al perfil TMS-4. Las cruces indican los tiempos de llegada de ondas P observados y las líneas continuas indican los tiempos de llegada teóricos del modelo que se presenta en el ANEJO 5.

El modelo final de velocidad TMS-4 se muestra en el **ANEJO 5 (Plano A5-5, arriba)**. El modelo alcanza una profundidad máxima de 19 metros. Presenta un rango de velocidades V_p que tiene un valor mínimo de 346 m/s y un valor máximo de 5.917 m/s. En el modelo domina el gradiente vertical produciendo una distribución subhorizontal de la velocidad sísmica. Los valores mínimos de V_p se encuentran en la superficie y van incrementando progresivamente en profundidad.

En la superficie se observan los valores V_p más bajos, inferiores a 2.500 m/s, lo que puede indicar la presencia de depósitos cuaternarios asociados a terrazas fluviales (limo y grava) y/o a la parte muy alterada o fracturada de las calizas. En este caso, el espesor de esta capa de

velocidad baja y media es más o menos grueso, varía entre aproximadamente 1 m en la parte SW del perfil y 8 m en la parte NE. El aumento progresivo de los valores V_p con la profundidad refleja una disminución del grado de alteración de los materiales y una compactación creciente. Los valores V_p más altos, superiores a 2500 m/s, podrían corresponder al sustrato constituido por calizas marmóreas sanas.

5.6. TMS-5

El perfil TMS-5 discurre en dirección NNW-SSE y presenta una longitud de 65 metros. Empleando un total de 14 geófonos espaciados cada 5 metros y realizando diez puntos de golpeo, cada 20m, se han extraído los tiempos de llegada de las ondas P para el perfil TMS-5, los cuales se muestran en la [Figura 17](#) (cruces).

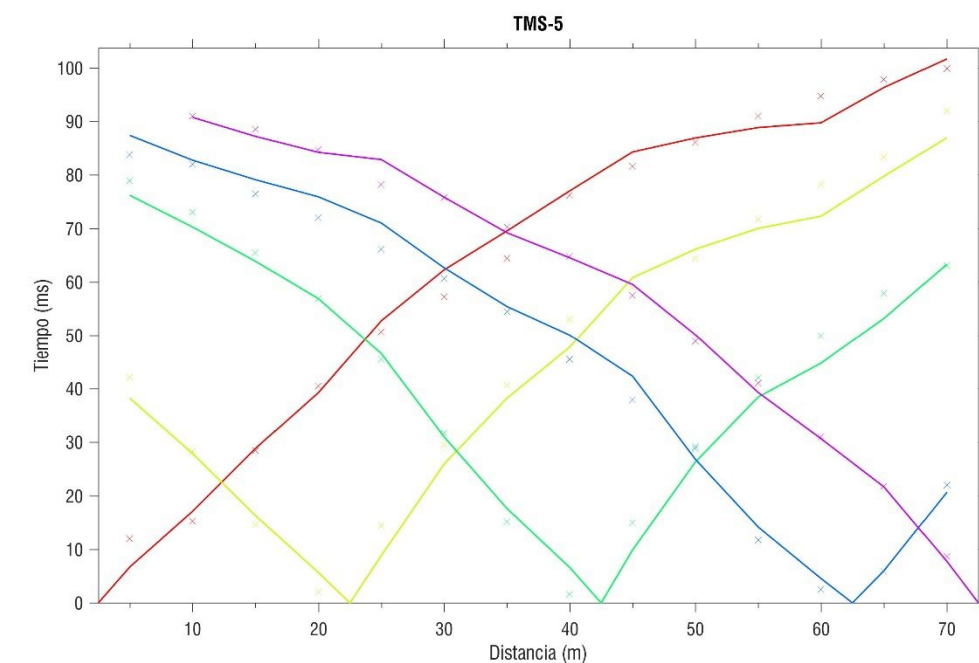


Figura 15. Dromocronas correspondientes al perfil TMS-5. Las cruces indican los tiempos de llegada de ondas P observados y las líneas continuas indican los tiempos de llegada teóricos del modelo que se presenta en el ANEJO 5.

El proceso de inversión iterativo reduce de manera monótona y continua el valor de RMS (diferencia entre tiempos observados y teóricos) hasta que se alcanza un valor mínimo a partir del cual el proceso de ajuste no mejora significativamente. Este modelo alcanza un error RMS de 3,01 ms en la iteración número 20.

El modelo final de velocidad TMS-5 se muestra en el **ANEJO 5 (Plano A5-6, arriba)**. El modelo alcanza una profundidad máxima de 23 metros. Presenta un rango de velocidades V_p que tiene un valor mínimo de 277 m/s y un valor máximo de 1.585 m/s. En el modelo domina el gradiente

vertical produciendo una distribución subhorizontal de la velocidad sísmica. Como es normal, los valores mínimos de V_p se encuentran en la superficie y van incrementando progresivamente en profundidad.

Este perfil se caracteriza por valores de V_p relativamente bajos, inferiores a 1.500 m/s, que pueden indicar la dominancia de depósitos cuaternarios probablemente asociados a terrazas fluviales (limos y gravas) y/o a la parte muy alterada o fracturada de las calizas.

El aumento progresivo de las velocidades de V_p con la profundidad refleja una disminución del grado de alteración de los materiales y una compactación creciente

6. CONCLUSIONES

Este estudio geofísico, que consiste en la realización de seis perfiles de tomografía sísmica por refracción, tiene como objetivo determinar la estructura interna del terreno con el fin de evaluar su ripabilidad y, más concretamente, definir la extensión en profundidad del sustrato rocoso para el proyecto de base de construcción de la variante de Lesaka (carretera NA-400, Comunidad Foral de Navarra).

El proceso de inversión de los datos de estos perfiles permitió generar modelos de velocidad V_p hasta una profundidad comprendida entre 16 y 47 metros en función de la longitud del perfil.

La mayoría de los datos obtenidos en campo presentan una calidad razonable debido a la existencia de ruido ambiental de origen antrópico presente en las zonas de estudio. Esto ha permitido llevar a cabo una moderada identificación de las primeras llegadas de la onda P, revelando unos modelos de V_p sísmicamente homogéneos, cuyas velocidades aumentan con la profundidad.

En todos los modelos generados se identificaron refractores superficiales que concentraron la energía, generalmente debido a la presencia de cambios litológicos, contactos geomecánicos o diferencias en el grado de alteración. La litología, de carácter subvertical, está compuesta principalmente por depósitos de terrazas fluviales (limos y gravas) y por calizas marmóreas, inicialmente fracturadas y posteriormente sanas.

Los diferentes perfiles ponen en evidencia una capa superficial caracterizada por velocidades de V_p bajas a medias (< 2.000 m/s), interpretada como depósitos cuaternarios de terrazas fluviales (limos y gravas) y/o como la zona muy alterada o fracturada de las calizas, que en profundidad sobreyace a un sustrato constituido por calizas marmóreas sanas.

La [Tabla 4](#) resume los valores mínimos y máximos obtenidos para la velocidad sísmica V_p y la profundidad máxima alcanzada para cada uno de los modelos obtenidos, así como la profundidad media del sustrato.

Perfil	Máxima profundidad alcanzada (m)	Valor mínimo de V_p (m/s)	Valor máximo de V_p (m/s)	Profundidad media del sustrato (m)
TMS-1A	16	407	6.000	9,8
TMS-1B	23	306	5.911	12,6
TMS-2	20	309	5.980	12,0
TMS-3	47	395	6.000	17,0
TMS-4	19	346	5.917	9,0
TMS-5	23	277	1.585	>23

Se han obtenido modelos de velocidad V_p con valores de V_p que oscilan entre 277 y 6.000 m/s. De la interpretación de los modelos de velocidad V_p se desprende que hay una disposición

muy homogénea y subhorizontal de los valores de velocidad sísmica V_p . Esto permite interpretar la disposición de los materiales en el subsuelo y la ausencia de grandes anomalías en los modelos obtenidos.

Basándose en las litologías predominantes (calizas marmóreas sanas), se han seleccionado los siguientes límites de velocidad tomando como referencia un modelo D9R (Caterpillar, 2000) para definir las categorías de excavabilidad:

- ♦ Material excavable: velocidades sísmicas inferiores a 2.100 m/s.
- ♦ Material marginal: velocidades sísmicas comprendidas entre 2.100 y 2.500 m/s.
- ♦ Material no excavable: velocidades sísmicas superiores a 2.500 m/s.

El cuadro siguiente resume, para cada perfil, el espesor medio de los materiales ripables, de los materiales con ripabilidad marginal y de los materiales no ripables.

Perfil	Espesor medio de los materiales		Profundidad media del Materiales no ripables (m)
	Materiales ripables (m)	Materiales marginales (m)	
TMS-1A	8	1,8	9,8
TMS-1B	11	1,6	12,6
TMS-2	9	3,0	12,0
TMS-3	10	7,0	17,0
TMS-4	6	3,0	9,0
TMS-5	23	--	>23

En el **ANEJO 6** se muestran las categorías de ripabilidad para los perfiles realizados.

Este informe consta de 27 páginas numeradas y siete anejos de Metodología, Localización de Ensayos, Sismogramas, Dromocronas, Modelos de Velocidad Sísmica (V_p), Modelos de Ripabilidad y Referencias.

Colmenarejo, 25 de septiembre de 2025



Thais Montoya Franco
MsC Geología



Senén Sandoval Castaño
Doctor en geofísica

ANEJO 1. METODOLOGÍA

El principio básico de la sismología exploratoria tradicional consiste en generar una señal en un punto y momento conocidos, y estudiar las reflexiones y refracciones que experimentan las ondas generadas en su trayecto desde el punto de emisión hasta la superficie donde se detectan las señales de retorno.

La sísmica de refracción es uno de los métodos sísmicos más extendidos y populares en geofísica aplicada. En este método se mide el tiempo de propagación de las ondas sísmicas (habitualmente la onda P) entre un punto donde se generan ondas sísmicas (fuente) y otros puntos de observación (estaciones). Para esto se disponen una serie de sensores en línea recta a distancias conocidas, formando lo que se conoce como perfil sísmico o línea de refracción sísmica.

Por lo tanto, los métodos de exploración sísmica consisten en generar, registrar, almacenar y estudiar diferentes propiedades (velocidad, amplitud, atenuación, dispersión) de las ondas sísmicas.

A1.1. Esfuerzo y deformación

Cuando se aplica una fuerza **F** en un área **A** de un cuerpo se generan una serie de fuerzas internas dentro del cuerpo. La relación entre la fuerza y el área se conoce como *esfuerzo*.

El esfuerzo se puede descomponer en dos componentes, una ortogonal a la superficie (esfuerzo normal) y otra perpendicular, en el plano de la superficie (esfuerzo de cizalla).

El cuerpo sometido a estos esfuerzos experimenta unas deformaciones que, de acuerdo con la teoría de la elasticidad de Hooke, son linealmente proporcionales hasta que se produce la rotura. En este estado de elasticidad, cuando el esfuerzo externo cesa, el cuerpo recupera su estado inicial.

Cuando el cuerpo ha sobrepasado su límite elástico comienza a comportarse de manera plástica o dúctil. Si los esfuerzos aumentan se alcanza finalmente la rotura.

En exploración sísmica, los esfuerzos y deformaciones lejos de la fuente son muy pequeños y se encuadran dentro del comportamiento elástico del material.

Módulos elásticos dinámicos

El comportamiento elástico lineal de un sólido isótropo se puede describir en la teoría de la elasticidad lineal por dos parámetros conocidos como *parámetros (o coeficientes) de Lamé*. Estas dos constantes elásticas se definen como:

λ : primer parámetro de Lamé.

μ : segundo parámetro del Lamé, conocido también como módulo de elasticidad transversal, módulo de cizalla G.

La ecuación constitutiva de un material elástico lineal homogéneo e isótropo, (ley de Hooke) viene dada por la expresión general:

$$\sigma = 2\mu\varepsilon + \lambda \text{tr}(\varepsilon)I$$

donde σ es la tensión, ε el tensor de deformación, I es la matriz identidad y el operador traza.

Las relaciones entre esfuerzos y deformaciones en un material se denominan *módulos elásticos*.

Coeficiente de Poisson

Mide la relación entre la deformación lateral que sufre un cuerpo cuando se le somete a una deformación axial. Su valor, en función de las velocidades sísmicas, se calcula mediante la siguiente relación:

$$\sigma = \frac{V_P^2 - 2V_S^2}{2(V_P^2 - V_S^2)}$$

En condiciones normales, el coeficiente de Poisson varía entre 0,00 y 0,50, correspondiendo los valores más altos a materiales plásticos y deformables.

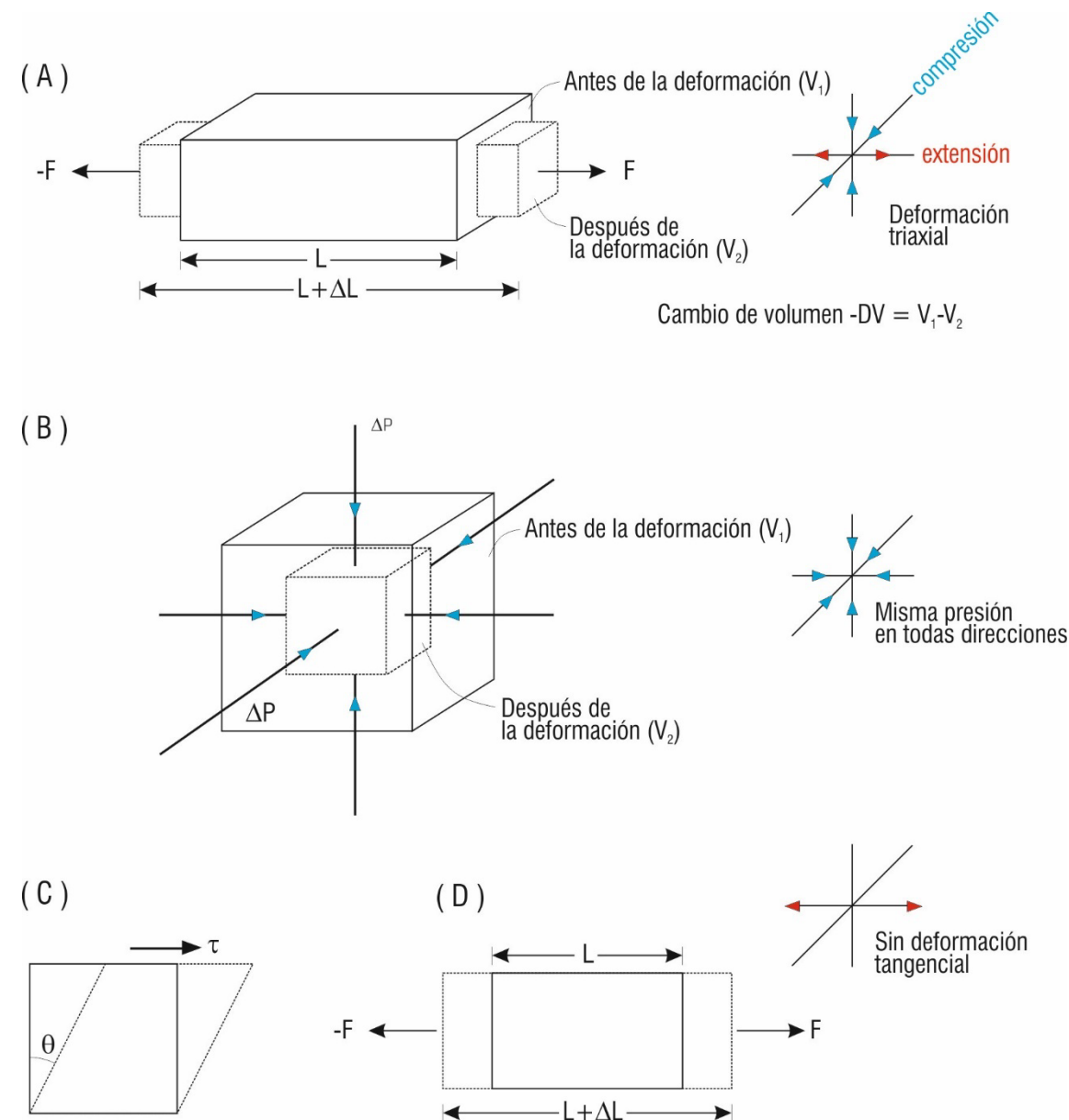


Figura A1-1: Módulos elásticos. (A) Módulo de Young; (B) Módulo de compresibilidad volumétrica (Bulk); (C) Módulo de cizalla; (D) Módulo axial. Reynolds (2011).

Los principales módulos elásticos son:

Módulo de rigidez

Caracteriza el cambio de forma que experimenta un material elástico (lineal e isótropo) cuando se aplican esfuerzos cortantes. Este módulo también se denomina módulo de rigidez transversal, módulo de corte, módulo de cortadura, módulo elástico tangencial, módulo de elasticidad transversal, y segunda constante de Lamé.

$$G = \rho V_s^2$$

Módulo de Young

El módulo de Young (E), también llamado módulo de elasticidad es un parámetro que indica la relación existente (en la zona de comportamiento elástico de dicho material) entre el incremento de tensión aplicado en un ensayo de tracción (axial) y el incremento de deformación longitudinal unitaria producido.

$$E = 2G (1 + \sigma)$$

Módulo de compresibilidad volumétrica

El módulo de compresibilidad volumétrica (K) o módulo de Bulk de un material es una medida de la resistencia a la compresión que este material tiene. Se define como la relación que existe entre un incremento infinitesimal de presión y la disminución de volumen resultante.

$$E = \frac{2G (1 + \sigma)}{3 (1 - 2\sigma)}$$

Los módulos elásticos que se obtienen a partir de las velocidades sísmicas de propagación son de carácter dinámico (son los característicos de los materiales cuando son sometidos a cargas rápidas) por lo que son extremadamente importantes para conocer el comportamiento real del material (en condiciones reales de presión y humedad) bajo acciones sísmicas.

A1.2. Ondas sísmicas

Las ondas sísmicas se clasifican en dos tipos: ondas internas (P y S) y ondas superficiales (Rayleigh y Love).

Las ondas internas son (como su propio nombre indica) aquellas que se propagan por el interior de la Tierra desde la fuente hasta la superficie. Existen dos tipos de ondas internas: ondas P (primarias) que comprimen y dilatan el medio a su paso y las ondas S (secundarias) que desplazan las partículas del medio en una dirección perpendicular a la dirección en la que se propagan (por ello también se conocen como ondas de cizalla).

El otro tipo de ondas sísmicas es el de la familia de las ondas superficiales. Como su propio nombre indica, son ondas que existen cerca de la superficie libre (aire-terreno o agua-terreno). Hay dos tipos principales: ondas Rayleigh y ondas Love. Las primeras presentan un desplazamiento de las partículas del terreno que produce un movimiento elíptico retrógrado dentro del plano vertical de desplazamiento. Por el contrario, las ondas Love producen un movimiento elíptico del medio en un plano horizontal.

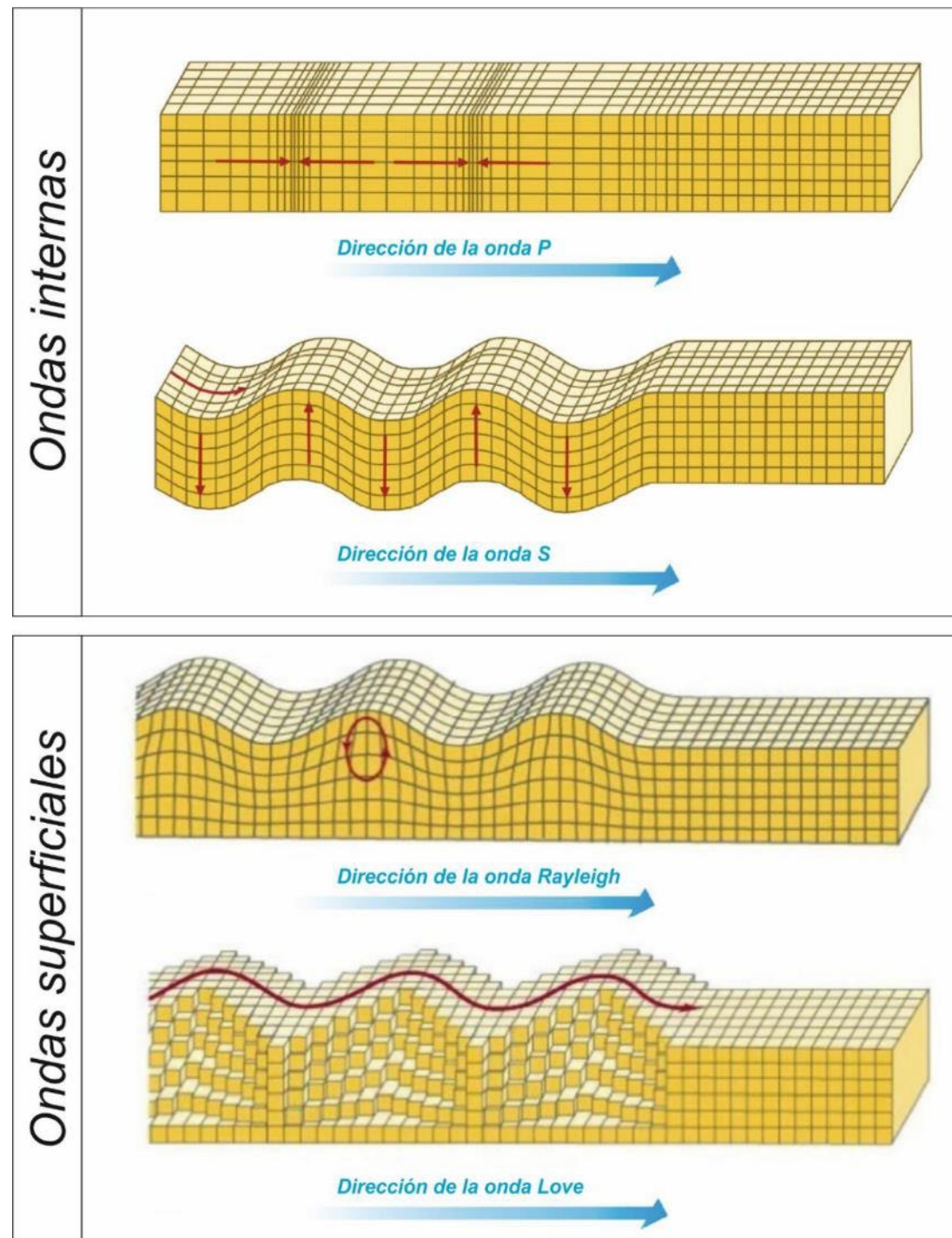


Figura A1-2: Tipos de ondas sísmicas y desplazamientos que producen en el medio a su paso.

La amplitud de las ondas superficiales es máxima en la superficie y decrece rápidamente con la profundidad. Las ondas superficiales son generadas por interferencia de las ondas P y S en la superficie libre.

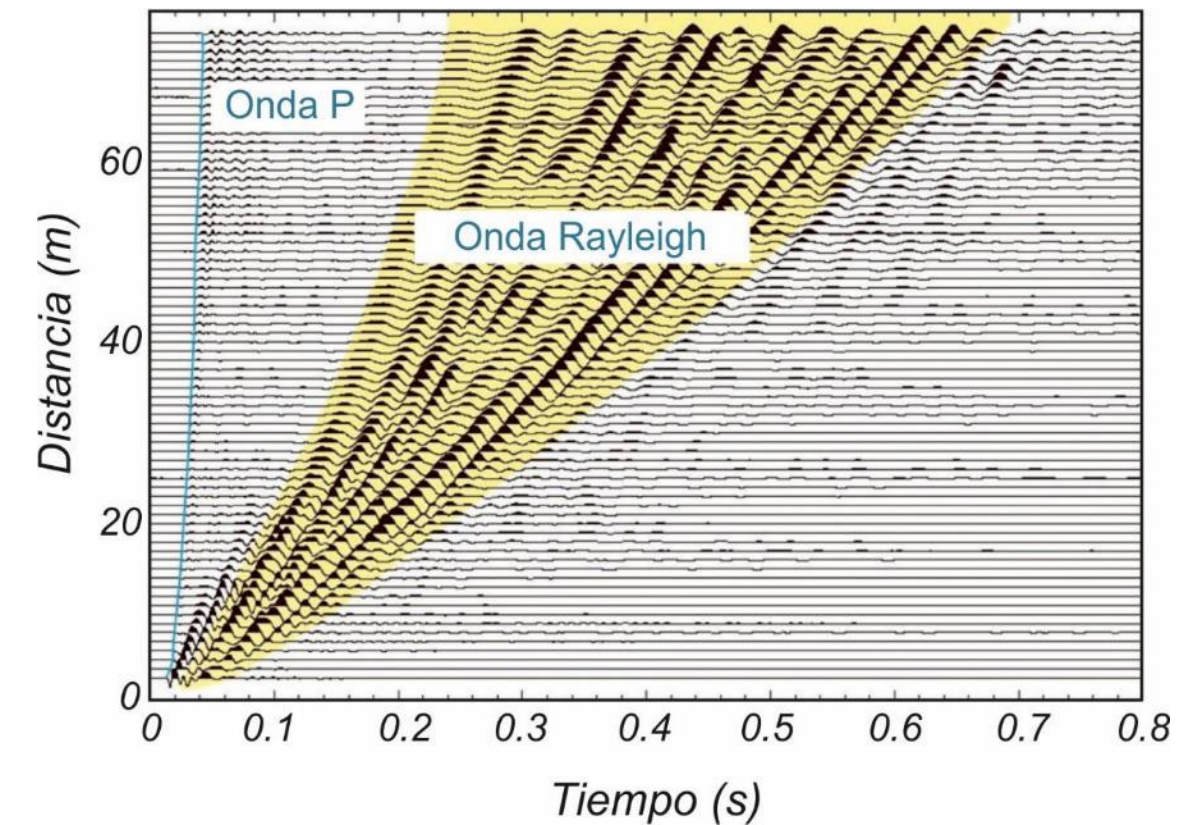


Figura A1-3: Registro sísmico (componente vertical, amplitudes normalizadas). Se observan las ondas P al inicio del ensamble (línea azul) y a continuación las ondas Rayleigh de gran amplitud. El área anaranjada marca la dispersión de las ondas superficiales.

Velocidad de ondas sísmicas

Las velocidades a las que las ondas sísmicas se propagan dentro de un material dependen de los módulos elásticos y densidades del material según las siguientes relaciones:

$$v_P = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}$$

$$v_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

Donde ρ y μ son el primer y segundo coeficiente de Lamé, respectivamente. El segundo coeficiente de Lamé es el módulo de rigidez (también denominado G).

De esta última ecuación se deduce que como en un fluido el coeficiente de rigidez (μ o G) es cero (los fluidos no pueden cizallarse), la velocidad de propagación de las ondas S sería también cero.

Como generalización, se podría decir que las velocidades sísmicas aumentan con la densidad. La [Tabla A1-1](#) muestra las velocidades sísmicas de los principales materiales presentes en la naturaleza.

La relación entre V_p y V_s en función del coeficiente de Poisson es:

$$\frac{v_p}{v_s} = \frac{(1 - \sigma)^{1/2}}{(1/2 - \sigma)}$$

El coeficiente de Poisson varía entre 0,0 y 0,5. Para rocas muy rígidas se sitúa entre 0,10 y 0,30, mientras que en el caso de suelos y materiales plásticos (limos y arcillas) varía entre 0,35 y 0,50.

A la hora de comparar velocidades sísmicas (en concreto entre valores obtenidos en laboratorio y valores obtenidos *in situ*) hay que extremar las precauciones. Las velocidades sísmicas obtenidas en campo, como por ejemplo en ensayos de sísmica de refracción, analizan el medio en su estado natural, con presencia de juntas, grietas, etc., mientras que las velocidades obtenidas en laboratorio proceden de especímenes seleccionados.

Tabla A1-1. Velocidades sísmicas (V_p) de los materiales comunes en el terreno.

Material	VP (m/s)
Aire	343
Agua	1.450 – 1.530
Petróleo	1.300–1.400
Loess	300–600
Suelo	100–500
Nieve	350–3000
Hielo	3.000–4.000
Arena (suelta)	200–2000
Arena (suelta y seca)	200–1000
Arena (suelta y saturada)	1.500–2.000
Morrena glacial	1.500–2.700
Arena y grava (superficial)	400–2.300
Arena y grava (a 2 Km de profundidad)	3.000–3.500
Arcilla	1.000–2.500
Fangos	300–1.800
Aluviales de inundación	1.800–2.200
Permafrost (Sedimentos Cuaternarios)	1.500–4.900
Arenisca	1.400–4.500
Caliza (alterada)	1.700–4.200
Caliza (competente)	2.800–7.000
Dolomía	2.500–6.500
Anhidrita	3.500–5.500
Sal Roca	4.000–5.500
Yeso	2.000–3.500
Lutita	2.000–4.100
Granito	2.600–6.200
Basalto	5.500–6.500
Gabro	4.400–7.000
Peridotita	7.800–8.400
Serpentinita	5.500–6.500
Gneis	3.500–7.600
Mármol	3.780–7.000
Minerales sulfurosos	3.950–6.700
Ceniza	600–1.000
Rellenos heterogéneos	160–600
Material de vertedero	400–750
Hormigón	3.000–3.500
Suelo alterado	180–335
Sello arcilloso de vertedero (compactado)	355–380

Propagación de ondas sísmicas

Para poder calcular la velocidad de las ondas sísmicas en un medio es necesario conocer los principios físicos que rigen la propagación de una onda elástica desde su fuente hasta el sensor en el que se mide.

Cuando se produce una excitación mecánica en el terreno se generan ondas sísmicas internas (P y S) y superficiales (Love y Rayleigh). De todas estas ondas, son las ondas P las que tienen un mayor interés en la refracción sísmica.

Las leyes que rigen la propagación de las ondas sísmicas en un medio son las mismas que se utilizan en óptica:

- (1) Principio de Huygens
- (2) Principio de Fermat, y
- (3) Ley de Snell,

Como consecuencia del Principio de Huygens y/o del principio de Fermat, la ley de Snell dice que la relación entre las velocidades sísmicas a ambos lados de una discontinuidad es proporcional a la relación entre el seno del ángulo incidente y el seno del ángulo de refracción.

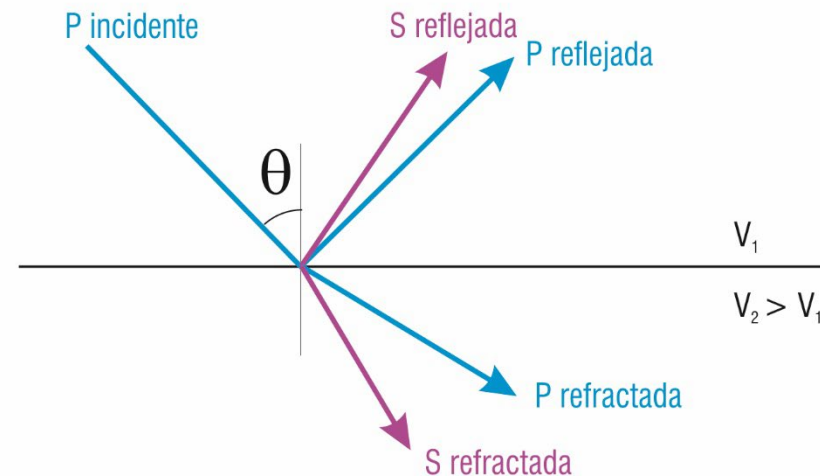


Figura A1-4: Ondas P y S reflejadas y refractadas en una discontinuidad entre dos medios de velocidad V_1 y V_2 .

Cuando el ángulo incidente alcanza un cierto valor, que depende del contraste de velocidad en la discontinuidad, se produce el fenómeno de refracción crítica. En esta situación toda la energía que se refracta se propaga por la discontinuidad y se genera una onda (onda guía o Head wave) que retorna a la superficie.

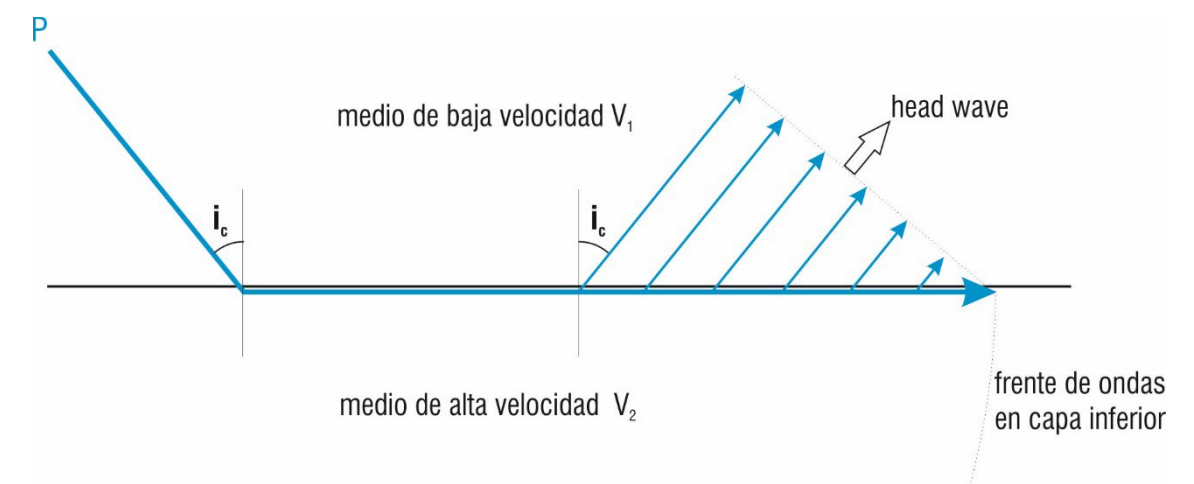


Figura A1-5: Refracción crítica en una discontinuidad entre dos medios de velocidad V_1 y V_2 .

Esta particularidad es la que aprovecha el método de la sísmica de refracción, ya que las ondas generadas en superficie se van refractando (siempre que la velocidad aumente con la profundidad) de nuevo hacia la superficie.

Otro fenómeno que afecta a la velocidad de propagación de las ondas sísmicas es la dispersión. Es necesario conocer la frecuencia principal de las ondas sísmicas empleadas ya que la velocidad depende de la frecuencia en la mayoría de los medios de la naturaleza.

Ripabilidad

La ripabilidad es una característica geotécnica vinculada a la resistencia de la rotura de un terreno. Se denomina *ripar* al proceso de romper un suelo o una roca con un *ripper* (uña trasera de un bulldozer). Según la resistencia a la rotura, el material que va a ser ripado se clasifica (en grado creciente de dificultad) como excavable, ripable, marginal o volable.

El principal parámetro que condiciona la ripabilidad de un material es su naturaleza. Por lo general, los suelos y rocas sedimentarias son fáciles de ripar, mientras que las rocas metamórficas e ígneas presentan mayor dificultad en el ripado.

Además de la naturaleza del material, también es necesario considerar el estado del mismo. Aunque en un principio las formaciones sedimentarias generalmente ofrecen las mejores condiciones para el ripado, las rocas ígneas y metamórficas con elevado grado de meteorización también pueden ser ripadas económicamente.

Los suelos (arenas, limos y arcillas), pizarras, areniscas y, en general, cualquier litología con mucha estratificación y presencia de juntas ofrecen buenas posibilidades para el ripado. Por otro lado, las formaciones rocosas poco alteradas y muy densas pueden requerir técnicas de extracción más intensas como la perforación y la voladura.

En una primera inspección visual se puede estimar la ripabilidad a partir del análisis de la composición, laminación, presencia de fallas, diaclasado, fracturas y juntas. Sin embargo, esta inspección solo aporta un conocimiento de la parte somera (y más expuesta) de la formación, con un mayor estado de alteración, y por lo tanto puede inducir a subestimar el grado de ripabilidad de la formación objeto de estudio.

Caterpillar (2000) ha desarrollado durante décadas una sistemática de análisis para predecir la ripabilidad de una formación a partir de correlaciones empíricas entre medidas de ripado real con velocidades sísmicas (V_p). Por este motivo, determinando la velocidad sísmica de las ondas P (V_p) se puede deducir de manera muy precisa el grado de ripabilidad de un material.

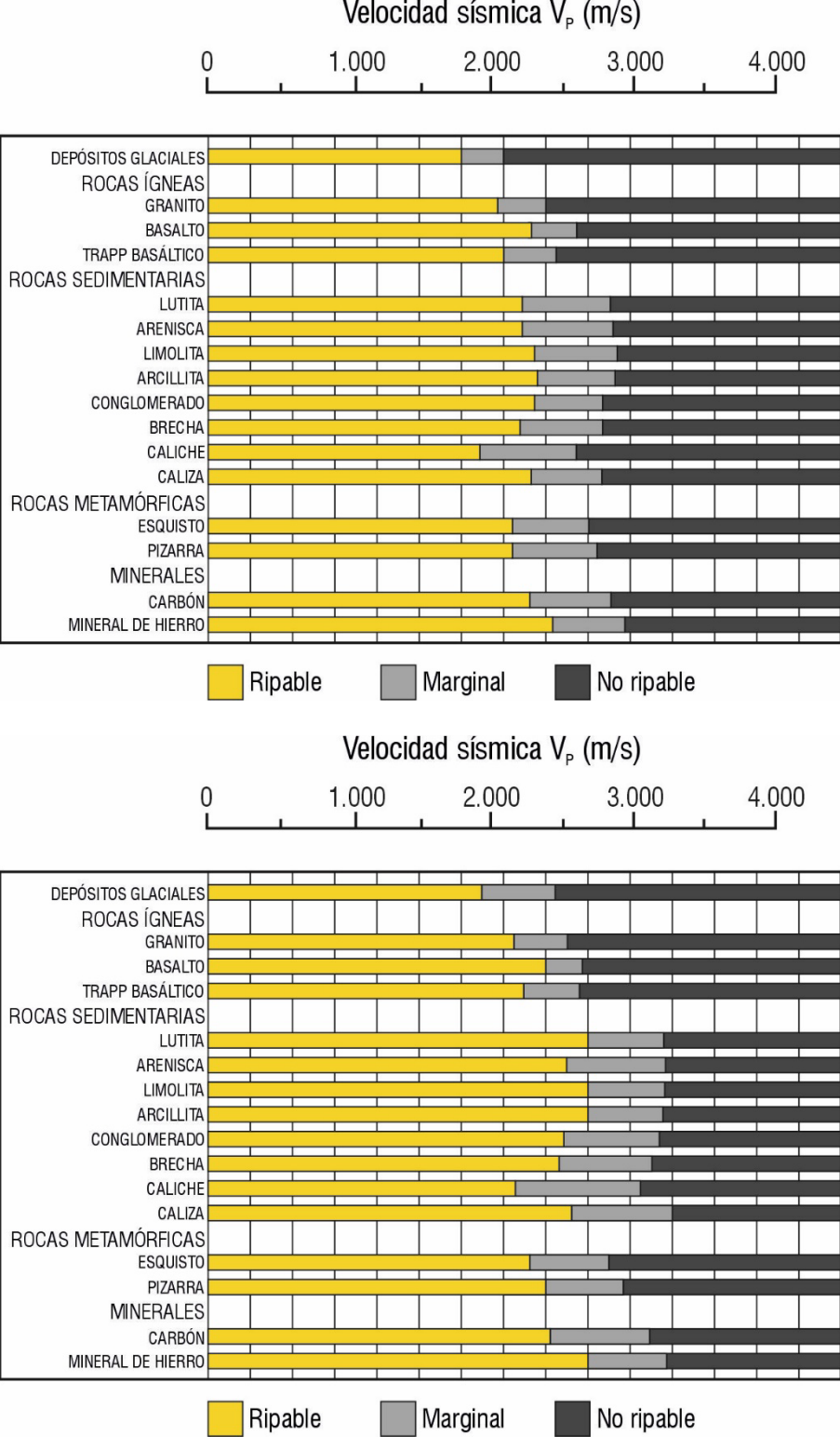


Figura A1-6: Tabla de ripabilidad según el tipo de material y la velocidad sísmica de las ondas P para una ripadora modelo D9R (primera imagen), D10R (segunda imagen) (Caterpillar, 2.000).

A1.3. Tomografía Sísmica de refracción

La refracción sísmica es un método geofísico no destructivo para la interpretación de las propiedades de los suelos, y la detección de la profundidad de la roca, mediante el análisis de las variaciones en las velocidades sísmicas.

Este método se basa en determinar los tiempos de recorrido de las ondas P desde un punto conocido (fuente sísmica) hasta una serie de sensores (geófonos) situados a lo largo de una línea de adquisición. Conociendo el tiempo de recorrido y la distancia entre fuente y geófonos, se puede determinar la velocidad de propagación del medio situado entre ambos.

A1.3.1. Equipo de medida

Las componentes del equipo de medición de refracción sísmica son:

- Fuente de generación de ondas sísmicas
- Sensores para registrar los movimientos del terreno
- Sistema de adquisición y almacenamiento

Fuente de generación de ondas

Las ondas que se utilizan en refracción son generadas por una perturbación artificial instantánea, que se conoce como impulso sísmico. Lo que se busca con este impulso es generar el tipo de ondas sísmicas (internas y superficiales), producidas por un único evento de duración instantánea, para que no haya superposición de ondas (de diferentes eventos) en los movimientos del terreno detectados por los geófonos.

Existen tres tipos:

- Fuentes de impacto. Se emplean habitualmente mazas (entre 5 y 10 Kg). Como la energía transmitida al suelo por este tipo de fuente no es muy grande, se apilan varias decenas de golpes para modelar mejor las llegadas y suprimir el ruido.
- Masas aceleradas. También se utilizan otros medios mecánicos, por ejemplo, dejando caer un gran peso de una altura de 2 – 3 metros.
- Cargas explosivas. De mayor energía, son usadas especialmente para prospección petrolera. La explosión puede ocurrir en un tiempo de micro a milisegundos, dependiendo de la naturaleza y cantidad del explosivo y, del material que rodea el lugar de la explosión.

Sensores

Son los que se encargan de la detección de las vibraciones del terreno. A través de geófonos de una componente (habitualmente vertical), el movimiento del terreno es analizado en diferentes puntos a lo largo del perfil de refracción sísmica. Por lo general se usan 12, 24 ó 48 geófonos. Cada geófono se conecta a una línea de adquisición que transmite la información al sistema de adquisición.

Sistema de adquisición y almacenamiento

Las partes que componen el equipo de adquisición y almacenamiento son:

- Sismógrafo. Es la unidad de apilamiento, registro y digitalización de los datos de campo.
- Líneas sísmicas. Transmiten la señal de cada geófono a la unidad de adquisición.
- *Trigger*. Dispositivo para medir el tiempo cero o de inicio del registro. Existen de varios tipos: piezoeléctricos, acelerómetros, etc.

A1.3.2. Curvas dromocronas tiempo-distancia

Las curvas tiempo distancia se construyen con los tiempos de llegada de las ondas P a cada uno de los sensores, y la distancia de cada sensor al punto de disparo.

Los tiempos de llegada pueden ser leídos en un ordenador, a través de un software especializado, una vez los datos hayan sido transferidos de la unidad de adquisición al ordenador.

Para tener información más detallada del subsuelo a analizar y cuantificar (si existiesen) capas con buzamiento, se realizan puntos de disparo conjugados, esto es, puntos de disparo directos, intermedios e inversos.

Los tiempos de recorrido observados de las ondas sísmicas se ajustan a los predichos por un modelo de velocidad determinado. Cuando el ajuste es lo suficientemente bueno, el modelo se da por válido y se concluye la fase de modelado.

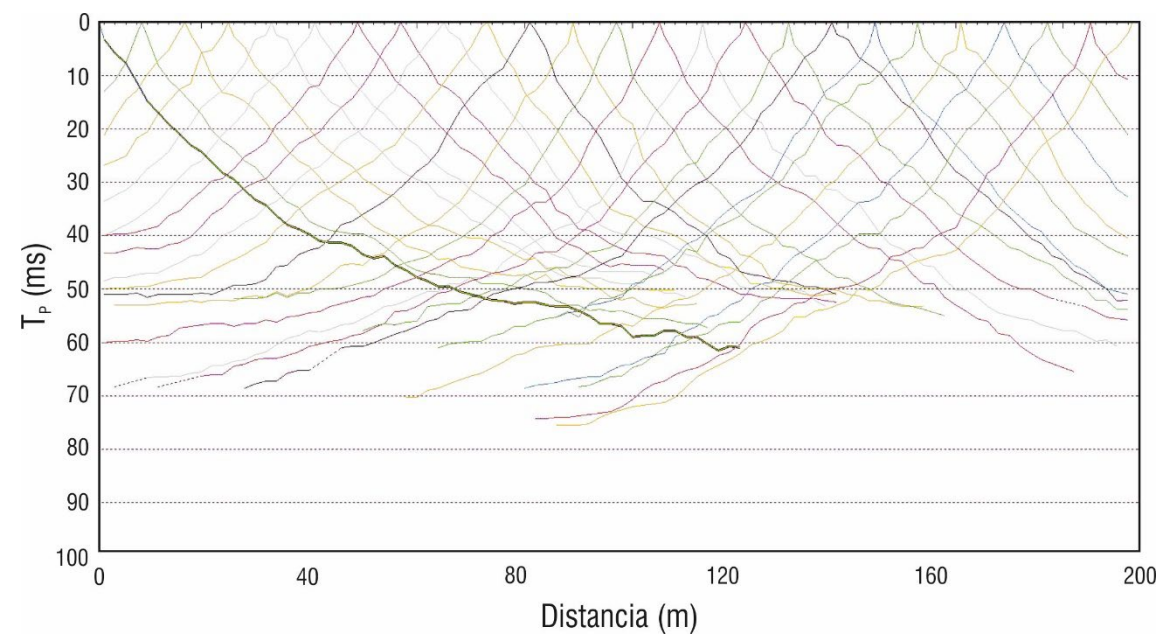


Figura A1-7: Curvas tiempo-distancia (dromocronas) en un ensayo de sismica de refracción.

A1.3.3. Hipótesis del método

La parte de la física que trata los rayos como líneas es llamada óptica geométrica, y está basada en las siguientes suposiciones:

- Los rayos viajan como líneas rectas por el vacío o por un medio homogéneo.
- No hay interacción entre rayos.
- Los rayos siguen las leyes de la reflexión y refracción.

Una de las limitaciones más importantes del método de refracción sísmica era que, al aumentar las velocidades sísmicas con la profundidad, el método no permitía identificar capas o estratos de suelo con velocidades inferiores a la superior (inversiones de velocidad). Sin embargo, los modernos métodos de trazado de rayos en distribuciones complejas de velocidad permiten hoy en día modelizar capas de baja velocidad, siempre que se empleen métodos tomográficos de reconstrucción.

Principios generales de interpretación en refracción

Una vez construidas las curvas dromocronas tiempo-distancia ($t-x$) se procede a su interpretación. La tarea principal es identificar las secciones de las curvas que pertenecen a un mismo refractor. El conjunto de puntos que pertenecen a un refractor conforma lo que se conoce como *dromocrona*. La identificación de las dromocronas es la parte más importante de la interpretación de los datos de refracción sísmica. Hay algunas características del subsuelo que se pueden prestar para malas interpretaciones, a saber:

- Un cambio de pendiente de la curva $T-x$ no significa necesariamente un cambio de refractor, sino que puede significar un cambio de pendiente del primer refractor.
- Cuando existe un estrato o una capa delgada de suelo cuya velocidad es menor que la de la capa superior, no hay refracción crítica, de tal manera que no habría indicios de su presencia en las primeras llegadas en cada punto de la línea de sismica. (Sheriff & Geldart, 1991).
- Cuando existe una capa demasiado delgada, puede darse el caso de que no se produzcan llegadas sísmicas a pesar de tener velocidades mayores que las capas superiores (Sheriff & Geldart, 1991).

Hay cinco principios o leyes generales que conforman la base para la interpretación de un conjunto de datos de refracción sísmica. Dichos principios son:

- Ley de Snell.
- Ley de las velocidades aparentes.
- Principio de reciprocidad.
- Principio del tiempo de interceptación en el origen.
- Principio de paralelismo.

Ley de Snell

Descrita anteriormente, describe el comportamiento que sufre una onda sísmica cuando incide en una discontinuidad.

Ley de las velocidades aparentes

La ley de las velocidades aparentes dice que la velocidad con que aparenta transmitirse una onda en un cierto punto de la superficie es igual al cociente entre la velocidad superficial y el seno del ángulo de emergencia (el formado por la onda emergente con la superficie), tomados ambos en dicho punto.

Principio de reciprocidad

Este principio establece que el tiempo de propagación de una onda sísmica desde un punto A a otro B, es el mismo que desde B hacia A. Esto es una consecuencia directa del Principio de Fermat, o del recorrido de tiempo mínimo.

Principio de paralelismo

Este principio permite deducir las dromocronas relacionadas con puntos de disparo intermedios entre dos puntos de disparo en los extremos del perfil; o deducir una dromocrona con un punto de disparo exterior (alejado) de dos puntos de disparo complementarios (normal

y reverso). Este principio funciona idealmente para refractores horizontales o inclinados planos.

A1.3.4. Adquisición y representación de datos de campo

En un estudio de sísmica de refracción se registran, en varios puntos de un perfil, las vibraciones producidas en diferentes sensores (geófonos) al golpear la superficie del terreno. Las señales de cada uno de los sensores se representan en lo que se conoce como un ensamble o sección sísmicos.

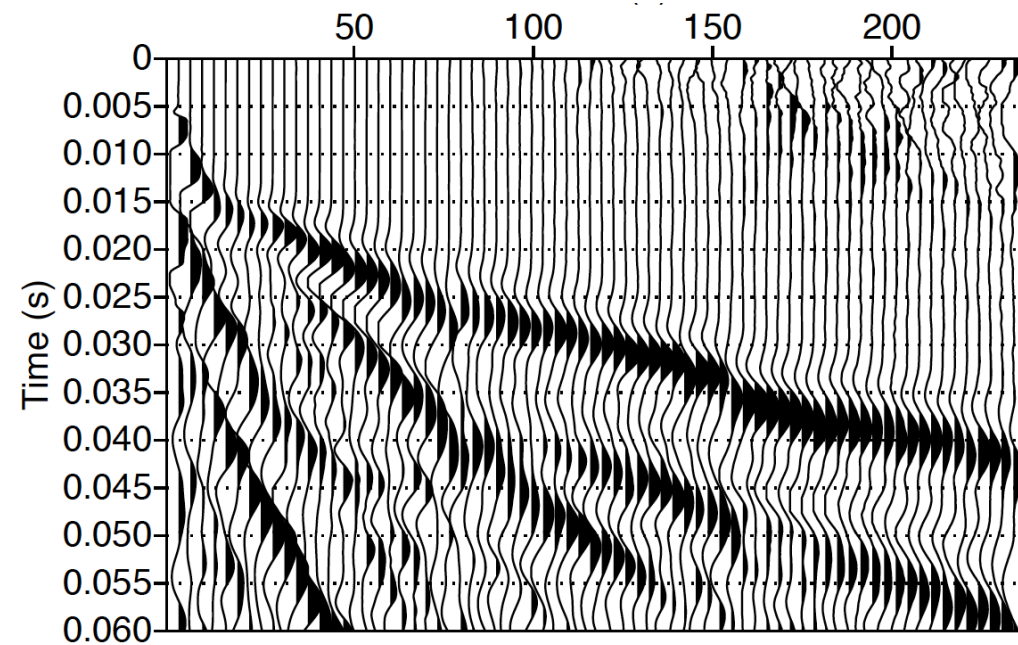


Figura A1-8: Ejemplo de ensamble sísmico. Cada curva representa la vibración registrada en cada geófono.

Es habitual que durante la adquisición de los datos de campo existan otras fuentes de vibración que perturban y a veces enmascaran las señales sísmicas generadas en los puntos de disparo. Es por ello por lo que se recurre al apilamiento de la señal repitiendo los golpes en un mismo punto de disparo y sumando las señales generadas en cada golpeo. De esta manera se aumenta la relación señal-ruido y se facilita la identificación de las primeas llegadas (ondas P).

A1.3.5. Procesado de los datos de campo

Los registros de campo deben ser procesados para poder realizar una interpretación correcta. Por ello, el procesado se dirige a producir una sección sísmica en la que se puedan identificar fácilmente las ondas P.

Los principales objetivos del procesado son:

- aumentar la relación señal / ruido (apilamiento, filtrado de banda, promediado, ...) en los datos en bruto.
- definición geométrica del ensayo (puntos de registro y golpeo, correcciones topográficas, etc.)
- correcta identificación de las distintas fases sísmicas generadas (ondas P, ondas Raleigh, reflexiones, etc.)

A continuación, se describen las etapas de procesado más comunes, aunque como se ha dicho anteriormente, la elección del procesado depende de cada caso en concreto.

- Edición de geometría.** Es un paso muy importante ya que cualquier error que se cometa en esta fase afectará al resultado final. Se introduce la geometría (coordenadas espaciales) para cada una de las trazas registradas y para cada uno de los puntos de disparo. Para ello se empleará la información recopilada en campo (notas de campo) o la planimetría disponible.
- Filtros pasobanda estándar.** Los datos en bruto pueden presentar componentes espectrales que reducen la calidad de la señal. Estas componentes se eliminan fácilmente mediante un filtro pasobanda (habitualmente un filtro de Butterworth) que se emplea para restringir el espectro de frecuencia del sismograma al rango de interés.
- Ganancia.** La amplitud de las señales sísmicas decae fuertemente por varias causas: divergencia geométrica del frente de ondas, atenuación y dispersión. Estos procesos hacen que la señal se reduzca enormemente en muy poco tiempo. La ganancia busca compensar la pérdida de energía para producir una sección sísmica en la que se puedan interpretar las llegadas de ondas P más tenues.
- Identificación de las ondas P (picado).** Esta fase es fundamental, ya que de ella depende la calidad de los modelos resultantes. Una identificación incorrecta de las ondas P producirá errores en el modelo de velocidad final.
- Modelizado.** Se realiza un ajuste de las curvas dromocronas empleando modelos de velocidad constante (métodos plus-minus o GRM) que comparan los tiempos de llegada observados con los modelizados.
- Edición gráfica.** El modelo final se representa en conjunto con la información relevante que se encuentre a disposición del interpretador, (sondeos, elementos relevantes en la superficie, otros ensayos, etc).

A1.3.6. Tomografía sísmica de refracción

El avance de los métodos de computación de las últimas décadas ha favorecido el desarrollo de técnicas de procesado y modelización que hasta este momento quedaban fuera del alcance de técnicos especialistas por su volumen y complejidad.

Uno de los campos donde se han realizado avances importantes es el de la reconstrucción de objetos mediante técnicas tomográficas. La tomografía es el proceso de estudiar un cuerpo por secciones (la palabra tomografía proviene del griego *tomé*, que significa corte o segmento).

Este método es usado hoy en día en numerosas disciplinas: medicina, biología, geofísica, oceanografía, ciencia de los materiales. En la mayoría de los casos se basa en un procedimiento matemático llamado reconstrucción tomográfica que consiste en determinar la estructura del objeto estudiado a partir de la resolución de una serie de ecuaciones mediante un proceso iterativo de tipo inverso.

A1.3.7. Problema directo e inverso

Según Menke (1989) el problema inverso es simplemente el conjunto de métodos usados para extraer información útil de nuestro entorno a partir de medidas físicas o datos. La información útil vendrá especificada como valores numéricos de alguna propiedad de este entorno.



Figura A1-9: Diagrama comparativo entre el problema directo y el problema inverso.

El problema inverso contrasta con el problema directo, donde se predicen los datos a partir de los parámetros y de un modelo. Normalmente el problema inverso es más difícil de resolver que su correspondiente problema directo.

En el caso de los ensayos de tomografía sísmica el problema inverso se puede resumir con el siguiente diagrama:

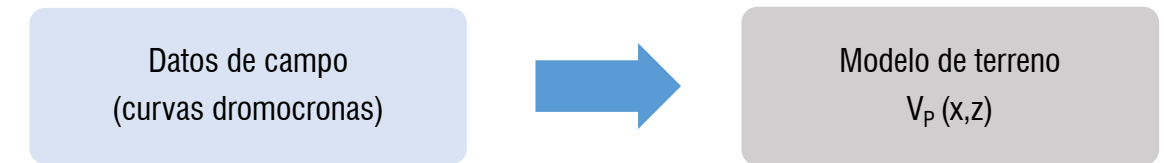


Figura A1-10: Diagrama del problema inverso para el caso concreto de los ensayos de Tomografía Sísmica.

Por lo tanto, la primera diferencia entre la sísmica de refracción tradicional (método directo) y la tomografía sísmica de refracción (método inverso) consiste en que los modelos obtenidos mediante esta última técnica presentan la mejor solución (desde el punto de vista matemático) a los datos de partida (tiempos de llegada de las ondas P). Para que los modelos obtenidos sean geológicamente realistas, a las ecuaciones de relación entre datos y modelo se les añaden ciertas condiciones que permiten estabilizar el proceso y darle un carácter más realista.

Para resolver un problema inverso es necesario, primero de todo, *linearizar* las ecuaciones que relacionan los datos (tiempos de llegada de ondas P) con el modelo (velocidades sísmicas en el terreno).

El problema inverso no lineal se define:

$$d_{obs,i} = g_i(m)$$

donde:

$d_{obs,i}$ es el elemento i-ésimo del dato observado y $g_i(m)$ es el operador que relaciona datos y modelo.

A continuación, se elige un modelo de referencia inicial m_0 y se realiza una expansión en serie de Taylor del operador g :

$$m = m_0 + \delta m$$

de tal manera que se cumple que:

$$g_i(m_0 + \delta m) = g_i(m_0) + \nabla g_i \delta m + \dots$$

donde:

$$\nabla g = \left[\frac{\partial g}{\partial m_1}, \frac{\partial g}{\partial m_2}, \dots \right]^T$$

Por lo tanto, el problema inverso una vez linearizado queda como:

$$\delta d = d_{obs} - g(m_0)$$

$$\delta d = G\delta m$$

$$G_{ij} = \frac{\partial g_i}{\partial m_j}$$

En el caso de la tomografía sísmica de refracción la expresión que relaciona los datos de campo (tiempos de llegada de las ondas P) con el modelo (velocidad de propagación del terreno) es:

$$t = \int_R \frac{1}{v(\mathbf{x})} dl = \int_R s(\mathbf{x}) dl$$

donde:

R es el rayo (trayectoria de la onda P desde la fuente hasta la estación de registro)

v(**x**) es el modelo de velocidad

s(**x**) es la lentitud (inversa de la velocidad)

La solución por mínimos cuadrados del problema inverso linealizado (y amortiguado) es (Menke, 1989):

$$m^{est} = (G^T W_e G + \varepsilon^2 W_m)^{-1} (G^T W_e d + \varepsilon^2 W_m \langle m \rangle)$$

donde:

W_e es la matriz de ponderación de errores de observación

W_m es la matriz de ponderación de los parámetros del modelo

ε es un parámetro de amortiguación que estabiliza la solución.

Es necesario introducir elementos que ayudan a estabilizar la solución ya que el problema de la tomografía sísmica se encuentra “mal condicionado”. Esto es porque existen muchas menos observaciones (algunas de ellas redundantes) que incógnitas en el modelo y el sistema de ecuaciones que se genera es singular.

Una vez linealizadas las ecuaciones y obtenida la expresión de la solución por mínimos cuadrados introduciendo criterios de amortiguación y estabilización de la solución se define un procedimiento iterativo en el que paso a paso se modifica el modelo hasta alcanzar una convergencia entre los tiempos de llegada de las ondas P observadas y el tiempo de las ondas P “teóricas” (las producidas por el modelo).

La medida de la calidad del ajuste se realiza en muchos casos mediante el cálculo del Root Mean Square (RMS) de la diferencia entre los tiempos observados y calculados.

Un error muy común en este tipo de estudios es asumir que un número elevado de iteraciones produce modelos de mayor calidad y que es necesario alcanzar en ajuste perfecto entre los

tiempos de llegada observados y modelizados. El problema es que el método intenta ajustar unos datos de campo (que incluyen un determinado grado de incertidumbre) a un modelo de velocidad. Si se fuerza el proceso hasta alcanzar un error muy bajo se incurre en el riesgo de que esos errores de observación se conviertan en falsas anomalías (denominados artefactos) dentro del modelo que induzcan a una interpretación errónea. Es importante determinar el grado de error de los tiempos de llegada de las ondas P y usar este valor en cada caso como criterio para detener la inversión. Además, como se ha explicado anteriormente, la solución que se busca en una aproximación de primer orden (linearización) del modelo real.

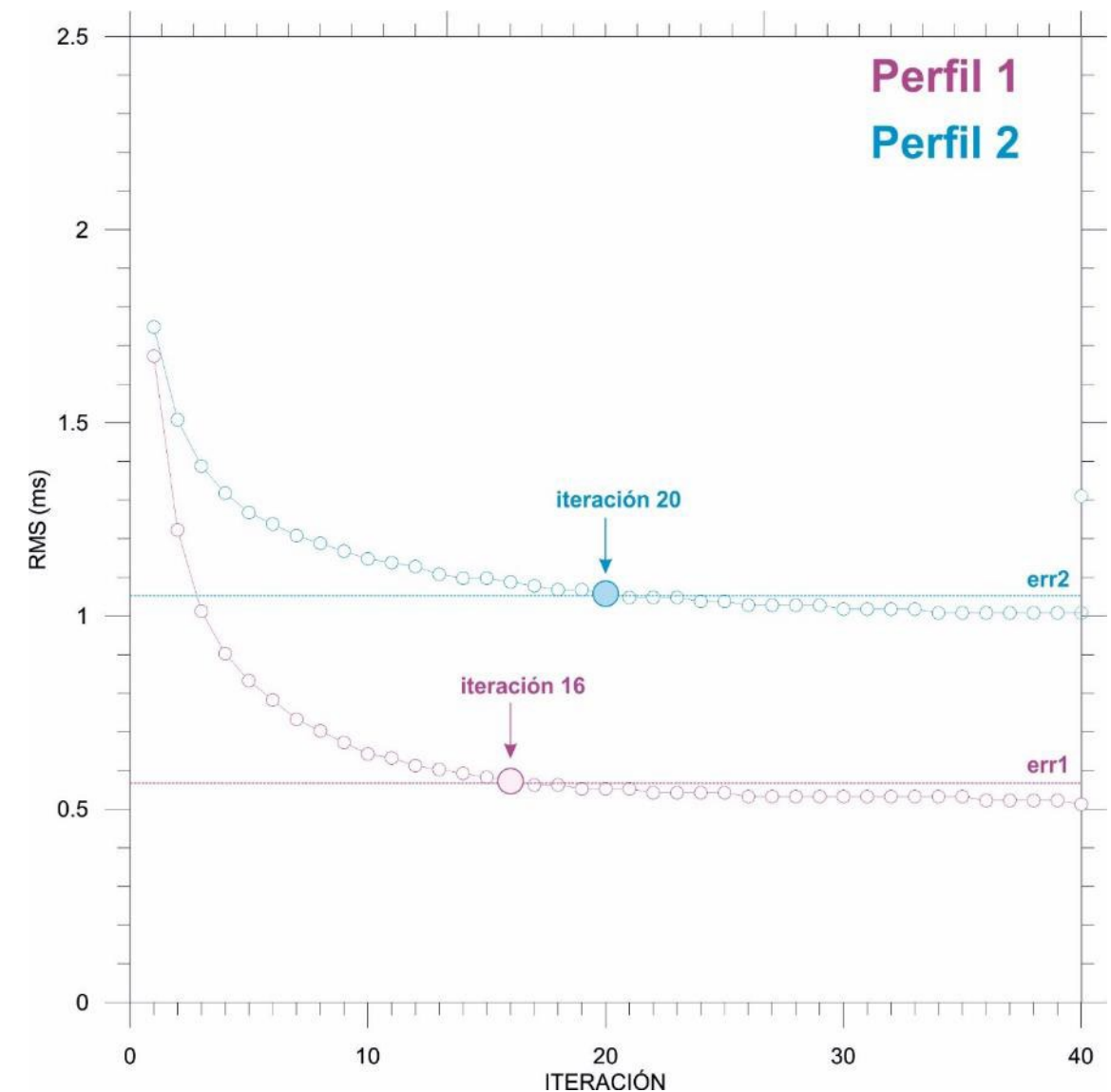


Figura A1-11: Ejemplo de proceso de convergencia iterativa para la obtención de dos modelos de velocidad sísmica. El error RMS se reduce progresivamente hasta alcanzar un valor definido (err1 y err2) por la calidad de los datos de campo. Cuando el error de ajuste del proceso iterativo alcanza un determinado valor, el proceso se detiene para evitar incluir artefactos en la solución final.

Por lo tanto, no se debe intentar explicar el 100% de los tiempos observados con un modelo que representa solo una aproximación de primer orden. Es imprescindible definir un límite

inferior al grado de ajuste del modelo. Este límite lo definen las incertidumbres de los tiempos de llegada observados.

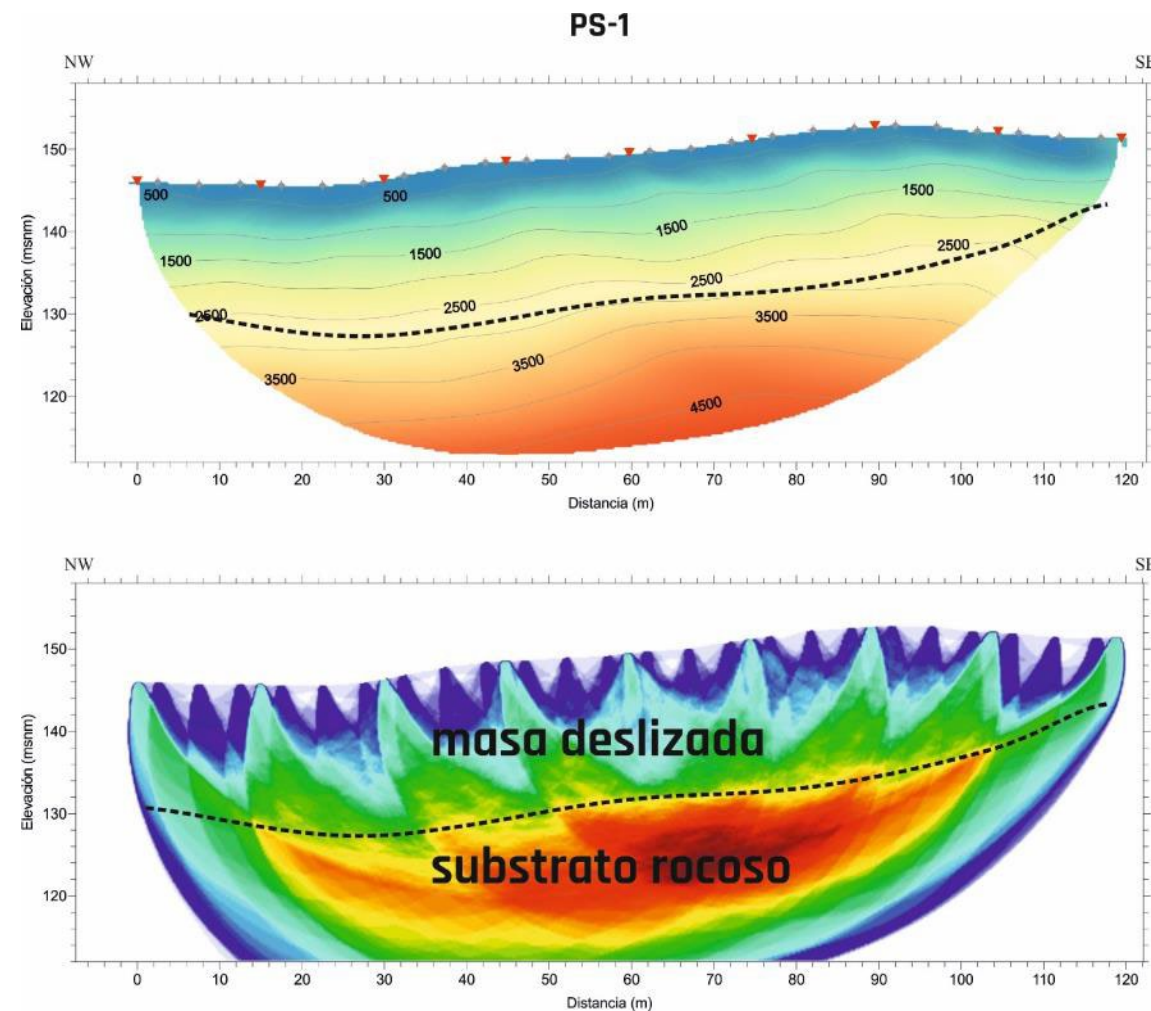


Figura A1-12: Resultado final de una modelización tomográfica. Arriba: modelo de velocidades sísmicas obtenido. Abajo: distribución de ondas P en las que se identifica una superficie de refracción asociada en este caso a la base de un deslizamiento.

Otro punto muy importante en problemas inversos es que la solución alcanzada no es única. Esto quiere decir que existen varios modelos que pueden explicar con la misma calidad los datos de campo.

También es posible que el proceso iterativo que debe encontrar la solución converja hacia un mínimo local (RMS) y no al mínimo absoluto.

Un resultado adicional de los modelos de tomografía sísmica es que se puede analizar las trayectorias de las ondas P, en forma de los denominados gráficos de cobertura, que permiten la identificación de superficies de refracción. Estas superficies de refracción suelen estar asociadas a la presencia de contactos litológicos importantes.

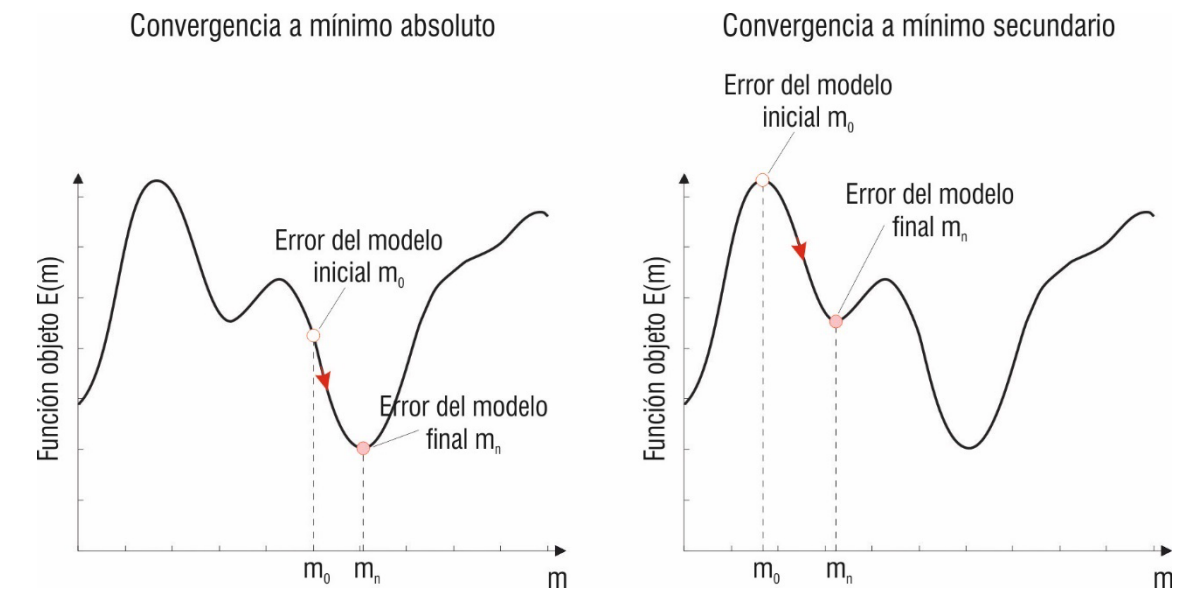
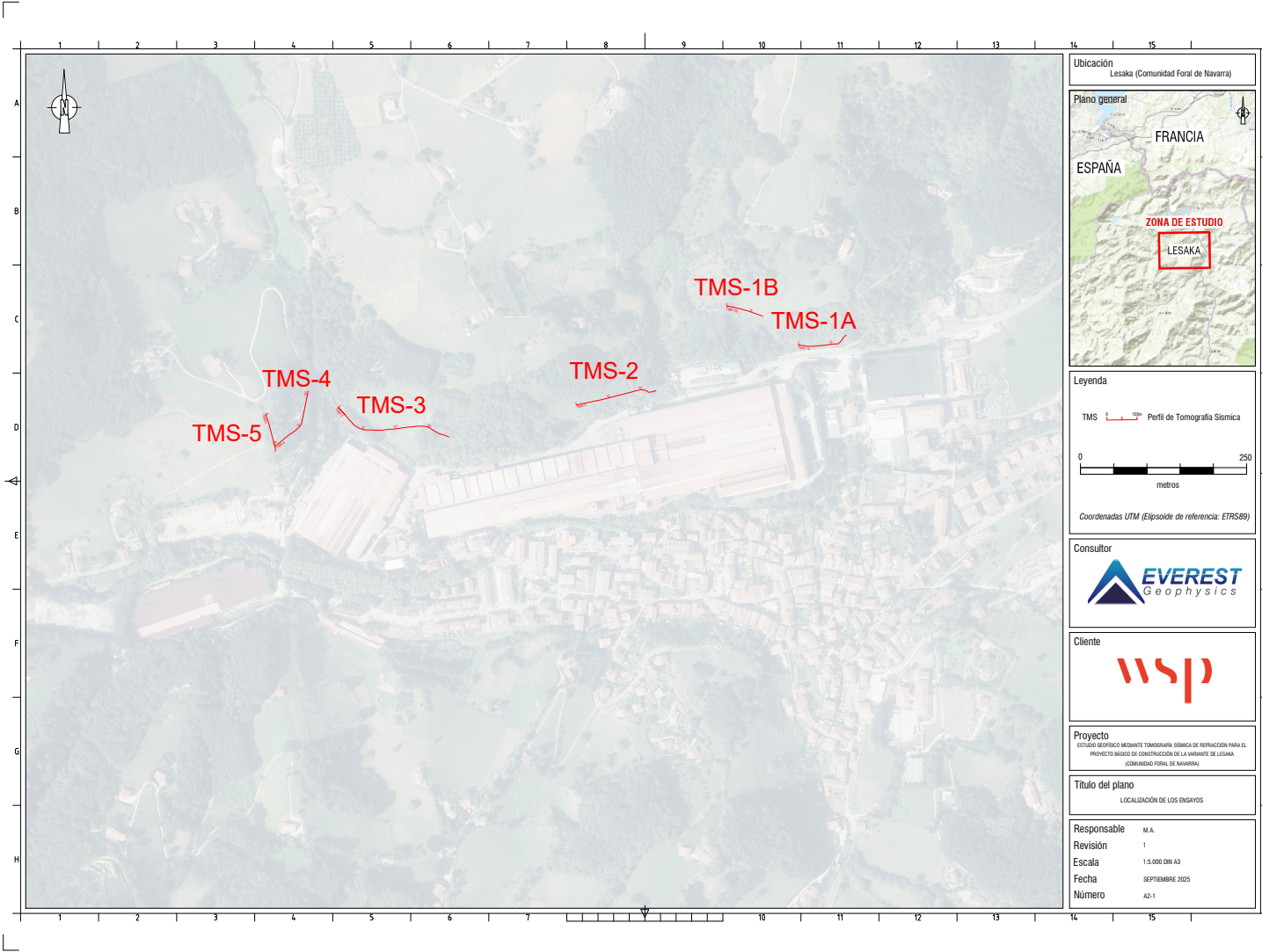
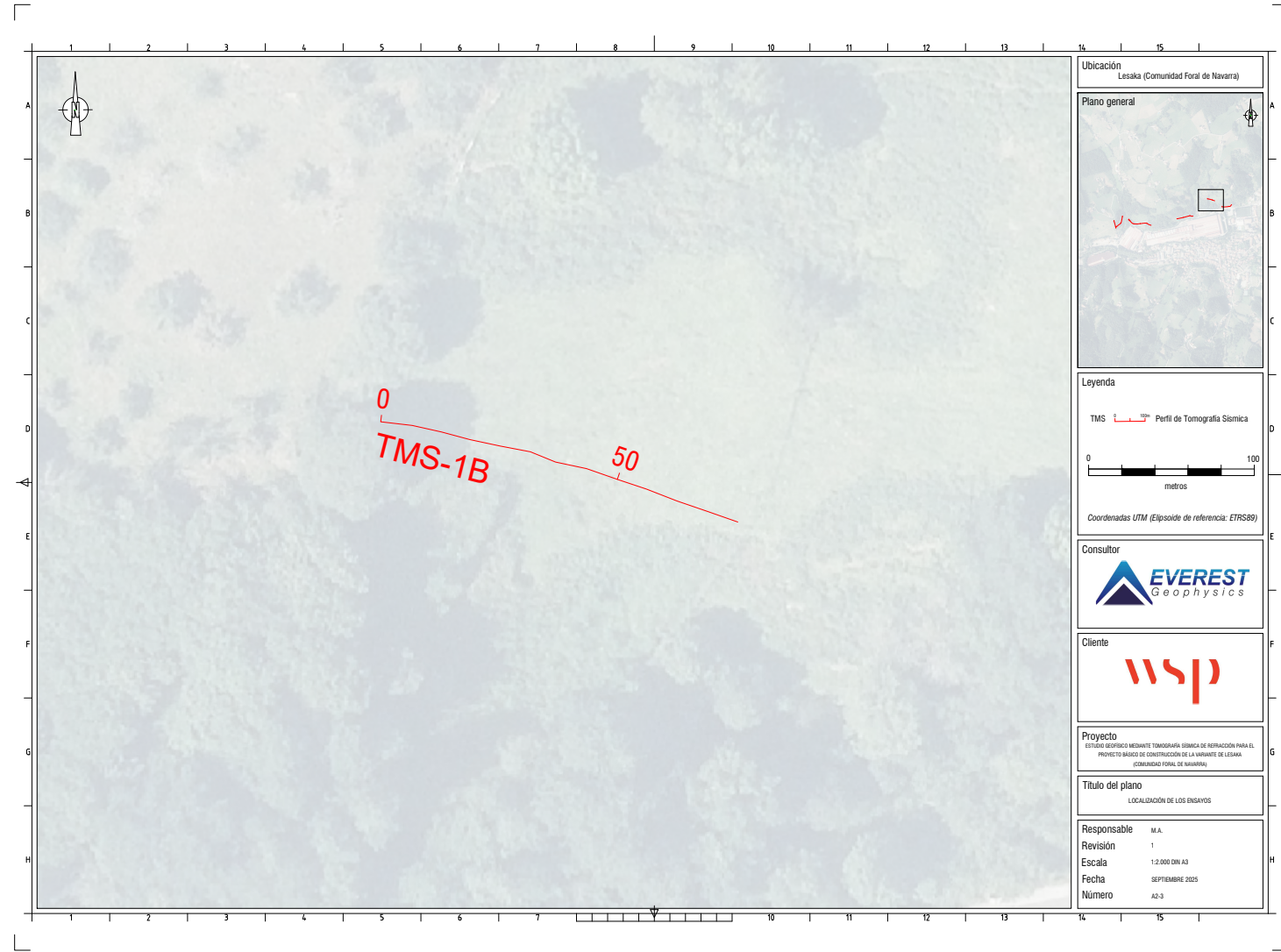
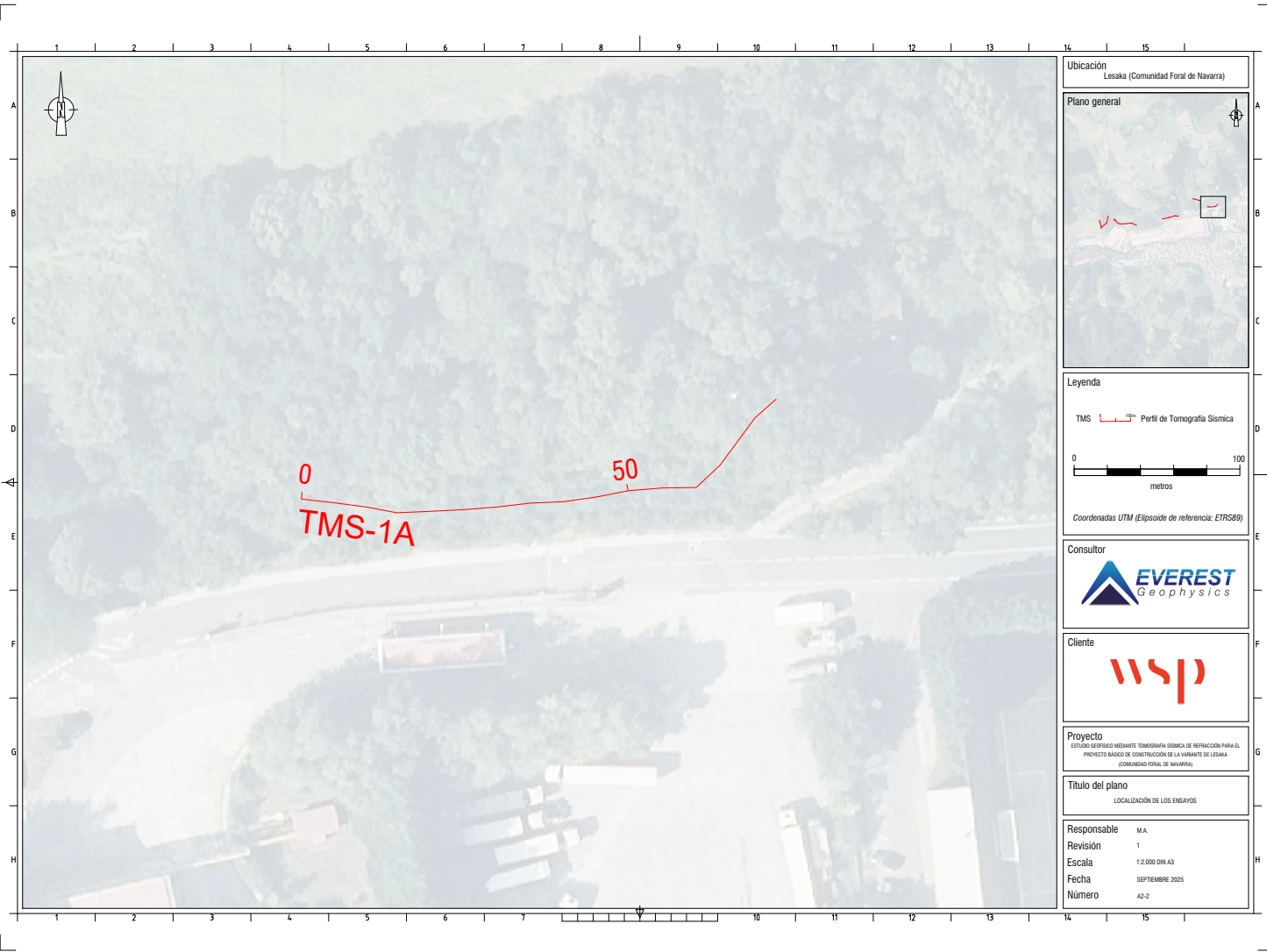
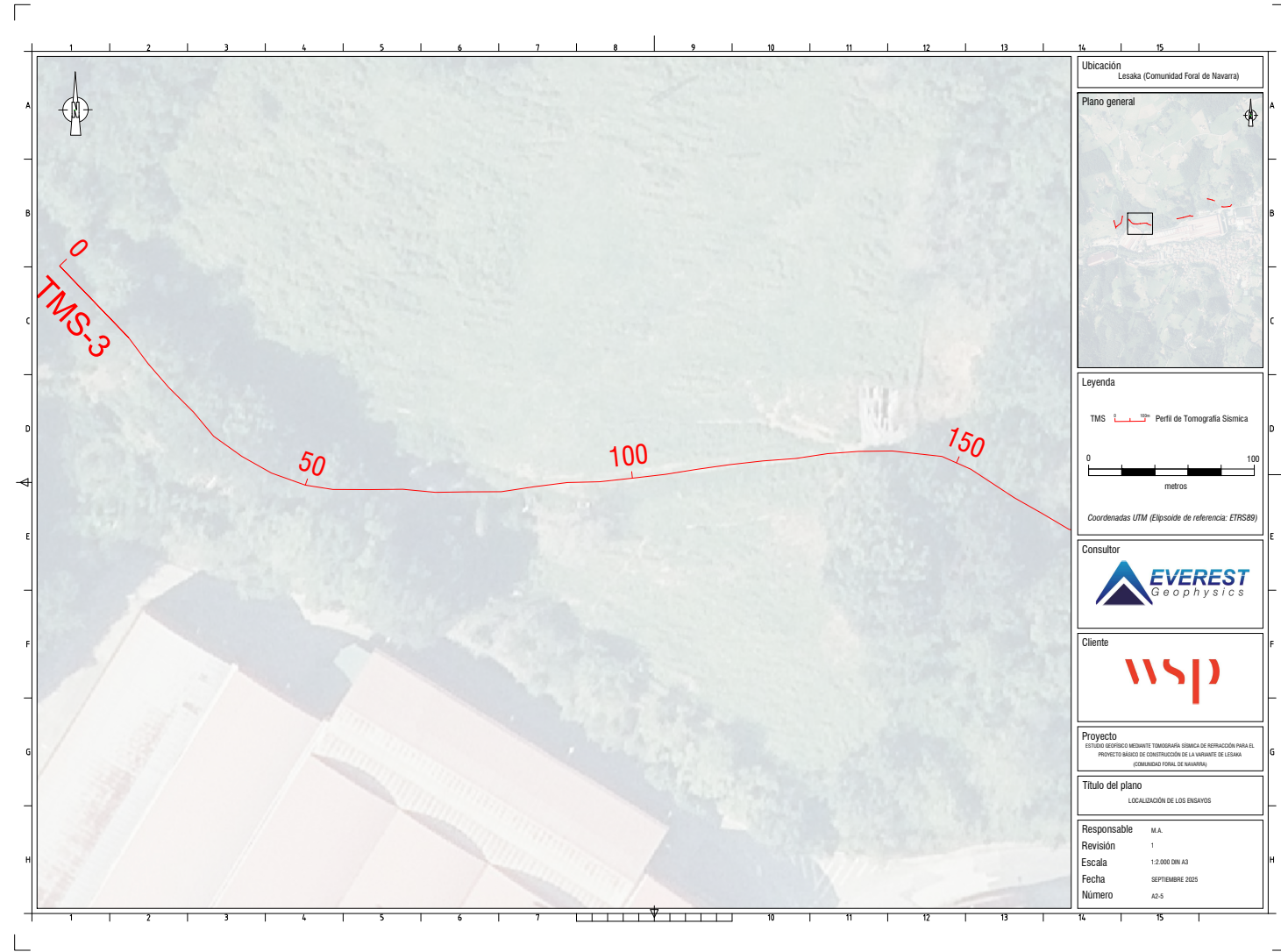
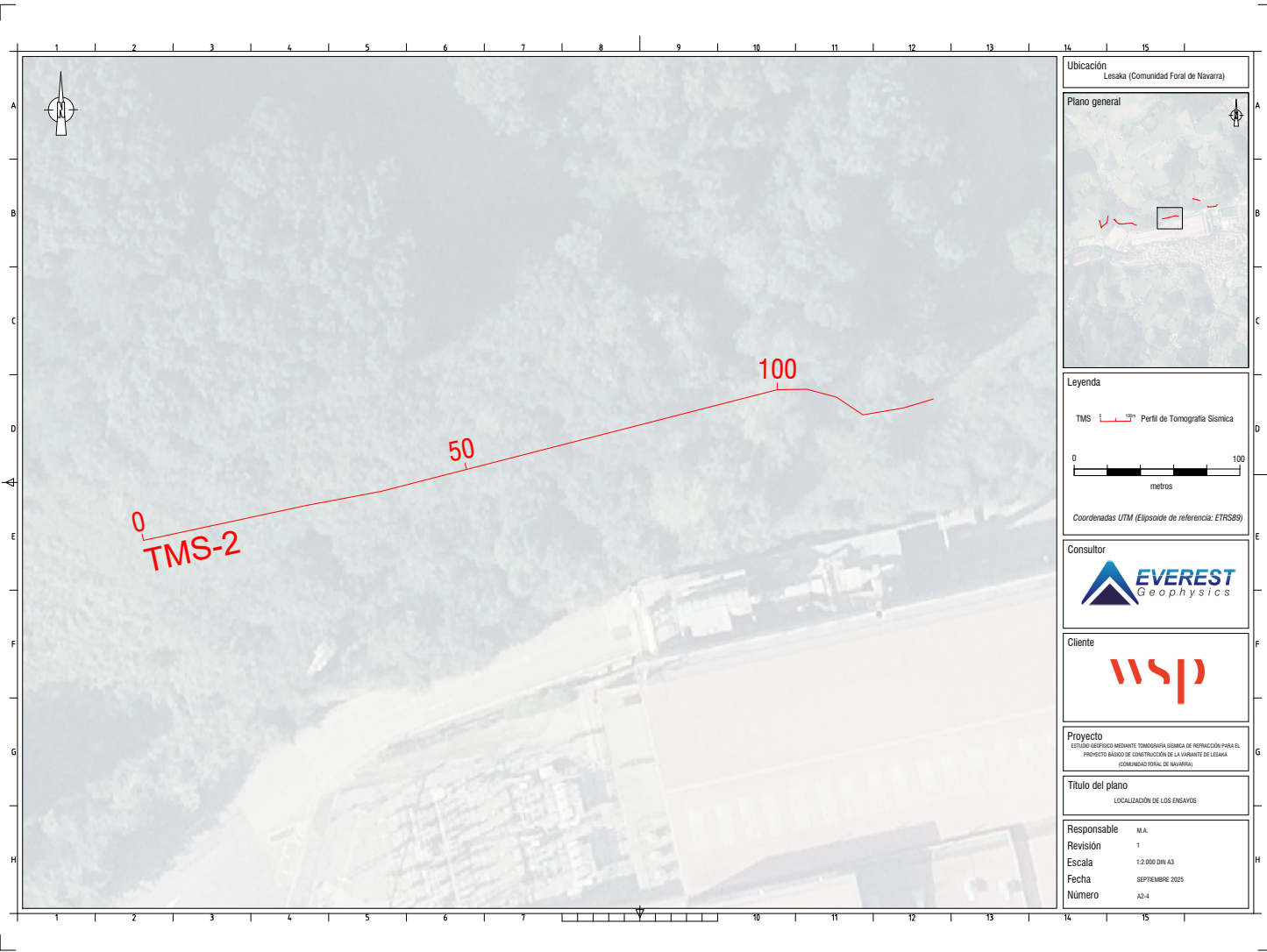


Figura A1-13: Ejemplo de soluciones obtenidas en un problema inverso dependiendo del modelo inicial empleado en un espacio que contiene varios mínimos de la función objeto E . A la izquierda, convergencia al mínimo absoluto. A la derecha, convergencia a un mínimo secundario. (Adaptado de Menke, 1989).

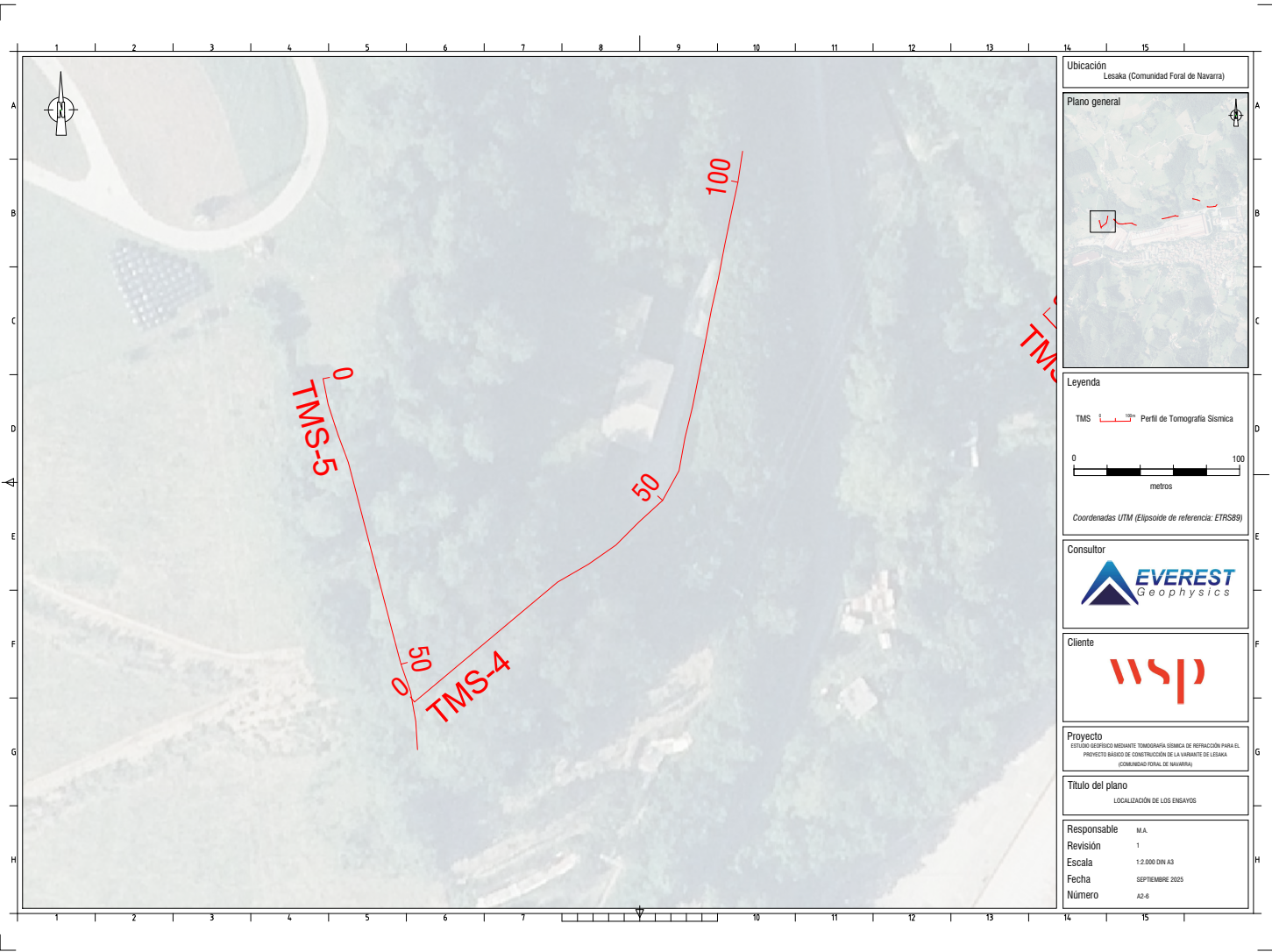
ANEJO 2.
LOCALIZACIÓN DE ENSAYOS



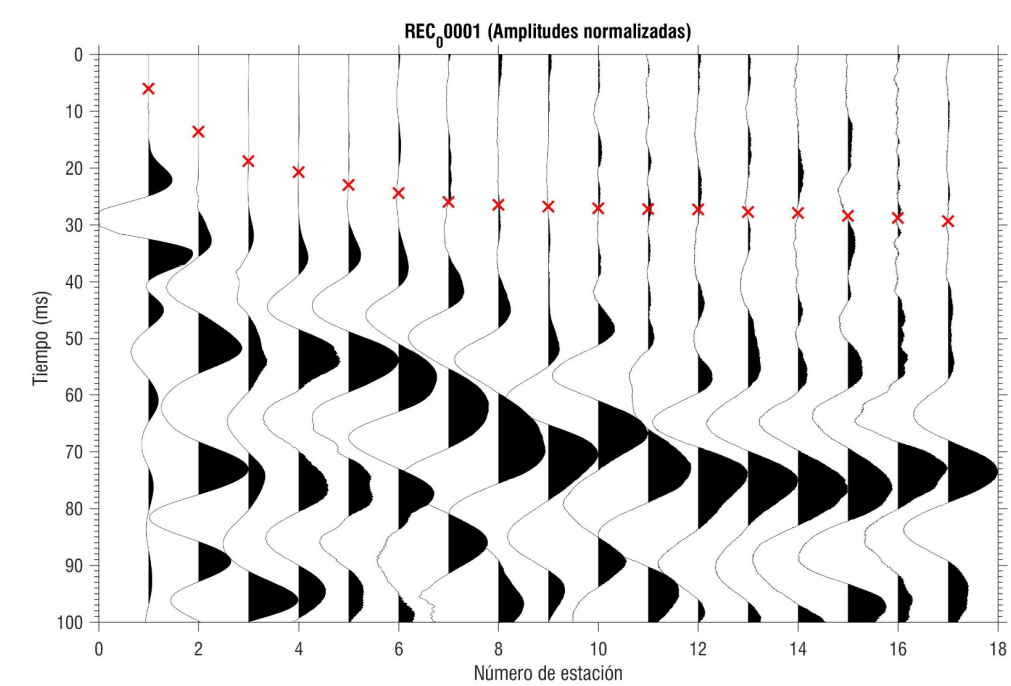




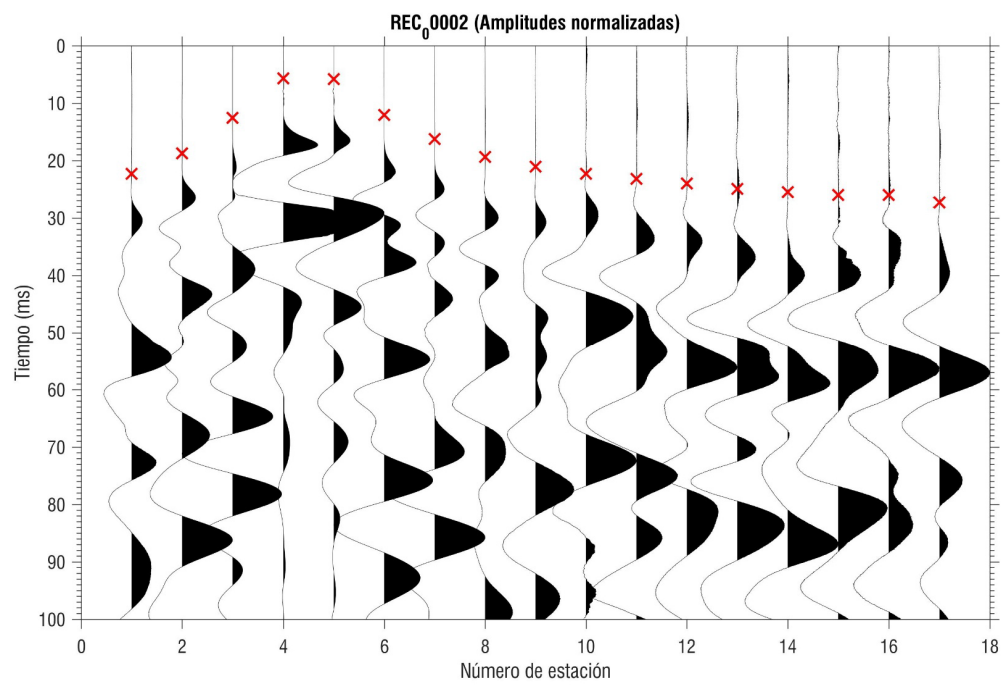
ANEJO 3.
SISMOGRAMAS



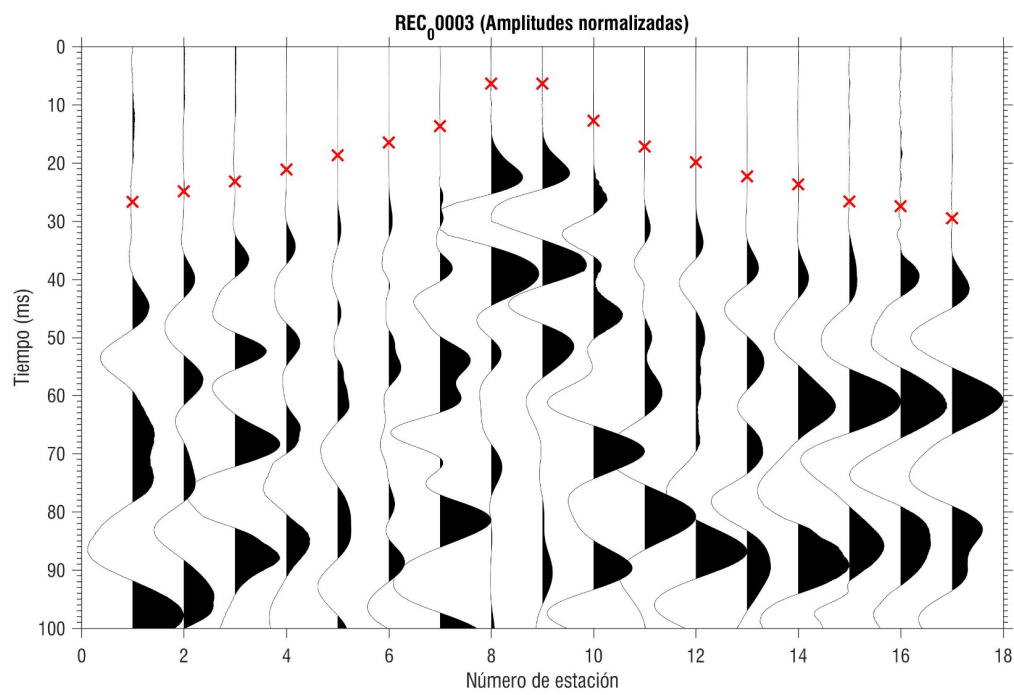
ANEJO 3. SISMOGRAMAS



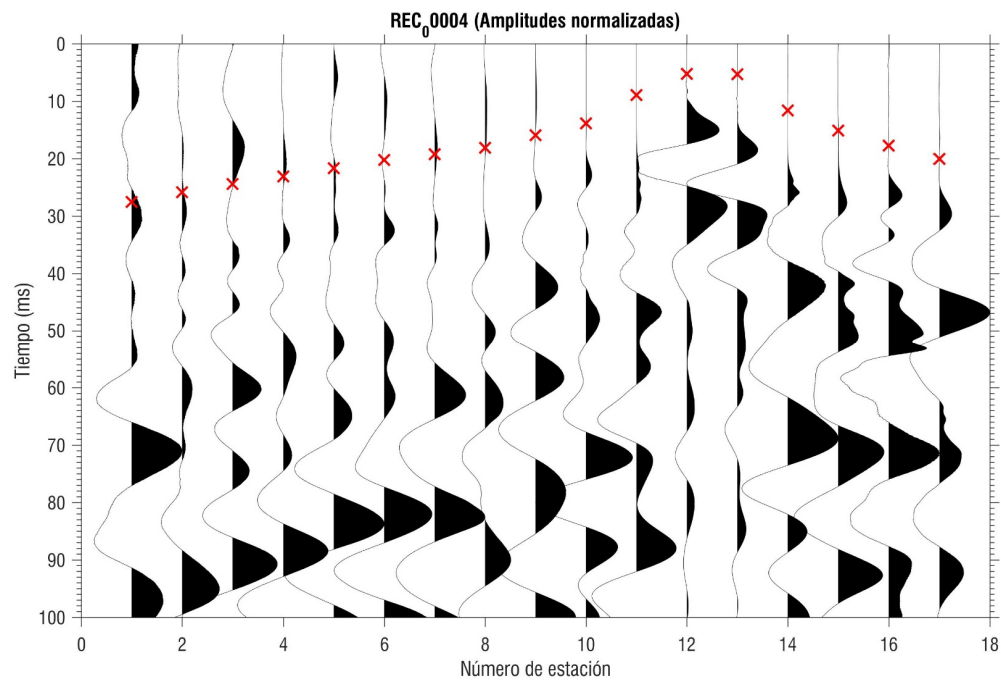
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO: SISMOGRAMAS			REVISIÓN	1
			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 1



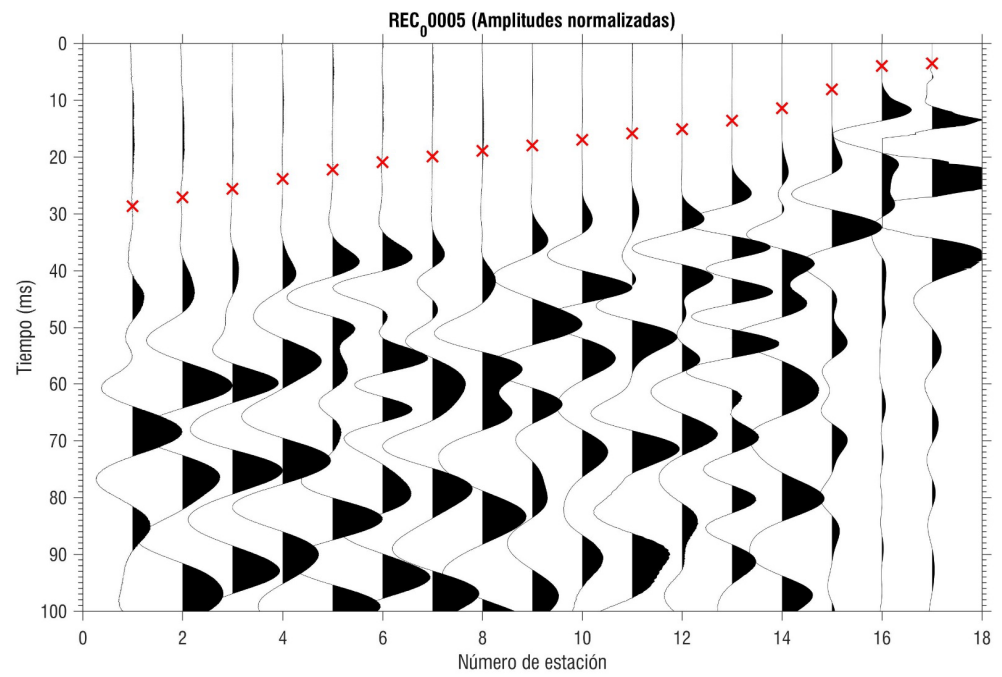
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO:			REVISIÓN	1
SISMOGRAMAS			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 2



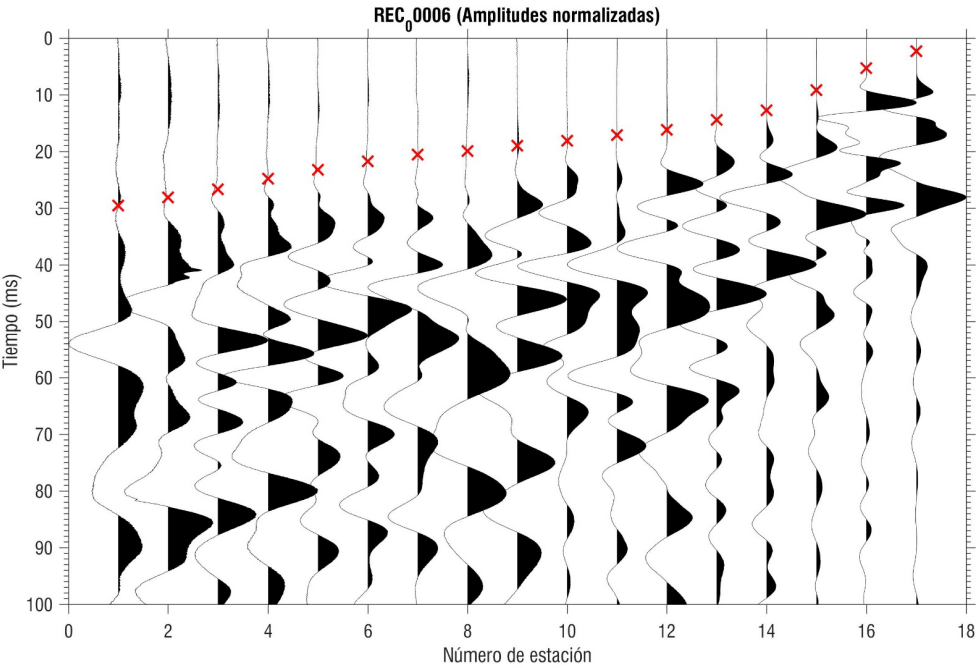
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO:			REVISIÓN	1
SISMOGRAMAS			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 3



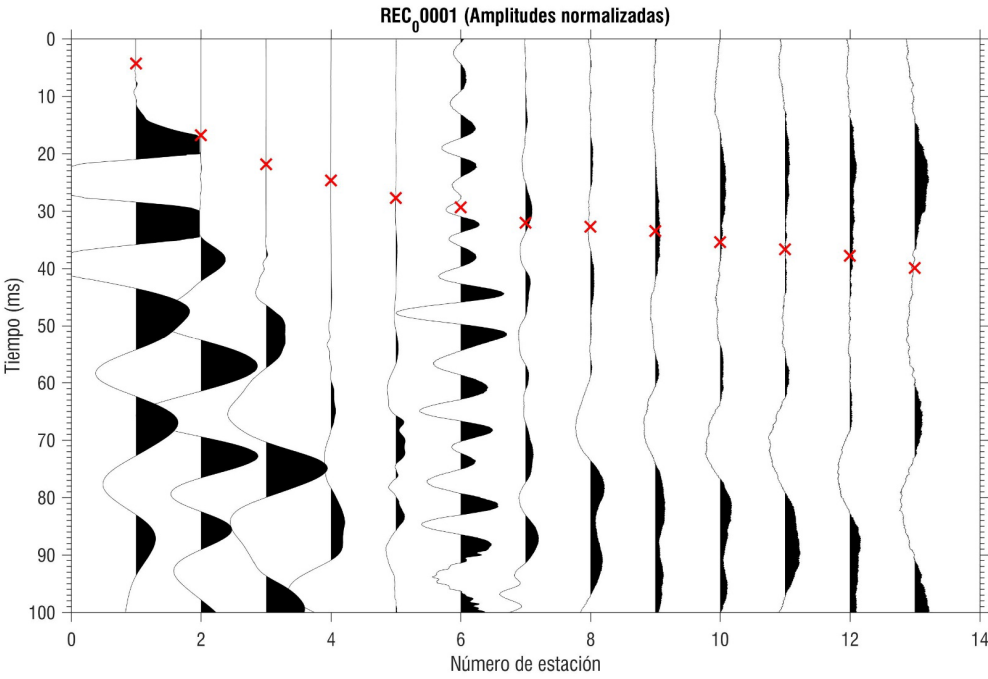
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO:			REVISIÓN	1
SISMOGRAMAS			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 4



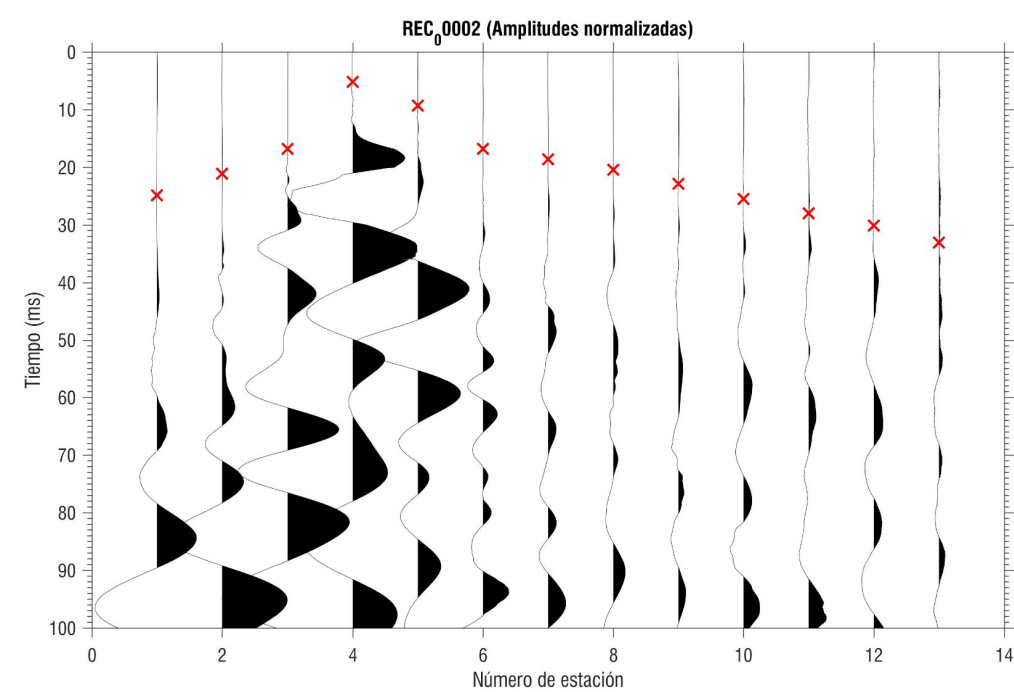
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO:			REVISIÓN	1
SISMOGRAMAS			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 5



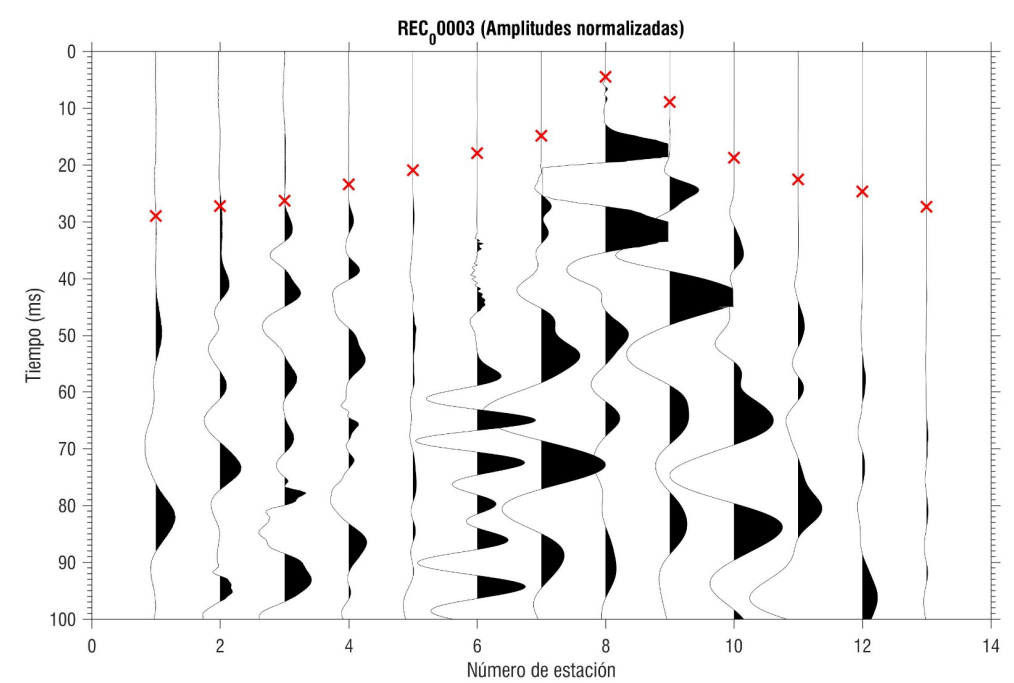
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR S.E.M
TITULO DEL PLANO: SISMOGRAMAS			REVISIÓN 1
			FECHA 09/2025
			PLANO A3 - 6



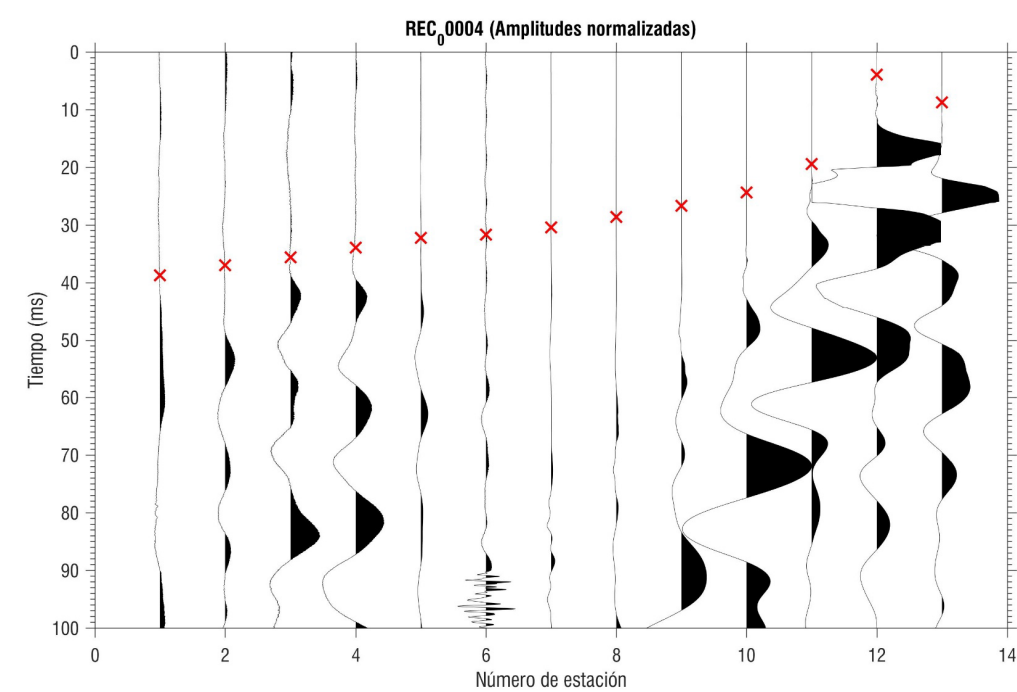
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR S.E.M
TITULO DEL PLANO: SISMOGRAMAS			REVISIÓN 1
			FECHA 09/2025
			PLANO A3 - 7



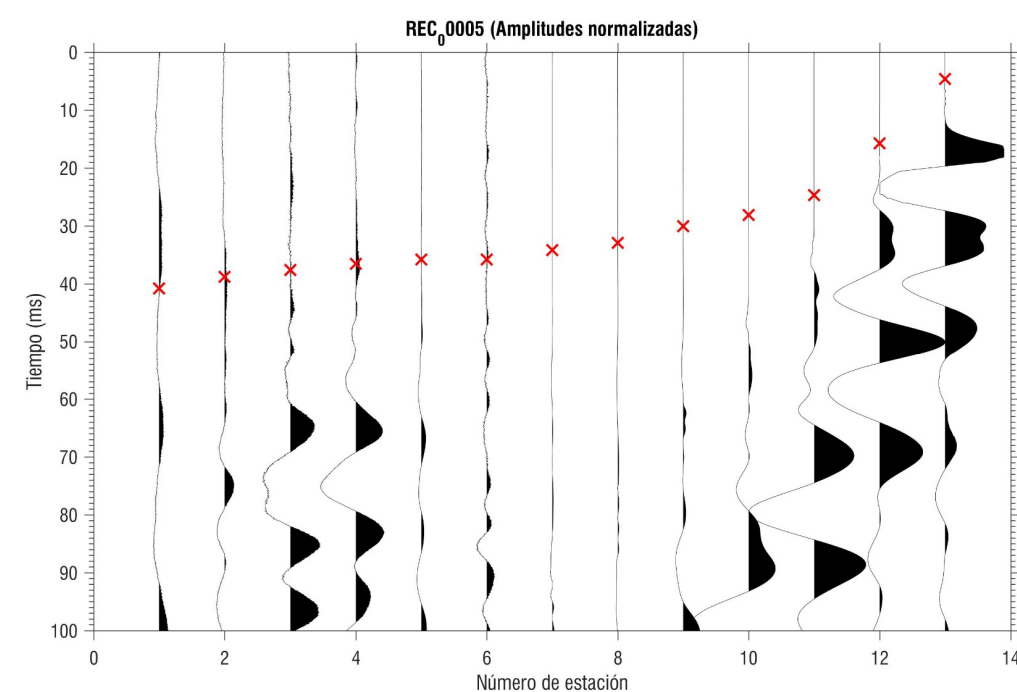
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TÍTULO DEL PLANO: SISMOGRAMAS			REVISIÓN	1
			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 8



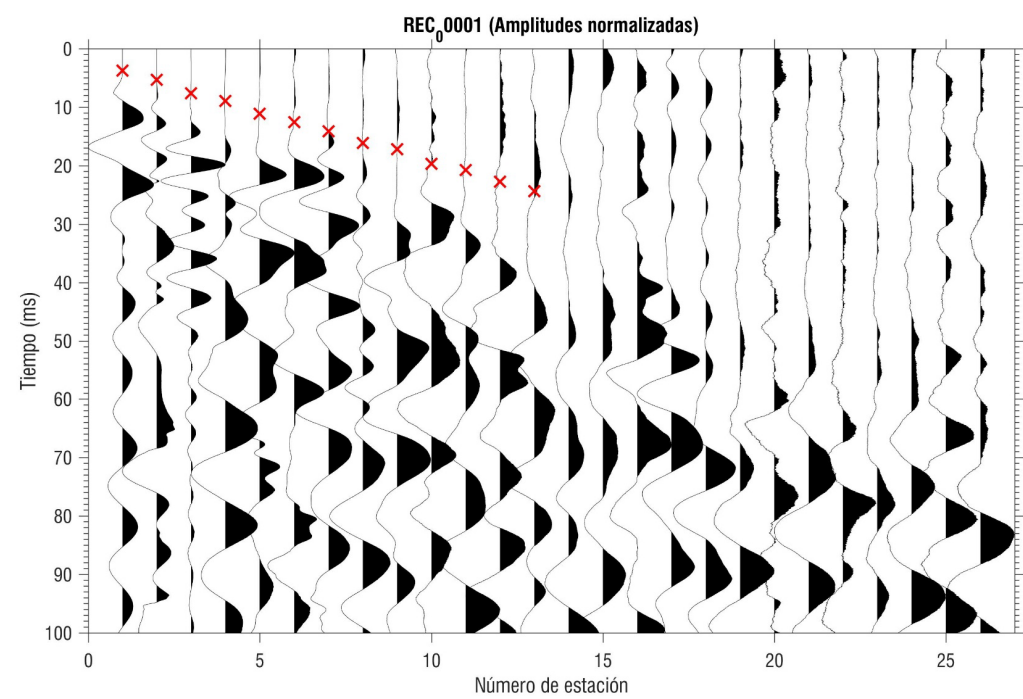
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TÍTULO DEL PLANO: SISMOGRAMAS			REVISIÓN	1
			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 9



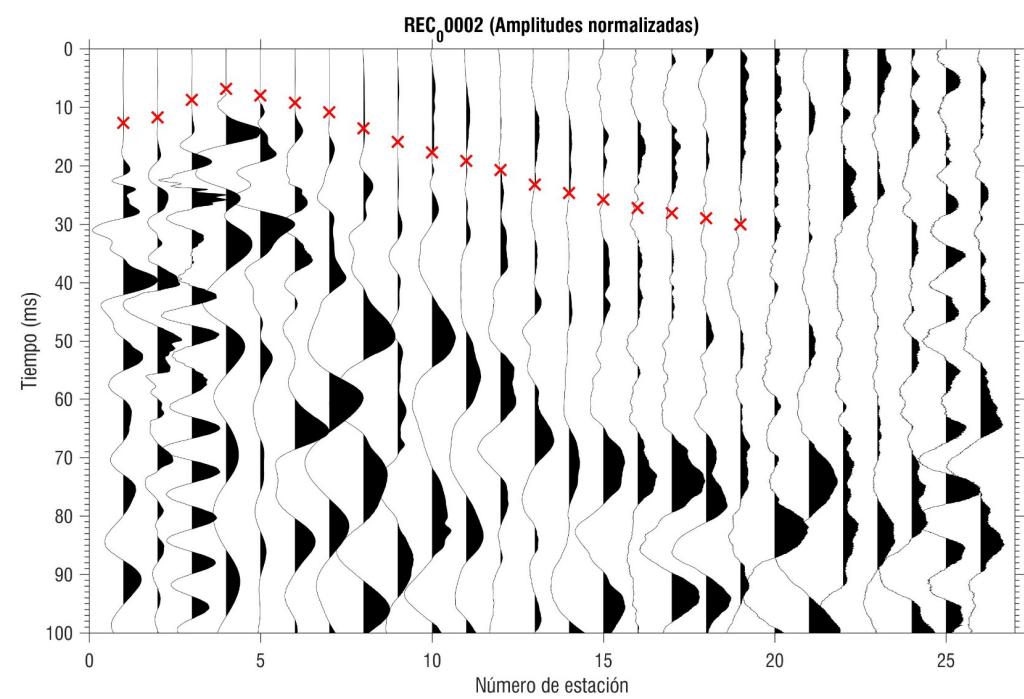
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO:			REVISIÓN	1
SISMOGRAMAS			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 10



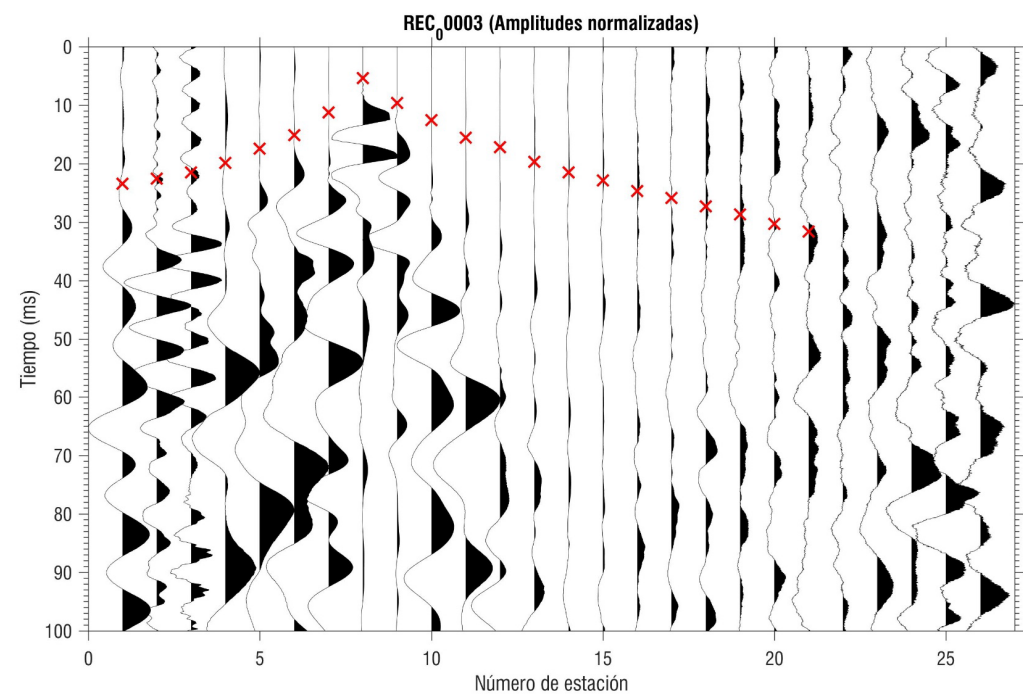
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO:			REVISIÓN	1
SISMOGRAMAS			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 11



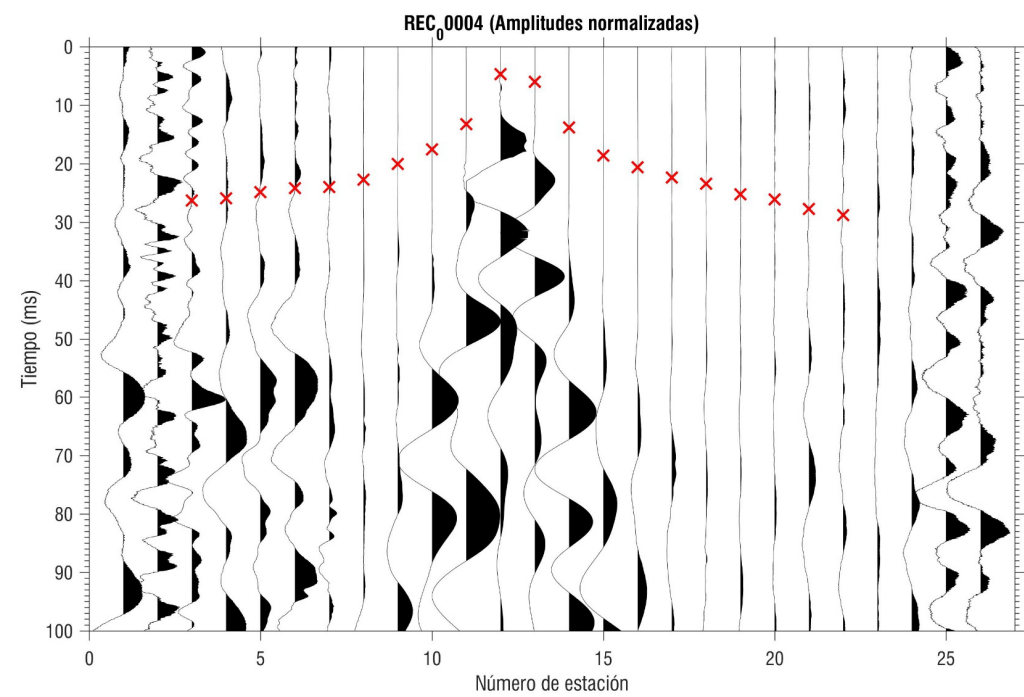
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO: SISMOGRAMAS			REVISIÓN	1
			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 12



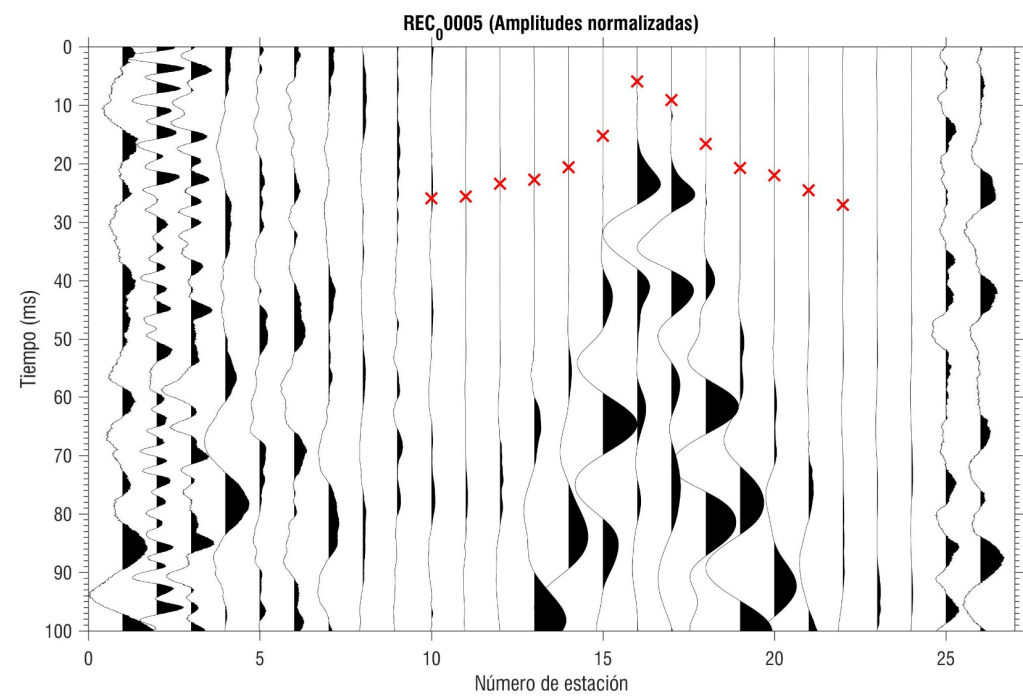
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO:			REVISIÓN	1
SISMOGRAMAS			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 13



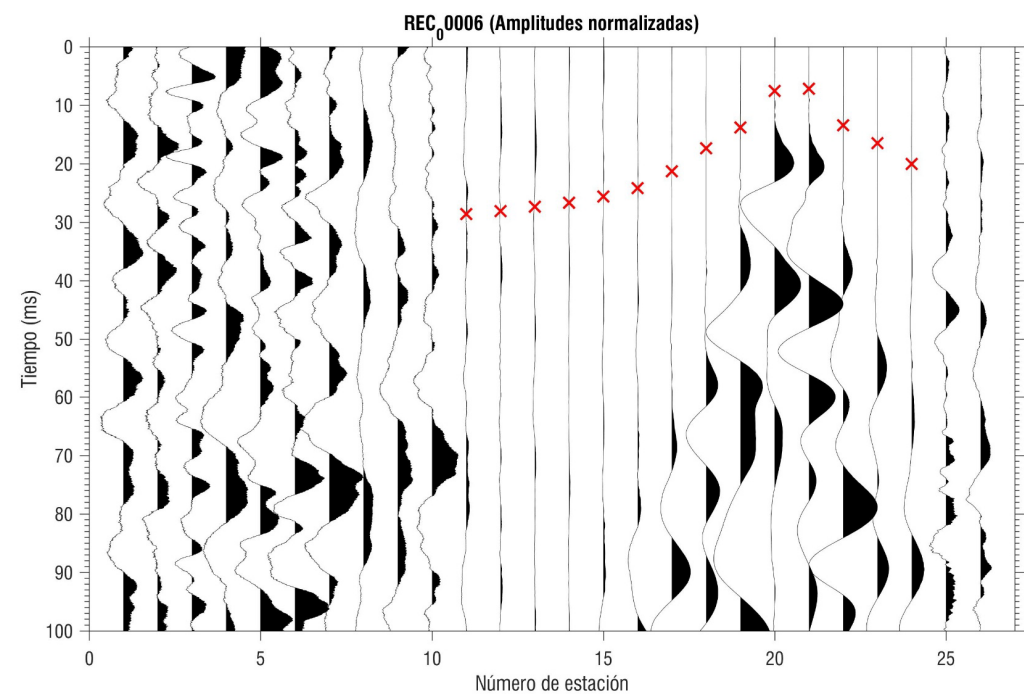
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO:			REVISIÓN	1
SISMOGRAMAS			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 14



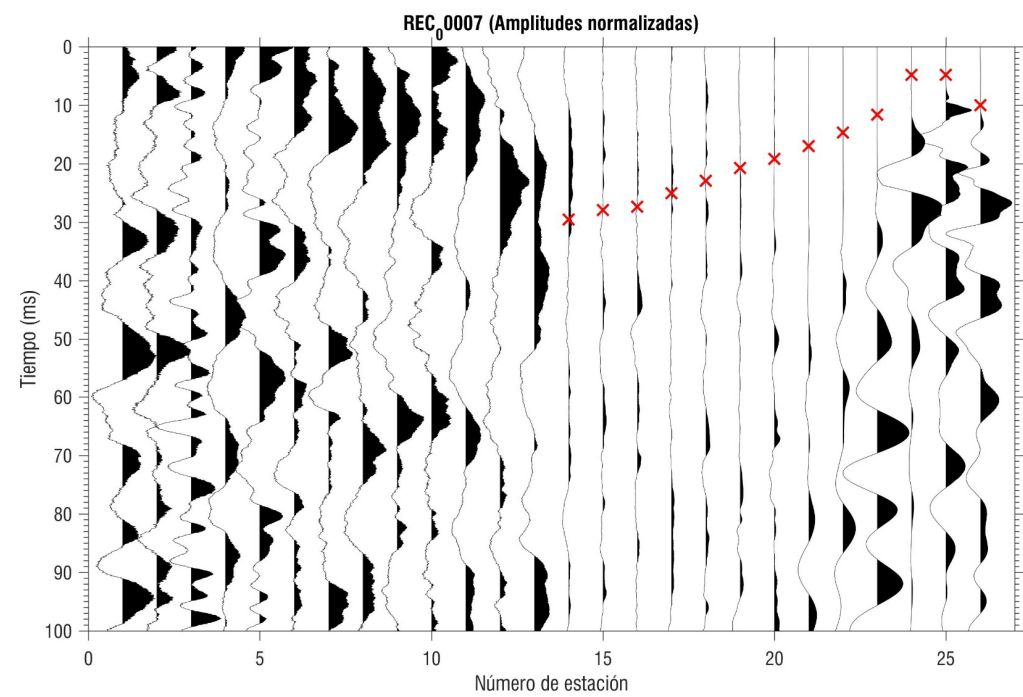
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO:			REVISIÓN	1
SISMOGRAMAS			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 15



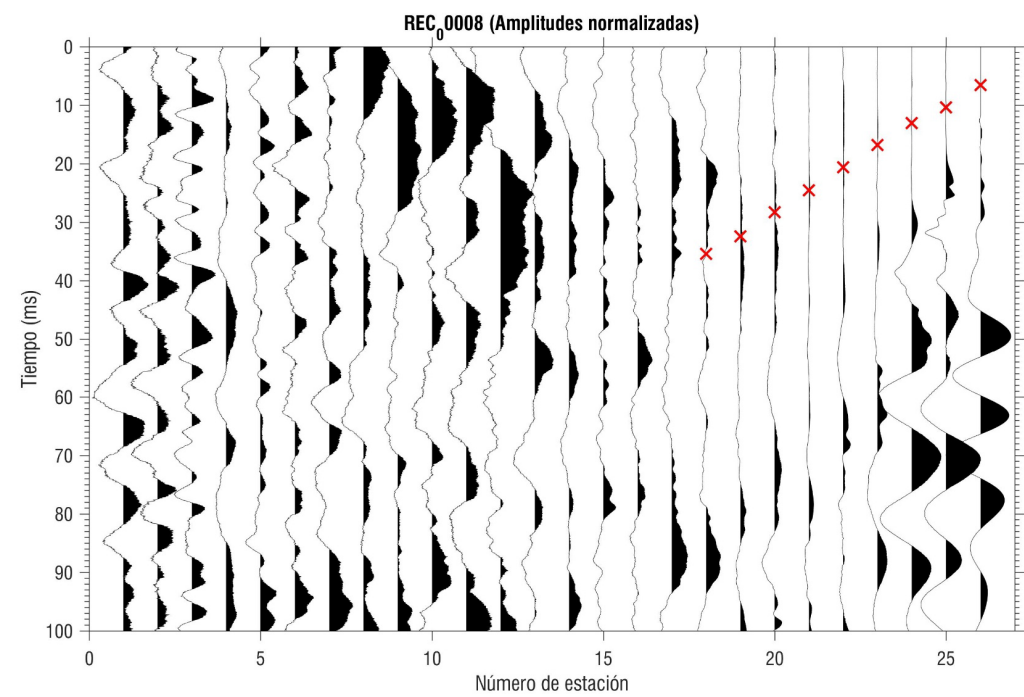
PROYECTO:	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
PR25-36			REVISIÓN	1
TITULO DEL PLANO:			FECHA	09/2025
SISMOGRAMAS			PLANO	A3 - 16



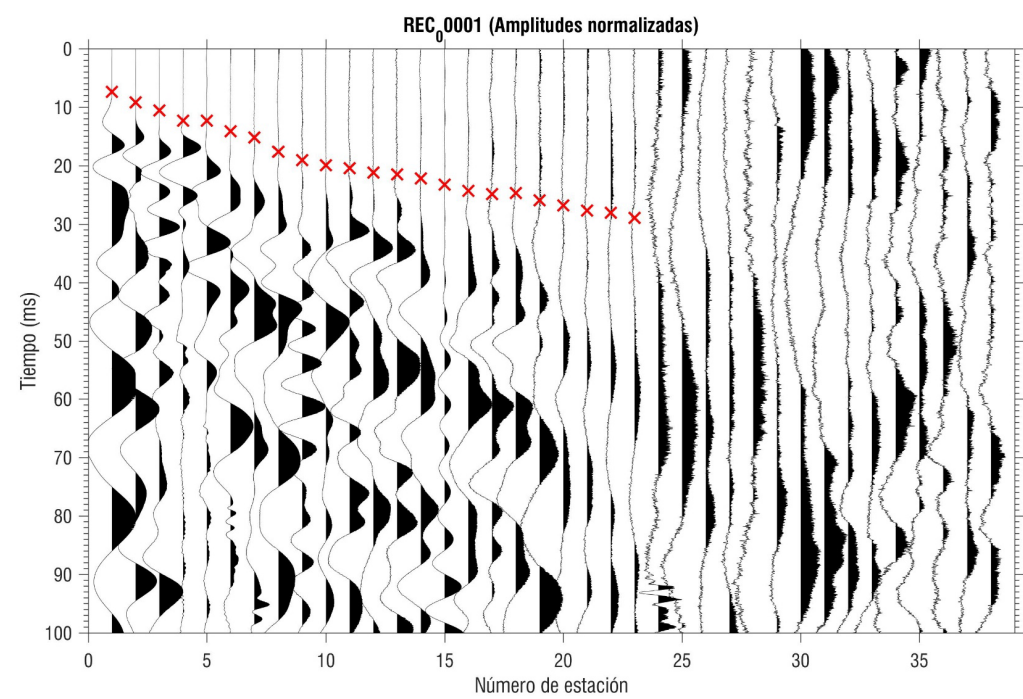
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO:			REVISIÓN	1
SISMOGRAMAS			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 17



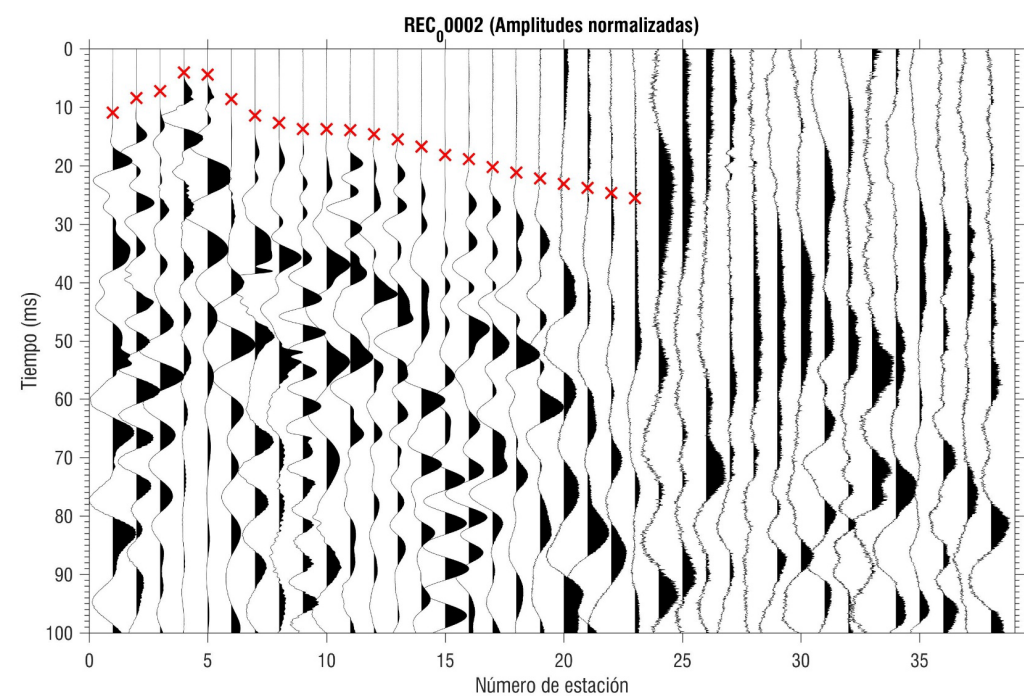
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO: SISMOGRAMAS			REVISIÓN	1
			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 18



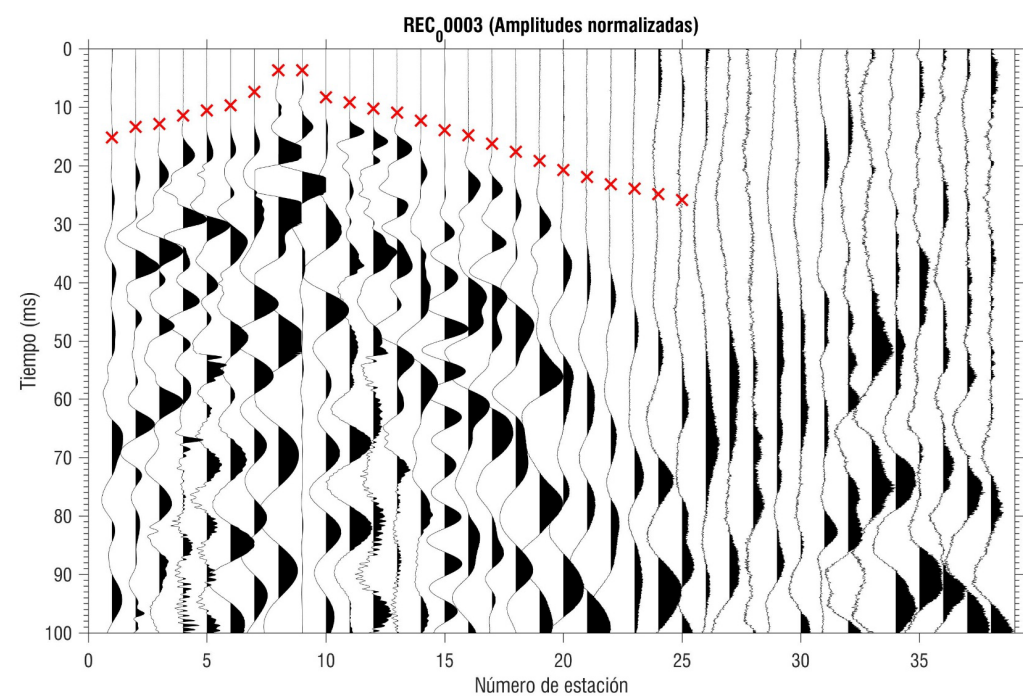
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO: SISMOGRAMAS			REVISIÓN	1
			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 19



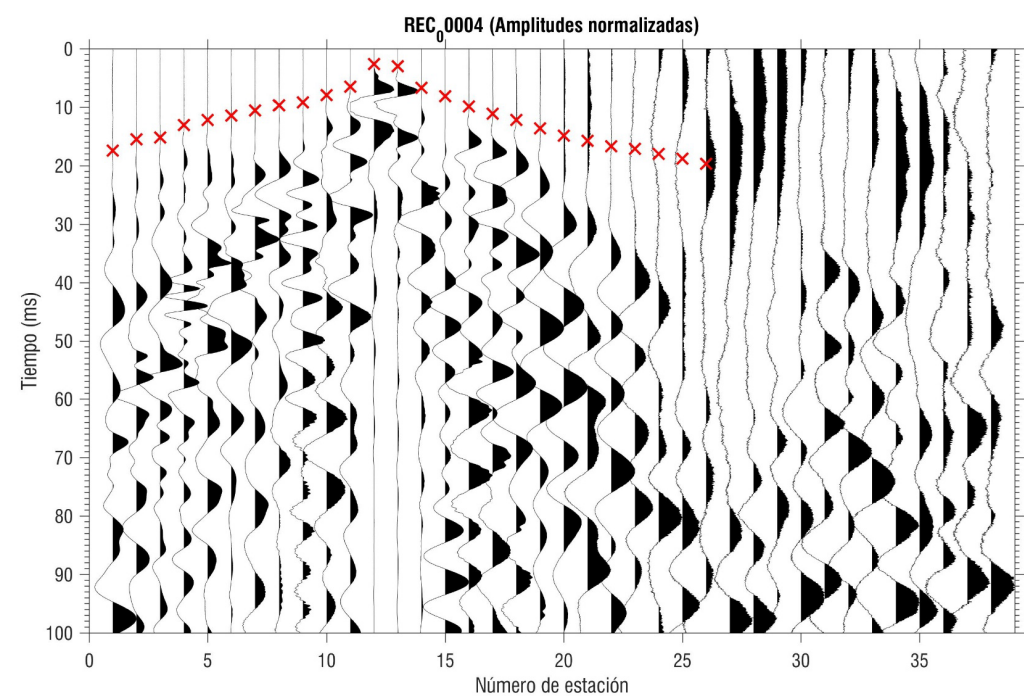
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO: SISMOGRAMAS			REVISIÓN	1
			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 20



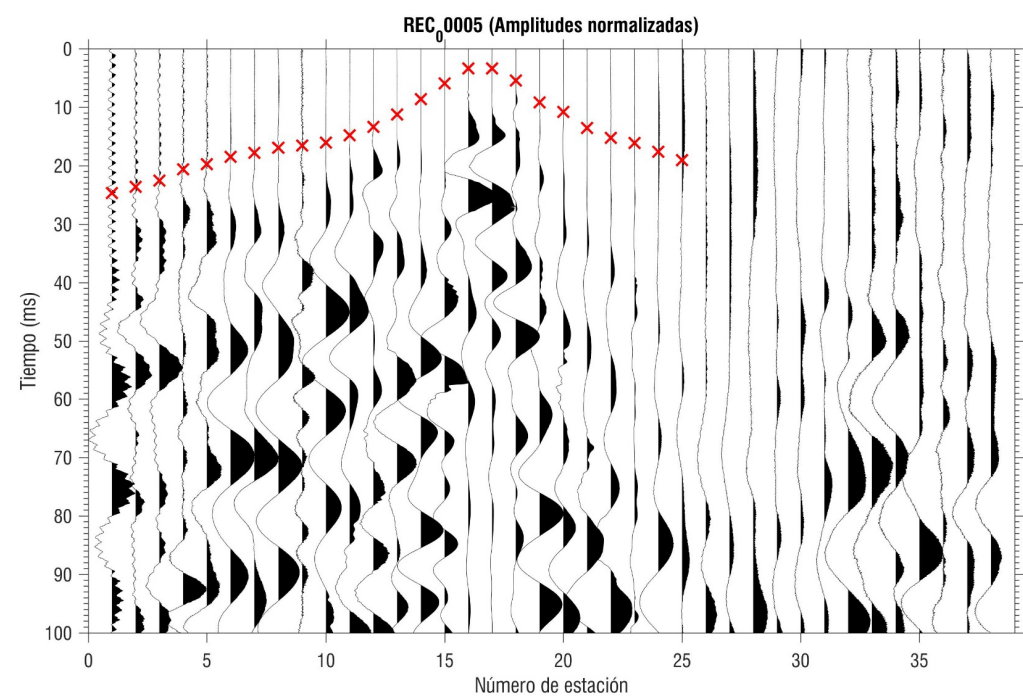
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO: SISMOGRAMAS			REVISIÓN	1
			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 21



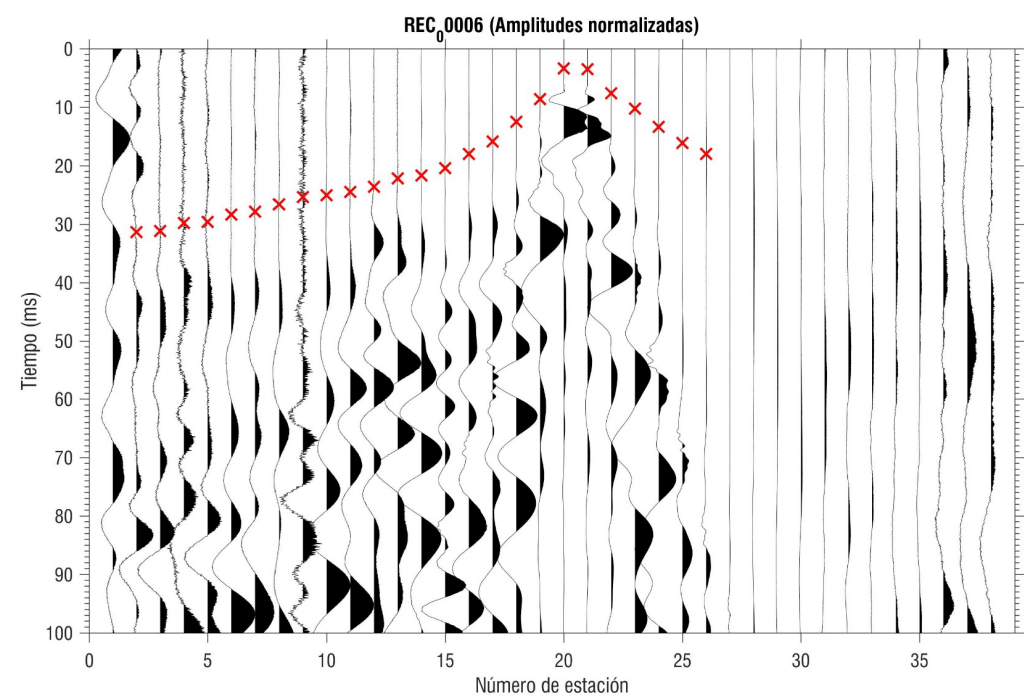
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO: SISMOGRAMAS			REVISIÓN	1
			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 22



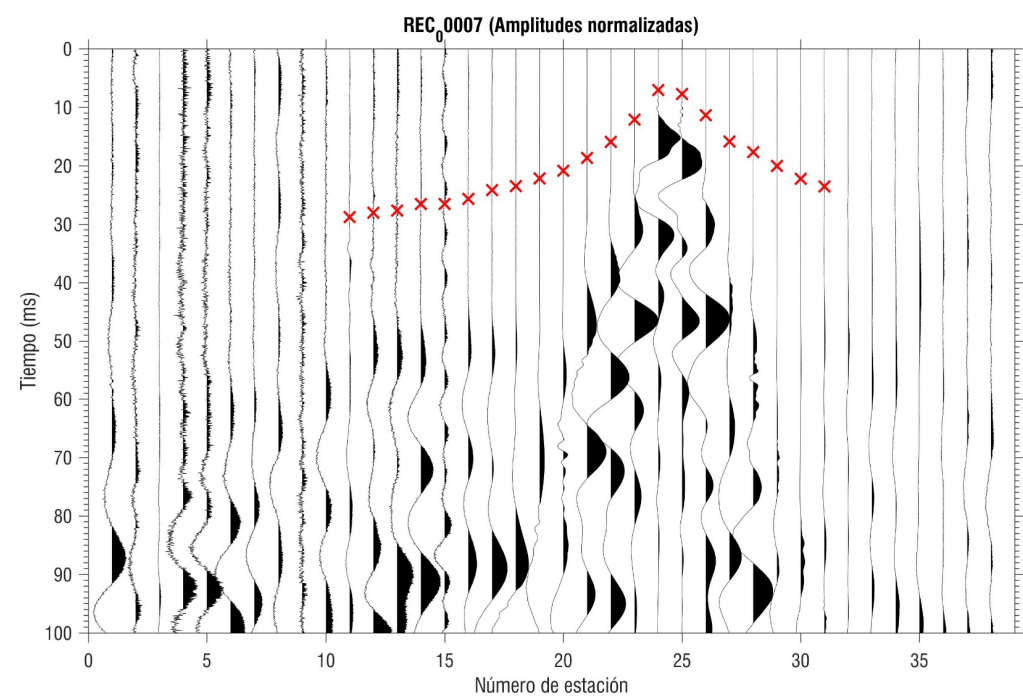
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO: SISMOGRAMAS			REVISIÓN	1
			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 23



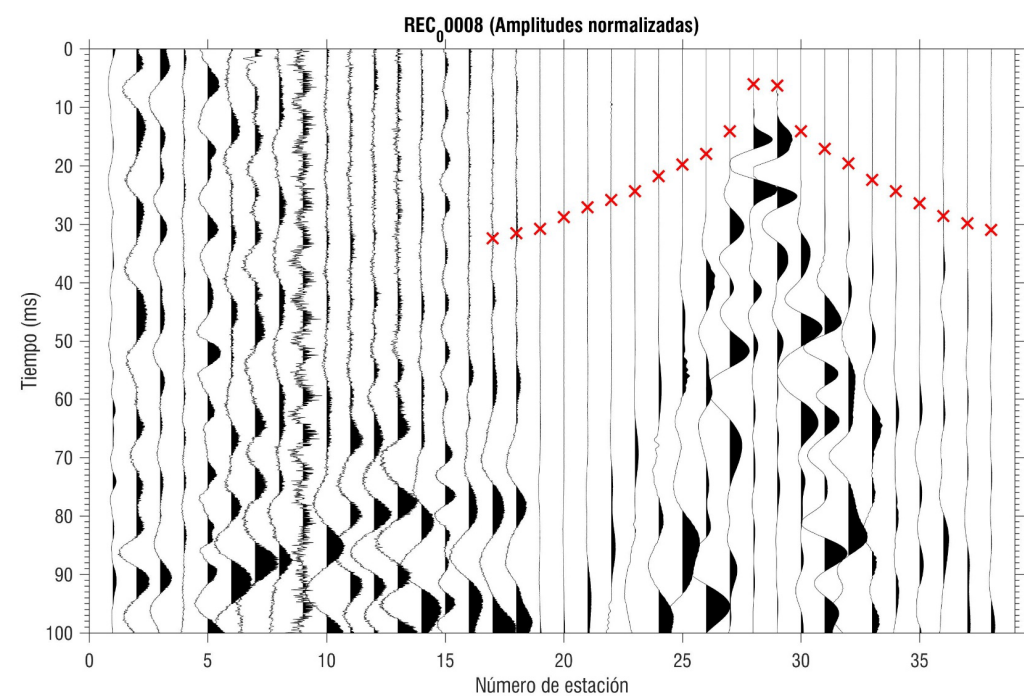
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO: SISMOGRAMAS			REVISIÓN	1
			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 24



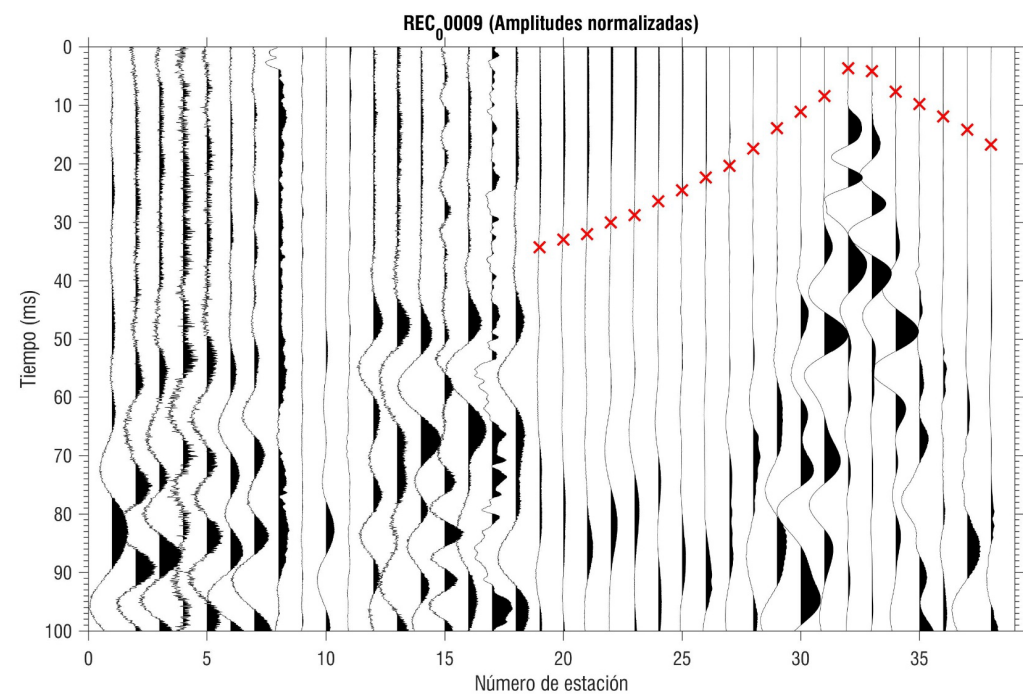
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO: SISMOGRAMAS			REVISIÓN	1
			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 25



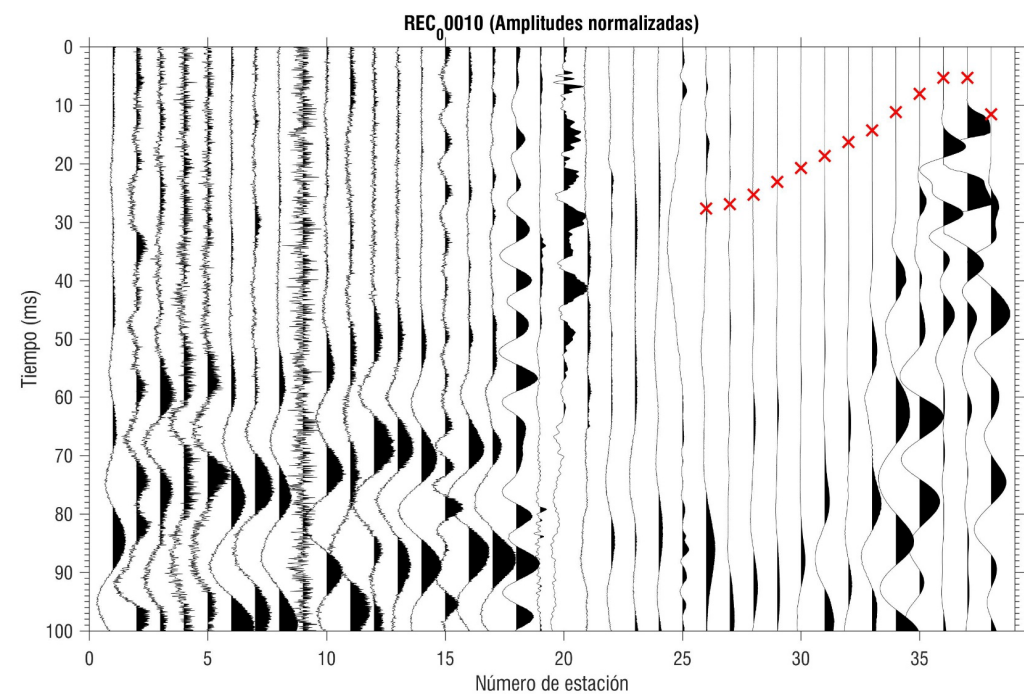
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO: SISMOGRAMAS			REVISIÓN	1
			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 26



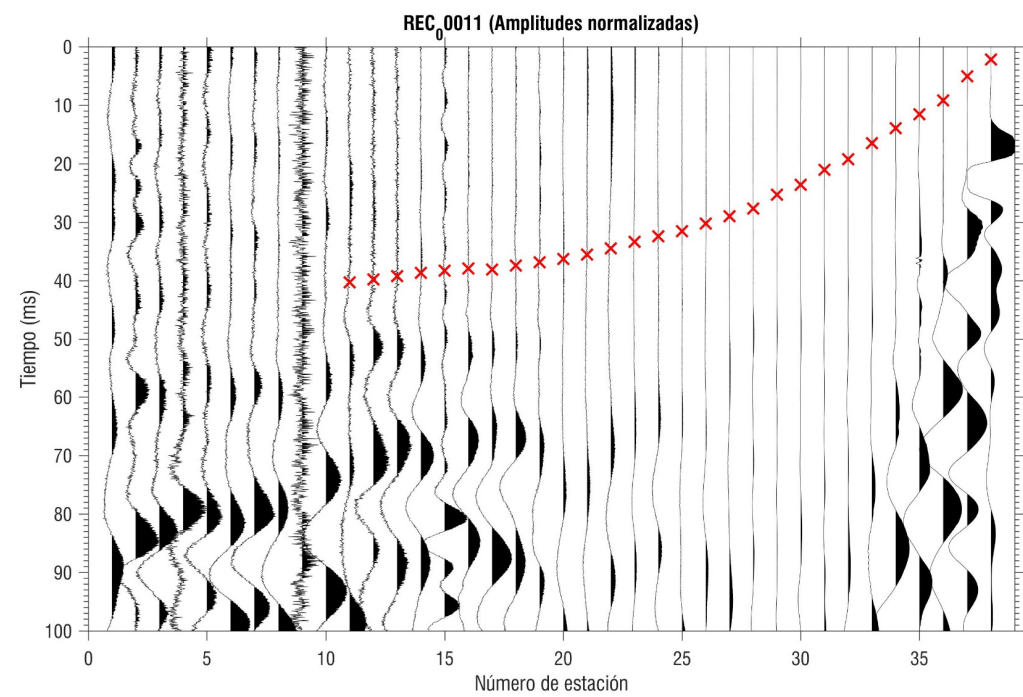
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO: SISMOGRAMAS			REVISIÓN	1
			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 27



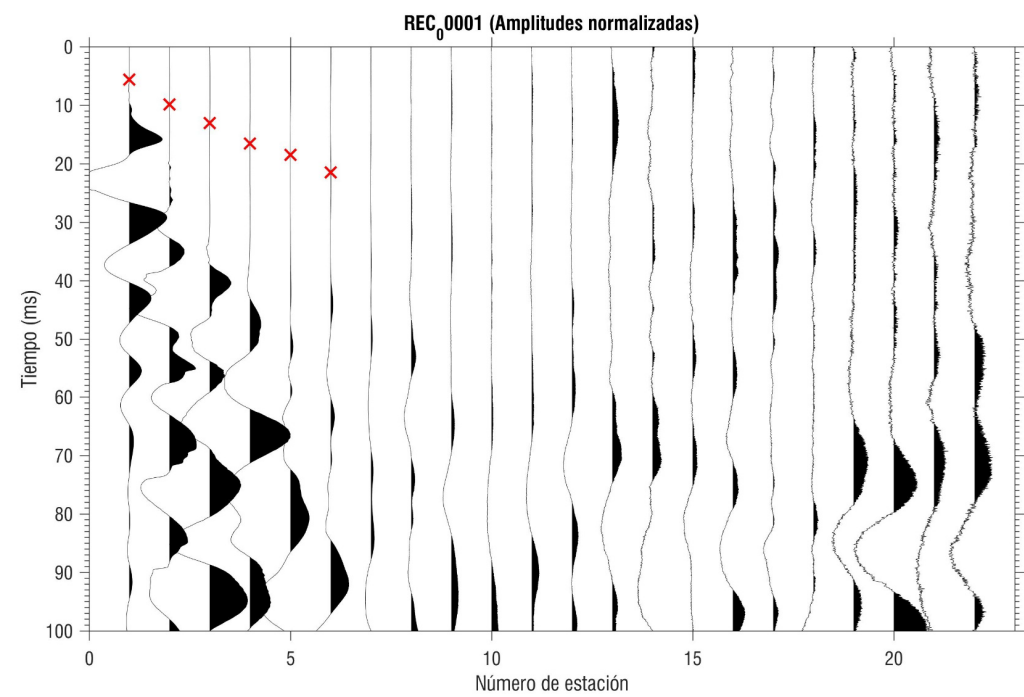
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO:			REVISIÓN	1
SISMOGRAMAS			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 28



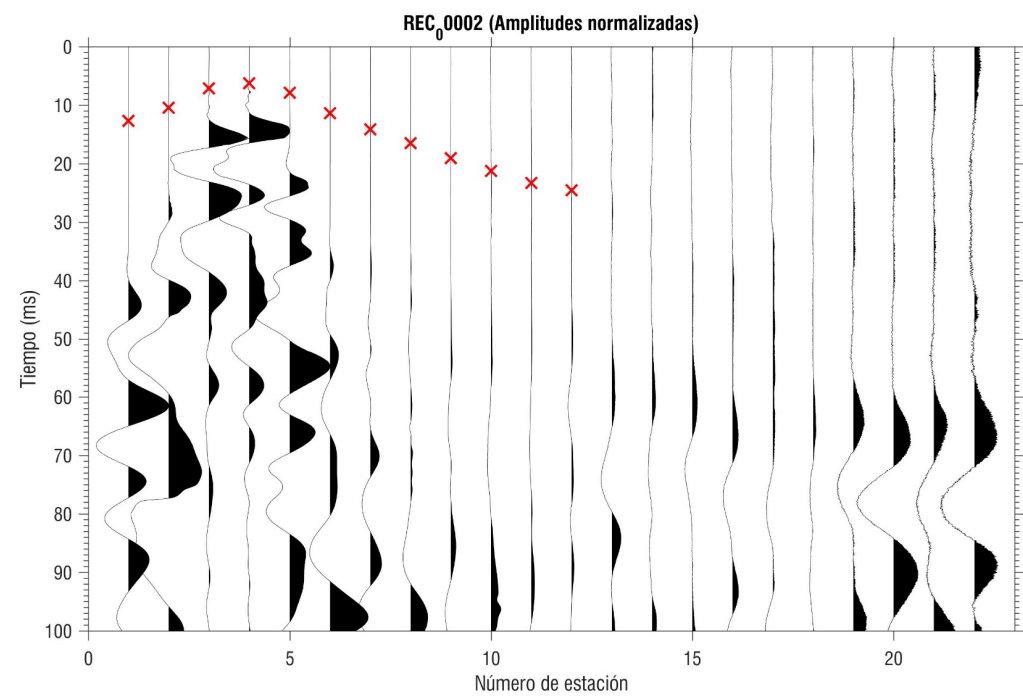
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO:			REVISIÓN	1
SISMOGRAMAS			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 29



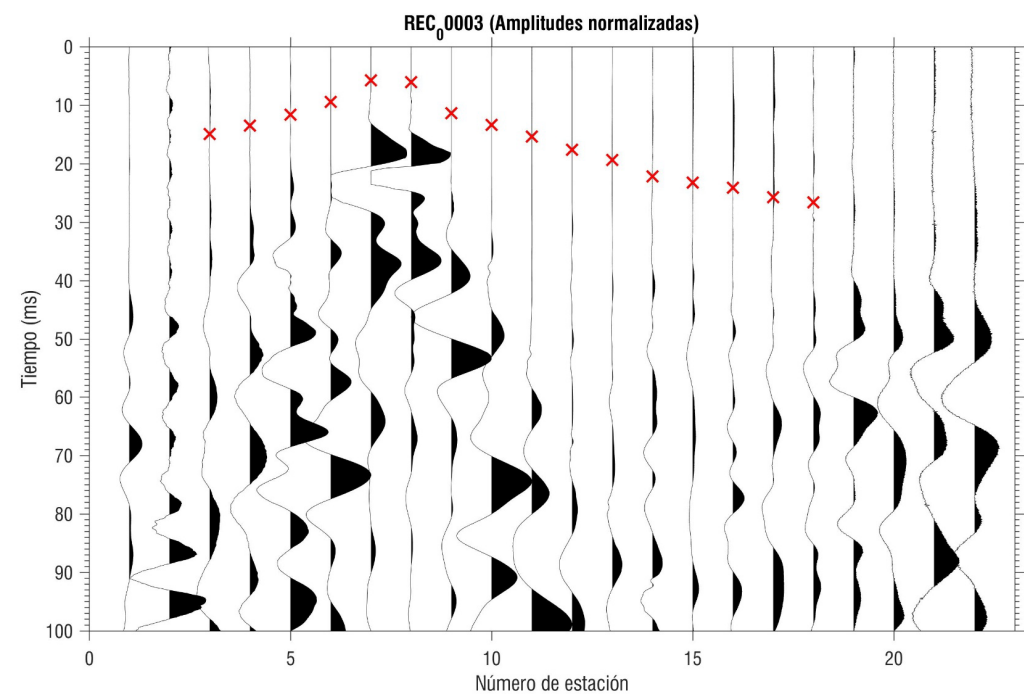
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO: SISMOGRAMAS			REVISIÓN	1
			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 30



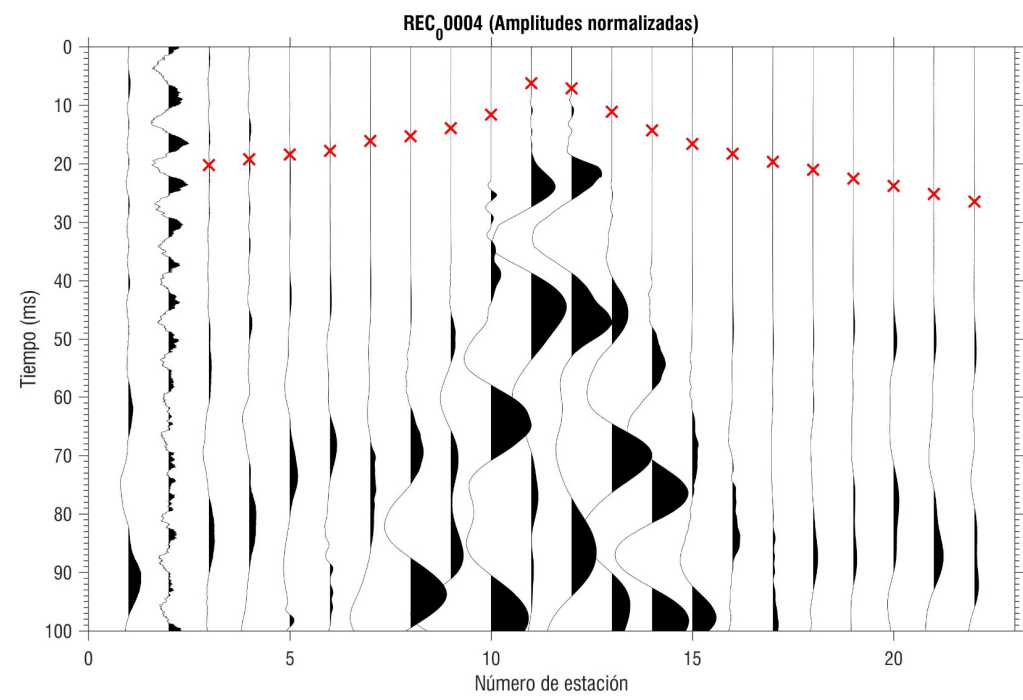
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO: SISMOGRAMAS			REVISIÓN	1
			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 31



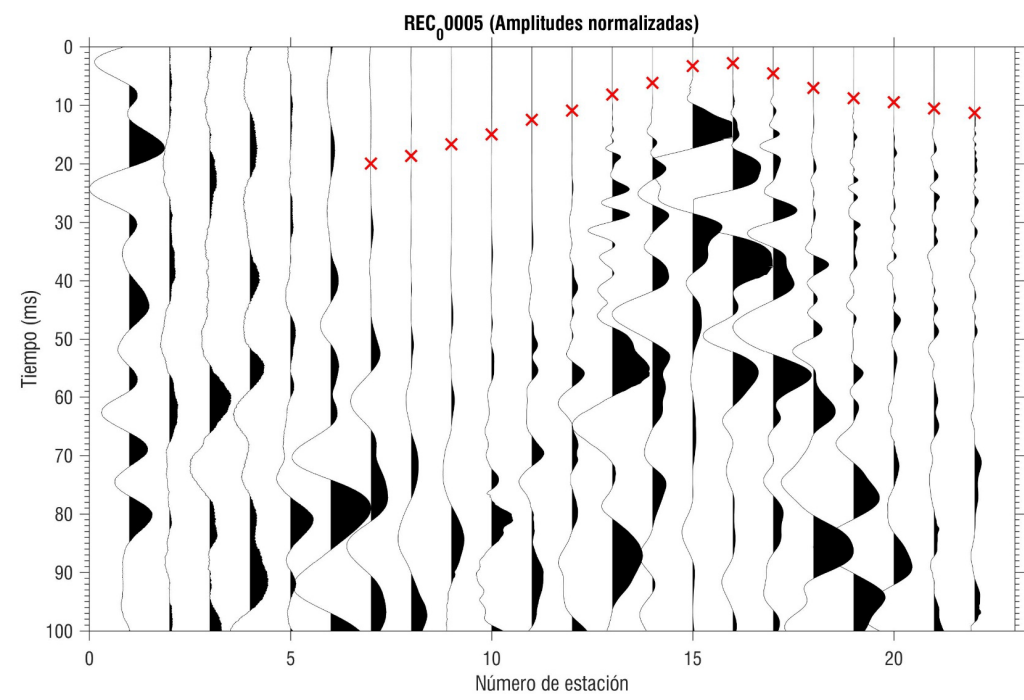
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO:			REVISIÓN	1
SISMOGRAMAS			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 32



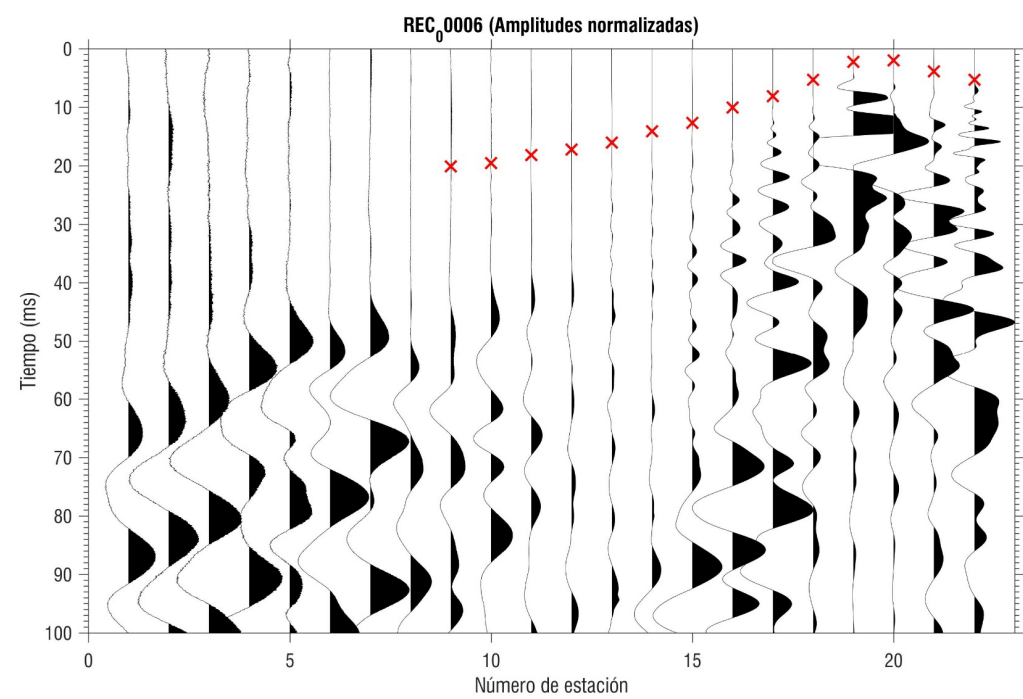
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO:			REVISIÓN	1
SISMOGRAMAS			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 33



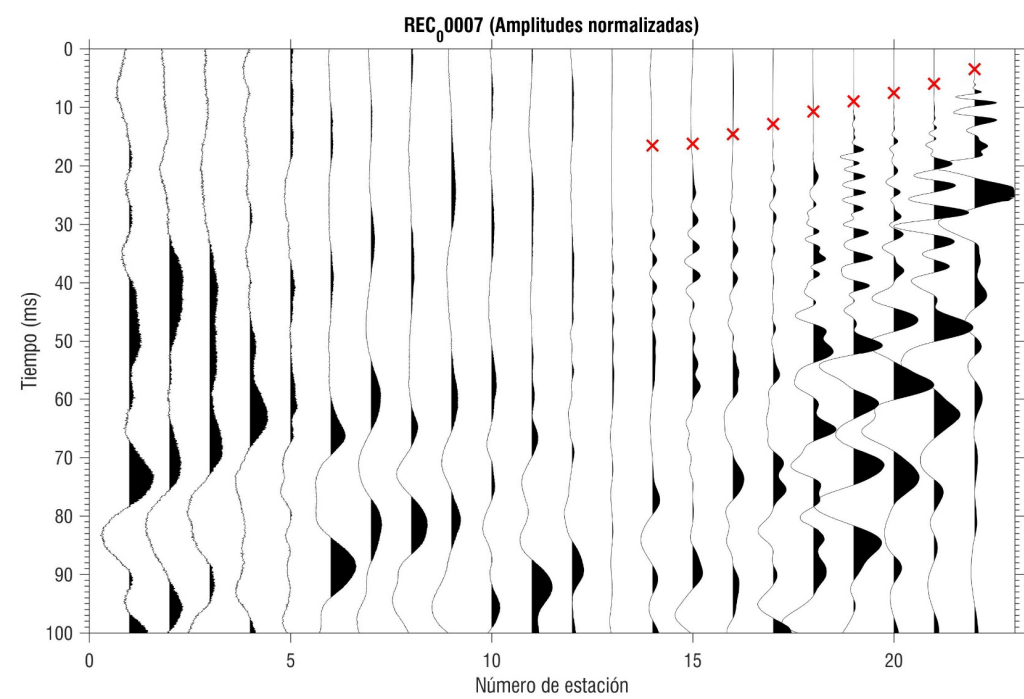
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO: SISMOGRAMAS			REVISIÓN	1
			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 34



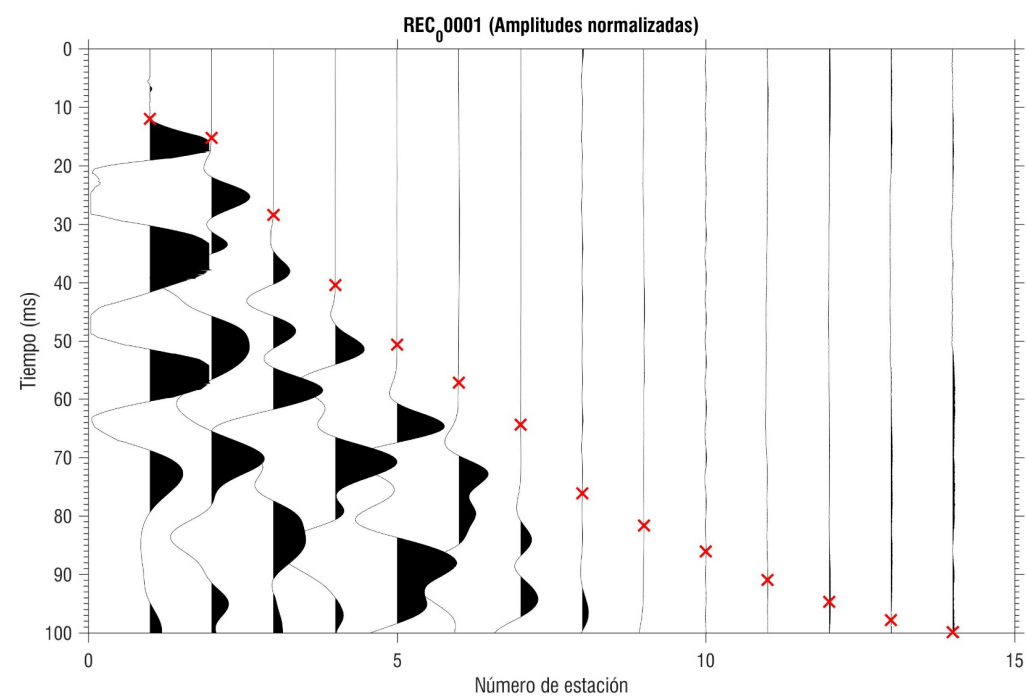
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO: SISMOGRAMAS			REVISIÓN	1
			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 35



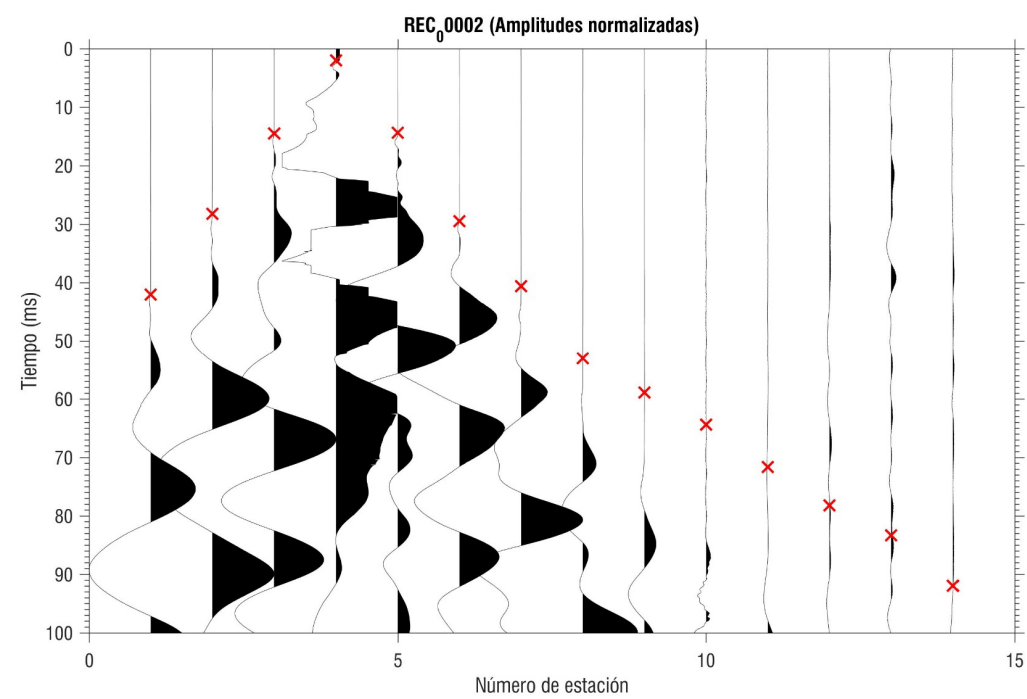
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO: SISMOGRAMAS			REVISIÓN	1
			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 36



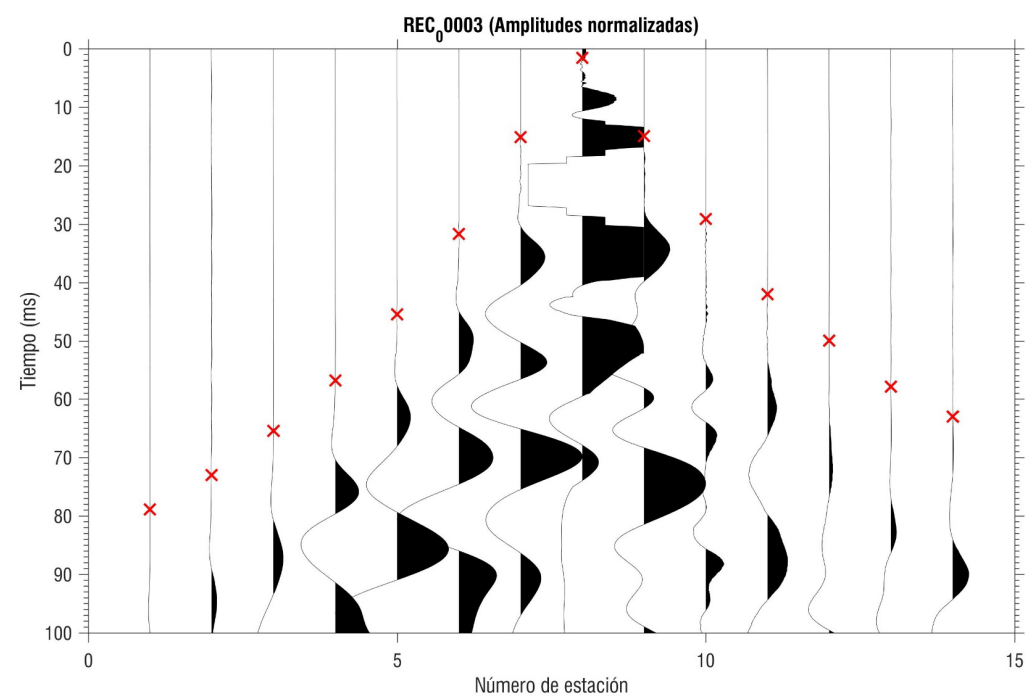
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO: SISMOGRAMAS			REVISIÓN	1
			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 37



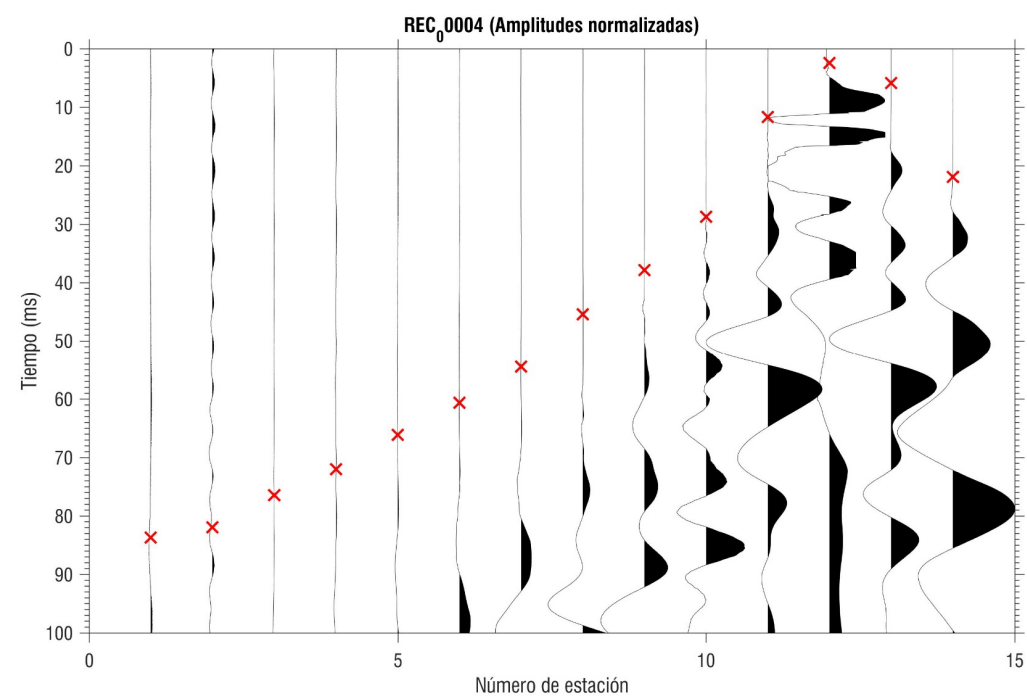
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO:			REVISIÓN	1
SISMOGRAMAS			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 38



PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO:			REVISIÓN	1
SISMOGRAMAS			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 39

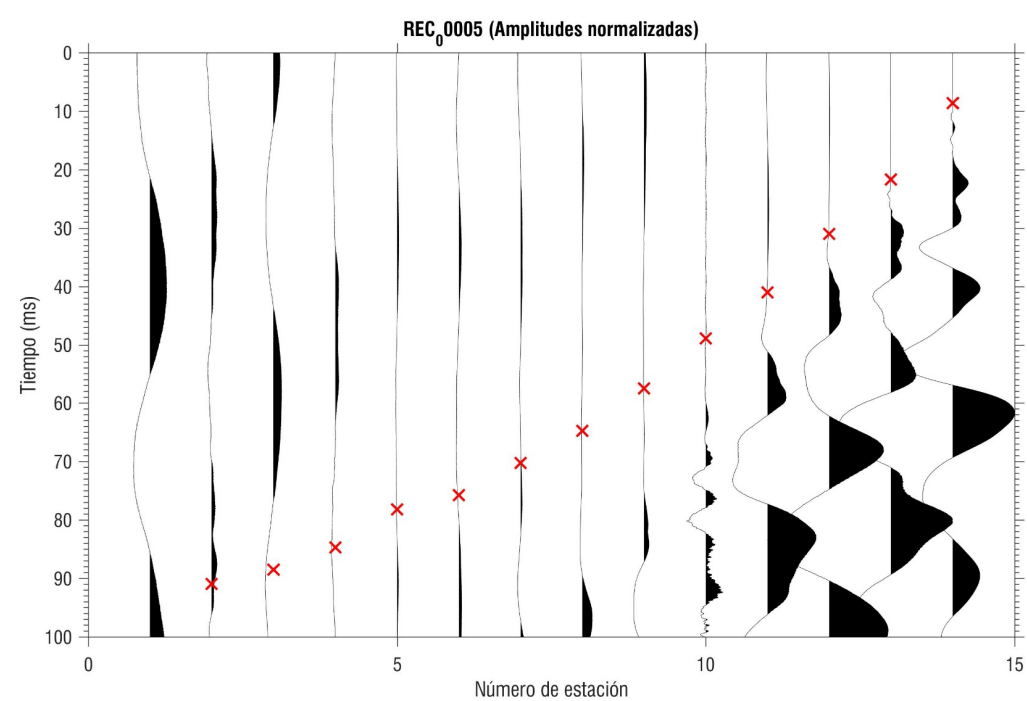


PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO: SISMOGRAMAS			REVISIÓN	1
			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 40



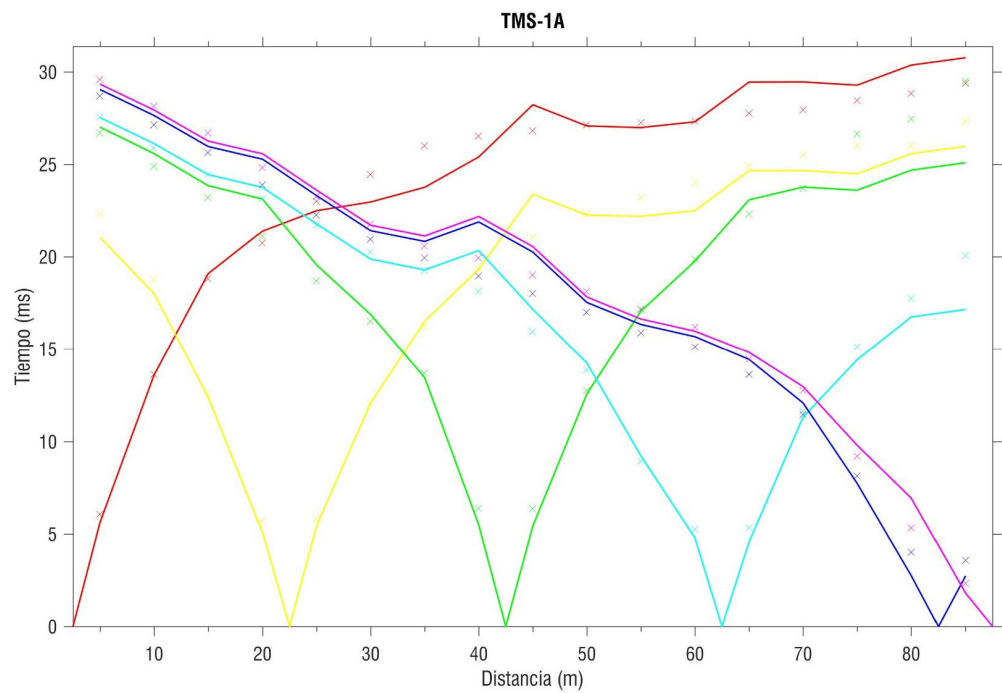
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	S.E.M
TITULO DEL PLANO: SISMOGRAMAS			REVISIÓN	1
			FECHA	09/2025
			PLANO	A3 - 41

ANEJO 4. DOMOCRONAS

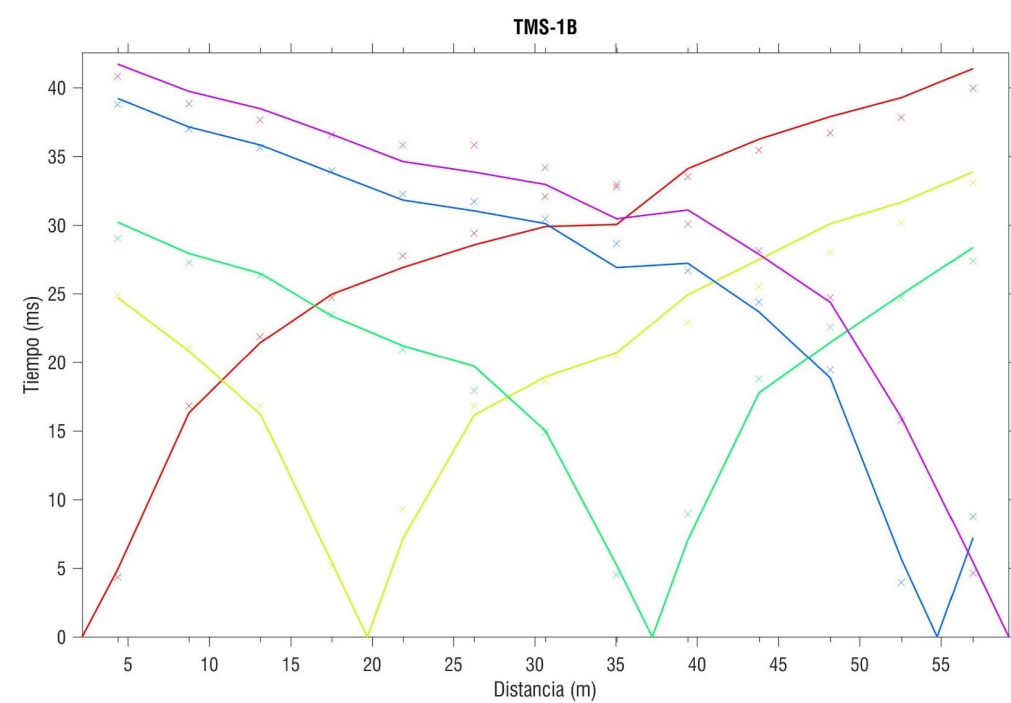


PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR S.E.M
TITULO DEL PLANO: SISMOGRAMAS			REVISIÓN 1
			FECHA 09/2025
			PLANO A3 - 42

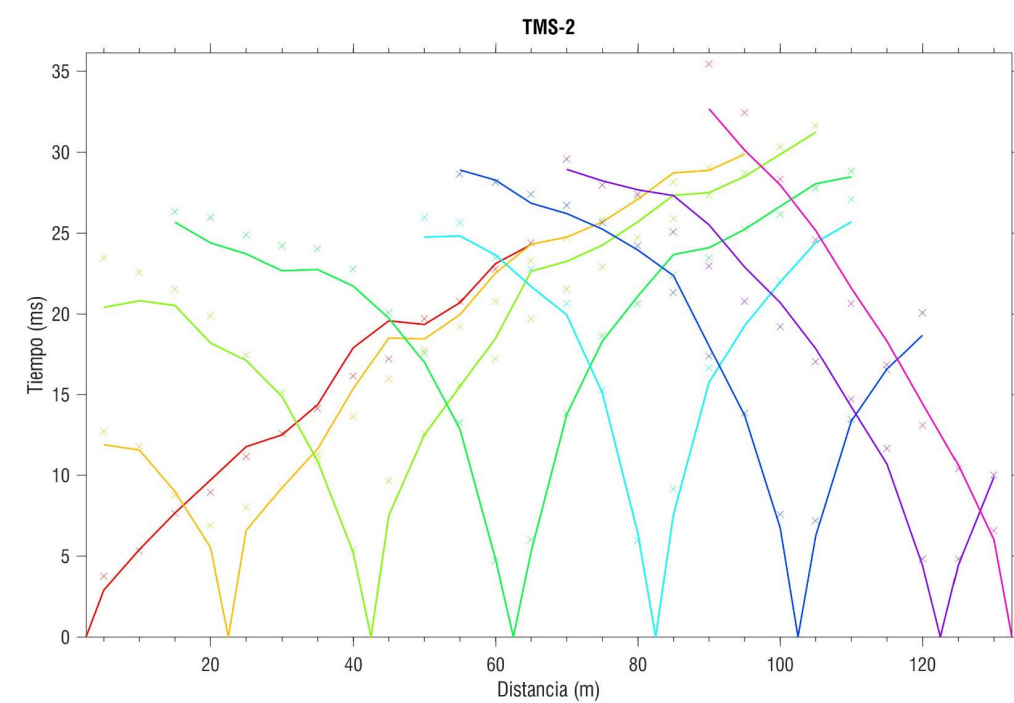
ANEJO 4.
DROMOCRONAS



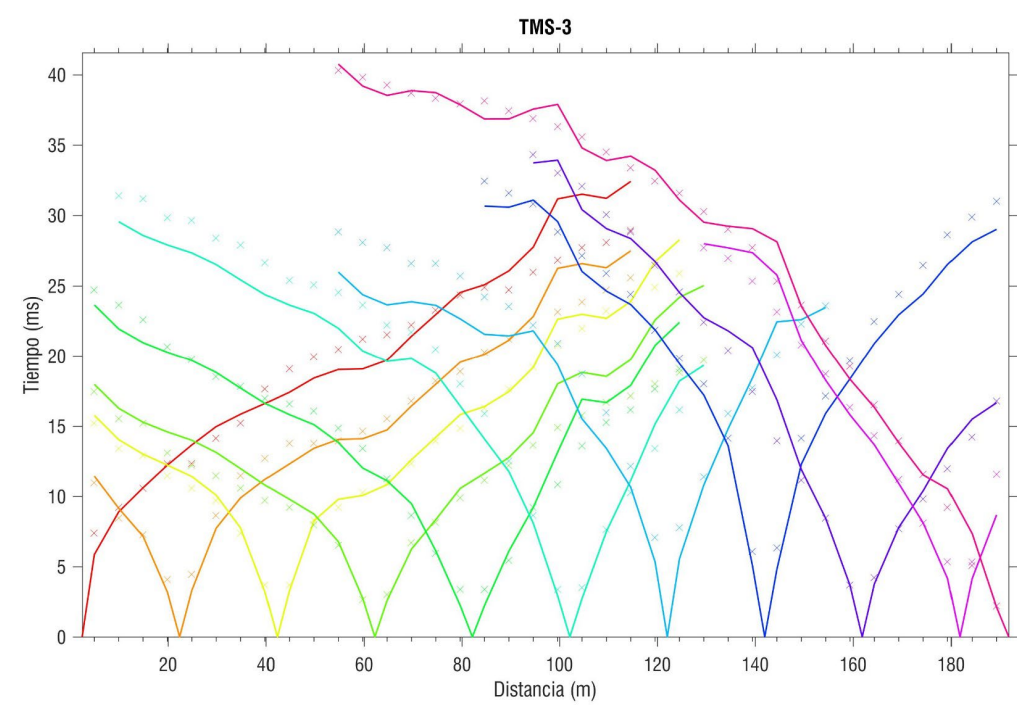
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	SEM
TITULO DEL PLANO: DROMOCRONAS			REVISIÓN	1
			FECHA	09/2025
			PLANO	A4 - 1



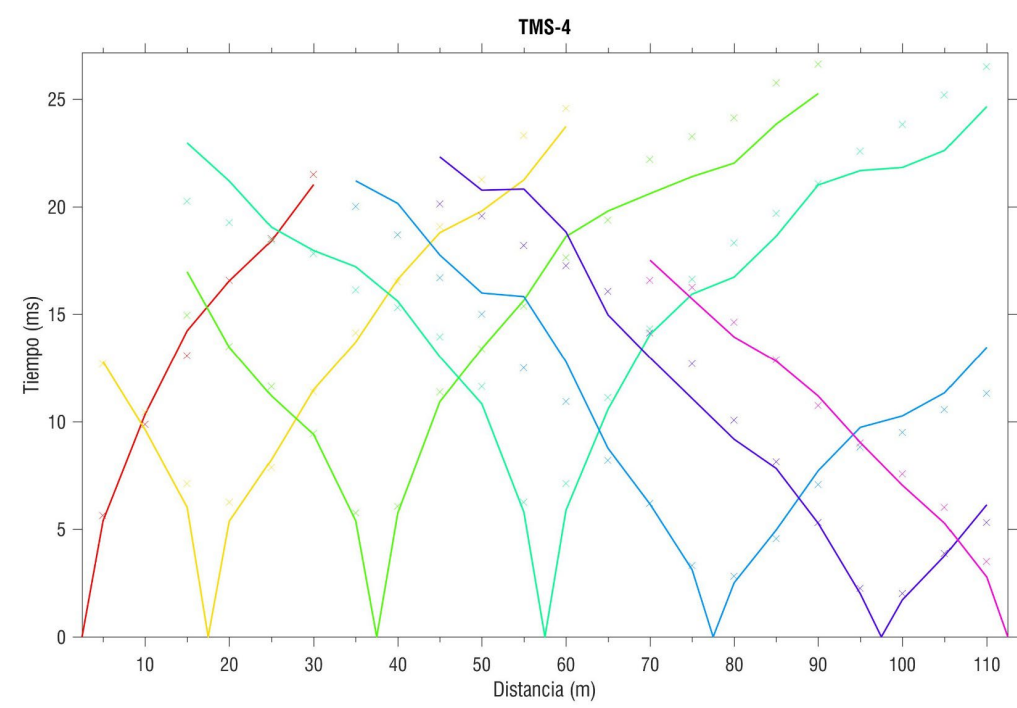
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	SEM
TITULO DEL PLANO: DROMOCRONAS			REVISIÓN	1
			FECHA	09/2025
			PLANO	A4 - 2



PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	SEM
TITULO DEL PLANO: DROMOCRONAS			REVISIÓN	1
			FECHA	09/2025
			PLANO	A4 - 3

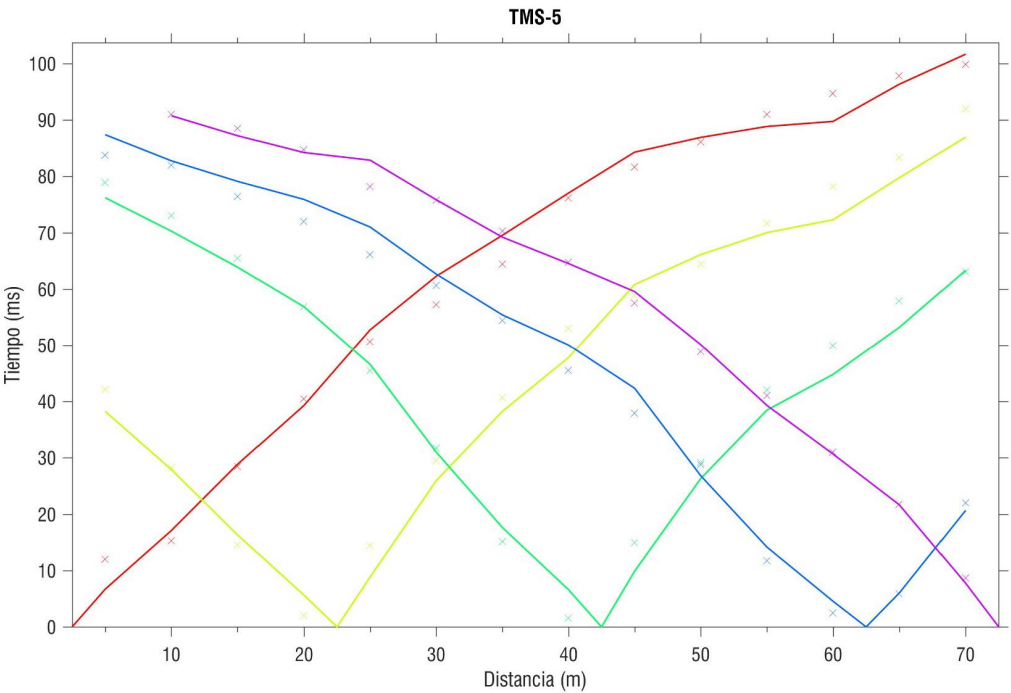


PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	SEM
TITULO DEL PLANO:			REVISIÓN	1
DROMOCRONAS			FECHA	09/2025
			PLANO	A4 - 4

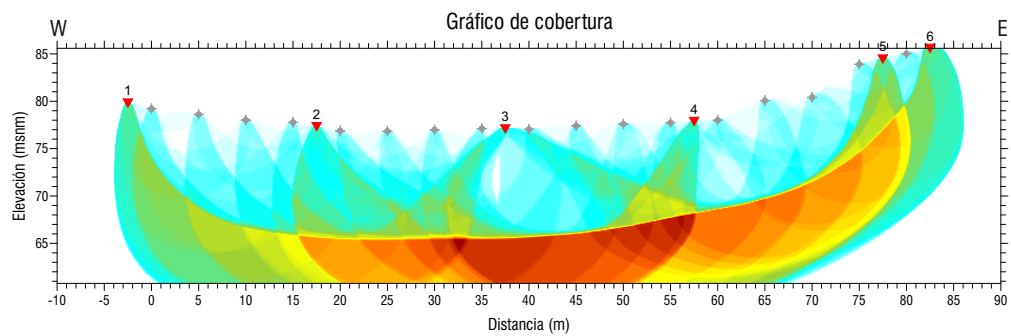


PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	SEM
TITULO DEL PLANO:			REVISIÓN	1
DROMOCRONAS			FECHA	09/2025
			PLANO	A4 - 5

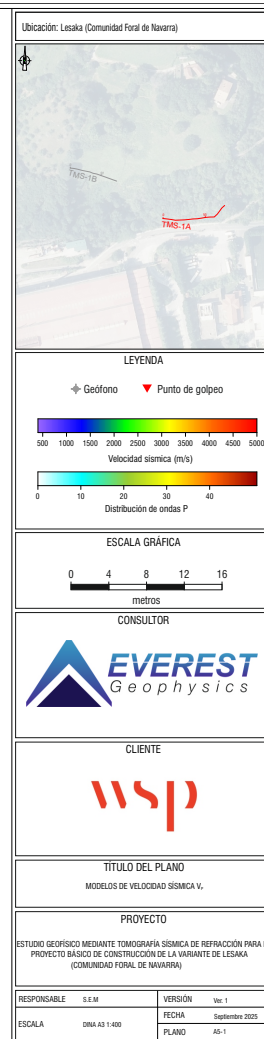
ANEJO 5. MODELOS DE VELOCIDAD SÍSMICA



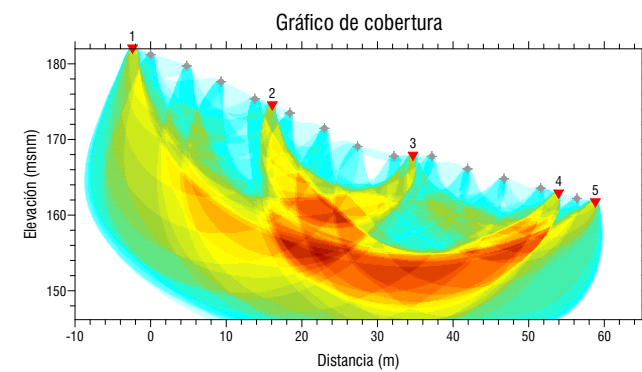
PROYECTO: PR25-36	CLIENTE 	CONSULTOR 	AUTOR	SEM
TITULO DEL PLANO: DROMOCRONAS			REVISIÓN	1
			FECHA	09/2025
			PLANO	A4 - 6



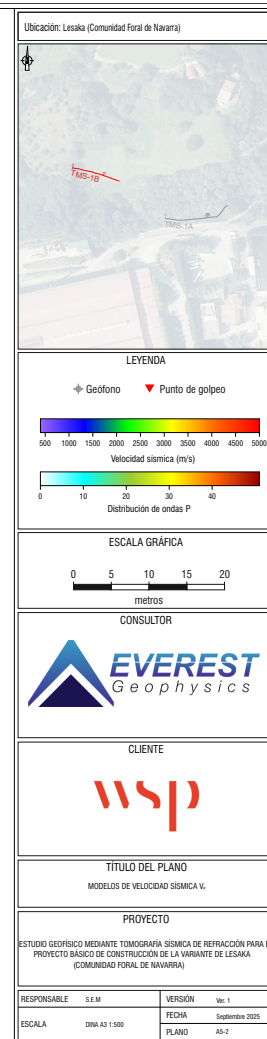
PARÁMETROS DE LA INVERSIÓN
 20 iteraciones WET (Wavepath Eikonal Tomography)
 RMS error final 6,0%=1,15ms
 Frecuencia sísmica de cálculo: 50Hz (frente de ondas con un ancho del 3,0%)
 Modelo inicial: Gradiente vertical 1D



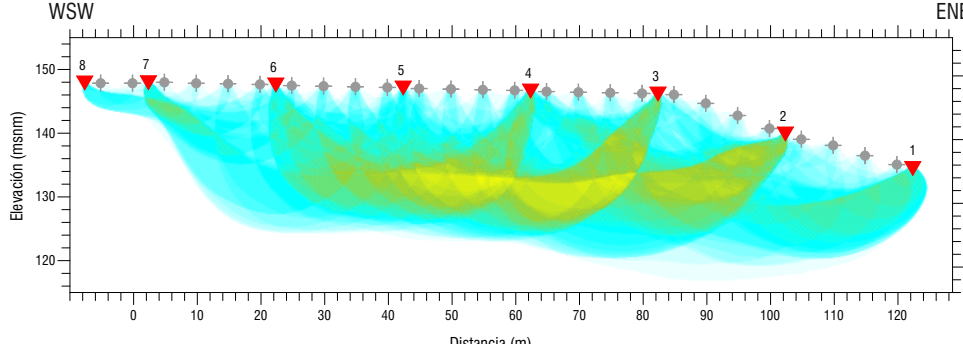
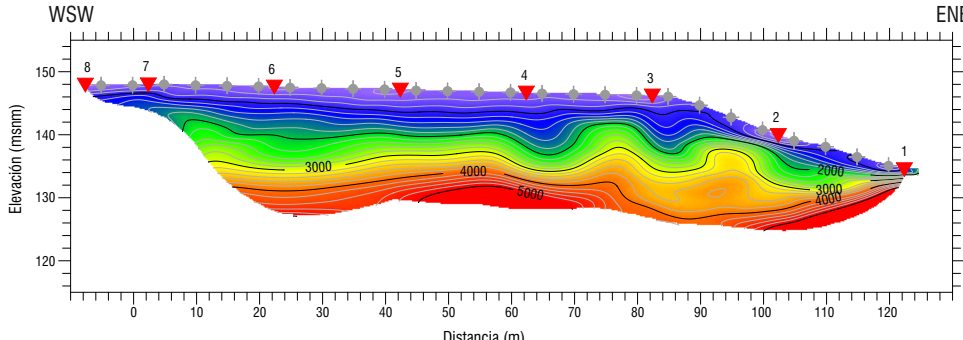
Mapa de velocidad de onda sísmica en un modelo de velocidad. El eje vertical muestra la elevación en metros sobre el nivel del mar (msnm) desde 150 hasta 180. El eje horizontal muestra la distancia en metros (m) desde -10 hasta 60, con una orientación NW a SE. Se muestran líneas de contorno de velocidad de 1000, 2000, 3000, 4000 y 5000 m/s. Se marcan cinco puntos de interés con triángulos rojos numerados del 1 al 5.



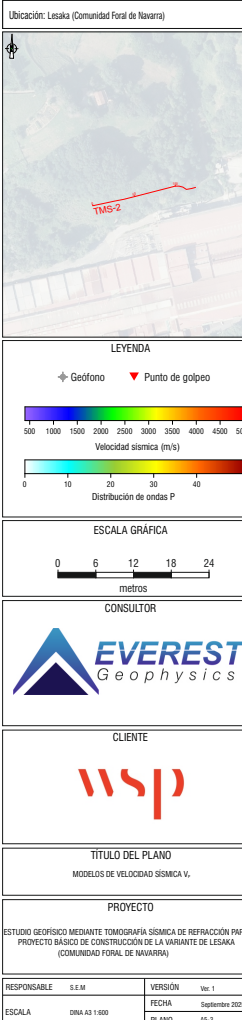
PARÁMETROS DE LA INVERSIÓN
 20 iteraciones WET (Wavepath Eikonal Tomography)
 RMS error final 4.4% = 1,12ms
 Frecuencia sísmica de cálculo: 50Hz (frente de ondas con un ancho del 3.0%)
 Modelo inicial: Gradiente vertical 1D



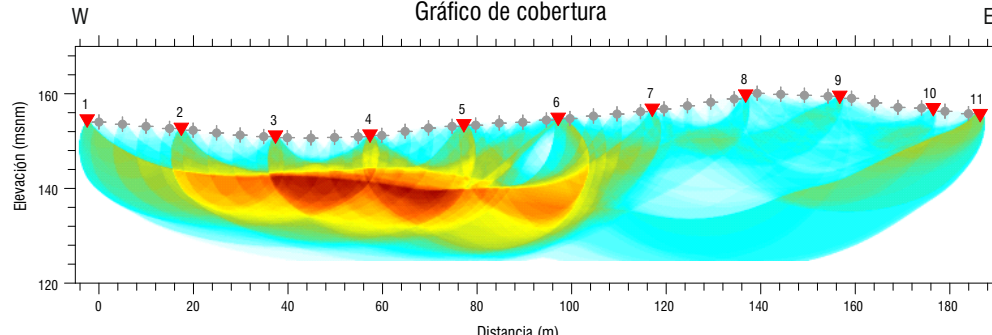
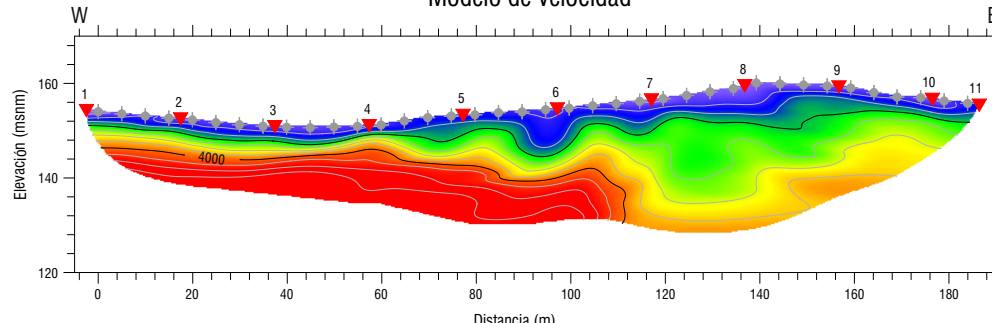
TMS-2



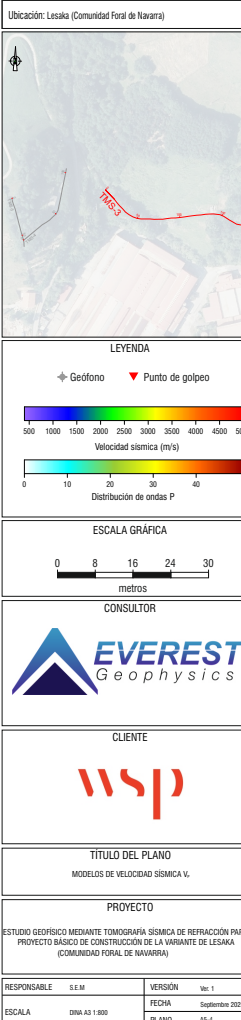
PARÁMETROS DE LA INVERSIÓN
 20 iteraciones WET (Wavepath Eikonal Tomography)
 RMS error final 5,6%=1,08ms
 Frecuencia sísmica de cálculo: 50Hz (frente de ondas con un ancho del 3.0%)
 Modelo inicial: Gradiente vertical 1D



TMS-3



PARÁMETROS DE LA INVERSIÓN
20 Iteraciones WET (Wavepath Eikonal Tomography)
RMS error final 8,6% = 1,59ms
Frecuencia sísmica de cálculo: 50Hz (frente de ondas con un ancho del 3.0%)
Modelo inicial: Gradiente vertical 1D



TMS-4



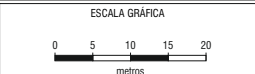
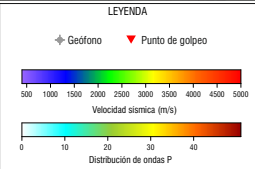
PARAMETROS DE LA INVERSION

20 iteraciones WET (Wavepath Eikonal Tomography)

RMS error final 8,3%=1,15ms

Frecuencia sísmica de cálculo: 50Hz (frente de ondas con un ancho del 2.5%)

Modelo inicial: Gradiente vertical 1D



RESPONSABLE	S.E.M	VERSIÓN	Vor. 1
ESCALA	DINA A3 1:500	FECHA	Septiembre 2025
		PLANO	A5-5

TMS-5



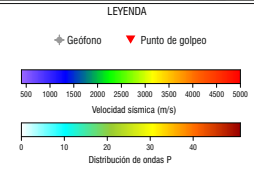
PARAMETROS DE LA INVERSION

20 iteraciones WET (Wavepath Eikonal Tomography)

RMS error final 5,8%=3,01ms

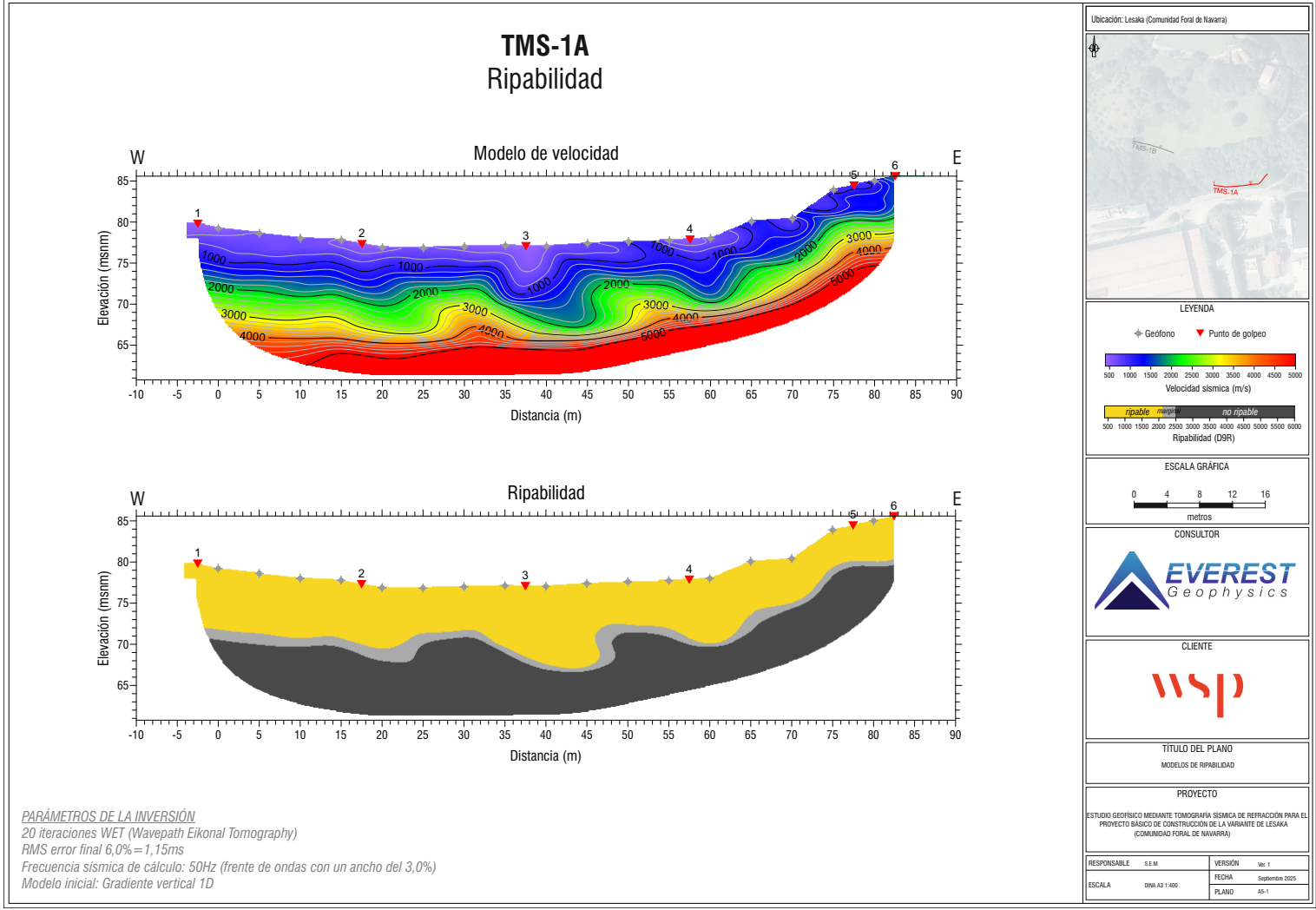
Frecuencia sísmica de cálculo: 50Hz (frente de ondas con un ancho del 10,0%)

Modelo inicial: Gradiente vertical 1D

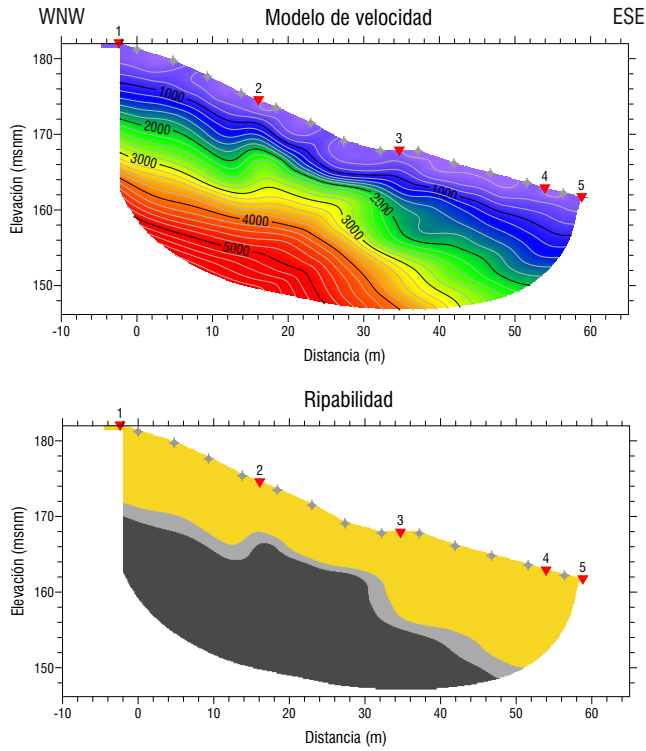


RESPONSABLE	S.E.M	VERSIÓN	Ver. 1
ESCALA	DINA A3 1:500	FECHA	Septiembre 2025
		PLANO	A5-6

ANEJO 6. MODELOS DE RIPABILIDAD



TMS-1B
Ripabilidad



PARÁMETROS DE LA INVERSIÓN
20 iteraciones WET (Wavepath Eikonal Tomography)
RMS error final 4,4% = 1,12ms
Frecuencia sísmica de cálculo: 50Hz (frente de ondas con un ancho del 3.0%)
Modelo inicial: Gradiente vertical 1D

Ubicación: Lesaka (Comunidad Foral de Navarra)

LEYENDA

Geofono Punto de golpeo

Velocidad sísmica (m/s)

Ripabilidad (DSR)

ESCALA GRÁFICA

CONSULTOR

EVEREST Geophysics

CLIENTE

wsp

TÍTULO DEL PLANO

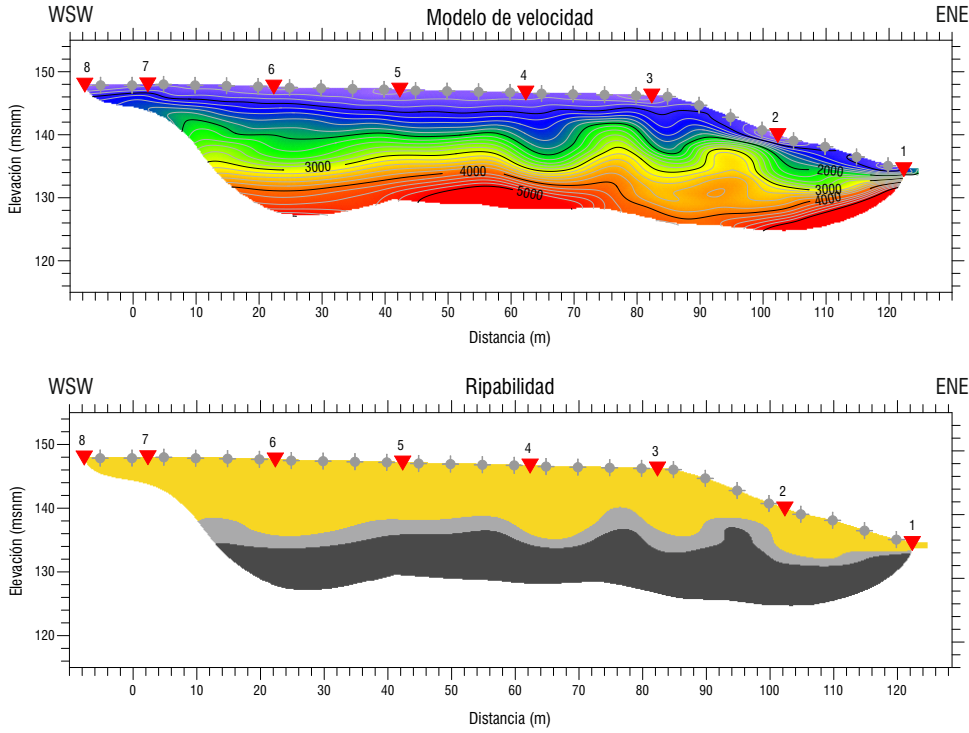
MODELOS DE RIPABILIDAD

PROYECTO

ESTUDIO GEOFÍSICO MEDIANTE TOMOGRAFÍA SÍSMICA DE REFRACCIÓN PARA EL PROYECTO BÁSICO DE CONSTRUCCIÓN DE LA VARIANTE DE LESAKA (COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA)

RESPONSABLE	S.E.M.	VERSIÓN	Nº: 1
ESCALA	ORNA A3 1:500	FECHA	Septiembre 2025
		PLANO	AS-2

TMS-2
Ripabilidad



PARÁMETROS DE LA INVERSIÓN
20 iteraciones WET (Wavepath Eikonal Tomography)
RMS error final 5,6% = 1,08ms
Frecuencia sísmica de cálculo: 50Hz (frente de ondas con un ancho del 3.0%)
Modelo inicial: Gradiente vertical 1D

Ubicación: Lesaka (Comunidad Foral de Navarra)

LEYENDA

Geofono Punto de golpeo

Velocidad sísmica (m/s)

Ripabilidad (DSR)

ESCALA GRÁFICA

CONSULTOR

EVEREST Geophysics

CLIENTE

wsp

TÍTULO DEL PLANO

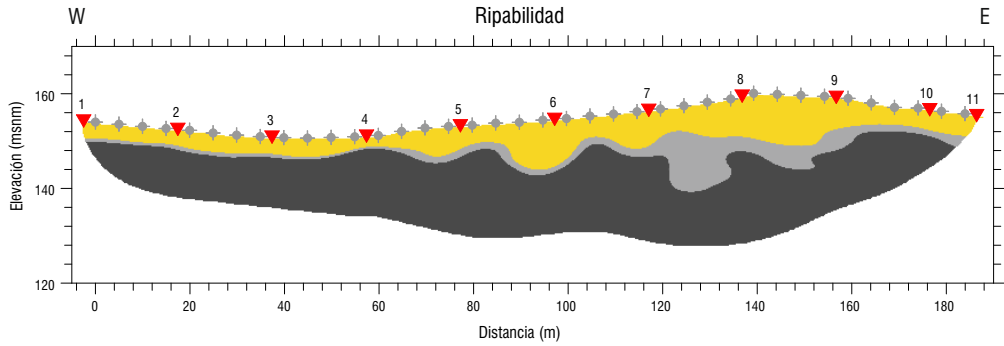
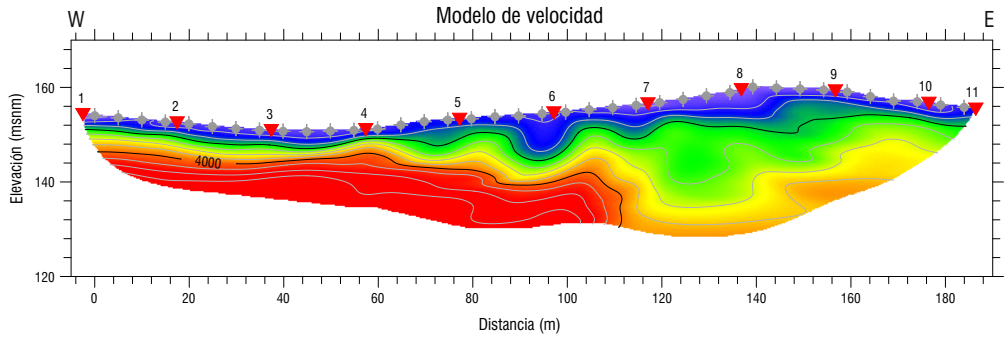
MODELOS DE RIPABILIDAD

PROYECTO

ESTUDIO GEOFÍSICO MEDIANTE TOMOGRAFÍA SÍSMICA DE REFRACCIÓN PARA EL PROYECTO BÁSICO DE CONSTRUCCIÓN DE LA VARIANTE DE LESAKA (COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA)

RESPONSABLE	S.E.M.	VERSIÓN	Nº: 1
ESCALA	ORNA A3 1:500	FECHA	Septiembre 2025
		PLANO	AS-3

TMS-3
Ripabilidad



PARÁMETROS DE LA INVERSIÓN
20 iteraciones WET (Wavepath Eikonal Tomography)
RMS error final 8,6% = 1,59ms
Frecuencia sísmica de cálculo: 50Hz (frente de ondas con un ancho del 3.0%)
Modelo inicial: Gradiente vertical 1D

Ubicación: Lesaka (Comunidad Foral de Navarra)

LEYENDA

Geofono Punto de golpeo

Velocidad sísmica (m/s)

Ripabilidad (DSR)

ESCALA GRÁFICA

0 8 16 24 30 metros

CONSULTOR

EVEREST Geophysics

CLIENTE

wsp

TÍTULO DEL PLANO

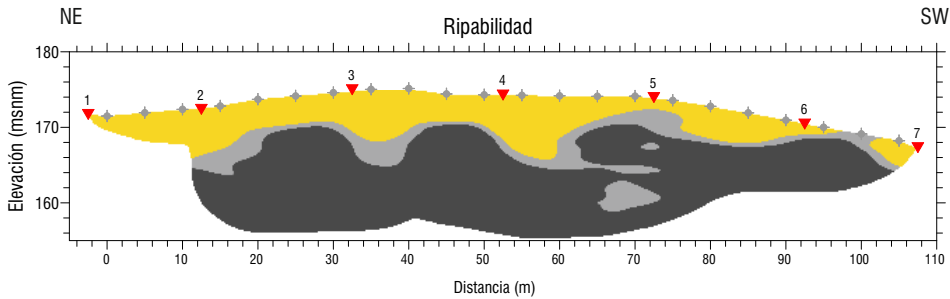
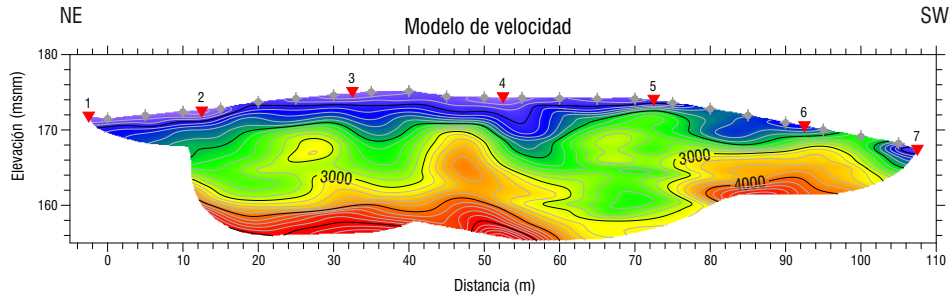
MODELOS DE RIPABILIDAD

PROYECTO

ESTUDIO GEOFÍSICO MEDIANTE TOMOGRAFÍA SÍSMICA DE REFRACCIÓN PARA EL PROYECTO BÁSICO DE CONSTRUCCIÓN DE LA VARIANTE DE LESAKA (COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA)

RESPONSABLE	S.E.M.	VERSIÓN	Nº: 1
ESCALA	ORIGEN A3 1:800	FECHA	Septiembre 2025
		PLANO	AS-4

TMS-4
Ripabilidad



PARÁMETROS DE LA INVERSIÓN
20 iteraciones WET (Wavepath Eikonal Tomography)
RMS error final 8,3% = 1,15ms
Frecuencia sísmica de cálculo: 50Hz (frente de ondas con un ancho del 2.5%)
Modelo inicial: Gradiente vertical 1D

Ubicación: Lesaka (Comunidad Foral de Navarra)

LEYENDA

Geofono Punto de golpeo

Velocidad sísmica (m/s)

Ripabilidad (DSR)

ESCALA GRÁFICA

0 5 10 15 20 metros

CONSULTOR

EVEREST Geophysics

CLIENTE

wsp

TÍTULO DEL PLANO

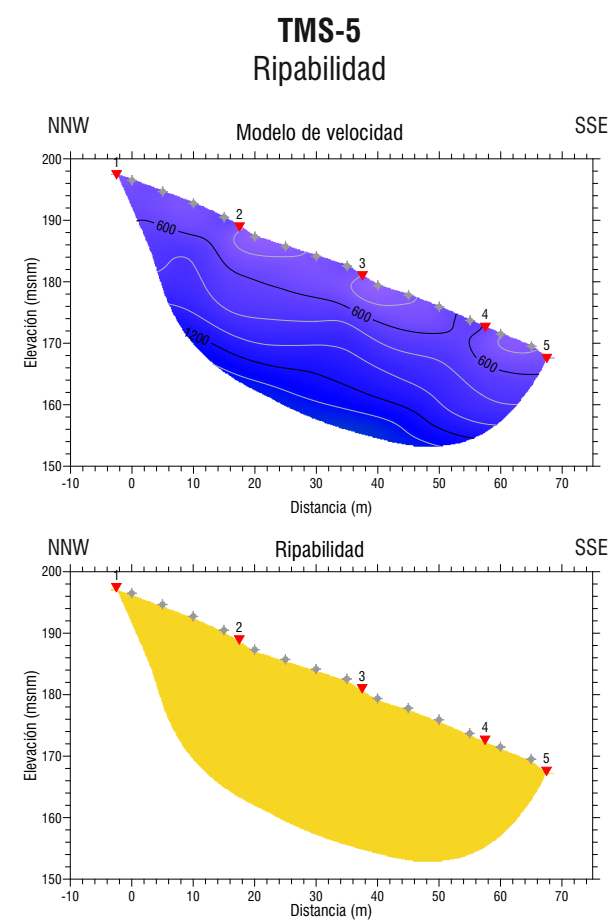
MODELOS DE RIPABILIDAD

PROYECTO

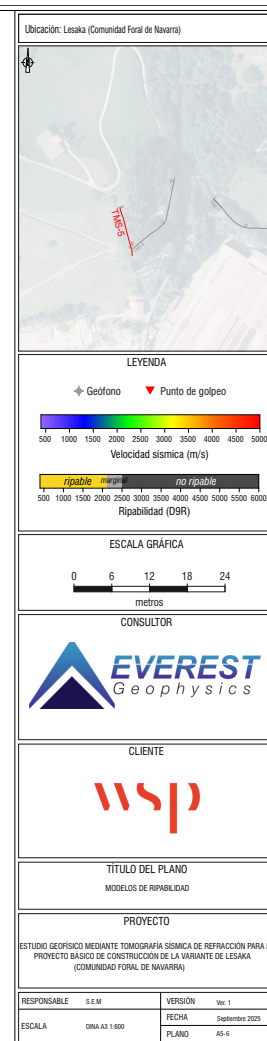
ESTUDIO GEOFÍSICO MEDIANTE TOMOGRAFÍA SÍSMICA DE REFRACCIÓN PARA EL PROYECTO BÁSICO DE CONSTRUCCIÓN DE LA VARIANTE DE LESAKA (COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA)

RESPONSABLE	S.E.M.	VERSIÓN	Nº: 1
ESCALA	ORIGEN A3 1:800	FECHA	Septiembre 2025
		PLANO	AS-5

ANEJO 7. REFERENCIAS



PARÁMETROS DE LA INVERSIÓN
 20 iteraciones WET (Wavepath Eikonal Tomography)
 RMS error final 5,8%=3,01ms
 Frecuencia sísmica de cálculo: 50Hz (frente de ondas con un ancho del 10,0%)
 Modelo inicial: Gradiente vertical 1D



- Aki, K., 1957, Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to micro-tremors: *Bull. Earth. Res. Inst.*, v. 35, p. 415-456.
- Aki, K., 1965, A note on the use of microseisms in determining the shallow structures of the Earth's crust: *Geophysics*, v. 30, p. 665-666.
- Al-Hunaidi, M.O., 1992, Difficulties with phase spectrum unwrapping in spectral analysis of surface waves nondestructive testing of pavements, *Can. Geotech. J.*, v. 29, p. 506-511.
- Al-Hunaidi, M.O., and Rainer, J.H., 1995, Analysis of multi-mode signals of the SASW method, *Proc 7th Int. Conf. Soil Dynamics and Earthquake Eng.*, p. 259-266.
- Aouad, M.F., 1993, Evaluation of Flexible Pavements and Subgrades Using the Spectral-Analysis-of-Surface-Waves (SASW) Method, PhD thesis, Univ. of Texas at Austin, Texas.
- Asten, M.W., 1978, Geological control on the three-component spectra of Rayleigh-wave microseisms: *Bull., Seism. Soc. Am.*, v. 68, p. 1623-1636.
- Asten, M.W., and Henstridge, J.D., 1984, Array estimators and the use of microseisms for reconnaissance of sedimentary basins: *Geophysics*, v. 49, p. 1828-1837.
- Beaty, K.S., Schmitt, D.R. and Sacchi, M., 2002, Simulated annealing inversion of multimode Rayleigh wave dispersion curves for geological structure, *Geophys. J. Int.*, v. 151, p. 622-631.
- Bjurström, H., and Ryden, N., 2016, Detecting the thickness mode frequency in a concrete plate using backward wave propagation: *J. Acoust. Soc. Am.*, 139 (2), 649-657.
- Capon, J., 1969, High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis: *Proc. IEEE*, v. 57, p. 1408-1418.
- Dal Moro, G., Pipan, M., Forte, E., Finetti, I., 2003, Determination of Rayleigh wave dispersion curves for near surface applications in unconsolidated sediments, Expanded Abstract, Society of Exploration Geophysicists, p. 1247-1250.
- Dobrin, M.B., 1976, Introduction to Geophysical Prospecting: McGraw-Hill Book Co.
- Fonquinos Mera, R., 1995, Dynamic nondestructive testing of pavements, PhD thesis, Univ. of Texas at Austin, Texas.
- Forbriger, T., 2003a, Inversion of shallow-seismic wavefields part 1: wavefield transformation, *Geo-physical Journal International*, v. 153, p. 719-734.
- Forbriger, T., 2003b, Inversion of shallow-seismic wavefields Part II: Inferring subsurface properties from wavefield transforms. *Geophys. J. Int.*, Vol. 153, 735-752
- Foti, S., 2000, Multistation methods for geotechnical characterization using surface waves: PhD thesis, Politecnico di Torino, Italy.
- Fuchs, K., and Muller, G., 1971, Computation of synthetic seismograms with the reflectivity method and comparison with observation: *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.*, 23, 417-433.

- Gabriels, P., Snider, R., and Nolet, G., 1987, In situ measurements of shear-wave velocity in sediments with higher-mode Rayleigh waves: *Geophys. Prospecting*, 35, 187-196.
- Ganji, V., Gucunski, N., and Nazarian, S., 1998, Automated inversion procedure for spectral analysis of surface waves, *J. Geotech. Eng., ASCE*, v. 124, n. 8, p. 757-770.
- Gordon, M.A., 1997, Application of field seismic geophysics to the measurement of geotechnical stiff-ness parameters, PhD thesis, Univ. of Surrey, UK.
- Gucunski, N., Ganji, V., and Maher, M.H., 1996, Effects of obstacles on Rayleigh wave dispersion obtained from the SASW test: *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, v. 15, n. 4, p. 223-231.
- Gucunski, N., and Woods, R.D., 1992, Numerical simulation of the SASW test, *Soil Dyn and Earthquake Eng. J.*, v. 11, n. 4, p. 213-227.
- Haskell, N. A. 1953, The dispersion of surface waves on multilayered media, *Bull. Seismological Soc. of Am.*, v. 43, n. 1, p. 17-34.
- Heisey, J.S., Stokoe II, K.H., and Meyer, A.H., 1982, Moduli of pavement systems from Spectral Analysis of Surface Waves, *Transp. Res. Rec.*, v. 852, Washington D.C, p. 22-31.
- Hiltunen, D.R., and Woods, R.D., 1990, Variables affecting the testing of pavements by the surface wave method, *Transp. Res. Rec.*, v. 1260, p. 42-52.
- Hiltunen, D.R., and Gucunski, N., 1994, Annotated bibliography on SASW, in Geophysical characterization of sites, ISSMFE Technical Committee #10, edited by R.D. Woods, Oxford Publishers, New Delhi.
- Hossain, M.M., and Drnevich, V.P., 1989, Numerical and optimization techniques applied to surface waves for backcalculation of layer moduli, In ASTM special technical publication 1026, Nondestructive testing of pavements and back calculation of moduli, Editors Bush III, A.J., and Baladi, G.Y., p. 649-669.
- Ivanov, J., Park, C.B., Miller, R.D. and, Xia, J., 2000b, Mapping Poisson's ratio of unconsolidated materials from a joint analysis of surface-wave and refraction events, Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems (SAGEEP 2000), Washington D.C, February 20-24.
- Jones, R., 1955, A vibration method for measuring the thickness of concrete road slabs in situ, *Magazine of Concrete Research*, v. 7, n. 20, p. 97-102.
- Jones, R., 1962, Surface wave technique for measuring the elastic properties and thickness of roads: Theoretical development, *British Journal of Applied Physics*, v.13, p. 21-29.
- Kanlı, A. I., Tildy, P., Pronay, Z., Pinar, A., and Hermann, L., 2006, Vs30 mapping and soil classification for seismic site effect evaluation in Dinar region, SW Turkey: *Geophys. J. Int.*, 165, 223-235.
- Kanlı, A.I., Kang, T.S., Pinar, A., Tildy, P., Pronay, Z., 2008, A systematic geophysical approach for site response of the Dinar region, Southwestern Turkey: *Journal of Earthquake Engineering*, 12(S2), 165-174.

- Kaufmann, R.D., J. Xia, R.C. Benson, L.B. Yuhr, D.W. Casto, and C.B. Park, 2005, Evaluation of MASW data acquired with a hydrophone streamer in a shallow marine environment: *Journal of Environmental & Engineering Geophysics*, v. 10, n. 2, p. 87-98.
- Krausse, H. F., Müller, D., Requadt, H., Campos Fernández, J., García-Dueñas, V., Garrote, A., Navarro-Vilá, F., Velasco, F., Solé Sedó, J., & Villalobos Vilches, L. (1972). Mapa geológico de España, hoja 65: Vera de Bidasoa (Escala 1:50.000). Instituto Geológico y Minero de España (IGME).
- Louie, J.N., 2001, Faster, better: shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays; *Bulletin of the Seismological Society of America*, v. 91, n. 2, p. 347-364.
- Lowrie, W. (2007), *Fundamentals of Geophysics*, 2 ed., Cambridge University Press, Cambridge, DOI: 10.1017/CBO9780511807107.
- Martincek, G., 1994, *Dynamics of pavement structures*, E & FN Spon and Ister Science Press, Slovak Republic.
- McMechan, G., and Yedlin, M.J., 1981, Analysis of dispersive waves by wave field transformation, *Geophysics*, v. 46, n. 6, p. 869-874.
- Menke, W. (1989). *Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory*. Academic Press, 4 oct. 1989, 289 páginas. Priem, H., Boelrijk, N., Verschure, R., Hebeda, E. and Floor, P. (1966). Isotopic evidence for upper-Cambrian or lower-Ordovician granite emplacement in the Vigo area NW Spain. *Geol. en Mijnbouw*, 45, 36-40.
- Menke, W. (2012), *Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory*, 330 pp., Academic Press.
- Miller, R.D., Xia, J., Park, C.B., and Ivanov, J.M., 1999, Multichannel analysis of surface waves to map bedrock, *Kansas Geological Survey, The Leading Edge*, December, p. 1392-1396.
- Mokhtar, T.A., Herrmann, R., and Russell, D.R., 1988, Seismic velocity and Q model for the shallow structure of the Arabian shield from short-period Rayleigh waves: *Geophysics*, 53, 1379-1387.
- Nasseri-Moghaddam, A., 2006, Study of the effect of lateral inhomogeneities on the propagation of Rayleigh waves in an elastic medium: PhD thesis, Univ. of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada.
- Nazarian, S., Stokoe II, K.H., and Hudson, W.R., 1983, Use of spectral analysis of surface waves method for determination of moduli and thicknesses of pavement systems, *Transp. Res. Rec.* v. 930, Washington DC, p. 38-45.
- Nazarian, S., Stokoe II, K.H., Briggs, R.C., and Rogers, R., 1987, Determination of pavement layer thicknesses and moduli by SASW method, *Transp. Res. Rec.* v. 1196, Washington DC, p. 133-150.
- Okada, H., 2003, The microtremor survey method; *Geophysical monograph series*, no. 12, published by Society of Exploration Geophysicists (SEG), Tulsa, OK.

- O'Neill, A., 2003, Full-waveform reflectivity for modeling, inversion and appraisal of seismic surface wave dispersion in shallow site investigations, Ph.D. thesis, The University of Western Australia, Australia.
- O'Neill, A., and Matsuoka, T., 2005, Editorial on the surface wave method: Special Edition on Surface Wave Method, in *Journal of Environmental & Engineering Geophysics*, v. 10, no. 3.
- Park, C.B., Miller, R.D., Steeples, D. W., and Black, R. A., 1996, Swept impact seismic technique (SIST): *Geophysics*, v. 61, n. 6, pp. 1789-1803.
- Park, C.B., Miller, R.D., and Xia, J., 1998a, Imaging dispersion curves of surface waves on multi-channel record: 68th Ann. Internat. Mtg. Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, p. 1377-1380.
- Park, C.B., Miller, R.D., and Xia, J., 1998b, Ground roll as a tool to image near-surface anomaly: 68th Ann. Internat. Mtg. Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, p. 874-877.
- Park, C., Miller, R. and Xia J. (1999) Multichannel analysis of surface waves (MASW) *Geophysics* 64(3), pp. 800-808.
- Park, C.B., Miller, R.D., and Xia, J., 2001, Offset and resolution of dispersion curve in multichannel analysis of surface waves (MASW): *Proceedings of the SAGEEP 2001*, Denver, Colorado, SSM4.
- Park, C.B., Miller, R.D., and Miura, H., 2002, Optimum field parameters of an MASW survey [Exp. Abs.]: SEG-J, Tokyo, May 22-23, 2002.
- Park, C., R. Miller, D. Laflen, N. Cabrillo, J. Ivanov, B. Bennett, and R. Huggins, 2004, Imaging dispersion curves of passive surface waves [Exp. Abs.]: *Soc. Expl. Geophys.*, p. 1357-1360.
- Park, C.B., Miller, R.D., N. Ryden, J. Xia, and J. Ivanov, 2005, Combined use of active and passive surface waves: *Journal of Environmental & Engineering Geophysics*, v. 10, no. 3, p. 323-334.
- Park, C.B., 2005, MASW - Horizontal resolution in 2-D shear-wave velocity (V_s) mapping: *Kansas Geological Survey Open-file Report 2005-4*.
- Park, C.B., and Miller, R.D., 2005a, Seismic characterization of wind turbine sites near Lawton, Oklahoma, by the MASW method: *Kansas Geological Survey Open-file Report 2005-22*.
- Park, C.B., and Miller, R.D., 2005b, Seismic characterization of wind turbine sites in Kansas by the MASW method: *Kansas Geological Survey Open-file Report 2005-23*.
- Park, C.B., Miller, R.D., and N. Ryden, 2006, Roadside seismic survey utilizing traffic noise: *Proceedings of the NDE Conference on Civil Engineering*, St. Louis, MO, August 14-18, p. 317-324.
- Park, C.B., Miller, R.D., Xia, J., and Ivanov, J., 2007, Multichannel analysis of surface waves (MASW)-active and passive methods: *The Leading Edge*, January.

- Park, C. B., and Miller, R.D., 2008, Roadside passive multichannel analysis of surface waves (MASW): *Journal of Environmental & Engineering Geophysics*, v. 13, no.1, p. 1-11.
- Park, C.B., 2008, Imaging dispersion of passive surface waves with active scheme: *Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems (SAGEEP 2008)*, Philadelphia, April 6-10, Proceedings on CD Rom.
- Park, C.B., and Carnevale, M., 2009, 3D MASW: *Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems (SAGEEP 2009)*, Fort Worth, TX, March 29-April 2.
- Park, C.B., 2010, Roadside passive MASW survey - dynamic detection of source location: *Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems (SAGEEP 2010)*, Keystone, Colorado, April 11-15, Proceedings on CD Rom.
- Park, C.B., and Carnevale, M., 2010, Optimum MASW survey - revisit after a decade of use: *Geo-Institute Ann. Mtng (GeoFlorida 2010)*, February 20-24, 2010, West Palm Beach, FL.
- Park, C.B., and Taylor, C., 2010, 3D MASW Characterization of Sinkhole: A Pilot Study at USF Geology Park, Tampa, FL: *Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems (SAGEEP 2010)*, Keystone, Colorado, April 11-15.
- Park, C. B., 2011, Imaging dispersion of MASW data - full vs. selective offset scheme: *Journal of Environmental & Engineering Geophysics*, v. 16, no. 1, p. 13-23.
- Park, C., 2016, MASW analysis of bedrock velocities (V_s and V_p): [Exp. Abs.] 86th Ann. Mtg. SEG, October 16-21, 2016, Dallas, Texas.
- Park, C., 2019, ParkSEIS-3D for 3D MASW surveys: *FastTIMES* (special issue in near-surface Geophysics software), *Environmental and Engineering Geophysics Society (EEGS)*, v. 24, p. 3-6.
- Pickett, G., 1945, Dynamic testing of pavements, *Journal of the American Concrete Institute*, v. 16, n. 5, p. 473-489.
- Phillips, C., Cascante, G., and Hutchinson, J., 2004, Evaluation of lateral homogeneity with the distance analysis of surface waves: *Canadian Geotechnical Journal*, v.41, n. 2, p. 212-226.
- Press, F., and Dobrin, M. B., 1956, Seismic wave studies over a high-speed surface layer, *Geophysics*, v. 21, n. 2, p. 285-298.
- Reynolds, J. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, 2nd Edition, 710pp.
- Rix, G.J., Stokoe II, K. H., and Roesset, J.M., 1991, Experimental study of factors affecting the Spectral Analysis of Surface Waves method, Research report 1123-5, Center for Transportation Research, The University of Texas at Austin.
- Robinson, E.A., and Treitel, S., 1980, *Geophysical Signal Analysis*: Prentice-Hall, Inc.

- Roesset, J.M., Chang, D.W., Stokoe II, K.H., and Auoad, M., 1990, Modulus and thickness of the pave-ment surface layer from SASW tests, *Transp. Res. Rec.*, v. 1260, p. 53-63.
- Ryden, N., C.B. Park, P. Ulriksen, and R.D. Miller, 2003, Lamb wave analysis for non-destructive test-ing of concrete plate structures: *Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems (SAGEEP 2003)*, San Antonio, Texas, April 6-10, INF03.
- Ryden, N., C.B. Park, P. Ulriksen, and R.D. Miller, 2004, Multimodal approach to seismic pavement testing: *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, v. 130, p. 636-645.
- Ryden, N., and Lowe M. J. S., 2004, Guided wave propagation in three-layer pavement Structures: *Journal of the Acoustical Society of America*, v. 116, p. 2902-2913.
- Ryden, N., Lowe, M. J. S., Cawley, P., and Park, C. B., 2006, Non-contact surface wave measurements using a microphone; *Proceedings in Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems (SAGEEP)*, April 2-6, Seattle, WA.
- Ryden, N., and C.B. Park, 2006, Inversion of surface waves using phase velocity spectra: *Geophysics*, v. 71, n. 4, p. 49-58.
- Ryden, N., 2016, Enhanced impact echo frequency peak by time domain summation of signals with different source receiver spacing: *Smart Structures and Systems*, vol. 17, no. 1, 59-72.
- Ryden, N., Starkhammar, J., Yilmaz, O., Bjurström, H., Gudmarsson, A., and Tofeldt, O., 2019, Small scale seismic testing using microphones: *Proceedings of Fifth International Conference on Engineering Geophysics (ICEG-2019)*, Al Ain, UAE, October 21-24, 2019.
- Schultz, P.S., and Claerbout, J.F., 1978, Velocity estimation and downward continuation by wavefront synthesis: *Geophysics*, vol. 43, p. 691-714.
- Schwab, F. A., and Knopoff L. (1972). *Fast Surface Wave and Free Mode computations. Methods in Computational Physics: Advances in Research and Applications*, 11, 87-180.
- Sezawa, K., 1938a, Anomalous dispersion of elastic surface waves, *Proc. Imp. Acad.*, v. 14, p. 246-249.
- Sezawa, K., 1938b, Anomalous dispersion of elastic surface waves II, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, v. 16, p. 225-233.
- Sheriff, R. E., 2002, *Encyclopedic dictionary of applied geophysics: SEG Geophysical Reference Series No. 13*, 4th Ed., Society of Exploration Geophysicists (SEG), Tulsa, Oklahoma, 429 pp.
- Sheriff RE (2002): *Encyclopedic Dictionary of Exploration Geophysics* (4th ed.). – Soc. Of Expl. Geophys.; Tulsa, USA.

- Sheriff, R.E., and Geldart, L.P., 1982, Exploration seismology, Data-processing and interpretation: Cambridge Univ. Press.
- Sheu, J.C., Stokoe, K. H., II, and Roesset, J. M., 1988, Effect of reflected waves in SASW testing of pavements: Transportation Res. Record, v. 1196, p. 51–61.
- Socco, L. V. and Boiero, D. (2008). Improved Monte Carlo inversion of surface wave data. Geophysical Prospecting, 56(3):357–371
- Stokoe II, K.H., Wright, S.G., Bay, J.A., and Roesset, J.M., 1994, Characterization of geotechnical sites by SASW method, in Geophysical characterization of sites.
- ISSMFE Technical Committee #10, edited by R.D. Woods, Oxford Publishers, New Delhi.
- Strobbia, C., 2003, Surface wave methods: acquisition, processing and inversion, Ph.D. thesis, Politecnico di Torino, Italy.
- Suto, K, 2007, Multichannel analysis of surface waves (MASW) for investigation of ground competence: an introduction, in “Engineering Advances in Earthworks”, Proceedings of the Sydney Chapter 2007 Symposium, Australian Geomechanics Society, p. 71-81.
- Suzuki, H, and Hayashi, K., 2003, Shallow s-wave velocity sounding using the Microtremors array measurements and the surface wave method; Proceedings of the SAGEEP 2003, San Antonio, Texas, SUR08, Proceedings on CD ROM.
- Telford, L. P. Geldart & R. E. Sheriff 1991. Applied Geophysics, 2nd ed. xx + 770 pp. Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne, Sydney: Cambridge University Press.
- Telford, W. M., Geldart, L. P. & Sheriff, R. E. 1991. Applied Geophysics, 2nd ed. 770pp. Cambridge. New York, Port Chester, Melbourne, Sydney.
- Tokimatsu, K., Kuwayama, S., Tamura, S., and Miyadera, Y., 1991, Vs determination from steady state Rayleigh wave method, Soils and Found, v. 31, n. 2, p. 153-163.
- Tokimatsu, K., Tamura, S., and Kojima, H., 1992, Effects of multiple modes on Rayleigh wave dispersion characteristics, J. Geotech. Engrg., ASCE, v. 118, n. 10, p.1529-1543.
- Tokimatsu, K., 1997. Geotechnical site characterization using surface waves, Earthquake geotechnical engineering, Ishihara (ed.), Balkema, Rotterdam.
- Van der Pol, C., 1951, Dynamic testing of road constructions, J. appl. Chem., v. 1, July, p. 281-290.
- Vidale, R.F., 1964, The dispersion of stress waves in layered media overlaying a half space of lesser acoustic rigidity, Ph.D. Thesis, Univ. of Wisconsin.
- Williams, T.P., and Gucunski, N., 1995, Neural networks for backcalculation of moduli from SASW test, J. Comp. In Civ. Engrg, ASCE, v. 9, n. 1, p. 1-8.
- Xia, J., Miller, R.D., and Park, C.B., 1999, Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh waves: Geophysics, v. 64, n. 3, p. 691-700.

- Xia, J., R.D. Miller, and C.B. Park, 2000a, Advantages of calculating shear-wave velocity from surface waves with higher modes: [Exp. Abs.]: Soc. Expl. Geophys., p. 1295-1298.
- Xia, J., Miller, R.D., Park, C.B., and Ivanov, J., 2000b, Construction of 2-D vertical shear-wave velocity field by the Multichannel Analysis of Surface Wave technique, Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems (SAGEEP 2000), Washington D.C, February 20-24, p. 1197-1206.
- Xia, J., Chen, C., Li, P.H., and Lewis, M.J., 2004, Delineation of a collapse feature in a noisy environment using a multichannel surface wave technique: Geotechnique, v. 54, n. 1, p. 17-27.
- Yilmaz, O., 1987, Seismic data processing: SEG, Tulsa, Oklahoma.
- Yilmaz O (2001): Seismic Data Analysis (vol 1 and 2, 2nd ed.). – Soc. of Expl. Geophys.; Tulsa, USA.
- Yuan, D., and Nazarian, S., 1993, Rapid determination of layer properties from surface wave method, Transp. Res. Rec., v. 1377, p. 159-166.
- Zywicki, D.J., 1999, Advanced signal processing methods applied to engineering analysis of seismic surface waves, Ph.D. thesis, Georgia Institute of Technology.

APÉNDICE N°7: ENSAYOS PRESIOMÉTRICOS

LECTURAS INSTRUMENTALES				CALIBRACIONES			LECTURAS CORREGIDAS			Deformación unitaria
Presión	Radio 30	Radio 60	Radio 60-30	Reacción (bar)	Presión (r)	Expansión (r)	Presión	Radio 30	Radio 60	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00	0,00	0,00	-0,08
1,20	0,28	0,30	0,02	0,18933	-0,02528	-0,01450	1,01	0,32	0,34	-0,08
2,00	0,78	0,82	0,04	0,44075	-0,02440	-0,00105	1,56	0,81	0,85	-0,06
3,10	1,46	1,49	0,03	0,59459	-0,02319	0,01724	2,51	1,47	1,50	-0,05
4,10	2,24	2,28	0,04	0,69963	-0,02209	0,03821	3,40	2,22	2,26	-0,03
5,00	2,98	3,02	0,04	0,76968	-0,02110	0,05811	4,23	2,94	2,98	-0,01
6,00	3,30	3,31	0,01	0,79471	-0,02000	0,06672	5,21	3,25	3,26	0,00
7,00	3,35	3,35	0,00	0,79840	-0,01890	0,06806	6,20	3,30	3,30	0,00
8,00	3,37	3,37	0,00	0,79986	-0,01780	0,06860	7,20	3,32	3,32	0,00
10,00	3,39	3,39	0,00	0,80131	-0,01560	0,06914	9,20	3,34	3,34	0,00
12,00	3,40	3,40	0,00	0,80203	-0,01340	0,06941	11,20	3,34	3,34	0,00
15,00	3,42	3,42	0,00	0,80347	-0,01010	0,06995	14,20	3,36	3,36	0,00
18,00	3,46	3,47	0,01	0,80633	-0,00680	0,07102	17,19	3,40	3,41	0,00
21,00	3,51	3,52	0,01	0,80985	-0,00350	0,07237	20,19	3,44	3,45	0,00
23,00	3,57	3,58	0,01	0,81401	-0,00130	0,07398	22,19	3,50	3,51	0,00
26,00	3,63	3,64	0,01	0,81810	0,00200	0,07560	25,18	3,55	3,56	0,01
30,00	3,68	3,69	0,01	0,82145	0,00640	0,07694	29,18	3,60	3,61	0,01
25,00	3,69	3,69	0,00	0,82212	0,00090	0,07721	24,18	3,61	3,61	0,01
20,00	3,68	3,68	0,00	0,82145	-0,00460	0,07694	19,18	3,61	3,61	0,01
15,00	3,62	3,62	0,00	0,81742	-0,01010	0,07533	14,18	3,55	3,55	0,01
20,00	3,64	3,64	0,00	0,81877	-0,00460	0,07586	19,18	3,57	3,57	0,01
30,00	3,68	3,69	0,01	0,82145	0,00640	0,07694	29,18	3,60	3,61	0,01
35,00	3,73	3,74	0,01	0,82477	0,01190	0,07828	34,18	3,64	3,65	0,01
40,00	3,78	3,79	0,01	0,82803	0,01740	0,07963	39,17	3,68	3,69	0,01

CALIBRACIÓN DE CAMISA
<i>Fuerza de reacción de la goma</i>
$P = 0,2454 \ln(r) + 0,50172$
<i>Disminución de espesor por presión sobre la goma</i>
$r = 0,0011 P + 0,0266$
<i>Disminución de espesor por la expansión dimensional de la camisa</i>
$\text{Dif [n]} = 0,02689 r - 0,02203$

PARÁMETROS DE CÁLCULO			
<i>Estado inicial</i>			
Superficie:	Def:	- mm	P: - bar
Ensayo:	Def:	3,30 mm	P: 6,20 bar
Radio Inicial:		39,30 mm	

Inicio tramo elástico (1)	
Radio de la cavidad p1:	39,30 mm
Presión en p1:	6,20 bar
Final tramo elástico considerado (2)	
Radio de la cavidad p2:	39,36 mm
Presión en p2:	14,20 bar

Inicio rama de carga	
Radio de la cavidad p1':	39,30 mm
Presión en p1':	6,20 bar
Final rama de carga	
Radio de la cavidad p2':	39,36 mm
Presión en p2':	14,20 bar

Inicio rama de recarga	
Radio de la cavidad p1'':	39,57 mm
Presión en p1'':	19,18 bar
Final rama de recarga	
Radio de la cavidad p2'':	39,68 mm
Presión en p2'':	39,17 bar

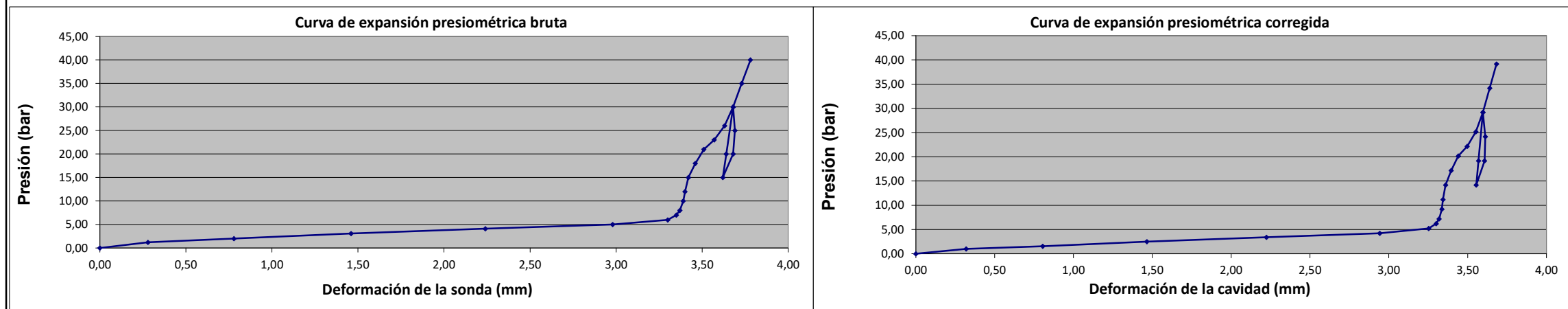
PRESIÓN DE FLUENCIA (Pi)	PRESION LIMITE (P _L)
14,20 bar	>40,00 bar

DEFORMACIÓN RADIAL UNITARIA			
$\varepsilon_i = \frac{r_i - r_o}{r_o}$			
Ciclo carga-descarga 1		Ciclo carga-descarga 2	
ε_{1r} =	0,0000	$\varepsilon_{1r'}$ =	0,0068
ε_{2r} =	0,0015	$\varepsilon_{2r'}$ =	0,0097

MÓDULO PRESIOMÉTRICO			
$E_p = (1 + \nu) \cdot \frac{\Delta P}{\Delta \varepsilon_i}$			
Ciclo carga-descarga 1		Ciclo carga-descarga 2	
Ep''=	6621,31 kp/cm ²	Ep'''=	8596,90 kp/cm ²
Coeficiente de Poisson considerado (ν)			
0,25			

MÓDULO DE CORTE			
$G = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta \varepsilon_i}$			
Ciclo carga-descarga 1		Ciclo carga-descarga 2	
G' =	2648,52 kp/cm ²	G'' =	3438,76 kp/cm ²

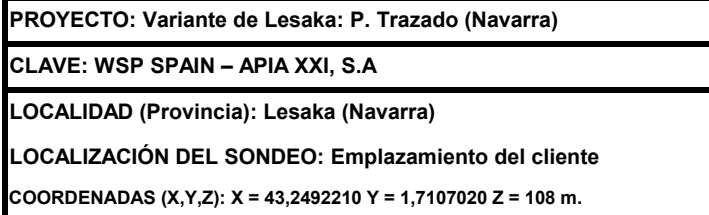
GRÁFICAS



Comentarios: La camisa se rompió.

Comentarios:

APÉNDICE N°8: ENSAYOS DE PERMEABILIDAD

**EMPRESA QUE REALIZA EL SONDEO: GTK**

FECHA Y HORA DE INICIO: 16/09/2025 14:00 h

ENSAYO REALIZADO
EN
EL SONDEO N°:

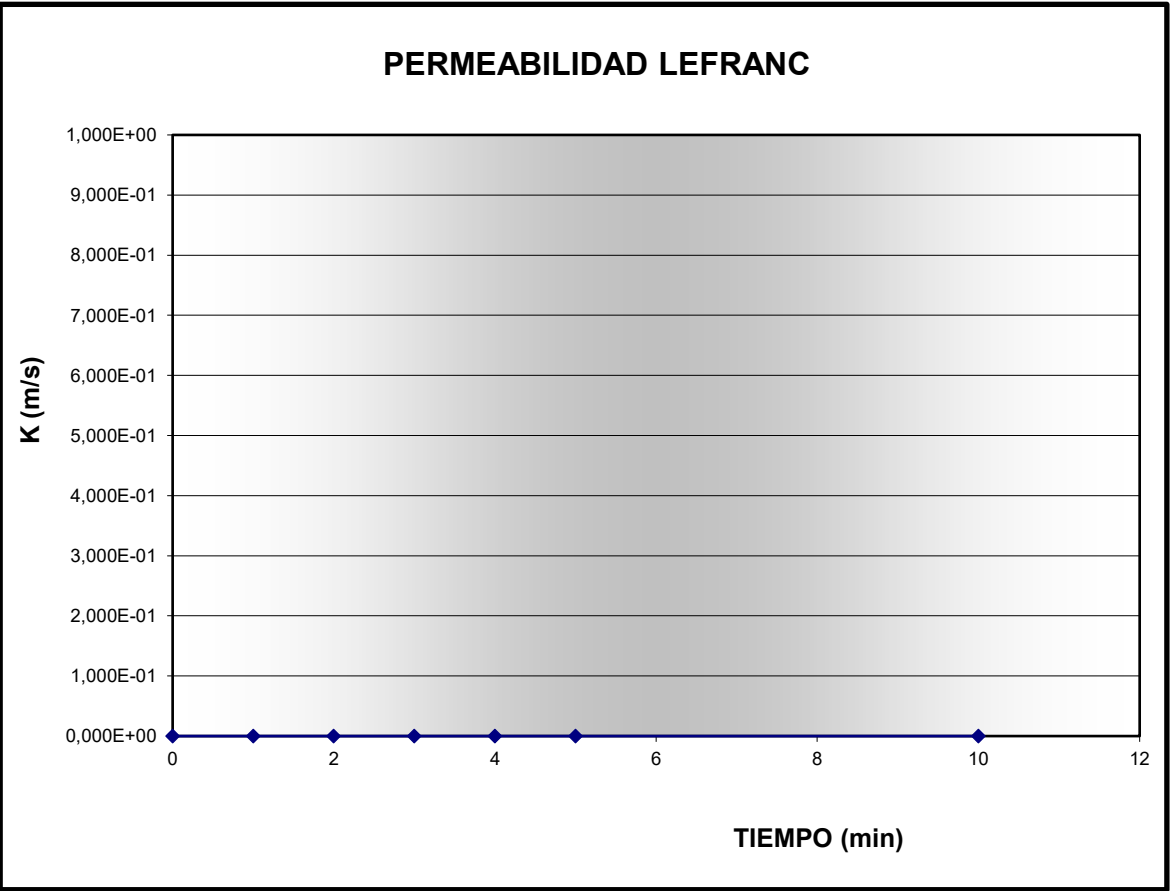
[illegible]

ENSAYO DE PERMEABILIDAD LEFRANC A CARGA CONSTANTE (con; $h/d > 4$ y sin capa impermeable)

DATOS DE CAMPO				
Fondo perforación (P)	13,00	m	1.300	cm
Fondo entubación (E)	13,00	m	1.300	cm
Longitud perforación (L)	13,00	m	1.300	cm
Nivel freático (F)	8,20	m	820	cm
Diámetro perforación (d)	86,00	mm	8,6	cm
Volumen admitido (V)	180,0	l	180.000	cm³
Tiempo (t)	20	min	1.200	s
Longitud del tramo ensayado (h)			13	cm
Longitud tramo saturado (Hs)			5	cm
Longitud tramo de llenado (H)			No se llena	cm
Caudal (Q) =	1,5E-01	l/s	150,0000	cm³/s
Coefficiente de forma =	1,354E-02			

DATOS DEL ENSAYO					
Tiempo (min.)	Tiempo (s)	litros	Q (cm³/s)	K (cm/s)	K (m/s)
0	0	0,0	0,000	-	-
1	60	18,0	300,000	-	-
2	60	18,0	300,000	-	-
3	60	18,0	300,000	-	-
4	60	18,0	300,000	-	-
5	60	18,0	300,000	-	-
10	300	90,0	300,000	-	-
				-	-
				-	-
V. TOTAL ADMITIDO		180,0	0,000E+00		

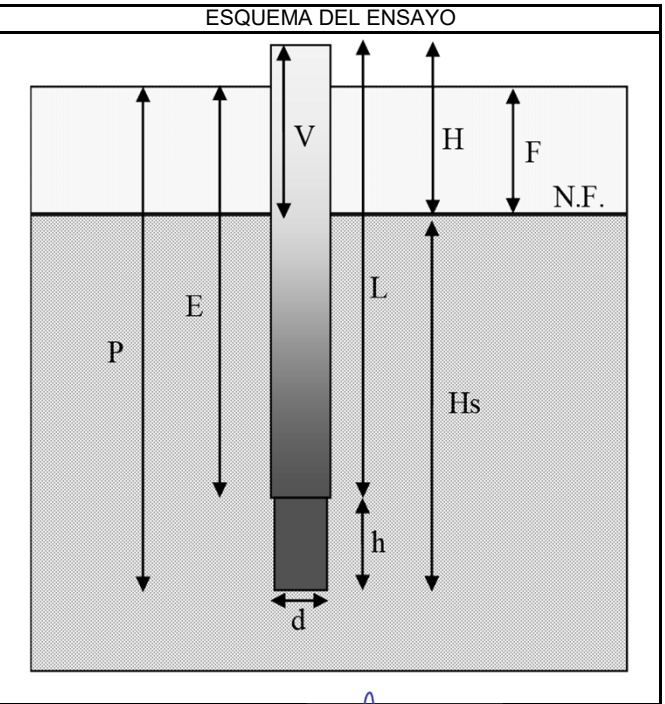
Permeabilidad (K)	- cm/s	- m/s
-------------------	--------	-------



Jimenez Salas (1981).

$$K = m \frac{Q}{H}$$

Para $h/d > 4$; $m = \frac{\ln \left(\frac{2h}{d} \right)}{2\pi \cdot h}$



Leyenda:		Normativa:
(1a) S/A/P/L/O: Fluido utilizado: Seco / Agua / Polímero / Lodo / Otro	(1d) Colores y trama, según Cartografía MAGNA.	Ensayo Lefranc. ASTM D4631-95(2000)
(1b) A/M/B: Pérdida de agua en la perforación: Alta / Media / Baja.	(1e) Incluir clave Magna en la descripción (Ej. T _{A1-2} , Q ₁ ...)	
(1c) A/M/B: Lavado de finos: Alto / Medio / Bajo.	Casillas en sombreado: parámetros a introducir.	

Firma: _____

Geólogo redactor. _____



PROYECTO: Variante de Lesaka: P. Trazado (Navarra)

CLAVE: WSP SPAIN – APIA XXI, S.A

LOCALIDAD (Provincia): Lesaka (Navarra)

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: Emplazamiento del cliente

COORDENADAS (X,Y,Z): X = 43,2492210 Y = 1,7107020 Z = 108 m.

EMPRESA QUE REALIZA EL SONDEO: GTK

EMPRESA QUE REALIZA EL ENSAYO: GTK

SUPERVISOR: Ignacio San José

GEÓLOGO: Ignacio San José

SONDISTA: Alejandro Lombera

AYUDANTE - SONDISTA: Alexander García

FECHA Y HORA DE INICIO: 16/09/2025 14:00 h

FECHA Y HORA DE FIN: 16/09/2025 15:00 h

CONDICIONES METEOROLÓGICAS: Buen tiempo

OBSERVACIONES:

ENSAYO REALIZADO EN EL SONDEO Nº:

S2

COLUMNA LITOLÓGICA DEL SONDEO											
Profundidad (m)	PERFORACIÓN			AGUA EN SONDEO			DESCRIPCIÓN DEL TESTIGO				
	Diámetro interior perforación (mm)	Diámetro revestimiento (mm)	Fluido utilizado (S/A/P/L/O) (1a)	Color	Pérdida (A/M/B) (1b)	Lavado de finos (A/M/B) (1c)	Profundidad del nivel freático (m)	Profun. techo de la capa (m)	Espesor capa (m)	Columna Estratigráfica (1d)	Descripción litológica (1e)
0,0											
1,0											
2,0											
3,0											
4,0											
5,0											
6,0											
7,0											
8,0											
9,0											
10,0											
11,0											
12,0											
13,0											
14,0											
15,0											
16,0											
17,0											
18,0											
19,0											
20,0											
21,0											
22,0											

En parte adjunto.

Leyenda:

(1a) S/A/P/L/O: Fluido utilizado: Seco / Agua / Polímero / Lodo / Otro

(1b) A/M/B: Pérdida de agua en la perforación: Alta / Media / Baja.

(1c) A/M/B: Lavado de finos: Alto / Medio / Bajo.

(1d) Colores y trama, según Cartografía MAGNA.

(1e) Incluir clave Magna en la descripción (Ej. T_{A1-2}, Q_{1-...})

Casillas en sombreado: parámetros a introducir

Normativa:

Ensayo Lugeón según; ASTM D4630-96

ENSAYO DE PERMEABILIDAD LUGEON

DATOS DE CAMPO			
Diámetro del sondeo (mm):	86	En (m):	0,086
Profundidad del nivel piezométrico (m):	8,20		
Diámetro interior de la tubería y varillaje (mm):	86	En (m):	0,086
Altura del manómetro sobre suelo (m):	1,5		
Profundidad del tramo ensayado			
Superior (m):	11,00	Longitud (m):	2,00
Inferior (m):	13,00	Prof.media (m):	12,00
Duración del escalón (min.):			
	10	En (seg):	600

Permeabilidad (Custodio y Llamas, 1996)

$$K = \frac{Q}{6.28 \cdot P \cdot l} \cdot Ln \frac{l}{r}$$

donde: Q, caudal. P, presión
l, longitud ensayada.
r, radio

Permeabilidad (González de Vallejo, 2002)

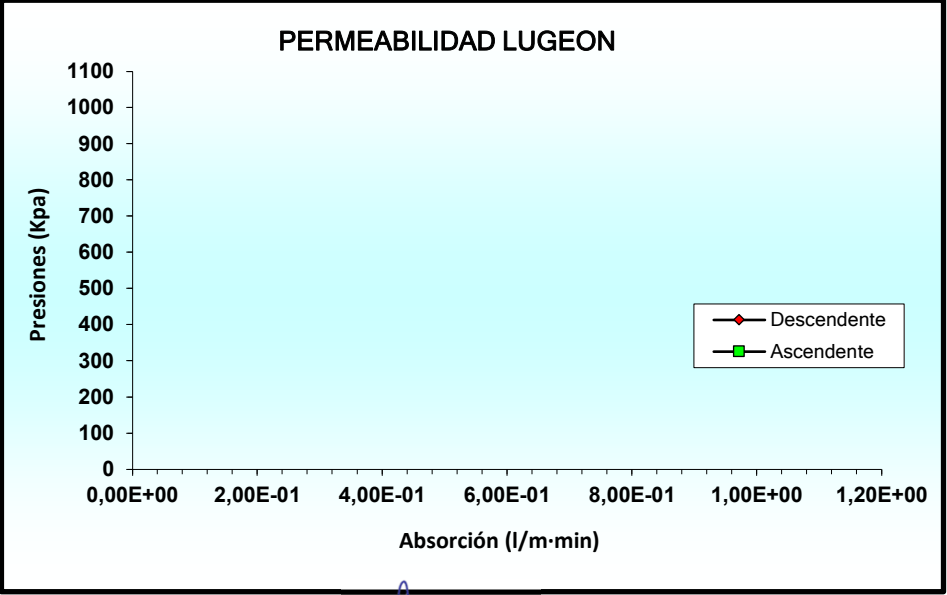
$$K_{U.L.} = \frac{V_{(t)}}{l_{(m)}} \cdot \frac{1000}{P_{(Kpa)}} \cdot \frac{10}{t_{(min)}} \quad 1.U.L = 1 \frac{l}{m \cdot min} = 10^{-5} \frac{cm}{s}$$

Datos del ensayo						
Escalones de presión efectiva. (Kpa) (2a)	Volumen admitido (l)	Potencial en el tramo (m)	Duración (min)	Caudal (m³/s)	Absorción en tramo ensayado (l/m·min)	K (m/s) (Custodio y Llamas)
No se consigue hacer el ensayo por la fracturación del terreno.						

Clasificación de macizos rocosos en función de la permeabilidad (Olalla y Sopeña, 1991)		
TIPO DE MACIZO	U.L.	Presión (Kpa)
Muy impermeable	0 - 1	1000
Prácticamente impermeable	1 - 3	1000
Permeable	> 3	1000
	1,5 - 6	500
Muy permeable	> 3	1000
	> 6	500

Resultados	
Volumen de agua inyectado a 1000 Kpa aprox., (10 bar) (l);	0,0
Duración del escalón, (min);	0
Longitud del tramo ensayado, (m):	2,00
Presión efectiva del escalón mayor, 1000 Kpa aprox. (Kpa);	0,0

PERMEABILIDAD EN UNIDADES LUGEÓN	U.L.
PERMEABILIDAD (González de Vallejo)	cm/s
PERMEABILIDAD MEDIA (Custodio y Llamas)	0,0000E+00 K (m/s):



Firma:

Geólogo redactor.



PROYECTO: Variante de Lesaka: P. Trazado (Navarra)

CLAVE: WSP SPAIN – APIA XXI, S.A

LOCALIDAD (Provincia): Lesaka (Navarra)

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: Emplazamiento del cliente

COORDENADAS (X,Y,Z): X = 43,2492210 Y = 1,7107020 Z = 108 m.

EMPRESA QUE REALIZA EL SONDEO: GTK

EMPRESA QUE REALIZA EL ENSAYO: GTK

SUPERVISOR: Ignacio San José

GEÓLOGO: Ignacio San José

SONDISTA: Alejandro Lombera

AYUDANTE - SONDISTA: Alexander García

FECHA Y HORA DE INICIO: 16/09/2025 15:00 h

FECHA Y HORA DE FIN: 16/09/2025 16:00 h

CONDICIONES METEOROLÓGICAS: Buen tiempo

OBSERVACIONES:

ENSAYO REALIZADO EN EL SONDEO Nº:

S2

COLUMNA LITOLÓGICA DEL SONDEO											
Profundidad (m)	PERFORACIÓN			AGUA EN SONDEO			DESCRIPCIÓN DEL TESTIGO				
	Diámetro interior perforación (mm)	Diámetro revestimiento (mm)	Fluido utilizado (S/A/P/L/O) (1a)	Color	Pérdida (A/M/B) (1b)	Lavado de finos (A/M/B) (1c)	Profundidad del nivel freático (m)	Profun. techo de la capa (m)	Espesor capa (m)	Columna Estratigráfica (1d)	Descripción litológica (1e)
0,0											
1,0											
2,0											
3,0											
4,0											
5,0											
6,0											
7,0											
8,0											
9,0											
10,0											
11,0											
12,0											
13,0											
14,0											
15,0											
16,0											
17,0											
18,0											
19,0											
20,0											
21,0											
22,0											

En parte adjunto.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD LUGEON

DATOS DE CAMPO

Diámetro del sondeo (mm):

86

En (m):

0,086

Profundidad del nivel piezométrico (m):

8,20

Diámetro interior de la tubería y varillaje (mm):

86

En (m):

0,086

Altura del manómetro sobre suelo (m):

1,5

Profundidad del tramo ensayado

Superior (m):

15,00

Longitud (m):

2,00

Inferior (m):

17,00

Prof.media (m):

16,00

Duración del escalón (min.):

10

En (seg):

600

Permeabilidad (Custodio y Llamas, 1996)

$$K = \frac{Q}{6.28 \cdot P \cdot l} \cdot Ln \frac{l}{r}$$

donde: Q, caudal. P, presión
l, longitud ensayada.
r, radio

Permeabilidad (González de Vallejo, 2002)

$$K_{U.L.} = \frac{V_{(t)}}{l_{(m)}} \cdot \frac{1000}{P_{(Kpa)}} \cdot \frac{10}{t_{(min)}} \quad 1.U.L = 1 \frac{l}{m \cdot min} = 10^{-5} \frac{cm}{s}$$

Datos del ensayo

Escalones de presión efectiva. (Kpa) (2a)	Volumen admitido (l)	Potencial en el tramo (m)	Duración (min)	Caudal (m³/s)	Absorción en tramo ensayado (l/m·min)	K (m/s) (Custodio y Llamas)
No se consigue hacer el ensayo por la fracturación del terreno.						

Clasificación de macizos rocosos en función de la permeabilidad (Olalla y Sopeña, 1991)		
TIPO DE MACIZO	U.L.	Presión (Kpa)
Muy impermeable	0 - 1	1000
Prácticamente impermeable	1 - 3	1000
Permeable	> 3	1000
	1,5 - 6	500
Muy permeable	> 3	1000
	> 6	500

Resultados	
Volumen de agua inyectado a 1000 Kpa aprox., (10 bar) (l);	0,0
Duración del escalón, (min);	0
Longitud del tramo ensayado, (m):	2,00
Presión efectiva del escalón mayor, 1000 Kpa aprox. (Kpa);	0,0

PERMEABILIDAD EN UNIDADES LUGEÓN

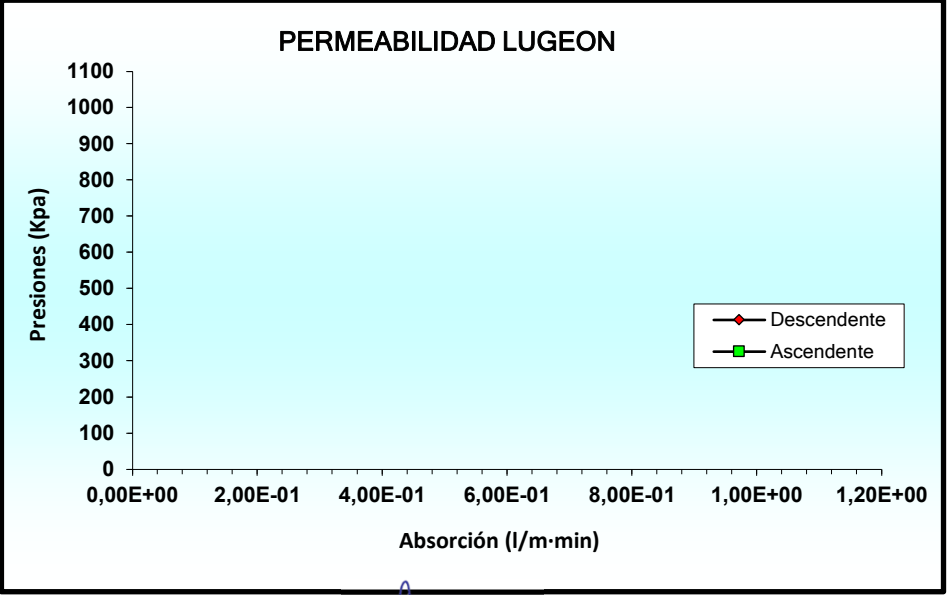
U.L.

PERMEABILIDAD (González de Vallejo)

cm/s

PERMEABILIDAD MEDIA (Custodio y Llamas)

0,0000E+00 K (m/s):



Leyenda:

(1a) S/A/P/L/O: Fluido utilizado: Seco / Agua / Polímero / Lodo / Otro

(1b) A/M/B: Pérdida de agua en la perforación: Alta / Media / Baja.

(1c) A/M/B: Lavado de finos: Alto / Medio / Bajo.

Casillas en sombreado: parámetros a introducir

Normativa: Ensayo Lugeón según; ASTM D4630-96

(1d) Colores y trama, según Cartografía MAGNA.

(1e) Incluir clave Magna en la descripción (Ej. T_{A1-2}, Q_{1-...})

(2a) Presión en la cámara de ensayo.

Firma:

Geólogo redactor.



PROYECTO: Variante de Lesaka: P. Trazado (Navarra)

CLAVE: WSP SPAIN – APIA XXI, S.A

LOCALIDAD (Provincia): Lesaka (Navarra)

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: Emplazamiento del cliente

COORDENADAS (X,Y,Z): X = 43,2493150 Y = 1,7127830 Z = 116 m

EMPRESA QUE REALIZA EL SONDEO: GTK

EMPRESA QUE REALIZA EL ENSAYO: GTK

SUPERVISOR: Ignacio San José

GEÓLOGO: Ignacio San José

SONDISTA: Alejandro Lombera

AYUDANTE - SONDISTA: Alexander García

FECHA Y HORA DE INICIO: 09/09/2025 14:30 h

FECHA Y HORA DE FIN: 09/09/2025 16:00 h

CONDICIONES METEOROLÓGICAS: Buen tiempo

OBSERVACIONES:

ENSAYO REALIZADO EN
EL SONDEO Nº:

S4

COLUMNA LITOLÓGICA DEL SONDEO

Profundidad (m)	PERFORACIÓN				AGUA EN SONDEO		DESCRIPCIÓN DEL TESTIGO					Profun. del ensayo (m)
	Diámetro interior perforación (mm)	Diámetro revestimiento (mm)	Fluido utilizado (S/A/P/L/O) (1a)	Color	Pérdida (A/M/B) (1b)	Lavado de finos (A/M/B) (1c)	Profundidad del nivel freático (m)	Profun. techo de la capa (m)	Espesor capa (m)	Columna Estratigráfica (1d)	Descripción litológica (1e)	
0,0												
1,0												
2,0												
3,0												
4,0												
5,0												
6,0												
7,0												
8,0												
9,0												
10,0												
11,0												
12,0												
13,0												
14,0												
15,0												
16,0												
17,0												
18,0												
19,0												
20,0												
21,0												
22,0												

En parte adjunto.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD LUGEON

DATOS DE CAMPO

Diámetro del sondeo (mm):	86	En (m):	0,086
Profundidad del nivel piezométrico (m):	12,45		
Diámetro interior de la tubería y varillaje (mm):	86	En (m):	0,086
Altura del manómetro sobre suelo (m):	1,5		
Profundidad del tramo ensayado			
Superior (m):	15,50	Longitud (m):	2,00
Inferior (m):	17,50	Prof.media (m):	16,50
Duración del escalón (min.):			
	10	En (seg):	600

Permeabilidad (Custodio y Llamas, 1996)
$$K = \frac{Q}{6.28 \cdot P \cdot l} \cdot \ln \frac{l}{r}$$

donde: Q, caudal. P, presión
l, longitud ensayada.
r, radio

Permeabilidad (González de Vallejo, 2002)

$$K_{U.L.} = \frac{V_{(t)}}{l_{(m)}} \cdot \frac{1000}{P_{(Kpa)}} \cdot \frac{10}{t_{(min)}} \quad 1.U.L = 1 \frac{l}{m \cdot min} = 10^{-5} \frac{cm}{s}$$

Datos del ensayo

Escalones de presión efectiva. (Kpa) (2a)	Volumen admitido (l)	Potencial en el tramo (m)	Duración (min)	Caudal (m³/s)	Absorción en tramo ensayado (l/m·min)	K (m/s) (Custodio y Llamas)
0,0	11,0	13,95	10	1,83E-05	5,500E-01	3,29E-07
250,0	157,0	39,44	10	2,62E-04	7,850E+00	1,66E-06
500,0	197,0	64,94	10	3,28E-04	9,850E+00	1,27E-06
750,0	206,0	90,43	10	3,43E-04	1,030E+01	9,51E-07
1000,0	257,0	115,92	10	4,28E-04	1,285E+01	9,26E-07
750,0	205,0	90,43	10	3,42E-04	1,025E+01	9,47E-07
500,0	173,0	64,94	10	2,88E-04	8,650E+00	1,11E-06
250,0	153,0	39,44	10	2,55E-04	7,650E+00	1,62E-06
0,0	94,0	13,95	10	1,57E-04	4,700E+00	2,81E-06

Clasificación de macizos rocosos en función de la permeabilidad (Olalla y Sopeña, 1991)

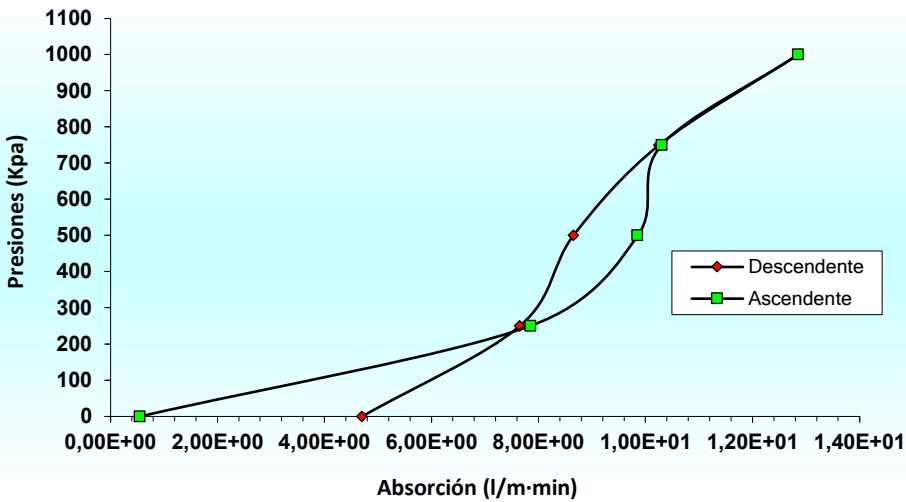
TIPO DE MACIZO	U.L.	Presión (Kpa)
Muy impermeable	0 - 1	1000
Prácticamente impermeable	1 - 3	1000
Permeable	> 3	1000
	1,5 - 6	500
Muy permeable	> 3	1000
	> 6	500

Resultados

Volumen de agua inyectado a 1000 Kpa aprox., (10 bar) (l);	257,0
Duración del escalón, (min);	10
Longitud del tramo ensayado, (m):	2,00
Presión efectiva del escalón mayor, 1000 Kpa aprox. (Kpa);	1000,0

PERMEABILIDAD EN UNIDADES LUGEON	128,5	U.L.
PERMEABILIDAD (González de Vallejo)	1,2850E-03	cm/s
PERMEABILIDAD MEDIA (Custodio y Llamas)	1,2120E-06	K (m/s):

PERMEABILIDAD LUGEON



Firma:

Geólogo redactor.

Leyenda:
(1a) S/A/P/L/O: Fluido utilizado: Seco / Agua / Polímero / Lodo / Otro
(1b) A/M/B: Pérdida de agua en la perforación: Alta / Media / Baja.
(1c) A/M/B: Lavado de finos: Alto / Medio / Bajo.
(1d) Colores y trama, según Cartografía MAGNA.
(1e) Incluir clave Magna en la descripción (Ej. T_{A1-2}, Q₁...)
(2a) Presión en la cámara de ensayo.
Casillas en sombreado: parámetros a introducir Normativa:
Ensayo Lugeón según; ASTM D4630-96

APÉNDICE Nº9: ESTACIONES GEOMECÁNICAS

				DATOS ESTRUCTURALES DEL MACIZO ROCOSO																										
				TRABAJO: EG-1												LOCALIDAD: 0+540 (50 m MI)						CLIENTE:								
				REALIZADO POR: Gonzalo García												FECHA: 19-05-25						HOJA:.....1..... DE.....3.....								
				COORDENADAS (UTM)						X =						Y=														
SITUACIÓN	TIPO DE PLANO	ORIENTACIÓN		CONTINUIDAD (m)		ESPACIADO (m)						RELLENO		RUGOSIDAD	PARÁMETROS GEOMECÁNICOS (Q de Barton)						METEORIZACIÓN	RESISTENCIA	LITOLOGÍA		OBSERVACIONES					
				RUMBO		<0,02	0,02-0,06	0,06-0,2	0,2-0,6	0,6-2	2-6																>6			
		BUZ.		ESPE. (mm)	TIPO							J.R.C.	RQD		Jn	Jr	Ja	Jw	SRF											
		DIREC.	BUZ.			1	1-3	3-10	10-20	>20																				
EG-1	E	344	14	/\x/\	x/x/\	\x/\	/\x/\	/\x/\			x	x					10-12	80	12,0	1,5	1,0	1,0	2,5	I-II	1000-2500 kg/cm2	Caliza mármorea dura a muy dura de tonos grises en corte fresco y grado de alteración I-II. Se presentan venas de calcita plegadas y falladas.	Estratificación en surco. Se observa alabeo en la junta identificada como estratificación. Talud subvertical.			
	E	333	21	/\x/\	x/x/\	\x/\	/\x/\	/\x/\			x	x					10-12													
	E	351	32	/\x/\	x/x/\	\x/\	/\x/\	/\x/\			x	x					10-12													
	J1	130	77	x/\	x/\	/\x/\	/\x/\	/\x/\				x					6-8													
	J1	148	74	x/\	x/\	/\x/\	/\x/\	/\x/\				x					6-8													
	J1	127	77	x/\	x/\	/\x/\	/\x/\	/\x/\				x					6-8													
	J2	176	78	x/\	x/\	/\x/\	/\x/\	/\x/\			x	x					6-8													
	J2	176	70	x/\	x/\	/\x/\	/\x/\	/\x/\			x	x					6-8													
	J2	182	82	x/\	x/\	/\x/\	/\x/\	/\x/\				x	x				6-8		Q=		4,0									
	J2	152	90	x/\	x/\	/\x/\	/\x/\	/\x/\			x	x					6-8													
LEYENDA																														
Tipo de plano (1) Rellenos (2)												Litología (3)																		
E Estratificación C Arcillas y limos Ox Óxidos Ver leyenda de la cartografía geológica																														
S Esquistosidad S Arenas Q Cuarzo																														
J Juntas G Gravias Cc Carbonatos																														
F Fallas B Brechas F Feldespatos																														
B Bandeado M Milonitas Ma Miner. Arcilla																														
Resistencia a partir de índices de campo (ISRM, 1981) (4)																														
R0 Se puede marcar con la uña.												S1 El puño penetra fácilmente varios cm.																		
R1 Al golpear con la punta del martillo la roca se desmenuza.												S2 El dedo penetra fácilmente varios cm.																		
R2 Al golpear con la punta del martillo se hacen ligeras marcas.												S3 Se necesita una pequeña presión para hincar el dedo.																		
R3 Con un golpe fuerte de martillo puede fracturarse.												S4 Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo.																		
R4 Se requiere más de un golpe del martillo para fracturarla.												S5 Con cierta presión suele marcarse con la uña.																		
R5 Se requiere muchos golpes del martillo para fracturarla.												S6 Se marca con dificultad al presionar con la uña.																		
R6 Al golpear con el martillo sólo saltan esquiñas.																														
GRUPO 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000 1001 1002 1003 1004 1005 1006 1007 1008 1009 1010 1011 1012 1013 1014 1015 1016 1017 1018 1019 1020 1021 1022 1023 1024 1025 1026 1027 1028 1029 1030 1031 1032 1033 1034 1035 1036 1037 1038 1039 1040 1041 1042 1043 1044 1045 1046 1047 1048 1049 1050 1051 1052 1053 1054 1055 1056 1057 1058 1059 1060 1061 1062 1063 1064 1065 1066 1067 1068 1069 1070 1071 1072 1073 1074 1075 1076 1077 1078 1079 1080 1081 1082 1083 1084 1085 1086 1087 1088 1089 1090 1091 1092 1093 1094 1095 1096 1097 1098 1099 1100 1101 1102 1103 1104 1105 1106 1107 1108 1109 1110 1111 1112 1113 1114 1115 1116 1117 1118 1119 1120 1121 1122 1123 1124 1125 1126 1127 1128 1129 1130 1131 1132 1133 1134 1135 1136 1137 1138 1139 1140 1141 1142 1143 1144 1145 1146 1147 1148 1149 1150 1151 1152 1153 1154 1155 1156 1157 1158 1159 1160 1161 1162 1163 1164 1165 1166 1167 1168 1169 1170 1171 1172 1173 1174 1175 1176 1177 1178 1179 1180 1181 1182																														

[illegible]

	DATOS ESTRUCTURALES DEL MACIZO ROCOSO		
	TRABAJO: EG-1	LOCALIDAD: 0+540 (50 m MI)	CLIENTE: ADIF
	REALIZADO POR: Gonzalo García	FECHA: 19-05-25	HOJA:.....3..... DE.....3.....

FOTOGRAFIA



FOTOGRAFIA



				DATOS ESTRUCTUTALES DEL MACIZO ROCOSO																										
				TRABAJO: EG-2										LOCALIDAD: 0+960 (20 m MI)										CLIENTE:						
				REALIZADO POR: Gonzalo García										FECHA: 19-05-25										HOJA:.....1..... DE.....3.....						
																								COORDENADAS (UTM) X = Y=						
SITUACIÓN	TIPO DE PLANO	ORIENTACIÓN		CONTINUIDAD (m)						ESPACIADO (m)						RELLENO		RUGOSIDAD	PARÁMETROS GEOMECÁNICOS (Q de Barton)						METEORIZACIÓN	RESISTENCIA	LITOLOGÍA	OBSERVACIONES		
				RUMBO BUZ.																										
		DIREC.	BUZ.	1	1-3	3-10	10-20	>20	<0,02	0,02-0,06	0,06-0,2	0,2-0,6	0,6-2	2-6	>6	ESPE. (mm)	TIPO		J.R.C.	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw					SRF	
EG-2	J1	33	76															8-10	85	12,0	1,5	1,0	1,0	2,5	I-II	1000-2500 kg/cm2	Caliza marmórea dura a muy dura de tonos grises azulados en corte fresco y grado de alteración I-II. Se presentan venas de calcita plegadas y falladas.	En algunas de las vetas de calcita se localizan mineralizaciones de pirita.		
	J1	30	78															8-10												
	J1	28	83															8-10												
	J2	23	60															8-10												
	J2	25	52															8-10												
	J2	42	54															8-10												
	J2	36	66															8-10												

[illegible]

	DATOS ESTRUCTURALES DEL MACIZO ROCOSO		
	TRABAJO: EG-2	LOCALIDAD: 0+960 (20 m MI)	CLIENTE: ADIF
	REALIZADO POR: Gonzalo García	FECHA: 19-05-25	HOJA:.....3..... DE.....3.....

FOTOGRAFIA



FOTOGRAFIA

APÉNDICE Nº10: FICHAS DE TALUDES



FICHA DE TALUD

FECHA: 19/05/2025
P.K.: 0+420
FICHA DE TALUD N°: 1

PROYECTO: Proyecto Constructivo de la Variante de Lesaka en la Carretera NA-4000

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA: Calizas marmóreas grises duras a muy duras con venas de calcita replegadas.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS:

ALTURA: 10,00 m BERMAS: SI x NO ☐
LONGITUD: 80 m N° BERMAS: 1,00
DIRECCIÓN: 170 ° ANCHO DE BERMAS: 0,50 m
INCLINACIÓN: 70-90 ° CUNETÓN: SI ☐ NO x ☐

OBSERVACIONES / DESCRIPCIÓN DE PROBLEMAS DETECTADOS:

Talud en calizas masivas con algunos signos de cuñas posiblemente desprendidas durante la excavación. No se aprecian caídas recientes si bien, el acceso a la base es limitado.
En la base del talud se ha instalado una serie de tuberías cuya seguridad debe garantizarse.

ESTADO DEL TALUD / INESTABILIDADES:

ESTABILIDAD GENERAL:

EXCELENTE

BUENA

MEDIA

MALA

MUY MALA

☐

☒

☐

☐

☐

TIPOLOGÍA DE LA INESTABILIDAD

A. DESLIZAMIENTOS

☐

☐

☐

☐

☐

☐

ROTURA DE TALUD

ROTURA DE PIE

ROTURA DE BASE CUÑA DIRECTA

CUÑA INVERSA

EN BLOQUES

☐

☐

☐

☐

ROTACIONALES

EXTENSIONES LATERALES

TRANSLACIONALES

B. VUELCOS

☐

☐

☐

☐

VUELCO POR FLEXIÓN

VUELCO DE BLOQUES

VUELCO MIXTO

C. DESPRENDIMIENTOS

☐

☐

☐

CHINEOS

BLOQUES MEDIOS

BLOQUES GRANDES

D. COLADAS

☐

☐

☐

REPTACIONES

COLADA DE BARRO

DERRUBIOS

E. EROSIVOS

☐

☐

☐

REGUEROS Y CÁRVAVAS

DERRUBIOS IMPORTANTES

EROSIÓN DIFERENCIAL

F. OTROS

☐

☐

ALTERACIÓN SUPERFICIAL

GRIETAS DE TRACCIÓN

FOTOGRAFÍA DE DETALLE:



FOTOGRAFÍA DEL TALUD:





FICHA DE TALUD

FECHA: 19/05/2025
P.K.: 0+940 (30 m MI)
FICHA DE TALUD N°: 2

PROYECTO: Proyecto Constructivo de la Variante de Lesaka en la Carretera NA-4000

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA: Calizas marmóreas grises duras a muy duras con venas de calcita replegadas.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS:

ALTURA: 9,00 m BERMAS: SI NO x
LONGITUD: 100 m N° BERMAS:
DIRECCIÓN: 200 ° ANCHO DE BERMAS: m
INCLINACIÓN: 70-90 ° CUNETÓN: SI NO x

OBSERVACIONES / DESCRIPCIÓN DE PROBLEMAS DETECTADOS:

Talud en calizas masivas con algunos signos de cuñas posiblemente desprendidas durante la excavación. No se aprecian caídas recientes. La base del talud está limpia.

ESTADO DEL TALUD / INESTABILIDADES:

ESTABILIDAD GENERAL:

EXCELENTE

BUENA

MEDIA

MALA

MUY MALA

x

TIPOLOGÍA DE LA INESTABILIDAD

A. DESLIZAMIENTOS

ROTURA DE TALUD ROTURA DE PIE ROTURA DE BASE CUÑA DIRECTA CUÑA INVERSA EN BLOQUES

ROTACIONALES EXTENSIONES LATERALES TRANSLACIONALES

B. VUELCOS

VUELCO POR FLEXIÓN VUELCO DE BLOQUES VUELCO MIXTO

C. DESPRENDIMIENTOS

CHINEOS BLOQUES MEDIOS BLOQUES GRANDES

D. COLADAS

REPTACIONES COLADA DE BARRO DERRUBIOS

E. EROSIVOS

REGUEROS Y CÁRVAVAS DERRUBIOS IMPORTANTES EROSIÓN DIFERENCIAL

F. OTROS

ALTERACIÓN SUPERFICIAL GRIETAS DE TRACCIÓN

FOTOGRAFÍA DE DETALLE:



FOTOGRAFÍA DEL TALUD:





FICHA DE TALUD

FECHA: 19/05/2025
P.K.: 0+980 (20 m MD)
FICHA DE TALUD N°: 3

PROYECTO: Proyecto Constructivo de la Variante de Lesaka en la Carretera NA-4000

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA: Transición de calizas GM III a suelos eluviales y cobertera vegetal.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS:

ALTURA:	3,00	m	BERMAS:	SI		NO	☒
LONGITUD:	10	m	Nº BERMAS:				
DIRECCIÓN:	250	°	ANCHO DE BERMAS:				
INCLINACIÓN:	70	°	CUNETÓN:	SI		NO	☒

OBSERVACIONES / DESCRIPCIÓN DE PROBLEMAS DETECTADOS:

Talud en calizas estratificadas en la base (1,5 m) que pasan a arcillas con cantos angulosos centimétricos hacia techo (1,5 m) y tierra vegetal con raíces en la parte alta.

ESTADO DEL TALUD / INESTABILIDADES:

ESTABILIDAD GENERAL:		EXCELENTE	BUENA	MEDIA	MALA	MUY MALA	
		☐	☐	☐	☒	☐	
TIPOLOGÍA DE LA INESTABILIDAD	A. DESLIZAMIENTOS	☐	ROTACIONALES		☒	TRANSLACIONALES	
		☐	☐	☐	☐	☐	
		ROTURA DE TALUD	ROTURA DE PIE	ROTURA DE BASE CUÑA DIRECTA	CUÑA INVERSA	EN BLOQUES	
				EXTENSIONES LATERALES			
	B. VUELCOS	☐	VUELCO POR FLEXIÓN	☐	VUELCO DE BLOQUES	☐	VUELCO MIXTO
	C. DESPRENDIMIENTOS	☐	CHINEOS	☐	BLOQUES MEDIOS	☐	BLOQUES GRANDES
	D. COLADAS	☐	REPTACIONES	☐	COLADA DE BARRO	☒	DERRUBIOS
	E. EROSIVOS	☐	REGUEROS Y CÁRVAVAS	☐	DERRUBIOS IMPORTANTES	☐	EROSIÓN DIFERENCIAL
	F. OTROS	☐	ALTERACIÓN SUPERFICIAL	☐	GRIETAS DE TRACCIÓN		

FOTOGRAFÍA DE DETALLE:



FOTOGRAFÍA DEL TALUD:





FICHA DE TALUD

FECHA: 19/05/2025
P.K.: 1+100 (40 m MD)
FICHA DE TALUD N°: 4

PROYECTO: Proyecto Constructivo de la Variante de Lesaka en la Carretera NA-4000

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA: Eluvial de la unidad Cc. Arcillas limosas de color marrón con bastantes cantos centimétricos de caliza.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS:

ALTURA: 6,00 m
LONGITUD: 15 m
DIRECCIÓN: 184 °
INCLINACIÓN: 66-70 °

BERMAS: SI NO X
N° BERMAS:
ANCHO DE BERMAS: m
CUNETÓN: SI NO X

OBSERVACIONES / DESCRIPCIÓN DE PROBLEMAS DETECTADOS:

Talud de pendiente elevada en materiales de tipo suelo. Presenta estabilidad moderada, si bien se observa un ligero desprendimiento. El sustrato rocoso se localiza a poca profundidad. Se ha construido un murete en la base, pero no tiene finalidad de contención, puesto que la roca sana se localiza en la base de la excavación.

ESTADO DEL TALUD / INESTABILIDADES:

		EXCELENTE	BUENA	MEDIA	MALA	MUY MALA	
ESTABILIDAD GENERAL:			X	X			
TIPOLOGÍA DE LA INESTABILIDAD	A. DESLIZAMIENTOS		ROTACIONALES		X	TRANSLACIONALES	
		X					
	ROTURA DE TALUD						
	ROTURA DE PIE						
	ROTURA DE BASE CUÑA DIRECTA						
	CUÑA INVERSA						
	EN BLOQUES						
	B. VUELCOS		VUELCO POR FLEXIÓN		VUELCO DE BLOQUES		VUELCO MIXTO
	C. DESPRENDIMIENTOS		X	CHINEOS		BLOQUES MEDIOS	
D. COLADAS		REPTACIONES		COLADA DE BARRO		X	DERRUBIOS
E. EROSIVOS		REGUEROS Y CÁRVAVAS		DERRUBIOS IMPORTANTES		EROSIÓN DIFERENCIAL	
F. OTROS		ALTERACIÓN SUPERFICIAL		GRIETAS DE TRACCIÓN			

FOTOGRAFÍA DE DETALLE:



FOTOGRAFÍA DEL TALUD:



APÉNDICE N°11: PUNTOS DE AGUA



PUNTOS DE AGUA

PROYECTO: Proyecto Constructivo de la Variante de Lesaka en la Carretera NA-4000

PUNTO Nº: 1SITUACIÓN: PK 0+360 (30 m MI)FECHA: 19-05-25

CARACTERÍSTICAS: Fuente artificial con surtidor no natural

COORDENADAS	X:	Y:	Z:
TÉRMINO MUNICIPAL	Lesaka		
PROVINCIA	Navarra		
PROPIETARIO	Empresa Arcelor-Mittal		
PROFUNDIDAD	Superficial		
LONGITUD			
ANÁLISIS QUÍMICO			
ENCUADRE GEOLÓGICO	Calizas marmóreas grises con venas de calcita y suelos cuaternarios aluviales		

TIPO DE PUNTO DE AGUA

NATURALES		ARTIFICIALES	
☐	MANATIAL	☐	POZOS
☐	RÍO/ARROYO	☐	BALSAS
☐	REZUME	☐	CANTERAS
☐	ÁREA ENCHARCADA	☐	CANALES
☐	LAGUNAS	☒	FUENTES

FOTOGRAFÍA



PUNTO Nº: 2SITUACIÓN: PK 0+480 (40 m MI)FECHA: 19-05-25

CARACTERÍSTICAS: Fuente en la que fluye continua el agua que corre por el valle.

COORDENADAS	X:	Y:	Z:
TÉRMINO MUNICIPAL	Lesaka		
PROVINCIA	Navarra		
PROPIETARIO	Empresa Arcelor-Mittal		
PROFUNDIDAD	Superficial		
LONGITUD			
ANÁLISIS QUÍMICO			
ENCUADRE GEOLÓGICO	Zona de fondo de valle. Área encharcada.		

TIPO DE PUNTO DE AGUA

NATURALES		ARTIFICIALES	
☒	MANATIAL	☐	POZOS
☐	RÍO/ARROYO	☐	BALSAS
☐	REZUME	☐	CANTERAS
☒	ÁREA ENCHARCADA	☐	CANALES
☐	LAGUNAS	☒	FUENTES

FOTOGRAFÍA



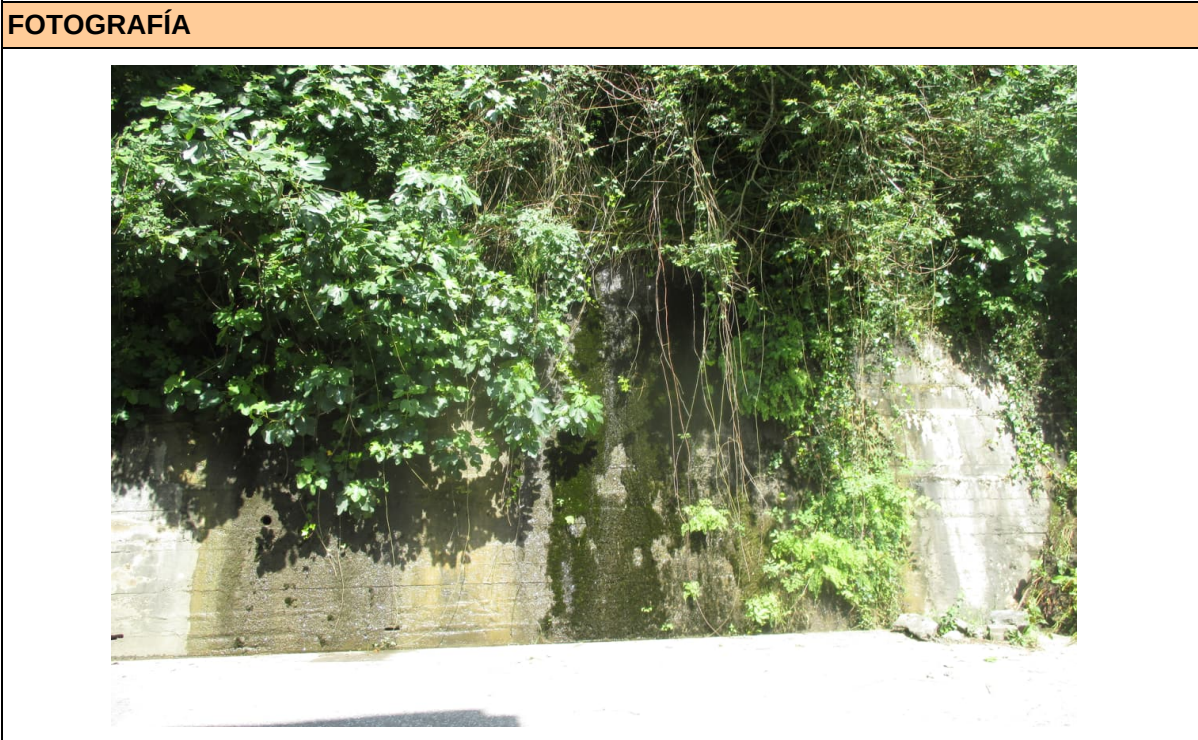


PUNTOS DE AGUA

PROYECTO: Proyecto Constructivo de la Variante de Lesaka en la Carretera NA-4000

PUNTO Nº: 3	SITUACIÓN: PK 0+990 (20 m MI)	FECHA: 19-05-25	
CARACTERÍSTICAS: Drenaje de muro. Rezume que lo mantiene húmedo.			
COORDENADAS	X:	Y:	Z:
TÉRMINO MUNICIPAL	Lesaka		
PROVINCIA	Navarra		
PROPIETARIO	Empresa Arcelor-Mittal		
PROFUNDIDAD	Superficial		
LONGITUD			
ANÁLISIS QUÍMICO			
ENCUADRE GEOLÓGICO	Calizas marmóreas grises con venas de calcita y suelos cuaternarios aluviales		

TIPO DE PUNTO DE AGUA			
NATURALES		ARTIFICIALES	
☒	MANATIAL	☐	POZOS
☐	RÍO/ARROYO	☐	BALSAS
☒	REZUME	☐	CANTERAS
☐	ÁREA ENCHARCADA	☐	CANALES
☐	LAGUNAS	☐	FUENTES



PUNTO Nº: 4	SITUACIÓN: PK 1+000 (20 m MD)	FECHA: 19-05-25	
CARACTERÍSTICAS: Arroyo canalizado en el fondo del valle.			
COORDENADAS	X:	Y:	Z:
TÉRMINO MUNICIPAL	Lesaka		
PROVINCIA	Navarra		
PROPIETARIO	Empresa Arcelor-Mittal		
PROFUNDIDAD	Superficial		
LONGITUD			
ANÁLISIS QUÍMICO			
ENCUADRE GEOLÓGICO	Zona de fondo de valle. Área encharcada.		

TIPO DE PUNTO DE AGUA			
NATURALES		ARTIFICIALES	
☐	MANATIAL	☐	POZOS
☒	RÍO/ARROYO	☐	BALSAS
☐	REZUME	☐	CANTERAS
☐	ÁREA ENCHARCADA	☒	CANALES
☐	LAGUNAS	☐	FUENTES



APÉNDICE N°12: PUNTOS DE OBSERVACIÓN GEOLÓGICA

1.- PUNTOS DE OBSERVACIÓN GEOLÓGICA

PO.1. PK 0+300 (20 m MI). Afloramiento de calizas cristalinas marmóreas grises de resistencia dura a muy dura con grado de alteración I-II y con venas de calcita que pueden llegar hasta los 1-2 cm. Las venas se pueden encontrar plegadas, lo que indica un cierto grado de metamorfismo en la roca. La roca se presenta en estratos métricos a decimétricos.



En el afloramiento se puede medir una junta con dirección 290/38.

El aspecto de la ladera indica que la roca está presente a poca profundidad bajo un nivel de suelos de alteración eluviales.



PO-2. PK 0+420 (20 m MI). Talud en calizas marmóreas grises duras a muy duras con grado de alteración I-II. El acceso al talud es complicado al haberse instalado tuberías por delante del mismo.

La excavación de estos taludes se ha llevado a cabo mediante voladura si bien, los patrones de dirección de las cañas observadas no son siempre los mismos, pudiendo apreciarse una dirección principal vertical y varias direcciones diagonales.

No se aprecian inestabilidades mayores.



Se toman medidas tentativas de juntas desde la base del talud:

S?: 64/30: J1: 174/10, 165/70, J2: 153/90, J3: 16/90.

PO.3. PK 0+470 (20 m MI). Afloramiento de calizas duras detrás del silo. Presencia de agua filtrando y encharcando la zona. Agua relacionada con la zona de vaguada.

Se mide una junta con dirección: 272/25.



PO.4. Afloramiento de calizas con grado de alteración II en el borde del camino. Se encuentran afloramientos alternando con zonas de muretes de bloques de caliza que contienen el suelo eluvial.



PO.5. Suelo vegetal en transición a suelo eluvial procedente de la caliza inferior. Arcillas húmedas de consistencia blanda a firme con algunos cantos centimétricos de caliza y calcita y bastantes raíces en la parte más superficial.



PO.6. Afloramiento de pizarras-esquistos de resistencia moderadamente dura con esquistosidad paralela. Presenta grado de meteorización III.

Las capas se encuentran plegadas y algo fracturadas.

Se realizan algunas mediciones de juntas: J1: 314/55, 300/40.



PO.7. Afloramiento de calizas marmóreas con grado de alteración II-III poco fracturada y de resistencia dura, en el que se han medidos los sistemas de juntas siguientes: J1: 170/40, J2: 32/70, J3: 84/77.



PO.8. Suelo vegetal a eluvial. Arcillas marrones oscuras con cantos centimétricos de calcita, calizas, etc. Presencia de raíces que disminuye hacia muro.



PO.9. Afloramiento de caliza Cc. Se realiza medición de juntas: J1: 274-60, 200/52, 269/66, 295/66, J2: 112/86.



PO.10. Afloramiento de pizarras y esquistos con grado de meteorización III. Ligera fracturación.

Se toma buzamiento: E: 40/50.



PO.11. Explanada de asfalto y hormigón con varios acopios de restos de la construcción.



PO.14. Corte en arcillas. Depósito eluvial compuesto por arcillas con bastantes cantos centimétricos a decimétricos angulosos de calizas grises.



APÉNDICE N°13: ENSAYOS DE LABORATORIO



GTK Laboratorio Geotécnico, SL
Laboratorio de Control de Calidad. Edificación y Obra Civil
Bº Iseca Vieja, 5. Liendo (39776) - Cantabria
Tfno: 942 64 39 81
info@gtklaboratorio.com



INFORME DE RESULTADOS

INFORME Nº: E151025

REF. GTK: 16.368-16.393

PETICIONARIO: WSP SPAIN – APIA, S.A.
Avenida Albert Einstein 6,
39011, Santander (CANTABRIA)

SOLICITUD / OBRA:
Ensayos de suelos, rocas y aguas / Variante de Lesaka: P. Trazado (Navarra).

El presente Informe técnico se emite bajo las condiciones siguientes:

- 1. Se prohíbe la reproducción total o parcial de los datos presentados.
- 2. La información contenida en este documento es estrictamente confidencial. GTK Laboratorio Geotécnico no facilitará información relativa a este Informe a terceras personas, salvo autorización escrita del cliente o en los casos previstos por las leyes vigentes.
- 3. Los resultados de ensayos tienen valor únicamente en relación con las muestras referidas en las actas.
- 4. GTK Laboratorio Geotécnico emplea para la realización e interpretación de los ensayos y pruebas, el personal y los medios adecuados en cada caso, no aceptando más responsabilidad ni obligaciones que la repetición gratuita de los ensayos sobre nuevas muestras, en el caso de fallos ajenos a su intención.
- 5. GTK Laboratorio Geotécnico no se responsabiliza de la veracidad de los datos aportados por el cliente.
- 6. Información básica sobre Protección de datos. Responsable: GTK LABORATORIO GEOTÉCNICO, SL. Finalidad: Prestar los servicios solicitados y enviar comunicaciones comerciales vía electrónica. Legitimación: Ejecución de un contrato, interés legítimo del responsable. Destinatarios: Están previstas cesiones de datos a: Administración Tributaria, Entidades financieras. Derechos: Tiene derecho a acceder, rectificar y suprimir los datos, así como otros derechos, indicados en la información adicional, que puede ejercer dirigiéndose a info@gtklaboratorio.com o barrio Iseca Vieja, 51 -39776- Liendo (Cantabria). Procedencia: El propio interesado. Información adicional: <https://www.gtklaboratorio.com/politica-de-privacidad>.

El presente informe consta de 121 hojas, incluida ésta.

En Liendo, a 24 de octubre de 2025.

Pablo Salvarrey Isequilla
Geólogo Colegiado nº 3974

Director de Laboratorio

Ignacio San José Carrasco
Geólogo Colegiado nº 3972

Director Técnico

PROCEDENCIA (OBRA/CLIENTE):		PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain		
Nº REFERENCIA DE LAS MUESTRAS		16368	16369	16370	16372	16373
LOCALIZACIÓN	CALICATA / SONDEO	S2	S2	S2	S2	S2
	TIPO DE MUESTRA	MI	SPT	TP	TP	TP
	PROFUNDIDAD (m.)	0,80-1,40	1,40-2,00	5,15-5,45	7,80-8,00	8,90-9,10
ENSAYOS DE IDENTIFICACIÓN Y ESTADO	CLASIFICACIÓN S.U.C.S.		CL	CL		
	GRANULOM.	GRAVA (%)	4,7	1,5		
		ARENA (%)	18,2	21,0		
		FINOS (%)	77,1	77,5		
	LÍMITES DE ATTERBERG	LÍMITE LÍQUIDO W _L	36,4	35,7		
		LÍMITE PLÁSTICO W _p	24,0	23,0		
		ÍNDICE DE PLASTICIDAD I _p	12,4	12,7		
	HUMEDAD NATURAL ω (%)		19,8	20,9	0,1	0,3
	DENSIDAD APARENTE (g/cm³)		1,98		2,70	2,68
	DENSIDAD SECA (g/cm³)		1,65		2,70	2,68
	PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS (g/cm³)		2,20		2,23	2,37
ENSAYOS QUÍMICOS	DETERMINACIÓN DEL pH					
	ACIDEZ BAUMANN-GULLY (CTE; ml/kg suelo)					
	CONT. SULFATOS SOLUBLES (CTE; mg SO ₄ /kg)		8	7		
	CONTENIDO EN MATERIA ORGÁNICA (%)		0,35			
	CONTENIDO EN YESO (%)					
	CONTENIDO EN SALES (%)		0,12			
	CONTENIDO EN CARBONATOS (%CaCO ₃)		0,00			
	AGRESIVIDAD DEL AGUA AL HORMIGÓN (CTE)					
ENSAYOS DE EXPANSIVIDAD Y DEFORMABILIDAD	ÍNDICE DE HINCHAMIENTO LAMBE (Mpa)					
	CAMBIO DE VOLUMEN POTENCIAL (LAMBE)					
	HINCHAMIENTO LIBRE EN EDÓMETRO (%)					
	PRESIÓN DE HINCHAMIENTO EN EDÓMETRO (kPa)					
	ÍNDICE DE COLAPSO EN EDÓMETRO (%)					
	ÍNDICE DE POROS INICIAL (CONSOLID. EDÓM.)		0,239			
	ÍNDICES compresión y Entumecimiento (CONSOLID. EDOM.)		0,064 / 0,008			
	MÓDULOS Edométrico secante y compresibilidad (CONSOLID. EDOM.)		9,66 / 0,002			
ENSAYOS DE RESISTENCIA	COMPRESIÓN SIMPLE EN SUELOS (kPa)					176
	ÁNGULO DE ROZAMIENTO INTERNO (°)		36			
	COHESIÓN (kPa)		11			
	COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS (MPa)			33,18	37,35	
	RESISTENCIA A CARGA PUNTUAL (MPa)					
	ENSAYO BRASILEÑO (MPa)					
ENSAYOS DE COMPACTACIÓN	DENSIDAD MÁXIMA PROCTOR (g/cm³)					
	HUMEDAD ÓPTIMA PROCTOR (%)					
	ÍNDICE C.B.R. 100%					
	ÍNDICE C.B.R. 95%					

PROCEDENCIA (OBRA/CLIENTE):		PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain		
Nº REFERENCIA DE LAS MUESTRAS		16374	16375	16376	16377	16378
LOCALIZACIÓN	CALICATA / SONDEO	S2	S2	S2	S3	S3
	TIPO DE MUESTRA	TP	TP	TP	TP	TP
	PROFUNDIDAD (m.)	9,55-9,80	11,80-12,00	15,90-16,25	3,10-3,60	4,90-5,50
ENSAYOS DE IDENTIFICACIÓN y ESTADO	CLASIFICACIÓN S.U.C.S.					
	GRANULOM.	GRAVA (%)				
		ARENA (%)				
		FINOS (%)				
	LÍMITES DE ATTERBERG	LÍMITE LÍQUIDO W _L				
		LÍMITE PLÁSTICO W _p				
		ÍNDICE DE PLASTICIDAD I _p				
	HUMEDAD NATURAL ω (%)		24,8	0,6	0,4	0,2
	DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)			2,61	2,66	2,69
	DENSIDAD SECA (g/cm ³)			2,60	2,65	2,68
	PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS (g/cm ³)			2,45	2,25	2,18
ENSAYOS QUÍMICOS	DETERMINACIÓN DEL pH					
	ACIDEZ BAUMANN-GULLY (CTE)					
	CONT. SULFATOS SOLUBLES (CTE; mg SO ₄ /kg)					
	CONTENIDO EN MATERIA ORGÁNICA (%)					
	CONTENIDO EN YESO (%)					
	CONTENIDO EN SALES (%)					
	CONTENIDO EN CARBONATOS (%CaCO ₃)					
	AGRESIVIDAD DEL AGUA AL HORMIGÓN (CTE)					
ENSAYOS DE EXPANSIVIDAD y DEFORMABILIDAD	ÍNDICE DE HINCHAMIENTO LAMBE (Mpa)					
	CAMBIO DE VOLUMEN POTENCIAL (LAMBE)					
	HINCHAMIENTO LIBRE EN EDÓMETRO (%)					
	PRESIÓN DE HINCHAMIENTO EN EDÓMETRO (kPa)					
	ÍNDICE DE COLAPSO EN EDÓMETRO (%)					
	ÍNDICE DE POROS INICIAL (CONSOLID. EDÓM.)					
	ÍNDICES compresión y Entumecimiento (CONSOLID. EDOM.)					
	MÓDULOS Edométrico secante y compresibilidad (CONSOLID. EDOM.)					
ENSAYOS DE RESISTENCIA	COMPRESIÓN SIMPLE EN SUELOS (kPa)		103			
	ÁNGULO DE ROZAMIENTO INTERNO (°)					
	COHESIÓN (kPa)					
	COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS (MPa)				46,06	47,04
	RESISTENCIA A CARGA PUNTUAL (MPa)			5,93		
	ENSAYO BRASILEÑO (MPa)					
ENSAYOS DE COMPACTACIÓN	DENSIDAD MÁXIMA PROCTOR (g/cm ³)					
	HUMEDAD ÓPTIMA PROCTOR (%)					
	ÍNDICE C.B.R. 100%					
	ÍNDICE C.B.R. 95%					

PROCEDENCIA (OBRA/CLIENTE):		PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain		
Nº REFERENCIA DE LAS MUESTRAS		16379	16380	16381	16382	16383
LOCALIZACIÓN	CALICATA / SONDEO	S3	S3	S3	S3	S3
	TIPO DE MUESTRA	TP	TP	TP	TP	Agua
	PROFUNDIDAD (m.)	6,10-6,60	10,57-10,95	13,85-14,10	14,30-14,55	8,07
ENSAYOS DE IDENTIFICACIÓN y ESTADO	CLASIFICACIÓN S.U.C.S.					
	GRANULOM.	GRAVA (%)				
		ARENA (%)				
		FINOS (%)				
	LÍMITES DE ATTERBERG	LÍMITE LÍQUIDO W _L				
		LÍMITE PLÁSTICO W _p				
		ÍNDICE DE PLASTICIDAD I _p				
	HUMEDAD NATURAL ω (%)		0,2	0,2	0,6	0,2
	DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)		2,68	2,71		2,71
	DENSIDAD SECA (g/cm ³)		2,67	2,70		2,71
	PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS (g/cm ³)		2,45	2,36		2,34
ENSAYOS QUÍMICOS	DETERMINACIÓN DEL pH					
	ACIDEZ BAUMANN-GULLY (CTE)					
	CONT. SULFATOS SOLUBLES (CTE; mg SO ₄ /kg)					
	CONTENIDO EN MATERIA ORGÁNICA (%)					
	CONTENIDO EN YESO (%)					
	CONTENIDO EN SALES (%)					
	CONTENIDO EN CARBONATOS (%CaCO ₃)					
	AGRESIVIDAD DEL AGUA AL HORMIGÓN (CTE)					DÉBIL
ENSAYOS DE EXPANSIVIDAD y DEFORMABILIDAD	ÍNDICE DE HINCHAMIENTO LAMBE (Mpa)					
	CAMBIO DE VOLUMEN POTENCIAL (LAMBE)					
	HINCHAMIENTO LIBRE EN EDÓMETRO (%)					
	PRESIÓN DE HINCHAMIENTO EN EDÓMETRO (kPa)					
	ÍNDICE DE COLAPSO EN EDÓMETRO (%)					
	ÍNDICE DE POROS INICIAL (CONSOLID. EDÓM.)					
	ÍNDICES compresión y Entumecimiento (CONSOLID. EDOM.)					
	MÓDULOS Edométrico secante y compresibilidad (CONSOLID. EDOM.)					
ENSAYOS DE RESISTENCIA	COMPRESIÓN SIMPLE EN SUELOS (kPa)					
	ÁNGULO DE ROZAMIENTO INTERNO (°)					
	COHESIÓN (kPa)					
	COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS (MPa)		67,70		38,92	
	RESISTENCIA A CARGA PUNTUAL (MPa)					
	ENSAYO BRASILEÑO (MPa)					
ENSAYOS DE COMPACTACIÓN	DENSIDAD MÁXIMA PROCTOR (g/cm ³)					
	HUMEDAD ÓPTIMA PROCTOR (%)					
	ÍNDICE C.B.R. 100%					
	ÍNDICE C.B.R. 95%					

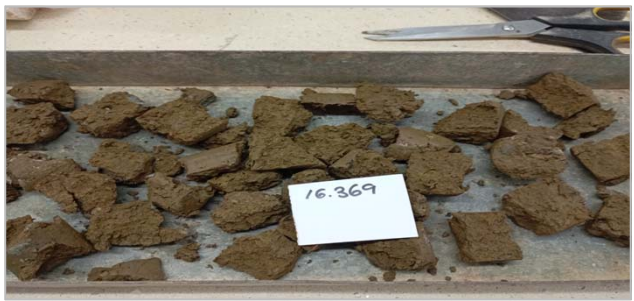
PROCEDENCIA (OBRA/CLIENTE):		PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain		
Nº REFERENCIA DE LAS MUESTRAS		16384	16385	16386	16388	16389
LOCALIZACIÓN	CALICATA / SONDEO	S4	S4	S4	S4	S4
	TIPO DE MUESTRA	MI	SPT	TP	TP	TP
	PROFUNDIDAD (m.)	0,50-1,10	1,10-1,70	4,80-5,06	10,25-10,75	12,20-12,50
ENSAYOS DE IDENTIFICACIÓN y ESTADO	CLASIFICACIÓN S.U.C.S.		GM	GM		
	GRANULOM.	GRAVA (%)	53,6	41,4		
		ARENA (%)	31,1	41,2		
		FINOS (%)	15,3	17,4		
	LÍMITES DE ATTERBERG	LÍMITE LÍQUIDO W _L	28,0	28,1		
		LÍMITE PLÁSTICO W _p	25,1	24,2		
		ÍNDICE DE PLASTICIDAD I _p	2,9	3,9		
	HUMEDAD NATURAL ω (%)		13,3	8,1	0,3	1,4
	DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)				2,72	2,71
	DENSIDAD SECA (g/cm ³)				2,71	2,67
	PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS (g/cm ³)		2,26		2,39	2,47
ENSAYOS QUÍMICOS	DETERMINACIÓN DEL pH					
	ACIDEZ BAUMANN-GULLY (CTE)					
	CONT. SULFATOS SOLUBLES (CTE; mg SO ₄ /kg)		9	25		
	CONTENIDO EN MATERIA ORGÁNICA (%)		0,23			
	CONTENIDO EN YESO (%)					
	CONTENIDO EN SALES (%)		0,04			
	CONTENIDO EN CARBONATOS (%CaCO ₃)		0,00			
	AGRESIVIDAD DEL AGUA AL HORMIGÓN (CTE)					
ENSAYOS DE EXPANSIVIDAD y DEFORMABILIDAD	ÍNDICE DE HINCHAMIENTO LAMBE (Mpa)					
	CAMBIO DE VOLUMEN POTENCIAL (LAMBE)					
	HINCHAMIENTO LIBRE EN EDÓMETRO (%)					
	PRESIÓN DE HINCHAMIENTO EN EDÓMETRO (kPa)					
	ÍNDICE DE COLAPSO EN EDÓMETRO (%)					
	ÍNDICE DE POROS INICIAL (CONSOLID. EDÓM.)					
	ÍNDICES compresión y Entumecimiento (CONSOLID. EDOM.)					
	MÓDULOS Edométrico secante y compresibilidad (CONSOLID. EDOM.)					
ENSAYOS DE RESISTENCIA	COMPRESIÓN SIMPLE EN SUELOS (kPa)					
	ÁNGULO DE ROZAMIENTO INTERNO (°)					
	COHESIÓN (kPa)					
	COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS (MPa)			39,34		
	RESISTENCIA A CARGA PUNTUAL (MPa)					
	ENSAYO BRASILEÑO (MPa)					
ENSAYOS DE COMPACTACIÓN	DENSIDAD MÁXIMA PROCTOR (g/cm ³)					
	HUMEDAD ÓPTIMA PROCTOR (%)					
	ÍNDICE C.B.R. 100%					
	ÍNDICE C.B.R. 95%					

PROCEDENCIA (OBRA/CLIENTE):		PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain		
Nº REFERENCIA DE LAS MUESTRAS		16390	16392	16393		
LOCALIZACIÓN	CALICATA / SONDEO	S4	S4	S4		
	TIPO DE MUESTRA	TP	TP	Agua		
	PROFUNDIDAD (m.)	16,75-17,00	20,00-20,20	16,32		
ENSAYOS DE IDENTIFICACIÓN y ESTADO	CLASIFICACIÓN S.U.C.S.					
	GRANULOM.	GRAVA (%)				
		ARENA (%)				
		FINOS (%)				
	LÍMITES DE ATTERBERG	LÍMITE LÍQUIDO W _L				
		LÍMITE PLÁSTICO W _p				
		ÍNDICE DE PLASTICIDAD I _p				
	HUMEDAD NATURAL ω (%)		0,1	0,1		
	DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)		2,69	2,69		
	DENSIDAD SECA (g/cm ³)		2,68	2,69		
	PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS (g/cm ³)		2,33	2,34		
ENSAYOS QUÍMICOS	DETERMINACIÓN DEL pH					
	ACIDEZ BAUMANN-GULLY (CTE)					
	CONT. SULFATOS SOLUBLES (CTE; mg SO ₄ /kg)					
	CONTENIDO EN MATERIA ORGÁNICA (%)					
	CONTENIDO EN YESO (%)					
	CONTENIDO EN SALES (%)					
	CONTENIDO EN CARBONATOS (%CaCO ₃)					
	AGRESIVIDAD DEL AGUA AL HORMIGÓN (CTE)				DÉBIL	
ENSAYOS DE EXPANSIVIDAD y DEFORMABILIDAD	ÍNDICE DE HINCHAMIENTO LAMBE (Mpa)					
	CAMBIO DE VOLUMEN POTENCIAL (LAMBE)					
	HINCHAMIENTO LIBRE EN EDÓMETRO (%)					
	PRESIÓN DE HINCHAMIENTO EN EDÓMETRO (kPa)					
	ÍNDICE DE COLAPSO EN EDÓMETRO (%)					
	ÍNDICE DE POROS INICIAL (CONSOLID. EDÓM.)					
	ÍNDICES compresión y Entumecimiento (CONSOLID. EDOM.)					
	MÓDULOS Edométrico secante y compresibilidad (CONSOLID. EDOM.)					
ENSAYOS DE RESISTENCIA	COMPRESIÓN SIMPLE EN SUELOS (kPa)					
	ÁNGULO DE ROZAMIENTO INTERNO (°)					
	COHESIÓN (kPa)					
	COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS (MPa)		14,73	32,00		
	RESISTENCIA A CARGA PUNTUAL (MPa)					
	ENSAYO BRASILEÑO (MPa)					
ENSAYOS DE COMPACTACIÓN	DENSIDAD MÁXIMA PROCTOR (g/cm ³)					
	HUMEDAD ÓPTIMA PROCTOR (%)					
	ÍNDICE C.B.R. 100%					
	ÍNDICE C.B.R. 95%					

LABORATORIO AL QUE SE SUBCONTRATA		CEPASA, S.A.				
PROCEDENCIA (OBRA/CLIENTE):		PC Variante N-4000 - Lesaka		WSP Spain		
Nº REFERENCIA DE LAS MUESTRAS		16371	16376	16380	16381	16387
LOCALIZACIÓN	CALICATA / SONDEO	S2	S2	S3	S3	S4
	TIPO DE MUESTRA	TP	TP	TP	TP	TP
	PROFUNDIDAD (m.)	7,00-7,30	15,90-16,25	10,57-10,95	13,85-14,10	8,00-8,60
ENSAYOS DE SUELOS	Porosidad de un terreno. UNE 7045					
	Límite de retracción. UNE 103108					
	Permeabilidad bajo carga constante en suelos granulares. UNE 103403					
	Permeabilidad con presión en cola en célula triaxial					
	Triaxial. UNE-EN ISO 17892-9	Cohesión (Tot. / Efect.) kp/cm ²				
		Fricción (Tot. / Efect.) °				
	Conductividad ó resistividad en suelo					
ENSAYOS DE AGUAS	Cloruros. UNE 83958					
	Determinación del contenido de sustancias orgánicas solubles en éter. UNE 83960					
	Determinación cualitativa de hidratos de carbono. UNE 83959					
ENSAYOS DE ROCAS	Triaxial. UNE 22950-4					
	Corte Directo	Cohesión (kp/cm ²)		1,85	2,53	2,49
		Fricción (°)		33,84	36,95	38,63
	Permeabilidad con presión en cola en célula triaxial					
	Índice de Schimazek	Contenido en Cuarzo equivalente, Q (%)				
		Clasificación				
		Índice Schimazek, F (kN/m)				
		Brasileño, R (kg/cm ²)				
	Abrasividad Cerchar. NF P94-430-1					
	Dureza Cerchar. XP P94-412					
	Slake Durability Index. Desmoronamiento de rocas blandas. NLT-251					
	Compresión simple de una probeta de roca determinando Mod. Young y Coef. Poisson UNE 22950 - 3	R.max (Mpa)		44,02	52,08	
		M. Young. (Mpa)		83300	53809	
		C. Poisson		0,33	0,30	
	Determinación de la resistencia de los áridos y fragmentos de roca a ciclos de hielodeshielo (10 ciclos) UNE EN 1367-1:1999					
	Estabilidad de los áridos y fragmentos de roca frente a ciclos de humedad-secado (25 ciclos) NLT 260/99					
	Estabilidad de los áridos y fragmentos de roca frente a la acción del agua NLT - 255					

LABORATORIO AL QUE SE SUBCONTRATA		CEPASA, S.A.				
PROCEDENCIA (OBRA/CLIENTE):		PC Variante N-4000 - Lesaka		WSP Spain		
Nº REFERENCIA DE LAS MUESTRAS		16388	16389	16391		
LOCALIZACIÓN	CALICATA / SONDEO	S4	S4	S4		
	TIPO DE MUESTRA	TP	TP	TP		
	PROFUNDIDAD (m.)	10,25-10,75	12,20-12,50	17,00-17,35		
ENSAYOS DE SUELOS	Porosidad de un terreno. UNE 7045					
	Límite de retracción. UNE 103108					
	Permeabilidad bajo carga constante en suelos granulares. UNE 103403					
	Permeabilidad con presión en cola en célula triaxial					
	Triaxial. UNE-EN ISO 17892-9	Cohesión (Tot. / Efect.) kp/cm ²				
		Fricción (Tot. / Efect.) °				
	Conductividad ó resistividad en suelo					
ENSAYOS DE AGUAS	Cloruros (UNE 7178)					
	Determinación cuantitativa de aceites y grasas (UNE 7235)					
	Determinación cualitativa de hidratos de carbono (UNE 7132)					
ENSAYOS DE ROCAS	Triaxial. UNE 22950-4					
	Corte Directo	Cohesión (kp/cm ²)		1,85		
		Fricción (°)		30,13		
	Permeabilidad con presión en cola en célula triaxial					
	Índice de Schimazek	Contenido en Cuarzo equivalente, Q (%)				
		Clasificación				
		Índice Schimazek, F (kN/m)				
		Brasileño, R (kg/cm ²)				
	Abrasividad Cerchar. NF P94-430-1					
	Dureza Cerchar. XP P94-412					
	Slake Durability Index. Desmoronamiento de rocas blandas. NLT-251					
	Compresión simple de una probeta de roca determinando Mod. Young y Coef. Poisson UNE 22950 - 3	R.max (Mpa)		10,42	22,46	
		M. Young. (Mpa)		19686	13110	
		C. Poisson		0,15	0,27	
	Determinación de la resistencia de los áridos y fragmentos de roca a ciclos de hielodeshielo (10 ciclos) UNE EN 1367-1:1999					
	Estabilidad de los áridos y fragmentos de roca frente a ciclos de humedad-secado (25 ciclos) NLT 260/99					
	Estabilidad de los áridos y fragmentos de roca frente a la acción del agua NLT - 255					

APERTURA Y DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS								Hoja 1 de 4
PETICIONARIO (CLIENTE):		WSP Spain						
OBRA:		PC Variante NA-4000 - Lesaka						
REALIZADO POR:		MIGUEL ÁNGEL ORTIZ FERNÁNDEZ	INFORME Nº:		E151025			
REVISADO POR:		PABLO SALVARREY ISEQUILLA	FECHA DE EMISIÓN:		14/10/2025			

Ref. Muestra	Profundidad	Localización	Tipo	Reacción al ácido clorhídrico	Ref. Muestra	Profundidad	Localización	Tipo	Reacción al ácido clorhídrico
16368	0,80-1,40	S2	MI	-	16369	1,40-2,00	S2	SPT	-
									
Arcilla limo-arenosa con alguna grava de color marrón					Arcilla limo-arenosa de color marrón				

Ref. Muestra	Profundidad	Localización	Tipo	Reacción al ácido clorhídrico	Ref. Muestra	Profundidad	Localización	Tipo	Reacción al ácido clorhídrico
16370	5,15-5,45	S2	TP	Positiva	16372	7,80-8,00	S2	TP	Positiva
La imagen de la muestra se puede ver en el ensayo de rotura a compresión.					La imagen de la muestra se puede ver en el ensayo de rotura a compresión.				
Caliza arenosa recristalizada de color gris					Caliza arenosa recristalizada de color gris				

Ref. Muestra	Profundidad	Localización	Tipo	Reacción al ácido clorhídrico	Ref. Muestra	Profundidad	Localización	Tipo	Reacción al ácido clorhídrico
16373	8,90-9,10	S2	TP	-	16374	9,55-9,80	S2	TP	-
La imagen de la muestra se puede ver en el ensayo de rotura a compresión					La imagen de la muestra se puede ver en el ensayo de rotura a compresión.				
Limo arcilloso con grava de color marrón					Limo arcilloso con grava de color marrón				


Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio

Observaciones: _____


Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

APERTURA Y DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS								Hoja 2 de 4
PETICIONARIO (CLIENTE):		WSP Spain						
OBRA:		PC Variante NA-4000 - Lesaka						
REALIZADO POR:		MIGUEL ÁNGEL ORTIZ FERNÁNDEZ	INFORME Nº:		E151025			
REVISADO POR:		PABLO SALVARREY ISEQUILLA	FECHA DE EMISIÓN:		14/10/2025			

Ref. Muestra	Profundidad	Localización	Tipo	Reacción al ácido clorhídrico	Ref. Muestra	Profundidad	Localización	Tipo	Reacción al ácido clorhídrico
16375	11,80-12,00	S2	TP	Positiva	16376	S2	15,90-16,25	TP	Positiva
									
Caliza arenosa de color gris					Caliza arenosa recristalizada de color gris				

Ref. Muestra	Profundidad	Localización	Tipo	Reacción al ácido clorhídrico	Ref. Muestra	Profundidad	Localización	Tipo	Reacción al ácido clorhídrico
16377	3,10-3,60	S3	TP	Positiva	16378	4,90-5,50	S3	TP	Positiva
La imagen de la muestra se puede ver en el ensayo de rotura a compresión.					La imagen de la muestra se puede ver en el ensayo de rotura a compresión.				
Caliza arenosa recristalizada de color gris					Caliza arenosa recristalizada de color gris				

Ref. Muestra	Profundidad	Localización	Tipo	Reacción al ácido clorhídrico	Ref. Muestra	Profundidad	Localización	Tipo	Reacción al ácido clorhídrico
16379	6,10-6,60	S3	TP	Positiva	16380	10,57-10,95	S3	TP	Positiva
La imagen de la muestra se puede ver en el ensayo de rotura a compresión.									
Caliza arenosa recristalizada de color gris					Caliza arenosa recristalizada de color gris				


Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio

Observaciones: _____


Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

APERTURA Y DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS								Hoja 3 de 4
PETICIONARIO (CLIENTE):		WSP Spain						
OBRA:		PC Variante NA-4000 - Lesaka						
REALIZADO POR:		MIGUEL ÁNGEL ORTIZ FERNÁNDEZ	INFORME Nº:		E151025			
REVISADO POR:		PABLO SALVARREY ISEQUILLA	FECHA DE EMISIÓN:		14/10/2025			

Ref. Muestra	Profundidad	Localización	Tipo	Reacción al ácido clorhídrico	Ref. Muestra	Profundidad	Localización	Tipo	Reacción al ácido clorhídrico
16381	13,85-14,10	S3	TP	Positiva	16382	14,30-14,55	S3	TP	Positiva
					La imagen de la muestra se puede ver en el ensayo de rotura a compresión.				
Caliza arenosa recristalizada de color gris					Caliza arenosa recristalizada de color gris				

Ref. Muestra	Profundidad	Localización	Tipo	Reacción al ácido clorhídrico	Ref. Muestra	Profundidad	Localización	Tipo	Reacción al ácido clorhídrico
16383	8,07	S3	Agua	-	16384	0,50-1,10	S4	MI	-
									
Muestra de agua piezométrica					Grava limo-arenosa de color marrón y gris				

Ref. Muestra	Profundidad	Localización	Tipo	Reacción al ácido clorhídrico	Ref. Muestra	Profundidad	Localización	Tipo	Reacción al ácido clorhídrico
16385	1,10-1,70	S4	SPT	-	16386	4,80-5,06	S4	TP	Positiva
					La imagen de la muestra se puede ver en el ensayo de rotura a compresión.				
Grava limo-arenosa de color marrón y gris					Caliza arenosa recristalizada de color gris				


Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio

Observaciones: _____


Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

APERTURA Y DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS								Hoja 4 de 4
PETICIONARIO (CLIENTE):		WSP Spain						
OBRA:		PC Variante NA-4000 - Lesaka						
REALIZADO POR:		MIGUEL ÁNGEL ORTIZ FERNÁNDEZ	INFORME Nº:		E151025			
REVISADO POR:		PABLO SALVARREY ISEQUILLA	FECHA DE EMISIÓN:		14/10/2025			

Ref. Muestra	Profundidad	Localización	Tipo	Reacción al ácido clorhídrico	Ref. Muestra	Profundidad	Localización	Tipo	Reacción al ácido clorhídrico
16388	10,25-10,75	S4	TP	Positiva	16389	12,20-12,50	S4	TP	Positiva
									
Caliza arenosa recristalizada de color gris					Caliza arenosa recristalizada de color gris				

Ref. Muestra	Profundidad	Localización	Tipo	Reacción al ácido clorhídrico	Ref. Muestra	Profundidad	Localización	Tipo	Reacción al ácido clorhídrico
16390	16,75-17,00	S4	TP	Positiva	16392	20,00-20,20	S4	TP	Positiva
La imagen de la muestra se puede ver en el ensayo de rotura a compresión.					La imagen de la muestra se puede ver en el ensayo de rotura a compresión.				
Caliza arenosa recristalizada de color gris					Caliza arenosa recristalizada de color gris				

Ref. Muestra	Profundidad	Localización	Tipo	Reacción al ácido clorhídrico	Ref. Muestra	Profundidad	Localización	Tipo	Reacción al ácido clorhídrico
16393	16,32	S4	Agua	-					
Muestra de agua piezométrica									


Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio

Observaciones: _____


Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16368		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S2	0,80-1,40 m.		
Fecha de Toma:	12/09/2025			
Fecha de Ensayo:	26/09/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain	

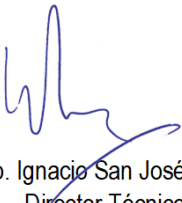
Masa del agua	m _w (g)	34,97
Muestra húmeda	m ₁ (g)	273,03
Muestra seca	m ₂ (g)	238,06
Masa del recipiente	m _c (g)	61,35
Masa muestra seca	m _d (g)	176,71
% Humedad	m _w /m _d x 100	19,8

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16368		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S2	0,80-1,40 m.		
Fecha de Toma:	12/09/2025			
Fecha de Ensayo:	26/09/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain	

Agua	a = (t+s+a)-(t+s)	34,97
Tara+suelo+agua	t+s+a	273,03
Tara+suelo	t+s	238,06
Tara	t	61,35
Suelo	s	176,71
% Humedad	w = a/s x 100	19,8

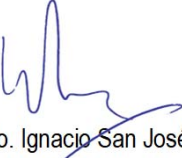
Masa muestra	m (g)	88,90
Masa muestra con relleno de huecos	m _i (g)	88,90
Masa muestra+parafina	m _c (g)	92,10
Densidad parafina	γ _p (Mg/m³)	0,84
Densidad Fluido de inmersión a 25 °C	γ _{fl} (Mg/m³)	1,00
Masa sumergida muestra+parafina	m _g (g)	43,30
Volumen muestra	V = [((m _c -m _g)/γ _{fl})-((m _c -m _i)/γ _p)] x 10 ⁻⁶ (m³)	44,99
Densidad húmeda	γ _{ap} = m / V (Mg/m³)	1,98
Densidad seca	γ _d = γ _{ap} / [1 + (w / 100)] (Mg/m³)	1,65

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16368		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S2	0,80-1,40 m.		
Fecha de Toma:	12/09/2025			
Fecha de Ensayo:	30/09/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):		PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain

CÁLCULOS PREVIOS		
A	Muestra total seca (m)	1011,70
B	Muestra tratam. M.O.	.
C	Muestra tratam. Carb.	.
D	Gruesos lavados y secados (m _i)	0,00
E	Fracción fina previa al cuarteo	1011,70
E	Relac. Masas por el cuarteado	9,06
G	Fracción fina ensayada (m _s)	111,70

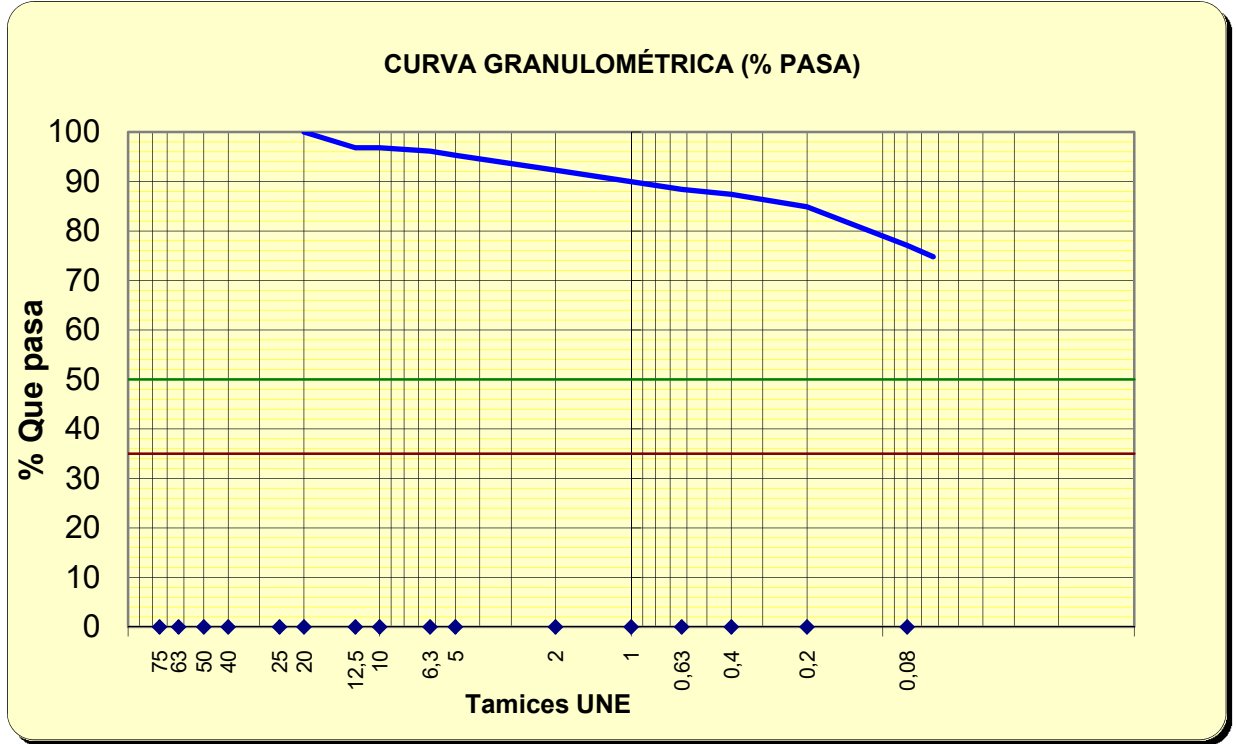
Masa del agua	m _w (g)	1,54
Muestra húmeda	m ₁ (g)	161,30
Muestra seca	m ₂ (g)	159,76
Masa del recipiente	m _c (g)	58,00
Masa muestra seca	m _d (g)	101,76
% Humedad	m _w /m _d x100	1,5

Es fracción gruesa el material retenido por el tamiz nº20, correspondiendo a la separación de gravas medias y gruesas y a la fracción fina el que pasa por el mismo tamiz

TAMICES			Retenido en tamices			Pasa en muestra total		Observaciones
U.N.E.	A.S.T.M.		Grs.en la parte fina ensay. (m _{sn})	Grs.en la parte fina ajust. (m' _{sn})	Grs.en la muestra total (m' _{ssn})	Porcentaje	% Pasa (f _n)	
	Designación	Abertura mm.						
1	2 A	2 B	3	4	5	6	7	
						1.011,7	100,0	
75	3"	75,000			0,00	0,00	100,0	
63	2,5"	63,500			0,00	0,00	100,0	
50	2 "	50,800			0,00	0,00	100,0	
40	1,5"	38,100			0,00	0,00	100,0	
25	1"	25,400			0,00	0,00	100,0	
20	3/4"	19,100			0,00	0,00	100,0	
12,5	1/2"	12,700	3,54	32,06		0,03	96,8	
10	3/8"	9,520	0,00	0,00		0,03	96,8	
6,3	1/4"	6,350	0,77	6,97		0,04	96,1	
5	Nº 4	4,750	0,92	8,33		0,05	95,3	
2	Nº 10	2,000	3,39	30,70		0,08	92,3	
1	Nº 18	1,000	2,58	23,37		0,10	90,0	
0,63	Nº 30	0,590	1,75	15,85		0,12	88,4	
0,40	Nº 40	0,420	1,13	10,23		0,13	87,4	
0,20	Nº 80	0,180	2,81	25,45		0,15	84,9	
0,08	Nº 200	0,074	8,71	78,89		0,23	77,1	
0,063	Nº 230	0,063	2,57	23,28		0,25	74,8	
	Mat. Bandeja (<0,063 mm) (m _p)		0,16					
	Masa total de mat. retenido (m _r)		1011,70					
	Diferencia entre m y m _i (%)		0,00					

Densidad de partículas sólidas	G; Mg/m ³	2,70	(Valor supuesto)
--------------------------------	----------------------	------	------------------

Nº Referencia Muestra:	16368
------------------------	-------



75	63	50	40	25	20	12,5	10	6,3	5	2	1	0,63	0,4	0,2	0,08	0,063
100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	96,8	96,8	96,1	95,3	92,3	90,0	88,4	87,4	84,9	77,1	74,8

Tamices			
% pasa	%	SUCS	CTE
	GRAVA	4,7	7,7
	ARENA	18,2	17,5
	FINOS	77,1	74,8

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.

Fdo. Pablo Salvarrey

Director del Laboratorio

Fdo. Ignacio San José

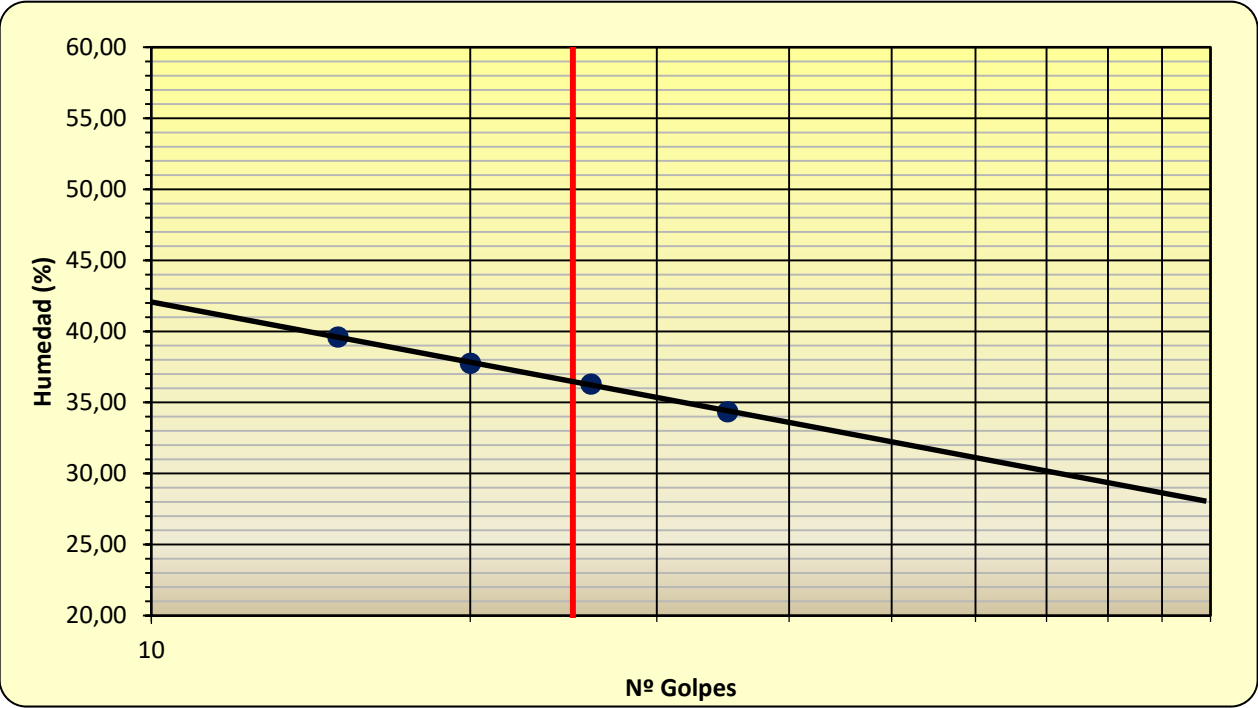
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16368	Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S2	0,80-1,40 m.	
Fecha de Toma:	12/09/2025		
Fecha de Ensayo:	01/10/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka	WSP Spain	

Método empleado:			
Cono de caída:	NO	Tipo de Cono empleado:	-
Cuchara de Casagrande:	SI	Método de un punto:	-

LÍMITE LÍQUIDO (UNE-EN ISO 17892-12)	Número de golpes		15	20	26	35
	Referencia tara		1	2	3	4
t+s+a	Tara+suelo+agua		28,94	28,62	30,24	29,39
t+s	Tara+suelo		27,53	27,37	28,73	28,26
t	Tara		23,97	24,06	24,57	24,97
s=(t+s)-t	Suelo		3,56	3,31	4,16	3,29
a=(t+s+a)-(t+s)	Agua		1,41	1,25	1,51	1,13
w=100x a / s	Humedad (%)		39,61	37,76	36,30	34,35
K Material con tamaño < 0,4 mm (%) (Material seco en estufa a 50º)	87,4	W (Muestra original):				19,79
		W (Previa al ensayo):				1,51
		m1 (g)	213,60	mr (g)	26,92	
			LÍMITE LÍQUIDO:			36,4
Suelo secado en estufa a no más de 50 ° C						

Suelo secado en estufa a no más de 50 ° C

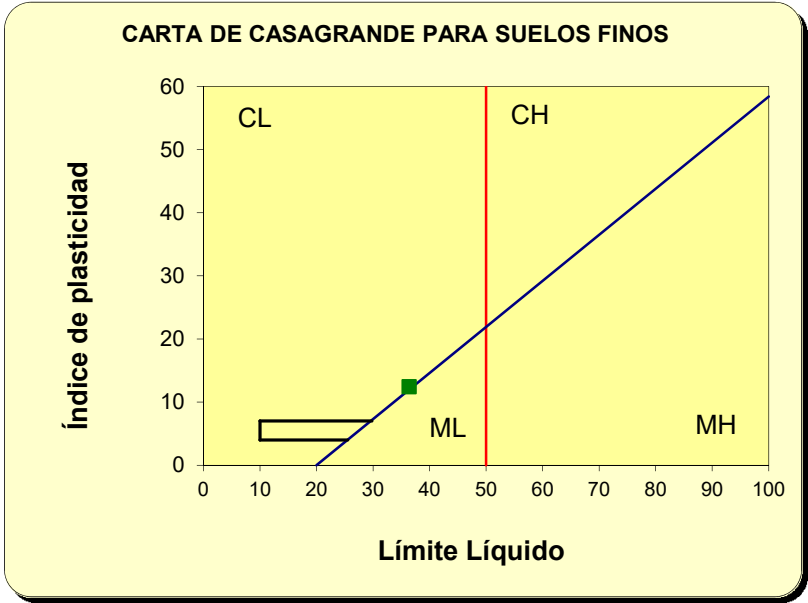


Nº Referencia Muestra:	16368
------------------------	-------

LÍMITE PLÁSTICO (UNE-EN ISO 17892-12)	Referencia tara	1	2
t+s+a	Tara+suelo+agua	27,44	29,97
t+s	Tara+suelo	26,45	28,89
t	Tara	22,28	24,43
s=(t+s)-t	Suelo	4,17	4,46
a=(t+s+a)-(t+s)	Agua	0,99	1,08
w=100x a / s	Humedad (%)	23,74	24,22

LÍMITE PLÁSTICO
24,0

FRACCIÓN > 5,00 mm, %	4,7
FRACCIÓN < 0,08 mm, %	77,1
LÍMITE LÍQUIDO, LL	36,4
LÍMITE PLÁSTICO, LP	24,0
ÍNDICE DE PLASTICIDAD, IP	12,4
CLASIFICACIÓN SUCS	CL
DESCRIPCIÓN ASTM D-2486	
Arcilla de media plasticidad	
ÍNDICE DE LIQUIDEZ, I _L	-0,3
ÍNDICE DE CONSISTENCIA, I _c	1,3
ÍNDICE DE ACTIVIDAD, I _a	-



Método de preparación:
Tamizado para romper la estructura del suelo y ajustando la consistencia de la pasta remoldeada al rango requerido en el ensayo.
El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.

Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio

Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16368		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S2	0,80-1,40 m.		
Fecha de Toma:	12/09/2025			
Fecha de Ensayo:	01/10/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):		PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain

Peso de suelo seco ensayado (g)	-
Volumen de líquido recogido para la valoración (ml)	-
Volumen de Hidróxido de Sodio empleado en la valoración (ml)	-
Grado de acidez (ml/kg suelo) (UNE 83962)	-

Peso de suelo analizado: M (kg)	0,05
Tara del crisol: C (g)	61,9137
Peso del filtro calcinado: F (g)	0,0000
C + F + Precipitado (g)	61,9147
Peso precipitado = (C + F + Precipitado)-(C + F)	0,0010
mg SO ₄ ²⁻ / kilo de suelo = 411,6 x P / M	8,232
Contenido en ión SO ₄ ²⁻ (%) (UNE 83963)	0,001

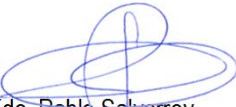
DETERMINACIÓN	Resultado del ensayo	GRADO DE AGRESIVIDAD		
		Débil (XA1)	Medio (XA2)	Fuerte (XA3)
Acidez Baumann-Gully (ml/kg suelo)	-	> 200	-	-
Contenido en sulfatos (mg SO ₄ ²⁻ / kilo de suelo)	8	2000 a 3000	3000 a 12000	> 12000

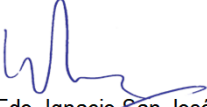
EVALUACIÓN DE LA AGRESIVIDAD:

El suelo no es agresivo para el hormigón

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.


Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio


Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16368		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S2	0,80-1,40 m.		
Fecha de Toma:	12/09/2025			
Fecha de Ensayo:	01/10/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):		PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain

MUESTRA	M1	M2
M _i Masa muestra analizada (g)	0,25	0,25
C _i Volumen de KMnO ₄ gastado en la valoración	0,9	0,9
f Factor de normalidad del KMnO ₄	1	1
$\%MO_i = \frac{0.1032 \cdot C_i \cdot f}{M_i}$	0,37	0,37
% MO de la fracción < 5 mm	0,37	
% MO del total de la muestra	0,35	

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.

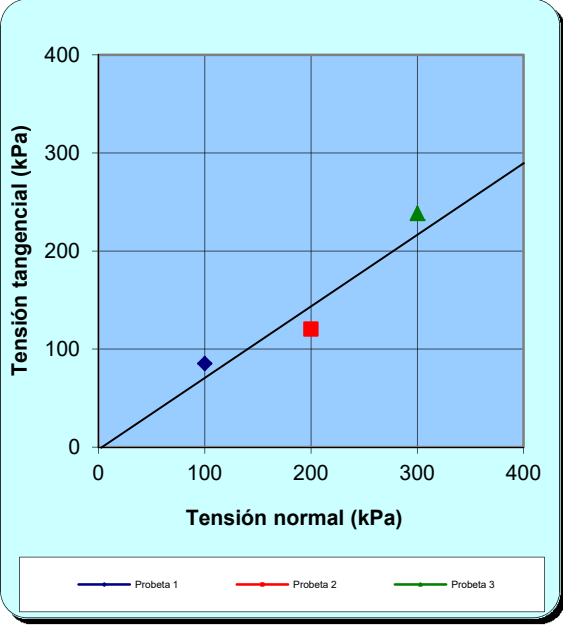

Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio


Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16368	Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S2	0,80-1,40 m.	Tipo Ensayo: CDCD
Fecha de Toma:	12/09/2025	Tipo Muestra:	MI
Fecha de Ensayo:	01/10/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain

PROBETA	1	2	3
Tensión normal, σ (kPa)	100	200	300
Tensión tang. de pico, τ_p (kPa)	85,31	120,44	238,37
Tensión tang. residual, τ_r (kPa)	-	-	-
Diámetro (mm)	49,89	49,89	49,89
Altura (mm)	24,74	24,74	24,74
Humedad inicial, ω_i (%)	22,07	22,82	21,55
Humedad final, ω_f (%)	23,06	23,01	21,86
Densidad aparente inicial, γ_{ap} (Mg/m ³)	2,03	2,02	2,04
Densidad seca inicial, γ_d (Mg/m ³)	1,67	1,65	1,68
Velocidad de ensayo (mm/min)	0,01	0,01	0,01
Consolidación (mm)	0,19	0,27	0,18

FRICCIÓN INTERNA EFECTIVA (°):	36
COHESIÓN EFECTIVA (kPa):	11



El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.

OBSERVACIONES:

El ensayo se ha realizado sobre una muestra sumergida en agua.

Fdo. Pablo Salvarrey

Director del Laboratorio

Fdo. Ignacio San José

Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16368	Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S2	0,80-1,40 m.	
Fecha de Toma:	12/09/2025		
Fceha de Ensayo:	29/09/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain

Altura del anillo h_0 (mm)	18,87	Diámetro interior del anillo (mm)	49,85
Sección (mm ²)	1951,73	Volumen interior del anillo (cm ³)	36,83

HUMEDAD INICIAL		
Tara+suelo+agua	(t+s+a)	158,91
Tara+suelo	(t+s)	144,81
Tara	(t)	79,39
Agua	$a = (t+s+a) - (t+s)$	14,10
Suelo	$s = (t+s) - t$	65,42
% Humedad	$\omega_i = (a/s) \times 100$	21,55

HUMEDAD FINAL		
Tara+suelo+agua	(t+s+a)	157,77
Tara+suelo	(t+s)	144,81
Tara	(t)	79,39
Agua	$a = (t+s+a) - (t+s)$	12,96
Suelo	$s = (t+s) - t$	65,42
% Humedad	$\omega_f = (a/s) \times 100$	19,81

Densidad aparente inicial (Mg/m ³)	$\gamma_{ap} = s / V$	2,16
Densidad seca inicial (Mg/m ³)	$\gamma_d = g / 1 + (hi/100)$	1,78

3 kPa	0 De deformación	7,93
-------	------------------	------

CARGA			
5 kPa	-	150 kPa	7,07
10 kPa	7,76	300 kPa	6,78
20 kPa	7,64	600 kPa	6,40
40 kPa	7,48	1000 kPa	-
80 kPa	7,29	1500 kPa	-

DESCARGA			
1500 kPa	-	80 kPa	-
1000 kPa	-	40 kPa	6,54
600 kPa	-	20 kPa	-
300 kPa	-	10 kPa	-
150 kPa	6,47	5 kPa	-

I. de compresión, C_c	0,064
I. de entumecimiento, C_s	0,008

Módulo edo. secante, E_m (Mpa)	9,660
Coef. compresibilidad, a_v (m ² /KN)	0,00196

$P_{hinamiento}$	$(Q / S) \times 1000$ (kPa)	0
Grado saturación inicial (%)	$S_r = (W_0 G) / e_0$	198,79
Índice de poros inicial	$e_0 = (G / g_d) - 1$	0,239
Densidad de partículas sólidas	dL; Mg/m ³	2,20

OBSERVACIONES: Los parámetros C_c , E_m y a_v se han determinado para el rango 150 - 300 Kpa;
el índice de entumecimiento se ha determinado para el rango 600 kPa - 40 kPa
La temperatura de ensayo en el laboratorio varió entre 15-18°C.

Fdo. Pablo Salvarrey

Director del Laboratorio

Fdo. Ignacio San José

Director Técnico

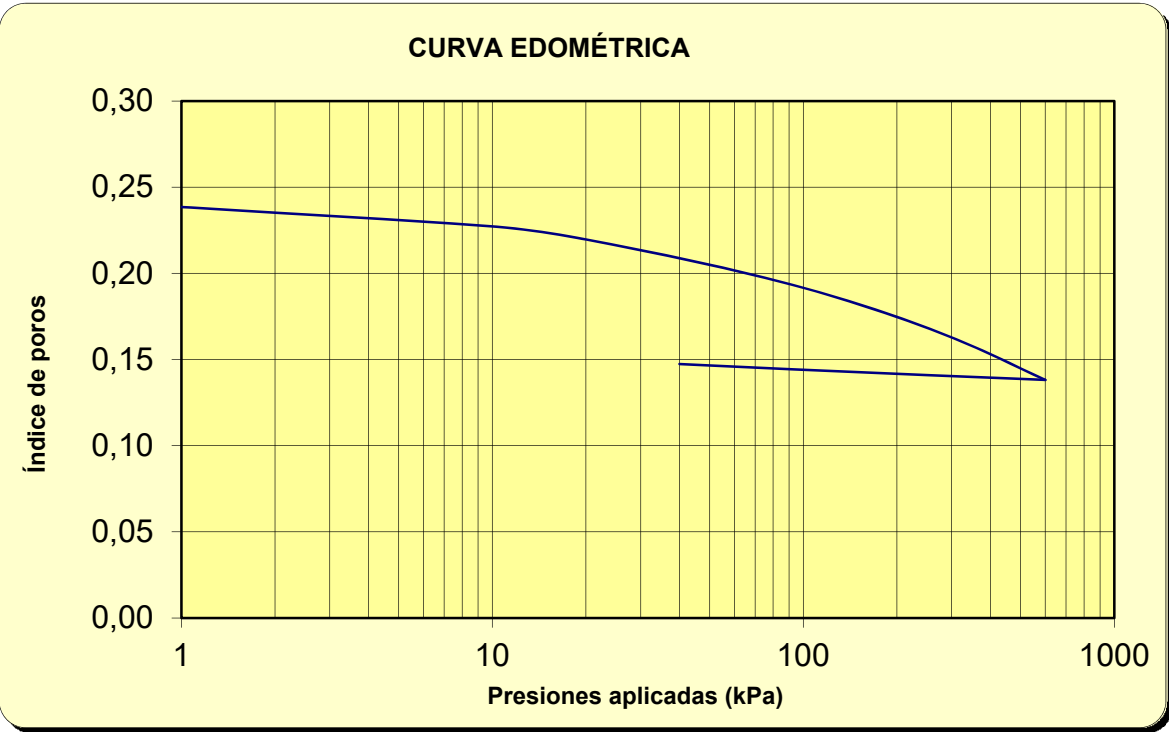
Laboratorio de ensayos para el Control de Calidad de la Edificación acreditado por la Dirección General de Vivienda y Arquitectura del Gobierno de Cantabria,
según Real Decreto 410/2010 de 31 de marzo, con número de acreditación CTB-L-008

Nº Referencia Muestra:

16368

Altura del sólido (mm)	$H_s = H_0 / (1 + e_0)$	15,24
------------------------	-------------------------	-------

Escalones de carga (kPa)	Lecturas al final de cada escalón (mm)		Altura probeta al final de cada escalón (mm)	Índice de poros al final de cada escalón	Deformación unitaria, ϵ
1	H_0	0	18,870	0,239	0,000
10	0,172		18,698	0,227	0,047
20	0,115		18,583	0,220	0,079
40	0,168		18,415	0,209	0,125
80	0,188		18,227	0,196	0,177
150	0,216		18,011	0,182	0,236
300	0,293		17,718	0,163	0,317
600	0,377		17,341	0,138	0,421
150	-0,068		17,409	0,143	0,402
40	-0,073		17,482	0,147	0,382



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio

Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:

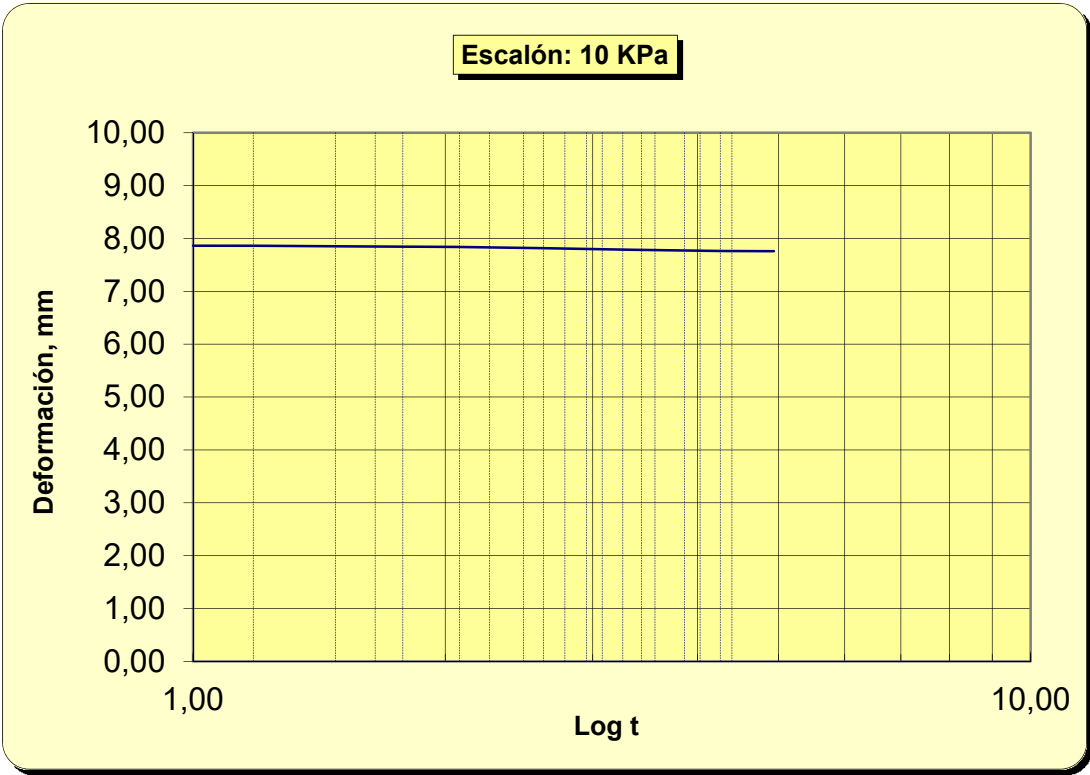
16368

Informe Nº:

E151025

CURVA DE CONSOLIDACIÓN PARA CADA ESCALÓN DE CARGA

Tiempo	Asiento, mm						
	10 kPa	20 kPa	40 kPa	80 kPa	150 kPa	300 kPa	600 kPa
10 s	7,862	7,730	7,579	7,399	7,202	6,948	6,608
20 s	7,858	7,728	7,572	7,390	7,190	6,931	6,587
30 s	7,850	7,724	7,569	7,385	7,181	6,920	6,571
40 s	7,848	7,722	7,565	7,380	7,175	6,911	6,561
50 s	7,846	7,720	7,561	7,378	7,170	6,903	6,552
1 m	7,844	7,719	7,559	7,374	7,167	6,899	6,544
2 m	7,839	7,712	7,548	7,361	7,155	6,875	6,513
4 m	7,826	7,703	7,537	7,348	7,135	6,855	6,489
8 m	7,812	7,692	7,523	7,332	7,119	6,835	6,463
15 m	7,799	7,681	7,511	7,321	7,106	6,820	6,449
30 m	7,785	7,672	7,503	7,311	7,098	6,809	6,438
1 h	7,779	7,668	7,498	7,309	7,090	6,800	6,430
2 h	7,772	7,663	7,491	7,301	7,085	6,796	6,422
4 h	7,768	7,660	7,488	7,300	7,082	6,790	6,418
8 h	7,760	7,649	7,481	7,295	7,078	6,782	6,410
24 h	7,758	7,643	7,475	7,287	7,071	6,778	6,401
Tª	16	17	17	16	17	18	18

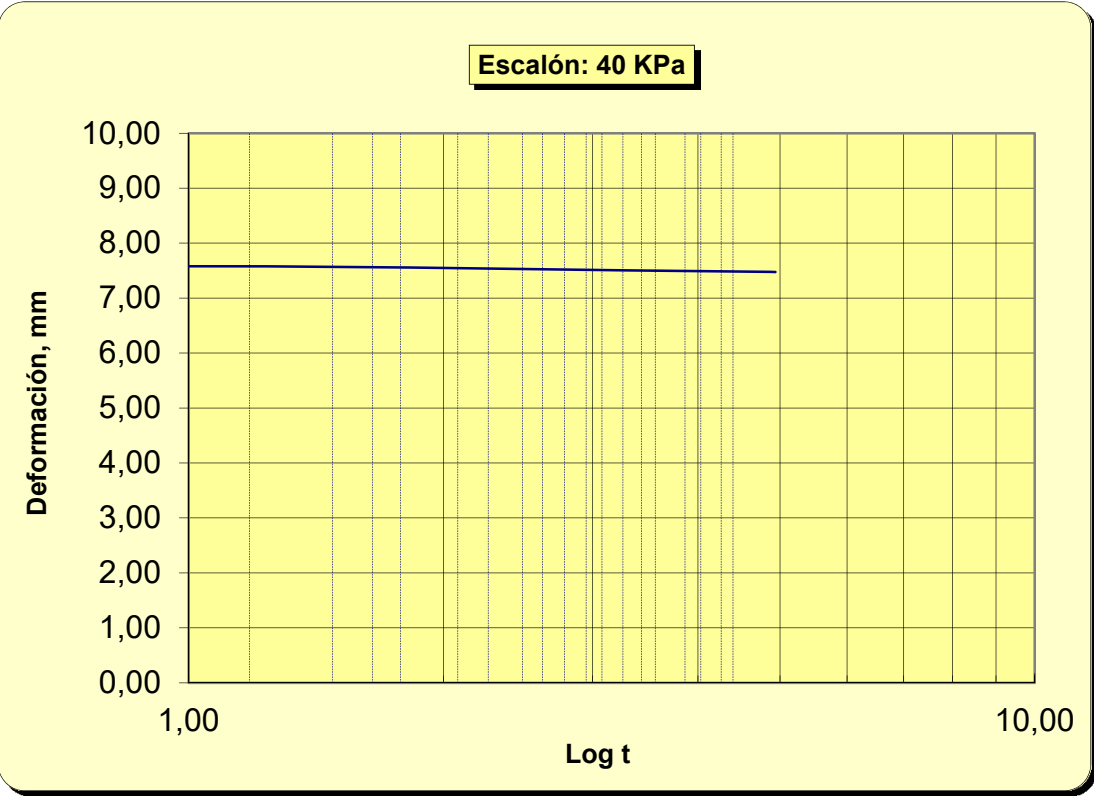
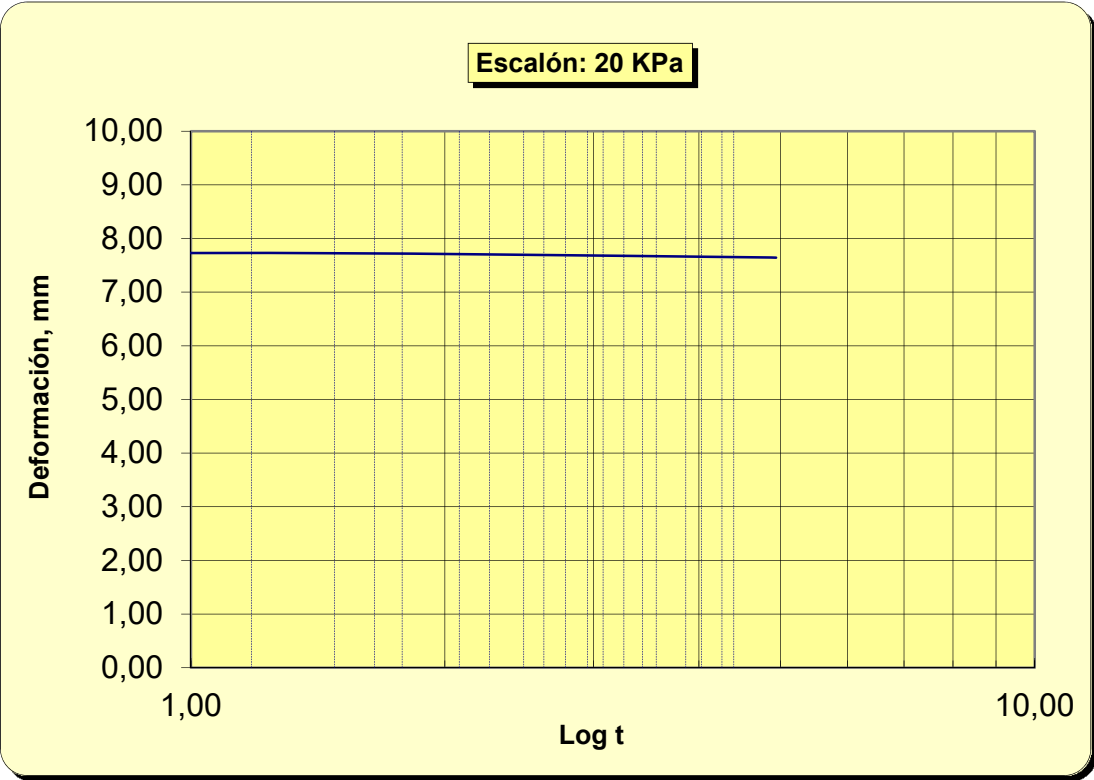


Nº Referencia Muestra:

16368

Informe Nº:

E151025

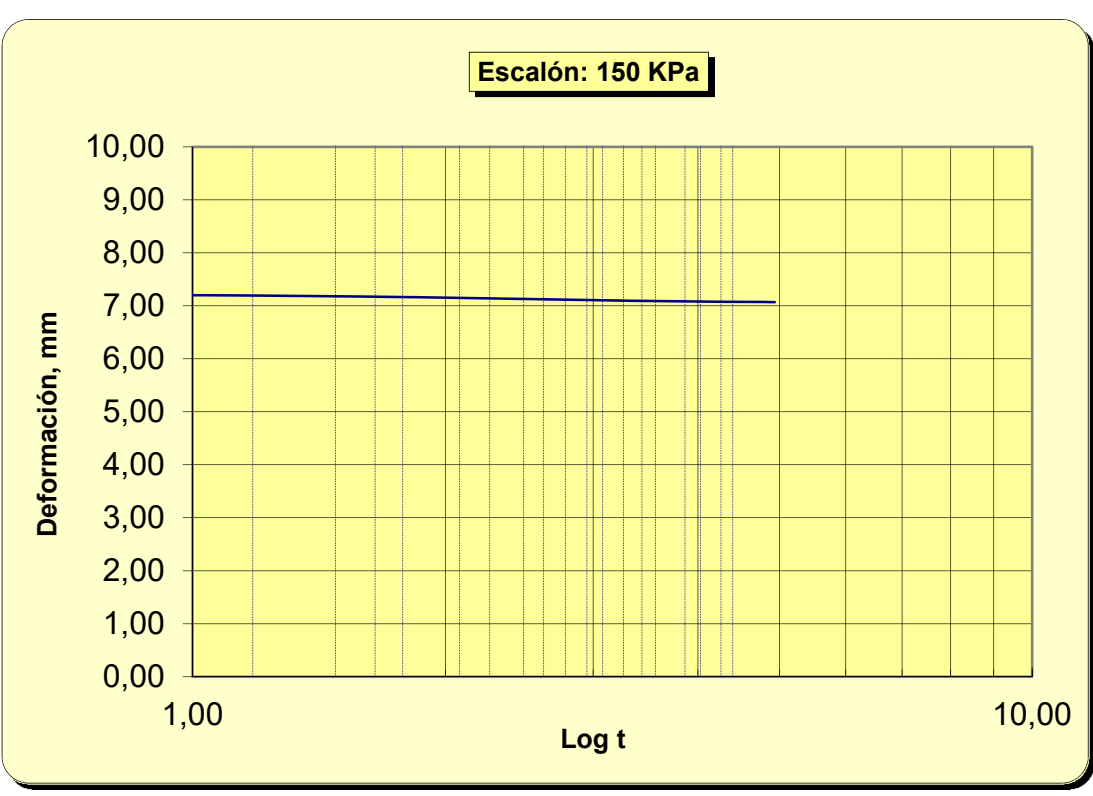
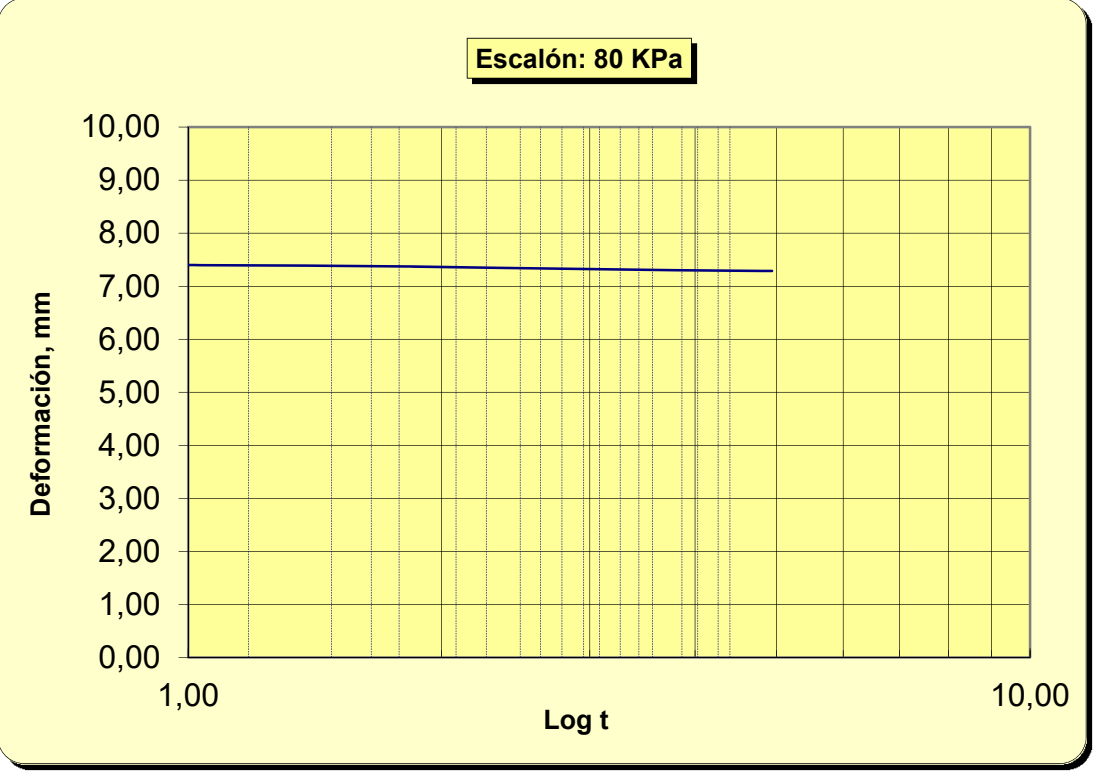


Nº Referencia Muestra:

16368

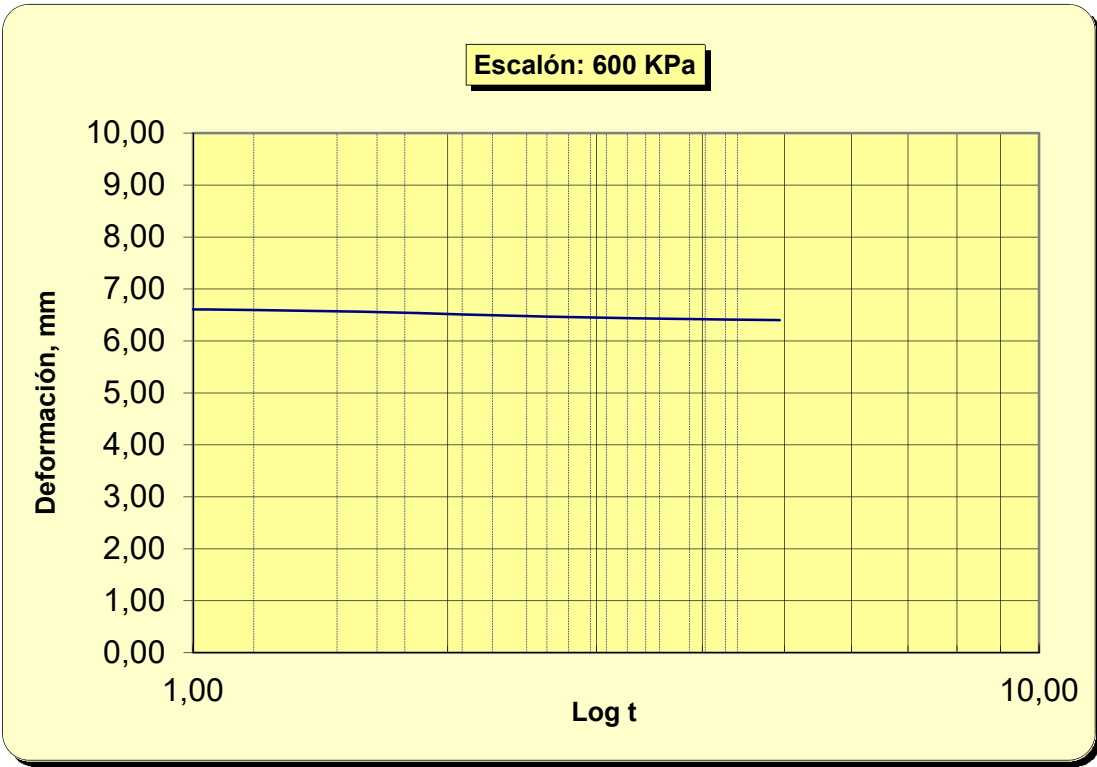
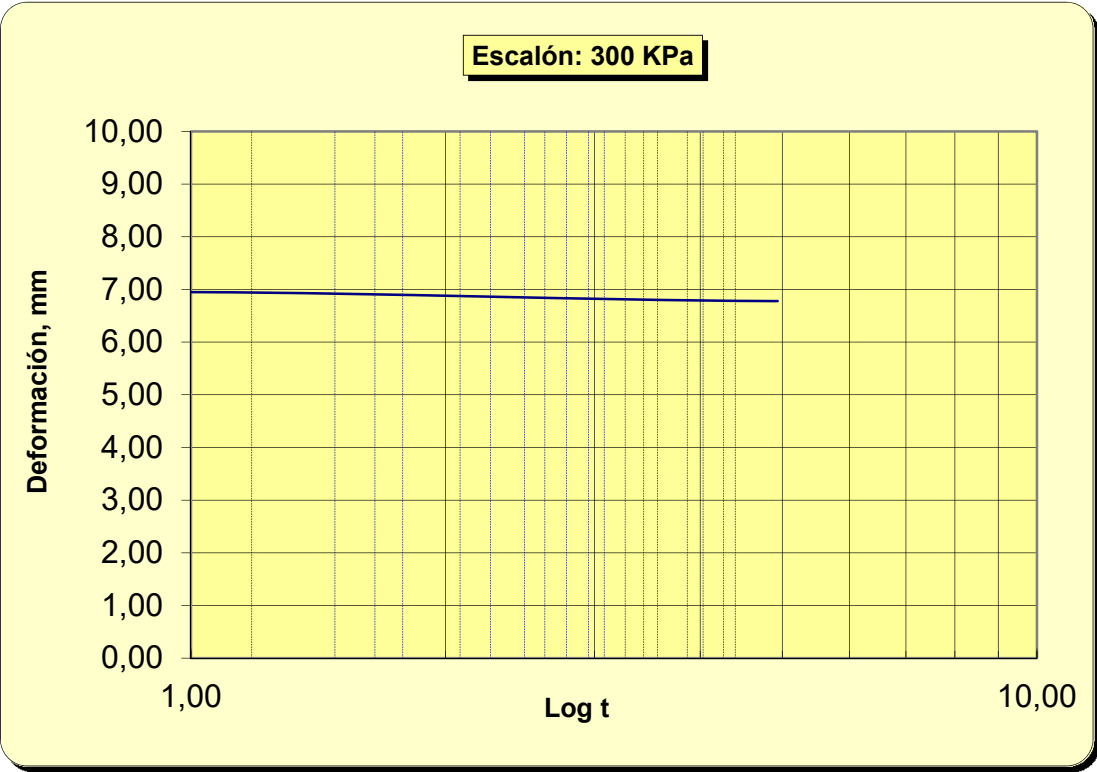
Informe Nº:

E151025



Nº Referencia Muestra:16368

Informe Nº:E151025



Nº Referencia Muestra:16368

Informe Nº:E151025

Muestra (Origen / Profundidad):S20,80-1,40 m.

Fecha de Toma:12/09/2025

Fecha de Ensayo:29/09/2025

Fecha de emisión del Informe:14/10/2025

Procedencia (Obra / Cliente):PC Variante NA-4000 - LesakaWSP Spain

REFERENCIA PICNÓMETRO	Nº	1	2	3
Peso del picnómetro vacío y seco (g)	m ₀	31,5415	31,7564	32,7822
Peso del picnómetro lleno de agua (g)	m ₁	82,5415	82,3080	83,1965
m ₀ + peso de la muestra (g)	m ₂	41,3483	41,6685	42,7948
m ₂ + picnómetro lleno de agua (g)	m ₃	87,9173	87,6957	88,6564
m ₂ - m ₀ (g)	m ₄	9,8068	9,9121	10,0126
Densidad relativa de las partículas de un suelo (g/cm³)	$\rho_s = ((m_4) / (m_1 - m_0) - (m_3 - m_2)) * \rho_L$	2,21	2,19	2,20
DENSIDAD RELATIVA DE LAS PARTÍCULAS DE UN SUELO (Mg/m³)	MEDIA	2,20		

Temperatura del agua (°C): 21

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.


Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio


Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16369		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S2	1,40-2,00 m.		
Fecha de Toma:	13/09/2025			
Fecha de Ensayo:	24/09/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):		PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain

Masa del agua	m _w (g)	11,43
Muestra húmeda	m ₁ (g)	131,76
Muestra seca	m ₂ (g)	120,33
Masa del recipiente	m _c (g)	65,74
Masa muestra seca	m _d (g)	54,59
% Humedad	m _w /m _d x 100	20,9

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16369		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S2	1,40-2,00 m.		
Fecha de Toma:	13/09/2025			
Fecha de Ensayo:	30/09/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):		PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain

CÁLCULOS PREVIOS		
A	Muestra total seca (m)	735,80
B	Muestra tratam. M.O.	.
C	Muestra tratam. Carb.	.
D	Gruesos lavados y secados (m _i)	0,00
E	Fracción fina previa al cuarteo	735,80
E	Relac. Masas por el cuarteado	6,01
G	Fracción fina ensayada (m _s)	122,50

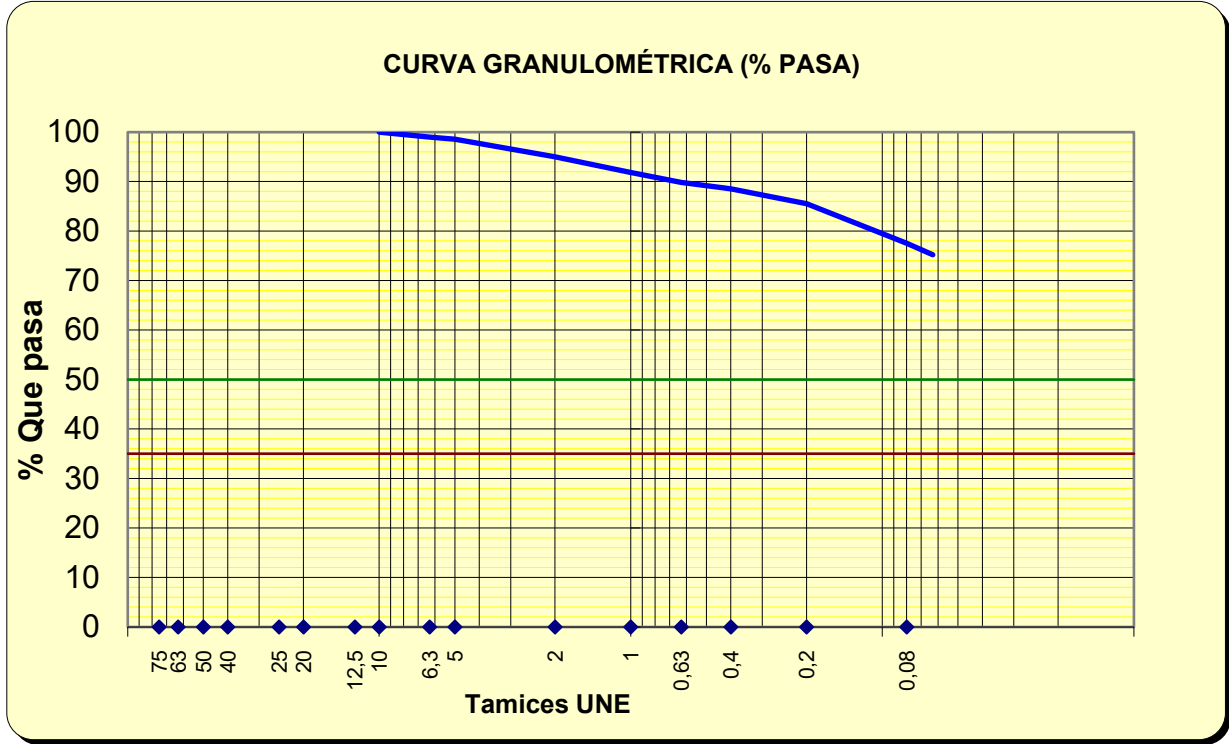
Masa del agua	m _w (g)	1,92
Muestra húmeda	m ₁ (g)	200,40
Muestra seca	m ₂ (g)	198,48
Masa del recipiente	m _c (g)	69,60
Masa muestra seca	m _d (g)	128,88
% Humedad	m _w /m _d x100	1,5

Es fracción gruesa el material retenido por el tamiz nº20, correspondiendo a la separación de gravas medias y gruesas y a la fracción fina el que pasa por el mismo tamiz

TAMICES			Retenido en tamices			Pasa en muestra total		Observaciones
U.N.E.	A.S.T.M.		Grs.en la parte fina ensay. (m _{sn})	Grs.en la parte fina ajust. (m' _{sn})	Grs.en la muestra total (m' _{ssn})	Porcentaje	% Pasa (f _n)	
	Designación	Abertura mm.						
1	2 A	2 B	3	4	5	6	7	
						735,8	100,0	
75	3"	75,000			0,00	0,00	100,0	
63	2,5"	63,500			0,00	0,00	100,0	
50	2 "	50,800			0,00	0,00	100,0	
40	1,5"	38,100			0,00	0,00	100,0	
25	1"	25,400			0,00	0,00	100,0	
20	3/4"	19,100			0,00	0,00	100,0	
12,5	1/2"	12,700	0,00	0,00		0,00	100,0	
10	3/8"	9,520	0,00	0,00		0,00	100,0	
6,3	1/4"	6,350	1,26	7,57		0,01	99,0	
5	Nº 4	4,750	0,53	3,18		0,01	98,5	
2	Nº 10	2,000	4,36	26,19		0,05	95,0	
1	Nº 18	1,000	3,88	23,31		0,08	91,8	
0,63	Nº 30	0,590	2,45	14,72		0,10	89,8	
0,40	Nº 40	0,420	1,59	9,55		0,11	88,5	
0,20	Nº 80	0,180	3,66	21,98		0,14	85,5	
0,08	Nº 200	0,074	9,79	58,80		0,22	77,5	
0,063	Nº 230	0,063	2,84	17,06		0,25	75,2	
	Mat. Bandeja (<0,063 mm) (m _p)		0,14					
	Masa total de mat. retenido (m _i)		735,80					
	Diferencia entre m y m _i (%)		0,00					

Densidad de partículas sólidas	G; Mg/m³	2,70	(Valor supuesto)
--------------------------------	----------	------	------------------

Nº Referencia Muestra: 16369



75	63	50	40	25	20	12,5	10	6,3	5	2	1	0,63	0,4	0,2	0,08	0,063
100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,0	98,5	95,0	91,8	89,8	88,5	85,5	77,5	75,2

Tamices
% pasa

%	SUCS	CTE
GRAVA	1,5	5,0
ARENA	21,0	19,8
FINOS	77,5	75,2

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.

Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio

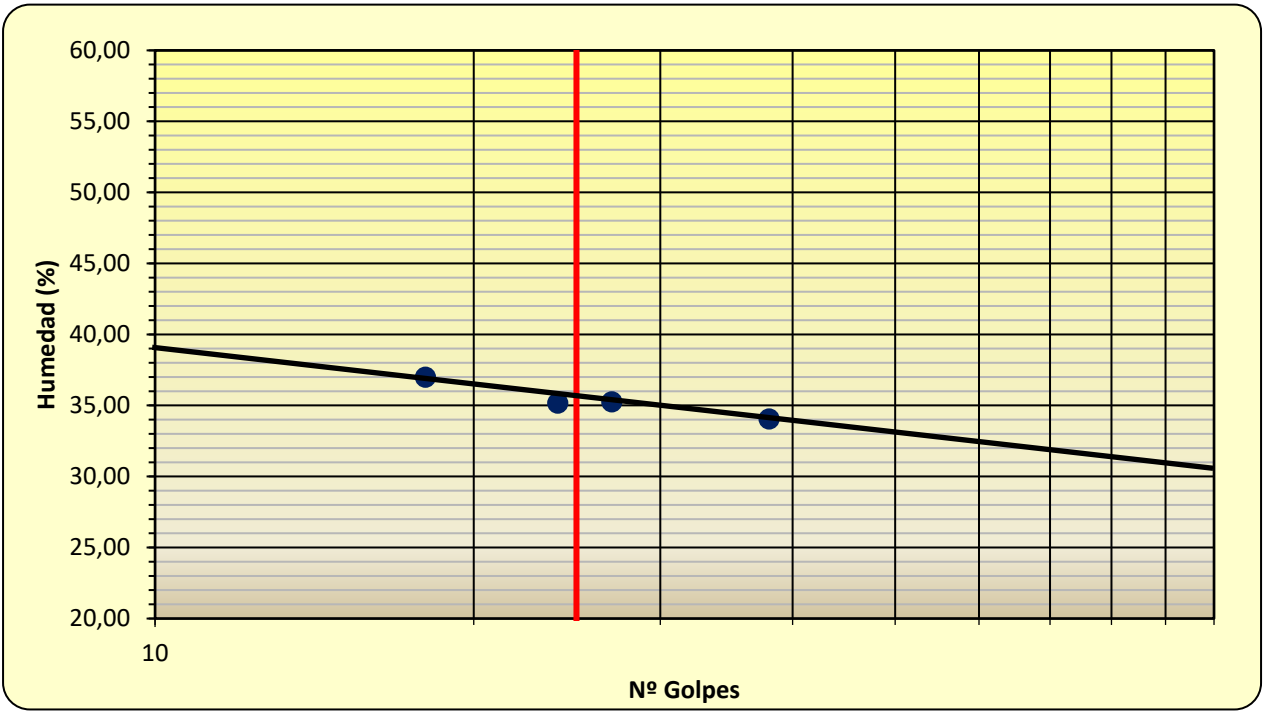
Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16369	Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S2	1,40-2,00 m.	
Fecha de Toma:	13/09/2025		
Fecha de Ensayo:	01/10/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka	WSP Spain	

Método empleado:			
Cono de caída:	NO	Tipo de Cono empleado:	-
Cuchara de Casagrande:	SI	Método de un punto:	-

LÍMITE LÍQUIDO (UNE-EN ISO 17892-12)	Número de golpes	18	24	27	38
	Referencia tara	1	2	3	4
t+s+a	Tara+suelo+agua	29,45	29,56	29,41	29,71
t+s	Tara+suelo	28,07	28,28	28,13	28,30
t	Tara	24,34	24,64	24,50	24,16
s=(t+s)-t	Suelo	3,73	3,64	3,63	4,14
a=(t+s+a)-(t+s)	Agua	1,38	1,28	1,28	1,41
w=100x a / s	Humedad (%)	37,00	35,16	35,26	34,06
K Material con tamaño < 0,4 mm (%) (Material seco en estufa a 50°)		88,5	W (Muestra original):		20,94
			W (Previa al ensayo):		1,49
		m1 (g)	306,50	mr (g)	35,20
		LÍMITE LÍQUIDO:			35,7

Suelo secado en estufa a no más de 50 ° C



Nº Referencia Muestra:

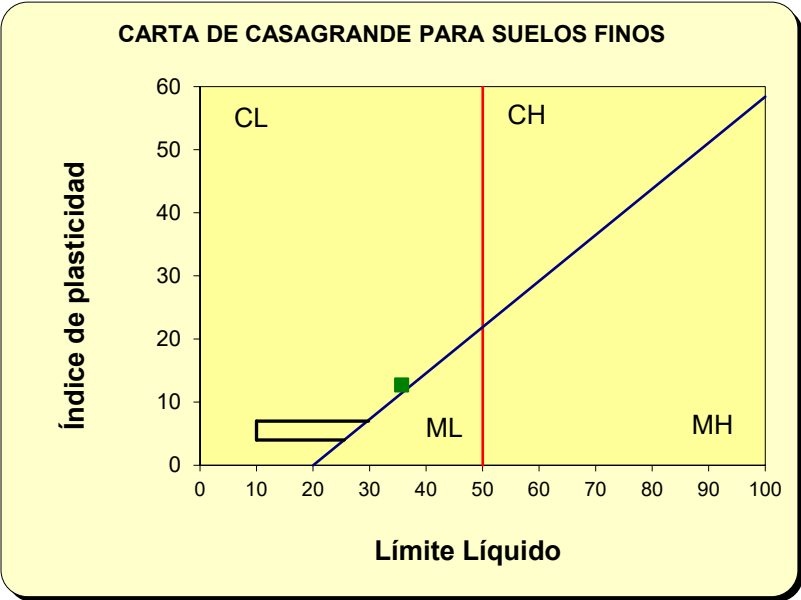
16369

LÍMITE PLÁSTICO (UNE-EN ISO 17892-12)	Referencia tara	1	2
t+s+a	Tara+suelo+agua	30,90	31,50
t+s	Tara+suelo	29,75	30,15
t	Tara	24,73	24,30
s=(t+s)-t	Suelo	5,02	5,85
a=(t+s+a)-(t+s)	Agua	1,15	1,35
w=100x a / s	Humedad (%)	22,91	23,08

LÍMITE PLÁSTICO

23,0

FRACCIÓN > 5,00 mm, %	1,5
FRACCIÓN < 0,08 mm, %	77,5
LÍMITE LÍQUIDO, LL	35,7
LÍMITE PLÁSTICO, LP	23,0
ÍNDICE DE PLASTICIDAD, IP	12,7
CLASIFICACIÓN SUCS	CL
DESCRIPCIÓN ASTM D-2486	
Arcilla de media plasticidad	
ÍNDICE DE LIQUIDEZ, I _L	-0,2
ÍNDICE DE CONSISTENCIA, I _c	1,2
ÍNDICE DE ACTIVIDAD, I _a	-



Método de preparación:

Tamizado para romper la estructura del suelo y ajustando la consistencia de la pasta remoldeada al rango requerido en el ensayo.

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.

Fdo. Pablo Salvarrey

Director del Laboratorio

Fdo. Ignacio San José

Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16369		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S2	1,40-2,00 m.		
Fecha de Toma:	13/09/2025			
Fecha de Ensayo:	01/10/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):		PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain

Peso de suelo seco ensayado (g)	-
Volumen de líquido recogido para la valoración (ml)	-
Volumen de Hidróxido de Sodio empleado en la valoración (ml)	-
Grado de acidez (ml/kg suelo) (UNE 83962)	-

Peso de suelo analizado: M (kg)	0,05
Tara del crisol: C (g)	125,6814
Peso del filtro calcinado: F (g)	0,0000
C + F + Precipitado (g)	125,6822
Peso precipitado = (C + F + Precipitado)-(C + F)	0,0008
mg SO ₄ ²⁻ / kilo de suelo = 411,6 x P / M	6,5856
Contenido en ión SO ₄ ²⁻ (%) (UNE 83963)	0,001

DETERMINACIÓN	Resultado del ensayo	GRADO DE AGRESIVIDAD		
		Débil (XA1)	Medio (XA2)	Fuerte (XA3)
Acidez Baumann-Gully (ml/kg suelo)	-	> 200	-	-
Contenido en sulfatos (mg SO ₄ ²⁻ / kilo de suelo)	7	2000 a 3000	3000 a 12000	> 12000

EVALUACIÓN DE LA AGRESIVIDAD:

El suelo no es agresivo para el hormigón

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.

Fdo. Pablo Salvarrey

Director del Laboratorio

Fdo. Ignacio San José

Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16370		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S2	5,15-5,45 m.		
Fecha de Toma:	16/09/2025			
Fecha de Ensayo:	25/09/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain	

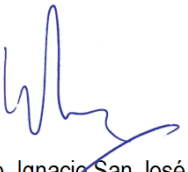
Masa del agua	m _w (g)	0,8
Muestra húmeda	m ₁ (g)	755,4
Muestra seca	m ₂ (g)	754,6
Masa del recipiente	m _c (g)	95,8
Masa muestra seca	m _d (g)	658,8
% Humedad	m _w /m _d x 100	0,1

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16370		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S2	5,15-5,45 m.		
Fecha de Toma:	16/09/2025			
Fecha de Ensayo:	25/09/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain	

Agua	a = (t+s+a)-(t+s)	0,79
Tara+suelo+agua	t+s+a	755,36
Tara+suelo	t+s	754,57
Tara	t	95,82
Suelo	s	658,75
% Humedad	w = a/s x 100	0,1

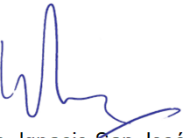
Masa muestra	m (g)	98,94
Masa muestra con relleno de huecos	m _i (g)	98,94
Masa muestra+parafina	m _c (g)	106,33
Densidad parafina	ρ _p (Mg/m³)	0,84
Densidad Fluido de inmersión a 25 °C	ρ _{fl} (Mg/m³)	1,00
Masa sumergida muestra+parafina	m _g (g)	60,90
Volumen muestra	V = [(m _c -m _g)/ρ _p]-[(m _c -m _i)/ρ _p] x 10 ⁻⁶ (m³)	36,63
Densidad húmeda	ρ = m / V (Mg/m³)	2,70
Densidad seca	ρ _d = ρ / [1 + (w / 100)] (Mg/m³)	2,70

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



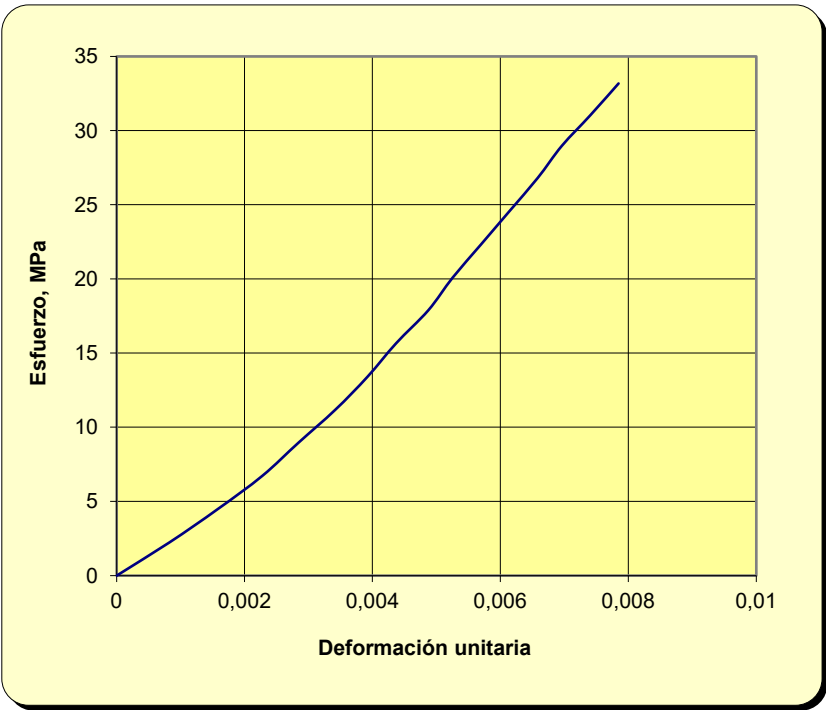
Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16370	Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S2	5,15-5,45 m.	
Fecha de Toma:	16/09/2025		
Fecha de Ensayo:	25/09/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka	WSP Spain	

Diámetro de la probeta D (cm)	7,15	PESO PROBETA HÚMEDA + tara	1893,18
Altura de la probeta L (cm)	15,80	PESO PROBETA SECA + tara	1891,45
Carga de rotura P (Kg)	13589	TARA	167,88
Humedad (%)	0,10	AGUA	1,73
Densidad aparente (g/cm³)	2,72	ROCA SECA	1723,57
Densidad seca (g/cm3)	2,72		
Resistencia a la compresión uniaxial para la muestra $\sigma_c=P/(\pi D^2/4)$, MPa		33,18	



Este resultado es válido para esta muestra

OBSERVACIONES:

Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio

Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16370	Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S2	5,15-5,45 m.	
Fecha de Toma:	16/09/2025		
Fecha de Ensayo:	03/10/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka	WSP Spain	

REFERENCIA PICNÓMETRO	Nº	1	2	3
Peso del picnómetro vacío y seco (g)	m ₀	32,4514	34,0097	32,6866
Peso del picnómetro lleno de agua (g)	m ₁	83,1544	84,5962	82,8576
m ₀ + peso de la muestra (g)	m ₂	42,4576	44,0216	42,6872
m ₂ + picnómetro lleno de agua (g)	m ₃	88,6597	90,1243	88,3923
m ₂ - m ₀ (g)	m ₄	10,0062	10,0119	10,0006
Densidad relativa de las partículas de un suelo (g/cm³)	$\rho_s=((m_4)/(m_1-m_0)-(m_3-m_2))*\rho_L$	2,22	2,23	2,24
DENSIDAD RELATIVA DE LAS PARTÍCULAS DE UN SUELO (Mg/m³)	MEDIA	2,23		

Temperatura del agua (°C): 21

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.

Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio

Fdo. Ignacio San José
Director Técnico



CORTE DIRECTO DE ROCAS
(ASTM D 5607:16)

CLIENTE: GTK LABORATORIO GEOTÉCNICO, S.L.
TRABAJO: P.C. VARIANTE DE LESAKA NA-4000
INDICATIVO: 25264 LABORANTE: Ismael G. Cotta
MUESTRA: 16371 S-2 FECHA: 24/10/25 Hoja 1

Tipo de ensayo

Corte directo con medida de la resistencia de pico
Velocidad del ensayo: 2 mm/min

Datos generales	I	II	III	Interpretación	Totales
Tensión normal (kp/cm²):	1,50	3,00	6,00	Cohesión (kp/cm²):	1,85
				Fricción (º):	33,84
				Pendiente:	0,67
				Datos rotura	
					I II III
Diámetro equivalente (cm):	7,09	7,09	7,09	Tensión tangencial corregida (kp/cm²):	3,22 4,71 6,41
Sección (cm²):	39,50	39,50	39,50	Tensión normal corregida (kp/cm²):	2,10 4,17 6,84
Humedad (%):				Desplazamiento horizontal (mm):	15,96 15,75 6,88
Densidad aparente (g/cm³):	2,650	2,650	2,650		
Densidad seca (g/cm³):					

Gráfico tensión-desplazamiento

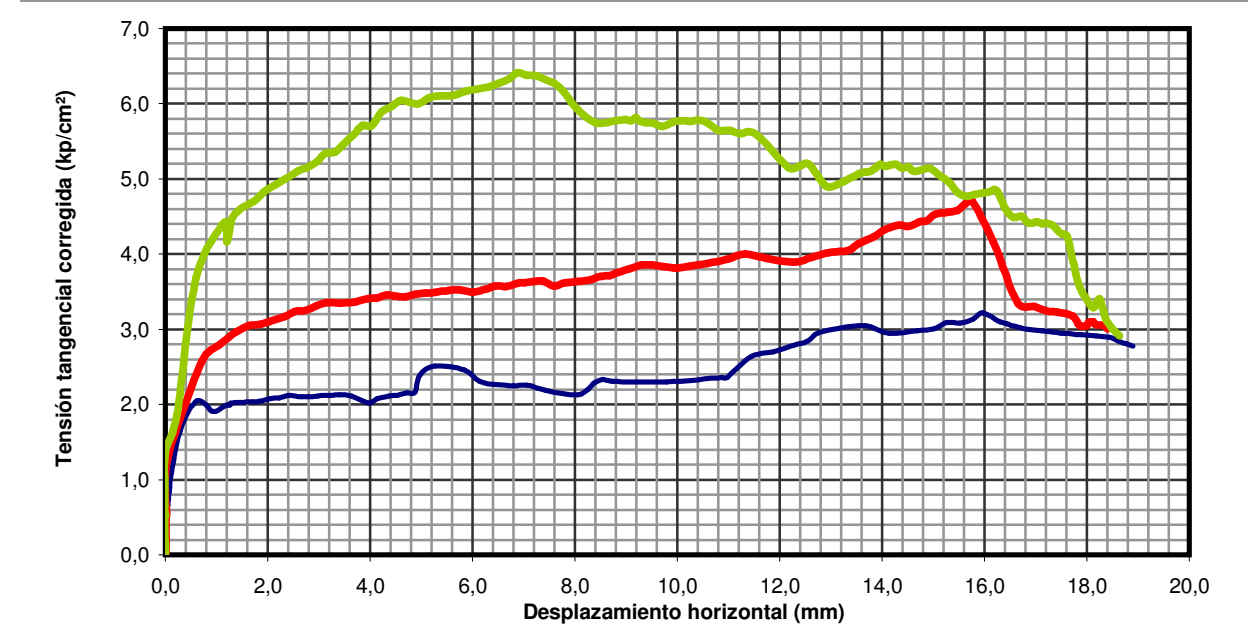


Gráfico de tensiones

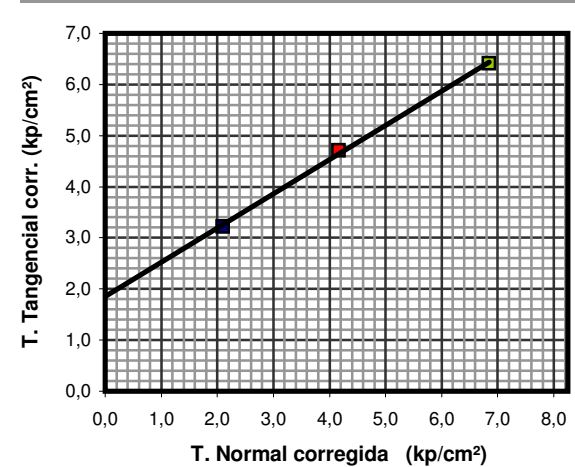
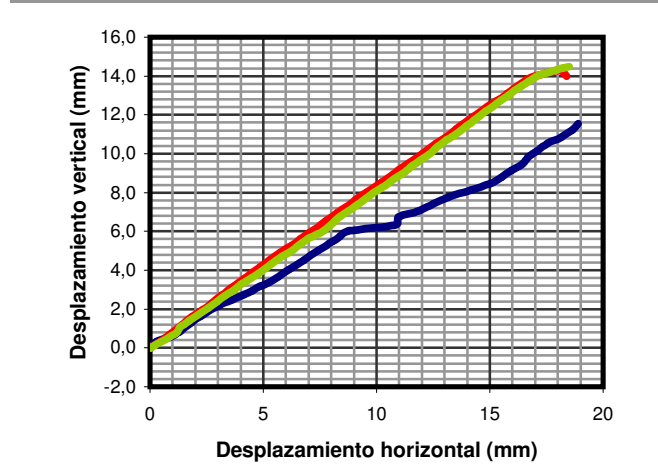


Gráfico de desplazamientos



Observaciones probeta I: JRC=8-10
Observaciones probeta II: JRC=8-10
Observaciones probeta III: JRC=8-10

	GTK Laboratorio Geotécnico Laboratorio de Control de Calidad. Edificación y Obra Civil	Hoja 1 de 1
	DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD (UNE-EN ISO 17892-1)	

Nº Referencia Muestra:	16372		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S2	7,80-8,00 m.		
Fecha de Toma:	16/09/2025			
Fecha de Ensayo:	25/09/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka			WSP Spain

Masa del agua	m _w (g)	1,5
Muestra húmeda	m ₁ (g)	636,0
Muestra seca	m ₂ (g)	634,5
Masa del recipiente	m _c (g)	69,7
Masa muestra seca	m _d (g)	564,8
% Humedad	m _w /m _d x 100	0,3

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16372	Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S2	7,80-8,00 m.	
Fecha de Toma:	16/09/2025		
Fecha de Ensayo:	25/09/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka WSP Spain		

Agua	$a = (t+s+a)-(t+s)$	1,49
Tara+suelo+agua	$t+s+a$	636,03
Tara+suelo	$t+s$	634,54
Tara	t	69,71
Suelo	s	564,83
% Humedad	$w = a/s \times 100$	0,3

Masa muestra	m (g)	250,92
Masa muestra con relleno de huecos	m_1 (g)	250,92
Masa muestra+parafina	m_c (g)	260,31
Densidad parafina	ρ_p (Mg/m³)	0,84
Densidad Fluido de inmersión a 25 °C	ρ_{fl} (Mg/m³)	1,00
Masa sumergida muestra+parafina	m_g (g)	155,60
Volumen muestra	$V = [(m_c-m_g)/\rho_{fl}] - [(m_c-m_1)/\rho_p] \times 10^{-6} (m^3)$	93,53
Densidad húmeda	$\rho = m / V$ (Mg/m³)	2,68
Densidad seca	$\rho_d = \rho / [1 + (w / 100)]$ (Mg/m³)	2,68

OBSERVACIONES:

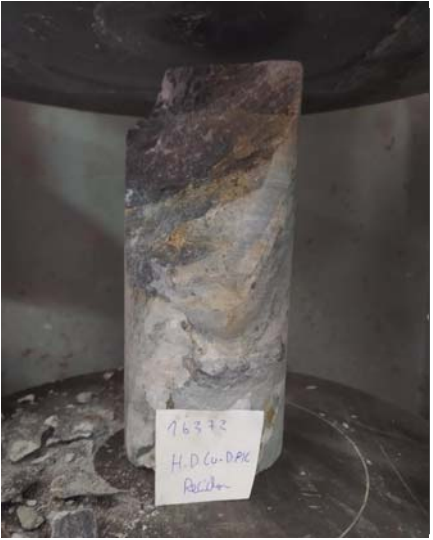
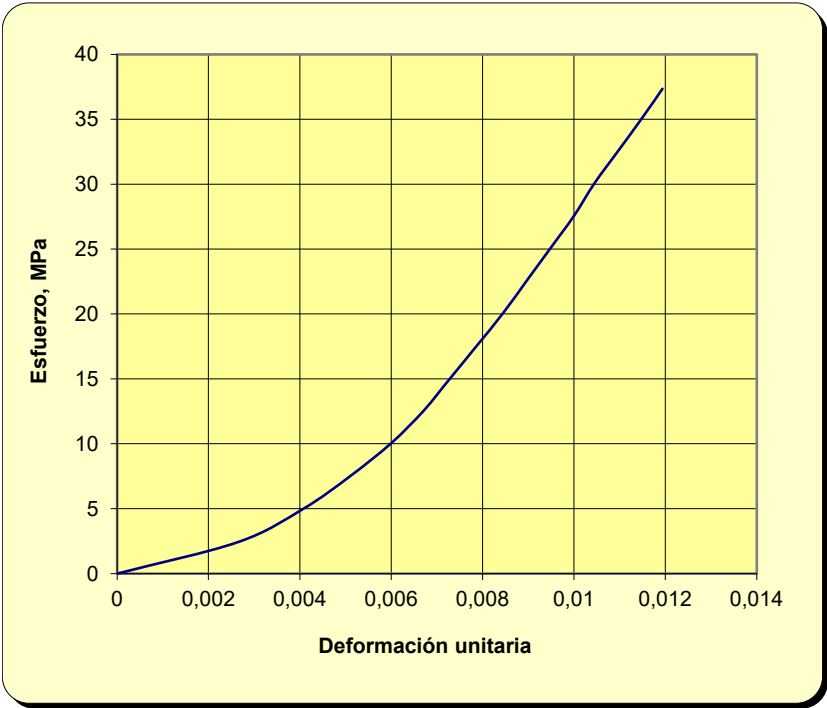
El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.

Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio

Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16372	Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S2	7,80-8,00 m.	
Fecha de Toma:	16/09/2025		
Fecha de Ensayo:	25/09/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka WSP Spain		

Diámetro de la probeta D (cm)	7,14	PESO PROBETA HÚMEDA + tara	1848,22
Altura de la probeta L (cm)	15,50	PESO PROBETA SECA + tara	1844,65
Carga de rotura P (Kg)	15255	TARA	167,48
Humedad (%)	0,21	AGUA	3,57
Densidad aparente (g/cm³)	2,71	ROCA SECA	1677,17
Densidad seca (g/cm3)	2,70		
Resistencia a la compresión uniaxial para la muestra $\sigma_c=P/(\pi D^2/4)$, MPa		37,35	



Este resultado es válido para esta muestra

OBSERVACIONES:

Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio

Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16372		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S2	7,80-8,00 m.		
Fecha de Toma:	16/09/2025			
Fecha de Ensayo:	03/10/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025	
Procedencia (Obra / Cliente):		PC Variante NA-4000 - Lesaka	WSP Spain	

REFERENCIA PICNÓMETRO	Nº	1	2	3
Peso del picnómetro vacío y seco (g)	m ₀	31,3451	31,7643	32,8070
Peso del picnómetro lleno de agua (g)	m ₁	82,6427	82,3395	83,2117
m ₀ + peso de la muestra (g)	m ₂	41,3566	41,7779	42,8227
m ₂ + picnómetro lleno de agua (g)	m ₃	88,4311	88,1324	88,9886
m ₂ - m ₀ (g)	m ₄	10,0115	10,0136	10,0157
Densidad relativa de las partículas de un suelo (g/cm³)	$\rho_s = ((m_4) / (m_1 - m_0) - (m_3 - m_2)) * \rho_L$	2,37	2,37	2,36
DENSIDAD RELATIVA DE LAS PARTÍCULAS DE UN SUELO (Mg/m³)	MEDIA	2,37		

Temperatura del agua (°C): 21

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16373		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S2	8,90-9,10 m.		
Fecha de Toma:	16/09/2025			
Fecha de Ensayo:	25/09/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025	
Procedencia (Obra / Cliente):		PC Variante NA-4000 - Lesaka	WSP Spain	

Masa del agua	m _w (g)	25,02
Muestra húmeda	m ₁ (g)	195,29
Muestra seca	m ₂ (g)	170,27
Masa del recipiente	m _c (g)	64,48
Masa muestra seca	m _d (g)	105,79
% Humedad	m _w /m _d x 100	23,7

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16373		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S2	8,90-9,10 m.		
Fecha de Toma:	16/09/2025			
Fecha de Ensayo:	25/09/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):		PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain

TIPO DE MUESTRA			FORMA ROTURA
Diámetro	d (mm)	6,72	
Lado	m (mm)	-	
Lado	n (mm)	-	
Altura	h (mm)	8,83	
Humedad	w (%)	24,28	
Densidad aparente	γ_{ap} (Mg/m³)	2,24	
Densidad seca	γ_d (Mg/m³)	1,80	
Resistencia compresión simple	q_u (kPa)	176	
Velocidad de rotura de la probeta	v (mm/min)	2	
Deformación en rotura	ϵ (%)	15,0	



OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.

Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio

Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16374		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S2	9,55-9,80 m.		
Fecha de Toma:	16/09/2025			
Fecha de Ensayo:	25/09/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):		PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain

Masa del agua	m_w (g)	38,61
Muestra húmeda	m_1 (g)	260,03
Muestra seca	m_2 (g)	221,42
Masa del recipiente	m_c (g)	65,65
Masa muestra seca	m_d (g)	155,77
% Humedad	$m_w/m_d \times 100$	24,8

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.

Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio

Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16374	Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S2	9,55-9,80 m.	
Fecha de Toma:	16/09/2025		
Fecha de Ensayo:	25/09/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka	WSP Spain	

TIPO DE MUESTRA			FORMA ROTURA
Diámetro	d (mm)	7,26	
Lado	m (mm)	-	
Lado	n (mm)	-	
Altura	h (mm)	14,60	
Humedad	w (%)	25,08	
Densidad aparente	γ_{ap} (Mg/m³)	2,07	
Densidad seca	γ_d (Mg/m³)	1,66	
Resistencia compresión simple	q_u (kPa)	103	
Velocidad de rotura de la probeta	v (mm/min)	2	
Deformación en rotura	ϵ (%)	11,4	



OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.

Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio

Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16375	Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S2	11,80-12,00 m.	
Fecha de Toma:	16/09/2025		
Fecha de Ensayo:	25/09/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka	WSP Spain	

Masa del agua	m_w (g)	1,7
Muestra húmeda	m_1 (g)	363,5
Muestra seca	m_2 (g)	361,8
Masa del recipiente	m_c (g)	65,5
Masa muestra seca	m_d (g)	296,3
% Humedad	$m_w/m_d \times 100$	0,6

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.

Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio

Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16375		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S2	11,80-12,00 m.		
Fecha de Toma:	16/09/2025			
Fecha de Ensayo:	25/09/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka			WSP Spain

Agua	$a = (t+s+a)-(t+s)$	1,69
Tara+suelo+agua	$t+s+a$	363,46
Tara+suelo	$t+s$	361,77
Tara	t	65,50
Suelo	s	296,27
% Humedad	$w = a/s \times 100$	0,6

Masa muestra	m (g)	229,25
Masa muestra con relleno de huecos	m_l (g)	229,25
Masa muestra+parafina	m_c (g)	236,81
Densidad parafina	ρ_p (Mg/m ³)	0,84
Densidad Fluido de inmersión a 25 °C	ρ_{fl} (Mg/m ³)	1,00
Masa sumergida muestra+parafina	m_g (g)	140,10
Volumen muestra	$V = [(m_c-m_g)/\rho_{fl}] - [(m_c-m_l)/\rho_p] \times 10^{-6}$ (m ³)	87,71
Densidad húmeda	$\rho = m / V$ (Mg/m ³)	2,61
Densidad seca	$\rho_d = \rho / [1 + (w / 100)]$ (Mg/m ³)	2,60

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16375		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S2	11,80-12,00 m.		
Fecha de Toma:	16/09/2025			
Fecha de Ensayo:	03/10/2025			
Tipo de Ensayo:	Fragmentos irregulares		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka			WSP Spain

Nº fragmento ensayado de la muestra	1	2	3	4	5
Distancia entre los puntos de aplicación D (mm)	70	65	58	59	49
Diámetro de la probeta W = (W ₁ +W ₂)/2 (mm)	70	70	70	70	70
Presión de rotura, P (bar)	22	46	62	78	74

Nº fragmento ensayado de la muestra	6	7	8	9	10
Distancia entre los puntos de aplicación D (mm)	32	40	36	24	58
Diámetro de la probeta W = (W ₁ +W ₂)/2 (mm)	70	64	66	62	70
Presión de rotura, P (bar)	64	56	52	44	76

Resistencia a la carga puntual corregida promedio (bares)	59,25
Resistencia a la carga puntual corregida promedio (MPa)	5,93

OBSERVACIONES:

El resultado es válido para esta muestra



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16375		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S2	11,80-12,00 m.		
Fecha de Toma:	16/09/2025			
Fecha de Ensayo:	07/10/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025	
Procedencia (Obra / Cliente):		PC Variante NA-4000 - Lesaka	WSP Spain	

REFERENCIA PICNÓMETRO	Nº	1	2	3
Peso del picnómetro vacío y seco (g)	m ₀	32,4589	34,0226	32,6809
Peso del picnómetro lleno de agua (g)	m ₁	83,1655	84,6026	82,8674
m ₀ + peso de la muestra (g)	m ₂	42,4514	44,0383	42,6979
m ₂ + picnómetro lleno de agua (g)	m ₃	89,1006	90,5372	88,7538
m ₂ - m ₀ (g)	m ₄	9,9925	10,0157	10,0170
Densidad relativa de las partículas de un suelo (g/cm³)	$\rho_s = ((m_4) / (m_1 - m_0) - (m_3 - m_2)) * \rho_L$	2,46	2,45	2,43
DENSIDAD RELATIVA DE LAS PARTÍCULAS DE UN SUELO (Mg/m³)	MEDIA	2,45		

Temperatura del agua (°C): 21

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16376		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S2	15,90-16,25 m.		
Fecha de Toma:	16/09/2025			
Fecha de Ensayo:	25/09/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025	
Procedencia (Obra / Cliente):		PC Variante NA-4000 - Lesaka	WSP Spain	

Masa del agua	m _w (g)	1,0
Muestra húmeda	m ₁ (g)	319,3
Muestra seca	m ₂ (g)	318,3
Masa del recipiente	m _c (g)	61,8
Masa muestra seca	m _d (g)	256,4
% Humedad	m _w /m _d x 100	0,4

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16376		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S2	15,90-16,25 m.		
Fecha de Toma:	16/09/2025			
Fecha de Ensayo:	25/09/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain	

Agua	$a = (t+s+a)-(t+s)$	1,01
Tara+suelo+agua	$t+s+a$	319,26
Tara+suelo	$t+s$	318,25
Tara	t	61,82
Suelo	s	256,43
% Humedad	$w = a/s \times 100$	0,4

Masa muestra	m (g)	184,45
Masa muestra con relleno de huecos	m_1 (g)	184,45
Masa muestra+parafina	m_c (g)	191,38
Densidad parafina	ρ_p (Mg/m³)	0,84
Densidad Fluido de inmersión a 25 °C	ρ_{fl} (Mg/m³)	1,00
Masa sumergida muestra+parafina	m_g (g)	113,70
Volumen muestra	$V = [((m_c-m_g)/\rho_{fl})-((m_c-m_i)/\rho_p)] \times 10^{-6} (m^3)$	69,43
Densidad húmeda	$\rho = m / V$ (Mg/m³)	2,66
Densidad seca	$\rho_d = \rho / [1 + (w / 100)]$ (Mg/m³)	2,65

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16376		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S2	15,90-16,25 m.		
Fecha de Toma:	16/09/2025			
Fecha de Ensayo:	03/10/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain	

REFERENCIA PICNÓMETRO	Nº	1	2	3
Peso del picnómetro vacío y seco (g)	m_0	31,5993	31,2051	31,9540
Peso del picnómetro lleno de agua (g)	m_1	83,8205	83,3276	82,5982
m_0 + peso de la muestra (g)	m_2	41,6048	41,0029	42,1522
m_2 + picnómetro lleno de agua (g)	m_3	89,3805	88,7546	88,2832
$m_2 - m_0$ (g)	m_4	10,0055	9,7978	10,1982
Densidad relativa de las partículas de un suelo (g/cm³)	$\rho_s=((m_4)/ (m_1-m_0)-(m_3-m_2))*\rho_L$	2,25	2,24	2,26
DENSIDAD RELATIVA DE LAS PARTÍCULAS DE UN SUELO (Mg/m³)	MEDIA	2,25		

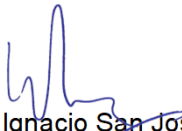
Temperatura del agua (°C): 21

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico



COMPRESIÓN SIMPLE
(Norma UNE-22.950-3)

Cliente:	GTK LABORATORIO GEOTÉCNICO		
Trabajo:	P.C. VARIANTE DE LESAKA NA-4000		
Indicativo:	25264	Laborante:	Ismael G. Cotta
Muestra:	16376 S-2	Fecha:	23/10/2025

CDIAM-EnsyCSR (20060101)

Hoja 1 de 2

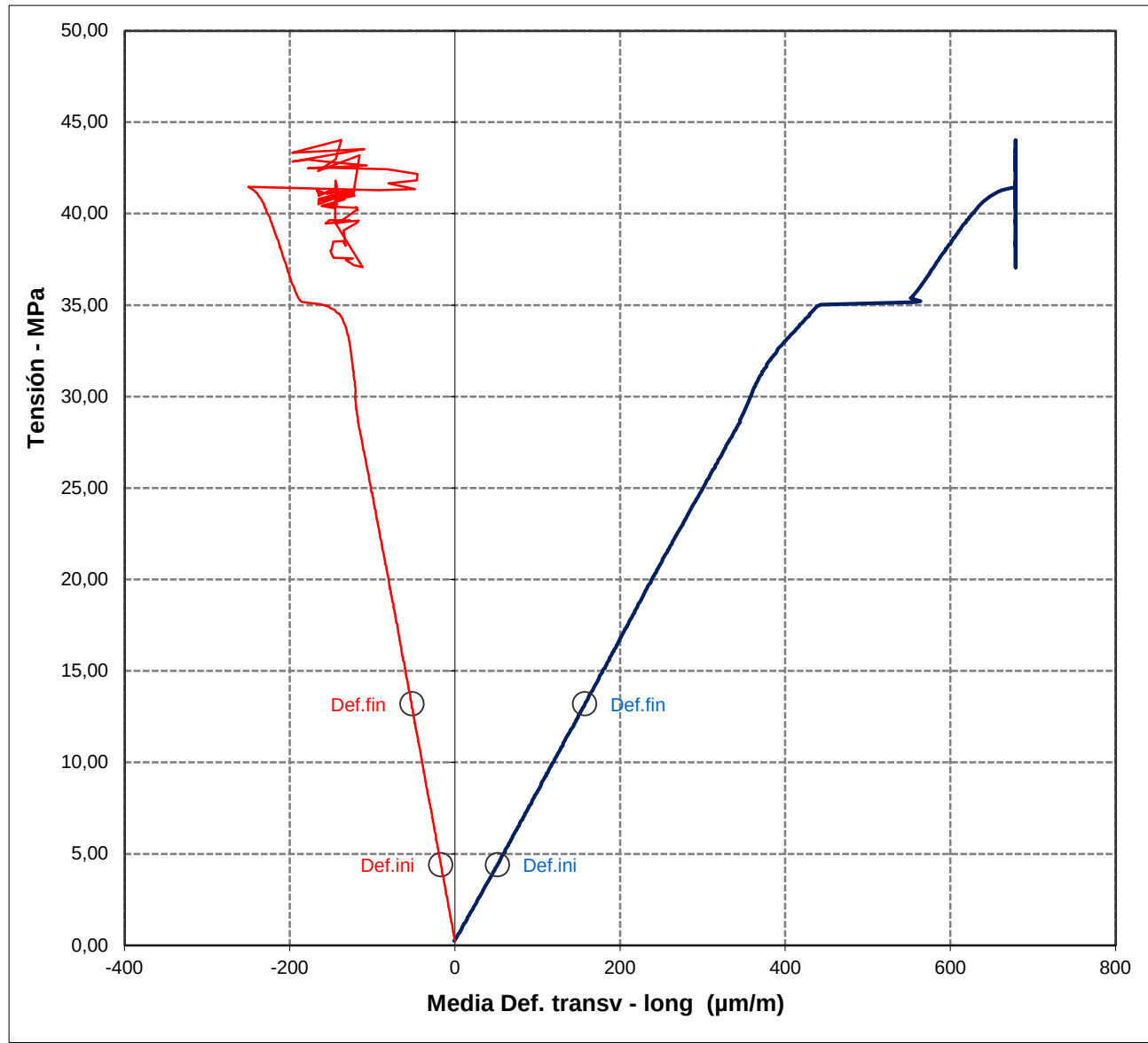
Datos del Ensayo

Humedad (%):	-
Densidad natural (g/cm³) :	2,736
Densidad seca (g/cm³) :	2,736
Diámetro (cm):	7,10
Altura probeta (cm):	16,42
Area (cm²)	39,592
Volumen (cm³) :	650,10

Resultados

Resistencia máxima (MPa):	44,02
Deformación (µm/m):	679
Modulo de Young (MPa):	83300
Coefficiente de Poisson:	0,33

Curva Tensión- Deformación



Observaciones



COMPRESIÓN SIMPLE
(Norma UNE-22.950-3)

Cliente:	GTK LABORATORIO GEOTÉCNICO		
Trabajo:	P.C. VARIANTE DE LESAKA NA-4000		
Indicativo:	25264	Laborante:	Ismael G. Cotta
Muestra:	16376 S-2	Fecha:	23/10/2025

CDIAM-EnsyCSR (20060101)

Hoja 2 de 2

Foto antes del ensayo



Foto rotura después del ensayo



Observaciones

Nº Referencia Muestra:	16377		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S3	3,10-3,60 m.		
Fecha de Toma:	17/09/2025			
Fecha de Ensayo:	25/09/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain	

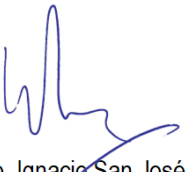
Masa del agua	m _w (g)	0,8
Muestra húmeda	m ₁ (g)	416,5
Muestra seca	m ₂ (g)	415,7
Masa del recipiente	m _c (g)	61,8
Masa muestra seca	m _d (g)	353,9
% Humedad	m _w /m _d x 100	0,2

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16377		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S3	3,10-3,60 m.		
Fecha de Toma:	17/09/2025			
Fecha de Ensayo:	25/09/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain	

Agua	a = (t+s+a)-(t+s)	0,83
Tara+suelo+agua	t+s+a	416,48
Tara+suelo	t+s	415,65
Tara	t	61,75
Suelo	s	353,90
% Humedad	w = a/s x 100	0,2

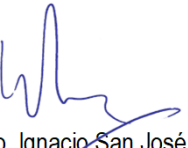
Masa muestra	m (g)	193,26
Masa muestra con relleno de huecos	m _i (g)	193,26
Masa muestra+parafina	m _c (g)	200,18
Densidad parafina	ρ _p (Mg/m³)	0,84
Densidad Fluido de inmersión a 25 °C	ρ _{fl} (Mg/m³)	1,00
Masa sumergida muestra+parafina	m _s (g)	120,00
Volumen muestra	V = [(m _c -m _s)/ρ _p]-[(m _c -m _i)/ρ _p] x 10 ⁻⁶ (m³)	71,94
Densidad húmeda	ρ = m / V (Mg/m³)	2,69
Densidad seca	ρ _d = ρ / [1 + (w / 100)] (Mg/m³)	2,68

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



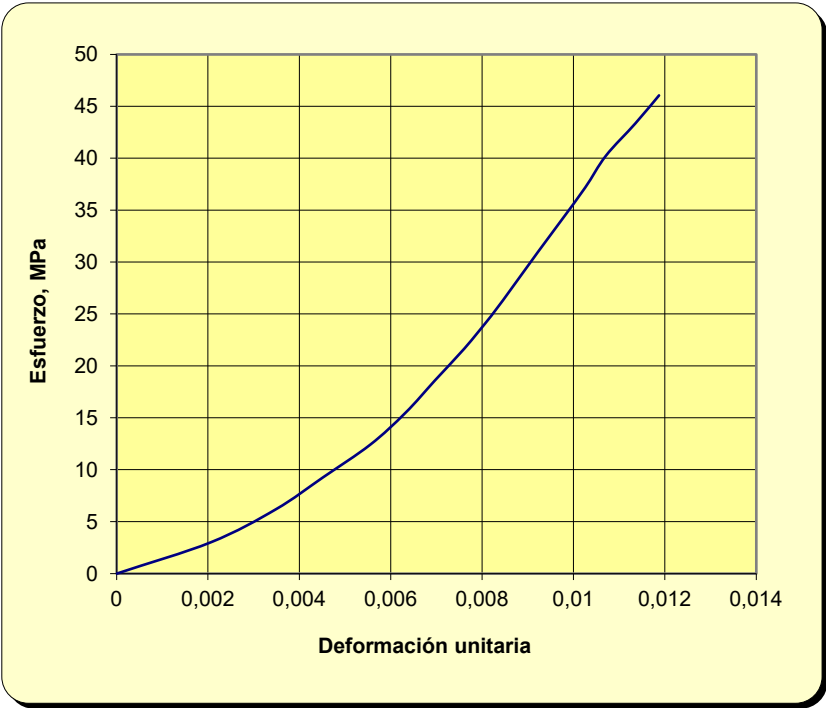
Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16377	Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S3	3,10-3,60 m.	
Fecha de Toma:	17/09/2025		
Fecha de Ensayo:	25/09/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka	WSP Spain	

Diámetro de la probeta D (cm)	6,16	PESO PROBETA HÚMEDA + tara	1428,28
Altura de la probeta L (cm)	15,50	PESO PROBETA SECA + tara	1425,22
Carga de rotura P (Kg)	14002	TARA	167,54
Humedad (%)	0,24	AGUA	3,06
Densidad aparente (g/cm³)	2,73	ROCA SECA	1257,68
Densidad seca (g/cm3)	2,72		
Resistencia a la compresión uniaxial para la muestra $\sigma_c=P/(\pi D^2/4)$, MPa		46,06	



Este resultado es válido para esta muestra

OBSERVACIONES:


Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio


Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16377	Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S3	3,10-3,60 m.	
Fecha de Toma:	17/09/2025		
Fecha de Ensayo:	06/10/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka	WSP Spain	

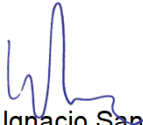
REFERENCIA PICNÓMETRO	Nº	1	2	3
Peso del picnómetro vacío y seco (g)	m ₀	32,4598	34,0094	32,6881
Peso del picnómetro lleno de agua (g)	m ₁	83,1524	84,5897	82,8467
m ₀ + peso de la muestra (g)	m ₂	42,4665	43,7199	42,6934
m ₂ + picnómetro lleno de agua (g)	m ₃	88,6034	89,8443	88,2346
m ₂ - m ₀ (g)	m ₄	10,0067	9,7105	10,0053
Densidad relativa de las partículas de un suelo (g/cm³)	$\rho_s=((m_4)/(m_1-m_0)-(m_3-m_2))*\rho_L$	2,20	2,18	2,17
DENSIDAD RELATIVA DE LAS PARTÍCULAS DE UN SUELO (Mg/m³)	MEDIA	2,18		

Temperatura del agua (°C): 21

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.


Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio


Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16378		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S3	4,90-5,50 m.		
Fecha de Toma:	17/09/2025			
Fecha de Ensayo:	25/09/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain	

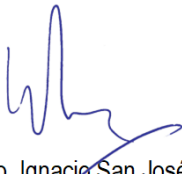
Masa del agua	m _w (g)	0,6
Muestra húmeda	m ₁ (g)	438,7
Muestra seca	m ₂ (g)	438,1
Masa del recipiente	m _c (g)	66,0
Masa muestra seca	m _d (g)	372,0
% Humedad	m _w /m _d x 100	0,2

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16378		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S3	4,90-5,50 m.		
Fecha de Toma:	17/09/2025			
Fecha de Ensayo:	25/09/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain	

Agua	a = (t+s+a)-(t+s)	0,63
Tara+suelo+agua	t+s+a	438,70
Tara+suelo	t+s	438,07
Tara	t	66,03
Suelo	s	372,04
% Humedad	w = a/s x 100	0,2

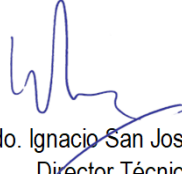
Masa muestra	m (g)	266,51
Masa muestra con relleno de huecos	m _i (g)	266,51
Masa muestra+parafina	m _c (g)	274,43
Densidad parafina	ρ _p (Mg/m³)	0,84
Densidad Fluido de inmersión a 25 °C	ρ _{fl} (Mg/m³)	1,00
Masa sumergida muestra+parafina	m _s (g)	165,50
Volumen muestra	V = [(m _c -m _s)/ρ _p]-[(m _c -m _i)/ρ _p] x 10 ⁻⁶ (m³)	99,50
Densidad húmeda	ρ = m / V (Mg/m³)	2,68
Densidad seca	ρ _d = ρ / [1 + (w / 100)] (Mg/m³)	2,67

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



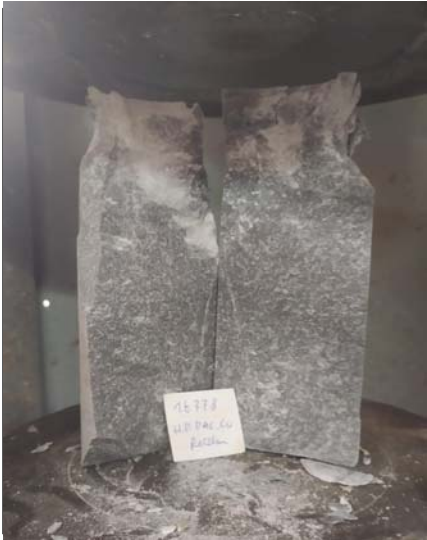
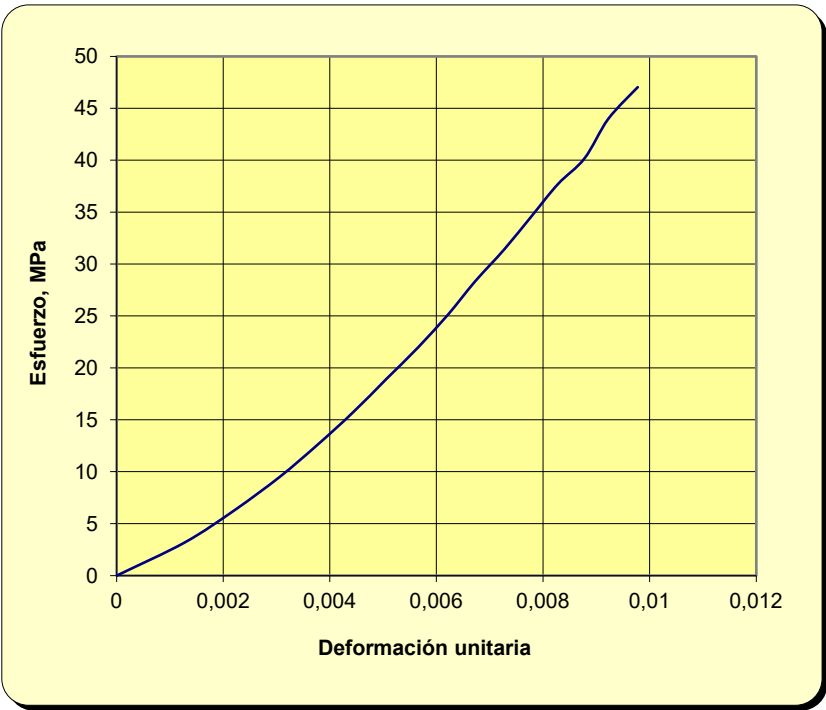
Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16378	Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S3	4,90-5,50 m.	
Fecha de Toma:	17/09/2025		
Fecha de Ensayo:	25/09/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka	WSP Spain	

Diámetro de la probeta D (cm)	7,13	PESO PROBETA HÚMEDA + tara	2058,37
Altura de la probeta L (cm)	18,00	PESO PROBETA SECA + tara	2052,47
Carga de rotura P (Kg)	19159	TARA	135,56
Humedad (%)	0,31	AGUA	5,90
Densidad aparente (g/cm³)	2,68	ROCA SECA	1916,91
Densidad seca (g/cm3)	2,67		
Resistencia a la compresión uniaxial para la muestra $\sigma_c=P/(\pi D^2/4)$, MPa		47,04	



Este resultado es válido para esta muestra

OBSERVACIONES:


Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio


Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16378	Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S3	4,90-5,50 m.	
Fecha de Toma:	17/09/2025		
Fecha de Ensayo:	06/10/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka	WSP Spain	

REFERENCIA PICNÓMETRO	Nº	1	2	3
Peso del picnómetro vacío y seco (g)	m ₀	31,3403	31,7611	32,7825
Peso del picnómetro lleno de agua (g)	m ₁	82,5392	82,3543	83,2114
m ₀ + peso de la muestra (g)	m ₂	41,3456	41,758	42,5837
m ₂ + picnómetro lleno de agua (g)	m ₃	88,4221	88,2087	88,9408
m ₂ - m ₀ (g)	m ₄	10,0053	9,9969	9,8012
Densidad relativa de las partículas de un suelo (g/cm³)	$\rho_s=((m_4)/(m_1-m_0)-(m_3-m_2))*\rho_L$	2,43	2,41	2,41
DENSIDAD RELATIVA DE LAS PARTÍCULAS DE UN SUELO (Mg/m³)	MEDIA	2,42		

Temperatura del agua (°C): 21

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.


Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio


Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16379		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S3	6,10-6,60 m.		
Fecha de Toma:	17/09/2025			
Fecha de Ensayo:	25/09/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain	

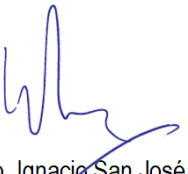
Masa del agua	m _w (g)	0,9
Muestra húmeda	m ₁ (g)	490,3
Muestra seca	m ₂ (g)	489,4
Masa del recipiente	m _c (g)	59,0
Masa muestra seca	m _d (g)	430,4
% Humedad	m _w /m _d x 100	0,2

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16379		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S3	6,10-6,60 m.		
Fecha de Toma:	17/09/2025			
Fecha de Ensayo:	25/09/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain	

Agua	a = (t+s+a)-(t+s)	0,94
Tara+suelo+agua	t+s+a	490,33
Tara+suelo	t+s	489,39
Tara	t	58,95
Suelo	s	430,44
% Humedad	w = a/s x 100	0,2

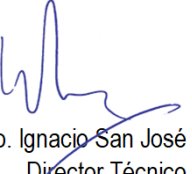
Masa muestra	m (g)	237,05
Masa muestra con relleno de huecos	m _i (g)	237,05
Masa muestra+parafina	m _c (g)	246,58
Densidad parafina	ρ _p (Mg/m³)	0,84
Densidad Fluido de inmersión a 25 °C	ρ _{fl} (Mg/m³)	1,00
Masa sumergida muestra+parafina	m _s (g)	146,80
Volumen muestra	V = [(m _c -m _s)/ρ _p]-[(m _c -m _i)/ρ _p] x 10 ⁻⁶ (m³)	88,43
Densidad húmeda	ρ = m / V (Mg/m³)	2,68
Densidad seca	ρ _d = ρ / [1 + (w / 100)] (Mg/m³)	2,67

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



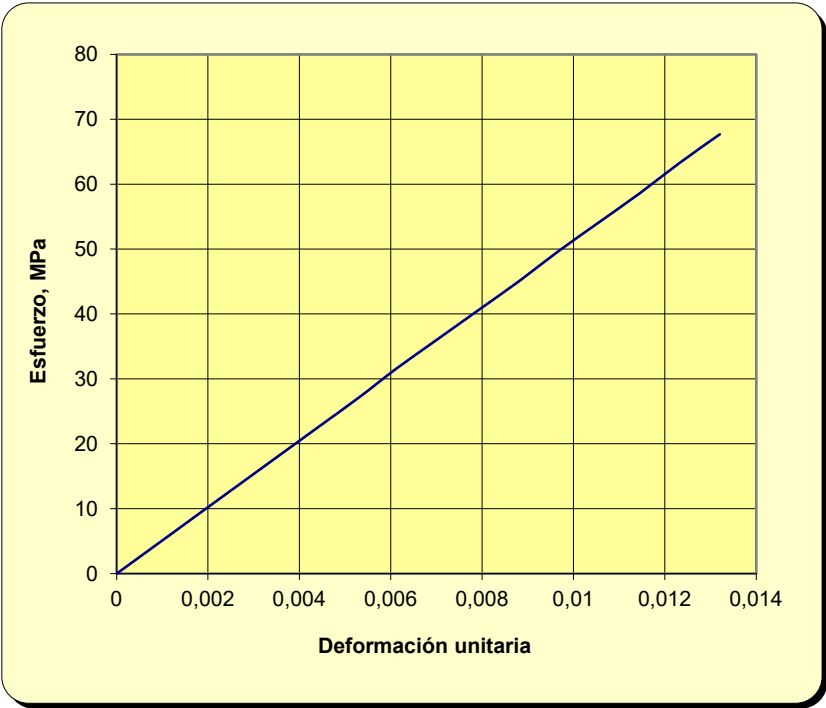
Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16379	Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S3	6,10-6,60 m.	
Fecha de Toma:	17/09/2025		
Fecha de Ensayo:	25/09/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka	WSP Spain	

Diámetro de la probeta D (cm)	7,14	PESO PROBETA HÚMEDA + tara	2114,96
Altura de la probeta L (cm)	17,80	PESO PROBETA SECA + tara	2110,50
Carga de rotura P (Kg)	27650	TARA	192,04
Humedad (%)	0,23	AGUA	4,46
Densidad aparente (g/cm³)	2,70	ROCA SECA	1918,46
Densidad seca (g/cm3)	2,69		
Resistencia a la compresión uniaxial para la muestra $\sigma_c=P/(\pi D^2/4)$, MPa		67,70	



Este resultado es válido para esta muestra

OBSERVACIONES:

Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio

Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16379	Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S3	6,10-6,60 m.	
Fecha de Toma:	17/09/2025		
Fecha de Ensayo:	06/10/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka	WSP Spain	

REFERENCIA PICNÓMETRO	Nº	1	2	3
Peso del picnómetro vacío y seco (g)	m ₀	32,4595	34,0146	32,6852
Peso del picnómetro lleno de agua (g)	m ₁	83,1472	84,5902	82,8919
m ₀ + peso de la muestra (g)	m ₂	42,4624	43,0223	42,6960
m ₂ + picnómetro lleno de agua (g)	m ₃	89,0247	90,0007	88,7866
m ₂ - m ₀ (g)	m ₄	10,0029	9,0077	10,0108
Densidad relativa de las partículas de un suelo (g/cm³)	$\rho_s=((m_4)/(m_1-m_0)-(m_3-m_2))*\rho_L$	2,42	2,50	2,43
DENSIDAD RELATIVA DE LAS PARTÍCULAS DE UN SUELO (Mg/m³)	MEDIA	2,45		

Temperatura del agua (°C): 21

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.

Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio

Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16380		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S3	10,57-10,95 m.		
Fecha de Toma:	17/09/2025			
Fecha de Ensayo:	25/09/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain	

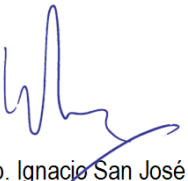
Masa del agua	m _w (g)	0,7
Muestra húmeda	m ₁ (g)	432,1
Muestra seca	m ₂ (g)	431,4
Masa del recipiente	m _c (g)	64,3
Masa muestra seca	m _d (g)	367,1
% Humedad	m _w /m _d x 100	0,2

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16380		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S3	10,57-10,95 m.		
Fecha de Toma:	17/09/2025			
Fecha de Ensayo:	25/09/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain	

Agua	a = (t+s+a)-(t+s)	0,71
Tara+suelo+agua	t+s+a	432,08
Tara+suelo	t+s	431,37
Tara	t	64,25
Suelo	s	367,12
% Humedad	w = a/s x 100	0,2

Masa muestra	m (g)	155,05
Masa muestra con relleno de huecos	m _i (g)	155,05
Masa muestra+parafina	m _c (g)	161,00
Densidad parafina	ρ _p (Mg/m³)	0,84
Densidad Fluido de inmersión a 25 °C	ρ _{fl} (Mg/m³)	1,00
Masa sumergida muestra+parafina	m _g (g)	96,60
Volumen muestra	V = [(m _c -m _g)/ρ _p]-[(m _c -m _i)/ρ _p] x 10 ⁻⁶ (m³)	57,32
Densidad húmeda	ρ = m / V (Mg/m³)	2,71
Densidad seca	ρ _d = ρ / [1 + (w / 100)] (Mg/m³)	2,70

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16380	Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S3	10,57-10,95 m.	
Fecha de Toma:	17/09/2025		
Fecha de Ensayo:	06/10/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka	WSP Spain	

REFERENCIA PICNÓMETRO	Nº	1	2	3
Peso del picnómetro vacío y seco (g)	m ₀	31,5960	31,1881	31,9589
Peso del picnómetro lleno de agua (g)	m ₁	83,8929	83,3371	82,5846
m ₀ + peso de la muestra (g)	m ₂	41,6036	41,1975	41,9632
m ₂ + picnómetro lleno de agua (g)	m ₃	89,6511	89,1086	88,3710
m ₂ - m ₀ (g)	m ₄	10,0076	10,0094	10,0043
Densidad relativa de las partículas de un suelo (g/cm³)	$\rho_s = ((m_4) / (m_1 - m_0) - (m_3 - m_2)) * \rho_L$	2,36	2,36	2,37
DENSIDAD RELATIVA DE LAS PARTÍCULAS DE UN SUELO (Mg/m³)	MEDIA	2,36		

Temperatura del agua (°C): 21

OBSERVACIONES:

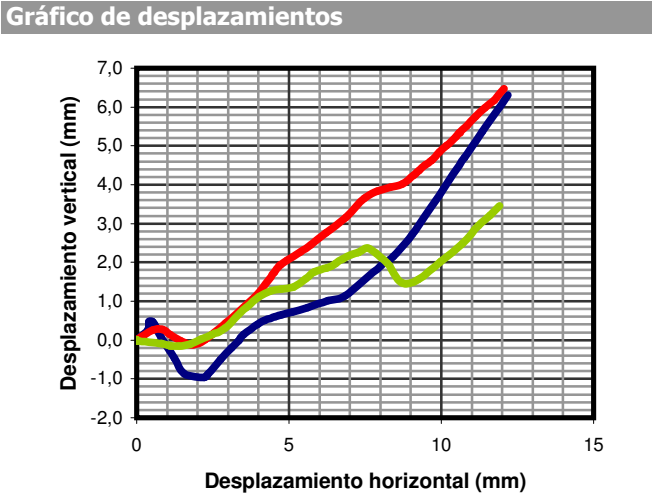
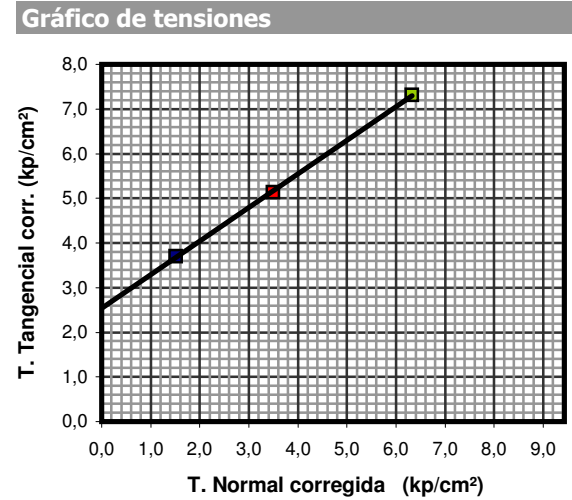
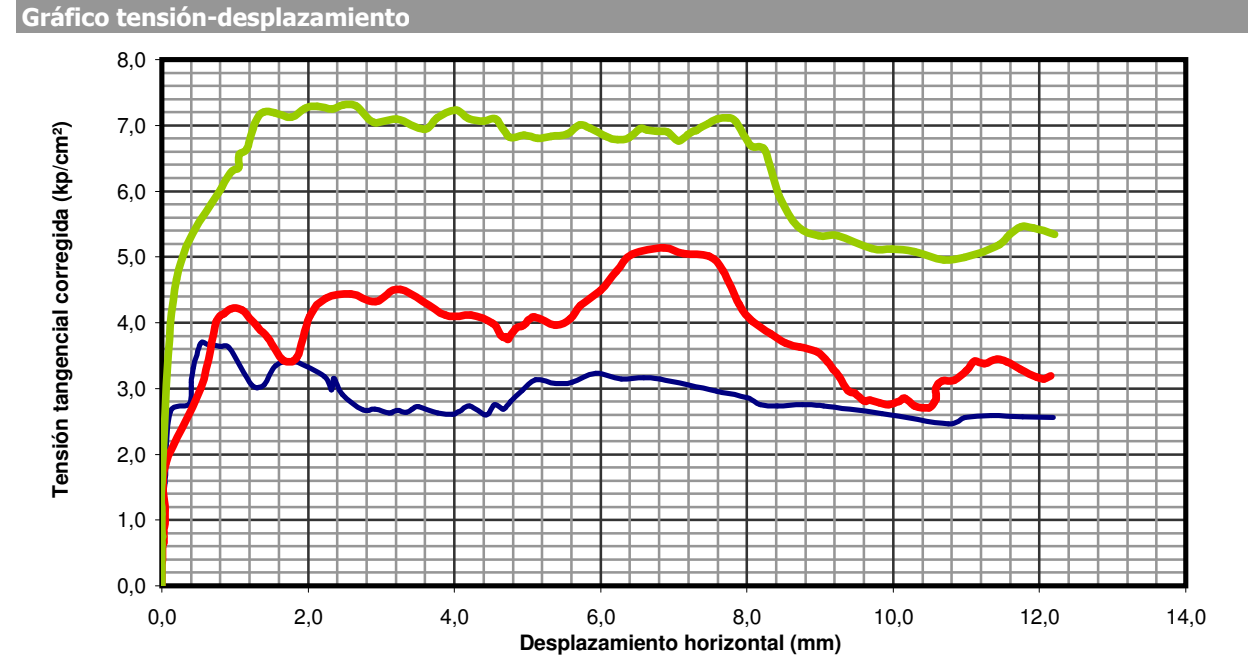
El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.

Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio

Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Laboratorio de ensayos para el Control de Calidad de la Edificación acreditado por la Dirección General de Vivienda y Arquitectura del Gobierno de Cantabria, según Real Decreto 410/2010 de 31 de marzo, con número de acreditación CTB-L-008

Tipo de ensayo					
Corte directo con medida de la resistencia de pico					
Velocidad del ensayo: 2 mm/min					
Datos generales	I	II	III	Interpretación	Totales
Tensión normal (kp/cm²):	1,50	3,00	6,00	Cohesión (kp/cm²):	2,53
				Fricción (°):	36,95
				Pendiente:	0,75
Diámetro equivalente (cm):	6,11	6,11	6,11	Datos rotura	
Sección (cm²):	29,30	29,30	29,30		
Humedad (%):					
Densidad aparente (g/cm³):	2,710	2,710	2,710	Tensión tangencial corregida (kp/cm²):	3,69 5,14 7,31
Densidad seca (g/cm³):				Tensión normal corregida (kp/cm²):	1,52 3,50 6,33
				Desplazamiento horizontal (mm):	0,53 6,86 2,48



Observaciones probeta I:	JRC=12-14
Observaciones probeta II:	JRC=12-14
Observaciones probeta III:	JRC=12-14

Nº Referencia Muestra:	16381		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S3	13,85-14,10 m.		
Fecha de Toma:	18/09/2025			
Fecha de Ensayo:	25/09/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain	

Masa del agua	m _w (g)	1,4
Muestra húmeda	m ₁ (g)	316,0
Muestra seca	m ₂ (g)	314,6
Masa del recipiente	m _c (g)	63,5
Masa muestra seca	m _d (g)	251,1
% Humedad	m _w /m _d x 100	0,6

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16382		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S3	14,30-14,55 m.		
Fecha de Toma:	18/09/2025			
Fecha de Ensayo:	25/09/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain	

Masa del agua	m _w (g)	0,7
Muestra húmeda	m ₁ (g)	427,5
Muestra seca	m ₂ (g)	426,8
Masa del recipiente	m _c (g)	51,7
Masa muestra seca	m _d (g)	375,1
% Humedad	m _w /m _d x 100	0,2

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico



COMPRESIÓN SIMPLE
(Norma UNE-22.950-3)

Ciente:	GTK LABORATORIO GEOTÉCNICO		
Trabajo:	P.C. VARIANTE DE LESAKA NA-4000		
Indicativo:	25264	Laborante:	Ismael G. Cotta
Muestra:	16381 S-3	Fecha:	23/10/2025

CDIAM-EnsyCSR (20060101)

Hoja 1 de 2

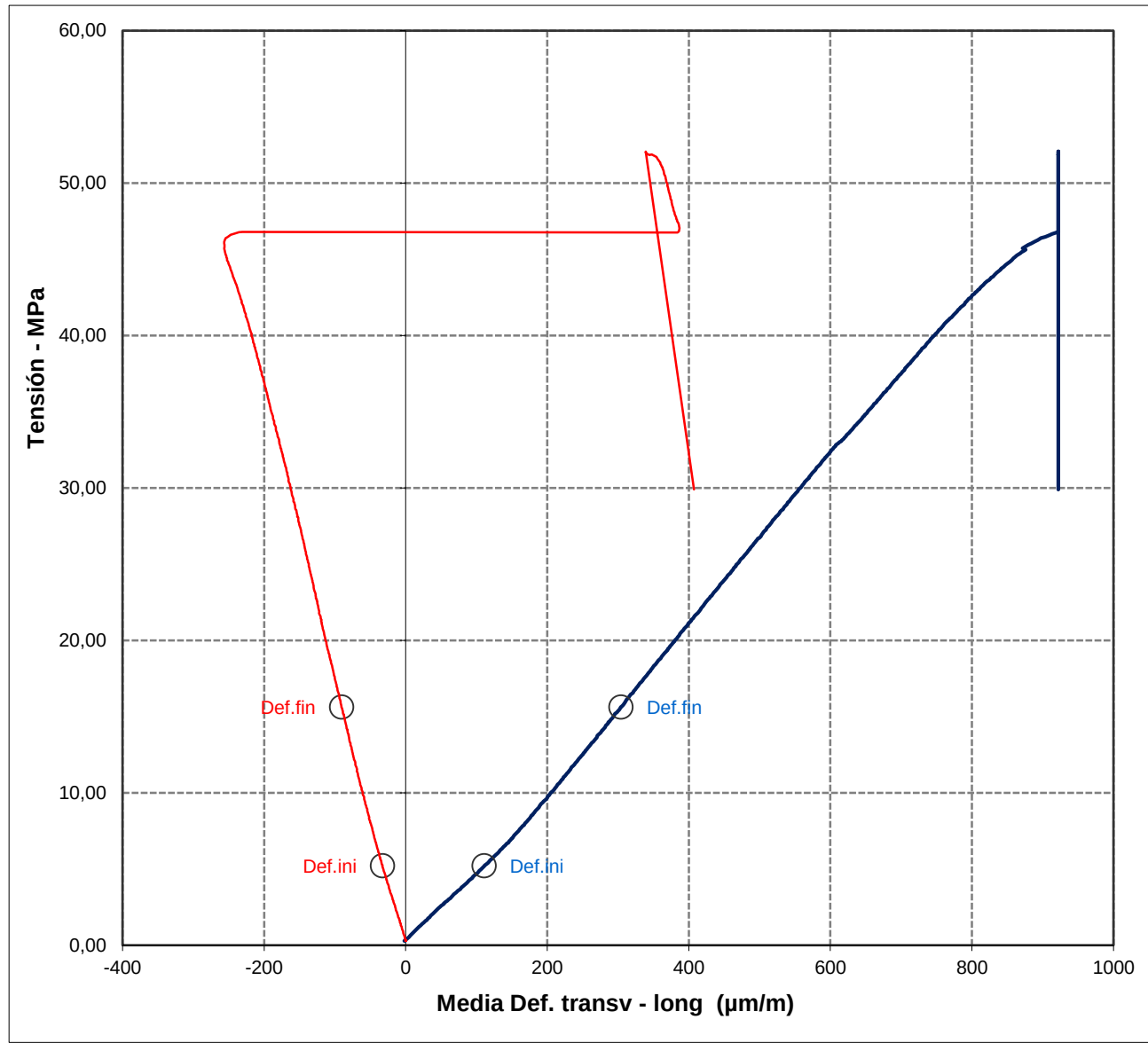
Datos del Ensayo

Humedad (%): -
Densidad natural (g/cm³) : 2,697
Densidad seca (g/cm³) : 2,697
Diámetro (cm): 7,14
Altura probeta (cm): 16,44
Area (cm²): 40,039
Volumen (cm³) : 658,25

Resultados

Resistencia máxima (MPa):	52,08
Deformación (µm/m):	922
Modulo de Young (MPa):	53809
Coefficiente de Poisson:	0,30

Curva Tensión- Deformación



Observaciones



COMPRESIÓN SIMPLE
(Norma UNE-22.950-3)

Ciente:	GTK LABORATORIO GEOTÉCNICO		
Trabajo:	P.C. VARIANTE DE LESAKA NA-4000		
Indicativo:	25264	Laborante:	Ismael G. Cotta
Muestra:	16381 S-3	Fecha:	23/10/2025

CDIAM-EnsyCSR (20060101)

Hoja 2 de 2

Foto antes del ensayo

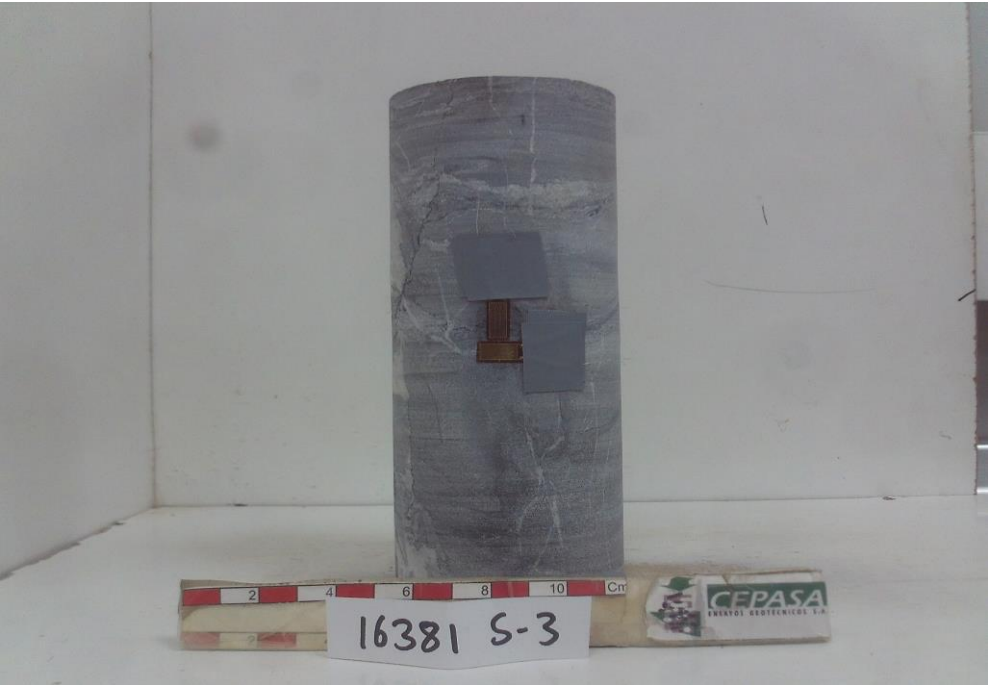


Foto rotura después del ensayo



Observaciones

0

Nº Referencia Muestra:	16382	Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S3	14,30-14,55 m.	
Fecha de Toma:	18/09/2025		
Fecha de Ensayo:	25/09/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka WSP Spain		

Agua	$a = (t+s+a)-(t+s)$	0,70
Tara+suelo+agua	$t+s+a$	427,48
Tara+suelo	$t+s$	426,78
Tara	t	51,66
Suelo	s	375,12
% Humedad	$w = a/s \times 100$	0,2

Masa muestra	m (g)	180,48
Masa muestra con relleno de huecos	m_1 (g)	180,48
Masa muestra+parafina	m_c (g)	187,32
Densidad parafina	ρ_p (Mg/m³)	0,84
Densidad Fluido de inmersión a 25 °C	ρ_{fl} (Mg/m³)	1,00
Masa sumergida muestra+parafina	m_g (g)	112,60
Volumen muestra	$V = [(m_c-m_g)/\rho_{fl}] - [(m_c-m_1)/\rho_p] \times 10^{-6} (m^3)$	66,58
Densidad húmeda	$\rho = m / V$ (Mg/m³)	2,71
Densidad seca	$\rho_d = \rho / [1 + (w / 100)]$ (Mg/m³)	2,71

OBSERVACIONES:

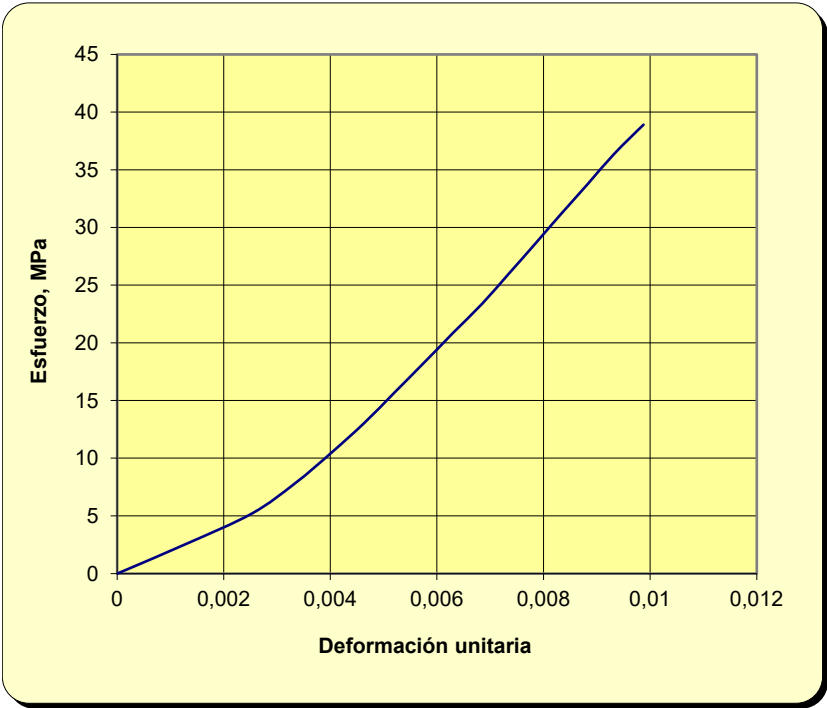
El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.


Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio


Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16382	Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S3	14,30-14,55 m.	
Fecha de Toma:	18/09/2025		
Fecha de Ensayo:	25/09/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka WSP Spain		

Diámetro de la probeta D (cm)	7,15	PESO PROBETA HÚMEDA + tara	1941,84
Altura de la probeta L (cm)	16,20	PESO PROBETA SECA + tara	1939,20
Carga de rotura P (Kg)	15938	TARA	176,56
Humedad (%)	0,15	AGUA	2,64
Densidad aparente (g/cm³)	2,71	ROCA SECA	1762,64
Densidad seca (g/cm3)	2,71		
Resistencia a la compresión uniaxial para la muestra $\sigma_c=P/(\pi D^2/4)$, MPa		38,92	



Este resultado es válido para esta muestra

OBSERVACIONES:


Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio


Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16382		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S3	14,30-14,55 m.		
Fecha de Toma:	18/09/2025			
Fecha de Ensayo:	06/10/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):		PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain

REFERENCIA PICNÓMETRO	Nº	1	2	3
Peso del picnómetro vacío y seco (g)	m ₀	31,3407	31,7588	32,7864
Peso del picnómetro lleno de agua (g)	m ₁	82,5681	82,3507	83,2118
m ₀ + peso de la muestra (g)	m ₂	41,3483	41,7662	42,7904
m ₂ + picnómetro lleno de agua (g)	m ₃	88,3018	88,0887	88,9464
m ₂ - m ₀ (g)	m ₄	10,0076	10,0074	10,004
Densidad relativa de las partículas de un suelo (g/cm³)	$\rho_s = ((m_4) / (m_1 - m_0) - (m_3 - m_2)) * \rho_L$	2,34	2,34	2,34
DENSIDAD RELATIVA DE LAS PARTÍCULAS DE UN SUELO (Mg/m³)	MEDIA	2,34		

Temperatura del agua (°C): 20

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Laboratorio de ensayos para el Control de Calidad de la Edificación acreditado por la Dirección General de Vivienda y Arquitectura del Gobierno de Cantabria, según Real Decreto 410/2010 de 31 de marzo, con número de acreditación CTB-L-008

Nº Referencia Muestra:	16383		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S3	8,07 m.		
Fecha de Toma:	18/09/2025		Hora de Toma:	-
Fecha de Ensayo:	22/09/2025		Fecha de emisión de Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):		PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain

ANÁLISIS DE AGUA		GRADO DE AGRESIVIDAD		
PARÁMETROS	RESULTADO ENSAYOS	DÉBIL	MEDIO	FUERTE
VALOR DEL pH (UNE 83952) Tª de ensayo: 10,6°C	7,8	6,5 - 5,5	5,5 - 4,5	< 4,5
RESIDUO SECO A 110° C (mg / l) (UNE 83957)	221	150 - 75	75 - 50	< 50
CONTENIDO EN SULFATO (mg SO ₄ ²⁻ /l) (UNE 83956)	36	200 - 600	600 - 3000	> 3000
CONTENIDO EN MAGNESIO (mg Mg ²⁺ /l) (UNE 83955)	30	300 - 1000	1000 - 3000	> 3000
CO ₂ LIBRE (mg CO ₂ / l) (UNE-EN 13577)	18	15 - 40	40 - 100	> 100
CONTENIDO EN AMONIO (mg NH ₄ ⁺ / l) (UNE 83954)	1	15 - 30	30 - 60	> 60
CONCENTRACIÓN CLORURO (mg CL ⁻ / l) (UNE - ISO 9297)	-	No aplicable		

EVALUACIÓN DE LA AGRESIVIDAD

DÉBIL

OBSERVACIONES:

El resultado de este análisis es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Laboratorio de ensayos para el Control de Calidad de la Edificación acreditado por la Dirección General de Vivienda y Arquitectura del Gobierno de Cantabria, según Real Decreto 410/2010 de 31 de marzo, con número de acreditación CTB-L-008

Nº Referencia Muestra:	16384		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S4	0,50-1,10 m.		
Fecha de Toma:	08/09/2025			
Fecha de Ensayo:	25/09/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):		PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain

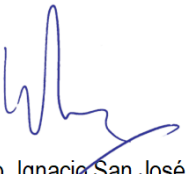
Masa del agua	m _w (g)	13,88
Muestra húmeda	m ₁ (g)	184,40
Muestra seca	m ₂ (g)	170,52
Masa del recipiente	m _c (g)	65,81
Masa muestra seca	m _d (g)	104,71
% Humedad	m _w /m _d x 100	13,3

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16384		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S4	0,50-1,10 m.		
Fecha de Toma:	08/09/2025			
Fecha de Ensayo:	30/09/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):		PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain

CÁLCULOS PREVIOS		
A	Muestra total seca (m)	1140,10
B	Muestra tratam. M.O.	.
C	Muestra tratam. Carb.	.
D	Gruesos lavados y secados (m _i)	257,31
E	Fracción fina previa al cuarteo	877,40
E	Relac. Masas por el cuarteado	5,79
G	Fracción fina ensayada (m _s)	151,60

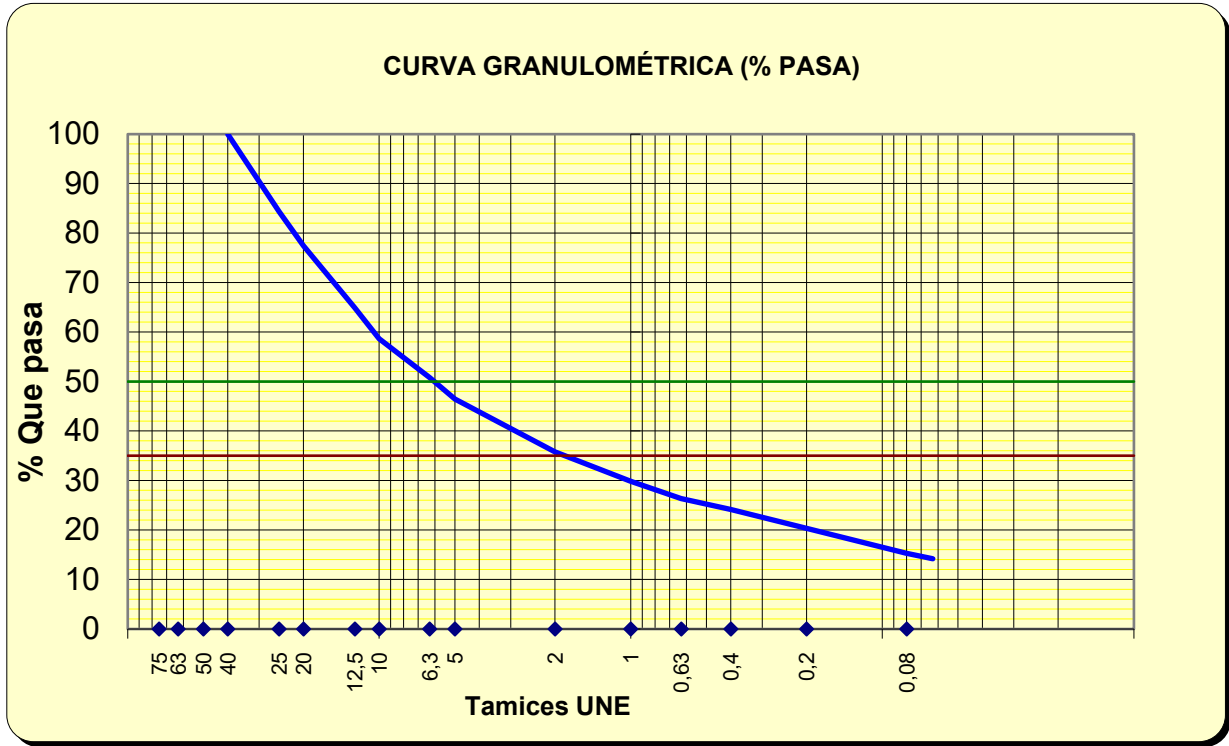
Masa del agua	m _w (g)	1,04
Muestra húmeda	m ₁ (g)	180,20
Muestra seca	m ₂ (g)	179,16
Masa del recipiente	m _c (g)	67,00
Masa muestra seca	m _d (g)	112,16
% Humedad	m _w /m _d x100	0,9

Es fracción gruesa el material retenido por el tamiz nº20, correspondiendo a la separación de gravas medias y gruesas y a la fracción fina el que pasa por el mismo tamiz

TAMICES			Retenido en tamices			Pasa en muestra total		Observaciones
U.N.E.	A.S.T.M.		Grs.en la parte fina ensay. (m _{sn})	Grs.en la parte fina ajust. (m' _{sn})	Grs.en la muestra total (m' _{ssn})	Porcentaje	% Pasa (f _n)	
	Designación	Abertura mm.						
1	2 A	2 B	3	4	5	6	7	
						1.140,1	100,0	
75	3"	75,000			0,00	0,00	100,0	
63	2,5"	63,500			0,00	0,00	100,0	
50	2 "	50,800			0,00	0,00	100,0	
40	1,5"	38,100			0,00	0,00	100,0	
25	1"	25,400			178,74	0,16	84,3	
20	3/4"	19,100			78,57	0,23	77,4	
12,5	1/2"	12,700	24,71	143,01		0,35	64,9	
10	3/8"	9,520	12,29	71,13		0,41	58,6	
6,3	1/4"	6,350	15,50	89,71		0,49	50,8	
5	Nº 4	4,750	8,56	49,54		0,54	46,4	
2	Nº 10	2,000	21,00	121,54		0,64	35,8	
1	Nº 18	1,000	11,70	67,71		0,70	29,8	
0,63	Nº 30	0,590	6,89	39,88		0,74	26,3	
0,40	Nº 40	0,420	4,32	25,00		0,76	24,1	
0,20	Nº 80	0,180	7,55	43,70		0,80	20,3	
0,08	Nº 200	0,074	9,96	57,64		0,85	15,3	
0,063	Nº 230	0,063	2,11	12,21		0,86	14,2	
	Mat. Bandeja (<0,063 mm) (m _p)		0,27					
	Masa total de mat. retenido (m _i)		1140,10					
	Diferencia entre m y m _i (%)		0,00					

Densidad de partículas sólidas	G; Mg/m ³	2,70	(Valor supuesto)
--------------------------------	----------------------	------	------------------

Nº Referencia Muestra: 16384



75	63	50	40	25	20	12,5	10	6,3	5	2	1	0,63	0,4	0,2	0,08	0,063
100,0	100,0	100,0	100,0	84,3	77,4	64,9	58,6	50,8	46,4	35,8	29,8	26,3	24,1	20,3	15,3	14,2

Tamices
% pasa

%	SUCS	CTE
GRAVA	53,6	64,2
ARENA	31,1	21,6
FINOS	15,3	14,2

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.

Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio

Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

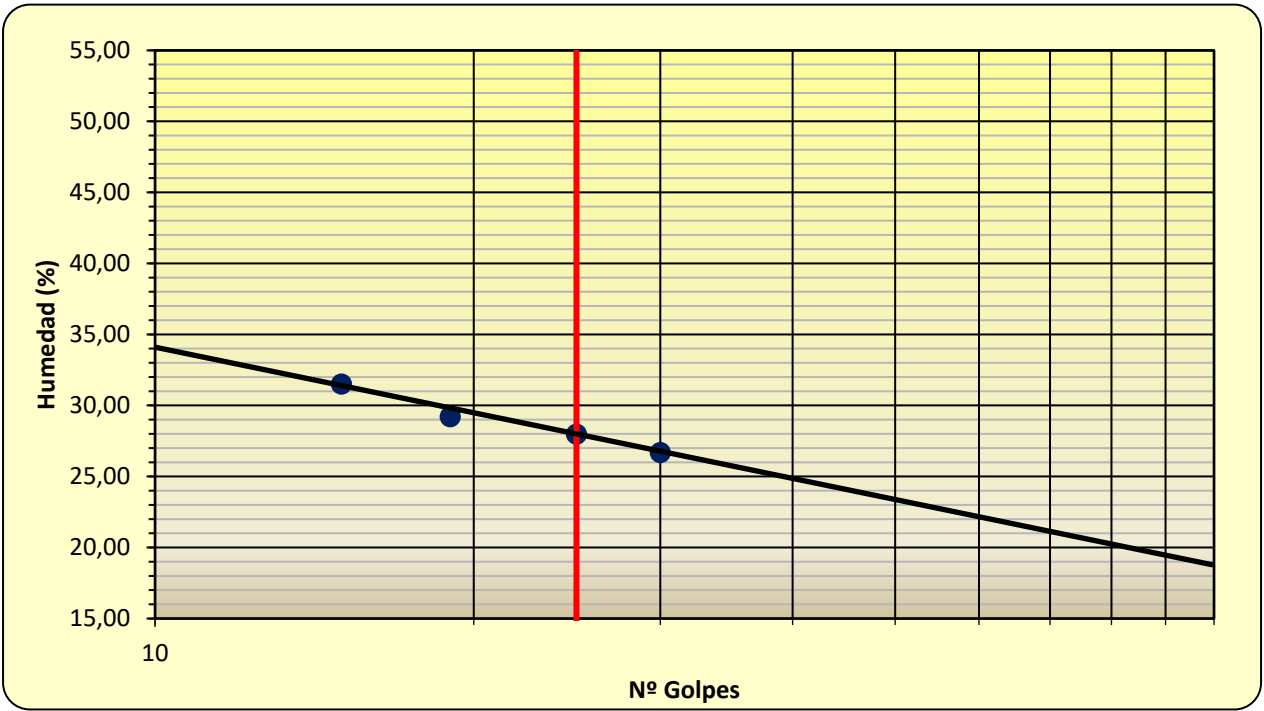
Nº Referencia Muestra:	16384	Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S4	0,50-1,10 m.	
Fecha de Toma:	08/09/2025		
Fecha de Ensayo:	06/10/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka	WSP Spain	

Método empleado:			
Cono de caída:	NO	Tipo de Cono empleado:	-
Cuchara de Casagrande:	SI	Método de un punto:	-

LÍMITE LÍQUIDO (UNE-EN ISO 17892-12)	Número de golpes		15	19	25	30
	Referencia tara		1	2	3	4
t+s+a	Tara+suelo+agua		27,88	28,90	27,77	28,48
t+s	Tara+suelo		26,61	27,86	26,62	27,53
t	Tara		22,58	24,30	22,51	23,97
s=(t+s)-t	Suelo		4,03	3,56	4,11	3,56
a=(t+s+a)-(t+s)	Agua		1,27	1,04	1,15	0,95
w=100x a / s	Humedad (%)		31,51	29,21	27,98	26,69
K Material con tamaño < 0,4 mm (%) (Material seco en estufa a 50º)		24,1	W (Muestra original):			13,26
			W (Previa al ensayo):			0,93
			m1 (g)	303,80	mr (g)	230,45
				LÍMITE LÍQUIDO:		28,0

Suelo secado en estufa a no más de 50 ° C

Suelo secado en estufa a no más de 50 ° C



Nº Referencia Muestra:	16384		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S4	0,50-1,10 m.		
Fecha de Toma:	08/09/2025			
Fecha de Ensayo:	01/10/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka WSP Spain			

MUESTRA	M1	M2
M _i Masa muestra analizada (g)	0,25	0,25
C _i Volumen de KMnO ₄ gastado en la valoración	1,1	1,3
f Factor de normalidad del KMnO ₄	1	1
$\%MO_i = \frac{0.1032 \cdot C_i \cdot f}{M_i}$	0,45	0,54
% MO de la fracción < 5 mm	0,50	
% MO del total de la muestra	0,23	

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16384		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S4	0,50-1,10 m.		
Fecha de Toma:	08/09/2025			
Fecha de Ensayo:	03/10/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka WSP Spain			

MUESTRA	M1	M2
Volumen inicial, cm ³	500	500
Volumen empleado, cm ³	100	100
Masa de la cápsula, g	139,4719	146,9758
Masa cápsula + residuo, g	139,4805	146,9825
Masa del residuo, g	0,0086	0,0067
Masa inicial de suelo, g	50	50
Sales solubles, %	0,09	0,07
Contenido medio en sales, % de la fracción < 5 mm	0,08	
Contenido medio en sales, % del total de la muestra	0,04	

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16384		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S4	0,50-1,10 m.		
Fecha de Toma:	08/09/2025			
Fecha de Ensayo:	07/10/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka WSP Spain			

TARADO CON CARBONATO CÁLCICO	
Carbonato cálcico+tara	0,2049
Tara	0
Carbonato cálcico (G)	0,2049
Lectura CO ₂ inicial	0
Lectura CO ₂ final	15,2
Volumen en cm ³ CO ₂ (V)	15,2
G/V	0,013480263

MUESTRA Nº	1	2
MUESTRA +TARA	0,2051	0,2042
TARA	0	0
MUESTRA (g)	0,2051	0,2042
LECTURA CO ₂ INICIAL	0	0
LECTURA CO ₂ FINAL	0	0
VOLUMEN CO ₂ (c.c.) (v)	0	0
N = v x (G/V)	0	0
% CO ₃ Ca = N/g x 100	0	0
MEDIA CO ₃ Ca (a)	0	

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16384		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S4	0,50-1,10 m.		
Fecha de Toma:	08/09/2025			
Fecha de Ensayo:	02/10/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain	

REFERENCIA PICNÓMETRO	Nº	1	2	3
Peso del picnómetro vacío y seco (g)	m ₀	32,4646	34,0128	32,6846
Peso del picnómetro lleno de agua (g)	m ₁	83,1571	84,6015	82,8513
m ₀ + peso de la muestra (g)	m ₂	42,3676	44,0181	42,8104
m ₂ + picnómetro lleno de agua (g)	m ₃	88,6804	90,1930	88,5092
m ₂ - m ₀ (g)	m ₄	9,9030	10,0053	10,1258
Densidad relativa de las partículas de un suelo (g/cm³)	$\rho_s = ((m_4) / (m_1 - m_0) - (m_3 - m_2)) * \rho_L$	2,26	2,27	2,27
DENSIDAD RELATIVA DE LAS PARTÍCULAS DE UN SUELO (Mg/m³)	MEDIA	2,26		

Temperatura del agua (°C): 20

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16385		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S4	1,10-1,70 m.		
Fecha de Toma:	08/09/2025			
Fecha de Ensayo:	24/09/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):		PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain

Masa del agua	m _w (g)	3,17
Muestra húmeda	m ₁ (g)	107,16
Muestra seca	m ₂ (g)	103,99
Masa del recipiente	m _c (g)	64,87
Masa muestra seca	m _d (g)	39,12
% Humedad	m _w /m _d x 100	8,1

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16385		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S4	1,10-1,70 m.		
Fecha de Toma:	08/09/2025			
Fecha de Ensayo:	30/09/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):		PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain

CÁLCULOS PREVIOS		
A	Muestra total seca (m)	271,60
B	Muestra tratam. M.O.	.
C	Muestra tratam. Carb.	.
D	Gruesos lavados y secados (m _i)	21,88
E	Fracción fina previa al cuarteo	249,10
E	Relac. Masas por el cuarteado	2,64
G	Fracción fina ensayada (m _s)	94,20

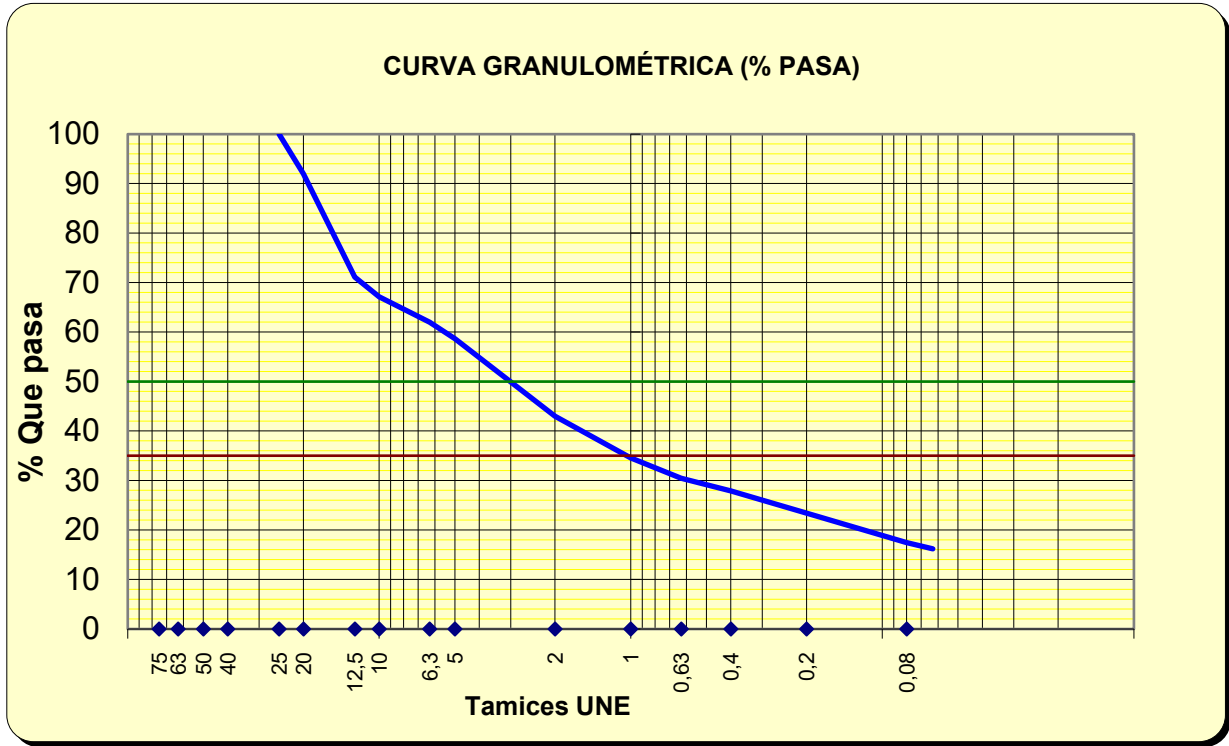
Masa del agua	m _w (g)	0,81
Muestra húmeda	m ₁ (g)	140,90
Muestra seca	m ₂ (g)	140,09
Masa del recipiente	m _c (g)	62,70
Masa muestra seca	m _d (g)	77,39
% Humedad	m _w /m _d x100	1,0

Es fracción gruesa el material retenido por el tamiz nº20, correspondiendo a la separación de gravas medias y gruesas y a la fracción fina el que pasa por el mismo tamiz

TAMICES			Retenido en tamices			Pasa en muestra total		Observaciones
U.N.E.	A.S.T.M.		Grs.en la parte fina ensay. (m _{sn})	Grs.en la parte fina ajust. (m' _{sn})	Grs.en la muestra total (m' _{ssn})	Porcentaje	% Pasa (f _n)	
	Designación	Abertura mm.						
1	2 A	2 B	3	4	5	6	7	
						271,6	100,0	
75	3"	75,000			0,00	0,00	100,0	
63	2,5"	63,500			0,00	0,00	100,0	
50	2 "	50,800			0,00	0,00	100,0	
40	1,5"	38,100			0,00	0,00	100,0	
25	1"	25,400			0,00	0,00	100,0	
20	3/4"	19,100			21,88	0,08	91,9	
12,5	1/2"	12,700	21,40	56,59		0,29	71,1	
10	3/8"	9,520	4,09	10,82		0,33	67,1	
6,3	1/4"	6,350	5,30	14,02		0,38	62,0	
5	Nº 4	4,750	3,43	9,07		0,41	58,6	
2	Nº 10	2,000	16,06	42,47		0,57	43,0	
1	Nº 18	1,000	8,67	22,93		0,65	34,5	
0,63	Nº 30	0,590	4,21	11,13		0,70	30,4	
0,40	Nº 40	0,420	2,63	6,95		0,72	27,9	
0,20	Nº 80	0,180	4,61	12,19		0,77	23,4	
0,08	Nº 200	0,074	6,14	16,24		0,83	17,4	
0,063	Nº 230	0,063	1,27	3,36		0,84	16,2	
	Mat. Bandeja (<0,063 mm) (m _p)		0,10					
	Masa total de mat. retenido (m _i)		271,60					
	Diferencia entre m y m _i (%)		0,00					

Densidad de partículas sólidas	G; Mg/m³	2,70	(Valor supuesto)
--------------------------------	----------	------	------------------

Nº Referencia Muestra: 16385



75	63	50	40	25	20	12,5	10	6,3	5	2	1	0,63	0,4	0,2	0,08	0,063
100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	91,9	71,1	67,1	62,0	58,6	43,0	34,5	30,4	27,9	23,4	17,4	16,2

Tamices
% pasa

%	SUCS	CTE
GRAVA	41,4	57,0
ARENA	41,2	26,8
FINOS	17,4	16,2

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.

Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio

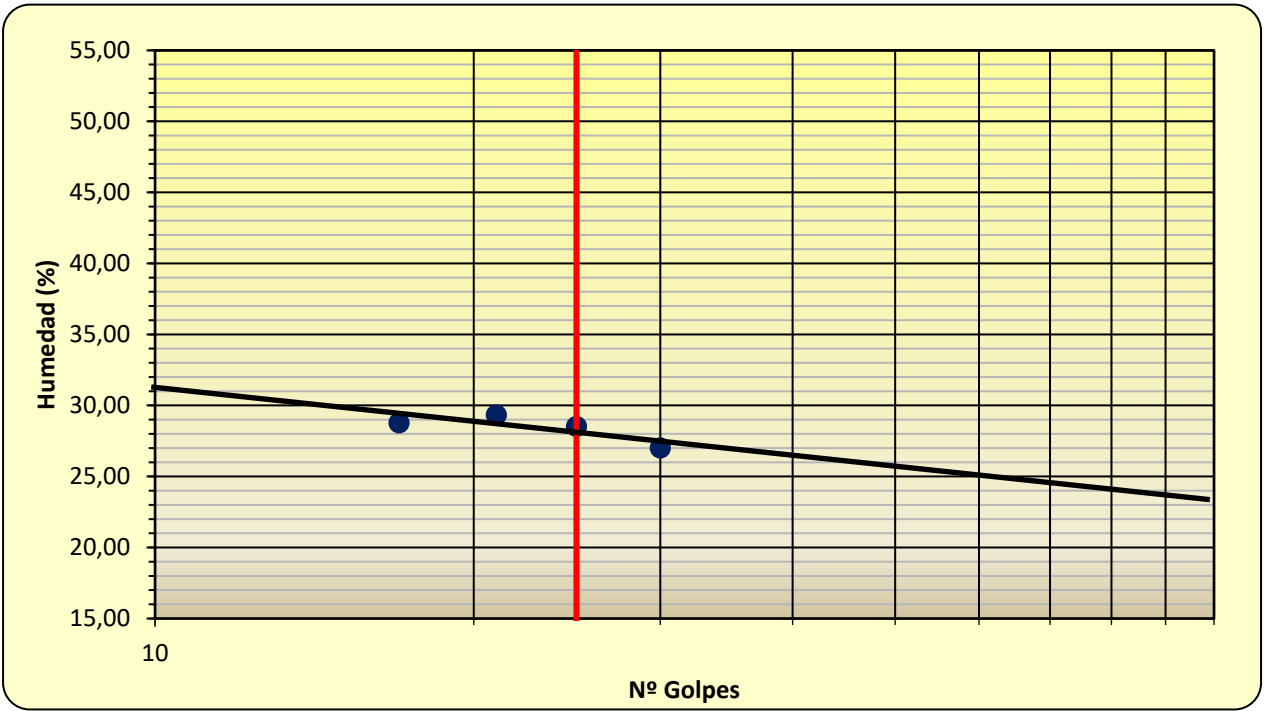
Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16385	Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S4	1,10-1,70 m.	
Fecha de Toma:	08/09/2025		
Fecha de Ensayo:	06/10/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka	WSP Spain	

Método empleado:			
Cono de caída:	NO	Tipo de Cono empleado:	-
Cuchara de Casagrande:	SI	Método de un punto:	-

LÍMITE LÍQUIDO (UNE-EN ISO 17892-12)	Número de golpes		17	21	25	30
	Referencia tara		1	2	3	4
t+s+a	Tara+suelo+agua		28,47	28,08	28,96	29,01
t+s	Tara+suelo		27,48	27,15	28,03	28,07
t	Tara		24,04	23,98	24,77	24,59
s=(t+s)-t	Suelo		3,44	3,17	3,26	3,48
a=(t+s+a)-(t+s)	Agua		0,99	0,93	0,93	0,94
w=100x a / s	Humedad (%)		28,78	29,34	28,53	27,01
K Material con tamaño < 0,4 mm (%) (Material seco en estufa a 50º)		27,9	W (Muestra original):			8,10
			W (Previa al ensayo):			1,05
			m1 (g)	150,60	mr (g)	108,60
				LÍMITE LÍQUIDO:		28,1
Suelo secado en estufa a no más de 50 ° C						

Suelo secado en estufa a no más de 50 ° C



Nº Referencia Muestra:

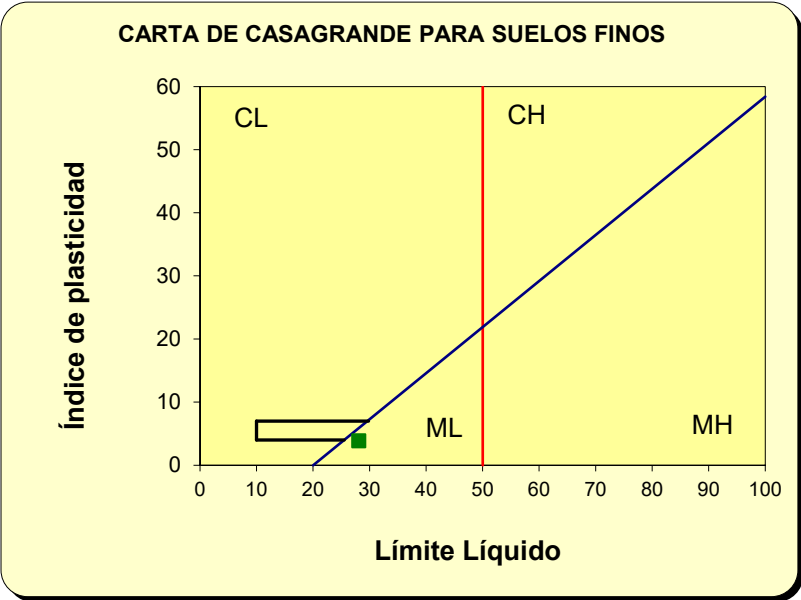
16385

LÍMITE PLÁSTICO (UNE-EN ISO 17892-12)	Referencia tara	1	2
t+s+a	Tara+suelo+agua	31,19	29,54
t+s	Tara+suelo	29,93	28,30
t	Tara	24,73	23,19
s=(t+s)-t	Suelo	5,20	5,11
a=(t+s+a)-(t+s)	Agua	1,26	1,24
w=100x a / s	Humedad (%)	24,23	24,27

LÍMITE PLÁSTICO

24,2

FRACCIÓN > 5,00 mm, %	41,4
FRACCIÓN < 0,08 mm, %	17,4
LÍMITE LÍQUIDO, LL	28,1
LÍMITE PLÁSTICO, LP	24,2
ÍNDICE DE PLASTICIDAD, IP	3,9
CLASIFICACIÓN SUCS	GM
DESCRIPCIÓN ASTM D-2486	
Grava limosa	
ÍNDICE DE LIQUIDEZ, I _L	-4,2
ÍNDICE DE CONSISTENCIA, I _c	5,2
ÍNDICE DE ACTIVIDAD, I _a	-



Método de preparación:

Tamizado para romper la estructura del suelo y ajustando la consistencia de la pasta remoldeada al rango requerido en el ensayo.

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.

Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio

Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16385		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S4	1,10-1,70 m.		
Fecha de Toma:	08/09/2025			
Fecha de Ensayo:	01/10/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):		PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain

Peso de suelo seco ensayado (g)	-
Volumen de líquido recogido para la valoración (ml)	-
Volumen de Hidróxido de Sodio empleado en la valoración (ml)	-
Grado de acidez (ml/kg suelo) (UNE 83962)	-

Peso de suelo analizado: M (kg)	0,05
Tara del crisol: C (g)	121,2144
Peso del filtro calcinado: F (g)	0,0000
C + F + Precipitado (g)	121,2174
Peso precipitado = (C + F + Precipitado)-(C + F)	0,0030
mg SO ₄ ²⁻ / kilo de suelo = 411,6 x P / M	24,696
Contenido en ión SO ₄ ²⁻ (%) (UNE 83963)	0,002

DETERMINACIÓN	Resultado del ensayo	GRADO DE AGRESIVIDAD		
		Débil (XA1)	Medio (XA2)	Fuerte (XA3)
Acidez Baumann-Gully (ml/kg suelo)	-	> 200	-	-
Contenido en sulfatos (mg SO ₄ ²⁻ / kilo de suelo)	25	2000 a 3000	3000 a 12000	> 12000

EVALUACIÓN DE LA AGRESIVIDAD:

El suelo no es agresivo para el hormigón

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.

Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio

Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16386		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S4	4,80-5,06 m.		
Fecha de Toma:	08/09/2025			
Fecha de Ensayo:	25/09/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain	

Masa del agua	m _w (g)	1,0
Muestra húmeda	m ₁ (g)	382,6
Muestra seca	m ₂ (g)	381,6
Masa del recipiente	m _c (g)	62,1
Masa muestra seca	m _d (g)	319,5
% Humedad	m _w /m _d x 100	0,3

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16386		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S4	4,80-5,06 m.		
Fecha de Toma:	08/09/2025			
Fecha de Ensayo:	25/09/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain	

Agua	a = (t+s+a)-(t+s)	1,03
Tara+suelo+agua	t+s+a	382,61
Tara+suelo	t+s	381,58
Tara	t	62,08
Suelo	s	319,50
% Humedad	w = a/s x 100	0,3

Masa muestra	m (g)	329,17
Masa muestra con relleno de huecos	m _i (g)	329,17
Masa muestra+parafina	m _c (g)	336,58
Densidad parafina	ρ _p (Mg/m ³)	0,84
Densidad Fluido de inmersión a 25 °C	ρ _{fl} (Mg/m ³)	1,00
Masa sumergida muestra+parafina	m _s (g)	206,60
Volumen muestra	V = [(m _c -m _s)/ρ _p]-[(m _c -m _i)/ρ _p] x 10 ⁻⁶ (m ³)	121,16
Densidad húmeda	ρ = m / V (Mg/m ³)	2,72
Densidad seca	ρ _d = ρ / [1 + (w / 100)] (Mg/m ³)	2,71

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16386	Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S4	4,80-5,06 m.	
Fecha de Toma:	08/09/2025		
Fecha de Ensayo:	25/09/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka	WSP Spain	

Diámetro de la probeta D (cm)	7,17	PESO PROBETA HÚMEDA + tara	2085,34
Altura de la probeta L (cm)	17,80	PESO PROBETA SECA + tara	2082,02
Carga de rotura P (Kg)	16200	TARA	141,10
Humedad (%)	0,17	AGUA	3,32
Densidad aparente (g/cm³)	2,71	ROCA SECA	1940,92
Densidad seca (g/cm3)	2,70		
Resistencia a la compresión uniaxial para la muestra $\sigma_c=P/(\pi D^2/4)$, MPa		39,34	



Este resultado es válido para esta muestra

OBSERVACIONES:


Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio


Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16386	Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S4	4,80-5,06 m.	
Fecha de Toma:	08/09/2025		
Fecha de Ensayo:	07/10/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka	WSP Spain	

REFERENCIA PICNÓMETRO	Nº	1	2	3
Peso del picnómetro vacío y seco (g)	m ₀	31,5978	31,1869	31,9534
Peso del picnómetro lleno de agua (g)	m ₁	83,7879	83,3205	82,5540
m ₀ + peso de la muestra (g)	m ₂	41,7056	41,0093	42,2996
m ₂ + picnómetro lleno de agua (g)	m ₃	89,6807	89,0068	88,5955
m ₂ - m ₀ (g)	m ₄	10,1078	9,8224	10,3462
Densidad relativa de las partículas de un suelo (g/cm³)	$\rho_s=((m_4)/(m_1-m_0)-(m_3-m_2))*\rho_L$	2,40	2,37	2,40
DENSIDAD RELATIVA DE LAS PARTÍCULAS DE UN SUELO (Mg/m³)	MEDIA	2,39		

Temperatura del agua (°C): 21

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.


Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio


Fdo. Ignacio San José
Director Técnico



CORTE DIRECTO DE ROCAS
(ASTM D 5607:16)

CLIENTE: GTK LABORATORIO GEOTÉCNICO, S.L.
TRABAJO: P.C. VARIANTE DE LESAKA NA-4000
INDICATIVO: 25264 LABORANTE: Ismael G. Cotta
MUESTRA: 16387 S-4 FECHA: 24/10/25 Hoja 1

Tipo de ensayo

Corte directo con medida de la resistencia de pico
Velocidad del ensayo: 2 mm/min

Datos generales	I	II	III	Interpretación	Totales
Tensión normal (kp/cm²):	1,50	3,00	6,00	Cohesión (kp/cm²):	2,49
				Fricción (°):	38,63
Diámetro equivalente (cm):	7,14	7,14	7,14	Pendiente:	0,80
Sección (cm²):	40,06	40,06	40,06	Datos rotura	
Humedad (%):				Tensión tangencial corregida (kp/cm²):	I 4,18 II 5,98 III 9,19
Densidad aparente (g/cm³):	2,680	2,680	2,680	Tensión normal corregida (kp/cm²):	I 2,15 II 4,30 III 8,40
Densidad seca (g/cm³):				Desplazamiento horizontal (mm):	I 17,06 II 17,17 III 16,17

Gráfico tensión-desplazamiento

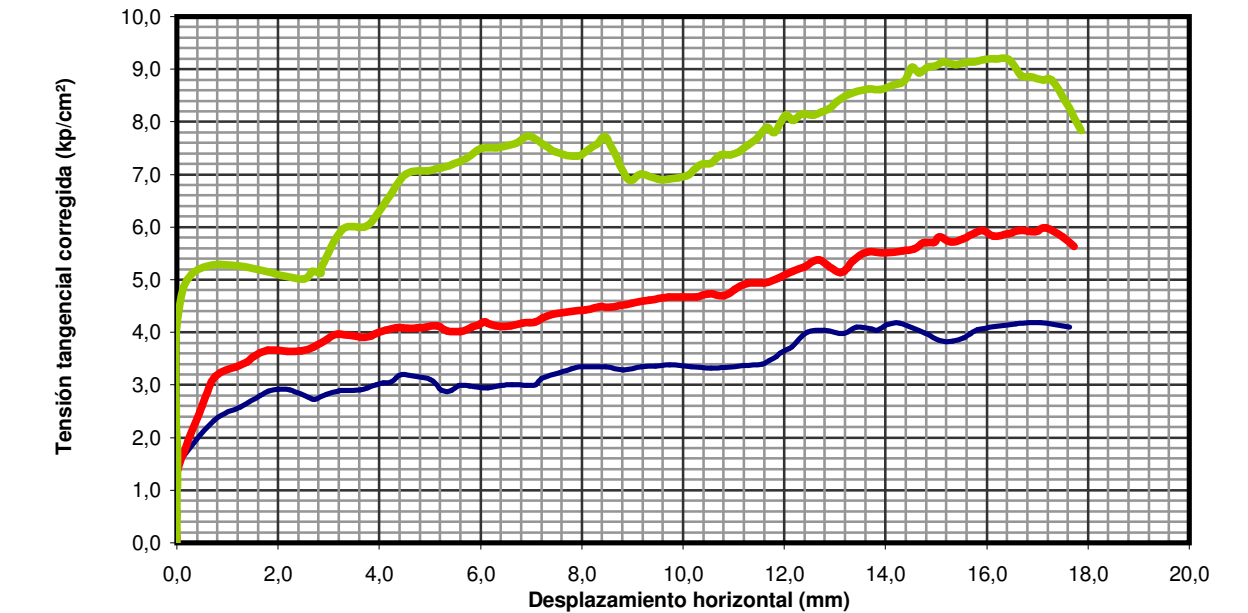


Gráfico de tensiones

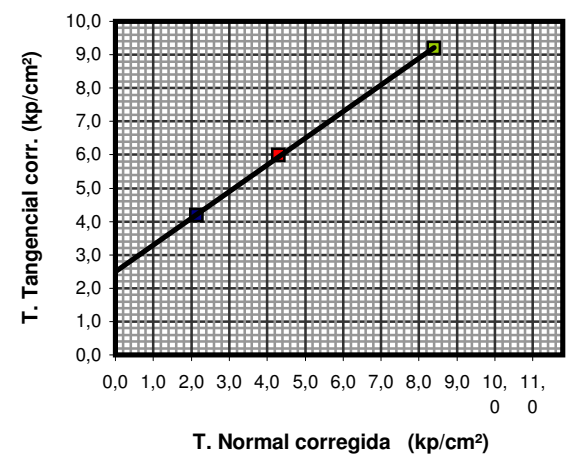
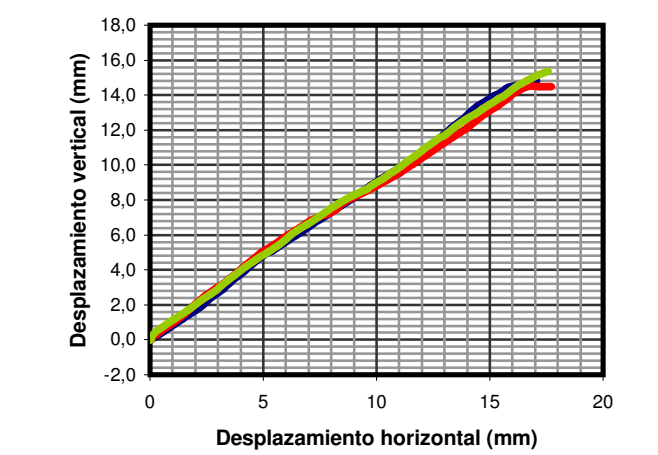


Gráfico de desplazamientos



Observaciones probeta I: JRC=12-14
Observaciones probeta II: JRC=12-14
Observaciones probeta III: JRC=12-14

	GTK Laboratorio Geotécnico Laboratorio de Control de Calidad. Edificación y Obra Civil	Hoja 1 de 1
	DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD (UNE-EN ISO 17892-1)	

Nº Referencia Muestra:	16388	Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S4	10,25-10,75 m.	
Fecha de Toma:	09/09/2025		
Fecha de Ensayo:	25/09/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka WSP Spain		

Masa del agua	m _w (g)	10,3
Muestra húmeda	m ₁ (g)	814,2
Muestra seca	m ₂ (g)	803,9
Masa del recipiente	m _c (g)	61,2
Masa muestra seca	m _d (g)	742,8
% Humedad	m _w /m _d x 100	1,4

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.

Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio

Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16388		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S4	10,25-10,75 m.		
Fecha de Toma:	09/09/2025			
Fecha de Ensayo:	25/09/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain	

Agua	$a = (t+s+a)-(t+s)$	10,25
Tara+suelo+agua	$t+s+a$	814,15
Tara+suelo	$t+s$	803,90
Tara	t	61,15
Suelo	s	742,75
% Humedad	$w = a/s \times 100$	1,4

Masa muestra	m (g)	233,88
Masa muestra con relleno de huecos	m_1 (g)	233,88
Masa muestra+parafina	m_c (g)	241,94
Densidad parafina	ρ_p (Mg/m³)	0,84
Densidad Fluido de inmersión a 25 °C	ρ_{fl} (Mg/m³)	1,00
Masa sumergida muestra+parafina	m_g (g)	146,00
Volumen muestra	$V = [(m_c-m_g)/\rho_{fl}] - [(m_c-m_1)/\rho_p] \times 10^{-6} (m^3)$	86,34
Densidad húmeda	$\rho = m / V$ (Mg/m³)	2,71
Densidad seca	$\rho_d = \rho / [1 + (w / 100)]$ (Mg/m³)	2,67

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.


Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio


Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16388		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S4	10,25-10,75 m.		
Fecha de Toma:	09/09/2025			
Fecha de Ensayo:	07/10/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain	

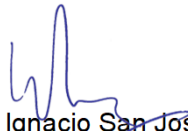
REFERENCIA PICNÓMETRO	Nº	1	2	3
Peso del picnómetro vacío y seco (g)	m_0	31,3403	31,7610	32,7837
Peso del picnómetro lleno de agua (g)	m_1	82,5528	82,3598	83,2387
m_0 + peso de la muestra (g)	m_2	41,3483	41,7666	42,6942
m_2 + picnómetro lleno de agua (g)	m_3	88,5151	88,3282	89,1271
$m_2 - m_0$ (g)	m_4	10,008	10,0056	9,9105
Densidad relativa de las partículas de un suelo (g/cm³)	$\rho_s = ((m_4) / (m_1 - m_0) - (m_3 - m_2)) * \rho_L$	2,47	2,48	2,46
DENSIDAD RELATIVA DE LAS PARTÍCULAS DE UN SUELO (Mg/m³)	MEDIA	2,47		

Temperatura del agua (°C): 21

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.


Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio


Fdo. Ignacio San José
Director Técnico



COMPRESIÓN SIMPLE
(Norma UNE-22.950-3)

Cliente:	GTK LABORATORIO GEOTÉCNICO		
Trabajo:	P.C. VARIANTE DE LESAKA NA-4000		
Indicativo:	25264	Laborante:	Ismael G. Cotta
Muestra:	16388 S-4	Fecha:	23/10/2025

CDIAM-EnsyCSR (20060101)

Hoja 1 de 2

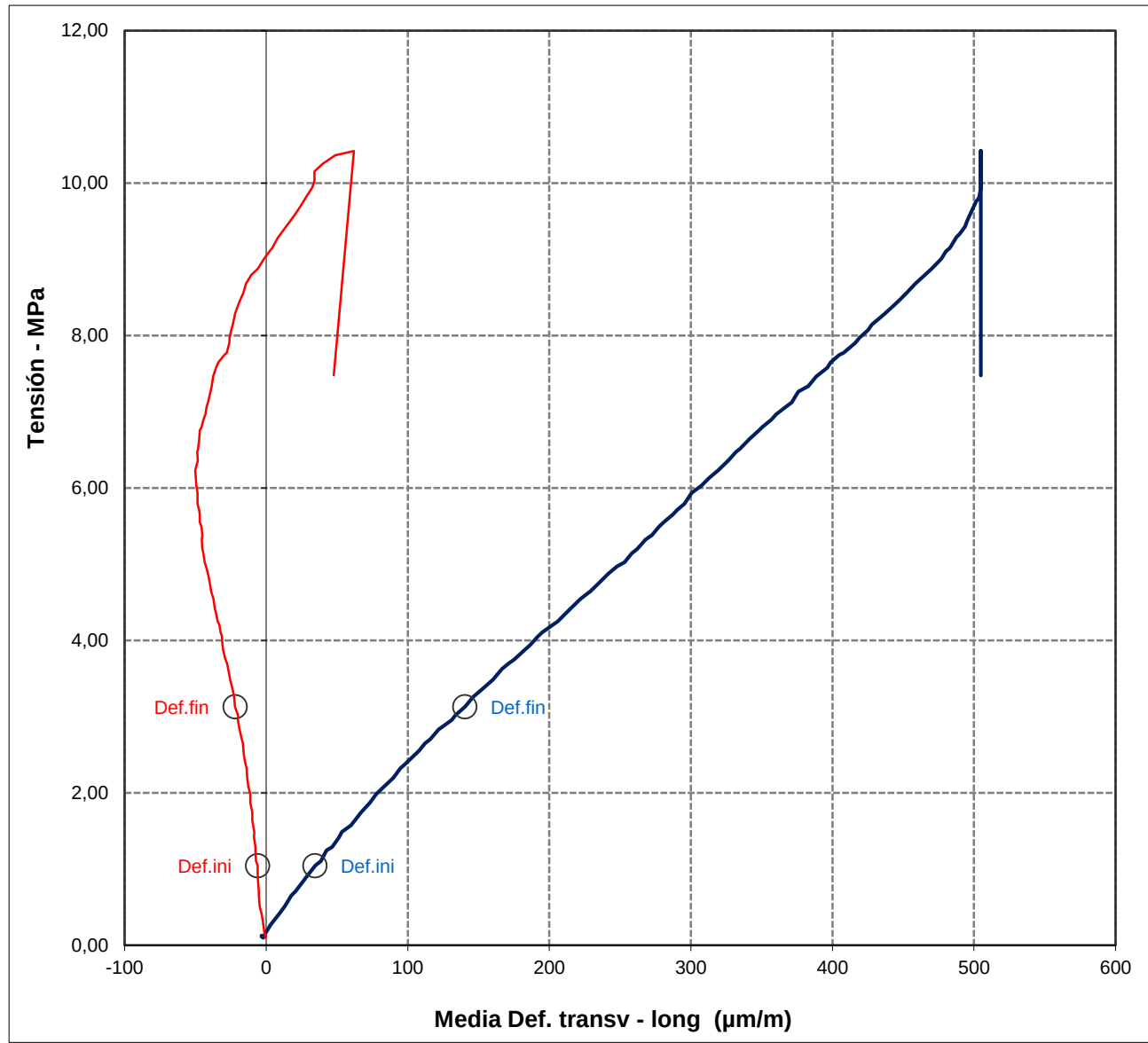
Datos del Ensayo

Humedad (%):	-
Densidad natural (g/cm³) :	2,716
Densidad seca (g/cm³) :	2,716
Diámetro (cm):	7,16
Altura probeta (cm):	16,47
Area (cm²)	40,264
Volumen (cm³) :	663,15

Resultados

Resistencia máxima (MPa):	10,42
Deformación (µm/m):	505
Modulo de Young (MPa):	19686
Coefficiente de Poisson:	0,15

Curva Tensión- Deformación



Observaciones

Rotura a favor de discontinuidad



COMPRESIÓN SIMPLE
(Norma UNE-22.950-3)

Cliente:	GTK LABORATORIO GEOTÉCNICO		
Trabajo:	P.C. VARIANTE DE LESAKA NA-4000		
Indicativo:	25264	Laborante:	Ismael G. Cotta
Muestra:	16388 S-4	Fecha:	23/10/2025

CDIAM-EnsyCSR (20060101)

Hoja 2 de 2

Foto antes del ensayo

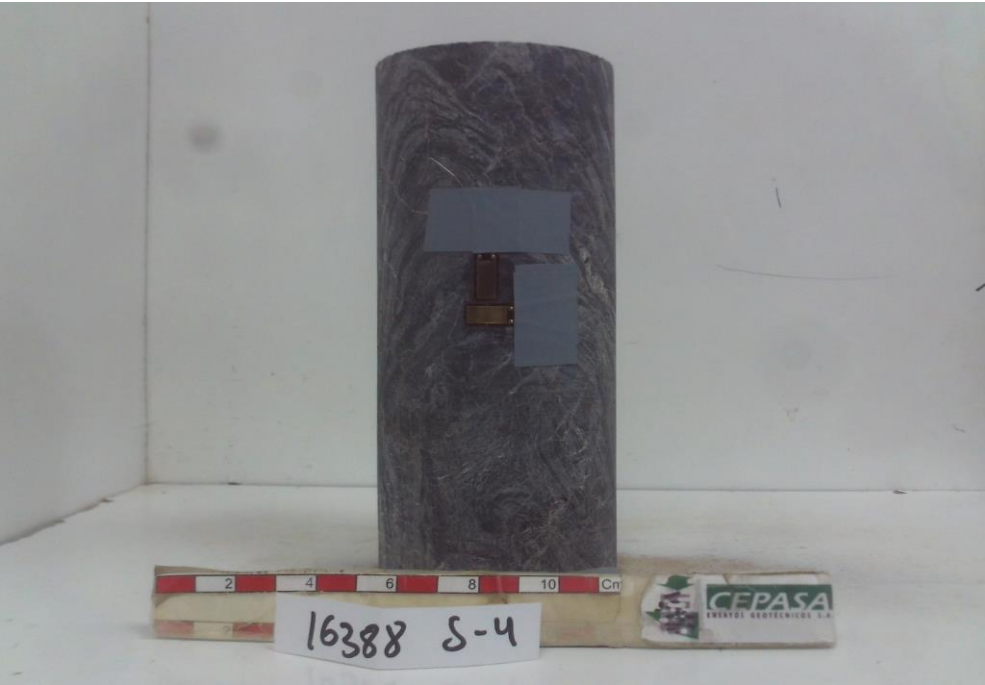
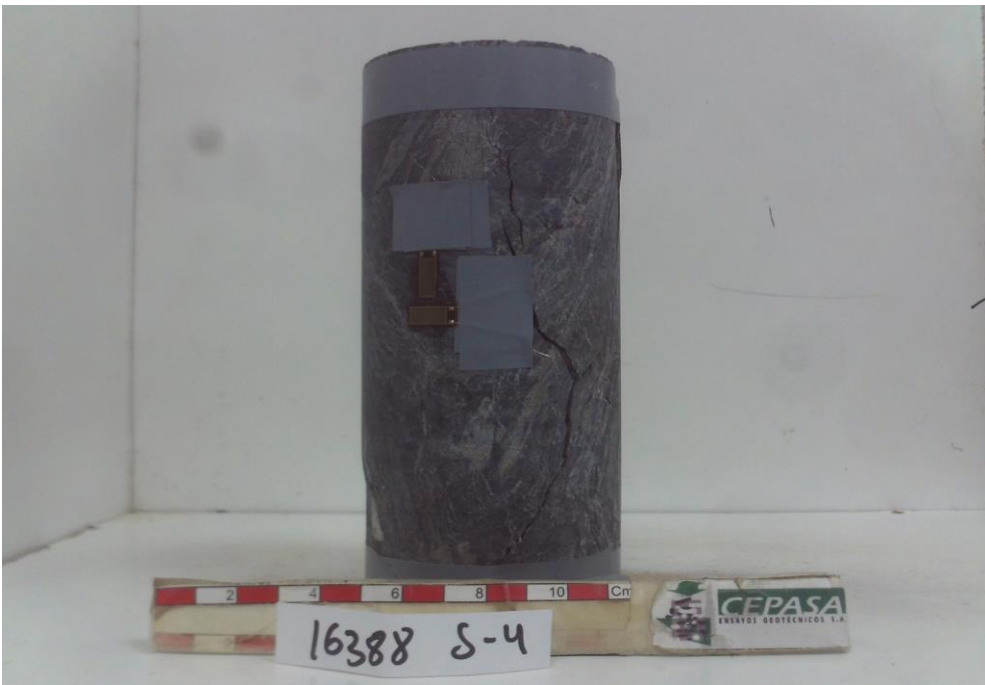


Foto rotura después del ensayo



Observaciones

Rotura a favor de discontinuidad



CDIAM-EnsyCSR (20060101

COMPRESIÓN SIMPLE
(Norma UNE-22.950-3)

Cliente:	GTK LABORATORIO GEOTÉCNICO		
Trabajo:	P.C. VARIANTE DE LESAKA NA-4000		
Indicativo:	25264	Laborante:	Ismael G. Cotta
Muestra:	16389 S-4	Fecha:	23/10/2025

Hoja 2 de 2

Foto antes del ensayo



Foto rotura después del ensayo



Observaciones

Rotura a favor de discontinuidad



GTK Laboratorio Geotécnico
Laboratorio de Control de Calidad. Edificación y Obra Civil

Hoja 1 de 1

DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD (UNE-EN ISO 17892-1)

Nº Referencia Muestra:	16390		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S4	16,75-17,00 m.		
Fecha de Toma:	09/09/2025			
Fecha de Ensayo:	25/09/2025		Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka			WSP Spain

Masa del agua	m_w (g)	0,3
Muestra húmeda	m_1 (g)	438,6
Muestra seca	m_2 (g)	438,3
Masa del recipiente	m_c (g)	60,8
Masa muestra seca	m_d (g)	377,6
% Humedad	$m_w/m_d \times 100$	0,1

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.

Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio

Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16390	Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S4	16,75-17,00 m.	
Fecha de Toma:	09/09/2025		
Fecha de Ensayo:	25/09/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka WSP Spain		

Agua	$a = (t+s+a)-(t+s)$	0,26
Tara+suelo+agua	$t+s+a$	438,60
Tara+suelo	$t+s$	438,34
Tara	t	60,75
Suelo	s	377,59
% Humedad	$w = a/s \times 100$	0,1

Masa muestra	m (g)	232,65
Masa muestra con relleno de huecos	m_1 (g)	232,65
Masa muestra+parafina	m_c (g)	242,16
Densidad parafina	ρ_p (Mg/m³)	0,84
Densidad Fluido de inmersión a 25 °C	ρ_{fl} (Mg/m³)	1,00
Masa sumergida muestra+parafina	m_g (g)	144,20
Volumen muestra	$V = [(m_c-m_g)/\rho_p]-[(m_c-m_1)/\rho_p] \times 10^{-6} (m^3)$	86,64
Densidad húmeda	$\rho = m / V$ (Mg/m³)	2,69
Densidad seca	$\rho_d = \rho / [1 + (w / 100)]$ (Mg/m³)	2,68

OBSERVACIONES:

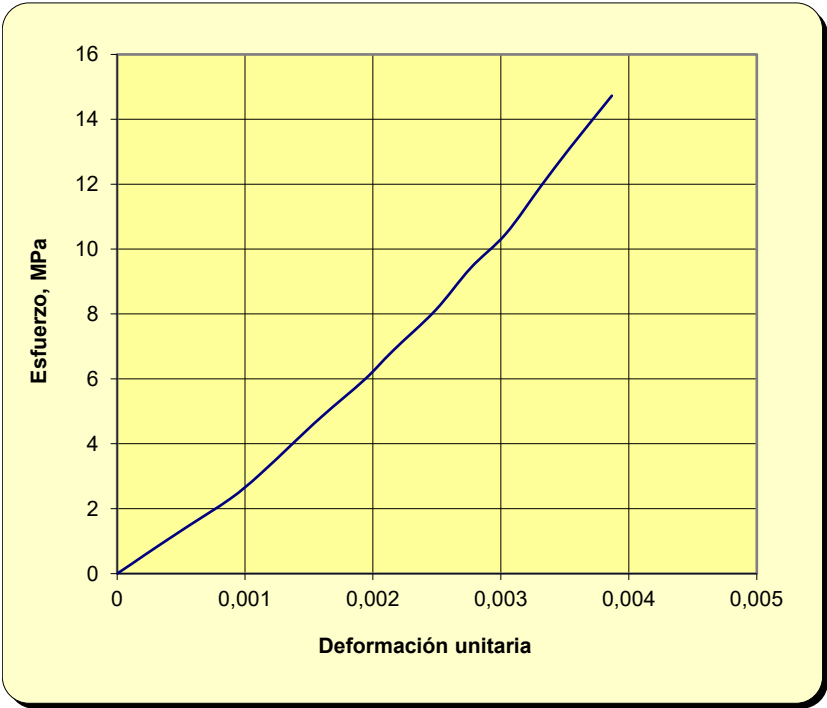
El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.


Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio


Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16390	Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S4	16,75-17,00 m.	
Fecha de Toma:	09/09/2025		
Fecha de Ensayo:	25/09/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka WSP Spain		

Diámetro de la probeta D (cm)	7,18	PESO PROBETA HÚMEDA + tara	2169,97
Altura de la probeta L (cm)	18,10	PESO PROBETA SECA + tara	2165,77
Carga de rotura P (Kg)	6082	TARA	174,49
Humedad (%)	0,21	AGUA	4,20
Densidad aparente (g/cm³)	2,72	ROCA SECA	1991,28
Densidad seca (g/cm3)	2,72		
Resistencia a la compresión uniaxial para la muestra $\sigma_c=P/(\pi D^2/4)$, MPa		14,73	



Este resultado es válido para esta muestra

OBSERVACIONES:


Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio


Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16390		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S4	16,75-17,00 m.		
Fecha de Toma:	09/09/2025			
Fecha de Ensayo:	08/10/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025	
Procedencia (Obra / Cliente):		PC Variante NA-4000 - Lesaka	WSP Spain	

REFERENCIA PICNÓMETRO	Nº	1	2	3
Peso del picnómetro vacío y seco (g)	m ₀	32,4536	34,0112	32,6883
Peso del picnómetro lleno de agua (g)	m ₁	83,1681	84,6157	82,8698
m ₀ + peso de la muestra (g)	m ₂	42,4624	44,1232	42,6962
m ₂ + picnómetro lleno de agua (g)	m ₃	88,8620	90,4112	88,5708
m ₂ - m ₀ (g)	m ₄	10,0088	10,1120	10,0079
Densidad relativa de las partículas de un suelo (g/cm³)	$\rho_s = ((m_4) / (m_1 - m_0) - (m_3 - m_2)) * \rho_L$	2,32	2,34	2,32
DENSIDAD RELATIVA DE LAS PARTÍCULAS DE UN SUELO (Mg/m³)	MEDIA	2,33		

Temperatura del agua (°C): 21

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16392		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S4	20,00-20,20 m.		
Fecha de Toma:	09/09/2025			
Fecha de Ensayo:	25/09/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025	
Procedencia (Obra / Cliente):		PC Variante NA-4000 - Lesaka	WSP Spain	

Masa del agua	m _w (g)	0,3
Muestra húmeda	m ₁ (g)	272,1
Muestra seca	m ₂ (g)	271,8
Masa del recipiente	m _c (g)	65,2
Masa muestra seca	m _d (g)	206,6
% Humedad	m _w /m _d x 100	0,1

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16392	Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S4	20,00-20,20 m.	
Fecha de Toma:	09/09/2025		
Fecha de Ensayo:	25/09/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain

Agua	$a = (t+s+a)-(t+s)$	0,27
Tara+suelo+agua	$t+s+a$	272,06
Tara+suelo	$t+s$	271,79
Tara	t	65,21
Suelo	s	206,58
% Humedad	$w = a/s \times 100$	0,1

Masa muestra	m (g)	142,46
Masa muestra con relleno de huecos	m_l (g)	142,46
Masa muestra+parafina	m_c (g)	147,78
Densidad parafina	ρ_p (Mg/m³)	0,84
Densidad Fluido de inmersión a 25 °C	ρ_{fl} (Mg/m³)	1,00
Masa sumergida muestra+parafina	m_g (g)	88,50
Volumen muestra	$V = [(m_c-m_g)/\rho_{fl}] - [(m_c-m_l)/\rho_p] \times 10^{-6} (m^3)$	52,95
Densidad húmeda	$\rho = m / V$ (Mg/m³)	2,69
Densidad seca	$\rho_d = \rho / [1 + (w / 100)]$ (Mg/m³)	2,69

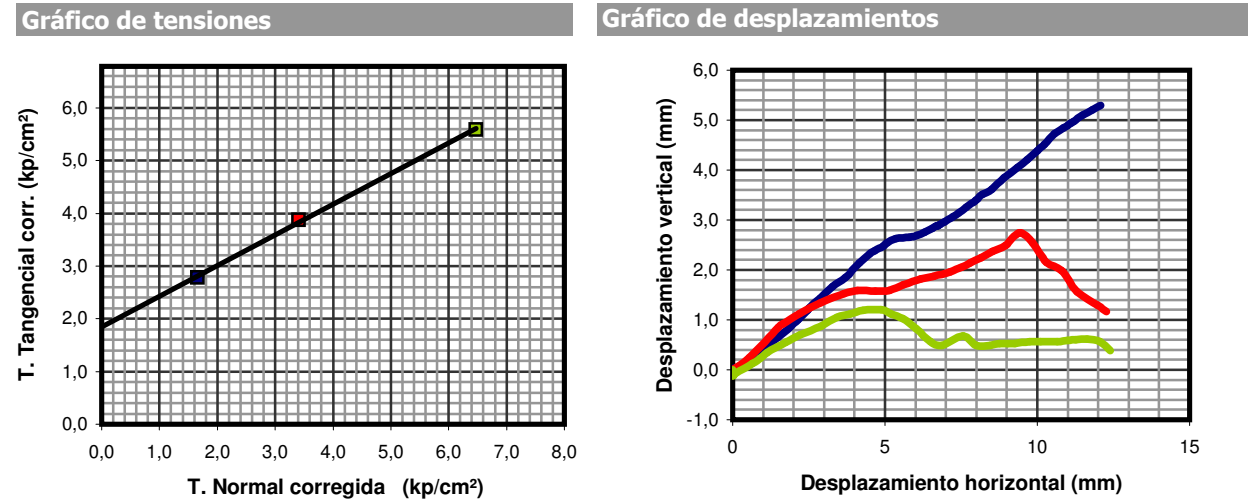
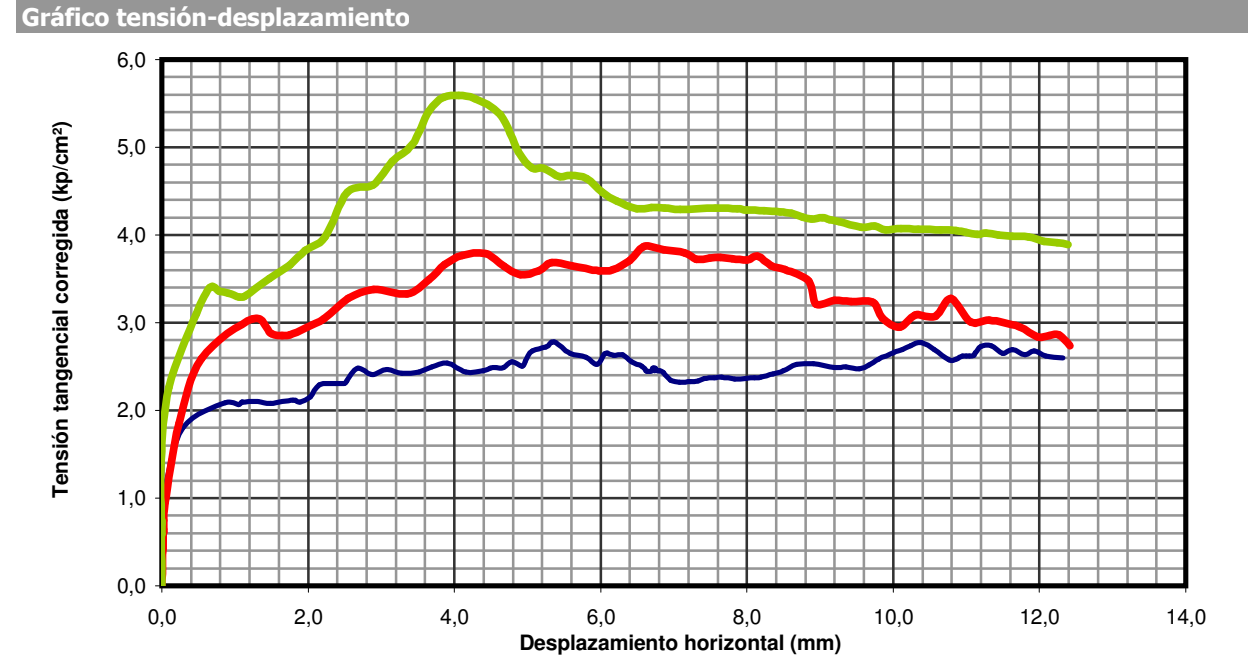
OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.

Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio

Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Tipo de ensayo				
Corte directo con medida de la resistencia de pico				
Velocidad del ensayo: 2 mm/min				
Datos generales		I	II	III
Tensión normal (kp/cm²):		1,50	3,00	6,00
Diámetro equivalente (cm):		7,05	7,05	7,05
Sección (cm²):		39,00	39,00	39,00
Humedad (%):				
Densidad aparente (g/cm³):		2,720	2,720	2,720
Densidad seca (g/cm³):				
Interpretación		Totales		
Cohesión (kp/cm²):		1,85		
Fricción (°):		30,13		
Pendiente:		0,58		
Datos rotura		I	II	III
Tensión tangencial corregida (kp/cm²):		2,78	3,87	5,59
Tensión normal corregida (kp/cm²):		1,66	3,40	6,47
Desplazamiento horizontal (mm):		5,36	6,59	4,06



Observaciones probeta I:	JRC=8-10
Observaciones probeta II:	JRC=8-10
Observaciones probeta III:	JRC=8-10

Nº Referencia Muestra:	16392	Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S4	20,00-20,20 m.	
Fecha de Toma:	09/09/2025		
Fecha de Ensayo:	25/09/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka	WSP Spain	

Diámetro de la probeta D (cm)	7,13	PESO PROBETA HÚMEDA + tara	1852,40
Altura de la probeta L (cm)	16,00	PESO PROBETA SECA + tara	1849,10
Carga de rotura P (Kg)	13031	TARA	140,82
Humedad (%)	0,19	AGUA	3,30
Densidad aparente (g/cm³)	2,68	ROCA SECA	1708,28
Densidad seca (g/cm3)	2,67		
Resistencia a la compresión uniaxial para la muestra $\sigma_c=P/(\pi D^2/4)$, MPa		32,00	



Este resultado es válido para esta muestra

OBSERVACIONES:


Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio


Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16392	Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S4	20,00-20,20 m.	
Fecha de Toma:	09/09/2025		
Fecha de Ensayo:	08/10/2025	Fecha de emisión del Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka	WSP Spain	

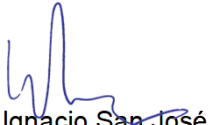
REFERENCIA PICNÓMETRO	Nº	1	2	3
Peso del picnómetro vacío y seco (g)	m ₀	31,5996	31,1872	31,9522
Peso del picnómetro lleno de agua (g)	m ₁	83,8750	83,3034	82,5919
m ₀ + peso de la muestra (g)	m ₂	41,6059	40,6755	41,9582
m ₂ + picnómetro lleno de agua (g)	m ₃	89,5772	88,7395	88,3205
m ₂ - m ₀ (g)	m ₄	10,0063	9,4883	10,0060
Densidad relativa de las partículas de un suelo (g/cm³)	$\rho_s=((m_4)/(m_1-m_0)-(m_3-m_2))*\rho_L$	2,32	2,34	2,34
DENSIDAD RELATIVA DE LAS PARTÍCULAS DE UN SUELO (Mg/m³)	MEDIA	2,34		

Temperatura del agua (°C): 21

OBSERVACIONES:

El resultado de este ensayo es válido para esta muestra.


Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio


Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

Nº Referencia Muestra:	16393		Informe Nº:	E151025
Muestra (Origen / Profundidad):	S4	16,32 m.		
Fecha de Toma:	18/09/2025		Hora de Toma:	-
Fecha de Ensayo:	22/09/2025		Fecha de emisión de Informe:	14/10/2025
Procedencia (Obra / Cliente):	PC Variante NA-4000 - Lesaka		WSP Spain	

ANÁLISIS DE AGUA		GRADO DE AGRESIVIDAD		
PARÁMETROS	RESULTADO ENSAYOS	DÉBIL	MEDIO	FUERTE
VALOR DEL pH (UNE 83952) Tª de ensayo: 9,6°C	7,9	6,5 - 5,5	5,5 - 4,5	< 4,5
RESIDUO SECO A 110º C (mg / l) (UNE 83957)	93	150 - 75	75 - 50	< 50
CONTENIDO EN SULFATO (mg SO ₄ ²⁻ /l) (UNE 83956)	10	200 - 600	600 - 3000	> 3000
CONTENIDO EN MAGNESIO (mg Mg ²⁺ /l) (UNE 83955)	28	300 - 1000	1000 - 3000	> 3000
CO ₂ LIBRE (mg CO ₂ / l) (UNE-EN 13577)	15	15 - 40	40 - 100	> 100
CONTENIDO EN AMONIO (mg NH ₄ ⁺ / l) (UNE 83954)	1	15 - 30	30 - 60	> 60
CONCENTRACIÓN CLORURO (mg CL ⁻ / l) (UNE - ISO 9297)	-	No aplicable		

EVALUACIÓN DE LA AGRESIVIDAD

DÉBIL

OBSERVACIONES:

El resultado de este análisis es válido para esta muestra.



Fdo. Pablo Salvarrey
Director del Laboratorio



Fdo. Ignacio San José
Director Técnico

