

Estudio de estabilidad de la ladera de la margen derecha de la Presa de Yesa

• Junio 2013



TYP SA

c/ La Gomera, 9

28703 – San Sebastian de los Reyes, Madrid

Tel.: (34) 917 227 300 - Fax: (34) 917 277 398

www.typsa.com



■ HOJA DE CONTROL DE CALIDAD								
DOCUMENTO	Estudio de estabilidad de la ladera de la margen derecha de la Presa de Yesa							
PROYECTO	GE1219 INFORME LADERA YESA							
CÓDIGO	GE1219-INFORME-ESTABILIDAD-LADERA-DERECHA-borrador.docx							
AUTOR	INICIALES	MTG	APL	ABD	GGG	ALM	PBG	VPH
	FECHA	24/05/2013	23/5/2013	23/5/2013	6/5/2013	6/5/2013	23/5/2013	6/6/2013
VERIFICADO	INICIALES	PRR						
	FECHA	12/6/2013						
DESTINATARIO	Confederación Hidrográfica del Ebro							
NOTAS								

■ ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL PRESENTE ESTUDIO	17
2. ANTECEDENTES	20
3. TRABAJOS REALIZADOS	30
3.1. ANÁLISIS DE DOCUMENTACION.....	30
3.2. INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA DISPONIBLE	31
3.2.1. Información procedente del modificado nº3	31
3.2.2. Información procedente del estudio complementario Nº1	34
3.2.3. Información procedente de la campaña de auscultación actual	35
3.3. CONSIDERACIONES GEOLÓCIAS.....	36
3.3.1. Encuadre general.....	36
3.3.2. Litoestratigrafía	36
3.3.3. Cartografía geológica.....	37
3.3.4. Estructura geológica	57
3.4. ANÁLISIS GEOMORFOLOGICO.....	59
3.5. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE LA LADERA DE LA MARGEN DERECHA.....	76
3.5.1. Introducción y objetivos	76
3.5.2. Estructura general del GIS de Yesa. Datos incorporados.....	77
3.6. DATOS DE AUSCULTACION DE LA LADERA.....	82
3.6.1. Control topográfico.....	82
3.6.2. Inclínómetros.....	85
3.6.3. Piezómetros	87
3.7. MODELOS DE ESTABILIDAD MEDIANTE EQUILIBRIO LÍMITE.....	89
3.7.1. Introducción	89
3.7.2. Estudio de estabilidad mediante el programa SLIDE 6.0.....	90
3.7.3. Estudio de estabilidad mediante el programa SLOPE/W V7.....	110
3.8. CONSIDERACIONES SOBRE VIBRACIONES INDUCIDAS POR LA VOLADURA DE LOS TÚNELES DE LA A-21	130
3.9. CONSIDERACIONES SOBRE EL DRENAJE INDUCIDO POR LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TÚNELES DE LA A-21	130
3.10. CONDICIONES HIDROGEOLOGICAS	130
3.11. IDENTIFICACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS EN PLANTA.....	135
3.11.1. Desplazamientos en X.....	136
3.11.2. Desplazamientos en Y	137
3.11.3. Desplazamientos en Z	138
3.11.4. Desplazamientos en XY	139
3.11.5. Desplazamientos en XYZ 	139
3.12. ANÁLISIS DE DATOS DE AUSCULTACIÓN	140

■ ÍNDICE

3.12.1.	Control topográfico.....	140
3.12.2.	Inclinómetros.....	143
3.12.3.	Comparación de los resultados del control topográfico y de los inclinómetros.....	168
3.13.	DESCRIPCIÓN DEL MOVIMIENTO	169
3.13.1.	Disposición estructural de los materiales y aspectos generales de los movimientos registrados.....	169
3.14.	MORFOLOGÍA DE LA SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO	171
3.14.1.	Límites del deslizamiento.....	171
3.14.2.	Metodología.....	172
3.14.3.	Opción 1.....	172
3.14.4.	Opción 2.....	174
3.15.	CÁLCULO DE VOLUMENES	175
3.15.1.	Volumen excavado para el recrecido de la presa.....	175
3.15.2.	Volumen deslizado.....	176
3.15.3.	Volumen de excavación en la parte alta de la ladera.....	177
3.16.	RELACIÓN DE FACTORES INFLUYENTES EN INESTABILIDADES	178
4.	PRECIPITACIONES EN LA ZONA	185
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	187
6.	APÉNDICES	
6.1.	APENDICE 1. CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE DETALLE A ESCALA 1:1.000	
6.2.	APÉNDICE 2. PUNTOS DE LECTURA, DATOS ESTRUCTURALES Y FOTOGRAFÍAS	
6.3.	APÉNDICE 3. CÁLCULOS DE ESTABILIDAD	
6.3.1.	CÁLCULOS DE ESTABILIDAD (I-II): SLIDE V6 (ROCSCIENCE)	
6.3.2.	CÁLCULOS DE ESTABILIDAD (II-II): SLOPE/W (GEOSTUDIO 2007)	
6.4.	APÉNDICE 4. SALIDAS GRÁFICAS DE INCLINALYSIS	
6.5.	APÉNDICE 5. ANÁLISIS PRELIMINAR SOBRE VIBRACIONES INDUCIDAS POR LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TÚNELES DE LA A-21	
6.6.	APÉNDICE 6 ANÁLISIS PRELIMINAR SOBRE EL DRENAJE INDUCIDO POR LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TÚNELES DE LA A-21	
6.7.	APÉNDICE 7. ANÁLISIS DE PLUVIOMETRIA. PERIODOS DE RETORNO	

■ ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Listado de las campañas de auscultación y control llevadas a cabo en la presa y en la ladera de la margen derecha. Tabla realizada según información de partida disponible.....	20
Tabla 2. Hitos cronológicos significativos.....	22
Tabla 3 Sondeos realizados para Modificado nº3.....	31
Tabla 4 Resultados de ensayos de laboratorio	32
Tabla 5.Valores de GSI para el macizo rocoso.....	32
Tabla 6.Parámetros Hoek-Brown	32
Tabla 7.Parámetros Mohr-Coulomb equivalentes.....	33
Tabla 8.Resultados ensayos de resistencia al corte en discontinuidades.....	33
Tabla 9.Parámetros hidrodinámicos por calibración	33
Tabla 10. Sondeos en la ladera derecha del estudio complementario	34
Tabla 11. Sondeos en la ladera derecha del estudio complementario	35
Tabla 12. Listado de los sondeos con registro disponibles.....	79
Tabla 13. Listado de los inclinómetros.	85
Tabla 14. Listado de los piezómetros.....	88
Tabla 15. Sistemas de equilibrio resueltos por distintos métodos	89
Tabla 16. Hipótesis de la interacción entre rebanadas para cada método de cálculo	90
Tabla 17. Rango de valores considerados para el análisis de sensibilidad.....	92
Tabla 18. Aceleraciones sísmicas y periodos de retorno.....	100
Tabla 19. Periodos de retorno y FS	100
Tabla 20. Parámetros calibrados de permeabilidad.....	103
Tabla 21. Factor de seguridad FS con relación al parámetro de saturación Ru.....	105
Tabla 22. Factor de seguridad FS con relación al efecto sísmico	108
Tabla 23. Parámetros del Flysch de Yesa. Nota nº 19 Ingeniería del Suelo	111
Tabla 24. Parámetros del Flysch de Yesa. Nota nº 20 Ingeniería del Suelo	111
Tabla 25. Parámetros del Flysch de Yesa. Proyecto Modificado.....	111
Tabla 26. Parámetros en discontinuidades de roca Flysch de Yesa. Proyecto Modificado	111
Tabla 27. Parámetros del Flysch de Yesa. Deslizamiento de la Refaya	112
Tabla 28. Parámetros del Flysch de Yesa. Toma Canal de Bardenas. Iberinsa	112
Tabla 29. Parámetros del Flysch de Yesa. Deslizamiento Monte Mérida. (Ingeniería del Suelo SL).....	112

■ ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 30. Parámetros residuales del Flysch de Yesa. Deslizamiento Monte Mérida. (Ingeniería del Suelo SL)	112
Tabla 31. Parámetros del Flysch de Yesa considerados por TYPESA.....	113
Tabla 32. Resultados del factor de seguridad para los modelos de enfoque del análisis	120
Tabla 33. Resultados del factor de seguridad para los modelos de sobreelevación del nivel freático... ..	121
Tabla 34. Resultados del factor de seguridad para los modelos de acciones de sismo	122
Tabla 35. Resultados del factor de seguridad para los modelos con la excavación total considerada..	123
Tabla 36. Resultados del factor de seguridad para los modelos de excavación parcial de la ladera	124
Tabla 37. Resultados del factor de seguridad para los modelos con refuerzo	126
Tabla 38. Comparación de resultados del factor de seguridad para excavación de suavizado el talud total y hasta la superficie de rotura según dos hipótesis.....	127
Tabla 39. Resultados del factor de seguridad para los modelos con anclaje en sobreelevación por recrecimiento.	128
Tabla 40. Comparación entre cotas de rotura en inclinómetros y cotas de niveles de agua en piezómetros.	132
Tabla 41. Tabla resumen de los resultados de los inclinómetros.	166
Tabla 42. Resultados del cálculo del volumen de excavación en la parte alta de la ladera.	178

■ ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Imagen de la presa desde aguas abajo en 2007. Fuente MFOM (Mayo 2007)	22
Figura 2. Imagen de la presa en 1956. Solo existe la presa y la carretera.....	23
Figura 3. Se ha construido la urbanización Laisatasuna y se está ampliando la carretera con desmontes importantes. Todo esto en la zona media-baja de la zona inestable.	23
Figura 4. Se construye la urbanización Mirador de Yesa y se crea un vertedero de tierras aguas arriba de la zona inestable actualmente más activa.	24
Figura 5. Se amplía el vertedero de tierras mencionado y se abren pistas para un nuevo depósito. En la zona superior de la urbanización el Mirador de Yesa.....	24
Figura 6. Planta con la situación relativa de los túneles de la A21 (Fuente: Google Maps 2013).....	25
Figura 7. Panorámica general de la margen derecha.....	25
Figura 8. Panorámica de la ladera	26
Figura 9. Panorámica general de la presa y embalse de Yesa	26
Figura 10. Vista general del embalse de Yesa.	26
Figura 11. Perfil geológico interpretado con la información disponible con la situación relativa de los túneles de la A21 (Fuente: Control y Vigilancia UTE YESA de la obra de recrecimiento)	27
Figura 12. Velocidad máxima semanal (mm/sem) a fecha 15/2/2013.....	27
Figura 13. Construcción bloque estructura de contención.....	28
Figura 14. Construcción bloque estructura de contención.....	28
Figura 15. Panorámica de las edificaciones de la urbanización Mirador de Yesa.....	29
Figura 16. Vista general de las actuaciones en la margen izquierda.	29
Figura 17. Perfil geológico de la cerrada. Proyecto Complementario nº 1	30
Figura 18. Perfil geológico de la cerrada de la presa de 1937. Fuente: Laderas del embalse de Yesa, Lafuente et al. Jornadas técnicas sobre estabilidad de laderas en embalses. Zaragoza, 2007	37
Figura 19. Planta geológica y leyenda de la zona de la cerrada de la presa. Fuente: Proyecto de recrecimiento de la presa de Yesa. Unidad de Control y Vigilancia YESA-UTE 1983	38
Figura 20. Planta geológica de detalle de la zona baja de la ladera, en la zona de apoyo de la nueva presa. Fuente: Proyecto de recrecimiento de la presa de Yesa. Unidad de Control y Vigilancia YESA-UTE 1983.....	38
Figura 21. Perfil geológico realizado por el eje de la nueva presa. Fuente: Proyecto de recrecimiento de la presa de Yesa. Unidad de Control y Vigilancia YESA-UTE 1983.....	39
Figura 22. Planta geológica y leyenda de la zona de la cerrada de la presa. Fuente: Proyecto de complementario del recrecimiento de la presa de Yesa. Unidad de Control y Vigilancia YESA-UTE	

■ ÍNDICE DE FIGURAS

2008.....	40
Figura 23. Panorámica de los muros y las excavaciones realizadas para las obras de recrecimiento....	41
Figura 24. Panorámica de la presa y de la zona excavada para el recrecimiento y con taludes en parte reforzados con anclajes y hormigón proyectado.....	41
Figura 25. Excavaciones y refuerzo del talud, aguas arriba (al este) del eje de la presa.....	41
Figura 26. Detalle del contacto entre las margas de Pamplona y la base del flysch.....	42
Figura 27. Alternancia de niveles con predominio de capas de arenisca o con predominio de margas ..	43
Figura 28. Detalle de la estratificación	43
Figura 29. Detalle de la variación en los espesores de las capas. Punto de lectura 38.....	44
Figura 30. Pliegue local de escala métrica en capas de flysch. Punto de lectura 1	44
Figura 31. Detalle de las diaclasas entre los planos de estratificación.....	45
Figura 32. Detalle de los bloques formados a partir de las capas de arenisca.....	45
Figura 33. Detalle de la apertura entre bloques de las capas de areniscas	46
Figura 34. Panorámica de la zona alta de la ladera.....	46
Figura 35. Buzamiento de las capas de arenisca hacia el norte en la zona alta de la ladera. Punto de lectura 62.....	47
Figura 36. Detalle de la zona con las capas de mayor inclinación. Punto de lectura 75.....	47
Figura 37. Suaves pliegues en capas de areniscas. Punto de lectura 70.	48
Figura 38. Transición entra zona de suave plegamiento y falla. Punto de lectura 74.	48
Figura 39. Transición entre zona de falla y acumulación de bloques. Punto de lectura 72.....	49
Figura 40. Capas del flysch bien estratificadas y con orientación bastante constante en el desmonte de la urbanización Mirador de Yesa. Punto de lectura 81.....	49
Figura 41. Orientación de las capas en el vial superior de la urbanización Lasaitasuna. Punto de lectura 91.....	50
Figura 42. Panorámica del afloramiento del talud de la antigua carretera.....	51
Figura 43. Detalle de la estratificación, con buzamiento hacia el interior de la ladera	51
Figura 44. Panorámica de la zona al oeste de la presa donde se produce una transición de capas de bajo ángulo de buzamiento a coluvial y a la zona con el talud ya reforzado. Puntos de lectura 38 a 40.....	52
Figura 45. Panorámica de la zona al Este de la presa. Pliegue suave y falla. Nótese que las capas están bastante rotas ya que es la zona con mayor movimiento registrado. Punto de lectura 121.....	52
Figura 46. Panorámica de la acumulación de suelos y vertidos existente en la base de la ladera.....	53
Figura 47. Depósito de coluvial con bloques.....	54
Figura 48. Detalle de la estructura del depósito.....	54

■ ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 49. Deslizamiento reciente en talud excavado en los suelos de coluvial con bloques.....	55
Figura 50. Relleno en la zona baja del lado Este de la ladera.....	55
Figura 51. Relleno aguas arriba de la presa	56
Figura 52. Nuevos depósitos controlados de productos provenientes de la excavación al este de la ladera de la margen derecha	56
Figura 53. Detalle de uno de los taludes reforzados. Punto de lectura 42	57
Figura 54. Corte Geológico estribo derecho presa en construcción. Proyecto modificado.	58
Figura 55. Esquema geológico del sector norte de la cerrada de la presa. La falla inversa situada en el fondo del valle del Aragón corresponde a la Falla de Yesa. Los colores azul y naranja representan las Margas de Pamplona y el Flysch de Yesa, respectivamente. (Fuente: Unidad de Control y Vigilancia YESA-UTE).	58
Figura 56. Grieta en el pavimento. Puntos de lectura 4 y 90.	60
Figura 57. Grieta en el pavimento y daños en garajes. Puntos de lectura 97.	61
Figura 58. Grietas en edificación. Puntos de lectura 3 y 95.	61
Figura 59. Hundimiento en el pavimento. Puntos de lectura 3 y 95.	62
Figura 60. Situación del flanco oeste del deslizamiento en afloramiento del macizo rocoso. Punto de lectura 36.	63
Figura 61. Detalle del plano del flanco oeste en la parte alta del mismo talud. Se observa plegamiento de las capas y una falla. Punto de lectura 37.	63
Figura 62. Panorámica del terreno al Este de la rotura que marca el flanco Oeste en el talud. El sustrato, que está dentro de la zona inestable, marca una transición de las capas hacia suelos coluviales, hasta que aparece cubierto por los muros realizados para la obra de recrecimiento de la presa.	64
Figura 63. Grieta en el pavimento y pequeño hundimiento. Alineación de grietas al este de las grietas del flanco Oeste principal. Punto de lectura 98.	64
Figura 64. Panorámica general de la zona de coronación.	65
Figura 65. Detalle de una de las pequeñas grietas de la zona alta de la ladera. Punto de lectura 52.	65
Figura 66. Excavación en la zona alta de la ladera.	66
Figura 67. Grietas en la calzada que marcan el flanco este. Punto de lectura 6.	66
Figura 68. Continuidad entre las grietas en la calzada y el afloramiento del talud. Punto de lectura 6. ...	67
Figura 69. Grietas del flanco este en la pista existente. Punto de lectura 115.	67
Figura 70. Detalle de las capas que marcan el flanco este del deslizamiento. Punto de lectura 111.	68
Figura 71. Detalle de las capas que marcan el flanco este del deslizamiento. Punto de lectura 111.	68
Figura 72. Grieta entre capas. Punto de lectura 113.	69
Figura 73. Flanco este por debajo de la pista. Punto de lectura 127.	69

■ ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 74. Detalle del contacto con las capas desencajadas. Punto de lectura 127.....	70
Figura 75. Zona con posible decompresión y deformación del macizo rocoso sin que se haya llegado a perder la estructura general de la ladera. Punto de lectura 120.....	70
Figura 76. Detalle del afloramiento en la zona con posible decompresión y deformación del macizo rocoso. Punto de lectura 123.....	71
Figura 77. Detalle del afloramiento en la zona con posible decompresión y deformación del macizo rocoso. Punto de lectura 123.....	71
Figura 78. Detalle del afloramiento en la zona este. Punto de lectura 125.....	72
Figura 79. Detalle de posible movimiento entre capas con muy bajo buzamiento. Punto de lectura 7....	72
Figura 80. El pie de la ladera está cubierto por el agua. El muro de mampostería presenta algunas roturas.....	73
Figura 81. Panorámica general de la zona baja de la ladera, al Oeste de la presa	73
Figura 82. Panorámica de la zona baja de la ladera, al Oeste de la presa	74
Figura 83. Panorámica de las capas de flysch.....	74
Figura 84. Plano de falla que limita el macizo rocoso estratificado y una acumulación de bloques de arenisca. Punto de lectura 25.....	75
Figura 85. Capas de areniscas fracturadas con planos abiertos. Punto de lectura 23.....	75
Figura 86. Contacto entre capas de areniscas y margas, que podría ser considerado la base de la zona deslizada aguas debajo de la presa. Punto de lectura 29.....	76
Figura 87. Estructura del GIS de Yesa. Grupo de capas de Fotos.....	78
Figura 88. Situación de los sondeos.	80
Figura 89. Situación de los puntos de control topográfico.	83
Figura 90. GIS de la ladera de Yesa. Ejemplo de uno de los raster generados. Desplazamientos totales en Y entre el 30-Ene-2013 y el 25-Abr-2013, y vectores de desplazamiento.....	84
Figura 91. Situación de los inclinómetros.....	86
Figura 92. Situación de los piezómetros.	88
Figura 93. Análisis de sensibilidad.	93
Figura 94. Pares de valores phi-Ru para FS=1.....	94
Figura 95. Histograma de frecuencias para el ángulo de rozamiento.....	95
Figura 96. Histograma de frecuencias para Ru.....	96
Figura 97. Histograma de frecuencias para el Factor de Seguridad.....	97
Figura 98. Análisis de sensibilidad para Ru	98
Figura 99. Modelo de Análisis retrospectivo FS=1	99
Figura 100. Presiones de poro a lo largo del plano de deslizamiento	102

■ ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 101. Factor de seguridad para la presión de poro equivalente a $R_u = 0,15$	103
Figura 102. Factor de seguridad para presión de poro equivalente a $R_u = 0,15$	104
Figura 103. Factor de seguridad para la excavación de, aproximadamente, 1.500.000 m ³ en el perfil 02.....	106
Figura 104. Factor de seguridad para la excavación, de aproximadamente 1.500.000 m ³ , en el perfil 03.....	107
Figura 105. Factor de seguridad para la excavación de aproximadamente 1.500.000 m ³ en el perfil 04.....	108
Figura 106. Factor de seguridad para el perfil del eje 03, con excavación de aproximadamente 1.500.000 m ³ y muros jardinera.....	109
Figura 107. Cálculo de estabilidad. Nivel freático en estiaje. Parámetros de estudios previos.....	115
Figura 108. Cálculo de estabilidad. Nivel freático en estiaje. Parámetros propuestos por TYPSA.....	116
Figura 109. Sensibilidad de los parámetros considerados en el cálculo de estabilidad.....	117
Figura 110. Cálculo de estabilidad. Nivel freático en época húmeda. Parámetros de estudios antecedentes	118
Figura 111. Cálculo de estabilidad. Nivel freático en época húmeda. Parámetros propuestos por TYPSA.....	119
Figura 112. Cálculo de estabilidad. Nivel freático en época húmeda. Efecto del escalonado total.....	123
Figura 113. Cálculo de estabilidad. Nivel freático en época húmeda. Efecto del escalonado parcial.....	125
Figura 114. Cálculo de estabilidad. Nivel freático en época húmeda. Efecto del refuerzo (excavación+muros-jardinera +anclaje).....	127
Figura 115. Cálculo de estabilidad. Nivel freático en desembalse rápido a cota del recrecido.....	129
Figura 116. Circulación local de agua en contacto de capas de arenisca y marga. Punto de lectura 111, situado en el flanco este del deslizamiento.....	133
Figura 117. Pequeño rezume de agua en tramo con predominio de margas y en la zona alta de la ladera. Punto de lectura 54	133
Figura 118. Filtración asociada al contacto suelo coluvial – margas, en la zona alta de la ladera. Punto de lectura 64	134
Figura 119. Esquema teórico de variación de altura piezométrica en la ladera	135
Figura 120. Desplazamientos totales en X entre el 30-Ene-2013 y el 25-Abr-2013.....	136
Figura 121. Desplazamientos totales en Y entre el 30-Ene-2013 y el 25-Abr-2013.....	137
Figura 122. Desplazamientos totales en Z entre el 30-Ene-2013 y el 25-Abr-2013.....	138
Figura 123. Desplazamientos totales en XY entre el 30-Ene-2013 y el 25-Abr-2013.	139
Figura 124. Desplazamientos totales en XYZ entre el 30-Ene-2013 y el 25-Abr-2013.....	140
Figura 125. Puntos de referencia del análisis de la evolución temporal de los desplazamientos	

■ ÍNDICE DE FIGURAS

registrados por control topográfico.	141
Figura 126. Evolución temporal de los desplazamientos en los puntos de referencia.	142
Figura 127. Resultados del inclinómetro SZ-05.	144
Figura 128. SZ-05. Desplazamientos y precipitaciones.	145
Figura 129. SZ-05. Desplazamientos y nivel de embalse.	146
Figura 130. Resultados del inclinómetro SZ-03A.	148
Figura 131. SZ-03. Desplazamientos y precipitaciones.	148
Figura 132. Resultados del inclinómetro SZ-01A.	149
Figura 133. Resultados del inclinómetro SCI-03.	150
Figura 134. SCI-03. Desplazamientos y precipitaciones.	151
Figura 135. Resultados del inclinómetro SCI-11.	152
Figura 136. SCI-11. Desplazamientos y precipitaciones.	152
Figura 137. Resultados del inclinómetro SCI-02.	153
Figura 138. SCI-02. Desplazamientos y precipitaciones.	154
Figura 139. Resultados del inclinómetro SZ-06.	155
Figura 140. SZ-06 Desplazamientos y precipitaciones.	155
Figura 141. SZ-06 Velocidad de desplazamiento en distintos planos y precipitaciones.	156
Figura 142. Resultados del inclinómetro SCI-13.	157
Figura 143. SCI-13. Desplazamientos y precipitaciones.	157
Figura 144. Resultados del inclinómetro SCI-06.	158
Figura 145. SCI-06. Desplazamientos y precipitaciones.	159
Figura 146. Resultados del inclinómetro SCI-14.	160
Figura 147. SCI-14. Desplazamientos y precipitaciones.	160
Figura 148. Resultados del inclinómetro SCI-10.	161
Figura 149. Resultados del inclinómetro SCI-16.	162
Figura 150. Resultados del inclinómetro SCI-15.	162
Figura 151. Resultados del inclinómetro SCI-09.	163
Figura 152. SCI-09. Desplazamientos y precipitaciones.	164
Figura 153. Gráfico de evolución temporal de los desplazamientos horizontales registrados en los inclinómetros. Arriba, gráfico general. Abajo, detalle de los inclinómetros con desplazamiento inferior a 30 mm.	167
Figura 154. Gráfico de comparación de los inclinómetros con el control topográfico.	168

■ ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 155. Diferenciación esquemática de sectores en la ladera	170
Figura 156. Estimación de la superficie de deslizamiento. Opción 1.....	173
Figura 157. Estimación de la superficie de deslizamiento. Opción 2.....	174
Figura 158. Izquierda: Modelo Digital del Terreno del año 2000. Derecha: Modelo Digital del Terreno del año 2012.....	175
Figura 159. Cálculo del volumen de excavación entre los años 2000 y 2012.....	176
Figura 160. Cálculo del volumen deslizado.....	176
Figura 161. Izquierda: MDT del 08/05/2013. Derecha: MDT de la situación definitiva (propuesta de mayo de 2013).....	177
Figura 162. Cálculo del volumen de excavación. Izquierda: según MDT del 08/05/2013. Derecha: según MDT de la situación definitiva (propuesta de mayo de 2013).	177
Figura 163. Tres ejemplos de deslizamiento translacional a favor de planos de estratificación, que representan un mecanismo único o “sencillo”. Fuente: Figuras tomadas de Corominas, Tipología de los movimientos de ladera USGS Landslide types and processes e IGME Manual de taludes.....	178
Figura 164. Ejemplo de un deslizamiento translacional de bloques reciente, de pequeña extensión, producido a favor de la estratificación en la zona media de la ladera. El talud tiene pocos días. Nótese la acumulación de bloques que se produce en el pie. A mayor escala constituyen depósitos similares a los descritos como coluvial con bloques (Q3). Punto de lectura 75.	179
Figura 165. Detalles sondeo SCI-9.	180
Figura 166. Dos ejemplos de deslizamientos complejos con rotura profunda en roca controlada por estructura desfavorable en la ladera. Fuente: Landslide recognition. Dikau Ed. John Wiley & sons. 1996.....	181
Figura 167. Tres figuras que resumen un catálogo de algunos ejemplos de deslizamientos con mecanismo de deformación profunda en roca, controlada por la estructura. Fuente: Slow, deep-seated rock slope deformation (DSGSD) Agliardi, 2012.....	183
Figura 168. Deslizamiento complejo de tipo combadura y pandeo de valle. Fuente: Corominas, J. Tipología de los movimientos de ladera.....	183
Figura 169. Ejemplo de precipitaciones acumuladas en Pamplona Dic-2012–Marzo 2013(Fuente: AEMET).....	185
Figura 170. Precipitaciones en la zona, diaria y acumulada Octubre-Mayo 2013.....	186
Figura 170. Malla de elementos finitos preliminar.....	189

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL PRESENTE ESTUDIO

En la ladera de la margen derecha contigua al estribo de la presa de Yesa se han registrado, en los primeros meses del año 2013, desplazamientos indicativos de un proceso de inestabilidad que afecta a una gran masa de terreno y que ha justificado, la puesta en marcha, en febrero de 2013, de intensas medidas de estabilización con carácter de urgencia por parte de la CHE.

A finales de febrero de 2013 la CHE encarga a TYPESA la redacción de un informe técnico relativo a las condiciones de estabilidad de la ladera de la margen derecha de la presa de Yesa.

Este trabajo se encarga a los servicios técnicos de TYPESA, como estudio independiente y adicional al trabajo que TYPESA desarrolla como empresa encargada del Control y Vigilancia de las Obras de emergencia para la estabilización de la ladera. Estas actuaciones se ponen en marcha en los primeros días de febrero de este mismo año.

Concretamente, y de acuerdo con las indicaciones recibidas, la CHE plantea como objetivo dar respuesta a las siguientes cuestiones:

- 1.- Causas del deslizamiento
- 2.- El deslizamiento ¿produce riesgo sobre la presa? ¿Cuál? ¿Cuál es su importancia? ¿Cómo se podría solucionar/minimizar?
- 3.- ¿Qué medidas de estabilización hay que tomar? ¿Son suficientes las establecidas hasta ahora?
- 4.- La ladera ¿está suficientemente estudiada ó es necesario algún estudio adicional?

Desde la fecha del encargo hasta la presente, los servicios técnicos de TYPESA han procedido a tomar contacto con el problema mediante el estudio de la documentación existente, y la realización de distintas visitas de campo, concretamente los días 7, 20,21 y 22 de Marzo

Del análisis de la información disponible que TYPESA ha podido efectuar, se toma conciencia de la enorme dificultad que supone dar respuesta a las cuestiones concretas planteadas, y TYPESA así lo expresa en reunión mantenida con la CHE el 27 de marzo, considerando, entre otros, los siguientes aspectos:

- La compleja estructura geológica del emplazamiento que ha sido y según parece será objeto de estudio por parte de especialistas en esta materia.
- Las distintas actuaciones que se han podido ir superponiendo en esta zona, tanto en el espacio como a lo largo del tiempo, y que en la actualidad, junto con las actuaciones de emergencia que están teniendo lugar desde febrero de este año, dificultan extraordinariamente la determinación precisa de las causas y por tanto de las medidas necesarias para la estabilización. .
- La evolución de los resultados de sistemas de auscultación disponibles para control de desplazamientos, y otros datos del terreno, parte de los cuales están siendo repuestos en la actualidad con el fin de mejorar el conocimiento y control de los movimientos de la ladera y su entorno.
- La existencia de muy abundante documentación que se ha venido, y se sigue, generando a lo largo del tiempo.
- La complejidad de los diversos factores probablemente relacionados entre si, que pueden intervenir en un proceso de inestabilidad de esta naturaleza.

En consecuencia el estudio incluye los siguientes aspectos:

- Análisis de documentación disponible con especial atención a identificar los hechos ocurridos en el pasado, actuaciones relevantes acometidas o hechos sucedidos, y resultados de datos de auscultación.
- Elaboración de una cronología de hechos y registros relevantes con objeto de intentar identificar la relación temporal entre actuaciones o hechos acaecidos, con las observaciones o registros de inestabilidades en la ladera en la zona del estribo.
- Elaboración de cartografía geológica de detalle propia, de toda la ladera involucrada en el movimiento de inestabilidad, incluyendo un levantamiento geológico de superficie a partir de inspección visual de campo y de los datos de sondeos y cartografías previas disponibles.
- Análisis simplificado de la información disponible, para estudiar la posible influencia de voladuras de los túneles de la A-21.
- Análisis simplificado de la influencia del eventual drenaje inducido por la construcción de los túneles de la A-21.
- Creación y utilización de un Sistema de Información Geográfica (GIS) que permita gestionar almacenar y presentar temáticamente, información relevante de manera que pueda ser consultada y analizada en función de distintos criterios. El sistema incorporará, entre otras, las siguientes capas:
 - Hitos de seguimiento topográfico en superficie y desplazamientos registrados en distintas direcciones x, y z
 - Inclínómetros
 - Registros de sondeos
 - Datos de estructura geológica. Estratificación.
 - Cartografía geológica de elaboración propia
- Lecturas de nivel de agua en piezómetros y en el embalse.
- Morfología de superficie en ACAD según información facilitada por la CHE.
- Ortofoto IDENA año 2012. del servidor de Internet del Gobierno de Navarra.
- Modelo digital de elevaciones, en formato TIN y en formato GRID.
- Mapa de pendientes.

Se desarrolla esta herramienta GIS de modo que pueda ser una base de ayuda para éste u otros posibles estudios, facilitando la interpretación de los datos disponibles de acuerdo con distintos criterios espaciales y temporales, que puedan ser objeto de consulta a esta base de información geográfica.

Asimismo, a partir del análisis de la documentación que se viene realizando por parte de distintos autores, TYPSA realiza, como complemento a dichos estudios, distintos análisis de estabilidad con especial atención al efecto del agua en la estabilidad de taludes, sobre distintas secciones tipo que se consideran representativas de la problemática existente, mediante modelos de equilibrio límite. Para ello se ha planteado dos análisis con enfoques complementarios, empleado para ello dos programas de cálculo específicos para este tipo de estudios - SLIDE 6.0 de Rocscience y SLOPE/W de Geostudio 2007 v 7.13 y -, con objeto analizar diferentes hipótesis y contrastar resultados.

Finalmente se incluyen consideraciones sobre la pluviometría, con un análisis de las precipitaciones registradas en los últimos meses en la zona, con relación a la serie histórica disponible.

Para la realización de estos trabajos se ha contado con la participación de un equipo de especialistas de TYP SA con amplia experiencia en geología y geotecnia, desarrollando el estudio de forma coordinada, entre la Oficina Central de Madrid y sus Direcciones territoriales de Barcelona, Sevilla y Zaragoza.

En el presente informe se describen los trabajos realizados y los resultados obtenidos, a partir de los cuales se establecen conclusiones y recomendaciones sobre el objeto de estudio.

2. ANTECEDENTES

Los documentos puestos a disposición de TYPASA para la elaboración del presente documento pueden ser resumidos, de forma sucinta, según se describe a continuación:

- Proyecto Modificado nº 3 del Recrecimiento del Embalse de Yesa. Anejo nº 4 Estudio Geológico-Geotécnico y de Materiales. Fecha y autor no descrito en el documento.
- Proyecto Complementario nº 1 del Recrecimiento del Embalse de Yesa. Anejo nº 4 Estudio Geológico-Geotécnico y de Materiales. Fecha y autor no descrito en el documento.
- Otra documentación recopilada:
 - Informes de la Asistencia Técnica
 - Datos de auscultación de la ladera

En los últimos años se han llevado a cabo varias campañas de instrumentación y auscultación tanto de la propia presa de Yesa como de la ladera de la margen derecha. Una de estas campañas, la nivelación topográfica de la presa, se inició previamente al inicio de los trabajos de recrecido. Una vez detectados los primeros indicios de movimientos en la ladera, se iniciaron nuevas campañas de auscultación y control. TYPASA no tiene constancia de que durante las obras desvío de la carretera N-240 y de recrecido de la presa, se llevara a cabo algún tipo de auscultación.

En la tabla siguiente se muestra una lista de las diferentes campañas de auscultación y control de las que se tiene constancia:

Campaña	Descripción	Fecha de inicio	Fecha final
Control de nivelación de la presa	Altimetría de los bloques de la presa. 25 puntos de control.	28-Nov-1996	En funcionamiento
Piezómetros	Se dispone de 15 inclinómetros con datos en el entorno del deslizamiento. Se están ejecutando nuevos piezómetros.	31-May-2006	En funcionamiento
Inclinómetros	Se dispone de 14 inclinómetros con datos en el entorno del deslizamiento. Se están ejecutando nuevos inclinómetros.	12-Feb-2009	Reponiéndose para sustituir y complementar los que han ido quedando inoperativos
Control topográfico con GPS	53 puntos de control.	16-Ago-2012	31-Ene-2013
Control topográfico. Fase1	Topografía de precisión. 25 puntos de control	27-Sep-2012	07-Feb-2013
Ternas	9 ternas de control de apertura y deslizamiento de fisuras. 5 al oeste en la N-240 y 4 al este en la urbanización Lasaitasuna.	2-Oct-2012	En funcionamiento
Células de carga en bulones	4 células de carga en bulones de la berma de la cota 520.	5-Oct-2012	En funcionamiento
Control topográfico. Fase 2	Topografía de precisión. 26 puntos de control. Se utilizaron los mismos puntos que en la Fase 1 y uno nuevo.	20-Dic-2012	10-Feb-2013
Control topográfico. Fase3	Estación total de alta precisión. Se utilizan los mismos puntos que en la Fase 1 y 33 nuevos.	30-Ene-2013	En funcionamiento

Tabla 1. Listado de las campañas de auscultación y control llevadas a cabo en la presa y en la ladera de la margen derecha. Tabla realizada según información de partida disponible.

De acuerdo con las fuentes de información que han podido ser consultadas, los hitos cronológicos que se consideran más significativos, con relación a las inestabilidades registradas en la ladera de la margen derecha de la presa de Yesa son los siguientes:

Fecha	Comentarios
1928 – 1959	Periodo de construcción de la presa actual
Febrero 2003 – Junio 2003	Se realizan excavaciones para la construcción de la nueva carretera N-240
Octubre 2003 – Abril 2004	Obras de ampliación de la presa. Excavación por encima de la cota 490
Mayo 2003	Se registra una elevación de los bloques contiguos a la ladera derecha
Agosto – Noviembre de 2004	Obras de ampliación de la presa. Excavación por debajo de la cota 490
Octubre 2004 – Junio 2006	Obras de ampliación de la presa. Se detectan movimientos locales. Tratamiento de estabilización y refuerzo de taludes mediante gunita y bulonado.
Mayo de 2005	Sostenimiento con anclajes de cables en la zona entre los ejes de las dos presas
Primavera de 2005	Se excavan los rellenos de la margen derecha por debajo de la 490
2004 – 2011	Registro de elevaciones en los bloques del estribo derecho de la presa de hasta 0,7mm/año. En el año 2011 se incrementa la velocidad a unos 3,5mm/año
2005 – 2006	Se construye la urbanización Mirador de Yesa y se acondiciona un depósito controlado de tierras en la zona donde se han detectado los mayores desplazamientos y velocidades de la zona inestable.
Mayo 2010 – Marzo 2011	Construcción de los túneles de la autopista A-21. El túnel de Yesa se comenzó a excavar por la boca Pamplona calzada derecha el 6 de mayo de 2010. El cale del avance de calzada derecha fue el 22 de octubre y el de calzada izquierda el 1 diciembre.
Enero 2011 – Julio 2012	Obras complementarias. Nuevas excavaciones.
Septiembre 2011	Se detectan primeros indicios de movimientos en la ladera
27/9/2012	La CHE instala 25 hitos para control topográfico en la ladera. En ese momento se registraron velocidades de desplazamientos del orden de 10mm/mes
15/2/2013	Se registran las máximas velocidades de desplazamientos, con valores del orden de 30-40mm/semana
Febrero – Mayo 2013	Se efectúan actuaciones de emergencia consistentes en suavizar la pendiente de la ladera, mediante excavación de tierras.

Fecha	Comentarios
Marzo – Mayo 2013	Disminuye la velocidad del desplazamiento a valores del orden de 1mm/semana
Mayo – 2013	Los movimientos de la ladera que se registran con la instrumentación, se encuentran prácticamente detenidos.

Tabla 2. Hitos cronológicos significativos

A continuación se incluyen imágenes representativas de algunos de los hitos comentados.



Figura 1. Imagen de la presa desde aguas abajo en 2007. Fuente MFOM (Mayo 2007)



Figura 2. Imagen de la presa en 1956. Solo existe la presa y la carretera



Figura 3. Se ha construido la urbanización Laisatasuna y se está ampliando la carretera con desmontes importantes. Todo esto en la zona media-baja de la zona inestable.



Figura 4. Se construye la urbanización Mirador de Yesa y se crea un vertedero de tierras aguas arriba de la zona inestable actualmente más activa.



Figura 5. Se amplía el vertedero de tierras mencionado y se abren pistas para un nuevo depósito. En la zona superior de la urbanización el Mirador de Yesa.



Figura 6. Planta con la situación relativa de los túneles de la A21 (Fuente: Google Maps 2013)



Figura 7. Panorámica general de la margen derecha



Figura 8. Panorámica de la ladera



Figura 9. Panorámica general de la presa y embalse de Yesa



Figura 10. Vista general del embalse de Yesa.

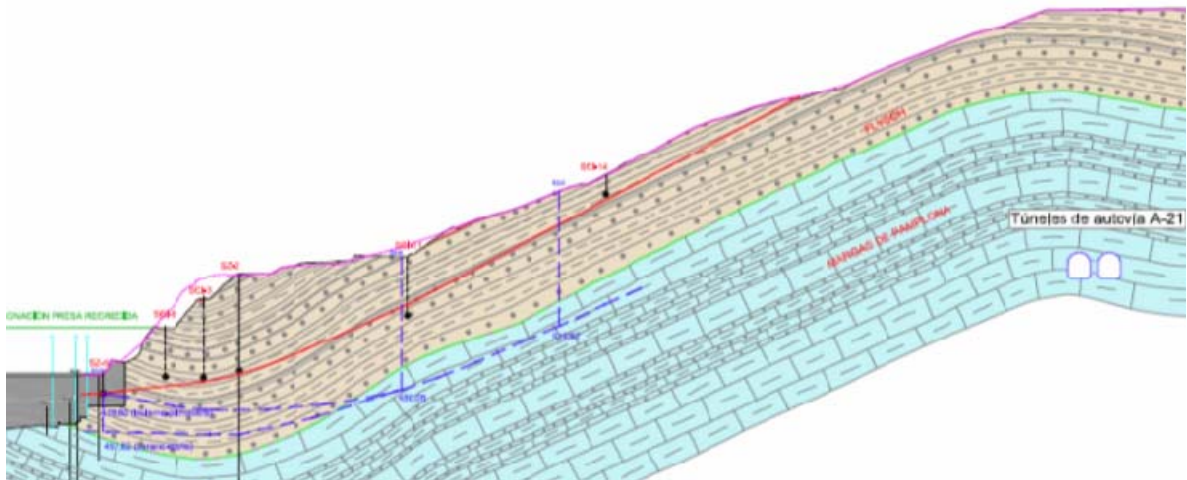


Figura 11. Perfil geológico interpretado con la información disponible con la situación relativa de los túneles de la A21 (Fuente: Control y Vigilancia UTE YESA de la obra de recrecimiento)

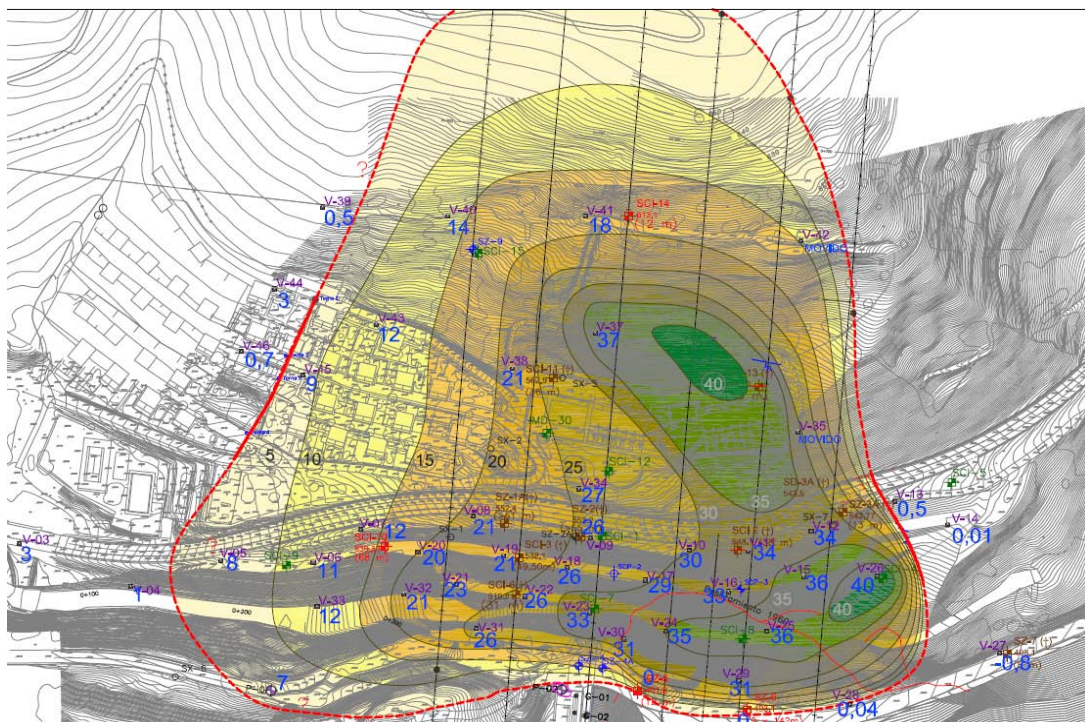


Figura 12. Velocidad máxima semanal (mm/sem) a fecha 15/2/2013.

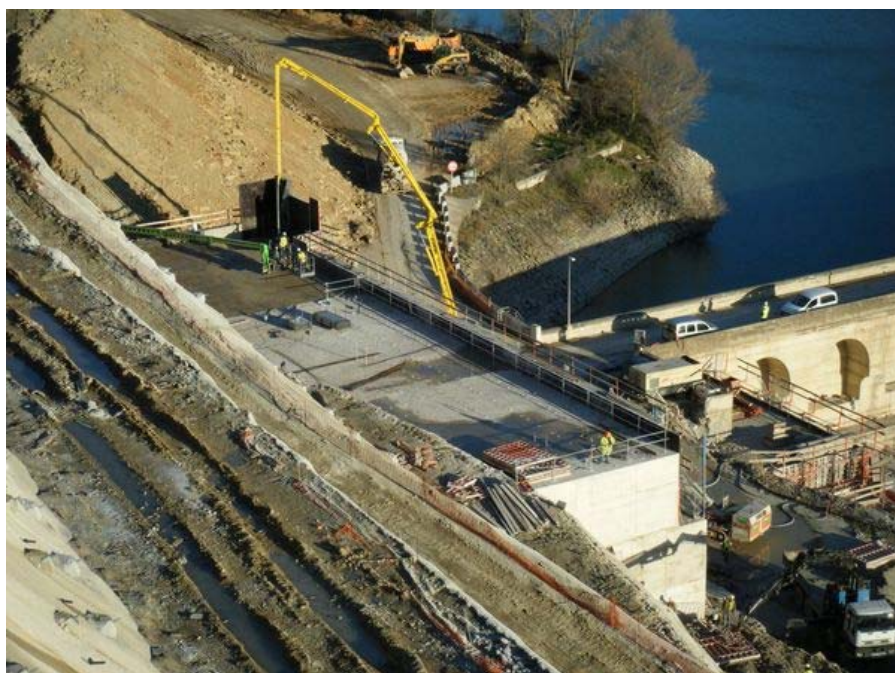


Figura 13. Construcción bloque estructura de contención



Figura 14. Construcción bloque estructura de contención.



Figura 15. Panorámica de las edificaciones de la urbanización Mirador de Yesa.



Figura 16. Vista general de las actuaciones en la margen izquierda.

3. TRABAJOS REALIZADOS

3.1. ANÁLISIS DE DOCUMENTACION

Analizada la documentación disponible que ha podido ser analizada se puede convenir que las inestabilidades de ladera derecha no eran inicialmente esperables, en la magnitud que se están manifestando, a tenor de los estudios realizados, puesto que, con la información disponible en aquel momento, la estructura geológico-geotécnica no era considerada desfavorable en dicha margen derecha.

La disposición de la estructura en la margen izquierda fue motivo de inestabilidad en varias ocasiones.

Sin embargo, la estructura geológica en forma de sinclinal permitía contrapesar, de forma natural, el pie de ladera derecha evitando el movimiento general de la misma.

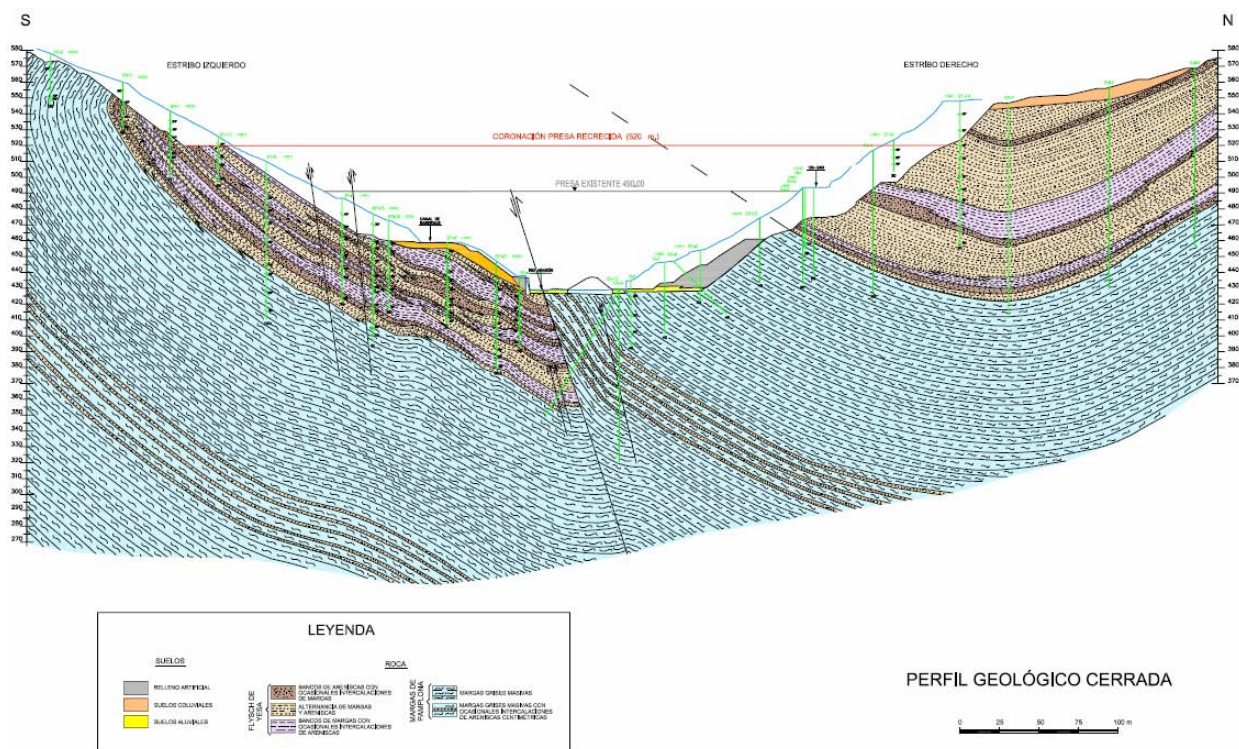


Figura 17. Perfil geológico de la cerrada. Proyecto Complementario nº 1

Si bien es cierto que durante el primer llenado de la presa se produjeron inestabilidades locales, la ladera ha podido permanecer en un equilibrio general durante décadas.

Los documentos relativos a los Proyectos Complementario y Modificado muestran la estructura geológica concebida en el entorno de la cerrada a partir de la interpretación de las investigaciones geotécnicas. El estudio de una banda amplia en la zona de la ladera derecha hacía pensar en una afección limitada en unos centenares de metros.

En dichos documentos, concretamente en el Proyecto Modificado, se incluyen como apéndices una serie de inestabilidades que se generaron en la ladera izquierda, cuya estructura geológica presentaba una mayor tendencia a mostrar inestabilidades, como así ocurrió.

Estos parámetros serán descritos en un posterior apartado en el que se presentan los análisis realizados de modelos de equilibrio límite.

3.2. INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA DISPONIBLE

3.2.1. Información procedente del modificado nº3

3.2.1.1. Sondeos

Se dispone de la información aportada por los sondeos bajo denominación SX, realizados para la Modificación nº3 del Proyecto de Recrecimiento del Embalse de Yesa durante el año 2007.

A continuación se muestra una tabla que recoge los datos más relevantes de aquellos sondeos realizados en esta campaña y que están situados en la margen derecha de la cerrada.

SONDEO	X	Y	Z	LONGITUD (m)	PROFUNDIDAD LOCALIZACIÓN MARGAS PAMPLONA (m)
SX-1	649054,2326	4720203,5698	545,9582	132,5	124,5
SX-2	649080,4789	4720263,2294	556,2549	126,0	114,0
SX-4	649137,5008	4720202,7387	552,7890	107,1	?
SX-5	649127,5200	4720311,0222	562,9765	110,7	91,0
SX-6	648873,0930	4720109,2060	490,63	91,3	81,0
SX-7	649305,4488	4720211,6038	542,95	89,8	71,5

Tabla 3 Sondeos realizados para Modificado nº3.

3.2.1.2. Caracterización geomecánica de los materiales

Se dispone de la siguiente información geomecánica, obtenida a partir de ensayos de laboratorio:

ENSAYOS	MARGAS PAMPLONA	MARGAS FLYSCH	ARENISCAS FLYSCH
DENSIDAD (t/m ³)	2,62	2,54	2,64
HUMEDAD (%)	1,08	1,27	0,05
COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)	23,2	12,5	41,8
MÓDULO ELASTICIDAD (MPa)	21.075	7.736	51.099

ENSAYOS	MARGAS PAMPLONA	MARGAS FLYSCH	ARENISCAS FLYSCH
COEFICIENTE POISSON	0,20	0,16	0,23
COHESIÓN (MPa)	0,12	0,1	
ROZAMIENTO (°)	33,7	37,3	
SLAKE (%)	87,4	83,6	99,2
ABSORCIÓN (%)	DESMORONA	DESMORONA	0,39
POROSIDAD (%)	2,87	5,6	3,76
VELOCIDAD SÓNICA (m/s)	2.162	2.880	4.169

Tabla 4 Resultados de ensayos de laboratorio

Tal como se señala en el propio documento, los valores de resistencia a compresión, módulo de elasticidad y cohesión y rozamiento de discontinuidades de las margas son elevados para lo que correspondería a una verdadera marga, siendo los resultados más acordes si se considera que los materiales ensayados corresponden a margas arenosas y margas calcáreas.

Sin embargo, las velocidades sónicas son habituales en margas, pudiendo clasificarse el material como muy alterable, se desmorona a los dos días de inmersión en agua y presenta un bajo Slake. Además, su porosidad es elevada.

3.2.1.3. Clasificación geomecánica

Tal como se recoge en el documento, el macizo rocoso se clasifica, según el GSI (Geological Strength Index), como un macizo de calidad media-baja, con los siguientes valores según su litología:

LITOLOGÍA	GSI
MARGAS CAUCE	45
FLYSCH ESTRIBO DERECHO	25 – 30

Tabla 5. Valores de GSI para el macizo rocoso

Utilizando el programa RocLab (2006), los parámetros de Hoek-Brown (m, s y a) obtenidos para los valores del GSI considerados para cada grupo litológico, serían los siguientes:

LITOLOGÍA	σ_{ci} (MPa)	GSI	mi	D	m	s	a
MARGAS CAUCE	23	45-50	7	0,7	0,341	0,0003	0,508
FLYSCH	20	25	9	0,7	0,146	0,00001 9	0,531

Tabla 6. Parámetros Hoek-Brown

De acuerdo con el GSI obtenido, los parámetros de Mohr-Coulomb equivalentes, se muestran en la siguiente tabla:

LITOLOGÍA	COHESIÓN (MPa)			ROZAMIENTO (°)		
	D = 0	D = 0,7	D = 0 v.m.	D = 0	D = 0,7	D = 0 v.m.
MARGAS CAUCE	0,94	0,62	0,53	26,1	18,3	26,1
FLYSCH	0,60	0,33	0,18	22,2	12,7	22,2

Tabla 7. Parámetros Mohr-Coulomb equivalentes

Por último, los ensayos de resistencia al corte de discontinuidades arrojan los siguientes resultados, recomendándose, no obstante, unos valores para el cálculo:

LITOLOGÍA	ENSAYOS DE CORTE		CÁLCULO	
	C (MPa)	φ (°)	C (MPa)	φ (°)
MARGAS PAMPLONA	0,12	33,7	0	25
MARGAS Y ARENISCAS FLYSCH	0,1	37,3	0	30

Tabla 8. Resultados ensayos de resistencia al corte en discontinuidades

3.2.1.4. Permeabilidad

Según se concluye en el documento, las Margas de Arguís-Pamplona, se consideran prácticamente impermeables, con valores de 1 a 6 Unidades Lugeon (UL), según se ha obtenido en los ensayos de permeabilidad realizados.

Por otro lado, en el caso del Flysch de Yesa, los valores superan, en general, las 100 Unidades Lugeon Equivalentes (ULE), llegando a alcanzar las 600 ULE.

Asimismo, durante unas pruebas de bombeo realizadas, se puso de manifiesto una acusada anisotropía de la permeabilidad en el estribo derecho, con valores máximos en dirección aproximada N-S, y mínimos en dirección ortogonal a esta. Esta anisotropía, que evidencia la conductividad hidráulica del macizo, es coherente con las principales direcciones de fracturación presentes en el macizo.

Los valores de los parámetros hidrodinámicos obtenidos por calibración, en el estribo derecho son:

Permeabilidad (m/d)			
Kx	Ky	Kz	Ss (m-1)
1.87	8.26	0.1	1.53 e-04

Tabla 9. Parámetros hidrodinámicos por calibración

3.2.2. Información procedente del estudio complementario N°1

Para la ampliación del estudio geológico–geotécnico del Recrecimiento de la Presa de Yesa se llevaron a cabo una serie de sondeos a rotación con recuperación continua de testigo y otros a rotopercusión. La finalidad de dichos sondeos era analizar las características geológicas del macizo rocoso así como instalar una serie de piezómetros e inclinómetros que sirvan para la auscultación de las laderas.

Los sondeos realizados en la margen derecha de la cerrada son los que se recogen en la siguiente tabla:

SONDEO	X	Y	Z	LONGITUD (m)	PROFUNDIDAD LOCALIZACIÓN MARGAS PAMPLONA (m)	AUSCULTACIÓN INSTALADA
SZ-1A	649089,187	4720212,800	552,4	140		Inclinómetro
SZ-2	649139,917	4720203,904	553,15	127,1	112,5	Inclinómetro
SZ-2A	649136,210	4720203,780		130		Piezómetro
SZ-3A	649311,990	4720220,600	542,77	90		Piezómetro
SZ-4	649138,346	4720116,476	490,5	34,8	26,5	Piezómetro
SZ-4A	649153,771	4720114,946	490,675	44,1	25,0	Piezómetro
SZ-5	649176,905	4720099,352	491,45	36,2	25,8	Inclinómetro
SZ-6	649248,674	4720086,993	493,1	24,0	14,1	Inclinómetro
SZ-7	649419,855	4720124,728	498,143	20,4	8,6	Inclinómetro
SZ-8	649502,536	4720165,528	500	26,0	17,0	Inclinómetro
SZ-9	649068,821	4720397,872	591	97,2	86,7	Piezómetro
SZ-10	649231,313	4720015,061	475,46	32,20	21,0	
SZ-11	649229,775	4720005,475	469,92	34,0	18,0	

Tabla 10. Sondeos en la ladera derecha del estudio complementario

Estos sondeos se ejecutaron durante los meses de mayo y julio de 2008, a excepción de los sondeos SZ-10 y SZ-11 (en el ámbito del deslizamiento “el Inglés”), que se llevaron a cabo en noviembre de 2010.

3.2.3. Información procedente de la campaña de auscultación actual

En la actualidad se está llevando a cabo un plan de auscultación de la ladera consistente en la ejecución de sondeos, con la colocación de una serie de inclinómetros (SCI) y piezómetros (SCP). Hasta la fecha, hay ejecutados los siguientes:

SONDEO	X	Y	Z	LONGITUD (m)	PROFUNDIDAD LOCALIZACIÓN MARGAS PAMPLONA (m)
SCI-2	649242,7193	4720194,8994	548,13	101,1	92,1
SCI-3	649098,9603	4720189,6180	538,1	80,7	(*)
SCI-6	649096,8757	4720164,6281	520	101,2	(*)
SCI-7	649148,6252	4720155,1497	519,3	85,0	(*)
SCI-9	648902,5850	4720189,2200	536	153,7	142,20
SCI-10	649010,8900	4720196,9300	539,31	115,60	106,30
SCI-11	649122,8500	4720311,9100	562,9	49,2	(*)
SCI-12	649157,9361	4720248,0991	559,6	115,0	(*)
SCI-13	649255,1500	4720308,1500	564	83,5	71,8
SCI-14	649181,1700	4720424,8500	613,1	85,1	(*)
SCI-15	649072,3500	4720395,4900	591,5	102,5	88,2
SCI-16	649089,5000	4720614,8502	674	60,0	45,7
SCP-1	649059,4793	4720196,0622	538,7	En ejecución	(*)

Tabla 11. Sondeos en la ladera derecha del estudio complementario

Nota (*) pendiente de registro

3.3. CONSIDERACIONES GEOLÓGICAS

3.3.1. Encuadre general

La ladera derecha de la cerrada del embalse de Yesa está ocupada por dos formaciones geológicas diferentes de edad Eoceno: el flysch de Yesa y las margas de Pamplona.

Las Margas de Arguís-Pamplona, una serie del Eoceno medio-superior con más de 1 km de espesor, está constituida por margas azules con algunas intercalaciones de niveles calcáreos (de Rojas y Latorre, 1972; Puigdefábregas, 1975), mientras que el Flysch de Yesa, de edad Eoceno superior y situada estratigráficamente por encima de la unidad anterior, presenta 70-100 m de espesor y está constituida por una alternancia de niveles de arenisca y marga (de Rojas y Latorre, 1972; Puigdefábregas, 1975; Lafuente et al., 2007).

Ambas formaciones, depositadas en una cuenca marina eocena de antepaís, han sido posteriormente incorporadas al orógeno pirenaico y transportadas tectónicamente como consecuencia de la propagación de la deformación hacia el sur mediante el desarrollo nuevas láminas de cabalgamiento (Teixell y García-Sansegundo, 1995).

3.3.2. Litoestratigrafía

Margas de Arguís-Pamplona

La unidad Margas de Pamplona constituye el macizo rocoso de la práctica totalidad del vaso de la presa de Yesa. Esta unidad, de edad Luteciense terminal – Priaboniense, está constituida por margas calcáreas masivas de coloraciones grises y azuladas, con ocasionales intercalaciones de areniscas calcáreas grises de grano fino más frecuentes hacia techo. Estas areniscas pueden presentar secuencias de Bouma y estructuras tractivas que sugieren un origen turbidítico.

El depósito de esta formación geológica se interpreta como sedimentos de plataforma margosa profunda, con progresiva somerización, puesta de manifiesto por la presencia de sedimentos de origen turbidítico, de clara influencia detrítica, provenientes del talud.

El macizo rocoso presenta muy escasa fracturación, y las fracturas existentes se encuentran cerradas o incluso selladas, lo que le confiere una muy baja permeabilidad. Por otro lado, unido a la escasa fracturación, la práctica ausencia de planos de estratificación hace que esta formación presente un aspecto en general muy masivo.

Flysch de Yesa

La formación Flysch de Yesa, de edad Priaboniense inferior, consta de una alternancia de areniscas calcáreas grises de origen turbidítico y margas calcáreas grises de espesores variables de milimétricos a métricos, si bien el espesor más común es de orden centimétrico.

Estratigráficamente esta unidad se sitúa a techo de las Margas de Pamplona y en transición gradual hacia la misma, de manera que los niveles de areniscas pasan de ser escasos y de poco espesor a techo de las Margas a cada vez más abundantes y de mayor espesor en la base del Flysch. La disposición de las capas areniscosas de la facies flysch no es regular, sino que se agrupan en tramos de 5 a 10 m. donde predominan las areniscas, separados por tramos de margas masivas con ocasionales niveles centimétricos de areniscas. El espesor puede superar los 100 m.

Es muy frecuente encontrar en estos materiales superficies de tipo *sliken slide* en los planos de estratificación. Estas superficies, de tipo tectónico, reflejan el deslizamiento entre dos capas que se produce al plegarse la serie. Suelen presentar estrías de falla y superficies lustrosas en la parte margosa

de los planos de estratificación. Normalmente el ángulo de rozamiento interno de estas superficies es netamente inferior al de las restantes superficies de estratificación, correspondiendo al ángulo de rozamiento residual.

La interpretación genética de la unidad se atribuye a una interrelación lateral entre los niveles de areniscas depositados en los lóbulos y canales turbidíticos, los niveles de acreción lateral de estos canales y los originados por el desbordamiento de los mismos, todo ello intercalado entre los niveles de margas que se interpretan como sedimentos depositados en medio de una plataforma externa a talud. Hacia techo se ha descrito una somerización del medio indicada por la presencia de cristales de yeso y huellas o pistas producidas por el desplazamiento de organismos

3.3.3. Cartografía geológica

Como ya se ha indicado existe una extensa documentación geológica que abarca desde los primeros estudios para la ubicación de la presa.

A título de ejemplo se muestra el corte geológico realizado en 1937. En el pie de la ladera derecha ya se refleja el potente espesor de suelos coluviales, con un contacto muy verticalizado con el sustrato rocoso. Como se comentará en apartados posteriores, este considerable espesor de suelos se interpreta asociado a la acumulación de material deslizado a lo largo de sucesivos paleodeslizamientos que han debido producirse en la ladera, y que en su evolución geológica han debilitado la estructura del macizo rocoso en dirección al valle del río Aragón. Adicionalmente, este potente recubrimiento de suelos que recubre el sustrato en la parte baja de la ladera, ha dificultado históricamente la interpretación de la estructura geológica debido a la falta de afloramientos visibles del sustrato rocoso en esa zona.

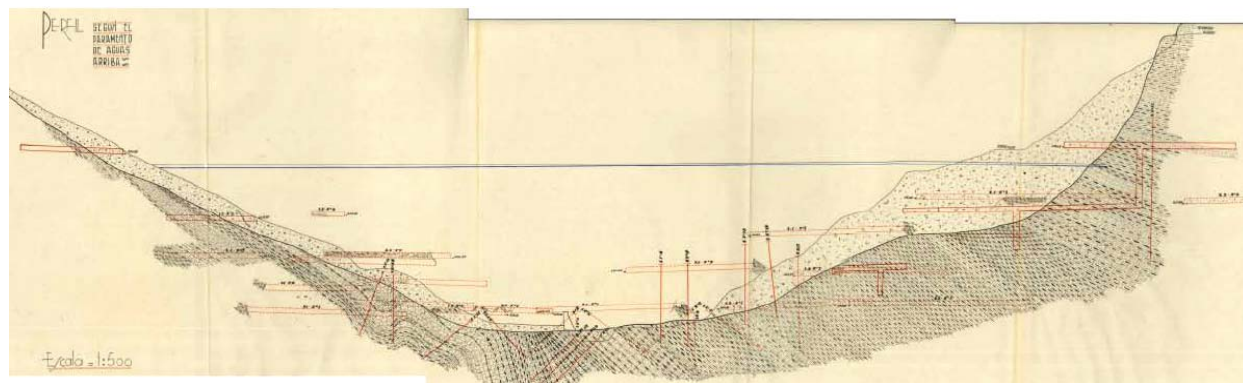


Figura 18. Perfil geológico de la cerrada de la presa de 1937. Fuente: Laderas del embalse de Yesa, Lafuente et al. Jornadas técnicas sobre estabilidad de laderas en embalses. Zaragoza, 2007

Desde los años ochenta para la redacción de los proyectos de recrecimiento de la presa de Yesa se han realizado intensas campañas de reconocimiento geológico, tanto de cartografía geológica de superficie, como de investigación mediante sondeos y calicatas.

A continuación se incluye un detalle de la cartografía geológica realizada por la Unidad de Control y Vigilancia YESA-UTE, constituida por EUROESTUDIOS, ACCIONA INGENIERIA (antes IBERINSA) y AECOM (antes INOCSA), para dicho proyecto de recrecimiento, que representa una buena parte de la ladera, aunque no alcanza la zona superior de la cumbre.

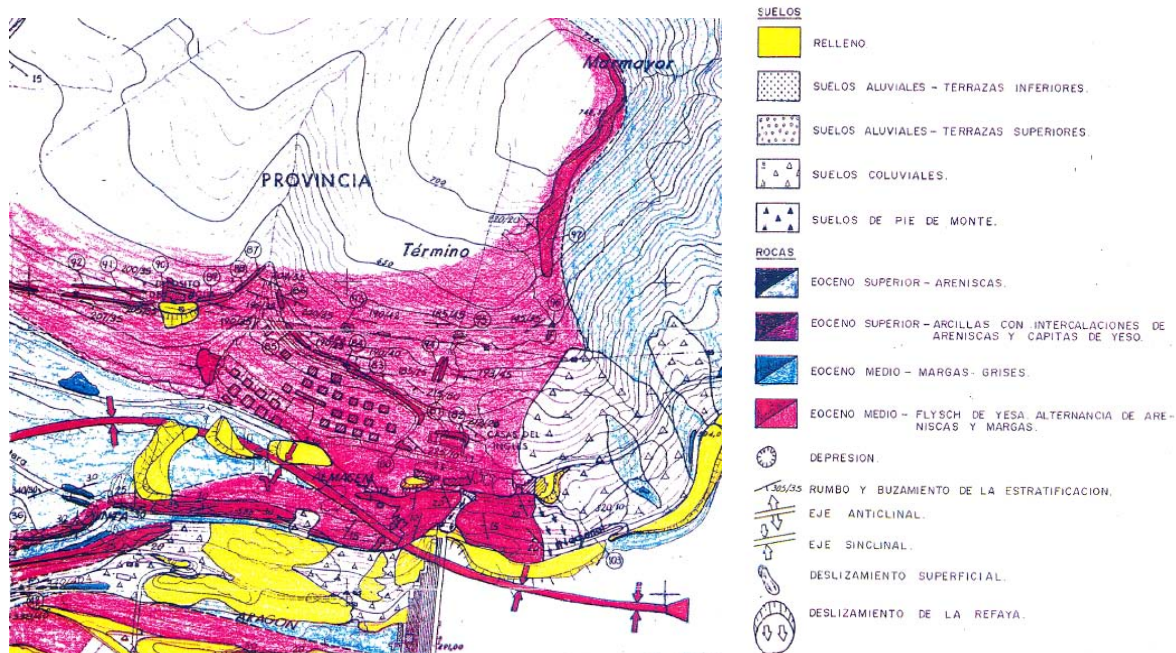


Figura 19. Planta geológica y leyenda de la zona de la cerrada de la presa. Fuente: Proyecto de recrecimiento de la presa de Yesa. Unidad de Control y Vigilancia YESA-UTE 1983

En el mismo proyecto se incluye un plano más detallado de la zona baja de la ladera, en la que dentro del flysch se diferencian los paquetes con predominio de arenisca y los que presentan mayor predominio de marga.

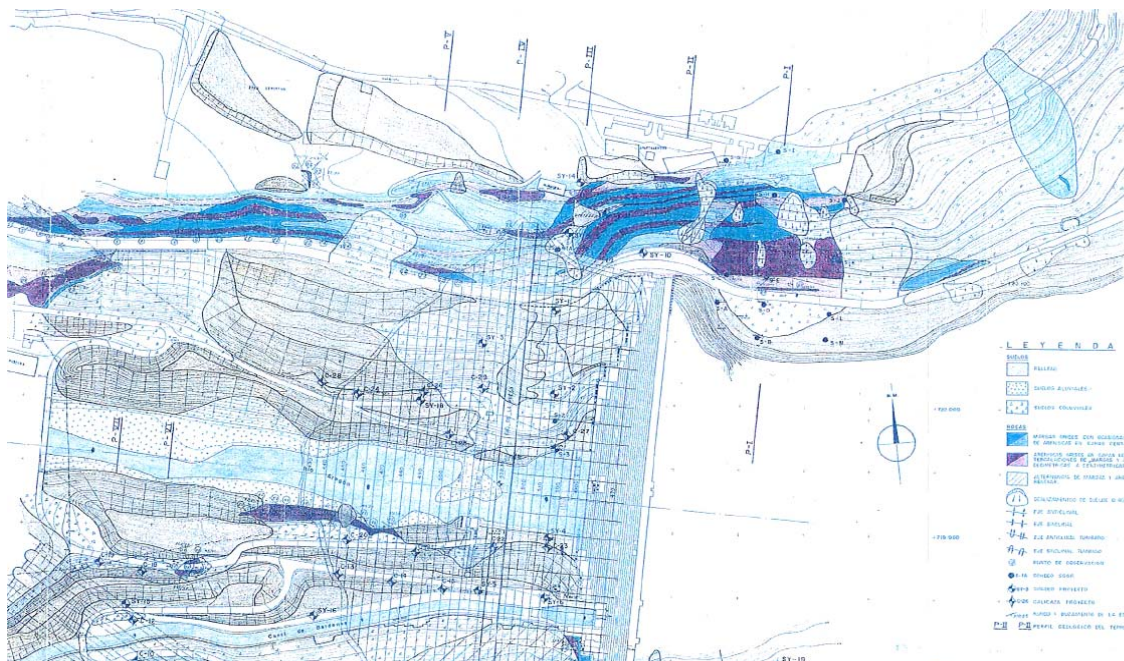


Figura 20. Planta geológica de detalle de la zona baja de la ladera, en la zona de apoyo de la nueva presa. Fuente: Proyecto de recrecimiento de la presa de Yesa. Unidad de Control y Vigilancia YESA-UTE 1983

En la documentación del mismo proyecto de recrecimiento, se presenta el perfil geológico, en el que se resalta el potente espesor de suelos coluviales existente en la margen derecha. Es de destacar que, en este perfil, la base del depósito coluvial se apoya en roca sana, mientras que hacia arriba, en la ladera, la prolongación del contacto corresponde al límite entre roca meteorizada y roca sana. Es decir, que podría reflejar cómo el paquete superior del macizo rocoso, más alterado y debilitado, hacia la zona inferior de la ladera pasa a constituir una transición hacia un potente depósito de suelos coluviales.

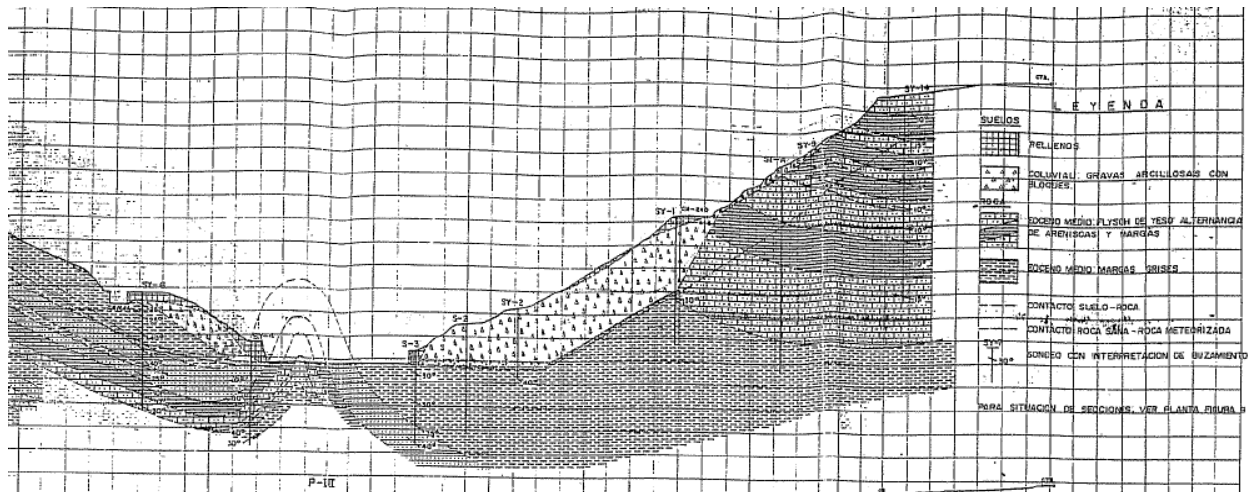


Figura 21. Perfil geológico realizado por el eje de la nueva presa. Fuente: Proyecto de recrecimiento de la presa de Yesa. Unidad de Control y Vigilancia YESA-UTE 1983

Tras el comienzo de las excavaciones para la construcción del recrecimiento se han elaborado los proyectos modificado y complementario. En los anejos de los estudios geológicos complementarios se actualizó la cartografía geológica con los nuevos datos disponibles. Se diferencian, dentro del flysch los tramos de capas con predominio de areniscas de los que presentan un predominio de marga. Sin embargo, este detalle geológico sólo fue posible realizarlo básicamente por encima de la antigua carretera de acceso a la presa, quedando la zona baja muy cubierta tanto por suelos coluviales como por los vertidos de las excavaciones realizadas.

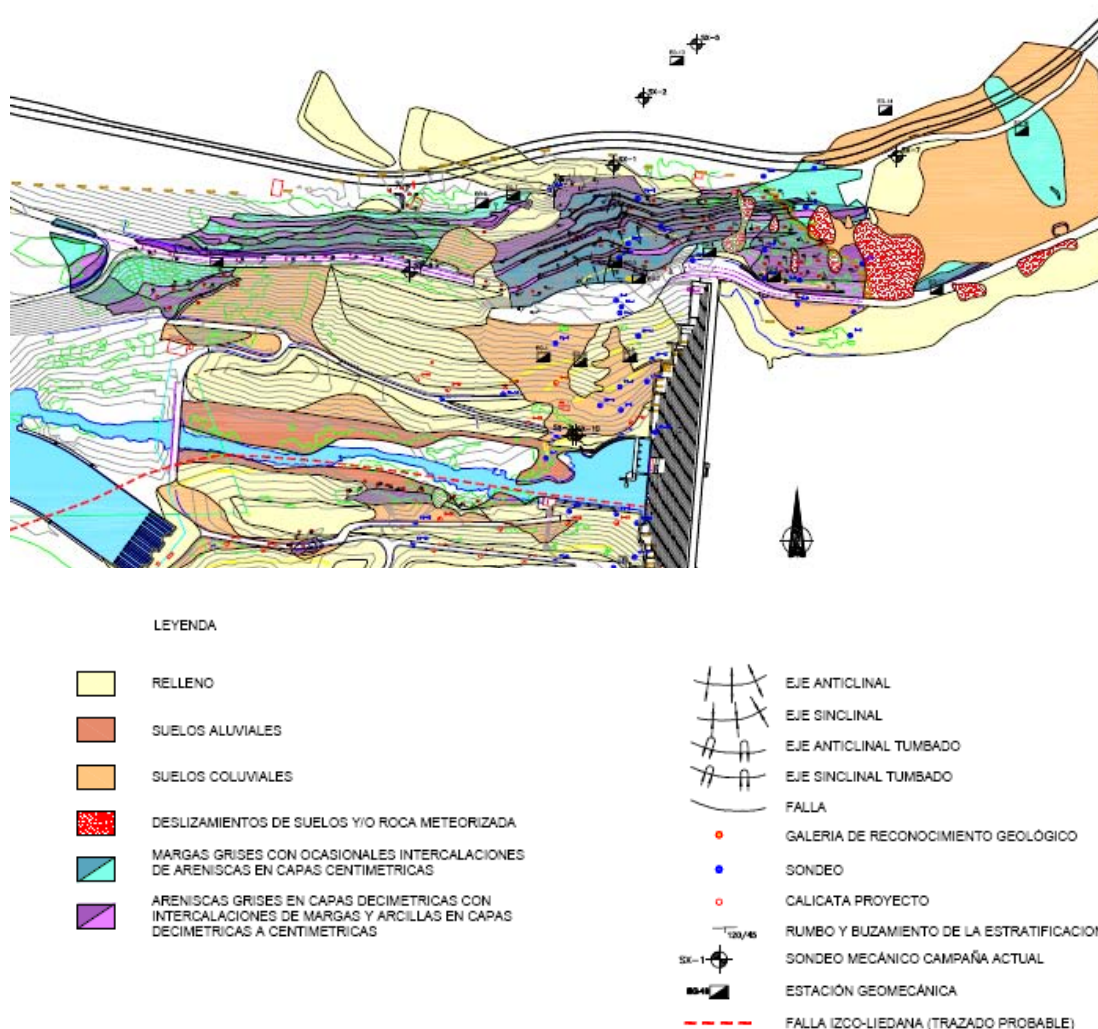


Figura 22. Planta geológica y leyenda de la zona de la cerrada de la presa. Fuente: Proyecto de complementario del recrecimiento de la presa de Yesa. Unidad de Control y Vigilancia YESA-UTE 2008

Durante las obras de recrecimiento se ha continuado con la toma de datos geológicos. Especialmente, se han medido la orientación de la estratificación y la estructura del macizo rocoso, por lo que en las zonas en las que ha existido afloramiento se dispone de un estudio bastante detallado de la orientación de las capas del macizo. Algunos de estos afloramientos se encuentran actualmente cubiertos por los trabajos de estabilización de los taludes o por nuevos rellenos.



Figura 23. Panorámica de los muros y las excavaciones realizadas para las obras de recerimiento.



Figura 24. Panorámica de la presa y de la zona excavada para el recerimiento y con taludes en parte reforzados con anclajes y hormigón proyectado.



Figura 25. Excavaciones y refuerzo del talud, aguas arriba (al este) del eje de la presa.

En el marco del trabajo actual de estabilización de la ladera de la margen derecha, se ha realizado una geología de detalle de toda la ladera, a partir de los afloramientos actualmente visibles en las excavaciones. La planta a escala 1:1.000 se presenta en el apéndice 1, del presente informe. Se señala que puntualmente la topografía se encuentra en fase de actualización, debido a que se han producido modificaciones recientes, en las que se han cartografiado los afloramientos, especialmente en la zona alta de la ladera, donde se están ejecutando los trabajos de excavación para la estabilización del deslizamiento.

Estratigrafía

Las formaciones diferenciadas en la cartografía son las siguientes:

Substrato rocoso terciario:

Margas de Pamplona (T₁):

Estratigráficamente, constituyen la formación inferior de la serie, entre los materiales geológicos que afloran en la zona de la ladera. Aunque intercalan ocasionales capas de arenisca, en general presentan un aspecto bastante masivo con predominio de margas azuladas. Presentan un alto grado de alterabilidad. Con la información disponible, se ha interpretado que los posibles planos de deslizamiento que pueden haberse producido en la ladera no afectan a los materiales de esta unidad. Estas margas, en los sondeos suelen aparecer poco fracturadas y en buen estado. Sin embargo es posible interpretar que en el contacto entre el flysch y estas margas, pueda haber habido circulación de agua y humedad que haya dado lugar a la alteración del techo de las margas, lo que podría debilitar las condiciones de estabilidad del contacto.



Figura 26. Detalle del contacto entre las margas de Pamplona y la base del flysch

Flysch de Yesa (T_2):

Dentro de esta formación, en los afloramientos observados, se ha distinguido entre dos facies, según las capas que presenten un mayor predominio de capas de areniscas (T_{2AR}) de los tramos en que la unidad presenta un mayor predominio de margas grises (T_{2M}). En el resto del área de estudio donde la formación aparece cubierta se ha representado como material indiferenciado dentro de la formación.



Figura 27. Alternancia de niveles con predominio de capas de arenisca o con predominio de margas

Aflora en la mayor parte del área en estudio. Se interpreta que los posibles planos de deslizamiento que se hayan podido producir, se encuentran dentro de las capas que forman esta unidad, aparte claro está, de zonas locales donde las superficies de rotura hayan afectado al recubrimiento de suelos superficial.

Constituye una superposición de capas bien estratificadas, alternando areniscas calcáreas y margas grises, con planos netos de estratificación que presentan numerosas huellas de estructuras sedimentarias, lo que modificaría localmente los parámetros de resistencia de los planos, si bien a escala local. Las capas presentan una gran variabilidad lateral, sin correlación entre las diferentes capas identificadas en sondeos o en afloramientos próximos.



Figura 28. Detalle de la estratificación

Aunque puntualmente, las capas de areniscas, alcanzan un espesor métrico, por ejemplo en el caso de depósitos de paleocanal, habitualmente el espesor es centimétrico o del orden del decímetro. Suelen aflorar o sanas o moderadamente meteorizadas.



Figura 29. Detalle de la variación en los espesores de las capas. Punto de lectura 38

Aunque en general el plegamiento observado es suave, localmente aparecen pliegues bastante apretados que distorsionan fuertemente la estructura de las capas.



Figura 30. Pliegue local de escala métrica en capas de flysch. Punto de lectura 1

Debido a que constituyen capas más rígidas, entre las capas margosas menos resistentes, presentan numerosas juntas perpendiculares a la estratificación, que no se continúan fuera de las capas de arenisca. Estas juntas, debido al movimiento que ha sufrido la ladera suelen presentar pequeñas aberturas que favorecen localmente la inestabilidad de los bloques de las capas de arenisca. Esta fracturación da lugar a una alta permeabilidad de estas capas de areniscas.



Figura 31. Detalle de las diaclasas entre los planos de estratificación



Figura 32. Detalle de los bloques formados a partir de las capas de arenisca



Figura 33. Detalle de la apertura entre bloques de las capas de areniscas

Las intercalaciones de capas de margas entre las areniscas, así como las capas más potentes con un claro predominio margoso, donde las capas de areniscas son más escasas, presentan una menor permeabilidad, reduciendo la permeabilidad general de la ladera. Sin embargo, los contactos de capas arenisca – marga, constituyen unas vías preferentes para la circulación del agua, por lo que se observan rezumes de agua de escaso caudal en afloramientos, así como humedad en los planos. En estas zonas húmedas la marga se encuentra alterada a arcilla, con lo que estos planos húmedos y arcillosos se penalizan las condiciones de resistencia al deslizamiento. Los frecuentes cambios laterales de litología dificultan el drenaje de las capas de areniscas, por lo que la humedad de los planos puede mantenerse más tiempo, incrementando la alterabilidad de las margas.

Se interpreta que el deslizamiento producido en las capas del flysch está controlado por la orientación de la estratificación de las capas. De forma general, se comentan a continuación algunos aspectos de la estructura del macizo rocoso en la ladera.

En la coronación de la ladera, por encima de la cota 710, pero ligeramente en el lado contrario de la divisoria de aguas, la estratificación presenta un suave buzamiento hacia el norte. Los afloramientos están alineados con un suave cambio de pendiente que presenta una alineación ENE-OSO, que podría marcar un rasgo morfológico de cabecera de un paleodeslizamiento.



Figura 34. Panorámica de la zona alta de la ladera.



Figura 35. Buzamiento de las capas de arenisca hacia el norte en la zona alta de la ladera. Punto de lectura 62.

Inmediatamente hacia el sur, una vez que se inicia la ladera que desciende hacia el valle del río Aragón, las capas presentan una marcada tendencia de buzamiento hacia el sur, es decir, en el sentido de la pendiente de la ladera, que es la disposición que ha favorecido el movimiento translacional entre las capas de flysch. Aunque la dirección de las capas es bastante constante, paralela a la dirección de la ladera, se aprecian variaciones en el buzamiento de las capas, llegando a alcanzar los máximos valores, entre 40 y 56°, en el entorno de la cota 610.



Figura 36. Detalle de la zona con las capas de mayor inclinación. Punto de lectura 75.

Se han observado suaves plegamientos de las capas, pero siempre se mantiene una componente de buzamiento de los estratos hacia el sur, en el sentido de la pendiente.



Figura 37. Suaves plegues en capas de areniscas. Punto de lectura 70.



Figura 38. Transición entra zona de suave plegamiento y falla. Punto de lectura 74.

Aunque la ladera presentaba un recubrimiento local de suelos coluviales, en ocasiones con bloques, una buena parte de esta zona se ha excavado en los trabajos de estabilización del deslizamiento por lo que se ha podido medir la orientación de la estratificación en varios puntos. Se han observado también algunas fallas de dirección norte – sur.



Figura 39. Transición entre zona de falla y acumulación de bloques. Punto de lectura 72.

Esta disposición general de la estratificación se observa bien hasta la sucesión de afloramientos existentes desde el vial superior de la urbanización Lasaitasuna al oeste, el talud de la urbanización Mirador de Yesa y el desmonte de la carretera, que definen una banda que atraviesa de oeste a este toda la ladera y en la que aflora extensamente el macizo rocoso, donde ha sido posible medir la orientación de las capas. Se observa cómo de forma general, se mantiene la misma orientación de la estructura, que sería desfavorable para la estabilidad general de la ladera.



Figura 40. Capas del flysch bien estratificadas y con orientación bastante constante en el desmonte de la urbanización Mirador de Yesa. Punto de lectura 81.



Figura 41. Orientación de las capas en el vial superior de la urbanización Lasaitasuna. Punto de lectura 91.

La dirección de las capas, aunque es sensiblemente paralela a la dirección de la ladera, presenta localmente una componente que hace que hacia el oeste, las capas entren hacia el interior de la ladera. Esta disposición parece quedar reflejada con la interpretación de la superficie general de deslizamiento, en la que se observa que su flanco este está claramente condicionado por la estratificación, como se aprecia en el talud de la carretera. Así en la zona este del deslizamiento la profundidad de la masa deslizada es menor. Sin embargo hacia el oeste el espesor de la masa deslizada es mayor y siendo el flanco oeste del deslizamiento una superficie con bastante pendiente o subvertical, como indican los datos del inclinómetro SCI-09. La superficie de rotura de este flanco oeste podría estar condicionada, no por la estratificación, sino por una de las fallas de dirección norte sur o NNE-SSO, como las que se interpretan que pueden estar localizadas en la vaguada del arroyo situado al oeste de la urbanización. (Ver apartado 3.13. Morfología de la superficie de deslizamiento).

Otra de estas fallas podría estar relacionada con la segunda serie de grietas aparecida en la urbanización, que también marcan en planta una dirección similar. Estas fallas podrían estar ayudando a diferenciar bloques con diferente movimiento relativo entre ellos dentro de la masa deslizada.

En el tramo de la ladera situada por debajo de la carretera, la disposición general de la orientación de la estratificación es más complicada. Además, constituye la zona que originalmente presentaba un mayor espesor de suelos coluviales y que ha sido afectada en mayor medida por las obras, que han dado lugar a vertidos y rellenos. Sin embargo, se disponen de numerosos datos de orientación de la estratificación tomados de las excavaciones realizadas, antes de ser parcialmente cubiertas y estabilizadas. A continuación se describe esta zona en el sentido oeste – este.

En la antigua carretera de acceso a la coronación de la presa, aflora extensamente el sustrato de flysch. En esta zona, que se encuentra fuera de la masa deslizada actual, la estructura presenta una orientación de las capas, oeste – este, cómo en la parte alta de la ladera, pero con buzamientos contrarios, es decir, hacia el norte, del orden de 30°. Esta disposición define un claro pliegue sinclinal, interpretado desde los primeros estudios geológicos para la construcción de la presa. El buzamiento de los estratos, hacia el interior de la ladera y con la pendiente que presentan, impediría o al menos dificultaría, en buena medida, el deslizamiento de las capas a favor de la estratificación, en las condiciones habituales de estabilidad de laderas en la zona, lo que parece confirmarse con la instrumentación realizada.



Figura 42. Panorámica del afloramiento del talud de la antigua carretera.



Figura 43. Detalle de la estratificación, con buzamiento hacia el interior de la ladera

Sin embargo hacia el este, y coincidiendo claramente con las morfologías que en el terreno marcan el flanco oeste del deslizamiento actual, se produce una variación en la disposición de la estratificación de las capas. Se reduce en buena parte el valor del buzamiento de las capas hasta a valores del orden de los 10° o menos, y se produce además una progresiva rotación de la dirección de las capas, que pasan a quedar orientadas con direcciones NNE-SSO y N-S y con sentido de buzamiento hacia el oeste. También se produce localmente un aumento de los buzamientos, con valores de 20 o 30° . Podría interpretarse que esta zona constituye el cierre del eje del sinclinal. Con esta disposición, en un corte transversal a la ladera en el sentido de la pendiente, la estratificación quedaría con una componente casi horizontal, disposición que es desfavorable para la estabilidad de la ladera. En esta zona se dispone de numerosos datos de orientación de la estructura ya que es donde se han realizado las excavaciones para el plinto de la nueva presa del recrecimiento. Existe una cierta dispersión de los valores de orientación de la estratificación de las capas, aunque hay que tener en cuenta la dificultad que existe para medir la orientación de las capas cuando los buzamientos son inferiores a 10° , y que además presentan estructuras sedimentarias en las superficies de los planos de estratificación.



Figura 44. Panorámica de la zona al oeste de la presa donde se produce una transición de capas de bajo ángulo de buzamiento a coluvial y a la zona con el talud ya reforzado. Puntos de lectura 38 a 40

Al este del eje de la presa, la estratificación presenta un predominio de la dirección N-S a NNE-SSO, que progresivamente pasa a disponerse con dirección NNO-SSE y NO-SE. El sentido del buzamiento es siempre hacia el oeste. Con esta disposición, en un corte transversal de la ladera, las capas presentan una ligera componente de inclinación hacia el exterior de la misma, lo que es una disposición desfavorable para la estabilidad. Hay que hacer notar que en esta zona se produjeron deslizamientos durante la construcción de la presa, que pudieron haber afectado a la disposición de la orientación de las capas más superficiales.



Figura 45. Panorámica de la zona al Este de la presa. Pliegue suave y falla. Nótese que las capas están bastante rotas ya que es la zona con mayor movimiento registrado. Punto de lectura 121

Formaciones de suelos cuaternarios:

Depósitos de suelos aluviales (Q_1):

Se encuentran restringidos al cauce del río Aragón. Estos suelos prácticamente se han eliminado para el apoyo de la presa y el nuevo desagüe de fondo, aguas debajo de la misma. Sin embargo aguas arriba, el estudio de los sondeos más antiguos podría permitir determinar la posible existencia de estos suelos en el pie de la ladera, hacia la zona inferior del lóbulo oriental del deslizamiento. Es posible que suelos coluviales más recientes hayan cubierto parte de estos suelos aluviales.

Depósitos de suelos coluviales (Q_2):

La zona inferior de la ladera presenta un potente recubrimiento de suelos coluviales, como ya se ha indicado que reflejan los sucesivos estudios geológicos realizados. Presentan gravas de arenisca procedente del flysch y una importante matriz arcillosa procedente de la alteración de las margas.



Figura 46. Panorámica de la acumulación de suelos y vertidos existente en la base de la ladera.

Una buena parte del volumen de estos suelos del pie de la ladera ha sido retirado ya con las obras de la presa y del recrecido. Se interpreta que el gran volumen existente es consecuencia también de la acumulación de material deslizado a partir del desplazamiento de las capas de roca del flysch de la ladera, desde el inicio del proceso de formación del valle. Estos suelos además, dificultan la interpretación de la estructura del macizo rocoso, precisamente en la zona en que tectónicamente la estratificación en las capas del flysch es más compleja.

Además de esta zona de suelos, existen acumulaciones de suelos coluviales en la vaguada situada al oeste de la urbanización y en diferentes depósitos existentes en la zona más alta de la ladera.

Depósitos de suelos coluviales con bloques (Q_3):

Se han diferenciado en la cartografía dentro del coluvial, varios depósitos con una proporción alta de bloques de arenisca y con disposición errática. Esta estructura parece indicar que se trata específicamente de depósitos de pie de deslizamiento, tanto de paleodeslizamientos como puntualmente de deslizamientos de menor amplitud de movimiento y más recientes.

En la zona suroeste de la posible masa deslizada se encuentra uno de estos depósitos, que podría estar relacionado con el límite de la masa movilizada, ya que en esta zona se pierden los claros indicios de movimiento que marcan el flanco oeste del deslizamiento actual.



Figura 47. Depósito de coluvial con bloques



Figura 48. Detalle de la estructura del depósito



Figura 49. Deslizamiento reciente en talud excavado en los suelos de coluvial con bloques

Rellenos y vertidos antrópicos (Q_4):

En la cartografía se han diferenciado los rellenos de las construcciones existentes, como por ejemplo los existentes en la urbanización y en la carretera.

En la zona baja de la ladera se han depositado el material procedente de las excavaciones de las obras para la contención del pie del deslizamiento en su flanco este. Estos rellenos de suelos limitan la observación de la geología del sustrato.



Figura 50. Relleno en la zona baja del lado Este de la ladera

Actualmente, en el contexto de las obras de emergencia que se están realizando para la estabilización de la ladera, se están realizando nuevos depósitos controlados de material proveniente de las excavaciones, aguas arriba de la presa, tanto a la cota del embalse, como ladera arriba en el valle situado al este de la ladera. Estos rellenos pueden requerir medidas de suavizado de su topografía para mejorar su estabilización.



Figura 51. Relleno aguas arriba de la presa



Figura 52. Nuevos depósitos controlados de productos provenientes de la excavación al este de la ladera de la margen derecha

En la zona donde se han realizado las excavaciones para el recrecimiento de la presa, varios de los taludes se encuentran ya reforzados con anclajes, hormigón proyectado y mallazo, además de disponer también de drenes californianos para el drenaje del macizo.



Figura 53. Detalle de uno de los taludes reforzados. Punto de lectura 42

3.3.4. Estructura geológica

Desde el punto de vista estructural, la zona de estudio se encuentra situada en el bloque inferior del Cabalgamiento de Leyre. Esta estructura de dirección E-O y vergencia sur, superpone diversas formaciones marinas y continentales de edades comprendidas entre el Cretácico superior y el Eoceno inferior sobre las Margas de Pamplona, formando la Sierra de Leyre al norte del embalse (de Rojas y Latorre, 1972). En la zona de la presa, la serie paleógena del bloque inferior del Cabalgamiento de Leyre está afectada por un haz de pliegues de dirección preferente ONO-ESE desplazados por la Falla de Yesa. Esta estructura corresponde a una falla inversa de rumbo E-O y buzamiento norte cuya traza discurre por el fondo del valle del Aragón. En la zona de la presa, la Falla de Yesa posee un salto estratigráfico de unos 150-200 m y yuxtapone las Margas Pamplona, al norte, con el Flysch de Yesa, al sur, tal como se observa en la siguiente figura:

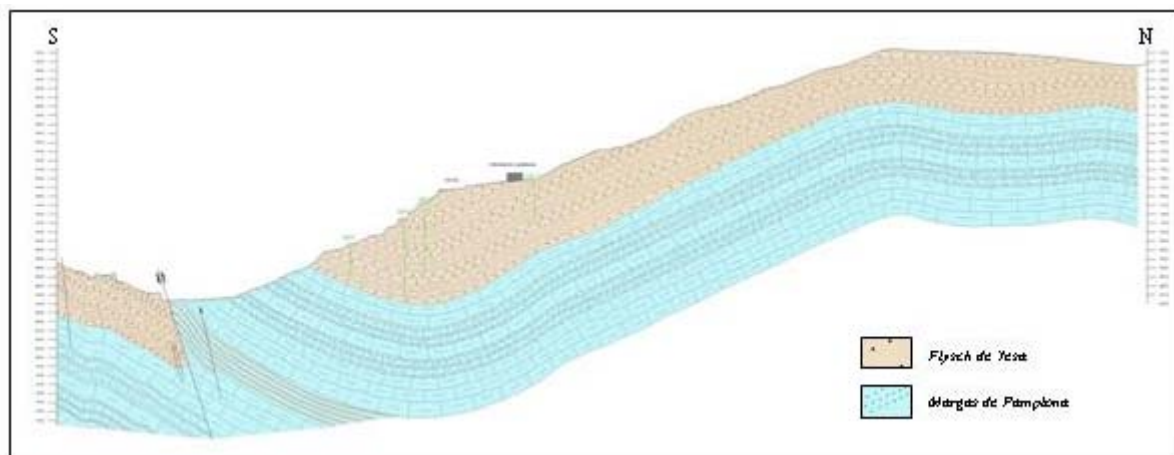


Figura 54. Corte Geológico estribo derecho presa en construcción. Proyecto modificado.

En la ladera afectada por el deslizamiento la serie eocena presenta un anticlinal y un sinclinal con orientación preferente ONO-ESE e inmersión oeste. La charnela y el flanco sur del anticlinal corresponden a la parte superior de la ladera, al norte de la carretera N-240.

En la zona superior de la ladera, el flysch presenta una disposición subhorizontal, aumentando rápidamente su buzamiento hacia el valle; de aquí y hasta alcanzar la N-240, las capas presentan un buzamiento de 20-30°S concordante con la topografía (*dip slope*).

El eje del sinclinal se encuentra en el rellano estructural por el que discurre la carretera N-240, por debajo de las urbanizaciones Lasaitasuna y Mirador de Yesa.

Por debajo de la N-240, incluyendo la zona de excavación del plinto de la presa en construcción, el sustrato presenta direcciones y buzamientos variables, hacia el interior del talud, constituyendo el flanco sur del sinclinal.

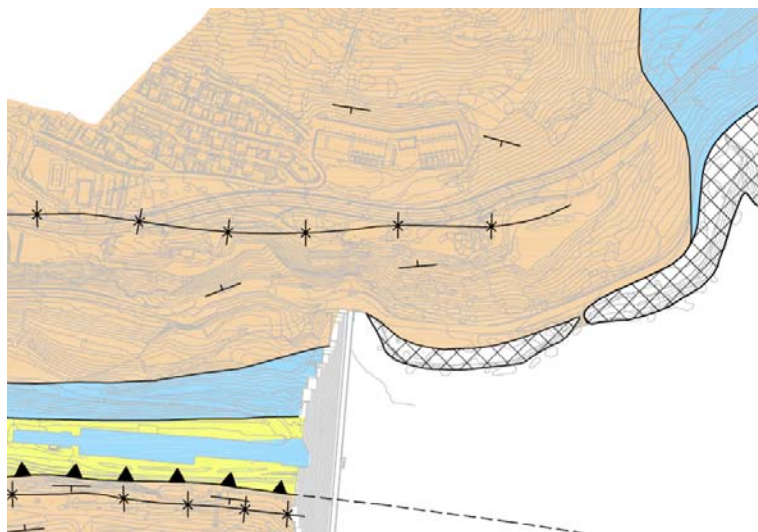


Figura 55. Esquema geológico del sector norte de la cerrada de la presa. La falla inversa situada en el fondo del valle del Aragón corresponde a la Falla de Yesa. Los colores azul y naranja representan las Margas de Pamplona y el Flysch de Yesa, respectivamente. (Fuente: Unidad de Control y Vigilancia YESA-UTE).

A menor escala, el macizo rocoso formado por el Flysch de Yesa, dado el espesor de los estratos definidos, se presenta con abundantes planos de estratificación, así como con una marcada red de fracturación formada por dos familias de juntas muy bien definidas ortogonales entre si y ortogonales a su vez a la estratificación.

Esta red de fracturación es muy intensa en los estratos de areniscas calcáreas, y algo más tenue en los estratos de margas, llegando incluso a carecer prácticamente de fracturación los paquetes más potentes.

La fracturación del macizo, como se verá más adelante, juega un papel decisivo en la permeabilidad del macizo y, como consecuencia de ello, en la estabilidad general de la ladera.

En la zona de apoyo del estribo derecho de la presa la familia de fracturas con dirección paralela a la dirección de la propia ladera se encuentra muy abierta, en muchas ocasiones rellenas parcialmente de arcilla margosa procedente de la alteración de los estratos margosos, en otras ocasiones lavadas, e incluso en ocasiones con precipitados de carbonato cálcico en condiciones ambientales. La segunda familia de fracturas presenta características similares si bien el grado de apertura es mucho menor o incluso en porcentaje considerable se encuentran cerradas.

3.4. ANÁLISIS GEOMORFOLOGICO

En un sentido general, la ladera presenta una forma en planta ligeramente triangular, con el vértice en el entorno de la cota 730 y la base en la línea que marca el río Aragón en el entorno de la cota 430, siendo el desnivel del entorno de los 300 m. Por el oeste, el límite de la ladera está marcado por un arroyo ligeramente encajado, que en planta tiene una alineación NNE – SSO, y en el que las edificaciones de la urbanización llegan casi hasta el cauce. Por el Este, La ladera está cortada por un gran escarpe que marca otro valle transversal al principal, en el que afloran básicamente las margas de Pamplona.

Las Margas de Arguís-Pamplona en condiciones frescas presentan una elevada resistencia mecánica. Sin embargo, cuando estos sedimentos sobreconsolidados son sometidos a procesos de meteorización, experimentan una drástica disminución de su resistencia mecánica, desintegrándose con gran rapidez y dando lugar a un regolito fácilmente erosionable. La rápida meteorización que experimentan estos materiales, lleva consigo la formación de un importante espesor de regolito susceptible de ser erosionado, lo que favorece el desarrollo de cárcavas que constituyen zonas con una elevada producción de sedimentos (Nadal et al., 2006c).

Con relación al flysch, si bien las areniscas se comportan como rocas duras y frágiles (con valores de resistencia a la compresión superiores a 800 kp/cm^2), las margas (si bien presentan una resistencia a la compresión del orden de 100 y 125 kp/cm^2 cuando se encuentran inalteradas), cuando son sometidas a procesos de humectación y secado experimentan una rápida disgregación y disminución de su resistencia mecánica. La característica alternancia de niveles de arenisca y arcilla de reducido espesor que presentan estas facies turbidíticas, junto con la existencia de densos sistemas de fracturas que intersectan a los múltiples planos de estratificación, hacen de estos sedimentos sobreconsolidados unos materiales especialmente proclives al desarrollo de determinados movimientos de ladera de todo tipo (rotacional, planar, toppling, etc).

A partir de los intensos estudios que se están realizando en la ladera inestable parece inferirse que no se trata de un mecanismo de deslizamiento único y que está influenciado por diferentes procesos tanto desencadenantes como coadyuvantes en la evolución de la inestabilidad. En los siguientes apartados se analizan dichos procesos y causas, mientras que en el presente apartado se describen los aspectos morfológicos que relacionados con la inestabilidad se han observado en la ladera. En la cartografía

geológica de detalle a escala 1:1.000, que se presenta en el apéndice 1, se han representado las morfologías que reflejan el deslizamiento observadas en la superficie del terreno. En el apéndice 2, se presenta la descripción de los puntos de lectura y sus fotografías.

Descripción de los límites del deslizamiento.

En la cartografía geológica se han representado los diferentes contornos que para la masa inestabilizada se están valorando dentro de los estudios actualmente en curso. Puede observarse como existe una buena coincidencia para los flancos oeste y este, pero no así para las zonas de coronación y del pie.

En este apartado hay que señalar que los límites de la zona en la que se han registrado desplazamientos están siendo ajustados a medida que se dispone de nueva información que permite ir estableciendo contornos más precisos.

Para el análisis del presente documento se ha partido de los límites establecido por la Asistencia Técnica Unidad de Control y Vigilancia YESA-UTE con fecha 18-4-2013 que delimitan el área que es objeto de mayor atención, y que en determinados sectores pueden diferir de los están siendo ajustados en la actualidad.

En el apéndice 1 se presenta la cartografía geológica con indicación de los límites del contorno identificado como perímetro del área objeto de mayor atención. La auscultación en curso debe permitir poder ajustar con mayor precisión la extensión de dichos límites.

Flanco oeste:

El flanco oeste está bien delimitado en la zona de la urbanización Lasaitasuna, a partir de las grietas producidas en el pavimento de los viales y los daños de algunas viviendas (puntos de lectura 2, 3, 4, 90, 95, 97, 101, 102 y 105), además de en la cuneta de la carretera (punto de lectura 5).



Figura 56. Grieta en el pavimento. Puntos de lectura 4 y 90.



Figura 57. Grieta en el pavimento y daños en garajes. Puntos de lectura 97.



Figura 58. Grietas en edificación. Puntos de lectura 3 y 95.



Figura 59. Hundimiento en el pavimento. Puntos de lectura 3 y 95.

Hacia la zona superior de la ladera no se han detectado indicios del plano de rotura, al encontrarse cubierta de vegetación. Sin embargo la continuación del límite del deslizamiento hacia arriba en la ladera podría estar relacionada con la morfología que presenta la ladera en la que se aprecia un cambio de pendiente con una alineación norte sur. Esta morfología podría representar el límite de un paleodeslizamiento.

Hacia la zona inferior de la ladera, por debajo de la carretera, el plano del flanco oeste se refleja en el talud de la excavación existente por una banda de terreno subvertical con movimientos ligeros de desplazamiento entre los bloques de arenisca de las capas (puntos de lectura 36 y 37).



Figura 60. Situación del flanco oeste del deslizamiento en afloramiento del macizo rocoso. Punto de lectura 36.



Figura 61. Detalle del plano del flanco oeste en la parte alta del mismo talud. Se observa plegamiento de las capas y una falla. Punto de lectura 37.



Figura 62. Panorámica del terreno al Este de la rotura que marca el flanco Oeste en el talud. El sustrato, que está dentro de la zona inestable, marca una transición de las capas hacia suelos coluviales, hasta que aparece cubierto por los muros realizados para la obra de recrecimiento de la presa.

Al Este de la alineación de grietas de los viales de la urbanización ya descrita, se ha formado una segunda alineación de grietas con disposición también norte – sur. Estas grietas pueden estar relacionadas con la presencia de una falla, que delimite dos bloques con diferente velocidad de desplazamiento dentro de la masa general en movimiento.



Figura 63. Grieta en el pavimento y pequeño hundimiento. Alineación de grietas al este de las grietas del flanco Oeste principal. Punto de lectura 98.

Coronación:

En la zona de coronación de la ladera inestable, no se han detectado grietas claras de escarpe de deslizamiento como suelen ser habituales en muchos deslizamientos.



Figura 64. Panorámica general de la zona de coronación.

Se han formado unas pequeñas grietas en la zona alta (Puntos de lectura 52 y 53) pero no puede descartarse que se deban a un movimiento local de reptación superficial, en esta zona donde la ladera presenta una mayor pendiente.



Figura 65. Detalle de una de las pequeñas grietas de la zona alta de la ladera. Punto de lectura 52.

Se han observado en la topografía original una serie de cambios de pendiente que marcan zonas de mayor inclinación y suaves rellenos que parecen indicar antiguos paleodeslizamientos. Estos movimientos podrían corresponder a deslizamientos translacionales, con movimientos relativos acumulados entre las capas del flysch, hacia el pie de la ladera. Las morfologías observadas pueden

corresponder a las antiguas zonas de coronación de apertura entre las capas, y a depósitos de bloques en el pie de los movimientos de las capas más superficiales. Se han observado en esta zona alta algunas acumulaciones de bloque con este posible origen. Las antiguas grietas de coronación estarían ahora cubiertas de suelos recientes y de vegetación. El movimiento actual acumulado parece haberse puesto de manifiesto con la instrumentación topográfica, con mayor intensidad en la zona baja del deslizamiento donde se observa en superficie, el desplazamiento acumulado de todos los planos, mientras que en la coronación al ser el desplazamiento menor, no ha llegado a quedar relegado en superficie, sino que habría quedado como pequeños desplazamientos relativos entre los bloques de las capas, embebidos en la matriz de suelos.

En todo caso, de cara a determinar el volumen y los límites de la masa inestable, lo más razonable parece ser considerar la proyección en la ladera de las capas situadas por encima de los planos de movimientos detectados con los inclinómetros. En función de las diferentes hipótesis de la estructura del macizo en el flysch, se reflejan diferentes contornos posibles en la zona alta de la ladera. En la actualidad la mayor parte de la posible masa deslizada situada en la zona alta del deslizamiento ha sido ya excavada.



Figura 66. Excavación en la zona alta de la ladera.

Flanco este:

En este flanco el límite del deslizamiento está bien reflejado en el pavimento de la carretera actual y en la pista de acceso situada en el nivel inmediatamente inferior (puntos de lectura 6, 111 y 115).



Figura 67. Grietas en la calzada que marcan el flanco este. Punto de lectura 6.



Figura 68. Continuidad entre las grietas en la calzada y el afloramiento del talud. Punto de lectura 6.



Figura 69. Grietas del flanco este en la pista existente. Punto de lectura 115.

En el afloramiento situado en el desmante de la carretera se puede observar la alineación que marcaría el límite como indicios entre las capas de arenisca del flysch. En los planos se observan zonas alteradas a arcilla y rezumes de humedad (puntos de lectura 111, 112 y 113).



Figura 70. Detalle de las capas que marcan el flanco este del deslizamiento. Punto de lectura 111.



Figura 71. Detalle de las capas que marcan el flanco este del deslizamiento. Punto de lectura 111.



Figura 72. Grieta entre capas. Punto de lectura 113.

Por encima del afloramiento, en la ladera, al estar cubierta, existe el mismo problema descrito al hablar de la zona de coronación.

Por debajo de la pista indicada se observa un afloramiento con movimiento de bloques entre las capas (punto de lectura 126).



Figura 73. Flanco este por debajo de la pista. Punto de lectura 127.



Figura 74. Detalle del contacto con las capas desenchajadas. Punto de lectura 127.

Pie del deslizamiento (aguas arriba de la presa, este):

Como se ha indicado, por el momento, no está bien establecido cual es el límite del pie de la masa actualmente deslizada. En planta, el contorno interpretado, presenta una forma sensiblemente más ancha en la base que en la coronación, forma que no suele ser habitual en otros deslizamientos de ladera. Esta forma, aparte de estar condicionada por la orientación de los límites en los flancos (posible falla al oeste y orientación de la estratificación en el este) podría estar indicando que hacia el pie los desplazamientos se estuviesen dividiendo en dos tendencias de velocidad, o incluso de componente de dirección de movimiento debido a la orientación de las capas descrita en apartados anteriores. Tampoco se puede descartar el posible efecto de “contrafuerte” que pudiese estar ejerciendo la presa actual, aunque en ese caso el pie del deslizamiento estaría pasando por debajo de la cota de coronación de la presa.

Los indicios de deslizamiento que se observan en afloramiento, corresponden a una estructura desenchajada de las capas de flysch que pueden estar reflejando un proceso de ligera distensión de la ladera (puntos de lectura 120, 121 y 122). Hay que señalar que esta zona es la que ha reflejado los mayores desplazamientos durante la instrumentación realizada en el mes de Febrero de 2012. Sin embargo no se han llegado a observar claras grietas de deslizamiento como en los flancos.



Figura 75. Zona con posible decompresión y deformación del macizo rocoso sin que se haya llegado a perder la estructura general de la ladera. Punto de lectura 120.



Figura 76. Detalle del afloramiento en la zona con posible decompresión y deformación del macizo rocoso. Punto de lectura 123.



Figura 77. Detalle del afloramiento en la zona con posible decompresión y deformación del macizo rocoso. Punto de lectura 123.

En esta zona situada al este de la presa actual, si el pie estuviese aflorando en el terreno natural, es de esperar que se hubiesen producido grietas en el muro de gunita existente (por encima del punto de lectura 124) o que se hubiesen observado indicios claros de movimiento en el extenso afloramiento del

punto de lectura 125, aunque se observa un posible movimiento entre capas de muy bajo buzamiento. Es probable que el, o los, planos de deslizamiento estén bajo la superficie del terreno natural y estén saliendo en el contacto con los suelos coluviales. La determinación de los límites del deslizamiento en el pie deberá ser establecida con más datos de auscultación con inclinómetros.



Figura 78. Detalle del afloramiento en la zona este. Punto de lectura 125.



Figura 79. Detalle de posible movimiento entre capas con muy bajo buzamiento. Punto de lectura 7.

Los inclinómetros SZ-5 y SZ-6, parecen haber reconocido material del flysch deslizado y con movimiento que afectaría al espesor de todo el flysch, hasta el contacto con las margas de Pamplona. Aunque estos materiales deslizados correspondiesen a deslizamientos antiguos y no al actual, o a un deslizamiento secundario rotacional distinto, parece razonable considerar para el estudio de la estabilidad de la ladera, que hasta la base del flysch en esta zona existe riesgo de inestabilidad relacionado con el deslizamiento general de la ladera.



Figura 80. El pie de la ladera está cubierto por el agua. El muro de mampostería presenta algunas roturas

Pie del deslizamiento (aguas abajo de la presa, oeste):

En esta zona es donde se han realizado las excavaciones para el apoyo del plinto del recrecimiento de la presa de Yesa.



Figura 81. Panorámica general de la zona baja de la ladera, al Oeste de la presa



Figura 82. Panorámica de la zona baja de la ladera, al Oeste de la presa

En superficie no se aprecia la trayectoria del límite del área movilizada. Como se ha indicado en la zona inferior del flanco oeste, en el punto de lectura 36 se observa el posible plano. Sin embargo en el banco de trabajo inferior, que corresponde con la antigua carretera (cota 491), el plano puede estar relacionado con el depósito de suelos coluvial con bloques existentes (puntos de lectura 17 y 18). En todo caso este depósito correspondería a un antiguo deslizamiento. Por la estructura del depósito, el movimiento puede quedar enmascarado como movimiento ligero relativo entre bloques y no llegar a definir una clara grieta en superficie.

Más al Este, a continuación del depósito de suelos las excavaciones permiten observar un extenso afloramiento de capas de flysch bien estratificadas, aunque con planos de las juntas abiertos. Estas capas quedan dentro de la masa general que ha sufrido el movimiento de la ladera.



Figura 83. Panorámica de las capas de flysch

Una posible interpretación del pie del deslizamiento, reflejado en la cartografía geológica consideraría que este nivel topográfico, en el entorno de la cota 490, correspondería a la base del volumen movilizado, lo que quedaría por encima de la coronación de la presa actual. En este sentido la existencia de unas posibles pequeñas grietas en el punto de lectura 13 explicarían esta interpretación.

Sin embargo, en los bancales inferiores de la obra existen afloramientos que parecen indicar que ha existido movimiento entre las capas del flysch, con desplazamiento entre bloques de capas de areniscas, pequeñas grietas y acumulaciones de bloques (puntos de lectura 25, 26, 21, 22 y 23).



Figura 84. Plano de falla que limita el macizo rocoso estratificado y una acumulación de bloques de arenisca. Punto de lectura 25.



Figura 85. Capas de areniscas fracturadas con planos abiertos. Punto de lectura 23

En este sentido, el pie del deslizamiento alcanzaría una cota inferior. Incluso lo más razonable es considerar como la posible base de la masa potencialmente inestable a la base de las areniscas del flysch, aunque se pueda interpretar que esta zona no se ha movido igual que el resto de la masa deslizada en los últimos meses. Esta interpretación parece coherente con los datos de material deslizado comentados para la zona de aguas arriba de la presa y a que el contacto de la masa deslizada está a una mayor profundidad hacia el Oeste.



Figura 86. Contacto entre capas de areniscas y margas, que podría ser considerado la base de la zona deslizada aguas debajo de la presa. Punto de lectura 29

3.5. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE LA LADERA DE LA MARGEN DERECHA

3.5.1. Introducción y objetivos

Un Sistema de Información Geográfica (GIS según sus siglas en inglés) es un software para la organización, la representación gráfica y el tratamiento de datos geográficamente referenciados. El GIS funciona como una base de datos que incorpora capas con objetos gráficos (puntos, líneas, polígonos, *raster* etc.) con datos alfanuméricos asociados.

La razón fundamental para utilizar un GIS es la gestión de la información espacial, que debidamente codificada permite trabajar con los datos alfanuméricos y obtener resultados que de otro modo no se podrían obtener.

Existe gran cantidad de información generada durante los diferentes estudios realizados en el entorno de la presa de Yesa. Esta información proviene de campañas geológico-geotécnicas, topografía, medidas de auscultación, fotografía aérea etc. La mayor parte de esta información puede ser georreferenciada e incorporada a un GIS, lo que puede ser de gran utilidad tanto para almacenar y ordenar los datos disponibles, como para su procesado e interpretación. Una visión más global de los datos puede ayudar a la interpretación de la problemática de la ladera del estribo derecho de la presa de Yesa, en la búsqueda de soluciones y en la toma de decisiones.

Teniendo en cuenta estos aspectos, los objetivos principales de la construcción del GIS de Yesa son:

- Organizar la información relevante disponible que pueda ser georreferenciada.
- Representar gráficamente de forma interactiva esta información.
- Facilitar la visualización e interpretación de los datos asociados a las entidades georreferenciadas.
- Permitir realizar cálculos espaciales a partir de los datos disponibles.

- Construir el GIS de forma que se pueda ir ampliando la información e incorporando nuevos datos en el futuro.

Para la construcción del GIS de Yesa se ha utilizado el programa ArcMap™ de la casa ESRI® en su versión 10.0.

3.5.2. Estructura general del GIS de Yesa. Datos incorporados.

La estructura del GIS de Yesa y los datos incorporados, junto con sus principales atributos son los siguientes:

- Límites del deslizamiento: capa de polígonos que recopila los límites del deslizamiento trazados hasta la fecha. En las figuras de este informe se representa el contorno del deslizamiento facilitado por la CHE a fecha de 18/04/2013. Metadatos: Fecha, Autor.
- Nivel del embalse y precipitación: capa formada por un polígono que coincide con la superficie del embalse y que contiene un hipervínculo al archivo en formato Excel con los registros históricos de nivel del embalse y precipitación.
- Fotos: grupo de capas con las fotografías tomadas por TYPESA en los dos campañas de reconocimiento geológico llevadas a cabo para la redacción del presente informe. Las capas incluidas en este grupo son:
 - Fotos: capa de puntos con la situación de las fotos. Incorpora un hipervínculo para abrir la foto directamente desde GIS. Metadatos: Fecha, Descripción (ejemplo: *afloramiento de areniscas con intercalaciones de capas de marga gris, con espesores de 40 - 60 cm*).
 - Fotos panorámicas: tiene el mismo formato que la capa anterior, pero se han aislado las fotos panorámicas.
 - Recorrido: capa de polilíneas con el recorrido de las visitas.

En la figura siguiente se muestra una vista de la pantalla del GIS de Yesa representando las capas incorporadas en el grupo "Fotos".

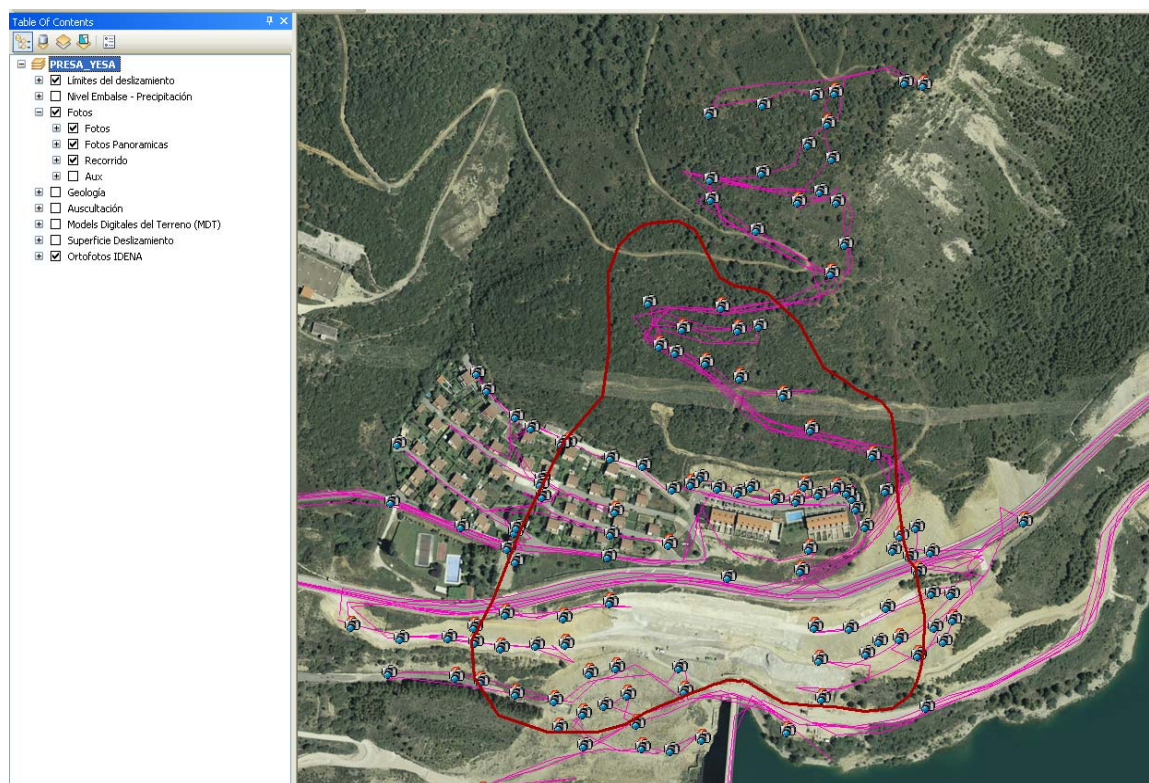


Figura 87. Estructura del GIS de Yesa. Grupo de capas de Fotos.

- Geología:
 - Datos de la estructura del macizo: Capa de polilíneas en la que se han recopilado todos los datos de la estructura del macizo recopilados de los diferentes estudios antecedentes y de las nuevas campañas de campo realizadas. Metadatos: Autor, Fecha, Dirección y Buzamiento. La incorporación de los campos -dirección y buzamiento- permite realizar cálculos.
 - Registro de sondeos: Capa de puntos con todos los sondeos que se han localizado en la margen derecha, obtenidos de la información disponible de campañas y estudios previos. En algunos casos sólo se dispone de la situación y el código del sondeo; en otros se dispone del registro. En los sondeos con registro se ha creado un hipervínculo para abrir directamente el pdf del registro desde el GIS, lo que permite una visualización rápida y cómoda. En la Figura 88 se muestra la situación de los sondeos inventariados. En la tabla siguiente se listan los sondeos de los cuales se dispone de registro:

Código sondeo	Campaña de origen	Registro fotográfico	Registro estratigráfico	Ensayos de permeabilidad
SCI-02	Actual	✓	✓	×
SCI-03	Actual	✓	×	×
SCI-06	Actual	✓	✓	×
SCI-09	Actual	✓	×	×
SCI-10	Actual	✓	×	×
SCI-11	Actual	✓	✓	×
SCI-13	Actual	✓	✓	×
SCI-14	Actual	✓	×	×
SCI-15	Actual	✓	×	×
SCI-16	Actual	✓	×	×
SX-01	Proy. Modificado	✓	✓	✓
SX-02	Proy. Modificado	✓	✓	✓
SX-03	Proy. Modificado	✓	✓	✓
SX-04	Proy. Modificado	✓	✓	×
SX-05	Proy. Modificado	✓	✓	✓
SX-06	Proy. Modificado	✓	✓	✓
SX-07	Proy. Modificado	✓	✓	✓
SZ-02	Proy. Complementario	✓	✓	✓
SZ-04	Proy. Complementario	✓	✓	✓
SZ-04A	Proy. Complementario	✓	✓	✓
SZ-05	Proy. Complementario	✓	✓	✓
SZ-06	Proy. Complementario	✓	✓	✓
SZ-07	Proy. Complementario	✓	✓	✓
SZ-08	Proy. Complementario	✓	✓	×
SZ-09	Proy. Complementario	✓	✓	✓
SY-01	Proy. 1983	✓	✓	×
SY-02	Proy. 1983	✓	✓	×
SY-03	Proy. 1983	✓	✓	×
SY-09	Proy. 1983	✓	✓	×
SY-10	Proy. 1983	✓	✓	×
SY-11	Proy. 1983	✓	✓	×
SY-14	Proy. 1983	✓	✓	×
SY-18	Proy. 1983	✓	✓	×

Tabla 12. Listado de los sondeos con registro disponibles.

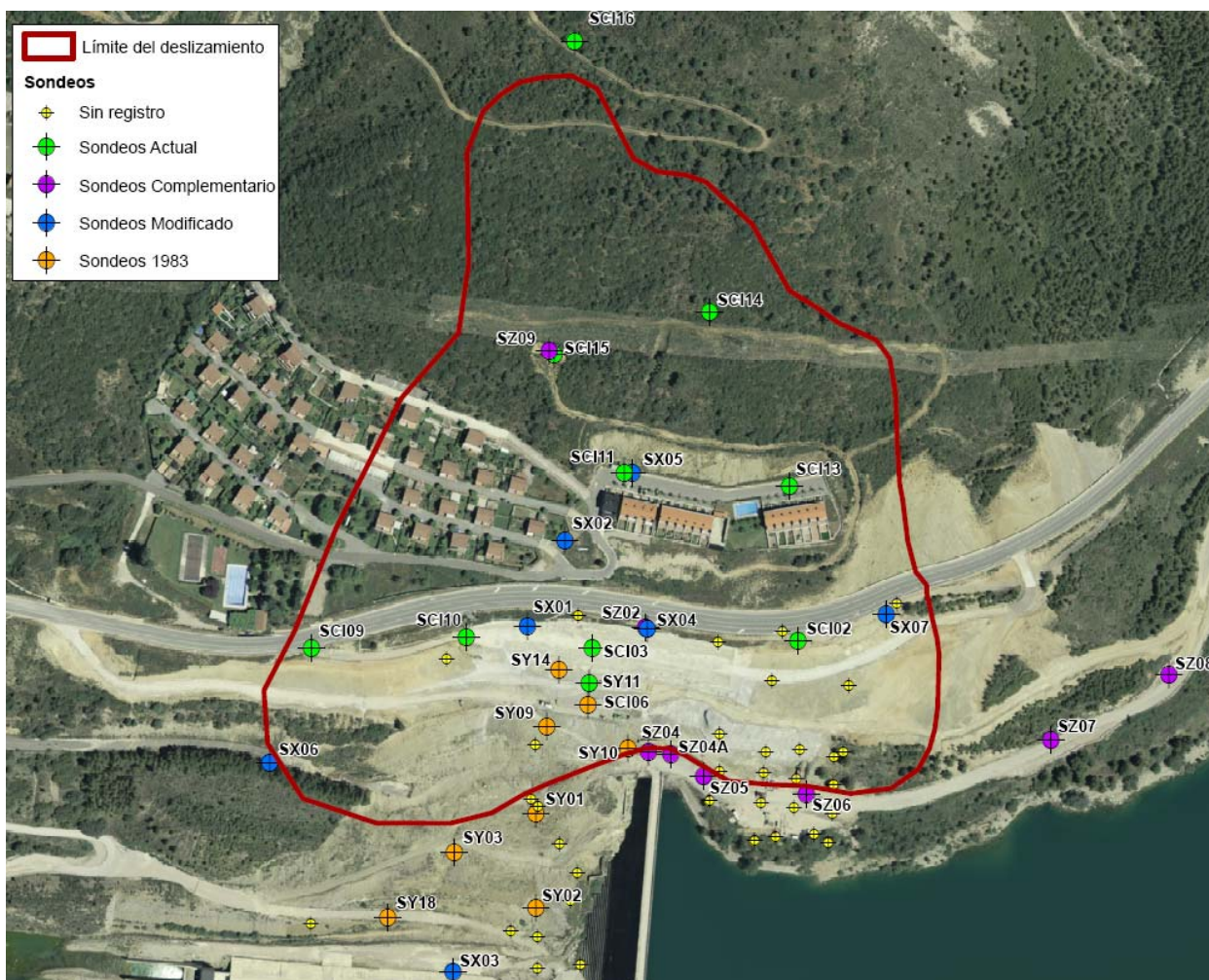


Figura 88. Situación de los sondeos.

- Cortes geológicos: Capa de polilíneas con la situación de los cortes geológicos elaborados. La capa contiene un hipervínculo que abre directamente el pdf correspondiente a cada corte. Metadatos: Código, Autor.
- Cartografía geológica: Se ha incluido en el GIS la nueva cartografía elaborada por TYPESA. Ésta se presenta en formato vectorial simplificado (polígonos con las unidades litológicas), y completa en formato *raster* (imagen georreferenciada que incluye unidades litológicas, tipos de contacto, datos de fracturación etc.).

Se ha añadido también la cartografía geológica del Proyecto Modificado. En este caso se incluyen los polígonos de las unidades litológicas, y un hipervínculo al pdf completo.

Finalmente se ha incorporado la cartografía geológica 1:25.000 disponible en línea en el servidor WMS (World Map Service) de la Infraestructura de Datos Espaciales de Navarra (IDENA).

- **Auscultación:**
 - **Control de Nivelación de la presa:** capa formada por una línea sobre el eje de la presa actual que contiene un hipervínculo al archivo excel con los datos y gráficos de la nivelación de la presa.
 - **Control topográfico Fase 1:** capa de puntos con la situación de los 25 puntos de control topográfico. Metadatos: código del punto y fecha de la lectura inicial. A partir de esta capa y de las tablas de resultados de las campañas de medición facilitadas por la CHE se ha procedido al análisis de los movimientos en superficie que se muestra en el apartado 3.6.1.
 - **Control topográfico Fase 3:** capa de puntos con la situación de los 58 puntos de control topográfico. Metadatos: código del punto y fecha de la lectura inicial. A partir de esta capa y de las tablas de resultados de las campañas de medición facilitadas por la CHE se ha procedido al análisis de los movimientos en superficie que se describe en el apartado 3.6.1.
 - **Inclinómetros:** capa de puntos con la situación de los 23 inclinómetros situados en la ladera derecha. Se incluyen los que están en funcionamiento, inoperativos, en ejecución y previstos. La capa incluye hipervínculos a los archivos de resultados de los inclinómetros. En el capítulo 3.6.2. se describen los metadatos incorporados junto con el análisis inclinométrico realizado.
 - **Piezómetros:** capa de puntos con la situación de los 13 piezómetros situados en la ladera derecha. La capa incluye hipervínculos a los archivos excel con los datos y los gráficos de los piezómetros. En el capítulo 3.6.3. se describen los metadatos incorporados junto con el análisis piezométrico realizado.
 - **Ternas:** capa de puntos con la situación de las 9 ternas. La capa incluye hipervínculos a los archivos Excel con los datos y los gráficos de las ternas.
 - **Grietas:** capa de polilíneas con la situación de las grietas detectadas en la ladera. Se han incluido las grietas detectadas en la zona NE del deslizamiento (8-Mar-2013) y las detectadas en la urbanización Laisatasuna (15-Abr-2013).
 - **Células de carga:** capa de puntos con la situación de las 4 células de carga instaladas en bulones del talud anclado. La capa incluye hipervínculos a los archivos excel con los datos y los gráficos de las células de carga.
- **Cartografía y modelos digitales del terreno:**
 - **Cartografía en formato CAD**
 - **Partiendo de las curvas de nivel y de los puntos con cota de la cartografía CAD, se ha generado el modelo digital del terreno (MDT) en formatos TIN y raster.**
 - **Mapa de sombras y mapa de pendientes:** obtenidos a partir del MDT. Útiles para análisis geomorfológicos.

Se ha incluido la cartografía y los modelos digitales del terreno del año 2000 (previo al inicio de las obras de recrecido y al desvío de la carretera), del año 2012 (previo al inicio de las excavaciones en la parte alta de la ladera), del 8 de mayo de 2013 (fin de la primera fase de excavaciones en la parte alta de la ladera, de aprox. 445.000 m³) y de las excavaciones definitivas en la parte alta de la ladera (versión de mayo de 2013). Disponer de los MDT permite hacer operaciones entre ellos (por ejemplo cálculos de volumen) y facilita la obtención de perfiles del terreno para los cálculos de estabilidad.
- **Superficie de deslizamiento:** obtenida a partir de la interpretación de los datos inclinométricos. Es el resultado del análisis que se realiza en el apartado 3.13.
- **Ortofotos IDENA:**

- Vuelo aéreo del año 1956-1957. Blanco y negro. Escala aproximada 1:10.000 (en línea).
- Ortofoto año 1998-2000. Escala 1:5.000 (en línea).
- Ortofoto año 2003. Escala 1:5.000 (en línea).
- Ortofoto año 2005. Escala 1:5.000 (en línea).
- Ortofoto año 2006. Escala 1:5.000 (en línea).
- Ortofoto año 2008. Escala 1:5.000 (en línea).
- Ortofoto año 2008-2009. Escala 1:1.000 (en línea).
- Ortofoto año 2009. Escala 1:5.000 (en línea).
- Ortofoto año 2010. Escala 1:5.000 (en línea).
- Ortofoto año 2011. Escala 1:5.000 (en línea).
- Ortofoto año 2012. Escala 1:5.000 (en línea).
- Ortofoto año 2012. Escala 1:5.000 (disponible sin conexión). Se ha descargado y georeferenciado la zona de la presa de Yesa del servidor WMS de la IDENA.

3.6. DATOS DE AUSCULTACION DE LA LADERA

3.6.1. Control topográfico

Se dispone de los datos de control topográfico tomados en una serie de puntos distribuidos a lo largo de la ladera derecha de la cerrada para el control de los movimientos superficiales del terreno. Las mediciones son llevadas a cabo por Técnicos de Confederación Hidrográfica del Ebro mediante estación total de alta precisión.

Partiendo de la capa de puntos de control topográfico, se han volcado al GIS los resultados de todas las mediciones realizadas durante la Fase 1 (del 27-Sep-2012 al 7-Feb-2013) y la Fase 3 (del 30-Ene-2013 hasta la actualidad). Estas dos campañas son las que presentan una mejor calidad de datos y una mayor continuidad temporal. En total se dispone de 40 campañas de medida (la última medición utilizada para la redacción del presente informe es la del 25-Abr-2013).

En la Fase 1 se utilizaron 25 puntos de control. En la Fase 3 se están utilizando estos 25 puntos más 33 nuevos. Algunos puntos han ido dejando de ser operativos debido a los trabajos que se están realizando en la ladera, mientras que otros se han ido incorporando progresivamente. Los puntos de la Fase 1 se concentraban en una franja comprendida entre a las cotas 518 y 554 aproximadamente, todos por debajo de la carretera N-240. Los puntos añadidos en la Fase 3 están distribuidos por la ladera cubriendo una mayor superficie de la zona deslizada. En la Figura 89 se muestra la distribución de los puntos de medida de ambas campañas:

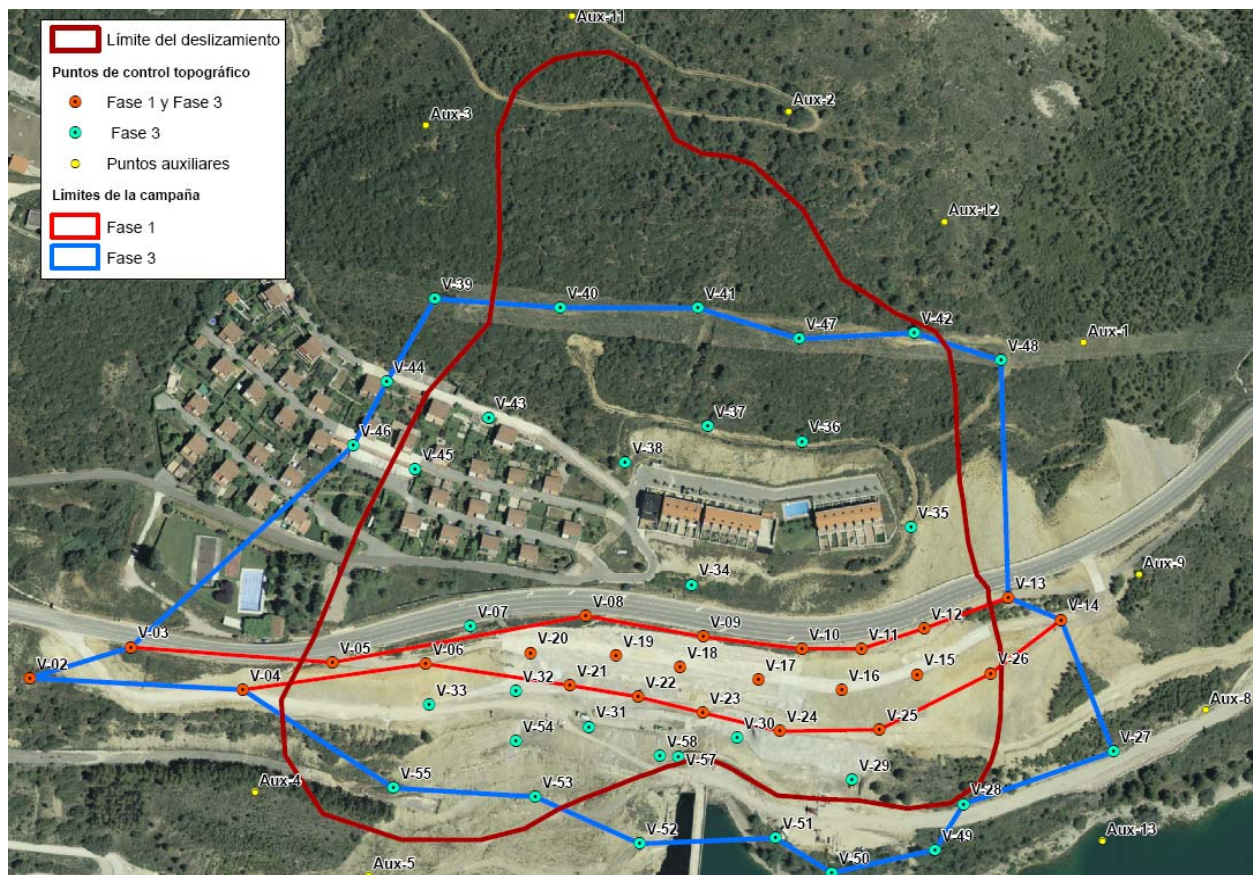


Figura 89. Situación de los puntos de control topográfico.

Una vez volcados los datos al GIS, y utilizando herramientas de interpolación espacial, se han creado *raster* de desplazamiento en las direcciones X, Y, Z (según coordenadas UTM), y desplazamiento total en planta |XY|. El procedimiento ha sido crear *raster* incrementales entre dos fechas de medida consecutivas, y posteriormente, mediante la suma de *raster* incrementales, se ha obtenido los *raster* de desplazamientos totales respecto el inicio de la campaña (21-Sep-2012 en la Fase 1, y 30-Ene-2013 en la Fase 3).

La principal ventaja de representar los desplazamientos respecto la fecha inicial mediante la suma de *raster* de desplazamientos incrementales, es que permite representar correctamente los puntos de control que se han ido añadiendo posteriormente. Este método, además, abre la posibilidad a ir incorporando o eliminando nuevos puntos en el futuro.

Para conseguir cubrir toda la superficie del deslizamiento con la interpolación, se han añadido una serie de puntos auxiliares, situados fuera del contorno del deslizamiento, en los que se ha considerado que el desplazamiento es 0. Por este motivo debe tenerse en cuenta que los resultados obtenidos cerca del límite del deslizamiento son una aproximación. De hecho, los resultados obtenidos por fuera de la línea límites de la campaña que se muestra en la Figura 89, no se deberían tener en consideración por la razón antes apuntada. Esta es una limitación de la metodología utilizada, por lo que para poder delimitar con mayor fiabilidad, el contorno debería disponerse de pares de puntos de control cerca del mismo.

También debe tenerse en cuenta que alguno de los puntos de control no está en funcionamiento desde el inicio de la campaña, sino que ha sido instalado posteriormente, como los puntos V-47 a V-58. Por lo

tanto, en el entorno de estos puntos, el desplazamiento obtenido en los *raster* correspondientes a fechas previas a su instalación es producto de la interpolación, mientras que el desplazamiento obtenido en los *raster* correspondientes a fechas posteriores sí incorpora los datos de estos puntos.

Se han generado un total de 184 *raster* de desplazamiento. Todos ellos están incorporados al GIS, en el apartado de auscultación, dentro de grupo de la campaña correspondiente.

Se ha creado también una capa de vectores de desplazamiento total en planta que permiten ver la dirección de los movimientos. Estos vectores representan el desplazamiento total (respecto la medida inicial de referencia) para cada una de las fechas de medida. La combinación de los *raster* (magnitud de los desplazamientos) con los vectores (dirección de los desplazamientos) da una idea más clara de la cinemática del desplazamiento.

En la figura siguiente se muestra un ejemplo de la representación gráfica de los datos del control topográfico. Los resultados finales y su análisis detallado se presentan en el capítulo 3.11.

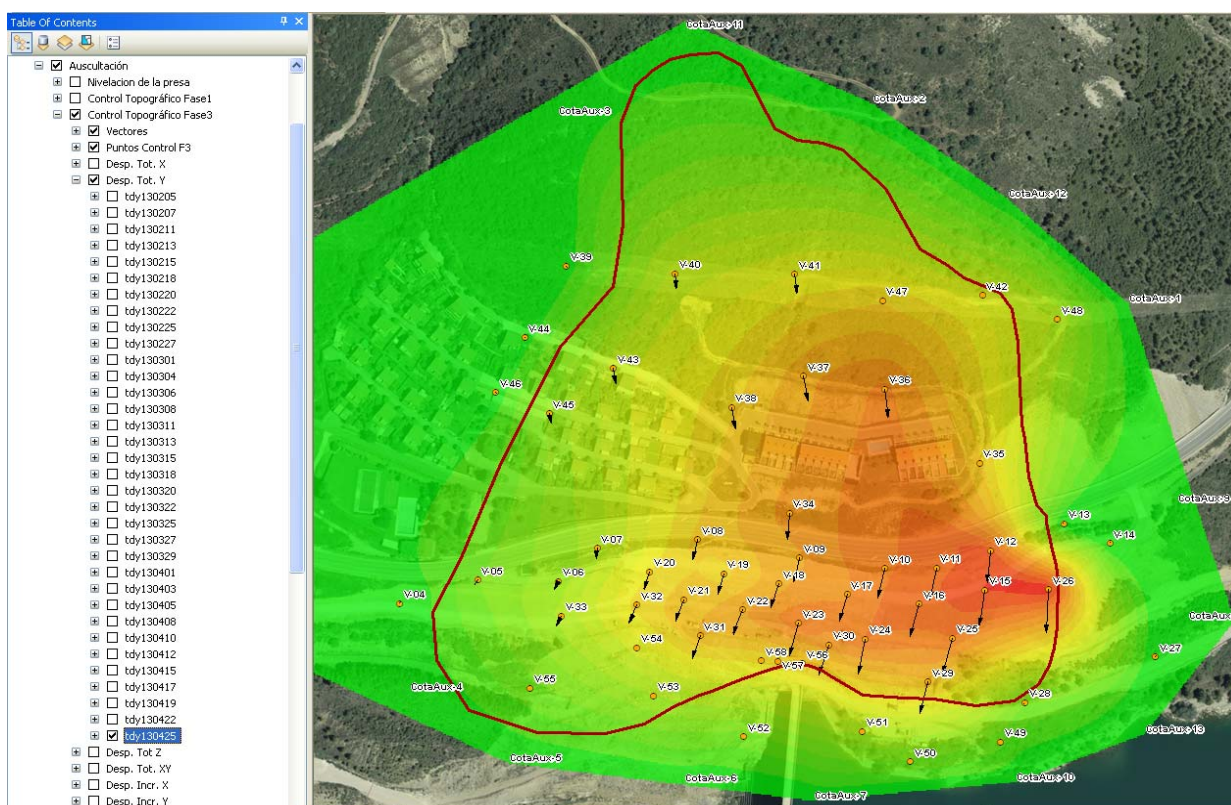


Figura 90. GIS de la ladera de Yesa. Ejemplo de uno de los *raster* generados. Desplazamientos totales en Y entre el 30-Ene-2013 y el 25-Abr-2013, y vectores de desplazamiento.

Con todos los *raster* de desplazamiento generados, el GIS tiene herramientas de visualización que pueden ayudar a la interpretación y a la comprensión de la problemática. Además, se pueden consultar simultáneamente el resto de capas como la cartografía geológica, datos de sondeos, medidas de fracturación etc.

3.6.2. Inclinómetros

En la tabla siguiente se presenta el listado de los inclinómetros disponibles o en previsión de ser instalados en la ladera derecha, junto con los atributos incorporados a la capa de GIS:

Código inclinómetro	Estado	Fecha de instalación	Fecha de rotura*	Cota (msnm)	Profundidad (m)
SCI-01	Previsto	-	-	-	-
SCI-02	No operativo	04/12/2012	27/12/2012	548,1	100
SCI-03	No operativo	22/05/2012	09/10/2012	537,5	80
SCI-04	Previsto	-	-	-	-
SCI-05	Previsto	-	-	-	-
SCI-06	No operativo	11/12/2012	30/01/2013	519,5	95
SCI-07	En ejecución	-	-	-	-
SCI-08	En ejecución	-	-	-	-
SCI-09	Operativo	08/04/2013	-	536,7	150
SCI-10	No operativo	17/01/2013	05/02/2013	539,0	134
SCI-11	No operativo	13/08/2012	20/11/2012	563,1	48,5
SCI-12	Operativo	26/04/2013	-	559,6	115
SCI-13	No operativo	10/12/2012	23/01/2013	563,7	80
SCI-14	No operativo	11/12/2012	30/01/2013	613,5	84
SCI-15	No operativo	11/02/2013	18/02/2013	591,5	102
SCI-16	No operativo	05/02/2013	05/03/2013	672,5	58
SZ-01A	No operativo	18/07/2011	20/02/2013	552,4	60
SZ-02	No operativo	26/03/2009	20/02/2013	553,1	-
SZ-03A	No operativo	18/07/2011	06/11/2012	542,8	85
SZ-05	No operativo	12/02/2009	11/03/2013	491,4	36
SZ-06	No operativo	10/12/2010	21/02/2013	493,1	23
SZ-07	No operativo	12/02/2009	02/08/2012	498,1	19,5
SZ-08	No operativo	08/03/2011	21/02/2013	499,7	25

* Fecha en la que se pudo hacer la última lectura.

Tabla 13. Listado de los inclinómetros.



Figura 91. Situación de los inclinómetros.

Con los datos de los inclinómetros incorporados al GIS, se puede delimitar la superficie de deslizamiento. El resultado de este proceso se puede ver en el apartado 3.13.

Otro trabajo llevado a cabo ha sido una reinterpretación de los datos en bruto de los inclinómetros. Hasta ahora la representación de estos datos se había hecho automáticamente con el software *Inclinalysis* de la empresa RST.

De forma esquemática, el procedimiento para representar los datos de un inclinómetro es el siguiente:

- Lectura inicial de referencia: el día de instalación se hacen dos mediciones, cada una con doble lectura A^+A^- y B^+B^- . Por lo tanto se dispone de cuatro lecturas para cada uno de los ejes. La lectura inicial de referencia es el promedio entre estas cuatro lecturas, lo que permite suavizar errores. En la interpretación hecha con *Inclinalysis* no se hizo el promedio entre las dos lecturas iniciales, perdiendo así precisión. Este aspecto no influye en inclinómetros en los que la precisión es buena, pero sí puede tener influencia en inclinómetros con menor precisión.
- Desplazamiento incremental: se obtiene de la diferencia entre el promedio de lecturas positivas y negativas (A^+A^- y B^+B^-), y la lectura inicial de referencia.
- Desplazamiento acumulado: en cada punto del inclinómetro, es el desplazamiento incremental en ese punto más la suma de todos los desplazamientos incrementales producidos a cota inferior.

Un aspecto importante es que la sonda tiene 0,5 m de longitud. Si la medición se hace cada metro de sondeo, tanto el desplazamiento incremental como el desplazamiento acumulado deben multiplicarse por dos. *Inclinanalysis* detecta en el archivo de datos del inclinómetro si la medición se hizo cada metro o cada medio metro, y aplica esta corrección al desplazamiento acumulado, pero no aplica esta corrección al desplazamiento incremental. Esto puede confundir y llevar a una interpretación errónea de los resultados, sobre todo si se analiza la magnitud de los desplazamientos o su velocidad a partir de los gráficos de desplazamiento incremental. En la mayoría de inclinómetros de la ladera derecha de Yesa la medición se hizo cada metro.

Esta corrección puede no ser realista en caso de roturas muy localizadas, en las que los desplazamientos se producen en una franja estrecha de terreno. Para evitar interpretaciones erróneas, lo ideal es realizar mediciones cada 0,5 m.

- **Error:** se obtiene de la suma de las lecturas positiva y negativa. Idealmente esta suma debería ser 0. Sin embargo puede haber errores de medida (error de la sonda, deterioro de la tubería, entrada de arena etc.) o errores de calibración de la sonda. Como se verá más adelante, los errores de calibración son los más importantes, ya que distorsionan los gráficos de desplazamiento acumulado. La magnitud del error puede condicionar esta metodología, pudiéndose adaptar a cada caso concreto.

En todo caso estas apreciaciones, que se refieren a las magnitudes de los desplazamientos, no afecta a la profundidad de los planos en los que se observan roturas o superficies de discontinuidad, por lo que las consideraciones o el análisis de estabilidad que se incluye en el presente informe no está desvirtuado por el aspecto comentado con relación a la interpretación de las lecturas en inclinómetros.

En el capítulo 3.12.2. se analizan los resultados de la reinterpretación, y en el Apéndice 4 se muestran los resultados originales de *Inclinanalysis*.

3.6.3. Piezómetros

Se dispone de las lecturas de nivel piezométrico que proporcionan los 9 piezómetros operativos que, a lo largo de las diferentes campañas, se han ido instalando en la ladera. Las lecturas se toman con una periodicidad semanal, con excepción de los piezómetros SZ-2A y SZ-9, que es mensual.

Los piezómetros existentes o previstos en la ladera derecha, junto con los atributos de la capa GIS, son los siguientes:

Código piezómetro	Estado	Fecha primera lectura disponible	Fecha última lectura disponible	Cota (msnm)	Profundidad (m)	Cota Máx. NF (m)	Cota Mín. NF (m)
SX-1	Operativo	11/04/2007	23/02/2011	546,0	132,5	459,7	449,3
SX-2	Operativo	04/05/2007	04/02/2013	556,3	126,0	466,5	455,6
SX-5	Operativo	16/08/2007	04/02/2013	563,0	110,7	475,0	472,7
SX-6	Operativo	12/09/2007	04/02/2013	490,6	91,3	454,6	447,4
SX-7	Operativo	23/10/2007	04/02/2013	542,9	89,8	480,1	469,6
SZ-2A	Operativo	21/11/2008	07/05/2012	553,2	130,0	456,4	448,7
SZ-4	No Operativo	-	-	-	-	-	-
SZ-4A	No Operativo	-	-	-	-	-	-
SZ-9	Operativo	21/11/2008	04/02/2013	591,0	97,2	535,7	510,3
S-B	Operativo	31/05/2006	04/02/2013	491,0	91,0	487,3	465,0
SCP-1	Operativo	28/01/2013	04/02/2013	538,7	97,2	464,2	464,2
SCP-2	Previsto	-	-	-	-	-	-
SCP-3	Previsto	-	-	-	-	-	-

Tabla 14. Listado de los piezómetros.



Figura 92. Situación de los piezómetros.

De manera análoga al caso de los inclinómetros, al disponer de la capa de puntos y de la tabla de atributos en GIS, se puede representar una superficie de nivel freático, aunque se requiere disponer de los datos de los piezómetros en ejecución para su elaboración.

3.7. MODELOS DE ESTABILIDAD MEDIANTE EQUILIBRIO LÍMITE

3.7.1. Introducción

Se ha procedido a estudiar distintas hipótesis de comportamiento de la ladera mediante el uso de modelos bidimensionales de equilibrio límite.

Para ello se han empleado dos estudios complementarios mediante el uso de dos programas: SLOPE/W de Geostudio 2007 v 7.13. y SLIDE 6.0 de Rocscience Inc..

Ambas aplicaciones informáticas comparten las mismas bases teóricas y tiene diferencias propias de los desarrollos de algoritmos empleados en cada caso, permitiendo el análisis de distintas hipótesis y comprobaciones con múltiples métodos de cálculo. Cada uno de ellos realiza una serie de consideraciones y resuelve sistemas en el equilibrio en fuerzas y/o momentos.

Entre los métodos considerados cabe señalar los siguientes:

- Método ordinario
- Método de Bishop
- Método de Janbu
- Método de Morgenstern-Price

Las diferencias en las consideraciones para el cálculo de cada uno de ellos se resumen en la siguiente tabla:

Método	Equilibrio Fuerzas en Dirección del deslizamiento	Equilibrio Fuerzas ortogonales	Equilibrio de momentos
Ordinario	SI	NO	SI
Bishop	SI	NO	SI
Janbu	SI	SI	NO
Morgenstern-Price	SI	SI	SI

Tabla 15. Sistemas de equilibrio resueltos por distintos métodos

Las hipótesis que cada método considera, en la interacción entre rebanadas, pueden ser resumidas según sigue:

Método	Hipótesis adoptadas en las fuerzas entre rebanadas
Ordinario	Las fuerzas entre rebanadas son ignoradas
Bishop	Las fuerzas resultantes entre rebanadas son horizontales (no hay esfuerzos cortantes)
Janbu	Las fuerzas entre rebanadas son horizontales y se relacionan con un factor de corrección empírico
Morgenstern-Price	Las fuerzas entre rebanadas siguen una dirección arbitraria. Los equilibrios entre fuerzas y momentos siguen una función definida.

Tabla 16. Hipótesis de la interacción entre rebanadas para cada método de cálculo

En los cálculos realizados se ha representado el factor de seguridad del equilibrio de momentos del método de Morgenstern-Price, por considerarse más completo, y se ha incluido el resultado de todos los demás, en cada salida para que se puedan observar las diferencias que se producen en función del método de cálculo elegido.

Para el análisis se consideran modelos constitutivos tanto de tipo lineal (Mohr Coulomb) como no lineal (Hoek-Brown) según se describe en los siguientes apartados

Cada uno de los dos estudios de estabilidad mediante el método de equilibrio límite, que se presentan a continuación, constituyen dos enfoques independientes y complementarios para disponer de una visión más completa sobre la problemática objeto de análisis.

3.7.2. Estudio de estabilidad mediante el programa SLIDE 6.0

3.7.2.1. Planteamiento del análisis. Análisis retrospectivo.

Durante la cuarta semana del mes de abril de 2013, los movimientos registrados en la ladera, correspondientes al control topográfico que se está llevando a cabo, fueron del orden de magnitud del error de medida de los aparatos, por lo que se puede considerar que el deslizamiento que afecta a la ladera estaba en ese momento detenido. En consecuencia, se podría asumir, del lado de la seguridad, una situación de equilibrio estricto, con un factor de seguridad F.S.= 1. La excavación realizada hasta ese momento era de unos 390.000 m³.

El análisis retrospectivo (back analysis) es usado comúnmente en la ingeniería geotécnica para estimar la resistencia in situ del suelo. Esta resistencia se representa generalmente por los parámetros de resistencia al corte en tensiones efectivas de Mohr-Coulomb, cohesión c y ángulo de fricción interna ϕ . Dentro de las variables más difíciles de estimar es la presión de poro o la ubicación del nivel freático en el momento de la rotura.

El análisis retrospectivo asume un factor de seguridad igual a la unidad y considera la geometría original en el momento de la rotura o, como en este caso, de la detención del movimiento. Posteriormente, se estima la resistencia al corte del suelo movilizada con un modelo 2D realizado con un método seleccionado (Morgenstern-Price, Spencer, Janbu, Bishop, etc.) para un FS=1. Estudios han demostrado

que usando un método que considere todas las condiciones de equilibrio ($\Sigma F=0$, $\Sigma M=0$) se obtiene un factor de seguridad que varía en $\pm 5\%$ (Tang, 1999).

La utilidad del análisis retrospectivo radica en la incertidumbre que se origina como consecuencia de llevar a cabo los análisis de estabilidad utilizando los parámetros de resistencia al corte del suelo c y ϕ obtenidos de ensayos de laboratorio.

Esto debido a que las propiedades in situ del suelo pueden variar de las obtenidas en las muestras, debido entre otros a la manipulación de éstas y a la anisotropía del suelo. El análisis retrospectivo de taludes es una herramienta poderosa para estimar la resistencia al corte movilizada en taludes que han sufrido rotura.

3.7.2.2. Perfil de cálculo

Como ya se ha comentado, el movimiento se puede considerar detenido en el momento actual, por lo que el perfil a estudiar corresponde a la topografía del día 18 de abril de 2013, última disponible. La realización de los cálculos se ha llevado a cabo mediante el programa Slide 6.0 (Rocscience Inc.).

El perfil de cálculo corresponde al eje 2, situado entre el eje de la presa actual y el eje de la presa recrecida, en fecha 18 de abril de 2013. Se ha tomado este perfil como referencia ya que en principio es el más desfavorable desde el punto de vista de la estabilidad de la ladera. No obstante, y a modo de comparación, se extiende el cálculo a los perfiles 1 a 6.

La disposición estratigráfica y estructural de los materiales adoptados, se corresponden con los realizados por Unidad de Control y Vigilancia YESA-UTE.

Tal como se ha comentado anteriormente, el modelo de cálculo del factor de seguridad empleado es el de Morgenstein-Price. La rotura se ha supuesto no circular.

3.7.2.3. Parámetros considerados

Existe información geotécnica referente a los parámetros geotécnicos de los materiales que constituyen tanto la Fm. Margas de Pamplona, como el Flysch de Yesa en los anejos 4 (La Refaya), 14 (Toma Canal de Bardenas) y 15 (deslizamiento Monte Mérida) del Modificado nº13.

En estos documentos, la dispersión existente en los valores de los parámetros c y ϕ del Flysch de Yesa es muy grande, de tal forma que se hace necesaria la determinación de estos parámetros con cierto rigor, habida cuenta de que, además, los resultados de los ensayos de laboratorio realizados sobre muestras inalteradas o remoldeadas, no responde a la realidad del comportamiento observado en los materiales.

Los parámetros de cálculo que se consideran en el caso de las Margas de Pamplona y los depósitos coluviales reconocidos en la ladera, son los que se recogen a continuación:

- Margas de Pamplona:

- Comportamiento tipo Hoek-Brown
- UCS (roca intacta): 35.000 kPa
- m : 0,195
- s : 0,000345
- $R_u= 0$.

Estos parámetros han sido obtenidos mediante RocLab (Rocscience, Inc.) a partir de los resultados de ensayos de campo y laboratorio recopilados de la información proporcionada.

-Coluvial

- Comportamiento tipo Mohr-Coulomb.
- Densidad: 20 KN/m³
- Cohesión: 0,01 kPa
- Ángulo de rozamiento: 18°
- Ru = 0,15.

Estos valores, han sido estimados en base a la experiencia en materiales similares.

- Flysch de Yesa

En lo que se refiere a los parámetros geotécnicos a considerar en el Flysch de Yesa, se ha llevado a cabo un análisis estadístico para su determinación, que se recoge a continuación.

3.7.2.3.1 Análisis estadístico

– *Análisis de sensibilidad*

Cualquier parámetro puede ser definido, además de por una variable aleatoria (para un análisis probabilístico), como una variable para estudio de sensibilidad. La metodología es la siguiente:

- para uno o varios parámetros se puede especificar un rango de valores, con un valor mínimo y uno máximo.
- Se realiza el cálculo del mínimo factor de seguridad correspondiente, variando cada uno de los parámetros dentro del rango establecido, manteniendo constantes, y en el valor medio, el resto de parámetros.

Esto permite determinar el grado de sensibilidad del factor de seguridad frente a los cambios del parámetro considerado. En efecto, una curva pronunciada indica que el factor de seguridad es sensible al valor del parámetro considerado, mientras que una curva relativamente plana es indicativa de que el factor de seguridad no es sensible a las variaciones de dicho parámetro.

De este modo, el análisis de sensibilidad permite identificar los parámetros más críticos para la estabilidad. De igual modo, permite determinar el valor de un parámetro que cumple la condición FS=1.

Se ha llevado a cabo este análisis para el perfil de cálculo correspondiente al eje 02. El rango de valores adoptado es el que se recoge en la siguiente tabla:

Property	Distribution	Mean	Std. Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Cohesion	Normal	0,01	1	0	0,02
Phi	Normal	18,5	1	3,5	3,5
Ru Coefficient	Normal	0,25	1	0,25	0,25
Unit Weight	Normal	22	1	2	2

Tabla 17. Rango de valores considerados para el análisis de sensibilidad

Los resultados obtenidos se muestran en el siguiente gráfico

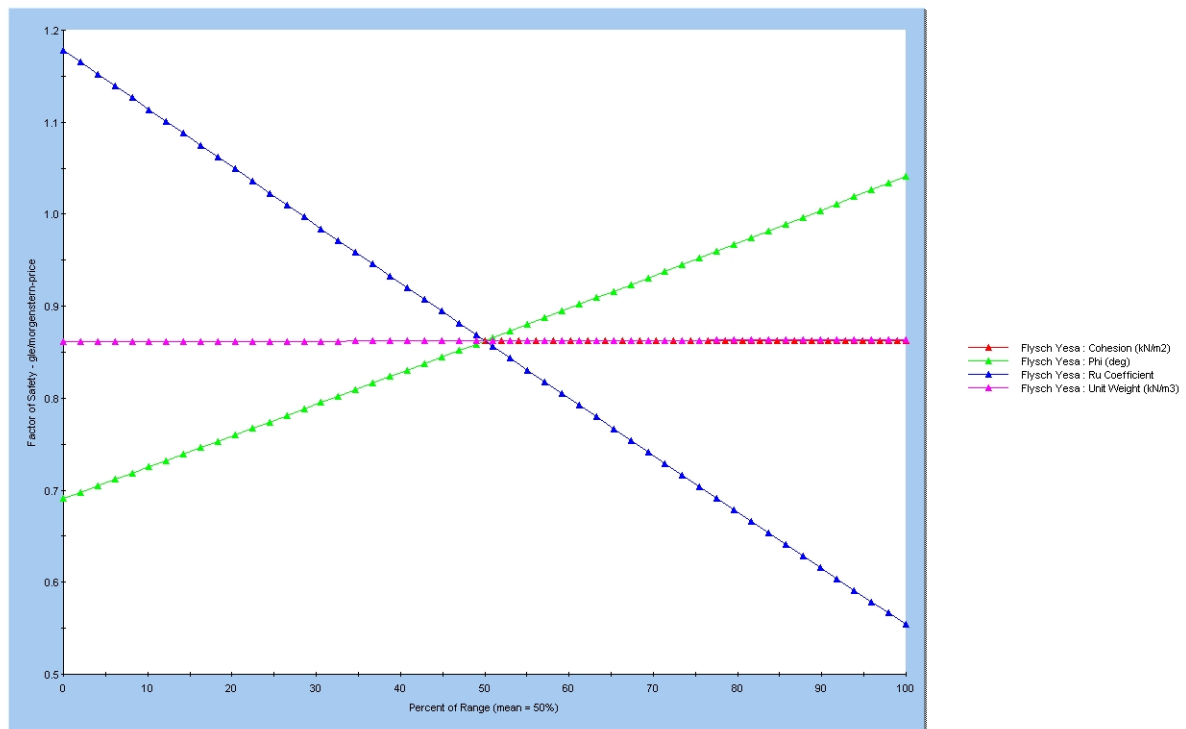


Figura 93. Análisis de sensibilidad.

Debe tenerse en cuenta que, al representar varias variables, el valor representado en el eje x muestra el rango en términos de porcentaje, de manera que el porcentaje del rango =0 representa el valor mínimo de cada variable, mientras que el valor de porcentaje de rango = 100, representa el valor máximo. Además, todas las curvas se cortan en el valor de porcentaje de rango = 50, que se corresponde con el valor medio de todas las variables consideradas.

Como puede observarse, el factor de seguridad mínimo es poco sensible a las variaciones en la cohesión y densidad del material, no siendo así en el caso del ángulo de rozamiento y el parámetro Ru, siendo mayor en lo que respecta a este último.

En este sentido, en lo que se refiere a la cohesión, teniendo en cuenta que el movimiento parece corresponder a un paleodeslizamiento reactivado, al menos parcialmente, se ha considerado en los cálculos posteriores, que este parámetro vale 0. Además, las evidencias en campo de fenómenos de tipo *sliken slides* en el macizo, vendrían a confirmar la adopción de cohesión cero.

En cuanto a la densidad del material, se ha considerado que ésta es de 22 kN/m³.

– Análisis probabilista

Asumiendo que existe incertidumbre tanto en el valor del parámetro ϕ , como Ru, se puede utilizar el análisis probabilístico para determinar la relación entre Ru y ϕ para distintos resultados del factor de

seguridad. Este análisis supone que existen un número infinito de soluciones (es decir, pares de valores $Ru-\phi$) para el problema.

Para ello, se emplea el método de cálculo de Montecarlo. La simulación de Montecarlo es una técnica cuantitativa que hace uso de la estadística y de los ordenadores para imitar, mediante modelos matemáticos, el comportamiento aleatorio de sistemas reales no dinámicos (por lo general, cuando se trata de sistemas cuyo estado va cambiando con el tiempo, se recurre, bien a la simulación de eventos discretos o bien a la simulación de sistemas continuos).

Siguiendo esta metodología, en la gráfica que se muestra a continuación, se resaltan los pares de valores de Ru y ángulo de rozamiento que cumplen la condición $0,99 < F.S. < 1,01$.

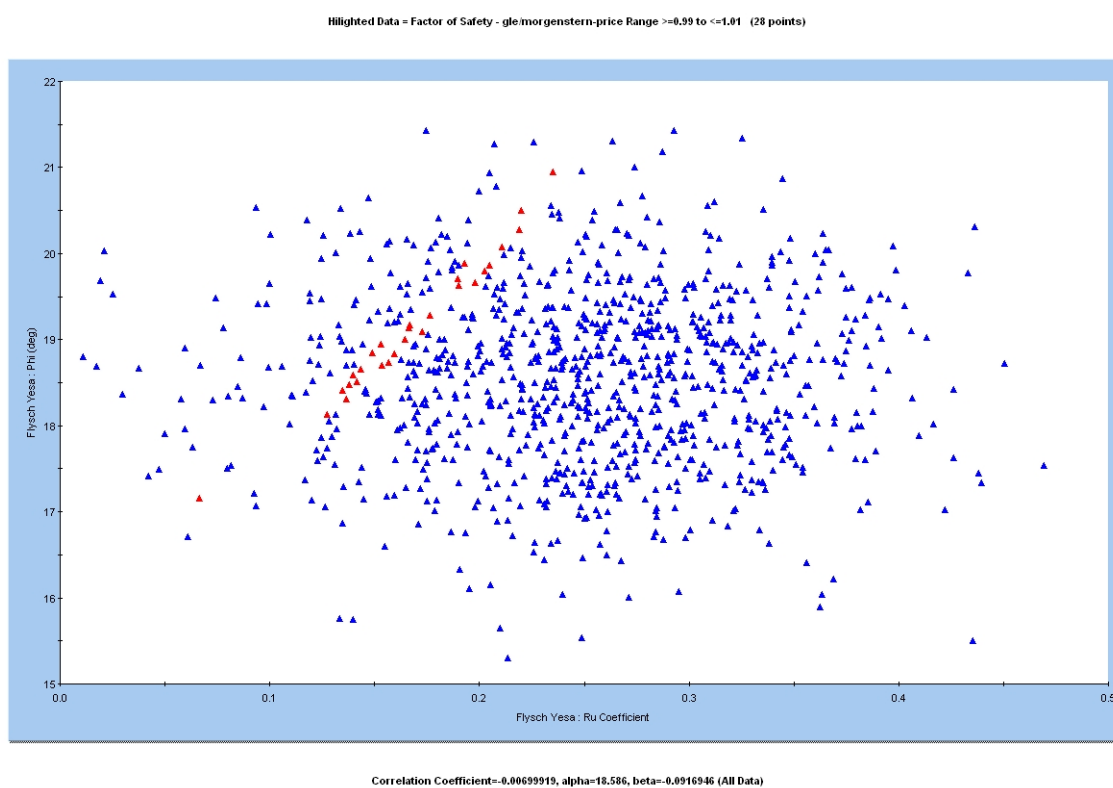


Figura 94. Pares de valores phi-Ru para FS=1

De acuerdo con estos resultados, el valor de Ru que cumple $FS=1$, para un valor medio de ángulo de rozamiento de $f= 18,5^\circ$, está comprendido entre 0,125 y 0,22, mientras que para un valor medio de Ru de 0.25, el ángulo de rozamiento que cumple la condición $FS=1$ oscila entre 18° y $20,5^\circ$.

Además, como es obvio, el coeficiente de correlación entre ambos parámetros es muy bajo, próximo a 0.

Utilizando el método de cálculo probabilista de Montecarlo y considerando una distribución de valores normal (o de campana), se muestra a continuación la distribución probable de valores para el ángulo de rozamiento interno:

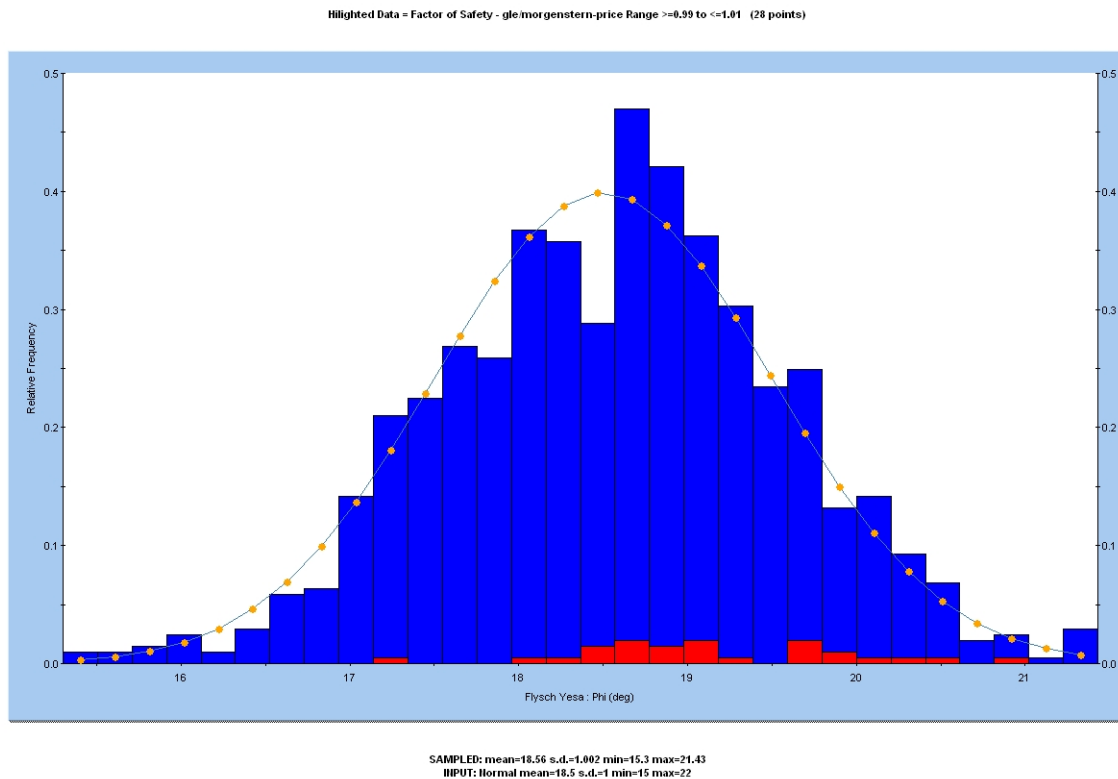


Figura 95. Histograma de frecuencias para el ángulo de rozamiento

Como puede verse, para una distribución de valores comprendida entre 15° y 22° del ángulo de rozamiento, la frecuencia de valores en el cálculo de estabilidad es mayor para los valores comprendidos entre 18,6° y 19,2°.

En rojo se muestran la frecuencia de valores de factor de seguridad comprendidos entre 0,99 y 1,01 que se obtienen para cada uno de los valores de ϕ tomados. Se puede comprobar que, los valores del ángulo de rozamiento interno que dan como resultado un factor de seguridad en torno a FS=1, oscilan en el mismo rango, de tal forma que la adopción de un valor de 19° que se ha venido haciendo, se muestra acertada.

Por otro lado, se ha comprobado que el grado de correlación entre el ángulo de rozamiento interno y el factor de seguridad es bajo, con coeficiente de correlación=0,46.

En lo que respecta al valor del parámetro Ru, se tiene que:

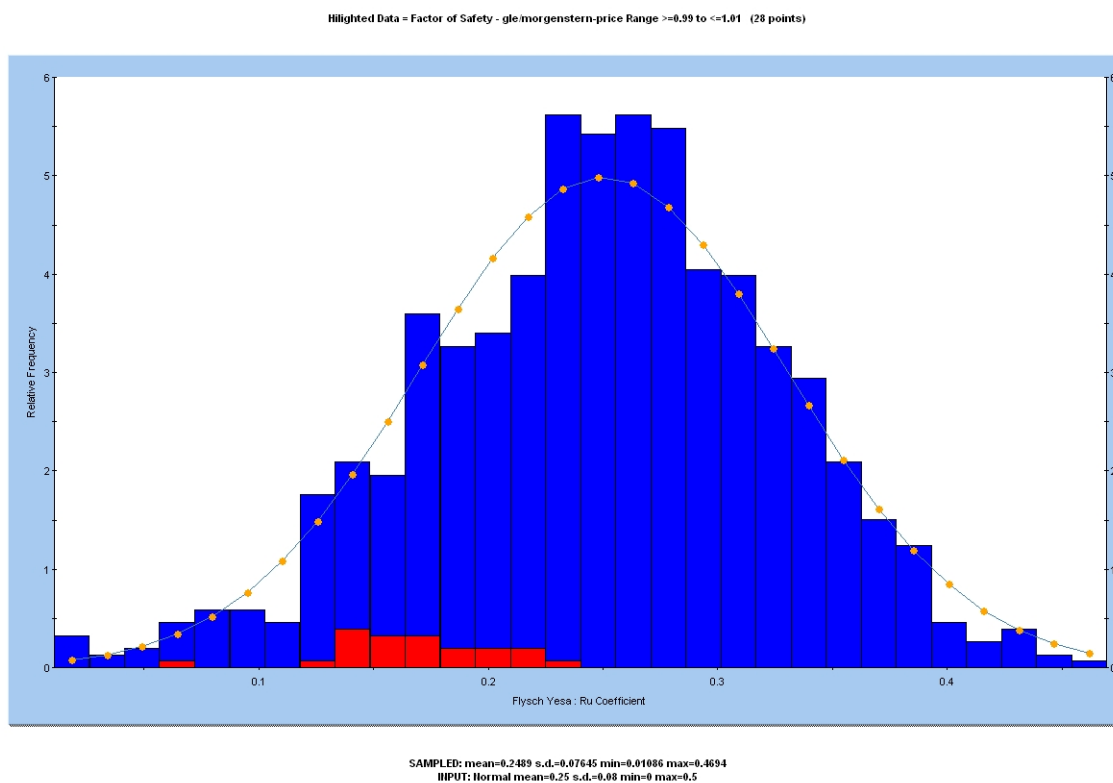


Figura 96. Histograma de frecuencias para Ru

De acuerdo con los resultados obtenidos, los valores de Ru que con mayor frecuencia cumplen con la condición $0,99 < F.S. < 1,01$, (para un valor medio de $\phi = 18,5^\circ$) oscilan entre 0,130 y 0,180, si bien los valores que con mayor frecuencia se presentan, con las condiciones definidas y para cualquier resultado de factor de seguridad son sensiblemente mayores (entre 0,225 y 0,285), con resultados de factor de seguridad $FS < 1$. Esto último guarda relación con el grado de sensibilidad que presenta el factor de seguridad frente a la variación de este parámetro.

En este mismo sentido, se ha comprobado que el grado de correlación entre el parámetro Ru y el factor de seguridad es de 0,88, existiendo por tanto una buena correlación entre ambos.

A modo ilustrativo, se adjunta a continuación una gráfica que muestra la frecuencia de aparición de factores de seguridad $FS < 1$, del conjunto de resultados que componen el análisis con los rangos de valores de ϕ y Ru adoptados.

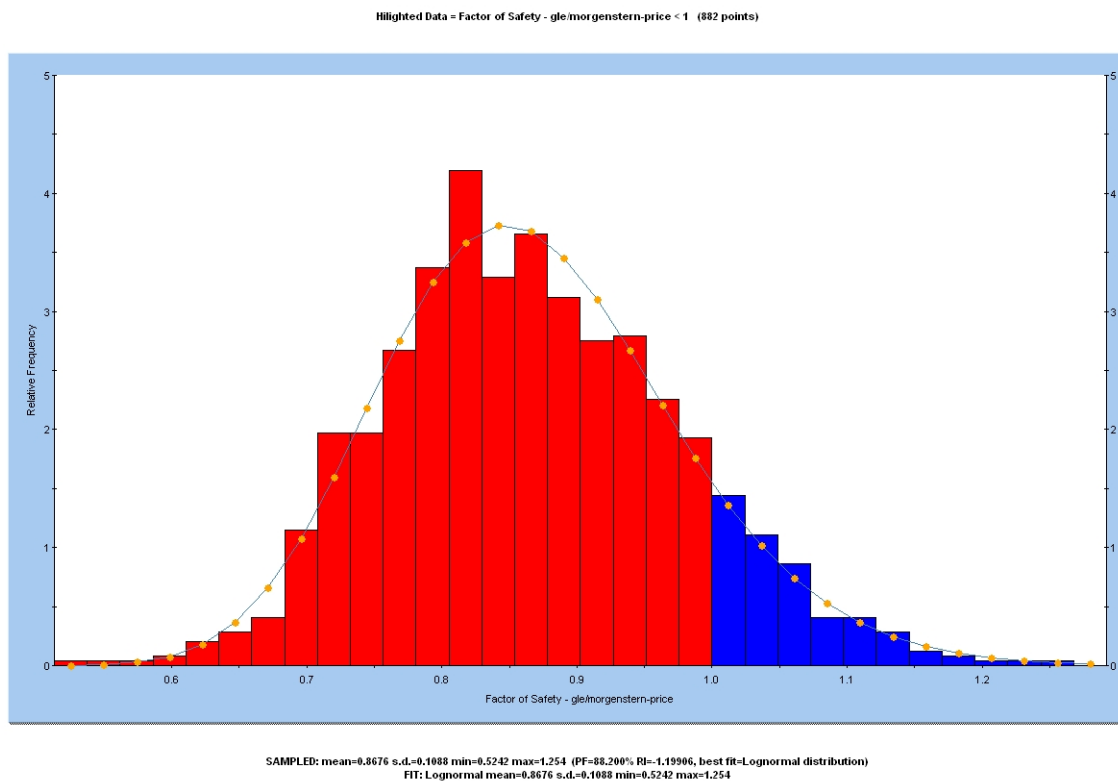


Figura 97. Histograma de frecuencias para el Factor de Seguridad

– **Análisis retrospectivo (back-analysis)**

Una vez determinados los rangos de frecuencia de valores de ambos parámetros y teniendo en cuenta que el rango de variación en el parámetro ϕ es mucho menor, se adopta el valor de $\phi = 18,8^\circ$ y se determina el valor de R_u que cumple con la condición $FS=1$. Este valor, deberá estar comprendido en el rango anteriormente determinado.

En efecto, tomando como parámetros de cálculo $c=0$, $\phi = 18,8^\circ$, el parámetro R_u que cumple la condición $FS=1$ toma el valor de 0,154:

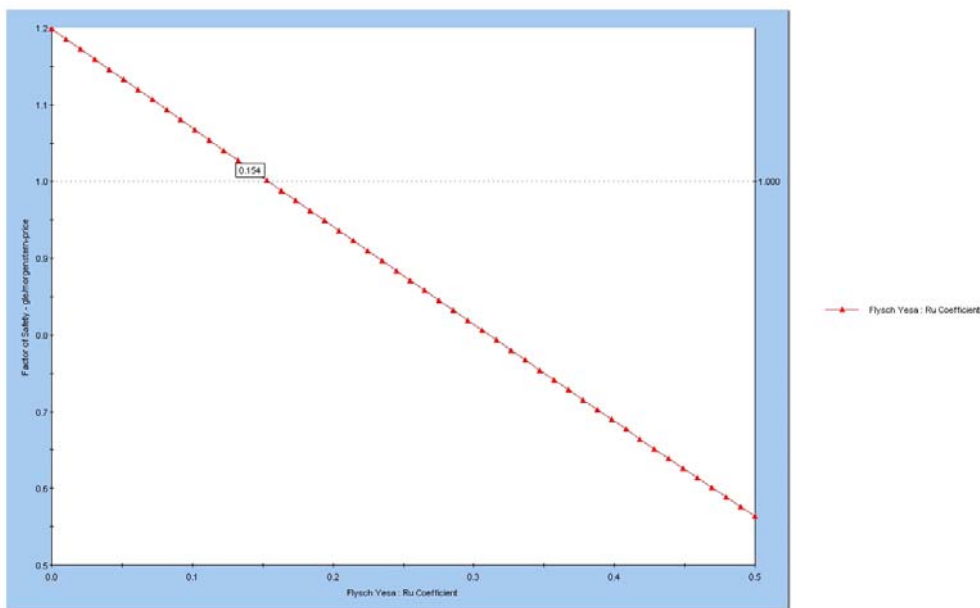


Figura 98. Análisis de sensibilidad para Ru

A continuación, se comprueba empleando estos valores a la geometría del día 18 de abril de 2013:

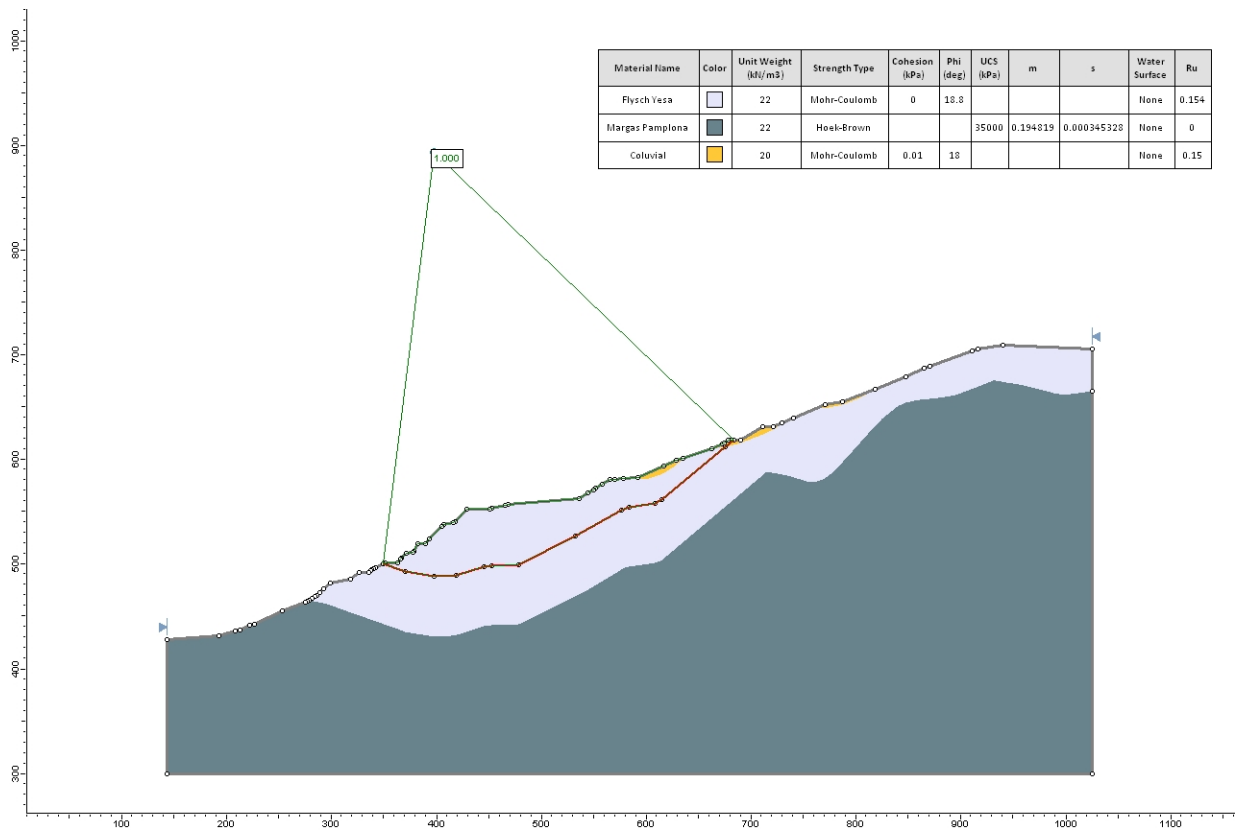


Figura 99. Modelo de Análisis retrospectivo FS=1

Debe tenerse en cuenta no obstante, que el modelo no deja de ser una aproximación a la realidad por los motivos anteriormente expuestos: simplificación a un modelo 2D, empleo de modelos de equilibrio límite que no recoge aspectos tensodeformacionales, así como la determinación probabilística del parámetro Ru.

En este sentido, el valor del parámetro Ru ha sido obtenido para el día 18 de abril, momento en el que se considera que el factor de seguridad alcanzó el valor FS=1. Sin embargo, este parámetro es variable con el tiempo, dependiendo únicamente, en este caso, de la precipitación.

3.7.2.4. Factores de influencia considerados en el análisis de equilibrio

La situación, previa a la incorporación de las medidas de excavación que ya se están llevando a cabo, en la que se encontraba la ladera con el inicio de las primeras excavaciones para su suavizado es denominada de equilibrio estricto, ya que el cociente entre las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras, se asume como la unidad. En ese estado, cualquier variación que suponga un incremento en las fuerzas desestabilizadoras, puede de nuevo poner en movimiento la masa deslizada.

Si no se considera el perfil suavizado con las excavaciones el incremento de las fuerzas desestabilizadoras puede venir de la mano de un movimiento sísmico o de unas intensas precipitaciones, ambas con una probabilidad de ocurrencia dependiente de su periodo de retorno.

3.7.2.4.1 Sismicidad

Siguiendo las recomendaciones de la Dirección de Obra, se han tomado los siguientes valores de aceleración sísmica para los periodos de retorno de 500, 1.000 y 5.000 años.

Periodo de Retorno	a_b	a_c	Fh	Fv
500	0,04 g	0.054 g	0.027 g	0.019 g
1.000	0,053 g	0.072 g	0.036 g	0.025 g
5.000	0.100 g	0.135 g	0.067 g	0,047 g

Tabla 18. Aceleraciones sísmicas y periodos de retorno

Tomando estos valores, y con el perfil de cálculo correspondiente al eje 02 en la situación de abril de 2013, se obtienen los siguientes resultados:

Periodo de Retorno	Factor de seguridad
500	0,922
1.000	0,907
5.000	0,838

Tabla 19. Periodos de retorno y FS

3.7.2.4.2 Precipitaciones

Se ha podido comprobar, mediante la auscultación instalada en la ladera, que las precipitaciones que tuvieron lugar entre los meses de enero y febrero de 2012, aceleraron el movimiento de la ladera, por lo que parece clara la relación causa-efecto entre la presencia de agua en la ladera y el aumento de la inestabilidad de la misma.

En general, los efectos del agua en taludes y laderas siempre son perjudiciales, afectando a la estabilidad de diversas formas. En el caso que nos ocupa, los efectos de entrada de agua en el interior de la ladera producen los siguientes efectos:

- Aumento del peso de la masa susceptible de deslizar/ deslizada.
- Aumento de las presiones intersticiales del terreno con la consiguiente disminución de la resistencia al esfuerzo cortante en el plano de deslizamiento.
- Empujes hidrostáticos en el contacto entre los paquetes de margas (impermeables) y los de arenisca (permeables por fracturación).
- Otros efectos de difícil valoración, tanto de tipo físico como químico, que pueden dar lugar a una notable resistencia al corte del material.

En este sentido, cabe señalar que el valor de R_u obtenido en este análisis corresponde a la situación considerada como $FS=1$, a fecha 18 de abril de 2013. Sin embargo, este valor no deja de ser una simplificación del comportamiento real del agua en la ladera.

En efecto, la alternancia de niveles permeables por fracturación (areniscas) e impermeables (margas) condiciona el comportamiento del agua en la ladera, de tal forma que el agua de precipitación penetra en el terreno a través de las fracturas de los paquetes de areniscas y de aquellos de margas cuyo espesor y penetratividad de la fracturación lo permita, hasta alcanzar un nivel suficientemente impermeable. En estos contactos marga-arenisca, se producen fenómenos de subpresión, así como fenómenos de alteración físico-química del material, favoreciendo la disminución de la resistencia al corte y disminuyendo, por tanto, el factor de seguridad.

Este mecanismo, puesto en evidencia por la presencia de rezumes de agua en diferentes puntos de la ladera es el que gobierna el funcionamiento del agua en la ladera y, en gran medida, su estabilidad. No obstante, la modelización de este mecanismo es muy difícil, sino imposible mediante cálculos de equilibrio límite, por lo que se trabaja con el parámetro R_u como aproximación a la realidad.

El valor del parámetro R_u , definido como la relación entre la presión intersticial en un punto y la presión total en dicho punto, está sujeto a variación temporal, dependiendo de la cantidad de agua en ladera como consecuencia de la recarga debida a las precipitaciones.

A modo ilustrativo, se ha asimilado el valor de R_u obtenido para $FS=1$ (0,15) a un nivel de agua en la masa deslizada, con el siguiente procedimiento:

1. El valor de R_u , supone un incremento en las tensiones efectivas a lo largo del plano de rotura que se muestran en la siguiente gráfica:

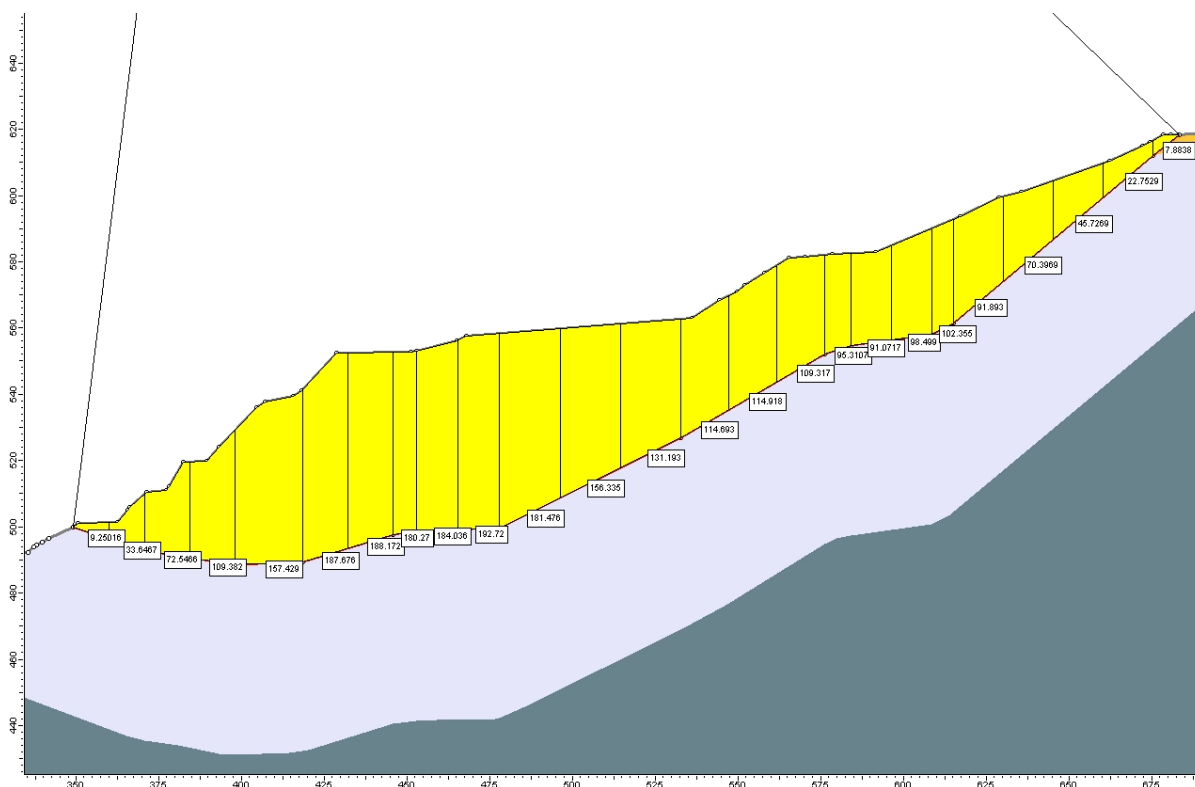


Figura 100. Presiones de poro a lo largo del plano de deslizamiento

2. Transformando las unidades de presión (kPa) en altura de lámina de agua equivalente, a lo largo del plano de rotura, se puede dibujar una superficie piezométrica equivalente, que correspondería la situación de presión intersticial el día 18 de abril de 2013.

3. Llevando a cabo de nuevo el análisis de estabilidad con estas presiones de poro, se comprueba que, efectivamente, el factor de seguridad es, para la situación de 18 de abril de 2013, F.S.=1,006.

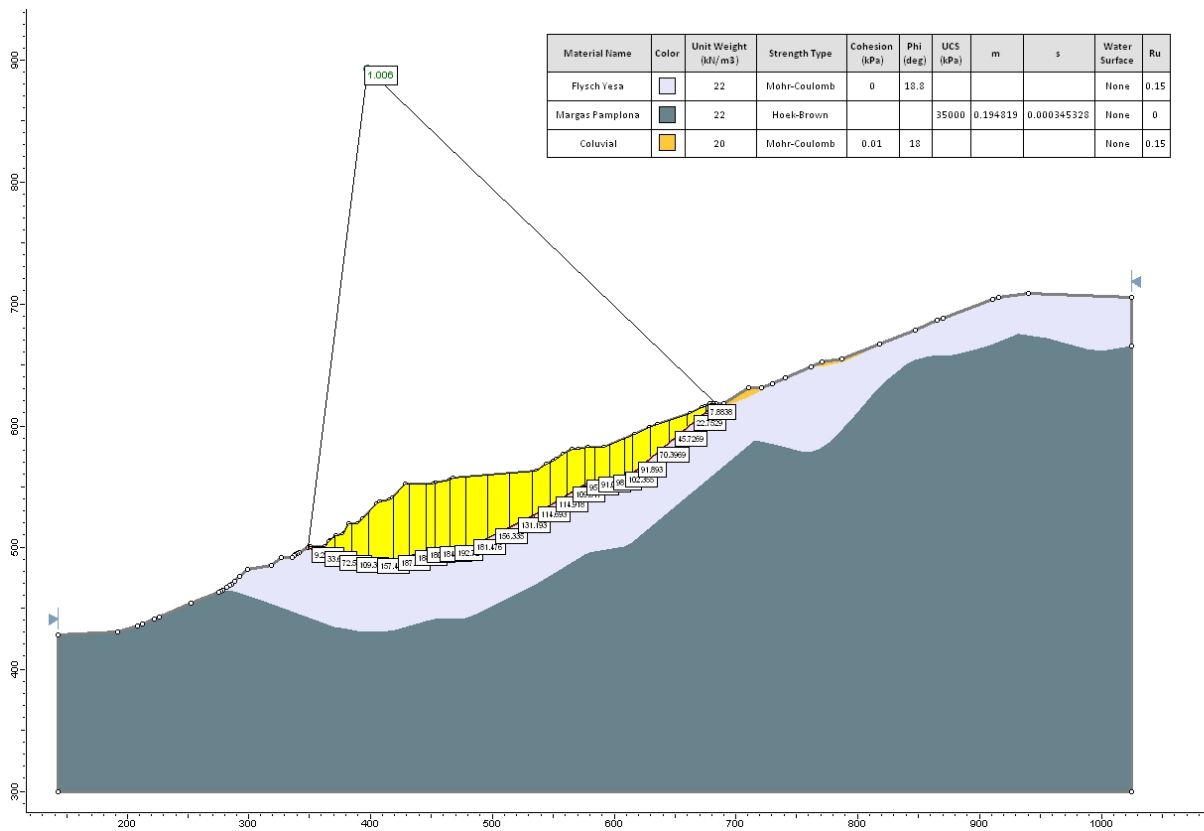


Figura 101. Factor de seguridad para la presión de poro equivalente a $R_u = 0,15$.

Teniendo en cuenta los siguientes parámetros de permeabilidad recogidos en el estudio hidrogeológico realizado por la empresa Zeta Amaltea para el Proyecto Modificado:

Material	Permeabilidad máxima (dirección N-S)	Permeabilidad mínima (dirección z)
Flysch Yesa	$9,5 \cdot 10^{-5}$ m/s	$1,1 \cdot 10^{-6}$ m/s
Margas Pamplona	$1 \cdot 10^{-8}$ m/s	$1 \cdot 10^{-8}$ m/s

Tabla 20. Parámetros calibrados de permeabilidad

Introduciendo en el programa estos parámetros de permeabilidad, se puede apreciar la línea de agua equivalente a este R_u y observar las líneas de flujo del agua de acuerdo con los parámetros de permeabilidad del macizo, según se observa en la siguiente figura

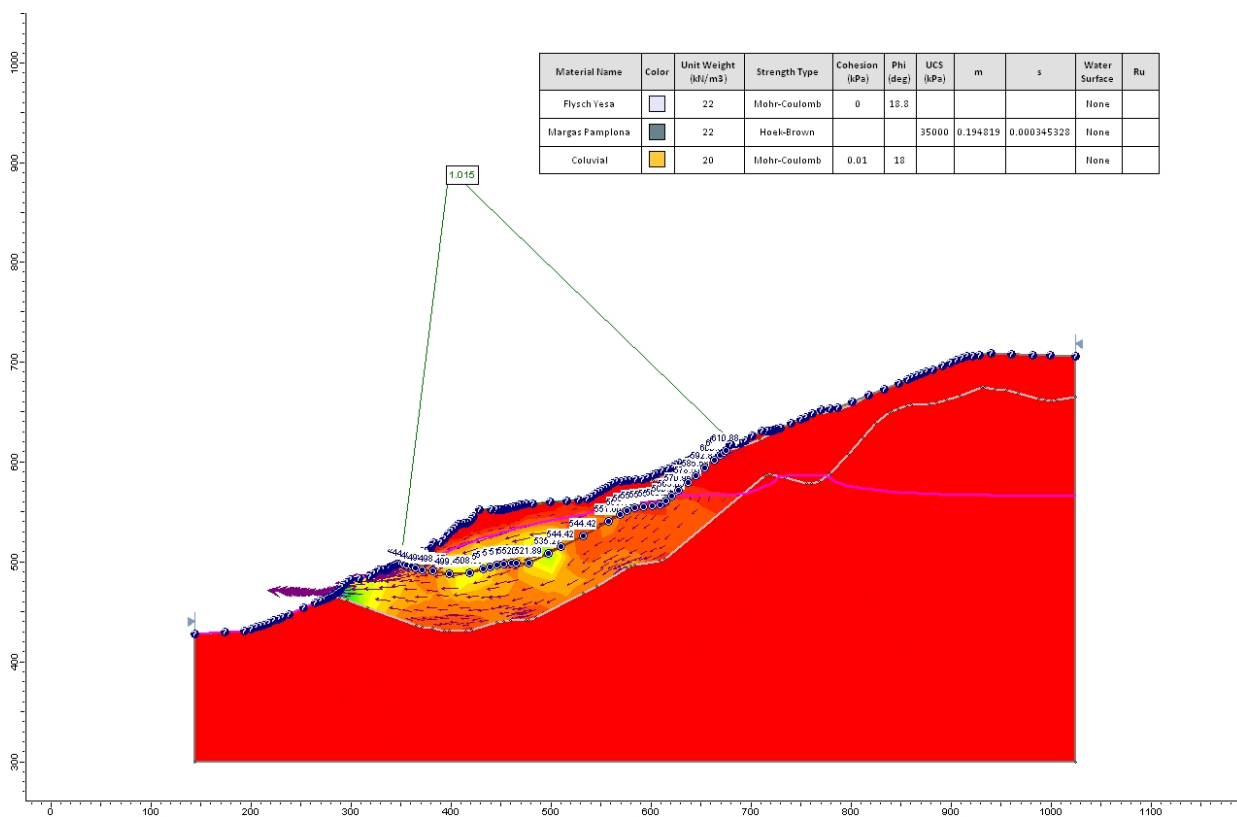


Figura 102. Factor de seguridad para presión de poro equivalente a $Ru=0,15$

En la figura anterior podemos observar cómo la línea de agua equivalente a $Ru=0,15$ alcanza una cota máxima de 560 m, pudiendo identificarse, en la zona baja de la ladera rezumes de agua, como los observados en campo.

Debe tenerse en cuenta que, como se ha dicho anteriormente, este modelo es una simplificación de la realidad, ya que en este análisis se considera que el material, si bien presenta anisotropía en cuanto a la permeabilidad, se considera homogéneo en cuanto a su comportamiento geotécnico.

Este análisis se ha llevado a cabo para un estadio estacionario, comprobándose, para el estado transitorio, que el nivel de agua, como es lógico, busca su equilibrio situándose a una cota máxima del orden de 515 m, en lo que sería el núcleo del sinclinal, tal como se ha constatado mediante el control piezométrico.

Por otro lado, se ha llevado a cabo el cálculo del factor de seguridad para diferentes valores de Ru (considerando en este caso un valor máximo de 0,25) y tomando como perfil de cálculo el eje 2, con los siguientes resultados:

Ru	Factor de seguridad
0	1,198
0,05	1,135
0,10	1,07
0,20	0,941
0,25	0,877

Tabla 21. Factor de seguridad FS con relación al parámetro de saturación Ru

Los parámetros utilizados en el flysch son, $c = 0$ kPa y $\phi = 18,8^\circ$.

Las salidas gráficas de estos cálculos pueden consultarse en los apéndices al final de este informe.

De acuerdo con estos resultados, una variación de 0,05 puntos en el valor de Ru por debajo de 0,15, supone una variación de factor de seguridad del 5%, mientras que esta variación puede alcanzar el 7% en el intervalo de Ru entre 0,10 y 0,25.

Queda por tanto patente que resulta esencial reducir el volumen de agua que se infiltra en la ladera, con objeto de minimizar la afección del efecto desestabilizador que produce.

3.7.2.5. Análisis de medidas de estabilización en curso

Se analiza, mediante el programa Slide el factor de seguridad resultante de las medidas que se están adoptando por parte de la CHE para mejorar las condiciones de estabilidad de la ladera.

En primer lugar se ha realizado un cálculo del factor de seguridad, partiendo de los valores de los parámetros geotécnicos definidos en el capítulo anterior, para una excavación de suavizado del talud de la ladera de un volumen del orden de $1.500.000 \text{ m}^3$.

En este caso, el factor de seguridad obtenido, para el perfil del eje 02, es de 1,16, según se muestra en la siguiente figura.

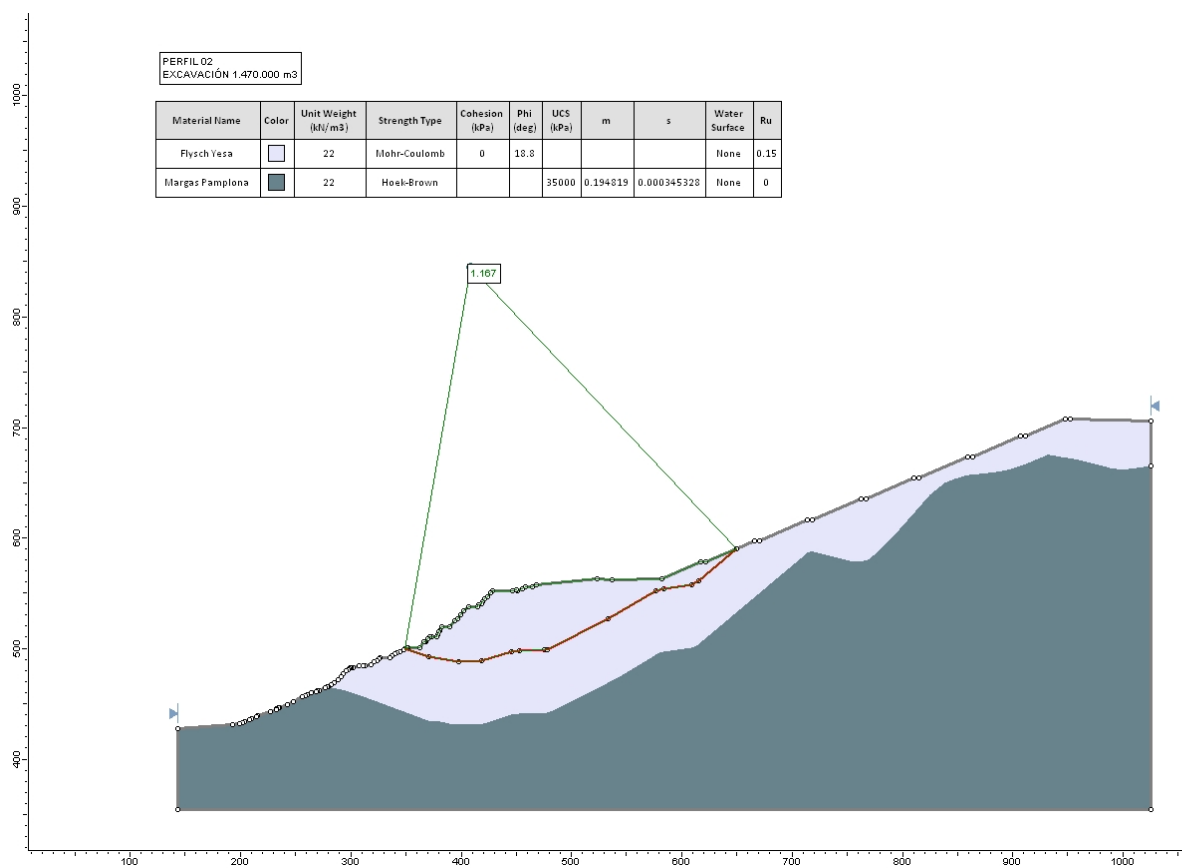


Figura 103. Factor de seguridad para la excavación de, aproximadamente, 1.500.000 m³ en el perfil 02.

Como puede observarse, el factor de seguridad pasa, de FS= 1, con la excavación de 390.000 m³ que se lleva ejecutada a fecha 18 de abril, a un FS=1,16, con la excavación final prevista.

En el caso del perfil del eje 03, se obtiene un factor de seguridad de FS= 1,19

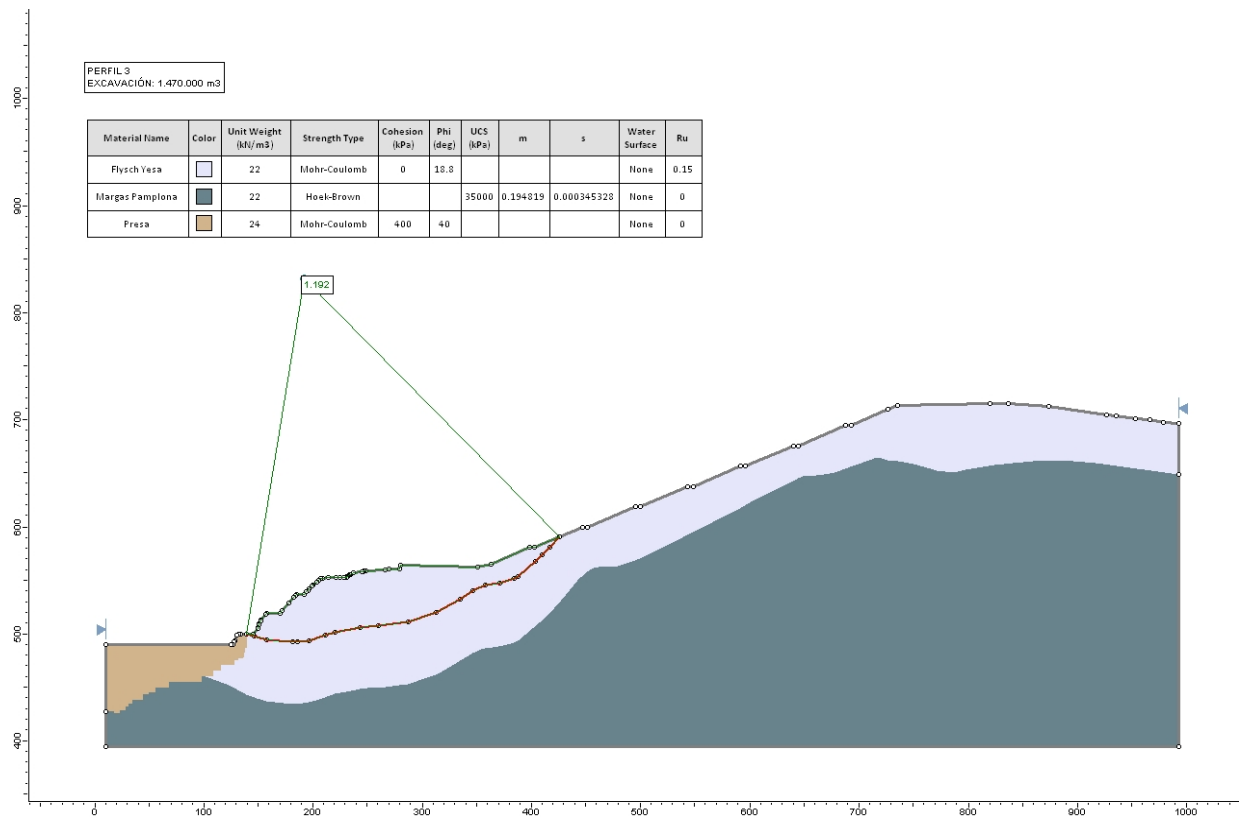


Figura 104. Factor de seguridad para la excavación, de aproximadamente 1.500.000 m³, en el perfil 03.

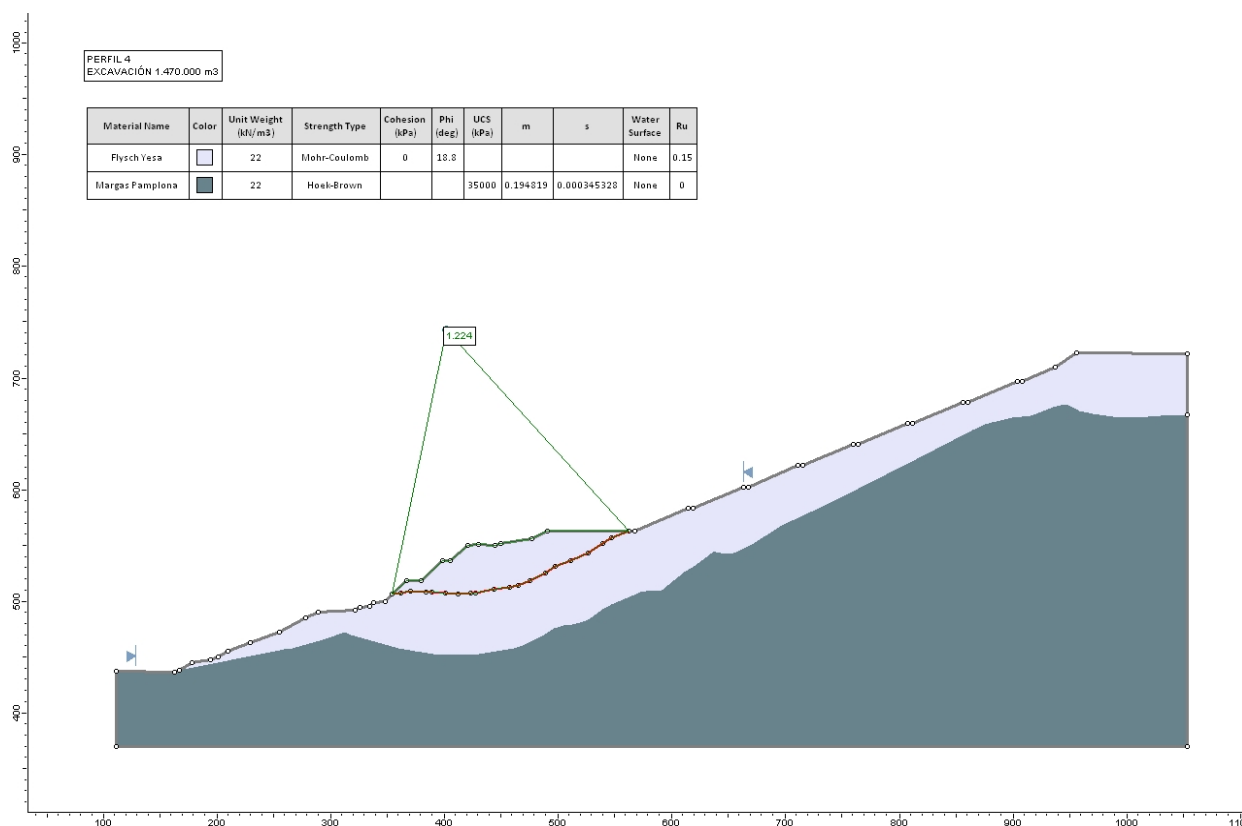


Figura 105. Factor de seguridad para la excavación de aproximadamente 1.500.000 m³ en el perfil 04.

Con esta misma geometría, se ha estudiado el factor de seguridad para el perfil del eje 02 considerando el efecto sísmico, con los siguientes resultados:

Periodo de Retorno	Factor de seguridad
500	1,061
1.000	1,029
5.000	0,834

Tabla 22. Factor de seguridad FS con relación al efecto sísmico

Los parámetros correspondientes a la aceleración sísmica son los indicados con anterioridad.

Por último, se ha realizado un cálculo del factor de seguridad resultante de una excavación del orden de 1.500.000 m³ y la construcción de muros-jardinera al pie. Dado que los muros no alcanzan hasta el eje 02, el cálculo se realiza para el eje 03, situado entre la presa actual y la presa en construcción.

En este caso, el factor de seguridad obtenido es próximo a FS= 1,28

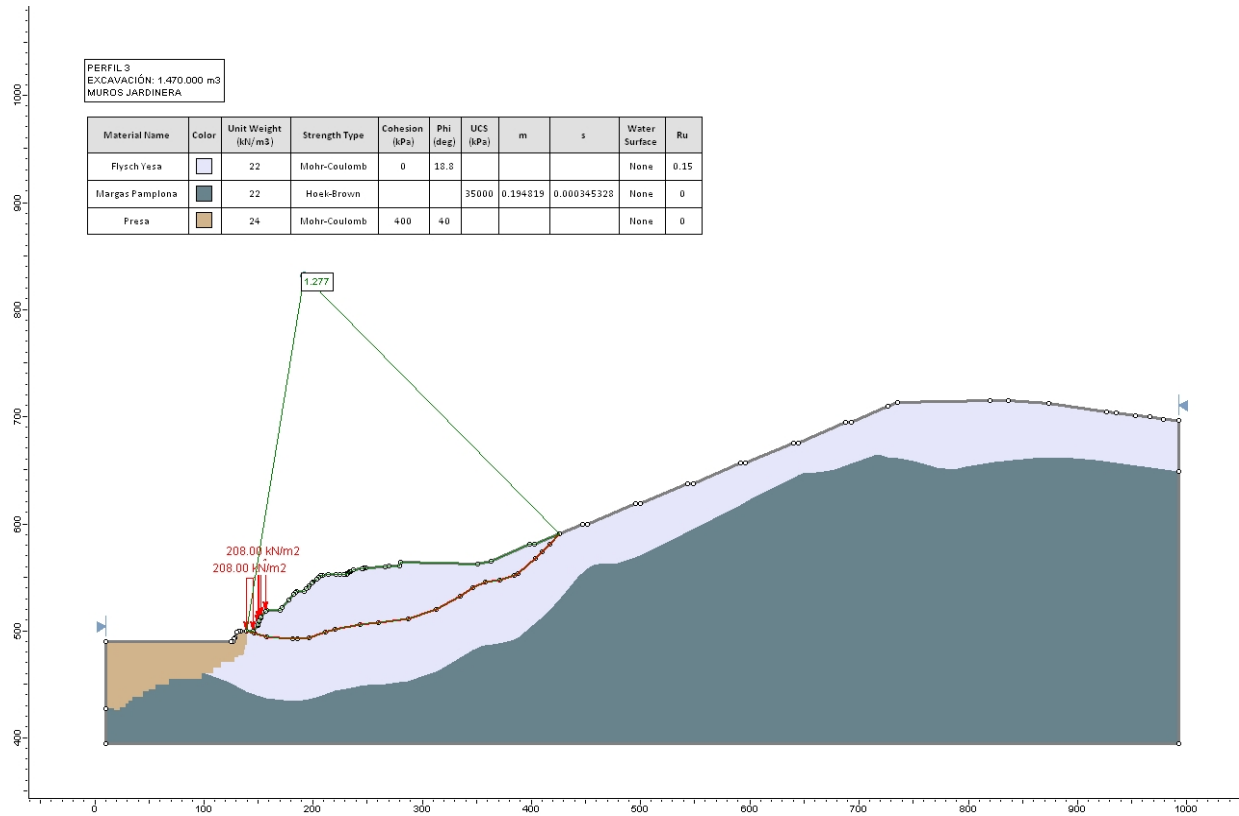


Figura 106. Factor de seguridad para el perfil del eje 03, con excavación de aproximadamente 1.500.000 m³ y muros jardinera

Las gráficas correspondientes a estos cálculos se recogen en los apéndices al final del documento.

3.7.3. Estudio de estabilidad mediante el programa SLOPE/W V7

3.7.3.1. Parámetros considerados para el terreno

De acuerdo con la información disponible, en la zona han sido registrados varios tipos de material entre los que se destaca el sustrato terciario de Margas de Pamplona y el llamado Flysch de Yesa (también de Edad Terciaria) que es una alternancia turbidítica en la que se registran estratos de predominancia areniscosa con intercalaciones de margas con otros estratos de predominancia margosa con intercalaciones areniscosas.

Dichas capas turbidíticas no presentan continuidad lateral ni espesores constantes lo que, unido a la tectonización y diaclasado configura un entorno complejo **para** modelizar y parametrizar.

El análisis se centra en comprobaciones de superficies de rotura a través del sustrato por lo que no se consideran los suelos coluviales y rellenos y vertidos en superficie.

Por otra parte, existe un nivel freático de base que estaría fuertemente influenciado por las aguas del embalse. Sin embargo, hay evidencias de que las facies flyschoides acumulan agua que transmiten con mayor o menor dificultad en función de la permeabilidad del sistema de la facies areniscosa o margosa predominante y de la red de diaclasado o estratificación.

Una de las conclusiones, adelantada en este punto, sería poder calibrar el agua que queda en las alternancias turbidíticas del Flysch de Yesa, mediante dispositivos adecuados (piezómetros cerrados ejecutados en ese nivel).

Se considera que el agua ejerce un papel determinante en la estabilidad, según los siguientes aspectos:

- Incremento de peso (desestabilizador) por incremento de densidad (aumento de humedad).
- Reducción de resistencia efectiva por incremento de presiones intersticiales.
- Generación de empujes hidrostáticos en juntas y planos subparalelos de contacto entre paquetes de diferente permeabilidad.
- Modificación de las propiedades resistentes del terreno (reblandecimientos) por efectos físico-químicos (disolución de sales, cambios iónicos) en particular en los niveles de predominio de suelos finos margosos formando nuevos planos de debilidad, y además con carácter cíclico dependiendo de los ciclos de humectación y desecación.
- Erosiones y arrastres de suelos finos, generando superficies de especial debilidad.

En cualquier caso los materiales principales implicados en el deslizamiento parecen ser los correspondientes al Flysch de Yesa.

Estos materiales han sido tradicionalmente tratados, englobados de forma conjunta, en los documentos antecedentes, lo que es plausible dada la dificultad de discernir qué parte presenta una mayor componente margosa y en cuál predomina el comportamiento areniscoso.

De acuerdo con dichos documentos, a modo de recordatorio, los parámetros que se han venido considerando son los siguientes.

En la Nota nº 19 realizada por la empresa Ingeniería del Suelo SL se parametriza el flysch con los valores que se muestran en la siguiente tabla.

γ	c	φ
22 kN/m ³	1,95 t/m ²	35°

Tabla 23. Parámetros del Flysch de Yesa. Nota nº 19 Ingeniería del Suelo

En la Nota nº 20 de la empresa Ingeniería del Suelo SL estos valores son rebajados sensiblemente a los siguientes.

γ	c	φ
22 kN/m ³	0 t/m ²	19°

Tabla 24. Parámetros del Flysch de Yesa. Nota nº 20 Ingeniería del Suelo

Estos documentos pueden considerarse los más recientes entre los antecedentes facilitados a TYPSA.

Entre la información del Proyecto Modificado pueden encontrarse nuevas referencias.

En el propio texto del anejo geotécnico se hace una interpretación de los parámetros de Mohr-Coulomb a partir de los resultados de ensayos en roca y con las consideraciones de Hoek y Brown.

Se llega a la conclusión de que los parámetros resistentes en el flysch podrían ser:

c	φ
0,33 MPa	12,7°

Tabla 25. Parámetros del Flysch de Yesa. Proyecto Modificado

En dicho Proyecto, los ensayos realizados sobre discontinuidades de roca son finalmente rebajados a:

c	φ
0 MPa	30°

Tabla 26. Parámetros en discontinuidades de roca Flysch de Yesa. Proyecto Modificado

Igualmente, se puede consultar en el Apéndice 4 del Proyecto Modificado, en el que se aborda el deslizamiento de la Refaya, en el que son estimados los siguientes parámetros para los mismos materiales tipo flysch.

c	φ
0 MPa	25°

Tabla 27. Parámetros del Flysch de Yesa. Deslizamiento de la Refaya

El Apéndice 14 del P. Modificado incluye un estudio de la empresa Iberinsa para la toma del canal de las Bardenas en el que se repiten los mismos parámetros.

c	φ
0 MPa	25°

Tabla 28. Parámetros del Flysch de Yesa. Toma Canal de Bardenas. Iberinsa

En el Apéndice 14 del Proyecto Modificado, la empresa Ingeniería del Suelo SL establece que los parámetros de cálculo para la reparación del deslizamiento de Monte Mélida deben ser considerados según sigue:

c	φ
2,7 t/m ²	18°

Tabla 29. Parámetros del Flysch de Yesa. Deslizamiento Monte Mélida. (Ingeniería del Suelo SL)

En la reparación del deslizamiento de Monte Mélida si que se llegaron a realizar ensayos, incluso se parametrizaron las condiciones residuales de los materiales, cifradas según se refleja en la tabla siguiente:

c_r	φ_r
0 t/m ²	16°

Tabla 30. Parámetros residuales del Flysch de Yesa. Deslizamiento Monte Mélida. (Ingeniería del Suelo SL)

La dificultad de la toma de muestras y de la realización de este tipo de ensayos en estos materiales limita la disponibilidad de ensayos de laboratorio.

Según las últimas versiones de evaluación de la inestabilidad, son los parámetros establecidos en la Nota nº 20 de la empresa Ingeniería del Suelo los que se consideran más representativos.

Los procedimientos estadísticos habituales vienen a utilizar el concepto de valor característico asociado a cuantiles que sólo dejan fuera entre el 5 y el 10% de los valores, por lo que presentan una fiabilidad del 90 al 95% de que no sean superados.

Este extremo asociado a la fiabilidad de los parámetros debe tenerse en cuenta en la elección del factor de seguridad mínimo a exigir en el diseño. Muestreros amplios pueden permitir un mejor ajuste en el factor de seguridad y muestreros reducidos han de manejarse con cautela y permitir la exigencia de unos factores de seguridad más elevados.

En el presente estudio se incluyen, entre otras muchas, distintas hipótesis que diferencian, de forma simplificada, las dos facies predominantes en el flysch.

Basado en los resultados de auscultación y en las observaciones de campo, se interpreta que los desplazamientos principales se estarían produciendo dentro del propio flysch.

Esta diferenciación de materiales ha sido parametrizada a partir de todo el compendio de valores anteriores, de los resultados de los ensayos realizados.

Los parámetros considerados por TYPESA, para en los modelos realizados de suelo anisótropo son los siguientes:

Facies	γ	c	φ
T2AR Flysch arenoso	22 kN/m ³	0	30°
T2M Flysch margoso	22 kN/m ³	0	13°

Tabla 31. Parámetros del Flysch de Yesa considerados por TYPESA

Esta diferenciación de materiales, no es más que una simplificación para establecer una nueva vía de comprensión del problema, con todas las limitaciones que el Flysch de Yesa implica en la discretización de capas de predominancia de una u otra índole.

3.7.3.2. Hipótesis consideradas y resultados

Para el cálculo de las distintas situaciones se han realizado distintos estadios que son tratados de forma esquemática en los posteriores apartados. Todos los cálculos se han adjuntado en forma de Apéndice al final del presente documento. Para esta serie de análisis se ha considerado representativa la llamada Sección 2 establecida por Confederación Hidrográfica del Ebro, aguas abajo de la cerrada de Yesa.

Los diferentes pasos que se han ejecutado en los modelos son resumidos a continuación:

1. Calibración y enfoque del modelo.
Se esquematiza el terreno implicado en la inestabilidad, se comprueban los parámetros considerados hasta la fecha y se discretiza con los parámetros anteriormente indicados. Se chequea tanto la rotura estimada a partir de los datos de auscultación como otro tipo de superficies de rotura. Se estudia la sensibilidad de los parámetros para la rotura auscultada.
2. Efecto de la elevación del nivel freático.
Se realizan modelos de elevación del nivel freático y se evalúa el descenso del factor de seguridad conforme se incrementa la posición de aquel.
3. Efecto del sismo.
Se realizan cuatro escalones de sismo hasta llegar a la aceleración básica publicada en la NCSR.

4. Efecto de la excavación total de la ladera.
Se estudia el efecto de la excavación total (1.500.000 m³) según dos posiciones del nivel freático en el terreno.
5. Efecto de la excavación parcial de la ladera.
Se evalúa la seguridad de la ladera de acuerdo con las excavaciones parciales que se habían llevado a cabo hasta el 16 de Abril de 2013 (390.000 m³) y el efecto de una excavación objetivo de 500.000 m³.
6. Efecto del refuerzo de la ladera: muros jardinera (muros de gravedad formados por superposición escalonada de elementos de hormigón in situ) y anclajes.
Estudia el efecto del refuerzo de la ladera mediante la colocación de peso en el pie (muros de jardinera) y con la consideración de fuerzas externas en el pie o anclajes.
7. Posible evolución futura con el recrecimiento de la presa.
Evalúa los efectos de la reducción del factor de seguridad con la elevación del nivel freático asociado a la nueva cota de embalse que se produciría con una hipotética sobreelevación del nivel freático hasta la cota 520 en una hipótesis conservadora de desembalse rápido.

3.7.3.2.1 Calibración y enfoque del modelo

A partir de los datos geológico-geotécnicos se ha establecido el esquema aproximado para la sección considerada.

Se ha representado el nivel freático, según se tiene constancia del mismo, que estaría representado por la línea piezométrica 1.

La consideración de los parámetros de cálculo hasta ahora manejados (cohesión nula y ángulo de rozamiento interno 19º han sido aplicados a todo el Flysch). El resultado es que la masa estaría en equilibrio.

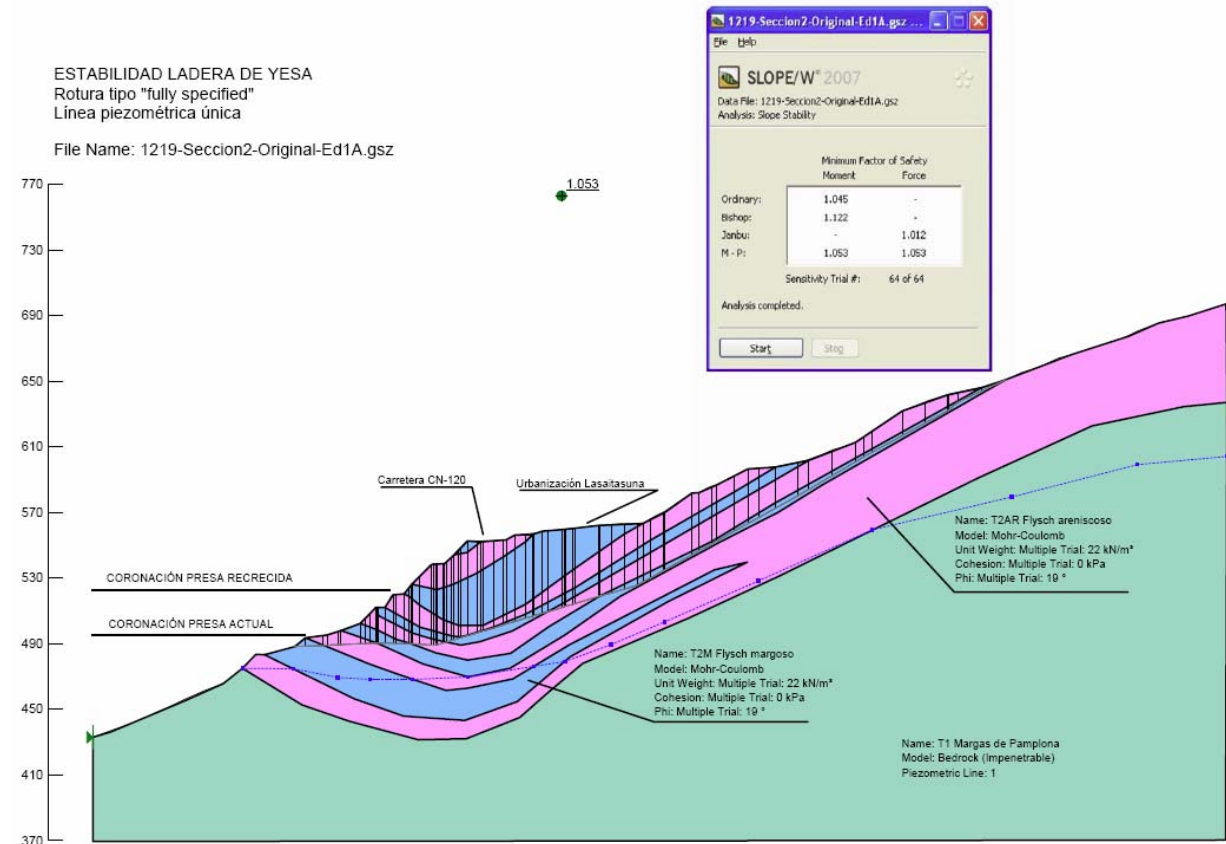


Figura 107. Cálculo de estabilidad. Nivel freático en estiaje. Parámetros de estudios previos

El cálculo se ha realizado para una rotura completamente especificada a razón de los puntos conocidos a través de la auscultación.

Como puede verse, el cálculo incorpora la evaluación por los cuatro métodos mencionados, tanto en momentos como en fuerzas si procede.

Con el mismo esquema se ha introducido la parametrización propuesta por TYPSA, cuyo resultado se observa en la siguiente figura.

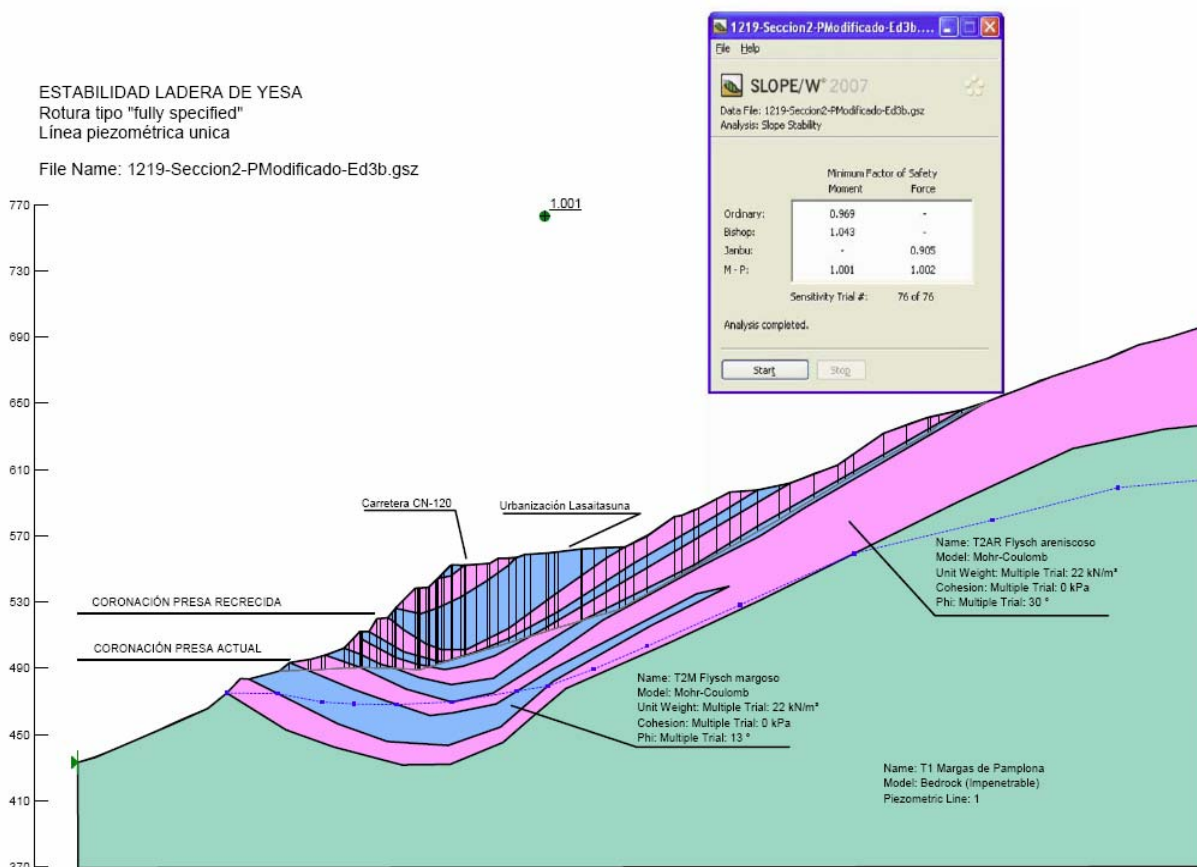


Figura 108. Cálculo de estabilidad. Nivel freático en estiaje. Parámetros propuestos por TYPESA

Como puede observarse el factor de seguridad se reduce ligeramente respecto al anterior.

Estos cálculos pueden ser analizados teniendo en cuenta estudios de sensibilidad de los parámetros. Como no puede ser de otra manera, los parámetros de los materiales implicados en la zona de rotura son los que afectarán a posibles variaciones en el factor de seguridad.

El siguiente gráfico muestra la variación que se obtiene en la evaluación del factor de seguridad conforme se varían los parámetros de densidad, cohesión y ángulo de rozamiento interno.

El punto en el que confluyen todas las líneas corresponde con el factor de seguridad obtenido de forma determinista (el representado por 1.001 en la figura anterior).

Como puede observarse las líneas correspondientes a los valores del ángulo de rozamiento interno de cada una de las facies, son las que gobiernan una subida o bajada en el factor de seguridad desde el punto de vista paramétrico.

En ambas líneas se observan unos puntos que corresponden con iteraciones para el ángulo de rozamiento interno. Cada punto a la izquierda del resultado determinista (intersección de líneas) para el caso del ángulo de rozamiento, corresponde con una variación de 1° en el caso de T_{2M} y de 2° en el caso de T_{2AR}. Esto supone que el ángulo de rozamiento de la parte margosa varía entre 7 y 19° y para la facies arenosa entre 20 y 40°.

Los parámetros de densidad han sido variados entre 1.5 y 2.9 Tn/m³, con iteraciones cada 0.1 Tn/m³ para ambas facies del Flysch y los parámetros de cohesión están representados entre -50 kPa y 50 kPa (puesto que el valor medio tomado es 0) por lo que los valores representados a la izquierda del valor determinista no tienen sentido físico. Los pasos de cohesión son cada 10 kPa.

En la ordenada se representa el rango de sensibilidad, correspondiendo el valor 0,5 con los valores medios de los intervalos comentados, cuya abscisa es el factor de seguridad obtenido por métodos deterministas. Los valores 0 y 1 de dicho rango, son por tanto, los límites de los intervalos de variación considerados.

Se aprecia por tanto que la sensibilidad está asociada a los ángulos de rozamiento interno y que la parte más margosa del Flysch ofrece una sensibilidad mucho mayor a la variación del factor de seguridad.

Sensitivity Data

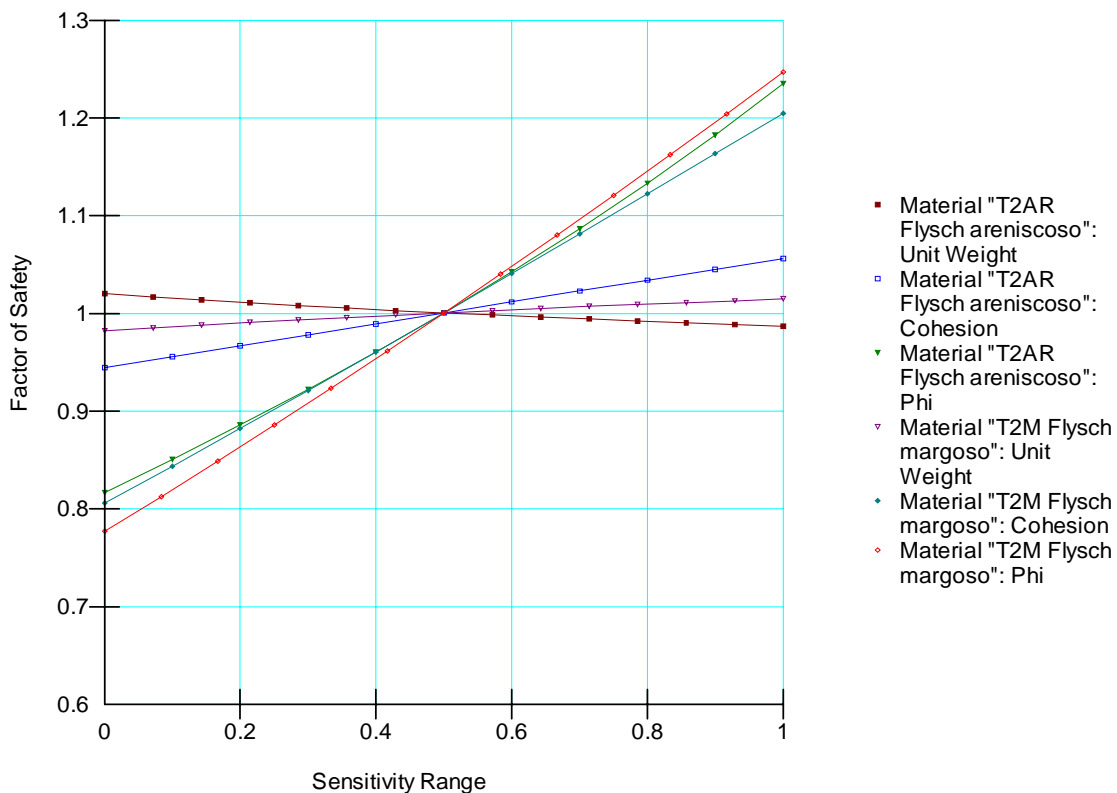


Figura 109. Sensibilidad de los parámetros considerados en el cálculo de estabilidad

La influencia de la cohesión es inferior a la del ángulo de rozamiento. La línea asociada a la cohesión de la facies margosa toma mayor pendiente por considerar en el modelo que gran parte de la rotura se desarrolla en esos materiales, lo cual es razonable que así fuera. Sin embargo, en presencia de agua dicha cohesión puede desaparecer y dejar de contribuir a la resistencia al movimiento. Por otro lado, dicha cohesión debiera ser considerada ya como residual, dado que es evidente que ha habido movimientos previos.

La entrada en juego de las precipitaciones y la alimentación del nivel freático y su elevación se traduce en inestabilidad como puede apreciarse en la siguiente figura en caso de no discriminar facies en el flysch.

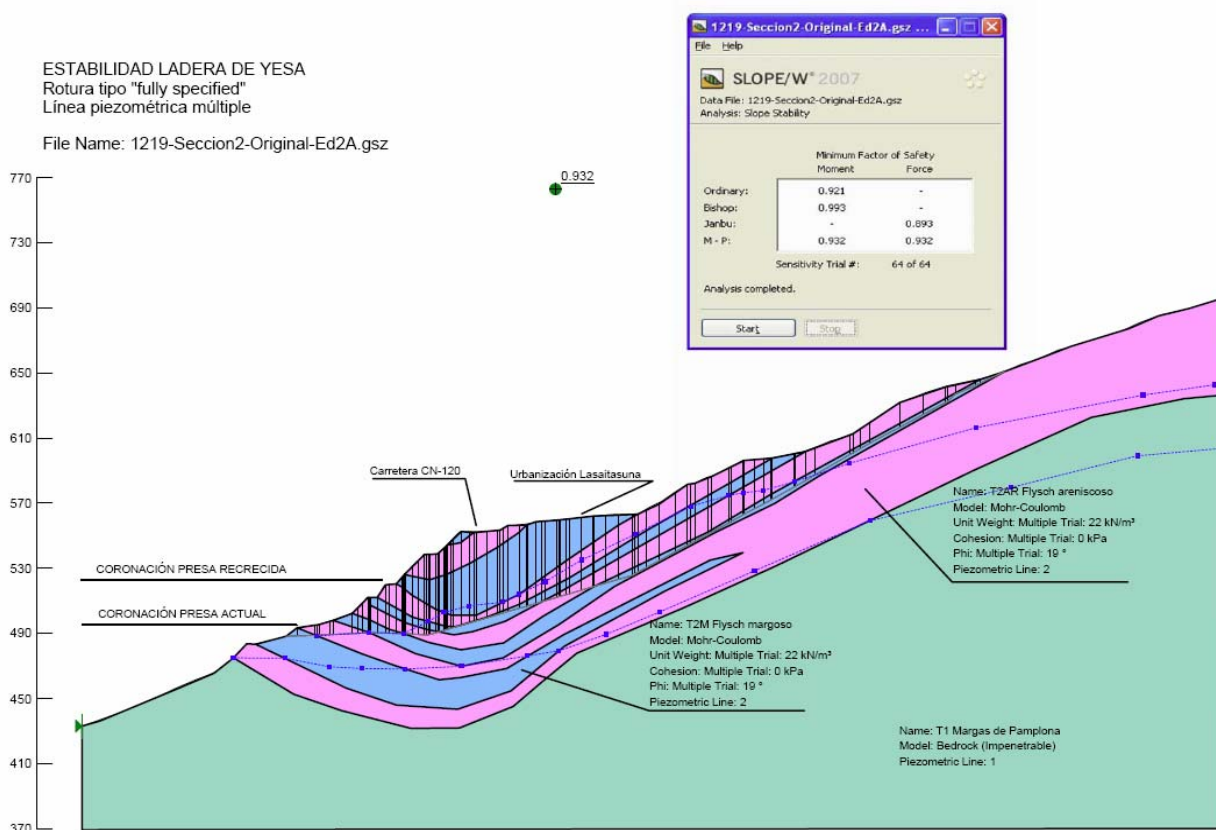


Figura 110. Cálculo de estabilidad. Nivel freático en época húmeda. Parámetros de estudios anteriores

El mismo efecto se analiza distinguiendo las dos facies mencionadas:

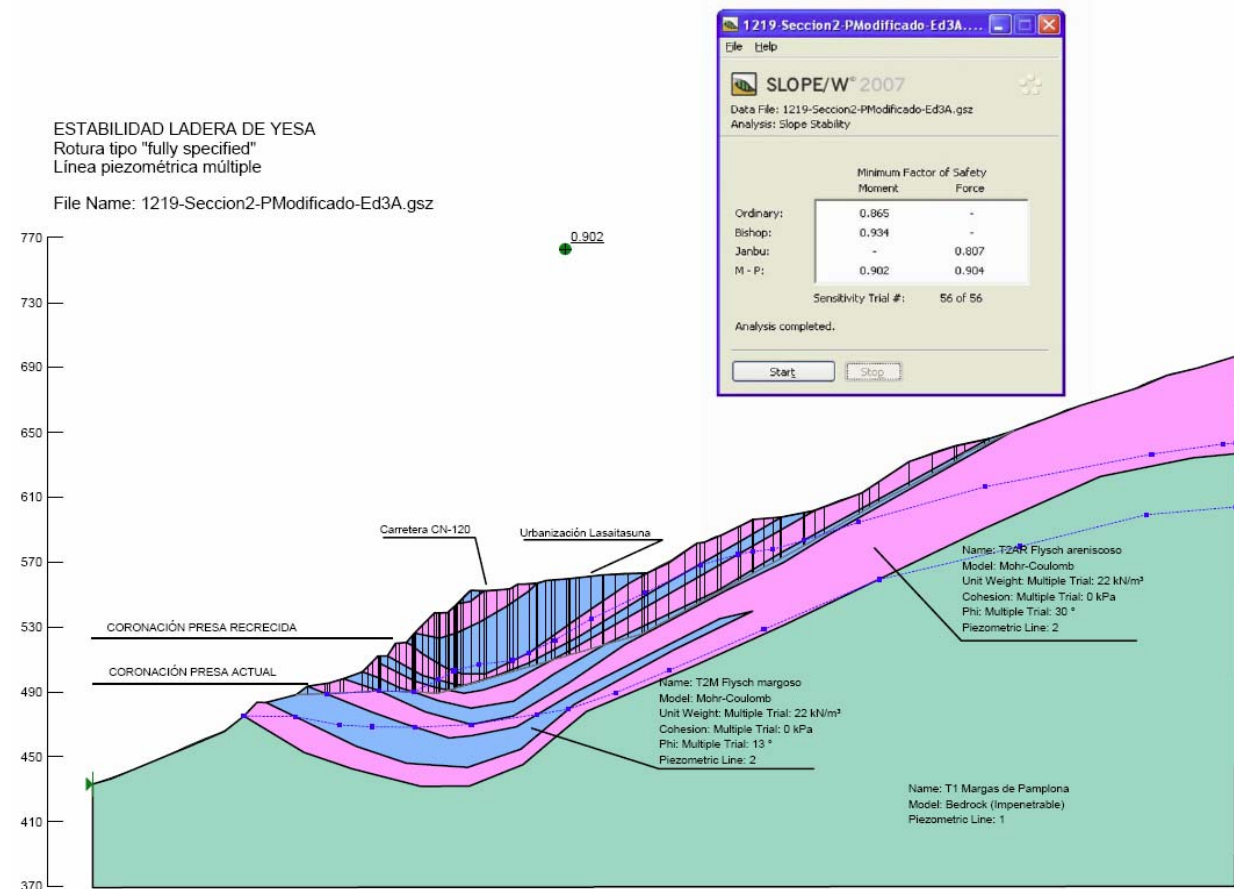


Figura 111. Cálculo de estabilidad. Nivel freático en época húmeda. Parámetros propuestos por TYPSA

Asimismo han sido analizadas otras hipótesis de rotura, cuyos resultados se incluyen en los apéndices el Apéndice del presente documento relativo. Se han analizado modelos con agua a presión en el terreno y con modos de fallo de tipo bloque, circular, circular autolocalizada y con entrada y salida localizada. Los resultados se resumen en la siguiente tabla.

Rotura tipo	Parámetros		Agua en el terreno	Descripción del agua considerada	FS (M-P)	Sensibilidad
	c	φ				
Completamente especificada	Flysch indiferenciado 0	19º	Línea piezométrica única	(una) saturando el pie y adentrándose en Margas de Pamplona	1,05	
Completamente especificada	Flysch indiferenciado 0	19º	Línea piezométrica doble	(una) saturando el pie y adentrándose en Margas de Pamplona (dos) que afecta a las intercalaciones del flysch (estacional)	0,93	
Completamente especificada	Flysch areniscoso 0 Flysch arcilloso 0	30º 13º	Línea piezométrica única	(una) saturando el pie y adentrándose en Margas de Pamplona	1,00	Alta en φ Media en c Baja en γ
Completamente especificada	Flysch areniscoso 0 Flysch arcilloso 0	30º 13º	Línea piezométrica doble	(una) saturando el pie y adentrándose en Margas de Pamplona (dos) que afecta a las intercalaciones del flysch (estacional)	0,90	Alta en φ Media en c Muy baja en γ
Completamente especificada	Flysch areniscoso 0 Flysch arcilloso 0	30º 13º	Agua confinada	Agua a presión en el terreno	0,91	
Entrada y salida especificada	Flysch areniscoso 0 Flysch arcilloso 0	30º 13º	Línea piezométrica doble	(una) saturando el pie y adentrándose en Margas de Pamplona (dos) que afecta a las intercalaciones del flysch (estacional)	1,28	
Rotura circular	Flysch areniscoso 0 Flysch arcilloso 0	30º 13º	Línea piezométrica doble	(una) saturando el pie y adentrándose en Margas de Pamplona (dos) que afecta a las intercalaciones del flysch (estacional)	1,03	
Rotura tipo bloque	Flysch areniscoso 0 Flysch arcilloso 0	30º 13º	Línea piezométrica doble	(una) saturando el pie y adentrándose en Margas de Pamplona (dos) que afecta a las intercalaciones del flysch (estacional)	0,90	
Rotura circular autolocalizada	Flysch areniscoso 0 Flysch arcilloso 0	30º 13º	Línea piezométrica doble	(una) saturando el pie y adentrándose en Margas de Pamplona (dos) que afecta a las intercalaciones del flysch (estacional)	1,05	

Tabla 32. Resultados del factor de seguridad para los modelos de enfoque del análisis

3.7.3.2.2 Efecto de la elevación del nivel freático

Evidentemente, el nivel freático juega un papel fundamental en el comportamiento del terreno, de tal manera que la presencia de agua en la ladera, y sus variaciones, influyen en las condiciones de estabilidad.

Los esquemas hasta ahora considerados en los estudios antecedentes han considerado exclusivamente un nivel freático de base. Dicho nivel freático, es real y puede estar asociado al embalse y a la situación hidrogeológica de las Margas de Pamplona.

Sin embargo, es posible que los paquetes de flysch, por su propia configuración y composición se puedan comportar parcialmente como un acuífero y como un acuitardo según las zonas. Para avanzar en el conocimiento de las propiedades hidrogeológicas del flysch, se considera conveniente instalar y monitorizar piezómetros aislados en el seno de estos materiales.

La zona de flysch ha podido acumular agua en la época de intensas precipitaciones, incrementando su propio peso, generando una debilitación por elevación de la presión neutra, deteriorando los materiales al facilitar movimientos incipientes (reorientando partículas, superando dilatancias), favoreciendo la meteorización física y química de los materiales, etc.

Durante el reconocimiento de la zona fueron observados zonas húmedas y rezumes y en la cartografía geotécnica realizada así han sido representados.

La tabla siguiente muestra, con las hipótesis de cálculo, el decremento total en el factor de seguridad que se produce con sobreelevaciones del nivel freático en la zona del pie del deslizamiento (los cálculos han sido incluidos en el apéndice correspondiente). Ligeros incrementos del freático en la zona del estribo de presa, suponen un decremento significativo del factor de seguridad de la ladera.

MODELOS CON ELEVACION DEL NIVEL FREÁTICO

Rotura tipo	Parámetros		Agua en el terreno	Descripción del agua considerada	FS (M-P)	Decremento relativo
	c	φ				
Completamente especificada	Flysch areniscoso 0	30°	Línea piezométrica única	(una) saturando el pie y adentrándose en Margas de Pamplona	1,00	
Completamente especificada	Flysch arcilloso 0	13°	Línea piezométrica doble Cota 490 en el pie	(dos) que afecta a las intercalaciones del flysch (estacional)	0,90	
Completamente especificada +10 m	Flysch areniscoso 0	30°	Línea piezométrica doble Cota 500 en el pie	(dos) que afecta a las intercalaciones del flysch (estacional)	0,88	-3%
Completamente especificada +15 m	Flysch areniscoso 0	30°	Línea piezométrica doble Cota 505 en el pie	(dos) que afecta a las intercalaciones del flysch (estacional)	0,84	-7%
Completamente especificada +25 m	Flysch areniscoso 0	30°	Línea piezométrica doble Cota 515 en el pie	(dos) que afecta a las intercalaciones del flysch (estacional)	0,80	-11%
Completamente especificada +35 m	Flysch areniscoso 0	30°	Línea piezométrica doble Cota 525 en el pie	(dos) que afecta a las intercalaciones del flysch (estacional)	0,75	-20%

Tabla 33. Resultados del factor de seguridad para los modelos de sobreelevación del nivel freático

Las conclusiones obtenidas con estos análisis de estabilidad, se resumen a continuación:

- El drenaje de la ladera, tanto superficial y como profundo, es uno de los factores que más puede influir en su estabilidad.
- Uno de los objetivos de la instrumentación futura es el seguimiento piezométrico en el flysch que puede ser complementado con estudios de humedad y saturación sobre muestras tomadas en la propia ladera (en sondeos)

3.7.3.2.3 Efecto del sismo

Los efectos de una acción sísmica también pueden tener consecuencias reductoras en el factor de seguridad de la ladera.

De acuerdo con la normativa sísmica NCSR-02 el municipio de Yesa tiene una aceleración básica de valor 0.04g. Se han considerado cuatro escalones de cálculo desde un 25% de la misma hasta aplicar el

total. La aceleración de cálculo, en primera instancia, podría considerarse como de importancia normal y el coeficiente del terreno podría variar entre los tipos II a III.

El resultado es que en una situación de equilibrio estricto, la contribución sísmica podría poner en movimiento a la ladera, únicamente considerando acción horizontal en el sismo.

El siguiente cuadro refleja los resultados alcanzados.

MODELOS CON EFECTO DE SISMO

Rotura tipo	Parámetros		Agua en el terreno	Descripción del agua considerada	FS (M-P)	Decremento relativo
	c	φ				
Completamente especificada	Flysch areniscoso 0 30° Flysch arcilloso 0 13°	Línea piezométrica única	(una) saturando el pie del flisch y adentrándose en Margas de Pamplona	1,00		
Completamente especificada a=0,01g	Flysch areniscoso 0 30° Flysch arcilloso 0 13°	Línea piezométrica única	(una) saturando el pie del flisch y adentrándose en Margas de Pamplona	0,97	-3%	
Completamente especificada a=0,02g	Flysch areniscoso 0 30° Flysch arcilloso 0 13°	Línea piezométrica única	(una) saturando el pie del flisch y adentrándose en Margas de Pamplona	0,95	-5%	
Completamente especificada a=0,03g	Flysch areniscoso 0 30° Flysch arcilloso 0 13°	Línea piezométrica única	(una) saturando el pie del flisch y adentrándose en Margas de Pamplona	0,92	-8%	
Completamente especificada a=0,04g	Flysch areniscoso 0 30° Flysch arcilloso 0 13°	Línea piezométrica única	(una) saturando el pie del flisch y adentrándose en Margas de Pamplona	0,90	-10%	

Tabla 34. Resultados del factor de seguridad para los modelos de acciones de sismo

3.7.3.2.4 Efecto de la excavación intensa de la ladera

Una de las medidas que se adoptó con carácter de urgencia, para mejorar la estabilidad de la ladera, fue excavar un volumen apreciable de los materiales situados en la zona superior. Asimismo también se están ejecutando bermas intermedias para recoger las aguas de origen pluvial. De esta manera, la pendiente global de la ladera se está suavizando, lo que resulta claramente favorable para mejorar la estabilidad.

El volumen previsto para la excavación de la misma se ha estimado en 1.500.000 m³.

El resultado en estiaje superaría un factor de seguridad 1.3 mientras que con una piezometría más alta se vería ligeramente mermado, aunque estable.

En el caso más desfavorable se ha supuesto, con criterio conservador, que la ladera está saturada pero el nivel de agua en el embalse es el máximo en a situación actual. Para esa hipótesis, una

sobreelevación de agua en el embalse generaría una compensación de empujes, sobre la ladera, estabilizadora.

MODELOS CON EFECTO DE LA EXCAVACIÓN TOTAL

Rotura tipo	Parámetros		Agua en el terreno	Descripción del agua considerada	FS (M-P)	Decremento relativo
	c	ϕ				
Completamente especificada	Flysch areniscoso	0 30°	Línea piezométrica única	(una) saturando el pie del flysch y adentrándose en Margas de Pamplona	1,31	
	Flysch arcilloso	0 13°				
Completamente especificada	Flysch areniscoso	0 30°	Línea piezométrica doble	(una) saturando el pie del flysch y adentrándose en Margas de Pamplona	1,17	-10%
	Flysch arcilloso	0 13°		(dos) que afecta a las intercalaciones del flysch (estacional)		

Tabla 35. Resultados del factor de seguridad para los modelos con la excavación total considerada

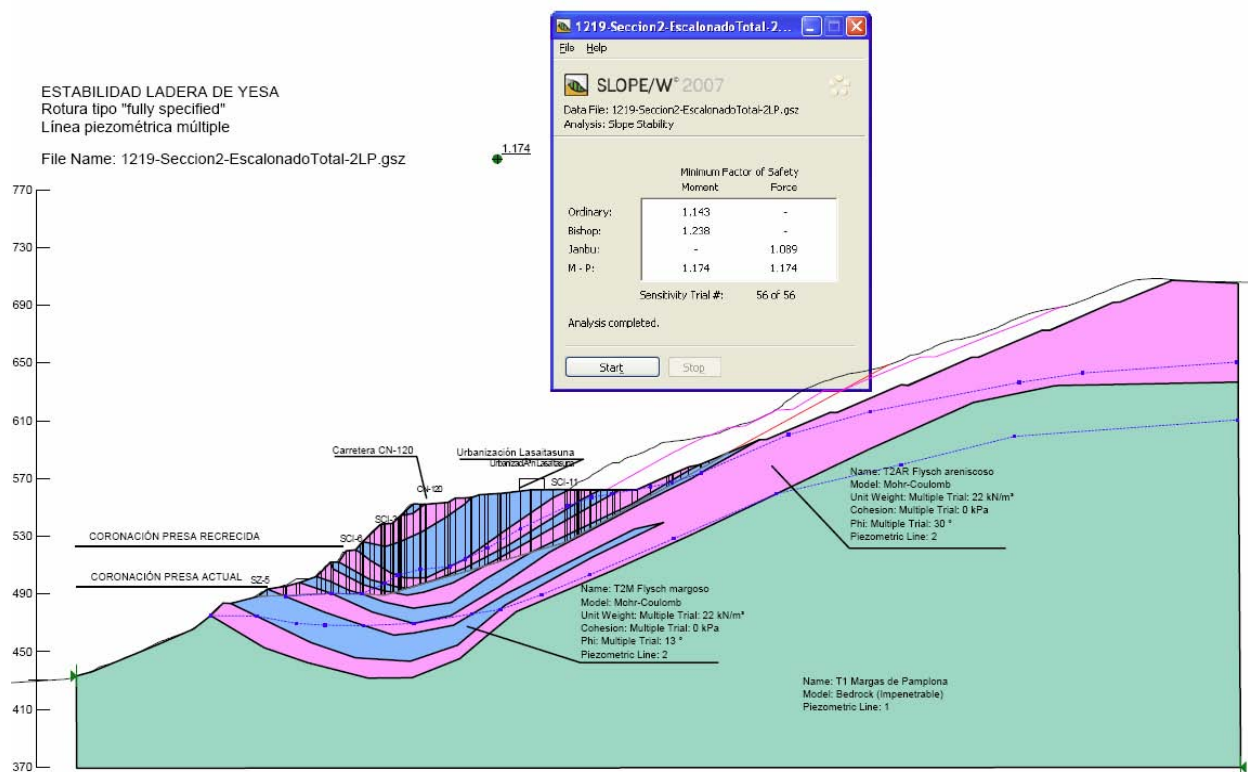


Figura 112. Cálculo de estabilidad. Nivel freático en época húmeda. Efecto del escalonado total

El resultado de esta excavación se puede considerar de efecto positivo. En la figura anterior se aprecia el perfil original del terreno antes de excavar (línea negra), la excavación a la fecha (magenta) y la superficie de deslizamiento (línea roja).

3.7.3.2.5 Efecto de la excavación parcial de la ladera

El factor de seguridad global, se ha ido calculando de acuerdo con las hipótesis expuestas anteriormente, para cada una de las fases de excavación en las que se ha encontrado la ladera, y también para las que se prevén en un futuro. Concretamente, con fecha 16 de Abril de 2013, la excavación realizada era de 390.000 m³.

De la misma manera se ha realizado una comprobación para un objetivo de excavación de 500.000 m³.

MODELOS CON EFECTO DE LA EXCAVACIÓN PARCIAL

Rotura tipo	Parámetros		Agua en el terreno	Descripción del agua considerada	FS (M-P)
	c	φ			
ESTADO EN ABRIL (390.000 m³)					
Completamente especificada	Flysch areniscoso	0 30°	Línea piezométrica única	(una) saturando el pie del flysch y adentrándose en Margas de Pamplona	1,08
	Flysch arcilloso	0 13°			
Completamente especificada	Flysch areniscoso	0 30°	Línea piezométrica doble	(una) saturando el pie del flysch y adentrándose en Margas de Pamplona	0,97
	Flysch arcilloso	0 13°		(dos) que afecta a las intercalaciones del flysch (estacional)	
ESTADO OBJETIVO 500.000 m³					
Completamente especificada	Flysch areniscoso	0 30°	Línea piezométrica única	(una) saturando el pie del flysch y adentrándose en Margas de Pamplona	1,11
	Flysch arcilloso	0 13°			
Completamente especificada	Flysch areniscoso	0 30°	Línea piezométrica doble	(una) saturando el pie del flysch y adentrándose en Margas de Pamplona	0,99
	Flysch arcilloso	0 13°		(dos) que afecta a las intercalaciones del flysch (estacional)	

Tabla 36. Resultados del factor de seguridad para los modelos de excavación parcial de la ladera

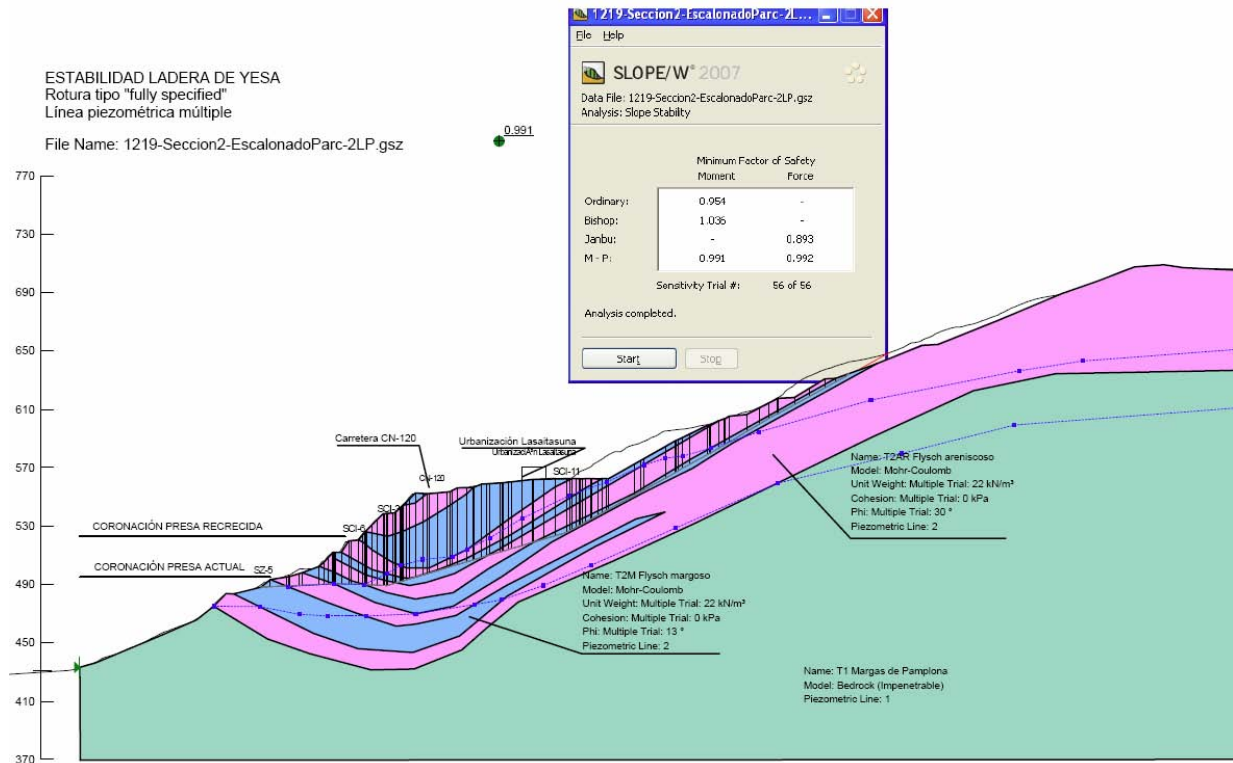


Figura 113. Cálculo de estabilidad. Nivel freático en época húmeda. Efecto del escalonado parcial

3.7.3.2.6 Efecto del refuerzo de la ladera: muros-jardinera y anclajes

Entre las medidas de refuerzo de la ladera se han previsto la ejecución de pesos en el pie mediante muros jardinera de gravedad y la eventual colaboración de anclajes.

Como se puede apreciar en la tabla siguiente, las medidas anteriores, de acuerdo con las hipótesis de cálculo, incrementarían sensiblemente el factor de seguridad global.

MODELOS CON EFECTO DE REFUERZO

Rotura tipo	Parámetros		Agua en el terreno	Descripción del agua considerada	FS (M-P)	Incremento relativo
	c	φ				

SÓLO CON EL ESCALONADO

Completamente especificada	Flysch areniscoso	30°	Línea piezométrica doble	(una) saturando el pie del flysch y adentrándose en Margas de Pamplona (dos) que afecta a las intercalaciones del flysch (estacional)	1,17	
	0					
Flysch arcilloso	Flysch areniscoso	13°				
	0					

CON LA EJECUCIÓN DE MUROS JARDINERA

Completamente especificada	Flysch areniscoso	30°	Línea piezométrica doble	(una) saturando el pie del flysch y adentrándose en Margas de Pamplona (dos) que afecta a las intercalaciones del flysch (estacional)	1,26	7%
	0					
Flysch arcilloso	Flysch areniscoso	13°				
	0					

CON LA EJECUCIÓN DE MUROS JARDINERA Y FUERZA EXTERNA EN EL PIE (1000 kN)

Completamente especificada	Flysch areniscoso	30°	Línea piezométrica única	(una) saturando el pie del flysch y adentrándose en Margas de Pamplona	1,43	21%
	0					
Flysch arcilloso	Flysch areniscoso	13°				
	0					

Completamente especificada	Flysch areniscoso	30°	Línea piezométrica doble	(una) saturando el pie del flysch y adentrándose en Margas de Pamplona (dos) que afecta a las intercalaciones del flysch (estacional)	1,29	10%
	0					
Flysch arcilloso	Flysch areniscoso	13°				
	0					

CON LA EJECUCIÓN DE MUROS JARDINERA Y ANCLAJES EN EL PIE (3000 kN)

Completamente especificada	Flysch areniscoso	30°	Línea piezométrica doble	(una) saturando el pie del flysch y adentrándose en Margas de Pamplona (dos) que afecta a las intercalaciones del flysch (estacional)	1,36	16%
	0					
Flysch arcilloso	Flysch areniscoso	13°				
	0					

Tabla 37. Resultados del factor de seguridad para los modelos con refuerzo

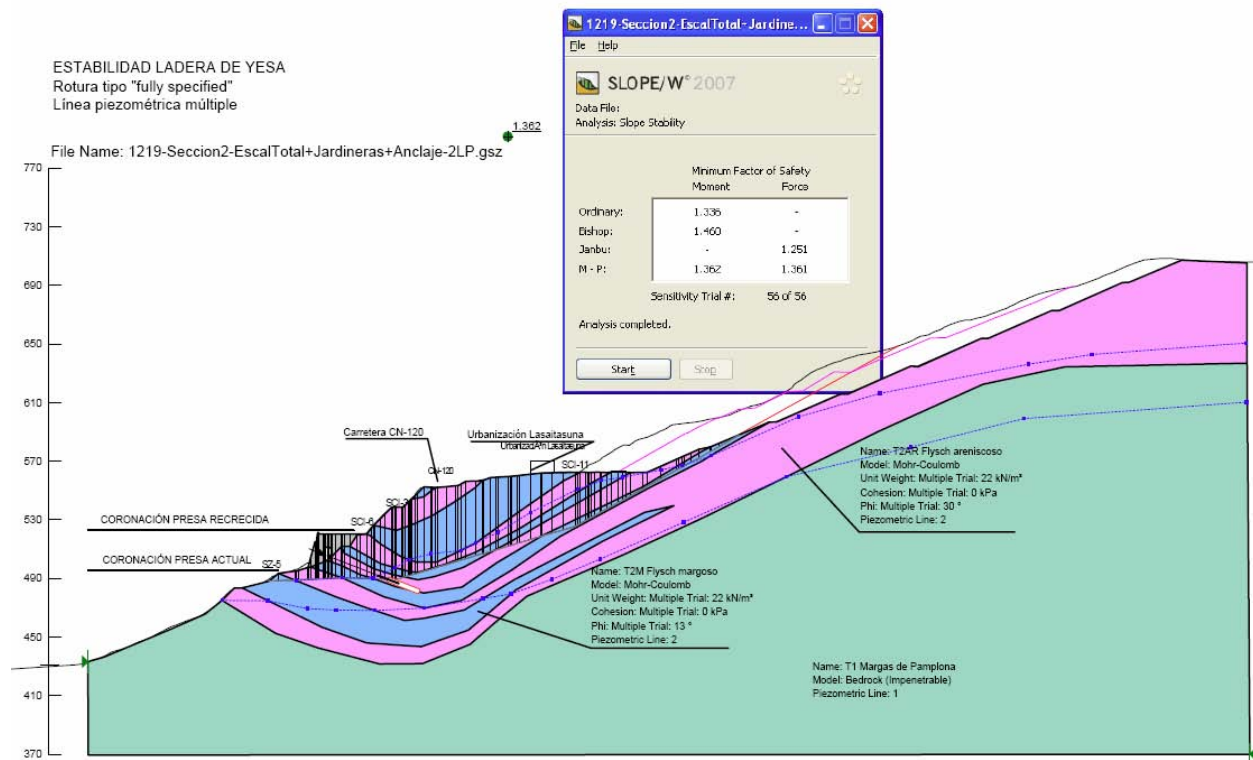


Figura 114. Cálculo de estabilidad. Nivel freático en época húmeda. Efecto del refuerzo (excavación+muros-jardinera +anclaje)

Como puede observarse, parte de la excavación prevista con el escalonado total queda tras la línea de deslizamiento. El efecto de dicha excavación en el modelo de equilibrio límite, como es el caso, es inexistente para la hipótesis considerada, como muestran los resultados de la tabla siguiente en el que se comparan por columnas los factores de seguridad de la sección con el escalonado total, los anclajes y las jardineras los muros-jardinera de gravedad (y quitando paulatinamente dichos refuerzos), la sección con la superficie de deslizamiento supuesta a través de la inclinometría y una sección con una superficie de deslizamiento según ha observado la Asistencia Técnica de la obra de recrecimiento.

COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS CONSIDERANDO DISTINTOS PERFILES DE EXCAVACIÓN

FACTOR DE SEGURIDAD	EXCAVACIÓN		
	TOTAL CON 7 BERMAS	HASTA SUP. SUPUESTA INCLINÓMETROS	HASTA SUP. SUPUESTA AT
Metodo de M-P		08/05/2013	21/05/2013
Retaluzado+Muros-Jardineras+Anclaje	1,36	1,35	1,36
Retaluzado+Muros-Jardineras	1,26	1,25	1,26
Retaluzado	1,17	1,17	1,17

Nota: En todos los casos se ha considerado la doble línea piezométrica de cálculos anteriores

Tabla 38. Comparación de resultados del factor de seguridad para excavación de suavizado el talud total y hasta la superficie de rotura según dos hipótesis

3.7.3.2.7 Posible evolución futura con el recrecimiento de la presa

El recrecimiento de la presa inducirá una subida del freático en el pie. Al mismo tiempo, la presencia de agua en el embalse equilibraría presiones de agua en el terreno, en la zona de talud sumergido, por lo que, como se considera habitualmente, la hipótesis más desfavorable asume que sólo existe agua en el terreno, y no en el embalse, lo que reproduciría condiciones de un desembalse rápido sin drenaje o disipación de presiones intersticiales. Esto se ha modelizado con la inclusión de una nueva línea piezométrica en dicha zona asociada a la nueva coronación de presa, donde podría llegar el nivel de máximo embalse

Se produce, para la hipótesis de desembalse rápido (elevación del agua en el terreno), una reducción significativa del factor de seguridad de la hipótesis con anclajes, estando en todo caso por encima de 1,15.

MODELOS CON EL EFECTO DEL RECRECIMIENTO

Rotura tipo	Parámetros		Agua en el terreno	Descripción del agua considerada	FS (M-P)	Decremento relativo
	c	φ				

CON LA EJECUCIÓN DE MUROS-JARDINERA Y ANCLAJES EN EL PIE (3000 kN)

Completamente especificada	Flysch areniscoso		Línea piezométrica	(una) saturando el pie del flisch y adentrándose en Margas de Pamplona	1,36	
	0	30°	doble	(dos) que afecta a las intercalaciones del flysch (estacional)		
	Flysch arcilloso					
	0	13°				

SOBREELEVACIÓN DE LA LÁMINA CON EL RECRECIMIENTO (Simul. desembalse rápido)

Completamente especificada	Flysch areniscoso		Línea piezométrica	(una) saturando el pie del flisch y adentrándose en Margas de Pamplona	1,16	-15%
	0	30°	triple	(dos) que afecta a las intercalaciones del flysch (estacional)		
	Flysch arcilloso			(tercera) a nivel de la cota de embalse		
	0	13°				

FUERZA DE ANCLAJE NECESARIA PARA ALCANZAR FS>1,3

Completamente especificada	Flysch areniscoso		Línea piezométrica	(una) saturando el pie del flisch y adentrándose en Margas de Pamplona	1,31	Fuerza anclaje necesaria 7500 kN/m
	0	30°	triple	(dos) que afecta a las intercalaciones del flysch (estacional)		
	Flysch arcilloso			(tercera) a nivel de la cota de embalse		
	0	13°				

Tabla 39. Resultados del factor de seguridad para los modelos con anclaje en sobreelevación por recrecimiento.

Para disponer de un factor de seguridad superior a 1.3 sería necesario incrementar la fuerza de los anclajes hasta 7500 kN/m.

Los anclajes proporcionan un efecto positivo a corto plazo, pero la elevación de la lámina con el recrecimiento previsto justifica aun más la necesidad de disponer de medidas de refuerzo adicionales, como las proporcionadas por estos sistemas de retención que mejoran además de la estabilidad global, la local, para la masa de terreno en la que se aplican.

Adicionalmente, debe continuarse con la instrumentación y auscultación de movimientos de la ladera para poder avanzar en la determinación de los límites de la presente inestabilidad y de posibles futuros nuevos episodios relacionados o independientes con éste.

3.8. CONSIDERACIONES SOBRE VIBRACIONES INDUCIDAS POR LA VOLADURA DE LOS TÚNELES DE LA A-21

En el apéndice nº 5 se incluye un análisis preliminar, teniendo en cuenta la información disponible, sobre la influencia de voladuras en el entorno de los túneles de la A-21

Se considera que los efectos de la voladura para la construcción de los túneles han podido favorecer la entrada de agua a través de diaclasas y planos de estratificación preexistentes.

3.9. CONSIDERACIONES SOBRE EL DRENAJE INDUCIDO POR LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TÚNELES DE LA A-21

En el apéndice nº 6 se incluye un análisis preliminar, teniendo en cuenta la información disponible, sobre efectos de posible drenaje en el entorno de los túneles de la A-21

A efectos de estabilidad de la ladera, un eventual efecto de drenaje inducido por los túneles de la A-21 habría influido de forma favorable.

3.10. CONDICIONES HIDROGEOLOGICAS

A escala general de la ladera, la formación de margas de Pamplona, desde el punto de vista de las condiciones hidrogeológicas, funciona como un sustrato básicamente impermeable. La formación de flysch de Yesa puede funcionar como un acuífero, si bien las condiciones de permeabilidad son diferentes entre los niveles con mayor predominio de areniscas y los niveles margosos.

Las margas de Pamplona se presentan altamente impermeables debido a que la matriz rocosa, con muy escasa porosidad primaria, es prácticamente impermeable y su carácter masivo con ausencia de fracturación hace del macizo rocoso formado por esta formación un acuífugo.

En el caso del Flysch de Yesa la matriz rocosa tanto de los estratos margosos como de los areniscosos, dada su escasa porosidad primaria, es prácticamente impermeable por lo que la circulación de agua se produce a favor de la red de fracturación —en general intensa— o a través de los planos de estratificación.

No obstante la permeabilidad global de la ladera dependerá directamente del grado de conexión hidráulica que exista entre las diferentes zonas fracturadas. Se ha comprobado mediante ensayos de permeabilidad tipo Lugeon, que a nivel local la conexión de la red de fracturación puede ser buena, sin embargo, en ensayos de bombeo, que abarcan un mayor volumen de zona ensayada, realizados en esta zona se constata que dicha conexión es imperfecta.

De acuerdo con el estudio hidrogeológico realizado por la empresa Zeta Amaltea, existe una acusada anisotropía de la permeabilidad en el estribo derecho, con máximos valores en dirección aproximada N-S, y mínimos en dirección ortogonal a esta. Esta anisotropía en la permeabilidad es coherente con las principales direcciones de fracturación en esta margen derecha.

Además, se concluye que las filtraciones en el estribo derecho son de escasa entidad, evidenciando una baja permeabilidad del medio.

Por otro lado, la circulación de agua a través de los planos de estratificación solo puede darse cuando las litologías que lo forman, especialmente las margas, están meteorizadas en cierto grado, y de cualquier manera esta circulación de agua es muy dificultosa. No obstante se pueden producir, y de hecho se producen, subpresiones en los planos por esta causa. Esto último se evidencia por la presencia de rezumes de agua en algunos puntos de la ladera, a diferentes cotas.

Así, se puede afirmar que el agua en la ladera discurre únicamente por la red de fracturación de la formación Flysch de Yesa situada sobre las Margas de Pamplona que actúan como sustrato impermeable. Dado que la estructura geológica de la ladera forma un pliegue sinclinal con vergencia hacia el oeste, el nivel freático se sitúa principalmente en el núcleo del pliegue, en contacto con las margas.

La recarga de agua de los niveles freáticos se produce principalmente por la infiltración del agua de lluvia recogida en la ladera y por la aportación de caudales desde el embalse. El agua recogida por la infiltración lo hace en su mayor parte por lo que es estrictamente la ladera, ya que las zonas bajas de ésta, de menor pendiente, se encuentran urbanizadas. Una vez infiltrada el agua, ésta discurre más o menos verticalmente por el interior del Flysch de Yesa en el flanco norte del sinclinal hasta alcanzar el contacto con las Margas de Pamplona, impermeables, donde sigue dicho contacto según la dirección de su máxima pendiente (Sur-suroeste) hasta el núcleo del sinclinal.

El agua aportada a la ladera por el embalse lo hace únicamente cuando éste alcanza un nivel superior al contacto entre las margas de Pamplona y el Flysch de Yesa en la propia superficie de la ladera. Cuando lo supera el agua entra por la red de fracturación del Flysch en el flanco sur del pliegue y discurre siguiendo el contacto margas-flysch según la dirección de máxima pendiente del flanco (noroeste) hasta alcanzar el núcleo del pliegue.

Dado que el pliegue sinclinal tiene una vergencia hacia el oeste de unos cinco grados, el agua acumulada en el núcleo del pliegue discurre hacia el oeste siguiendo dicha pendiente.

Como se ha indicado en los apartados anteriores se han ejecutado una serie de piezómetros de los que se dispone de datos de nivel del agua. En la tabla siguiente se comparan las cotas a las que se han reconocido los planos de rotura en los inclinómetros con las cotas de niveles de agua máximos y mínimos medidos en los piezómetros.

Código inclinómetro	Cota (msnm)	Profundidad de rotura (m)	Cota de rotura (msnm)	Cotas N.F. en piezómetros próximos
SCI-01	-	-	-	-
SCI-02	548,1	37	511,1	SCP-3 Previsto SX-7 480.1 MAX – 469.6 MIN
SCI-03	537,5	51	486,5	SCP- 1 462.2 MAX – 464.2 MIN SCP-2 Previsto
SCI-04	-	-	-	Previsto
SCI-05	-	-	-	Previsto
SCI-06	519,5	30	489,5	Sin piezómetro próximo
SCI-07	-	-	-	En ejecución
SCI-08	-	-	-	-En ejecución
SCI-09	536,7	45	491,7	SCP- 1 462.2 MAX – 464.2 MIN Piezómetro alejado pero a cota similar
SCI-10	539,0	68	471	SCP- 1 462.2 MAX – 464.2 MIN
SCI-11	563,1	35	528,1	SX-5 475.0 MAX – 472.7 MIN
SCI-12	559,6	17	542,6	SX-2 466.5 MAX – 455.6 MIN
SCI-13	563,7	13	550,7	SX-5 475.0 MAX – 472.7 MIN
SCI-14	613,5	11	602,5	SZ-9 535.7 MAX – 510.3 MIN
SCI-15	591,5	35	556,5	SZ-9 535.7 MAX – 510.3 MIN
SCI-16	672,5	6	666,5	Sin piezómetro próximo.
SZ-01A	552,4	-	-	SX-1 459.7 MAX – 449.3 MIN
SZ-02	553,1	-	-	SZ-2A 456.4 MAX – 448.7 MIN-
SZ-03A	542,8	12	530,8	SX-7 480.1 MAX – 469.6 MIN
SZ-05	491,4	12	479,4	SZ-4 y SZ-4A no operativos
SZ-06	493,1	9	484,1	SZ-4 y SZ-4A no operativos
SZ-07	498,1	-	-	Fuera de los límites del deslizamiento
SZ-08	499,7	-	-	Fuera de los límites del deslizamiento

Tabla 40. Comparación entre cotas de rotura en inclinómetros y cotas de niveles de agua en piezómetros.

Por otra parte los tubos piezométricos abiertos favorecen la circulación vertical de agua hacia el sustrato margoso profundo (atravesando capas de distinta permeabilidad)

Se considera que los datos de piezómetros son aún relativamente escasos para determinar con precisión las condiciones hidrogeológicas de la ladera. Para tal fin está previsto y se están ejecutando nuevos piezómetros.

Con los datos disponibles todas las medidas de los niveles de agua están por debajo de las cotas de rotura de los planos detectados en los inclinómetros próximos. Se interpreta que los niveles de agua medidos corresponden a los niveles generales del acuífero existente en la formación de flysch. Es posible que pueda haber niveles colgados intermedios asociados a capas de areniscas, en parte aisladas entre las margas, que puedan haber tenido influencia en los movimientos de algunos planos concretos. Especialmente en época de mayores precipitaciones esta circunstancia puede ser más frecuente hasta que se produzca el drenaje de las capas de arenisca, hasta alcanzar el nivel general piezométrico del acuífero.

Se observa puntualmente que existen pequeños rezumes de agua a favor de los planos de estratificación.



Figura 116. Circulación local de agua en contacto de capas de arenisca y marga. Punto de lectura 111, situado en el flanco este del deslizamiento



Figura 117. Pequeño rezume de agua en tramo con predominio de margas y en la zona alta de la ladera. Punto de lectura 54



Figura 118. Filtración asociada al contacto suelo coluvial – margas, en la zona alta de la ladera. Punto de lectura 64

En todo caso aunque sea temporal, la circulación de agua y la humedad remanente en los planos de contacto arenisca – marga ha contribuido y contribuye activamente a la alteración de la superficie de las margas a arcillas, con la consiguiente reducción de los parámetros de resistencia de los planos.

Cabe señalar que, a pesar de las importantes precipitaciones de los últimos meses, los drenes de los muros de hormigón proyectado construidos permanecen secos.

De acuerdo con la interpretación hidrogeológica de la ladera esos muros se sitúan en el flanco sur del sinclinal, en el que el drenaje natural se produciría a través de la estratificación hacia el eje del pliegue, es decir, hacia el interior de la ladera. Por eso, los rezumes observados se sitúan en el flanco norte o en aquellos puntos en los que la estratificación buza en el mismo sentido que la pendiente de la ladera.

En este sentido, y teniendo en cuenta los valores de permeabilidad en ejes x, y z recogidos en el estudio de Zeta Amaltea para el proyecto Modificado, los valores de permeabilidad vertical son bajos en general lo que sería coherente con la disposición estructural del macizo.

A favor de capas de arenisca confinada entre capas arcillosas pueden generarse filtración de agua, con poca velocidad, de modo que las presiones intersticiales pueden exceder la cota geométrica.

En la siguiente figura se presenta un esquema teórico simplificado de la condiciones de presión intersticial que podrían generarse como consecuencia de la circulación de agua, en el seno del flysch, a favor de capas permeables, parcialmente confinadas entre otras más margosas, y por tanto de menor permeabilidad.

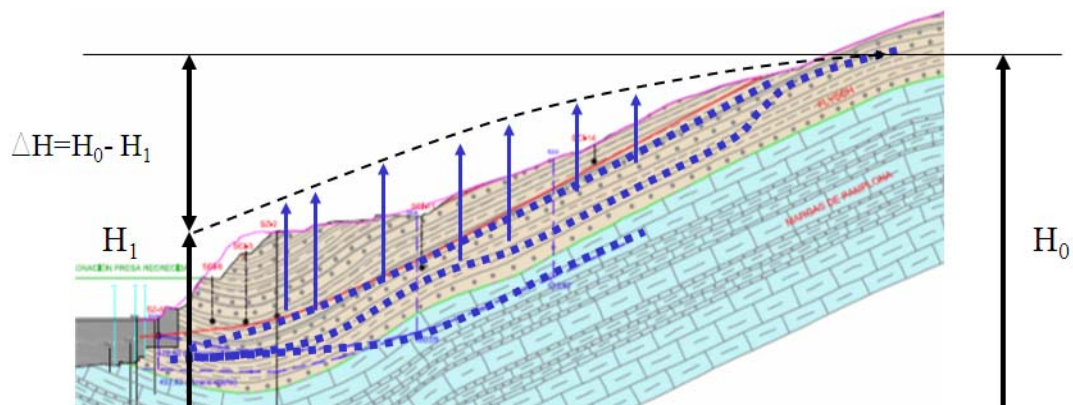


Figura 119. Esquema teórico de variación de altura piezométrica en la ladera

3.11. IDENTIFICACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS EN PLANTA

A continuación se presentan los resultados del análisis de los datos del control topográfico, en forma de los *raster* de desplazamiento total a fecha de 25/04/2013, obtenidos según el procedimiento descrito anteriormente. Por su mayor extensión y precisión, se muestran sólo los resultados del análisis de los datos de la Fase 3 del control topográfico, llevada a cabo desde el 30/01/2013.

3.11.1. Desplazamientos en X

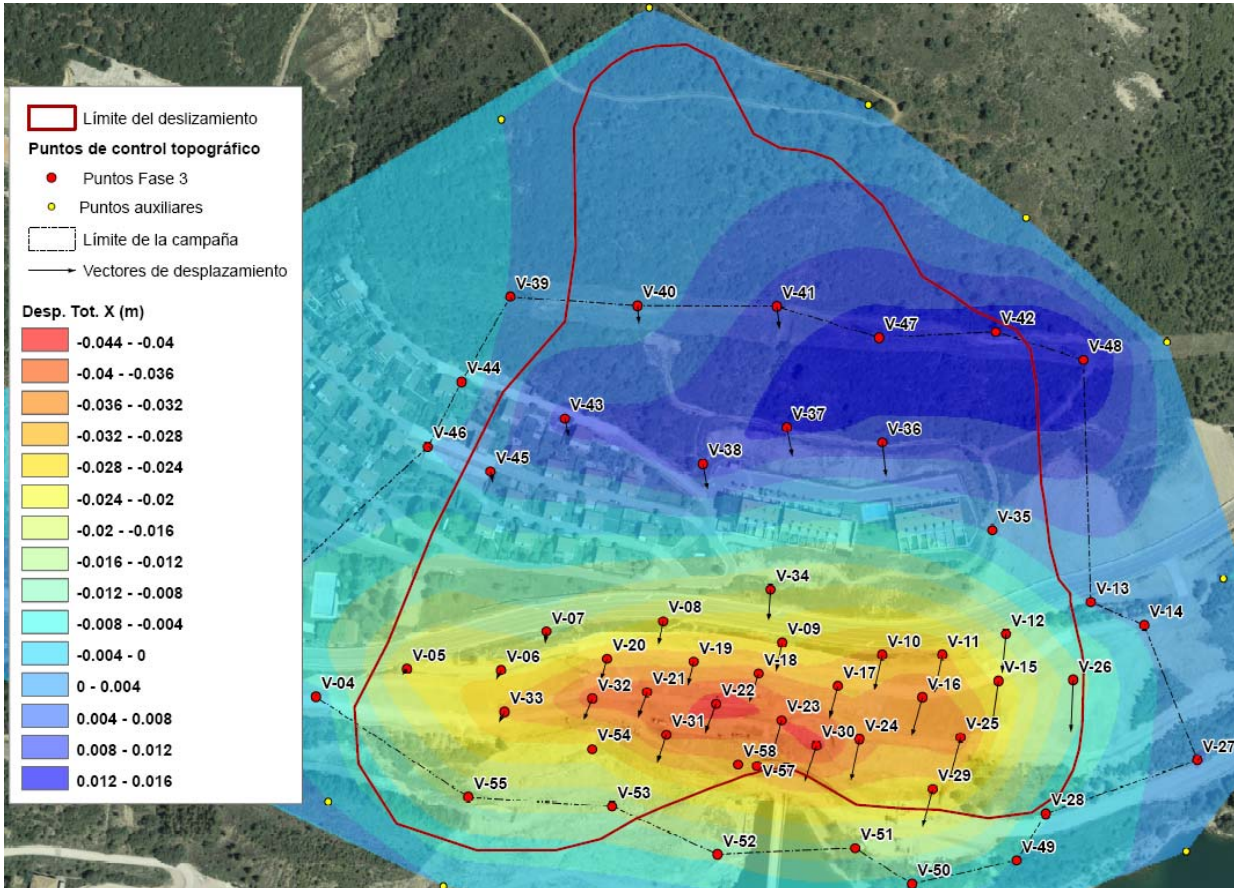


Figura 120. Desplazamientos totales en X entre el 30-Ene-2013 y el 25-Abr-2013.

Los valores positivos indican desplazamiento hacia el este, y los valores negativos indican desplazamiento hacia el oeste. El valor máximo obtenido es de 1,9 cm (hacia el este), mientras que el valor mínimo (hacia el oeste) es de -4,3 cm. Por lo tanto son mayores los desplazamientos negativos que los positivos. El desplazamiento absoluto máximo se produce entre los puntos V-22, V-23 y V-30, aproximadamente sobre el eje de la presa actual.

En la figura anterior se puede ver cómo los desplazamientos hacia el este se producen en la mitad superior del deslizamiento y los desplazamientos hacia el oeste en la mitad inferior, produciendo así un giro en sentido horario. De este modo, existe una franja aproximadamente con sentido O-E, en el que el desplazamiento horizontal sería nulo.

3.11.2. Desplazamientos en Y

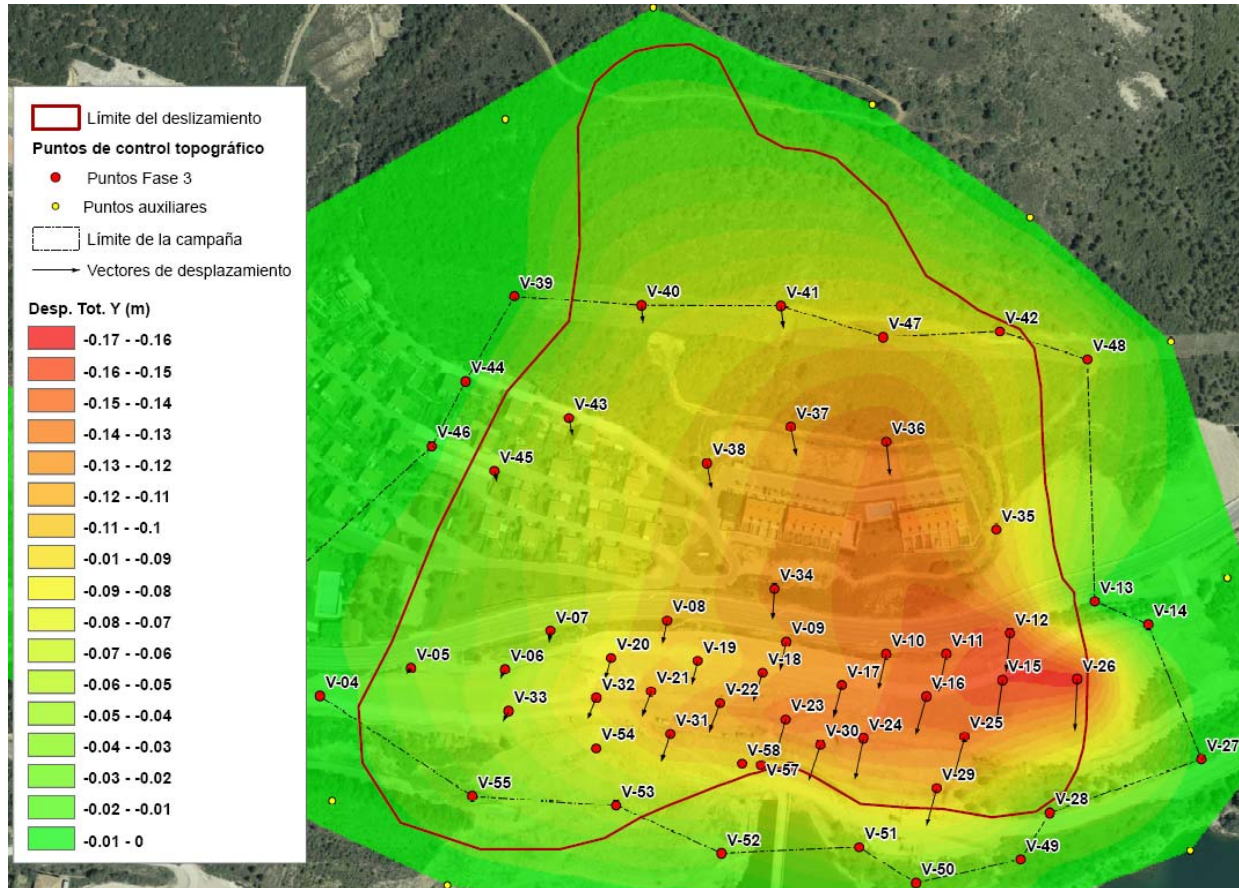


Figura 121. Desplazamientos totales en Y entre el 30-Ene-2013 y el 25-Abr-2013.

Los valores negativos indican desplazamiento hacia el sur. El desplazamiento absoluto máximo es de 16,7 cm, y se produce cerca del límite oriental del deslizamiento, por debajo de la carretera N-240, en torno a los puntos V-15 y V-26.

En la figura anterior se observa claramente cómo los mayores movimientos en la dirección Y se producen en la mitad este del deslizamiento, aguas arriba del eje de la presa actual. En dirección N-S, los movimientos son mayores en la parte baja que en la alta, lo que indica que la masa no se mueve en bloque. Este hecho está más marcado en la mitad aguas arriba que en la mitad aguas abajo.

El desplazamiento diferencial E-O podría implicar la producción de tensiones de cizalla en el seno de la masa deslizada, con dirección aproximada NNE-SSO, que podrían dar explicación a las grietas observadas en la urbanización Lasaitasuna el 15/04/2013.

Por su parte el desplazamiento diferencial N-S, podría favorecer la formación de grietas de tracción con dirección E-O. Sin embargo éstas no se han detectado.

3.11.3. Desplazamientos en Z

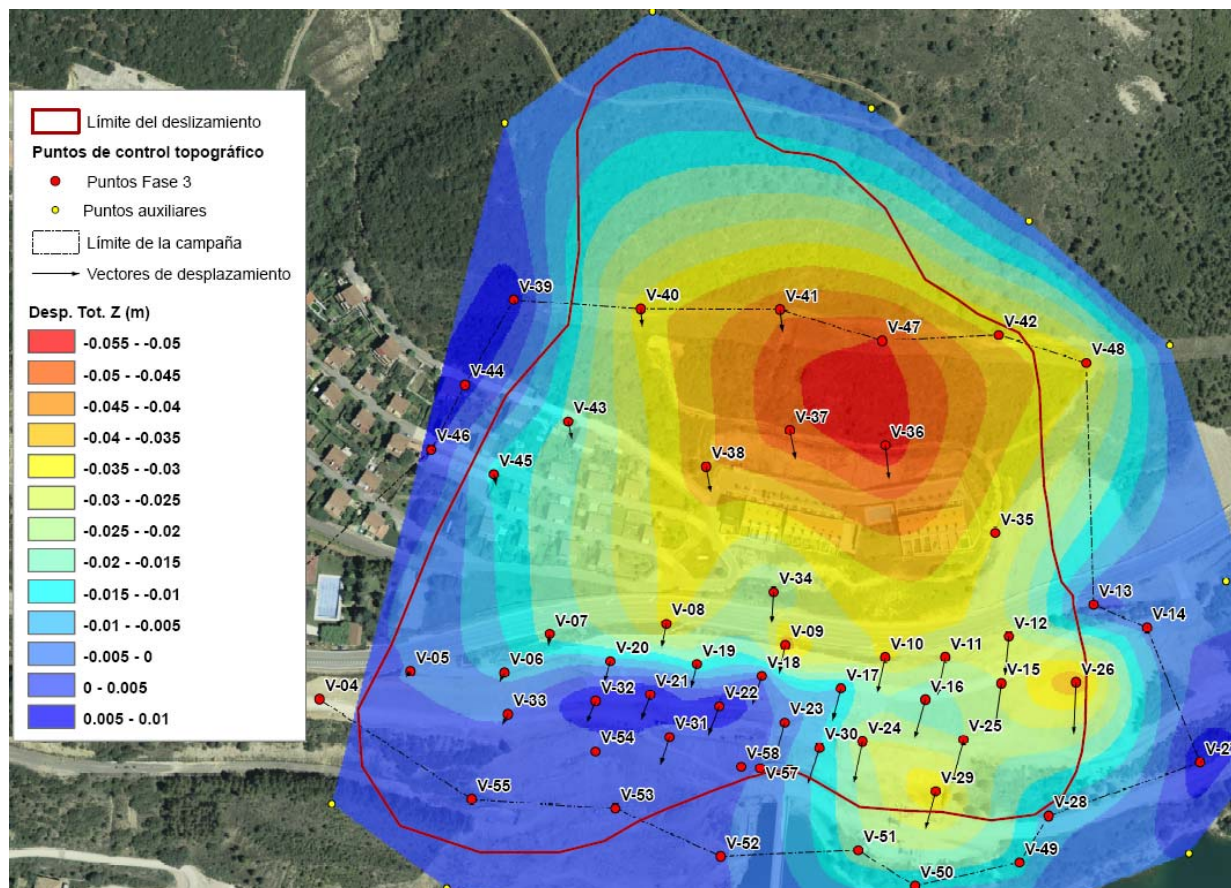


Figura 122. Desplazamientos totales en Z entre el 30-Ene-2013 y el 25-Abr-2013.

Los valores positivos indican desplazamiento hacia arriba, y los valores negativos hacia abajo. El descenso máximo es de 5,3 cm y el ascenso máximo es de 1,3 cm.

En general la masa deslizada ha sufrido un descenso, con los valores máximos en la parte media de la ladera, por encima de la urbanización Mirador de Yesa. Sin embargo, la zona situada aguas abajo de la presa actual, por debajo de la línea virtual que trazan los puntos V-33, V-32, V-21 y V-18, ha sufrido un ligero ascenso. Este ascenso es máximo en torno a los puntos V-32, V-21 y V-22, y podría estar relacionado con el ascenso que han sufrido los primeros bloques de la presa más cercanos al estribo derecho.

Este ascenso, que en cierto modo se opone al movimiento, puede estar influenciado por la estructura tectónica de la parte baja de la ladera.

Aguas arriba de la presa por debajo de la carretera N-240 la tendencia de los movimientos ha sido perder cota, pero la distribución es más irregular.

3.11.4. Desplazamientos en |XY|

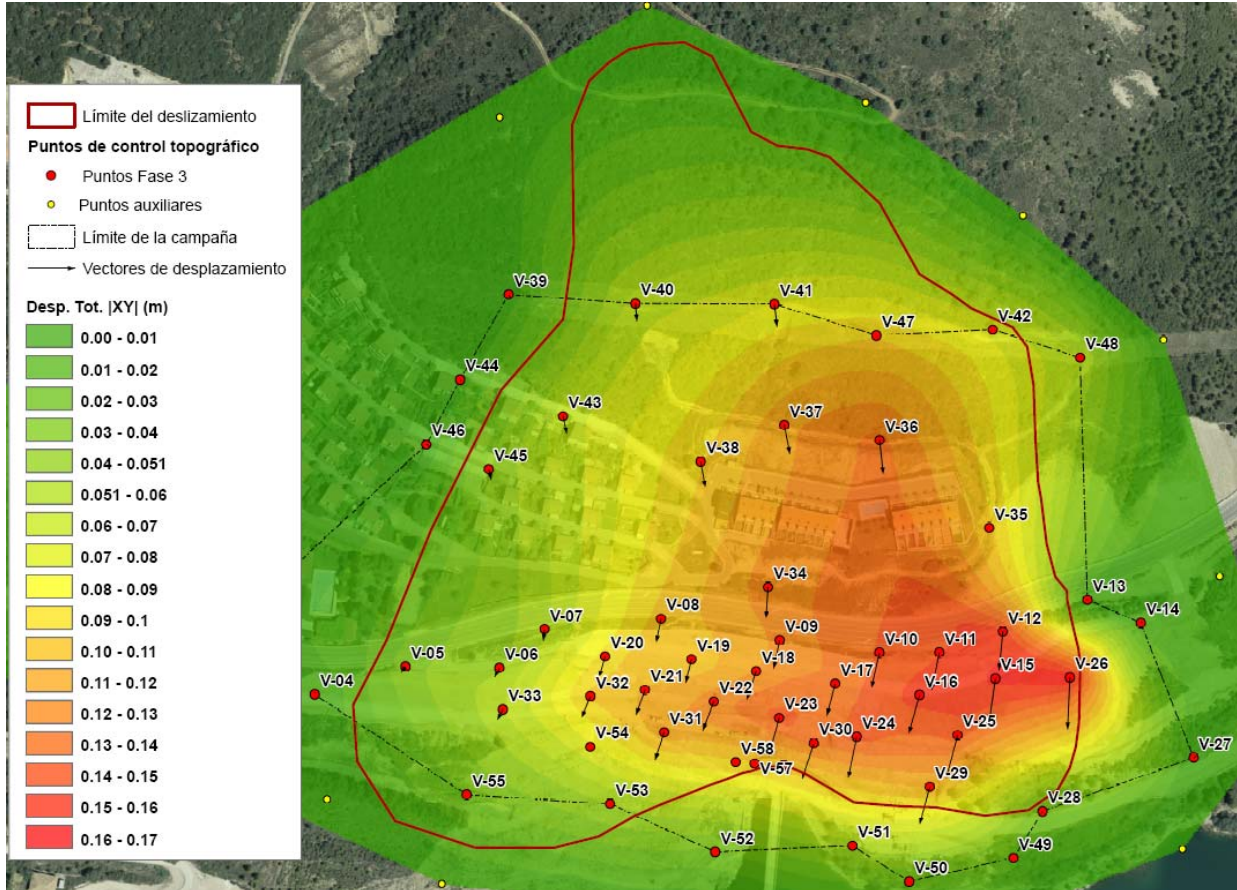


Figura 123. Desplazamientos totales en XY entre el 30-Ene-2013 y el 25-Abr-2013.

En la figura anterior se representa el módulo del vector formado por la componente X e Y de los desplazamientos, por lo que los valores son siempre positivos. El desplazamiento máximo es de 16,8 cm.

Como los desplazamientos en Y son mucho mayores que los desplazamientos en X, la forma de los movimientos es parecida a la de los movimientos en Y. Aun así, analizando ambas componentes combinadas de este modo, se observa que la tendencia a producirse desplazamientos diferenciales es algo menos marcada que analizando cada componente por separado.

3.11.5. Desplazamientos en |XYZ|

Como ejercicio para complementar la observación hecha en el apartado anterior, se ha creado el *raster* de desplazamientos totales, compuesto por las tres componentes del desplazamiento:

$$|DT| = \sqrt{DTX^2 + DTY^2 + DTZ^2} . \text{ El valor máximo es de 17,3 cm.}$$

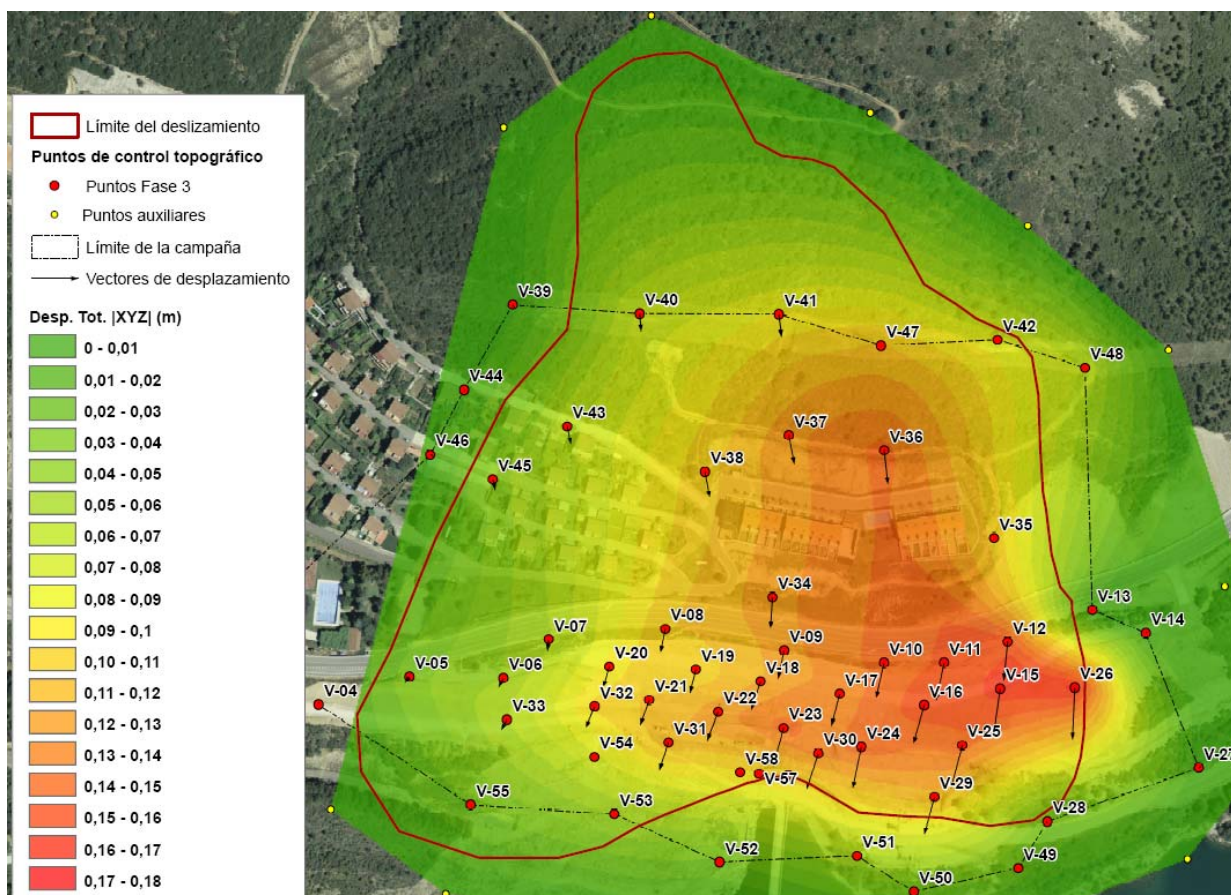


Figura 124. Desplazamientos totales en XYZ entre el 30-Ene-2013 y el 25-Abr-2013.

En este caso se observa algo mejor la tendencia comentada en el apartado anterior: los desplazamientos, analizados conjuntamente, son más uniformes, aunque los desplazamientos diferenciales continúan siendo acusados. Esta uniformización de los movimientos es más clara en dirección N-S que en dirección E-O.

3.12. ANÁLISIS DE DATOS DE AUSCULTACIÓN

3.12.1. Control topográfico

A continuación se presentan una serie de gráficos de evolución temporal de los desplazamientos en distintos puntos de la zona de estudio. Los valores de desplazamiento se han obtenido de los *raster* generados.

Los puntos de referencia son los siguientes:

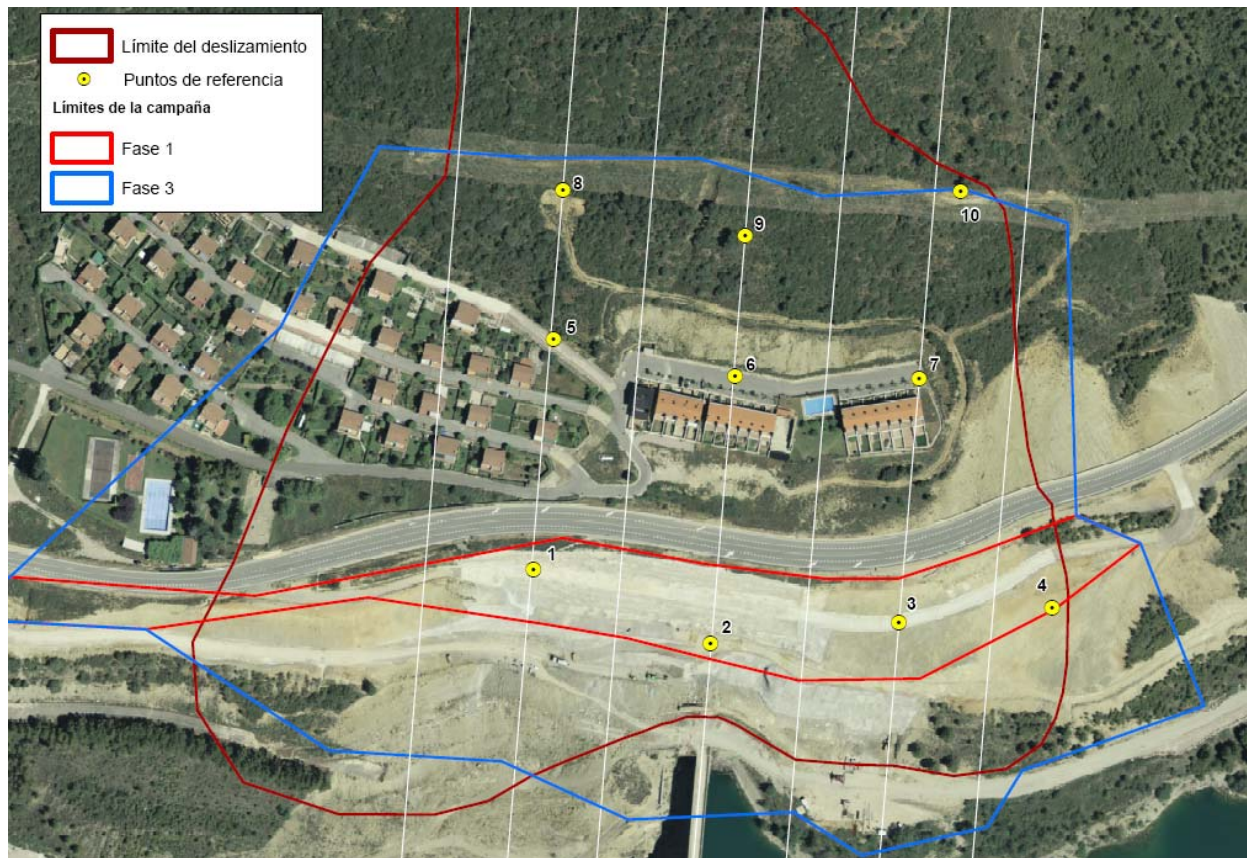


Figura 125. Puntos de referencia del análisis de la evolución temporal de los desplazamientos registrados por control topográfico.

Los puntos seleccionados están alineados siguiendo ejes paralelos al eje de la presa actual, utilizando tres puntos por eje situados a diferente cota. Los puntos 1, 5 y 8 trazan un eje situado 100 m aguas abajo del eje de la presa actual; los puntos 2, 4 y 9 están situados en el eje de la presa actual; los puntos 3, 6 y 7 están sobre un eje situado 100 m aguas arriba de la presa actual; se ha seleccionado también el punto 4, situado en la zona con mayores desplazamientos.

En los puntos 1, 2, 3 y 4, situados dentro del límite de la campaña de la Fase 1, se representan conjuntamente los resultados del análisis de la Fase 1 y de la Fase 3. Como al inicio de la Fase 3 se volvió a hacer una lectura de referencia en todos los puntos de control, los desplazamientos parten de 0.

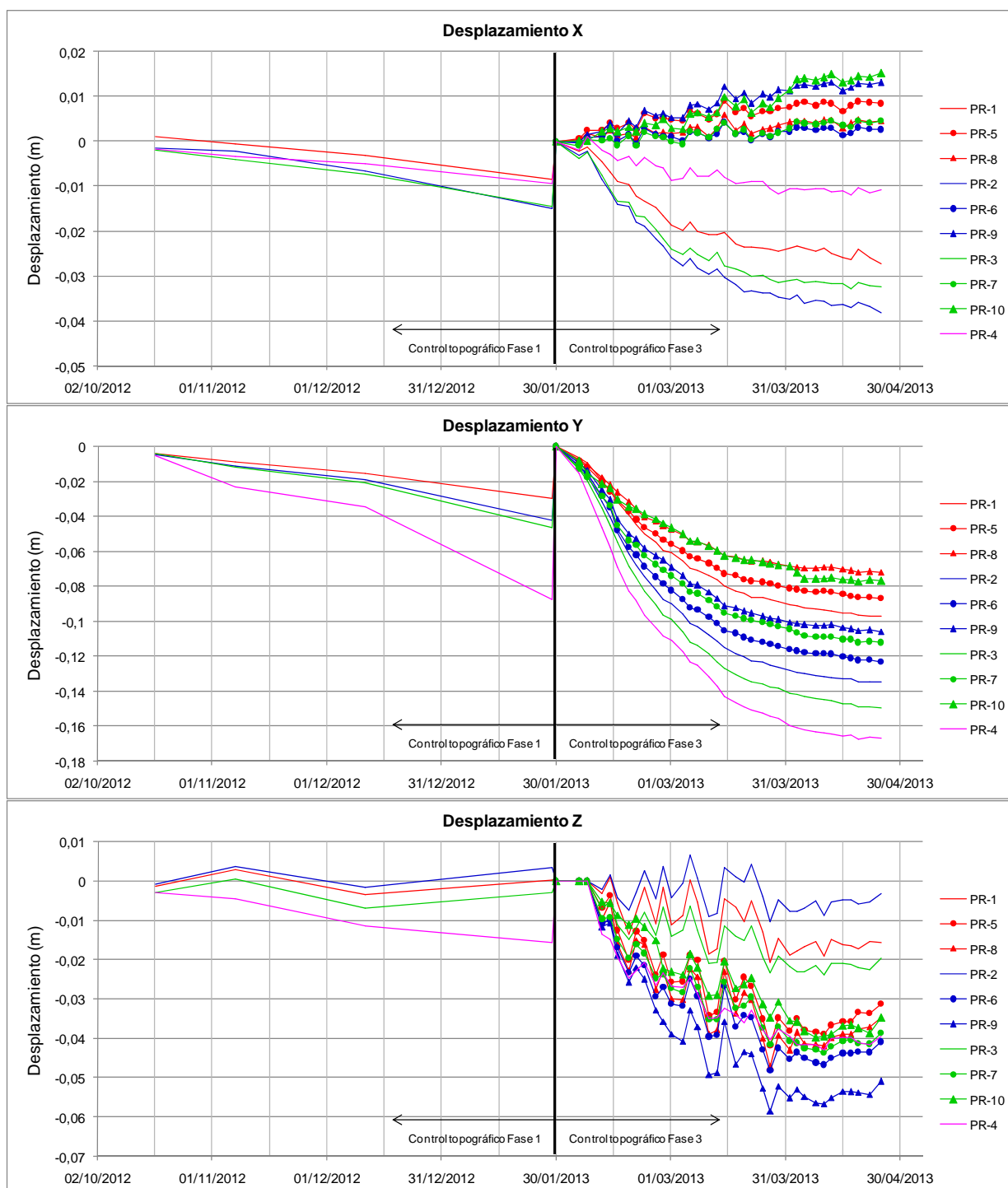


Figura 126. Evolución temporal de los desplazamientos en los puntos de referencia.

En los gráficos anteriores se observan los siguientes aspectos:

- Lógicamente la magnitud final de los desplazamientos a 25-Abr-2013 es la misma que la obtenida en los *raster* mostrados en el capítulo anterior.

- Transición Fase 1 – Fase 3: Aunque el 30-01-2013 se reinician los desplazamientos a 0, se puede intuir cómo la tendencia que muestran éstos durante la Fase 1 se mantiene durante la Fase 3, en especial en los gráficos de desplazamiento en X y desplazamiento en Y.
- Precisión de los datos de la Fase 3: aunque la tendencia de los desplazamientos en X y Z es clara, se observan ciertas fluctuaciones, lo que indica que las medidas se encuentran por debajo del nivel de sensibilidad de la instrumentación. En cambio, las medidas de desplazamiento en Y, mucho mayor, son claras y sin fluctuaciones.
- Precisión de los datos de la Fase 1: no se dispone de suficientes campañas de medida como para apreciar la precisión. Aún sí los desplazamientos muestran una tendencia clara.
- Evolución temporal de los desplazamientos en X: En la Fase 1, se intuye cierta aceleración en la segunda mitad del periodo de medición. En la Fase 3, en los desplazamientos hacia el oeste, producidos en la parte baja de la ladera, se observa una clara desaceleración a partir de mediados de febrero de 2013, coincidiendo con el inicio de los trabajos de emergencia. Esta tendencia a la desaceleración es menos clara en los puntos que se desplazan hacia el este, debido a que los desplazamientos son más pequeños.
- Evolución temporal de los desplazamientos en Y: En la Fase 1 se observa más claramente una aceleración de los movimientos a partir de la medición de diciembre de 2012, en especial en el punto PR-4. En la Fase 3, la desaceleración producida a partir de mediados de febrero de 2013 es mucho más clara. En los últimos registros, los desplazamientos prácticamente se han detenido.
- Evolución temporal de los desplazamientos en Z: En este caso los puntos situados en la parte baja de la ladera tienen más fluctuaciones, lo que impide apreciar con claridad la tendencia de los movimientos.

En la Fase 1 se observan fluctuaciones en los PR-1, PR-2 y PR-3. En el punto PR-4 la tendencia es más clara, aunque no se aprecia ninguna aceleración del movimiento. En la Fase 3, aunque los datos son más fluctuantes, también se puede apreciar una desaceleración de los movimientos a partir de mediados de febrero de 2013.

3.12.2. Inclinómetros

A continuación se resumen los resultados de la reinterpretación de los inclinómetros disponibles hasta el momento de redacción del presente informe. Las salidas gráficas originales de *Inclinanalysis* se pueden consultar en el apéndice 4.

Los resultados se presentan desde el inclinómetro más antiguo al más moderno. En análisis de resultados se hace respecto a las medidas en el eje A, con orientación aproximada N-S (siguiendo la pendiente de la ladera), ya que los datos del eje B (con dirección E-O aproximadamente) tienen muy poca precisión y en la mayoría de casos no se puede sacar conclusiones de ellos.

Los resultados están resumidos y analizados conjuntamente en la Tabla 41 y en la Figura 153 del apartado 3.12.2.21.

3.12.2.1. SZ-05

Inclinómetro situado en la parte baja de la ladera, a la cota 491,4, unos 35 m aguas arriba de la presa actual. Se dispone de lecturas desde el 12/02/2009 hasta el 11/03/2013. No se dispone del archivo de datos originales de la medida del 11/03/2013 sino que este resultado se ha obtenido de las salidas gráficas de *Inclinanalysis*.

El error de medida es relativamente apreciable (≈ 1 mm) en las lecturas de referencia del 12/02/2009, y prácticamente 0 en las mediciones siguientes. Casualmente este error queda compensado en las lecturas hechas a partir del 14/1/2010, y los gráficos tienen una forma normal. Se puede observar una superficie de rotura principal situada aproximadamente entre 10,5 y 13 m de profundidad.

Se intuye una posible superficie de rotura secundaria a 25,5 m de profundidad, en la que el desplazamiento acumulado es inferior a 2 mm, y algunas roturas secundarias superficiales.

El desplazamiento acumulado en cabeza de sondeo es de unos 50 mm.

La velocidad de los movimientos es más o menos constante (unos 1,5 mm/mes) hasta la medida del 27/02/2013, momento a partir del cual se produce una clara aceleración de los movimientos.

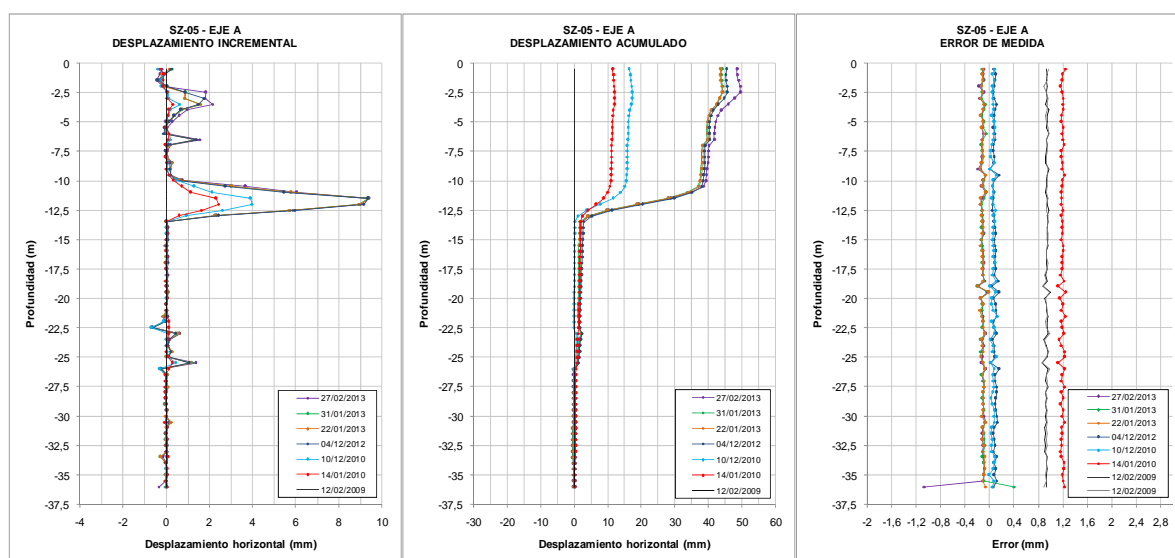


Figura 127. Resultados del inclinómetro SZ-05.

A continuación se muestra un gráfico que relaciona los desplazamientos acumulados en el inclinómetro, con las precipitaciones. En este gráfico se indica el periodo de voladuras para la construcción de los túneles de la autovía (abril de 2010-enero 2011):

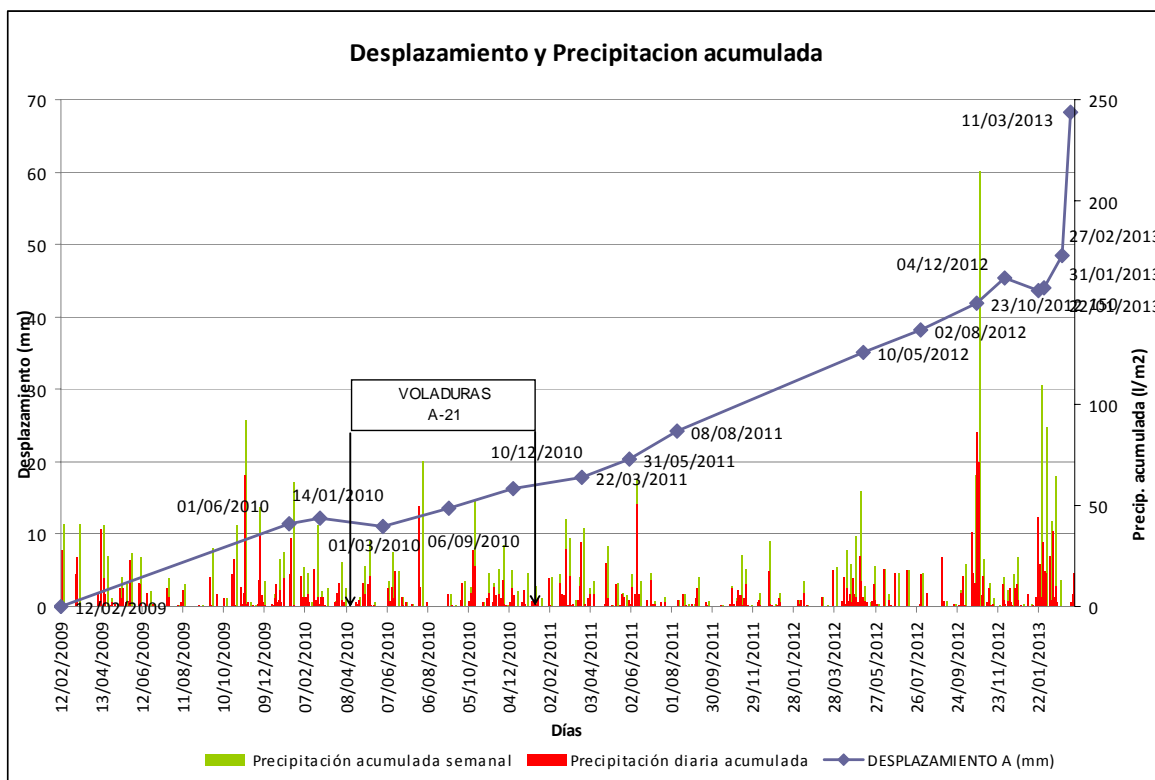


Figura 128. SZ-05. Desplazamientos y precipitaciones

Respecto a las precipitaciones, se puede deducir relación temporal entre las precipitaciones registradas en octubre de 2012 y el aumento de los desplazamientos registrados en la lectura del 4/12/12, con un desfase del orden de 1 mes. La máxima aceleración de los movimientos tiene lugar a partir de la lectura de 31/01/13.

En el periodo de construcción de los túneles de la Autovía A-21, la velocidad de movimiento era incluso inferior a la que se venía registrando hasta el momento, mostrada por la menor pendiente de la recta. A partir de la lectura de día 10/12/2010 la velocidad de desplazamientos aumenta sensiblemente, pasando a ser de 1,46 cm/año. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que antes del periodo de voladuras (durante el año 2009), la velocidad de desplazamiento era similar (1,25 cm/año).

Se ha representado a continuación una gráfica que relaciona los desplazamientos en los planos de rotura reconocidos en este inclinómetro (a -10,5 m y a -25,5 m de profundidad) con el nivel del embalse:

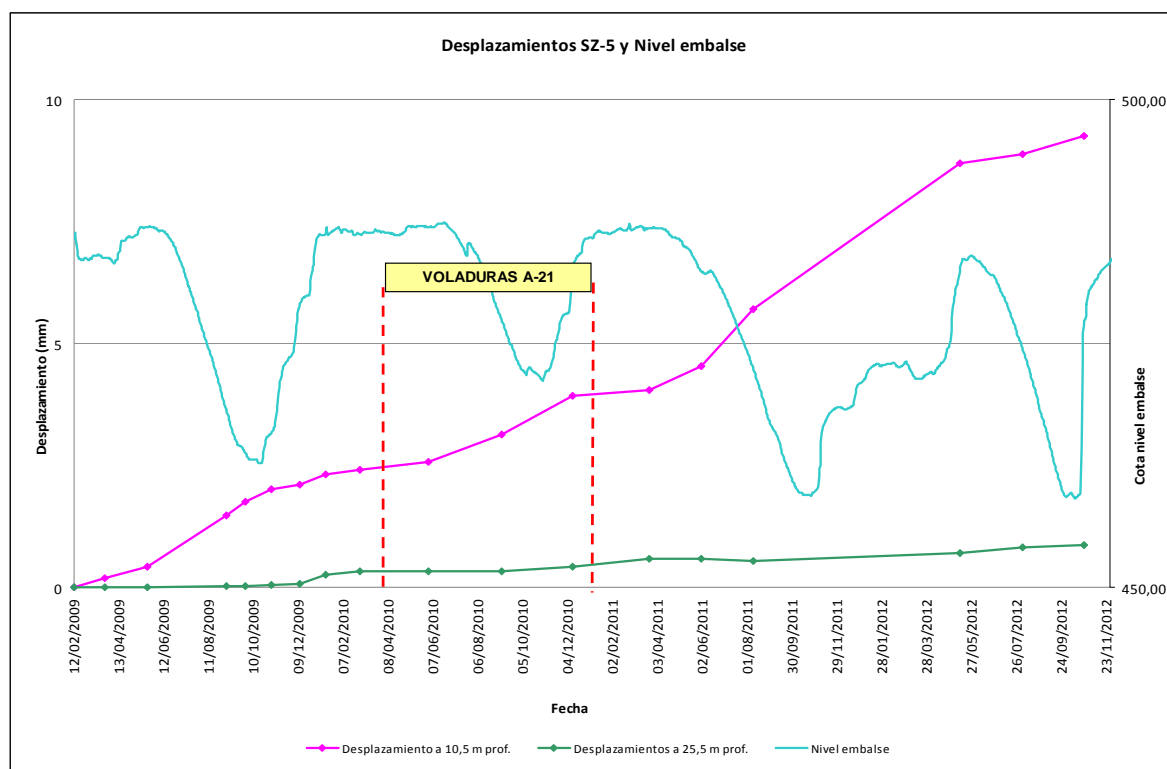


Figura 129. SZ-05. Desplazamientos y nivel de embalse

De acuerdo con este gráfico, durante el periodo de voladuras la velocidad de desplazamiento en este plano se aceleraría, para a continuación descender. A partir de abril-junio de 2011, coincidiendo con las excavaciones para el plinto, volvería a acelerarse. Sin embargo, debe señalarse que la velocidad de desplazamiento antes del periodo de construcción de los túneles, era del mismo orden de magnitud, por lo que no puede afirmarse que durante las voladuras, o como consecuencia de ellas, el movimiento se hubiera acelerado, sin que por ello pueda descartarse contribución.

En el caso del plano de rotura profundo, el primer incremento en la velocidad de desplazamiento tiene lugar antes de las voladuras. Durante el periodo de construcción de los túneles, la velocidad se mantiene, para volver a incrementarse después, coincidiendo temporalmente con el inicio de las excavaciones para la construcción del plinto.

Por otra parte, parece existir una relación entre el movimiento en el plano de deslizamiento situado a 10,5 m y el nivel del embalse, observándose una aceleración de los movimientos en épocas de desembalse. Esto vendría a demostrar que este plano de deslizamiento corresponde al denominado deslizamiento de "el inglés", de carácter rotacional y claramente influenciado por el nivel freático. En el caso del plano más profundo, no se observa relación con el nivel de embalse.

3.12.2.2. SZ-07

Se dispone de lecturas desde el 12/02/2009 hasta el 02/08/2012. Este inclinómetro está alejado de los límites del deslizamiento objeto de estudio, por lo que no se comentan aquí los resultados.

3.12.2.3. SZ-02

Inclinómetro situado junto a la carretera N-240, unos 20 m aguas abajo del eje de la presa actual, a la cota 553,1. No se dispone de los datos originales, sino únicamente la interpretación hecha con *Inclinalysis* de lecturas desde el 12/12/2012 hasta el 20/02/2013. No obstante la calidad de estas medidas es demasiado mala como para sacar alguna conclusión.

Sin embargo se tiene constancia de que las lecturas se iniciaron el 26/03/2009, y que al inicio se detectó una plano de deslizamiento a 62 m de profundidad. El mayor desplazamiento, que imposibilita las lecturas posteriores a partir de esta profundidad, se produce entre septiembre de 2010 y marzo de 2011.

En este periodo se están llevando a a cabo dos tipos de actuaciones: voladuras para la construcción del túnel de Yesa en la Autovía A-21, (entre abril de 2010 y enero de 2011) y la segunda fase de las excavaciones para la construcción del recrecimiento de la presa, (desde enero de 2011 hasta julio del mismo año). Las precipitaciones acaecidas en ese periodo de tiempo se sitúan dentro del rango de valores anuales normales en esta zona.

Cabe destacar que en los gráficos disponibles de *Inclinalysis* la profundidad del inclinómetro es de 55 m.

3.12.2.4. SZ-08

Se dispone de lecturas desde el 08/03/2011 hasta el 21/02/2013. Este inclinómetro está alejado de los límites del deslizamiento.

Las lecturas disponibles abarcan el periodo comprendido entre el 4/12/12 y el 21/02/13, no habiéndose reconocido ningún plano de rotura.

3.12.2.5. SZ-03A

Inclinómetro situado junto al límite oriental del deslizamiento, a la cota 542,8. Se dispone de lecturas desde el 18/07/2011 hasta el 06/11/2012.

En todas las campañas disponibles el error de lectura es relativamente apreciable y fluctuante. Este error se refleja en los gráficos de desplazamiento acumulado en forma de desplazamientos progresivos desde la parte inferior del sondeo, que no son reales. Este error en el desplazamiento acumulado sería de unos 60 mm en cabeza de sondeo en la lectura del 06/11/2012.

Sin embargo se observa claramente una superficie de rotura a unos 13 m de profundidad, en la que se registra un desplazamiento incremental de 175 mm el 06/11/2012. La velocidad de desplazamiento promedio estaría en torno a 10,5 mm/mes.

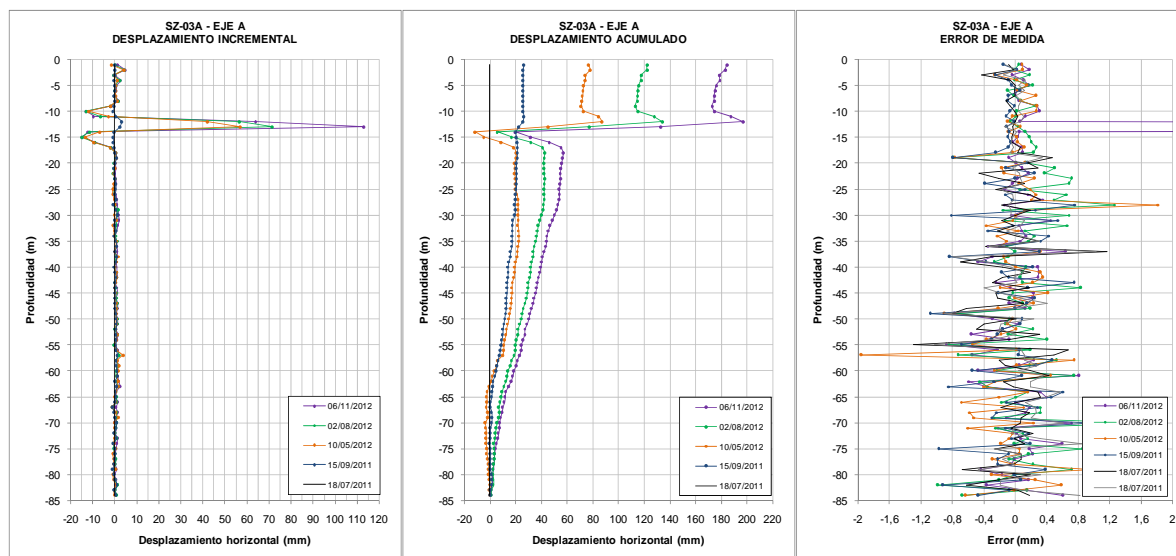


Figura 130. Resultados del inclinómetro SZ-03A.

A continuación se recoge una gráfica que relaciona la velocidad de desplazamiento registrada en este inclinómetro y las precipitaciones:

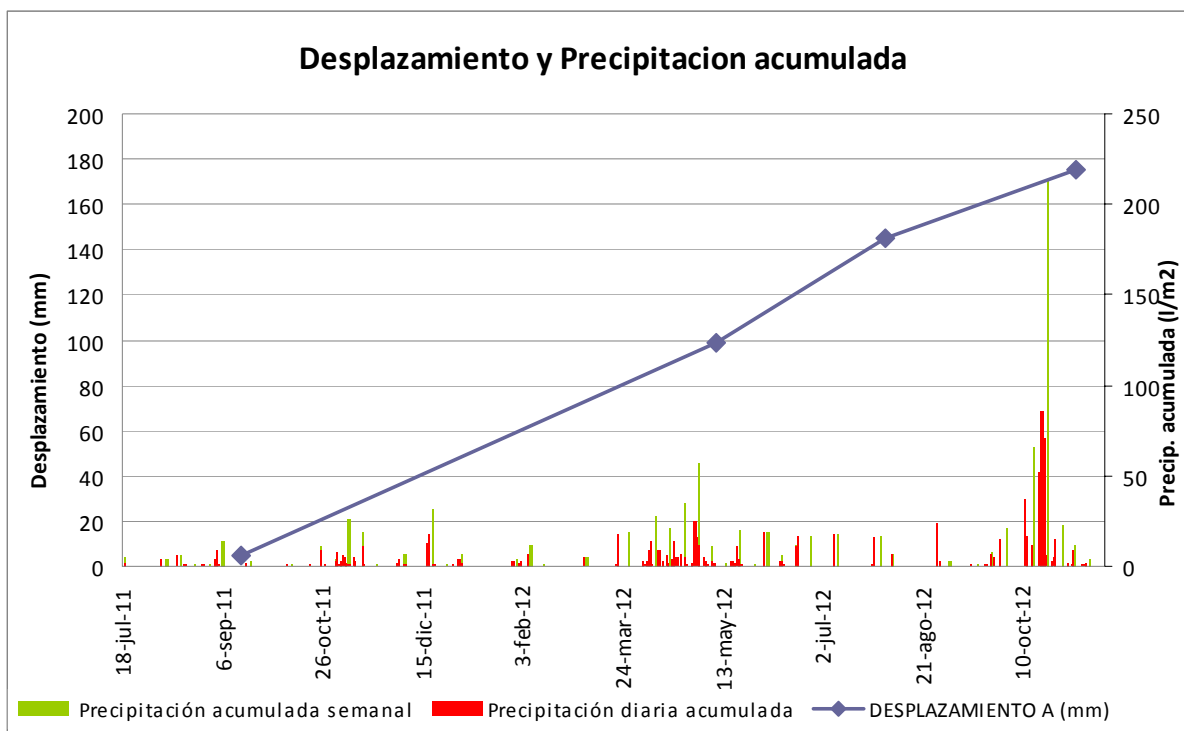


Figura 131 SZ-03. Desplazamientos y precipitaciones

3.12.2.6. SZ-01A

Inclinómetro situado junto a la carretera N-240, unos 70 m aguas abajo del eje de la presa actual, a la cota 552,4.

Fue realizado a rotoperusión hasta una profundidad de 140 m y finalizado en junio de 2008. Este inclinómetro no pudo ser medido a partir de una profundidad superior a 60 m en su primera medida realizada en marzo de 2009, motivo por el cual se midió con una longitud de 55 m. Hasta esta profundidad, no se ha detectado ningún plano de deslizamiento. Se puede deducir, por tanto, que el plano de deslizamiento se localizaría en torno a una profundidad del orden de 60 m, produciéndose un importante desplazamiento (suficiente para imposibilitar la introducción de la sonda), entre finales del año 2008 y principios de 2009. Sin embargo, y según la información disponible, en estas fechas no tiene lugar ninguna actuación en esta margen de la cerrada. Asimismo, las precipitaciones acaecidas durante ese periodo entran dentro de los valores normales en esta zona, con un valor máximo de 82,2 l/m² en 7 días, el día 29 de enero de 2009.

A la vista de los resultados obtenidos en el resto de inclinómetros que se ejecutaron con posterioridad, se confirma que el plano de rotura en ese sector se localiza a la profundidad de 60 m aproximadamente.

Para los primeros 60 m, se dispone de lecturas desde el 18/07/2011 hasta el 20/02/2013. Únicamente se ha dispuesto de los datos originales en formato digital entre de las lecturas del 18/07/2011 y 06/11/2011, y son las que se representan a continuación. El resto de lecturas se pueden ver en los resultados de *Inclinanalysis*.

En cualquier caso, los errores de medida son tan grandes que no se puede sacar ninguna conclusión de los resultados.

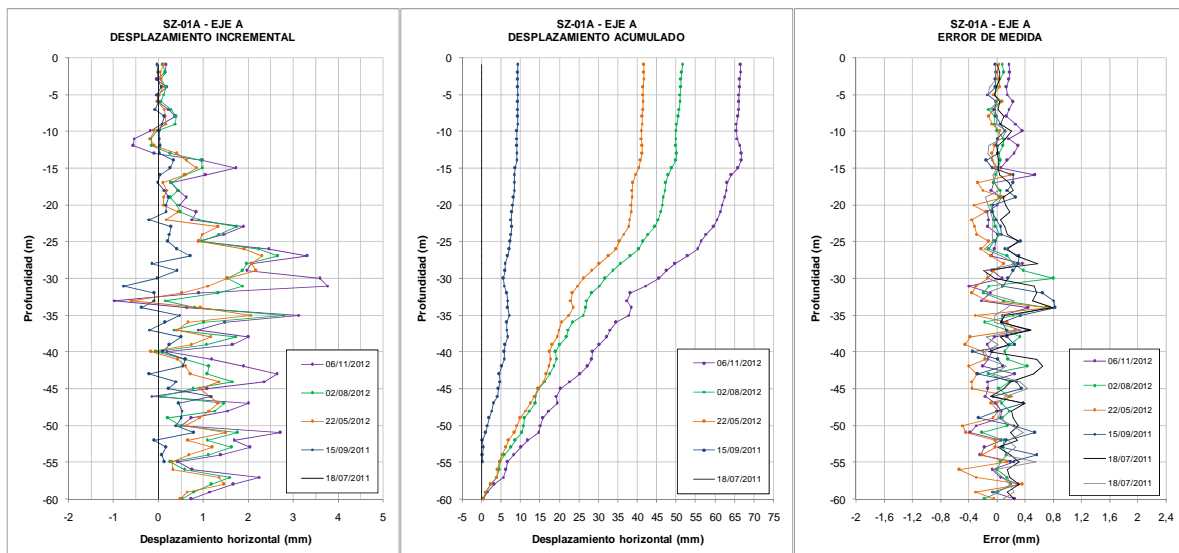


Figura 132. Resultados del inclinómetro SZ-01A.

3.12.2.7. SCI-03

Inclinómetro situado aproximadamente 50 m aguas abajo del eje de la presa actual, en torno a la cota 537,5 y tiene una longitud de 80 m. Se dispone de lecturas desde el 22/05/2012 hasta el 09/10/2012.

En este caso hay una gran diferencia entre la nueva interpretación de los datos y los resultados obtenidos con *Inclinanalysis*. Aparentemente en el segundo caso no se ha aplicado la corrección de los desplazamientos por hacer la medición cada metro de sondeo y no cada medio metro (longitud de la sonda), por lo que los desplazamientos obtenidos con *Inclinanalysis* son la mitad que en la nueva interpretación.

En las salidas gráficas se puede observar como el error de medición, a pesar de ser pequeño, es fluctuante, lo que implicaría una sobreestimación de los desplazamientos acumulados en cabeza de sondeo de unos 8 mm.

Se diferencia claramente una superficie de rotura principal situada a unos 51 m de profundidad, en la que se registra un desplazamiento incremental de 21,5 mm el 09/10/2012. Por encima de esta rotura principal se pueden diferenciar varias roturas secundarias, que acumulan un desplazamiento adicional de unos 15 mm. Estas roturas podrían reflejar inestabilidades locales debido a la proximidad del inclinómetro a límite del talud.

La velocidad de desplazamiento promedio en la superficie de rotura principal es de unos 6 mm/mes. Esta velocidad es mayor hasta el 19/07/2012 (de unos 7,8 mm/mes), y luego se reduce a unos 4,5 mm/mes.

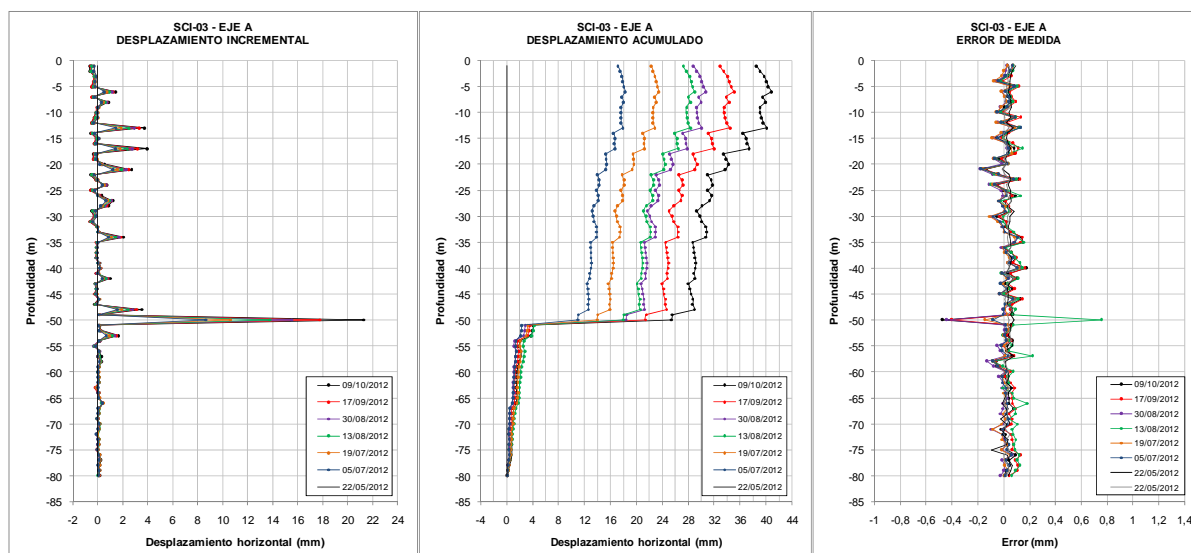


Figura 133. Resultados del inclinómetro SCI-03.

En el siguiente gráfico puede observarse cómo, la desaceleración que tuvo lugar durante el mes de agosto, muy posiblemente debida a la paralización de las excavaciones, no guarda relación temporal con las precipitaciones acaecidas en la zona ya que el desplazamiento vuelve de nuevo a acelerarse a partir de septiembre de 2012, con unas precipitaciones muy bajas.

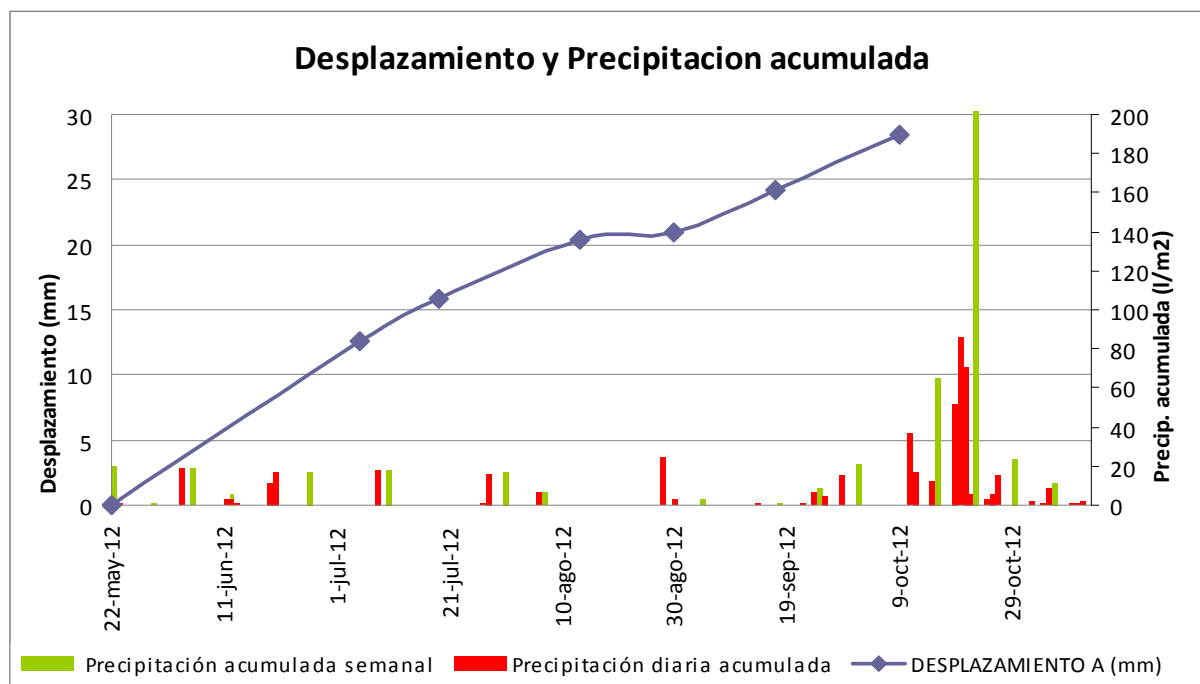


Figura 134. SCI-03.Desplazamientos y precipitaciones

3.12.2.8. SCI-11

Inclinómetro situado al oeste de la urbanización Mirador de Yesa, en torno a la cota 563,1. Se dispone de lecturas desde el 18/08/2012 hasta el 20/11/2012.

El error de medida es pequeño y constante, por lo que no se acumulan grandes errores en los gráficos de desplazamiento acumulado, a pesar de que en las lecturas del 12/11/2012 y del 20/11/2012 el error promedio es mayor que en las otras fechas.

Se puede diferenciar claramente una superficie de deslizamiento principal situada a 35 m de profundidad. Se pueden intuir otras zonas en las que se registran desplazamientos horizontales (a 23 y 44 m de profundidad), en este caso mucho más pequeños.

El desplazamiento horizontal acumulado en superficie es de 19,4 mm el 20/11/2012. La velocidad de desplazamiento es de unos 5 mm/mes hasta el 12/11/2012. A partir de entonces se acelera hasta unos 16 mm/mes.

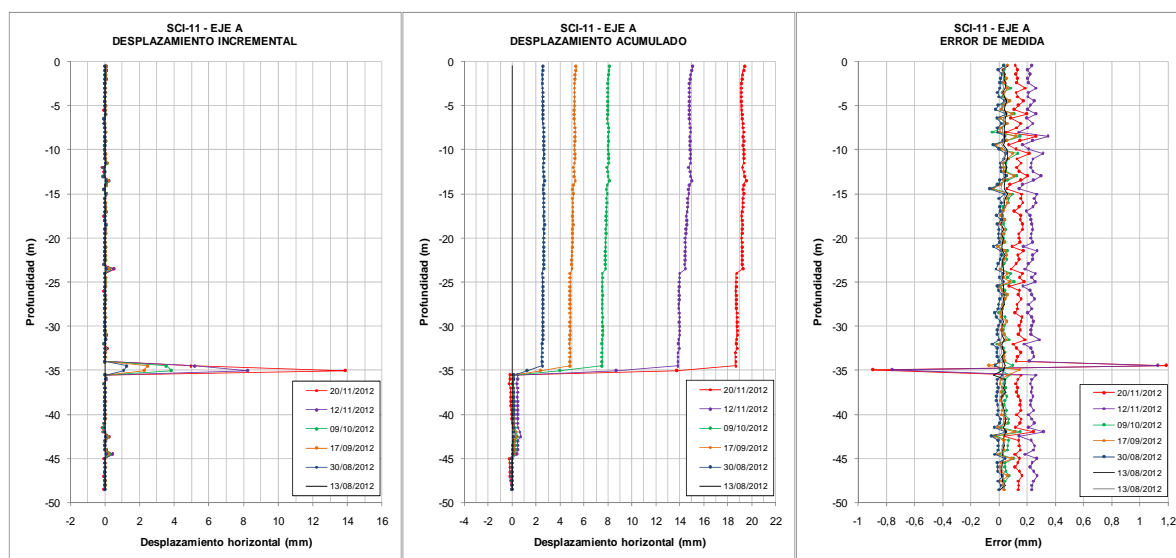


Figura 135. Resultados del inclinómetro SCI-11.

El gráfico desplazamientos-precipitaciones se recoge a continuación:

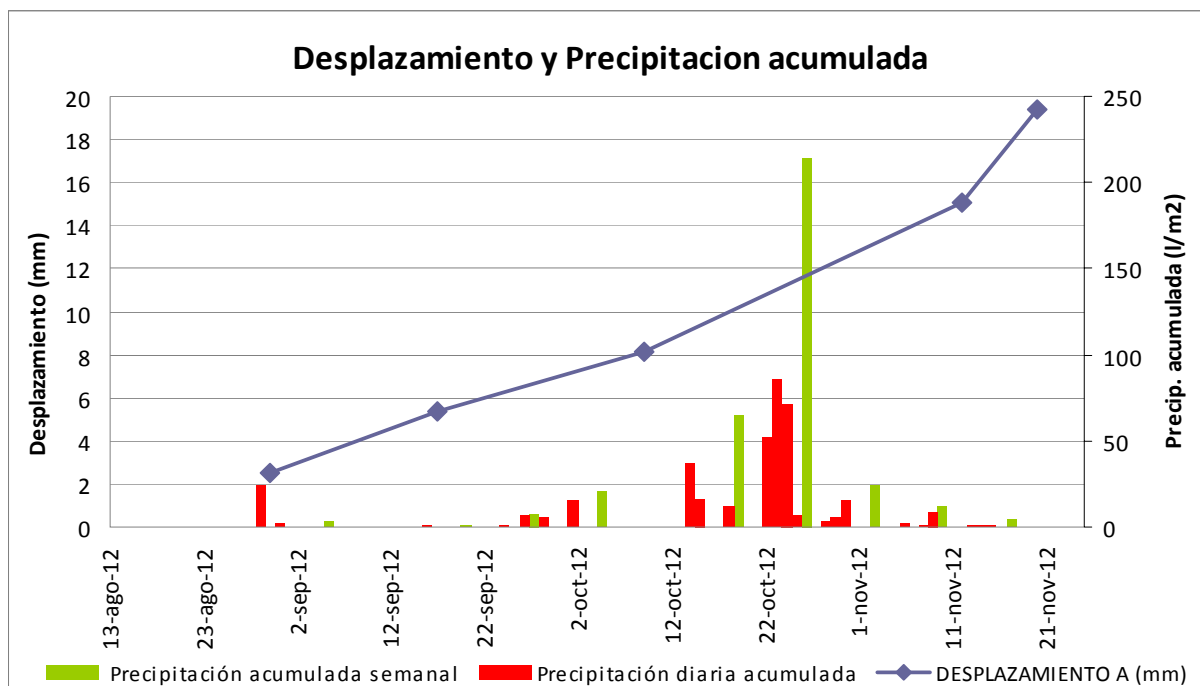


Figura 136. SCI-11. Desplazamientos y precipitaciones

3.12.2.9. SCI-02

Inclinómetro situado junto a la carretera N-240, a la cota 548,1, unos 90 m aguas arriba del eje de la presa actual. Se dispone de lecturas desde el 04/12/2012 hasta el 27/12/2012.

En este caso hay una diferencia de aproximadamente -0,1 mm entre el error promedio de las lecturas de los días 4 y 11 (error promedio de -0,2 mm) y las lecturas de los días 18 y 27 (error promedio de -0,3). Se trata de errores de calibración de la sonda. De forma general puede decirse que la mitad de esta diferencia es el error que se propaga cada metro en los gráficos de desplazamiento acumulado. Sin embargo no es exactamente así ya que la propagación de este error depende de la inclinación real del sondeo y de los propios errores de lectura del acelerómetro, por lo que es mucho más difícil de filtrar.

En el sondeo SCI-02 se puede apreciar claramente una superficie de rotura principal situada a 37 m de profundidad, en la que se registra un desplazamiento horizontal de 12 mm. La velocidad de desplazamiento es prácticamente constante, con un promedio de 15,9 mm/mes.

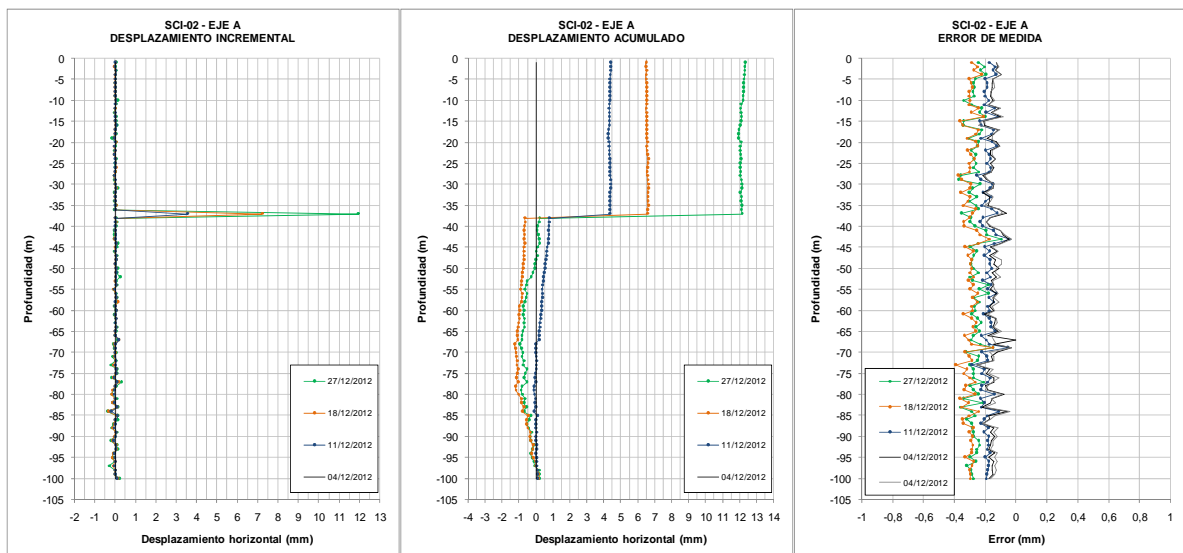


Figura 137. Resultados del inclinómetro SCI-02.

A continuación se muestra el gráfico que relaciona el desplazamiento con las precipitaciones:

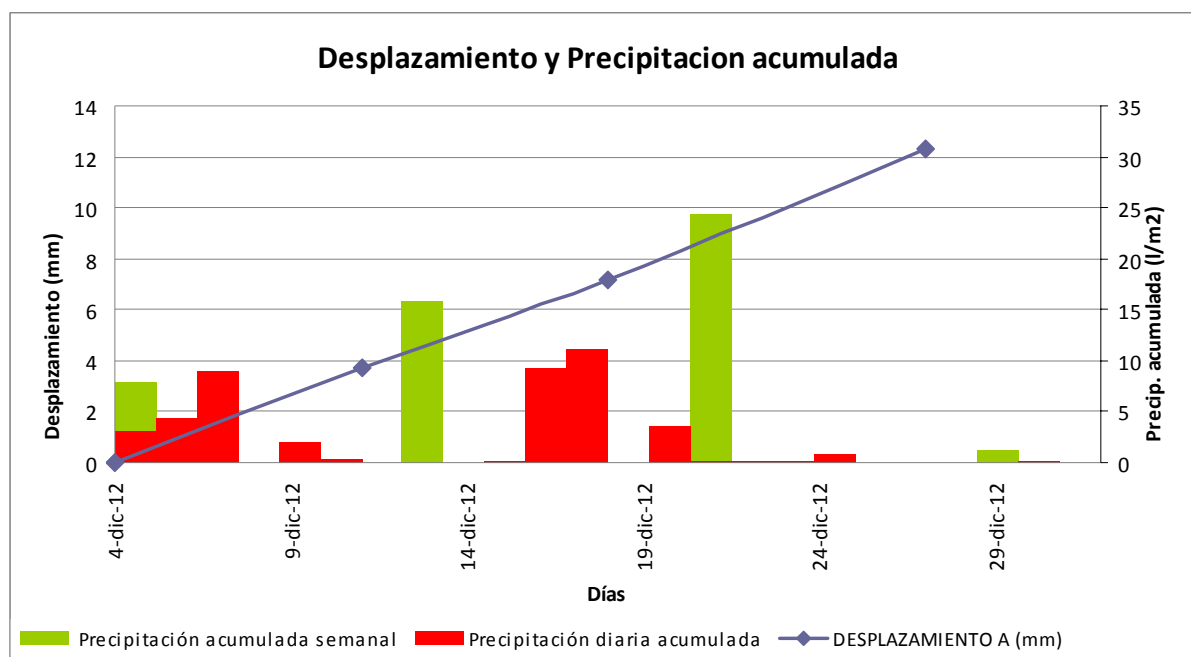


Figura 138. SCI-02. Desplazamientos y precipitaciones

En este caso, la velocidad, tal como se ha comentado, ha sido constante a lo largo del periodo de lecturas, no viéndose relación clara con las precipitaciones.

3.12.2.10. SZ-06

Inclinómetro situado en la parte baja del deslizamiento, a la cota 493,1, unos 110 m aguas arriba del eje de la presa actual. Se dispone de lecturas desde el 12/02/2009 hasta el 31/01/2013, en total 19 campañas de lectura. Sin embargo en varias de estas campañas el error de lectura es relativamente apreciable, motivo por el cual únicamente se han utilizado las más representativas. Se ha utilizado como referencia la lectura del 10/12/2010. Aún así existen algunos errores de calibración en las medidas utilizadas, por lo que no se pueden sacar conclusiones importantes de este inclinómetro.

Se puede diferenciar una superficie de deslizamiento principal a unos 9 m de profundidad, y otra secundaria a 14 m de profundidad. En la superficie principal se produjo un desplazamiento de unos 1,6 mm entre el 08/08/2011 y el 02/08/2012 (0,15 mm/mes). Entre el 02/08/2012 y la última lectura del 31/01/2013 el desplazamiento es prácticamente nulo.

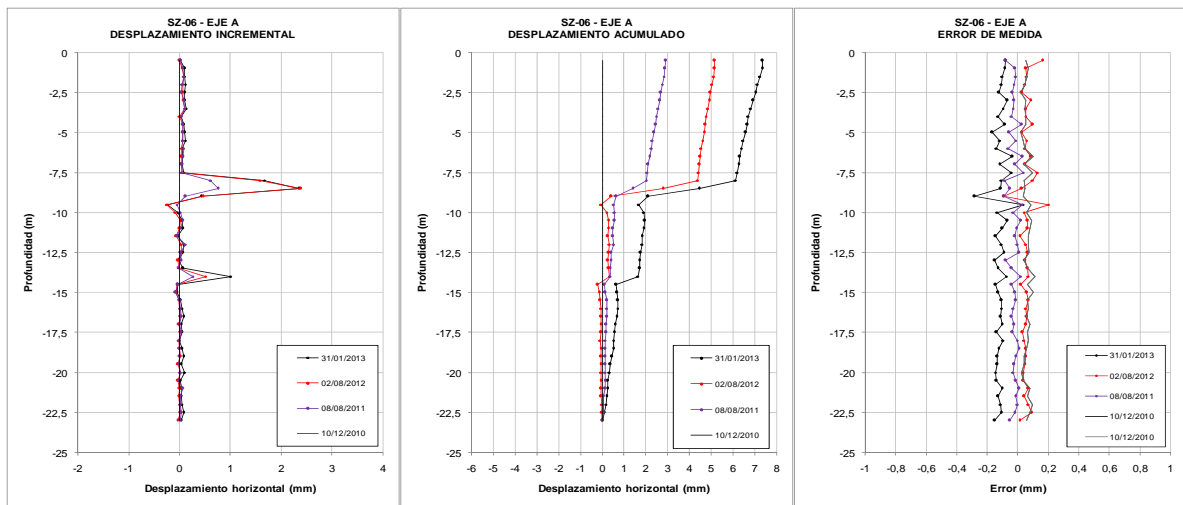


Figura 139. Resultados del inclinómetro SZ-06.

El gráfico que relaciona las velocidades del desplazamiento en cabeza con las precipitaciones se presenta a continuación

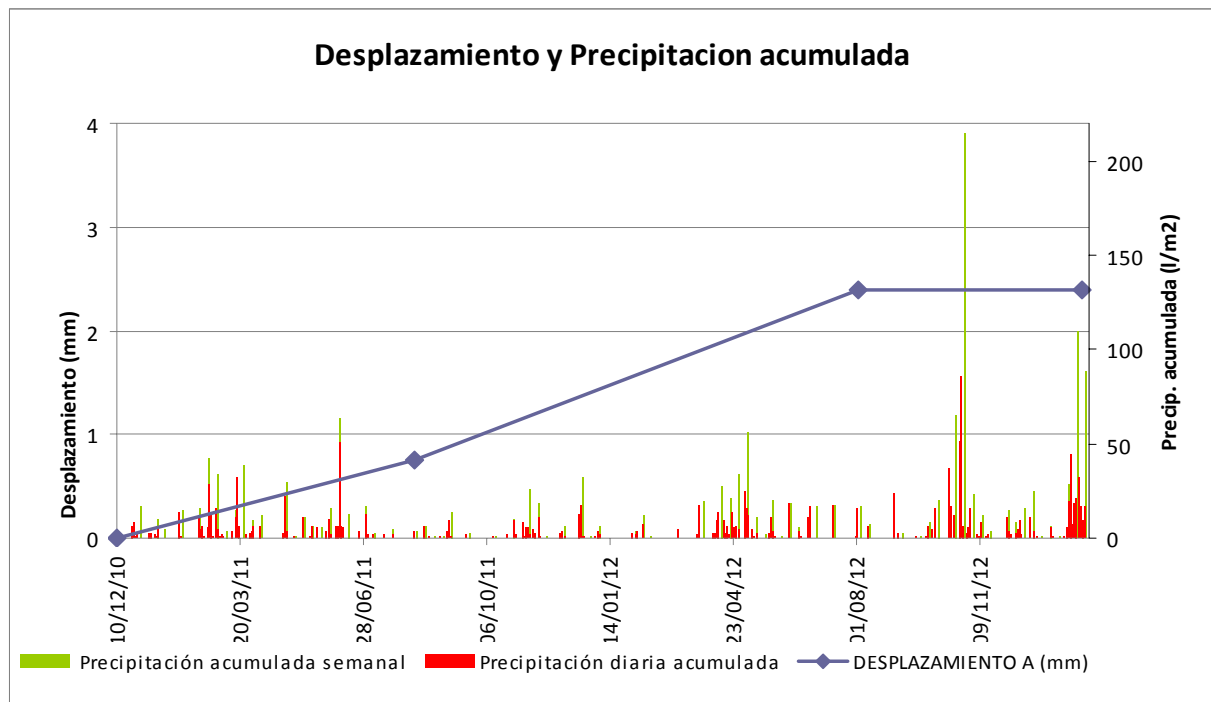


Figura 140. SZ-06 Desplazamientos y precipitaciones

De las lecturas de este inclinómetro se puede deducir que, por un lado, la detención de las excavaciones en el verano de 2012 se tradujeron en una detención del movimiento en este inclinómetro y, por otro, que no parece existir relación entre las precipitaciones y el desplazamiento.

Por otro lado, dado que este inclinómetro se encontraba operativo en el momento de ejecución de las voladuras para la construcción de los túneles de Yesa, en la autovía A-21, se ha realizado un gráfico que muestra las velocidades de desplazamiento en los planos de deslizamiento detectados:

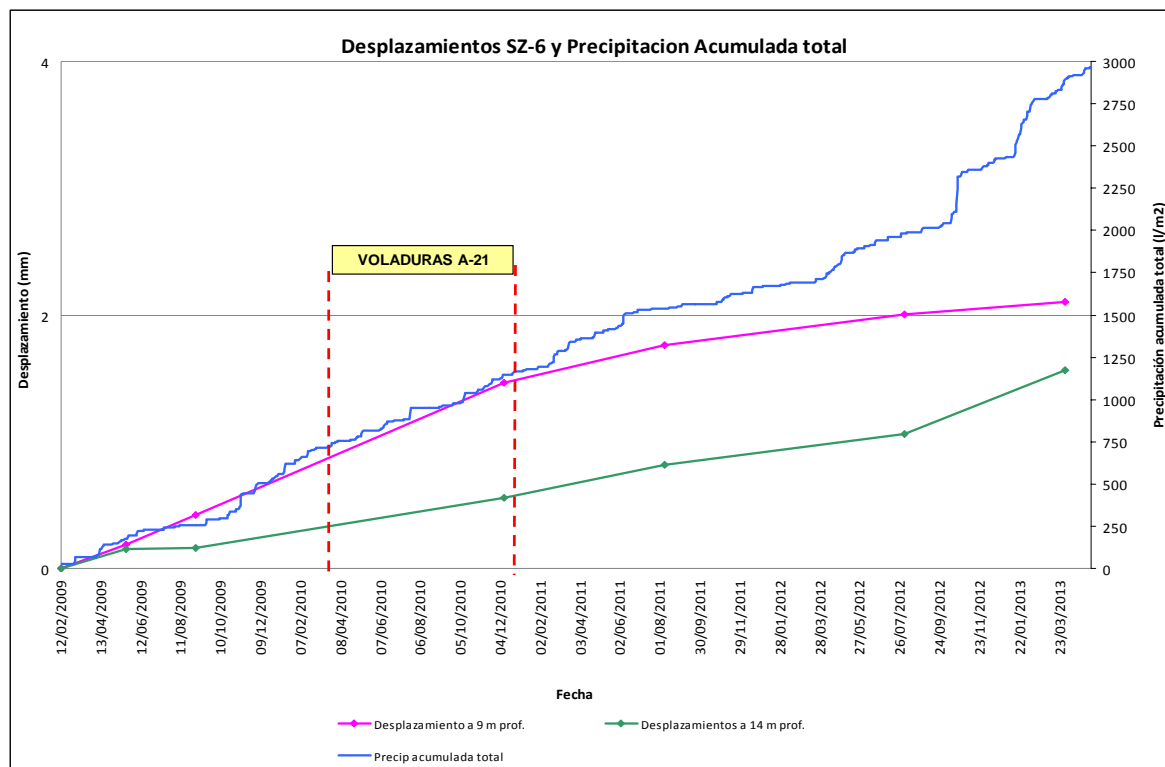


Figura 141. SZ-06 Velocidad de desplazamiento en distintos planos y precipitaciones

De acuerdo con este gráfico, y una vez comparada la pendiente de las rectas antes y después de las voladuras, no puede afirmarse que estas hayan provocado un aumento en la velocidad de desplazamiento en estos planos de rotura.

No obstante, debe tenerse en cuenta que este inclinómetro, se sitúa, en principio, dentro del ámbito del deslizamiento denominado de “el inglés”, lo cual podría justificar la diferencia existente entre las tasas de desplazamiento con respecto al resto de inclinómetros.

3.12.2.11. SCI-13

Inclinómetro situado al este de la urbanización Mirador de Yesa, en torno a la cota 563,7. Se dispone de lecturas desde el 10/12/2012 hasta el 23/01/2013.

Hay una diferencia de unos 0,12 mm entre el promedio del error de las medidas de referencia del 10/12/2012 y el promedio del error del resto de medidas (error de calibración). Aproximadamente la mitad de esta diferencia se propaga en el gráfico de desplazamiento acumulado, que son los 2 mm de desplazamiento acumulado negativo que muestra el gráfico.

Se observa una superficie de cizalla principal situada a unos 13 m de profundidad, con un desplazamiento incremental de 8,4 mm. La velocidad promedio es de unos 3,3 mm/mes hasta el

08/01/2013. A partir de esta fecha se aceleraron los movimientos, y entre el 17/01/2013 y el 23/01/2013 la velocidad fue de 18 mm/mes.

Se intuyen otros planos con movimiento horizontal en torno a los 42 y 67 m de profundidad, aunque podría tratarse de errores o irregularidades en el sondeo.

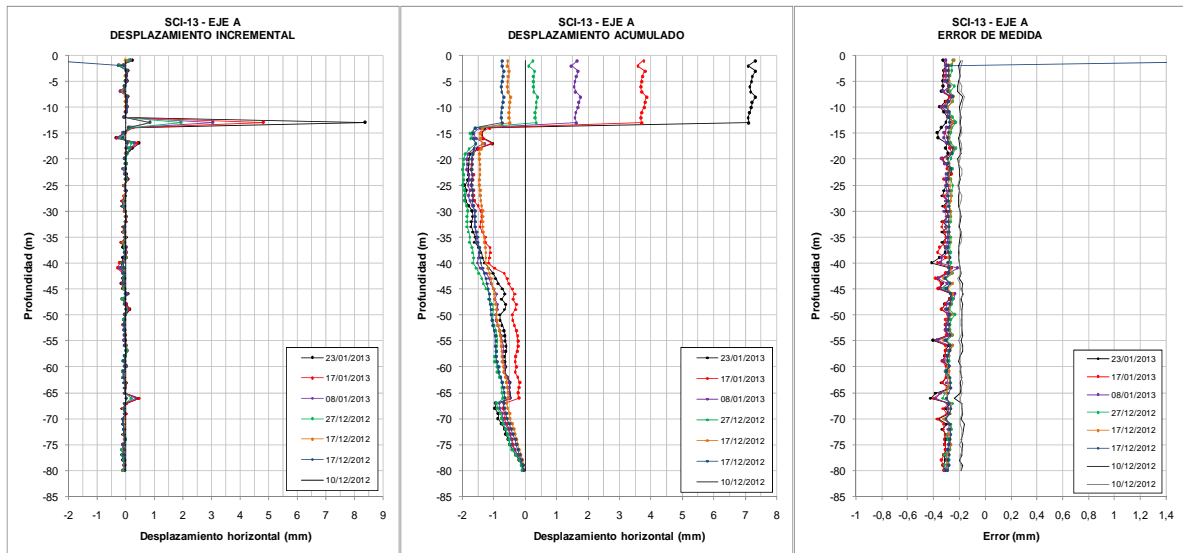


Figura 142. Resultados del inclinómetro SCI-13.

En la gráfica que relaciona desplazamientos con precipitaciones, que se muestra a continuación, puede observarse correlación temporal entre ambos.

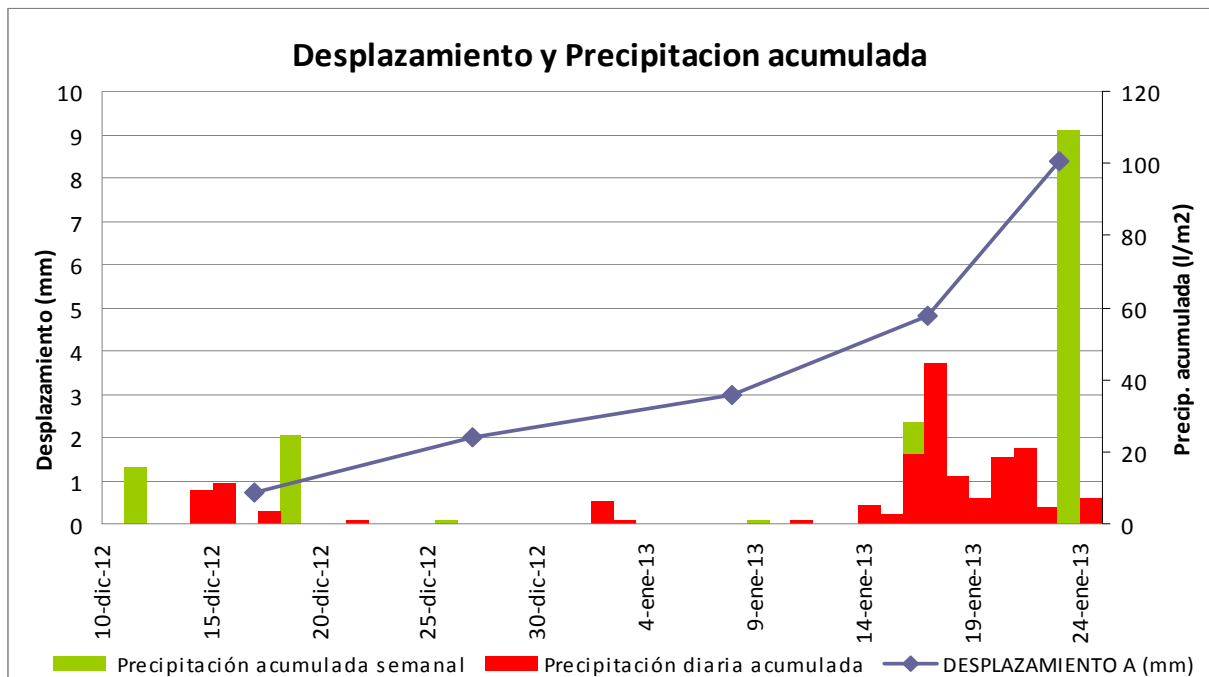


Figura 143. SCI-13. Desplazamientos y precipitaciones

3.12.2.12. SCI-06

Inclinómetro situado aproximadamente 50 m aguas abajo del eje de la presa actual, en torno a la cota 519,5. Se dispone de lecturas desde el 11/12/2012 hasta el 30/01/2013.

En este caso, aunque el promedio del error de medida de la lectura de referencia (0,2 mm), y el promedio del resto de lecturas (0,3 mm) es diferente, esta diferencia no se refleja en los gráficos de desplazamiento acumulado porque únicamente es diferente la medida de referencia.

Se puede ver claramente una superficie principal de rotura a 30 m de profundidad. Además se diferencian dos planos de cizalla secundarios situados a 34 y 39 m de profundidad. En este caso los planos secundarios son bastante claros, y dada su proximidad al principal, podrían estar influenciados por éste (planos de arrastre locales).

El desplazamiento horizontal acumulado en superficie es de 18,3 mm. Hasta el 17/01/2013 la velocidad promedio fue de 4,5 mm/mes. Luego se produjo una aceleración y la velocidad de desplazamiento llegó a ser de 36 mm/mes entre el 24/01/2013 y el 30/01/2013.

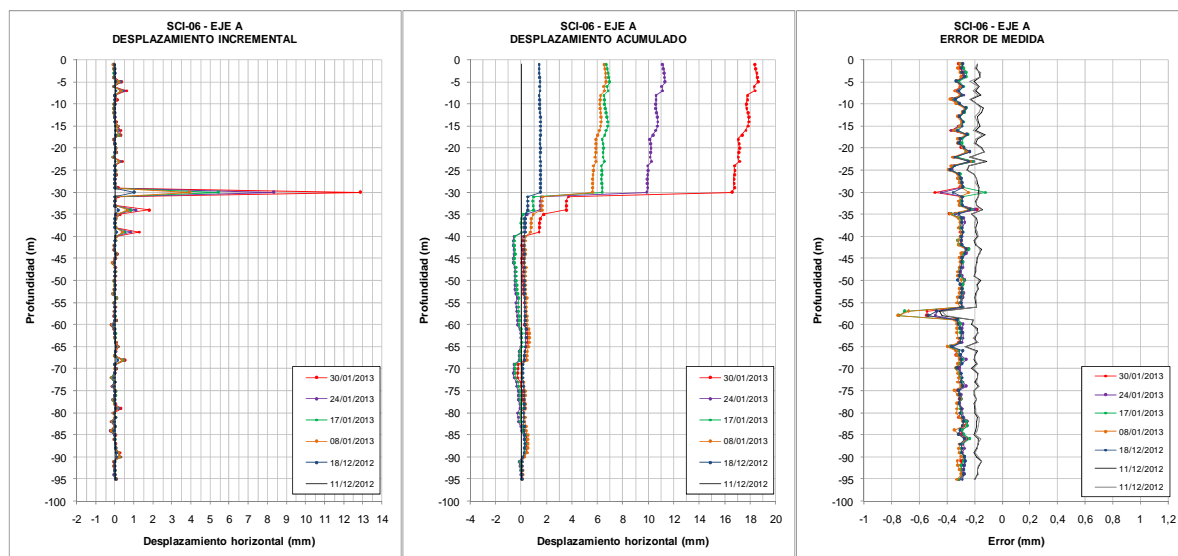


Figura 144. Resultados del inclinómetro SCI-06.

De la gráfica que se recoge a continuación parece deducirse una coincidencia temporal entre la aceleración de los desplazamientos y las precipitaciones:

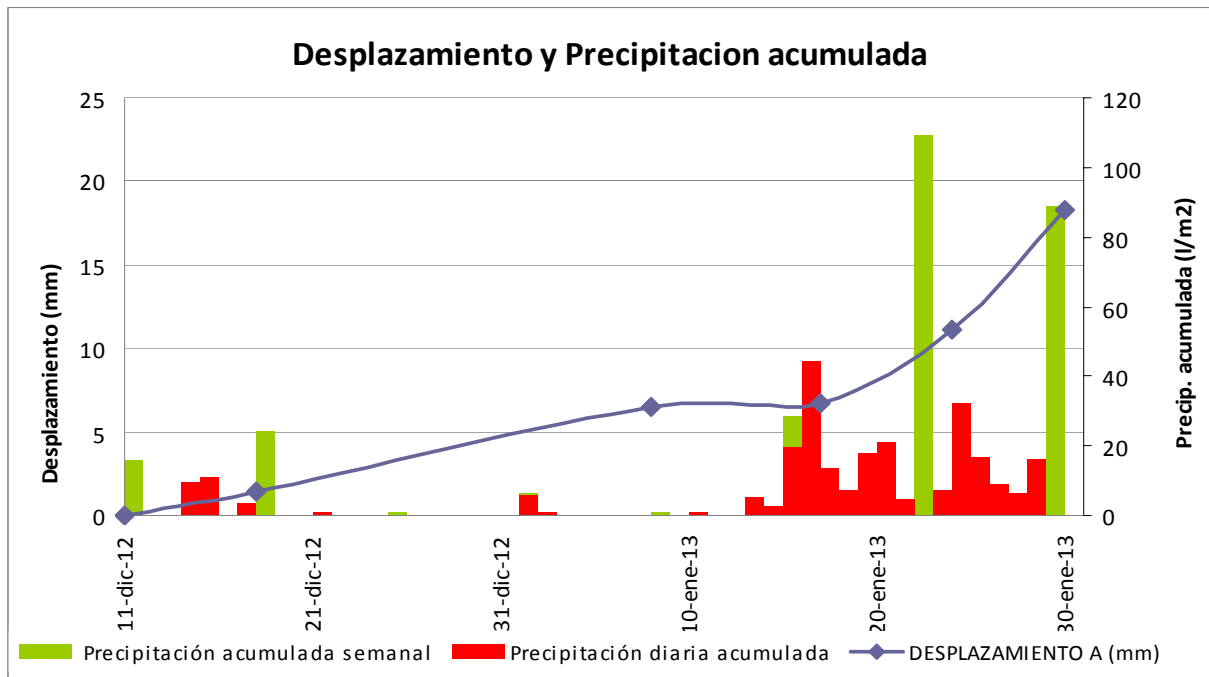


Figura 145. SCI-06. Desplazamientos y precipitaciones

3.12.2.13. SCI-14

Inclinómetro situado en la parte media de la ladera, a la cota 613,5. Se dispone de lecturas desde el 11/12/2012 hasta el 30/01/2013.

Como en el inclinómetro SCI-06, hay un error de calibración entre la lectura de referencia y las lecturas posteriores, que apenas se refleja en los gráficos de desplazamiento acumulado.

Existe una superficie de deslizamiento principal a 11 m de profundidad, y otra secundaria más superficial, a unos 4 m de profundidad, que podría interpretarse como movimiento de tipo rotacional.

Tomando como referencia los movimientos en la superficie de deslizamiento principal, se produjo un desplazamiento horizontal máximo de 12,6 mm. La velocidad fue de unos 3,9 mm/mes hasta el 17/01/2013. A partir de entonces los movimientos se aceleraron y se llegó a una velocidad de 28,2 mm/mes entre el 23/01/2013 y el 30/01/2013.

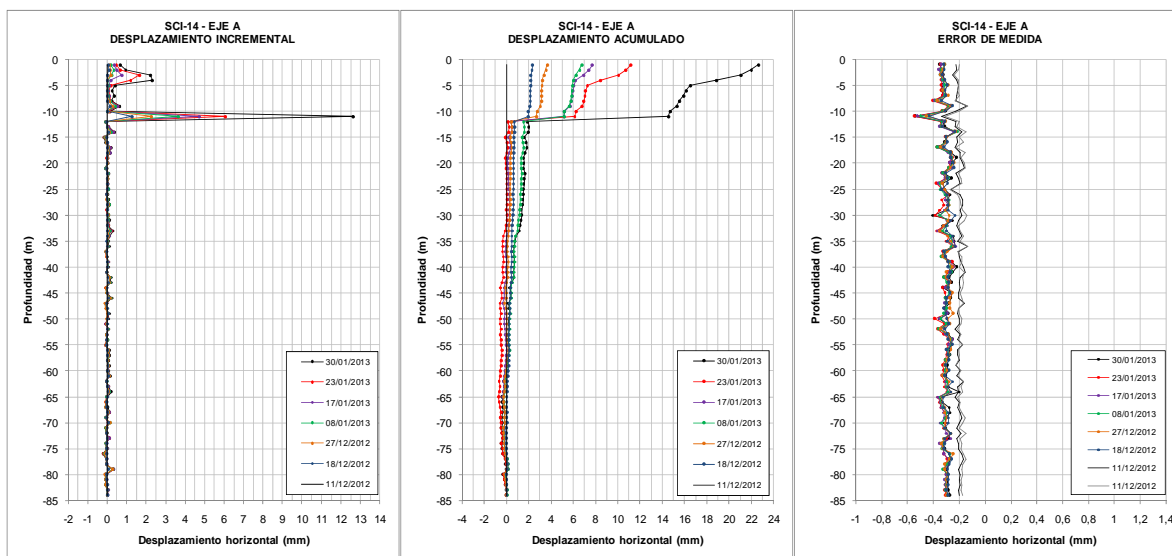


Figura 146. Resultados del inclinómetro SCI-14.

A continuación se muestra la relación entre desplazamientos y precipitaciones:

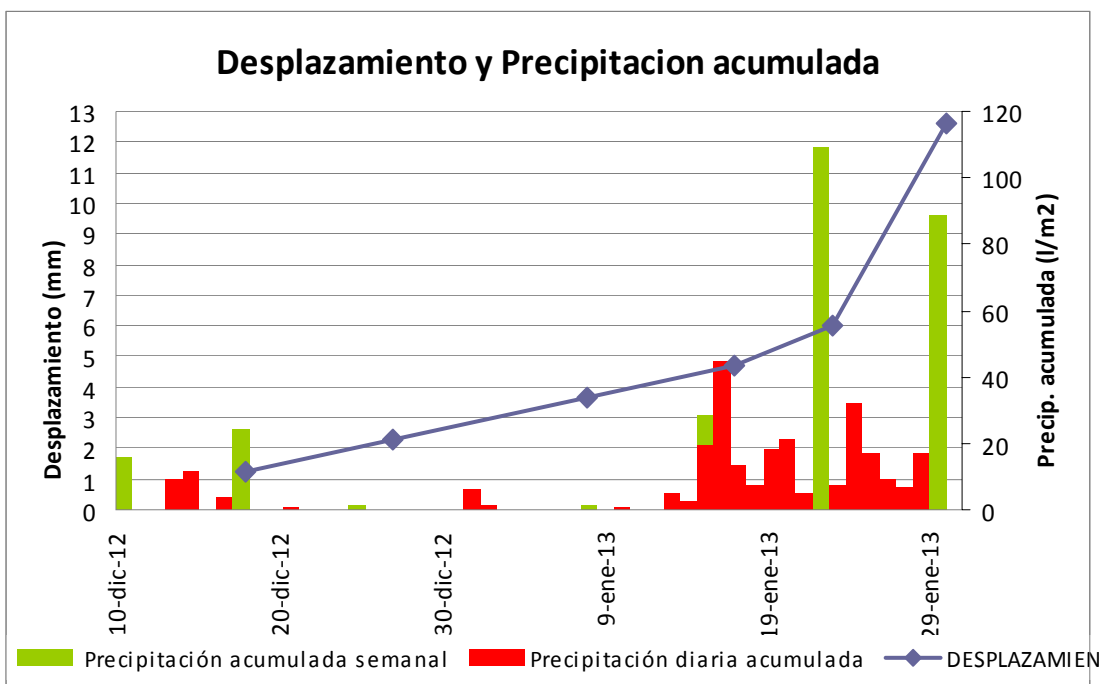


Figura 147. SCI-14. Desplazamientos y precipitaciones

3.12.2.14. SCI-10

Inclinómetro situado junto al camino de acceso a las obras, unos 130 m aguas abajo de la presa actual, a la cota 539. Tiene una longitud total de 134 m y se dispone de datos desde el 17/01/2013 hasta el 05/02/2013.

Tal y como se puede observar en los gráficos del error de medida, hay un cambio de tendencia (error de calibración) entre las medidas del primer día (que además tienen un cambio de tendencia entre ambas), y el resto de medidas. Esto implica que los gráficos de desplazamiento acumulado están distorsionados.

Sin embargo se observa claramente un plano de cizalla principal situado a 68 m de profundidad. Por encima de este plano, a unos 36 m de profundidad, se intuye otro plano en el que los desplazamientos son menores. Este plano podría representar una inestabilidad local del talud junto al que está situado el inclinómetro.

En el plano principal se registraron 3,1 mm. La velocidad de deformación entre el 31/01/2013 y el 05/02/2013 fue de 9,3 mm/día.

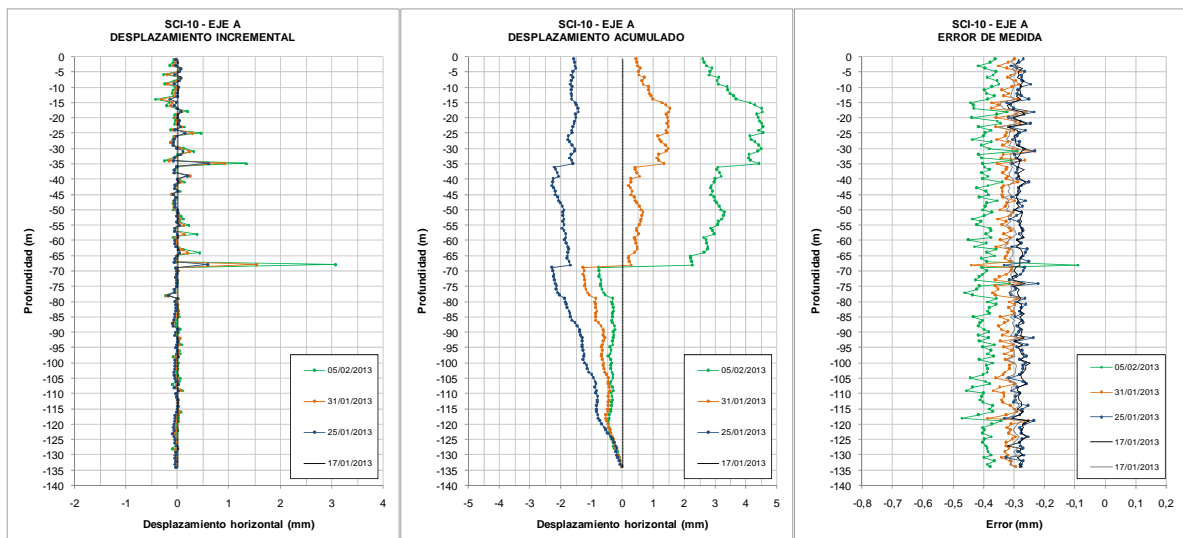


Figura 148. Resultados del inclinómetro SCI-10.

3.12.2.15. SCI-16

Inclinómetro situado en la parte superior del deslizamiento, a la cota 672,5. Se dispone de lecturas desde el 05/02/2013 hasta el 05/03/2013. El promedio de los errores de medida de las diferentes lecturas es muy variable, y por este motivo los gráficos de desplazamiento acumulado están muy distorsionados. Sin embargo se intuye un plano que registra movimientos horizontales a 6 m de profundidad. Según los gráficos de desplazamiento incremental, el movimiento podría haber sido de unos 2,7 mm, aunque los datos no son suficientemente buenos como para precisarlo. En cualquier caso este inclinómetro está situado fuera del contorno de deslizamiento delimitado, y podría indicar inestabilidades superficiales locales. Sin embargo no hay que descartar que los límites del deslizamiento sean más extensos y este inclinómetro sí refleje la superficie principal del deslizamiento.

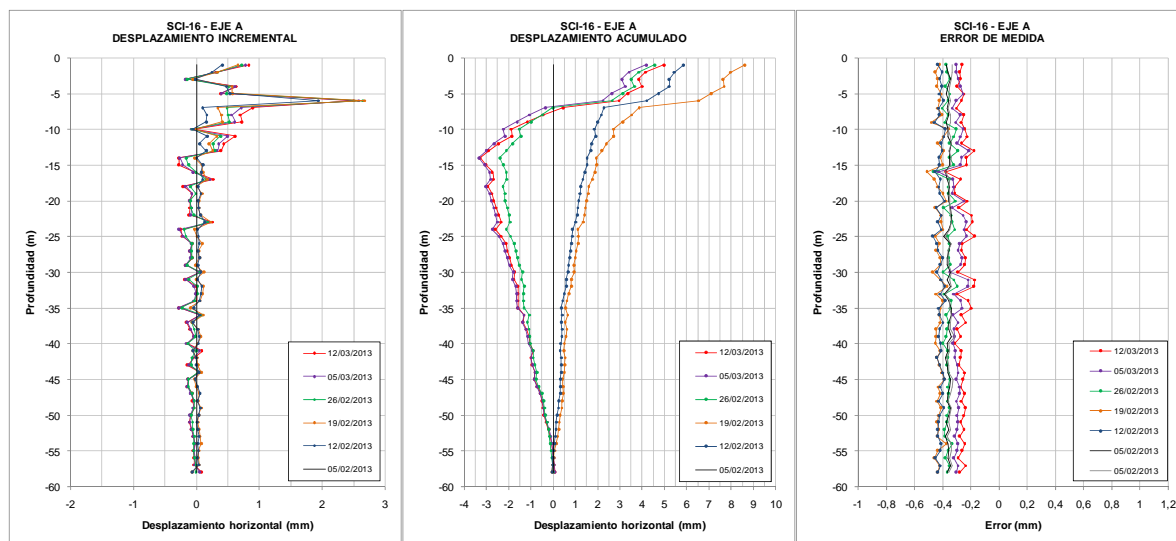


Figura 149. Resultados del inclinómetro SCI-16.

3.12.2.16. SCI-15

Inclinómetro situado en la parte media de la ladera, a la cota 591,5. Se dispone de lecturas desde el 11/02/2013 hasta el 18/02/2013.

En este caso también hay un error de calibración que distorsiona los gráficos de desplazamiento acumulado.

Se observa una superficie de rotura a 35 m de profundidad. En ese punto los datos presentan una anomalía, que podría estar provocada por una mala instalación o un deterioro del sondeo, que impide conocer con precisión la magnitud de los movimientos.

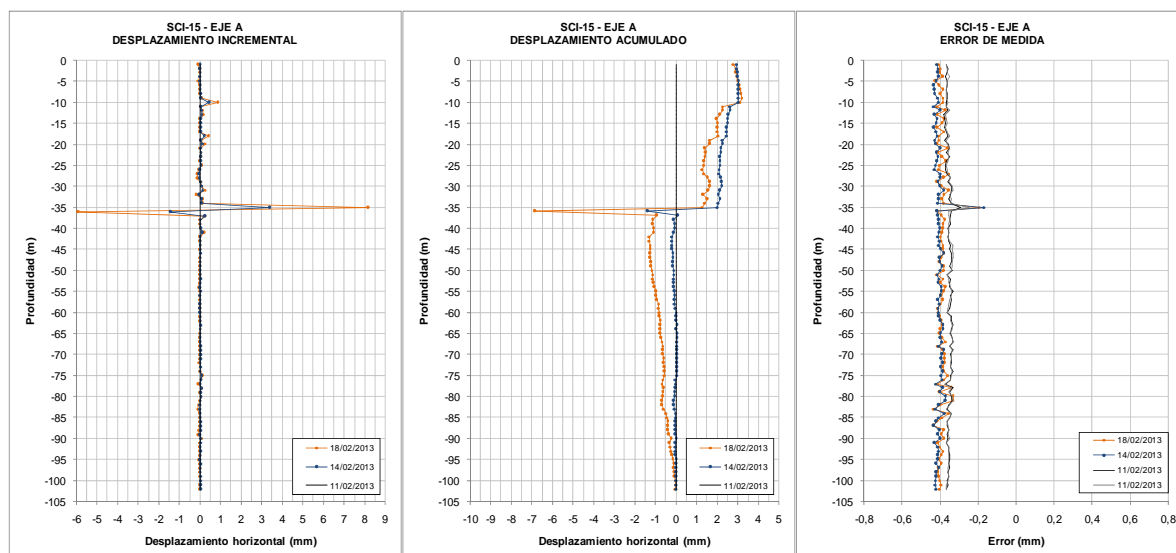


Figura 150. Resultados del inclinómetro SCI-15.

3.12.2.17. SCI-09

Inclinómetro situado junto a la carretera N-240, cerca del límite occidental del deslizamiento, a la cota 536,7. Tiene 150 m de profundidad y está operativo en el momento de redacción del presente informe. Se dispone de lecturas desde el 08/04/2013 hasta el 24/04/2013.

Existe un cierto error de calibración entre las lecturas, que distorsiona los resultados del desplazamiento incremental de los días 19 y 24. A pesar de esto, se comienza a distinguir una plano principal de deslizamiento situado a unos 45 m de profundidad. El desplazamiento incremental en el plano principal a fecha de 24/04/2013 era de unos 0,65 mm, lo que implica una velocidad de movimiento de 1,2 mm/mes.

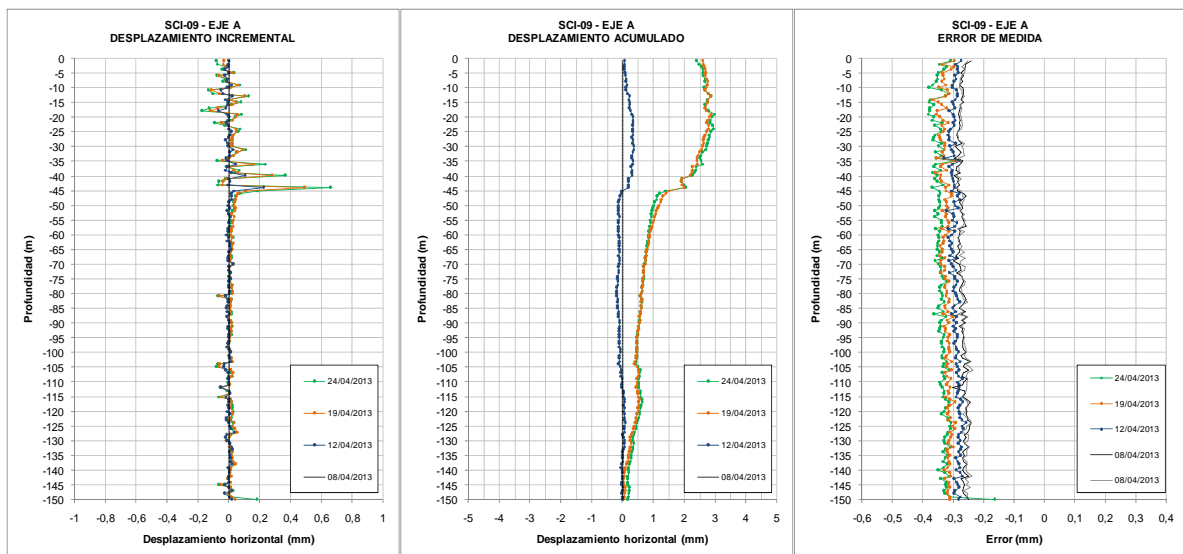


Figura 151. Resultados del inclinómetro SCI-09.

A continuación se recoge la gráfica desplazamientos-precipitaciones:

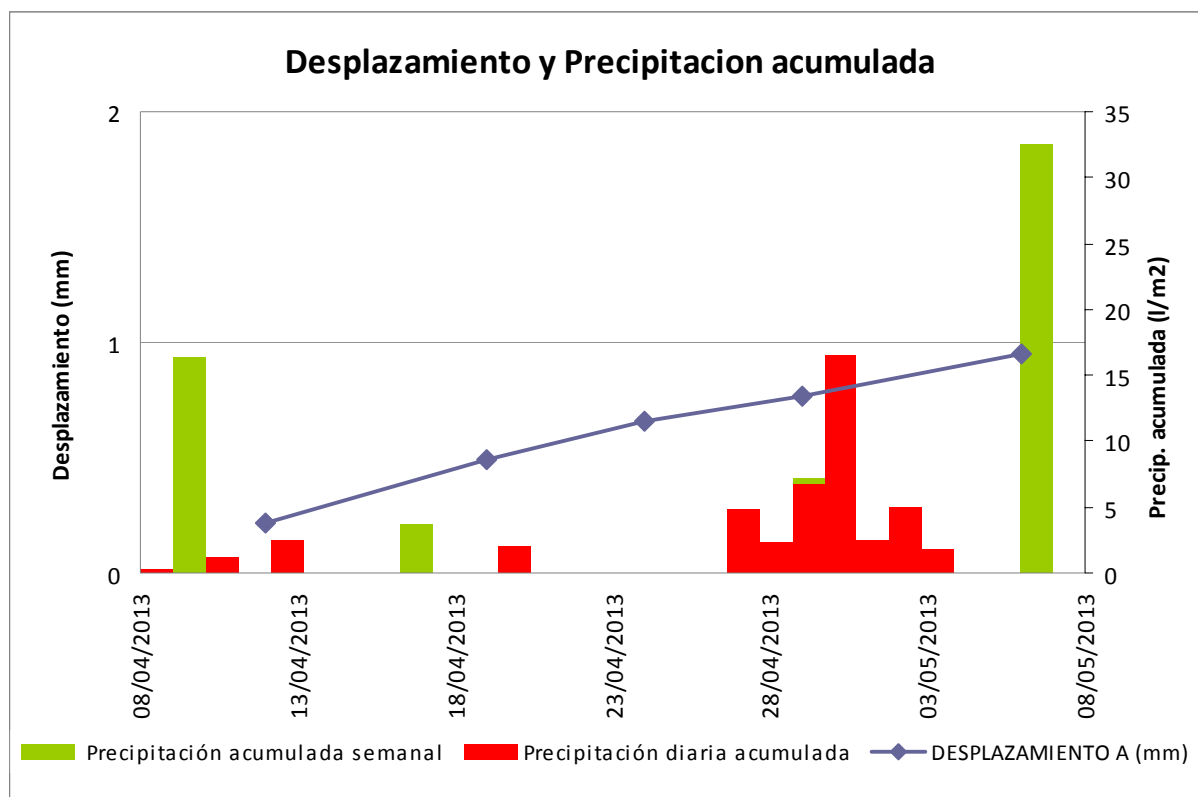


Figura 152. SCI-09. Desplazamientos y precipitaciones

3.12.2.18. SCI-12

Inclinómetro situado entre la carretera N-240 y los edificios de la urbanización Mirador de Yesa, en el eje de la presa actual, a la cota 559,6. Está operativo en el momento de redacción del presente informe. Se dispone de lecturas desde el 26/04/2013 y del 30/04/2013, aunque no de los datos originales sino de los resultados de *Inclinalysis*.

Aunque todavía es pronto para sacar conclusiones, se intuye tres planos en los que se producen movimientos: 12, 17 y 51 m de profundidad. El que mayores movimientos registra es el situado a 17 m de profundidad. Lecturas posteriores podrán aclarar cuál de ellos es el principal.

3.12.2.19. SCI-07

Su instalación se ha realizado recientemente y está situado en coincidencia con la prolongación del eje de la presa actual, en la cota 519,33. Se tomó la primera lectura el día 6/05/13, disponiéndose hasta el momento de una lectura adicional. Tiene una longitud total de 85 m.

Se ha reconocido un plano principal con mayor desplazamiento, situado a una profundidad de 25 m, es decir, cota 495 m. El desplazamiento horizontal medido es del orden de 0,15 mm, con una velocidad de 0,44 cm/año.

Se reconocen asimismo otros planos de rotura situados a las profundidades de 30 m, 39 m y 77 m, coincidiendo con el contacto Flysch-Margas de Pamplona.

3.12.2.20. Otros datos inclinométricos

Durante las obras de estabilización de la ladera llevaron a cabo dos perforaciones realizadas con micropilotadora en la zona sur este del deslizamiento. En estas perforaciones se denominan MP-1 y MP-2 y están situadas a la cota 518 aproximadamente. En ambas se detectó movimiento a unos 2,5 m de profundidad. Este dato hay que considerarlo con precaución, ya que no se dispone de registro. Se desconoce la profundidad total de la perforación, la precisión de las medidas y la técnica de medición utilizada. Los datos en efecto podrían tratarse del plano de rotura principal, pero también podrían ser planos de movimiento secundarios más superficiales, como en muchos de los inclinómetros se ha observado.

3.12.2.21. Resumen de resultados de los inclinómetros

En la tabla siguiente se resumen los resultados del análisis de los datos de los inclinómetros presentado en los apartados anteriores:

Código inclinómetro	Estado	Cota (msnm)	Profundidad de rotura (m)	Cota de rotura (msnm)	Observaciones
SCI-01	Previsto	-	-	-	-
SCI-02	No operativo	548,1	37	511,1	Velocidad de desplazamiento previa a rotura: 17,1 mm/mes
SCI-03	No operativo	537,5	51	486,5	Velocidad de desplazamiento previa a rotura: 5,7 mm/mes
SCI-04	Previsto	-	-	-	-
SCI-05	Previsto	-	-	-	-
SCI-06	No operativo	519,5	30	489,5	Velocidad de desplazamiento previa a rotura: 36 mm/mes
SCI-07	En ejecución	-	-	-	-
SCI-08	En ejecución	-	-	-	-
SCI-09	Operativo	536,7	45	491,7	Las nuevas campañas de lectura porán ampliar información
SCI-10	No operativo	539,0	68	471	Velocidad de desplazamiento previa a rotura: 9,3 mm/mes
SCI-11	No operativo	563,1	35	528,1	Velocidad de desplazamiento previa a rotura: 15,9 mm/mes
SCI-12	Operativo	559,6	17	542,6	El plano situado a 17 m de profundidad es el que registra mayores movimientos. Se intuyen otros dos planos a 12 y 51 m de profundidad. Las nuevas campañas de lectura porán ampliar información
SCI-13	No operativo	563,7	13	550,7	Velocidad de desplazamiento previa a rotura: 18 mm/mes
SCI-14	No operativo	613,5	11	602,5	Velocidad de desplazamiento previa a rotura: 28,2 mm/mes
SCI-15	No operativo	591,5	35	556,5	La calidad de los datos impide determinar con exactitud la magnitud de los desplazamientos
SCI-16	No operativo	672,5	6	666,5	Posible rotura superficial local.
SZ-01A	No operativo	552,4	-	-	-
SZ-02	No operativo	553,1	62	-	Sin registros en los que se compruebe la profundidad de rotura.
SZ-03A	No operativo	542,8	13	530,8	Velocidad de desplazamiento previa a rotura: 9,3 mm/mes
SZ-05	No operativo	491,4	12	479,4	Velocidad de desplazamiento previa a rotura: 49,5 mm/mes
SZ-06	No operativo	493,1	9	484,1	Plano secundario a 14 m de profundidad
SZ-07	No operativo	498,1	-	-	Fuera de los límites del deslizamiento
SZ-08	No operativo	499,7	-	-	Fuera de los límites del deslizamiento

Tabla 41. Tabla resumen de los resultados de los inclinómetros.

Partiendo del análisis anterior, es posible representar un gráfico de la evolución temporal de los desplazamientos, lo que permite una interpretación conjunta de los inclinómetros. En el gráfico que se presenta a continuación, el valor de los desplazamientos está obtenido considerando el plano principal de deslizamiento. En los inclinómetros en los que la precisión es buena, este valor se puede obtener de los gráficos de desplazamiento acumulado (si no hay planos de deslizamiento secundarios más superficiales); pero en el resto de inclinómetros este valor se debe obtener de los gráficos de desplazamiento incremental. En el segundo caso debe tenerse presente que *Inclinanalysis* no aplica la corrección por hacer medidas cada metro con una sonda de medio metro en los gráficos de desplazamiento incremental, lo que podría llevar a hacer una lectura errónea de los desplazamientos.

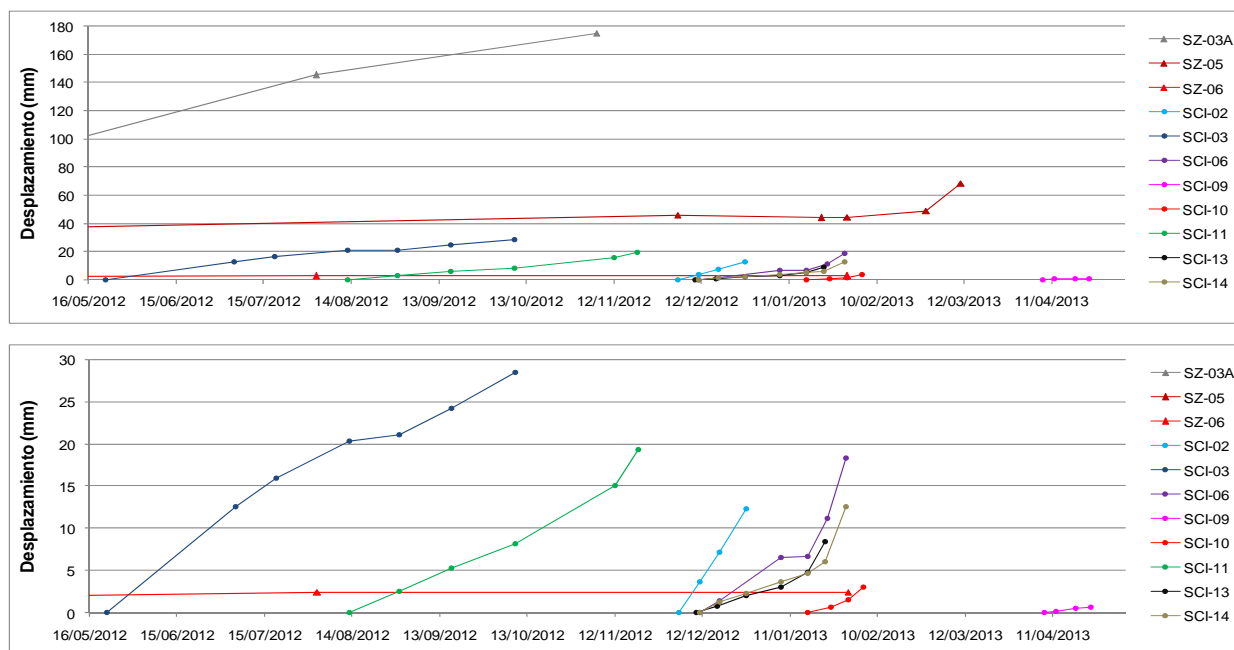


Figura 153. Gráfico de evolución temporal de los desplazamientos horizontales registrados en los inclinómetros. Arriba, gráfico general. Abajo, detalle de los inclinómetros con desplazamiento inferior a 30 mm.

Los aspectos más significativos son los siguientes:

- En el inclinómetro SZ-05, que es del que se tiene los datos más antiguos, se registraron movimientos más o menos constantes hasta que a partir del 27/02/2013 se aceleraron. La velocidad registrada a partir de ese momento está en concordancia con la velocidad previa a rotura registrada en los inclinómetros SCI-02, SCI-03, SCI-06, SCI-10, SCI-11, SCI-13 y SCI-14. En cambio, la velocidad previa al 27/02/2013 es mucho menor que la registrada en los inclinómetros contemporáneos (excepto el SZ-06).
- En el SZ-06 no se han registrado movimientos significativos en el último año, lo que podría indicar que se encuentra fuera de la zona activa (pese a la proximidad con el SZ-05).
- El inclinómetro SZ-03A coincidió durante un tiempo con los inclinómetros SCI-03 y SCI-11. En el SZ-03A la velocidad de desplazamiento es ligeramente superior que en los otros dos (lo que es coherente con los *raster* de desplazamientos en planta). Por otra parte, durante el periodo en que SCI-03 y SCI-11 funcionaron simultáneamente, la velocidad de desplazamiento fue prácticamente la misma.

- La velocidad del tramo final del SCI-11 y del SCI-02 es similar. En el SCI-02 la velocidad es prácticamente constante desde su instalación.
- Los inclinómetros SCI-06 y SCI-14 rompieron aproximadamente al mismo tiempo y siguieron trayectorias parecidas, con la misma velocidad de movimiento previa a rotura. El SCI-13 dejó de ser operativo algo antes, pero en el momento de rotura la velocidad de movimiento era muy parecida a la del SCI-06. En estos tres inclinómetros, la velocidad previa a rotura es superior a la del SCI-02.
- Se observa como en los SCI-03, SCI-11, SCI-02, SCI-06 y SCI-14 la velocidad pre-rotura aumenta progresivamente, lo que puede indicar una aceleración del deslizamiento.
- El SCI-10 dejó de ser operativo con una velocidad de movimiento pre-rotura inferior a la de los inclinómetros anteriores.
- Los SCI-09 y SCI-12 continúan activos en el momento de redacción de este informe.

3.12.3. Comparación de los resultados del control topográfico y de los inclinómetros

En el gráfico siguiente se comparan los desplazamientos medidos en los inclinómetros, con los resultados del análisis del control topográfico en superficie. En fechas anteriores al 30/Ene/2013 esta comparación sólo se puede hacer con los inclinómetros situados dentro del ámbito de la Fase 1 del control topográfico, es los inclinómetros SCI-02, SCI-03 y SCI-06. Posteriormente al 30/Ene/2013 el único inclinómetro con que se puede comparar es el SCI-10, que dejó de ser operativo justo al inicio de la Fase 3 del control topográfico.

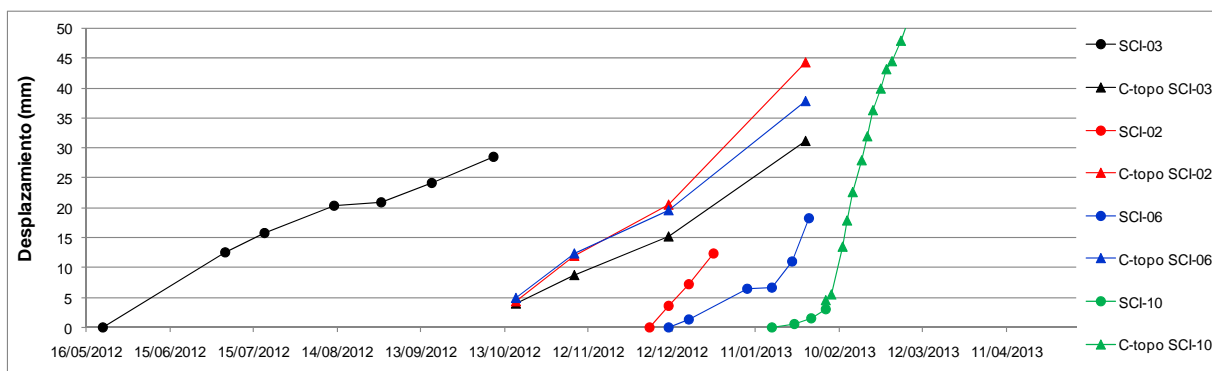


Figura 154. Gráfico de comparación de los inclinómetros con el control topográfico.

Se observa lo siguiente:

- Aunque el SCI-03 dejó de ser operativo justo antes del inicio de la Fase 1 del control topográfico, la velocidad de desplazamiento al final de su vida útil fue prácticamente la misma que la registrada al inicio del control topográfico.
- La velocidad de desplazamiento del inclinómetro SCI-02 durante su vida útil fue similar a la del control topográfico durante el mismo periodo.
- La velocidad de desplazamiento del inclinómetro SCI-06 en las dos primeras lecturas fue similar a la del control topográfico en el mismo periodo. En el resto de lecturas del SCI-06 la velocidad fue mayor que la del control topográfico.

- La Fase 3 del control topográfico se inició justo después de que el SCI-10 dejara de ser operativo, sin embargo, en el inclinómetro se aprecia una aceleración que podría tener continuidad con los datos del control topográfico.

Teniendo en cuenta estas observaciones, puede decirse que los desplazamientos medidos en profundidad y los medidos en superficie son coherentes entre sí, lo que indicaría que la masa deslizada se ha movido uniformemente en la horizontal (salvo fenómenos locales).

3.13. DESCRIPCIÓN DEL MOVIMIENTO

3.13.1. Disposición estructural de los materiales y aspectos generales de los movimientos registrados

Para entender el mecanismo de rotura de la ladera es fundamental conocer la disposición estructural de los materiales, ya que ésta condiciona, no sólo el tipo de rotura sino la magnitud y dirección de los desplazamientos del material involucrado.

Tal como se ha recogido en apartados anteriores, la estructura geológica de la parte inferior de la ladera derecha forma un pliegue sinclinal laxo de dirección subparalela al cauce y con inmersión del eje hacia el Oeste de unos 5-8°. En el núcleo del sinclinal se encuentra el Flysch de Yesa mientras que en la base se encuentran las Margas de Pamplona. Ladera arriba, en lo que constituye el flanco norte del sinclinal (y sur del anticlinal), la estratificación buza hacia el valle en torno a 25° (*dip slope*).

En la zona de apoyo del estribo derecho de la presa se observa el flanco sur del pliegue sinclinal con la estratificación buzando hacia el Noroeste (interior de la ladera) entre 5 y 25°.

Por otro lado, el sustrato rocoso que constituye la ladera está formado por una alternancia de materiales margosos y areniscosos (Flysch de Yesa), cuya génesis da lugar a intercalaciones entre estas dos litologías de escasa o muy baja continuidad, tanto lateral como vertical. Esto hace que la correlación entre niveles de la misma litología se haga, sino imposible, muy difícil entre puntos situados a escasa distancia, tal como se ha puesto de manifiesto en el examen de los perfiles estratigráficos de todos los sondeos realizados.

De acuerdo con los datos proporcionados por los inclinómetros, se ha podido comprobar cómo el sustrato constituido por la facies Margas de Pamplona no está afectado por planos de deslizamiento, constituyendo el sustrato inmóvil.

Para la descripción de los movimientos detectados, se ha dividido la ladera en cuatro sectores, representados en la siguiente figura:

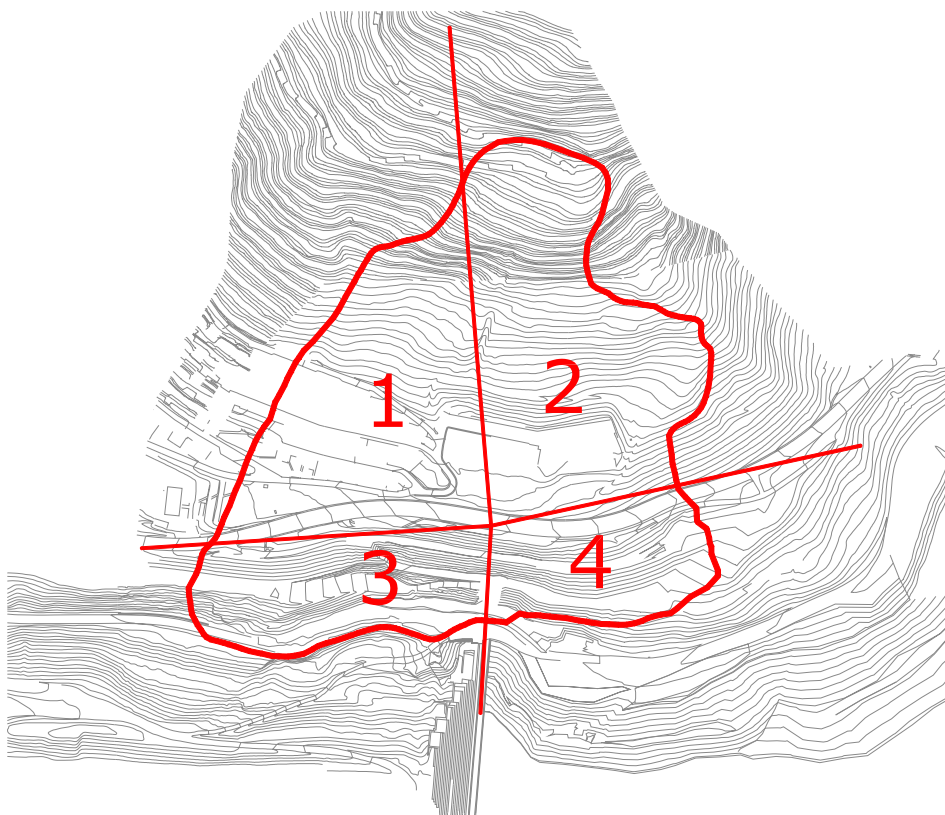


Figura 155. Diferenciación esquemática de sectores en la ladera

Los sectores 1 y 2 corresponden a las zonas alta y media de la ladera, separados de la zona baja de la misma por una línea dibujada de forma paralela a la N-240. La separación entre los sectores 3 y 4 está realizada siguiendo el eje de presa actual hacia el norte, delimitando así un sector aguas arriba (sector 4) y aguas abajo de la presa (sector 3).

Según se ha descrito en anteriores apartados, los mayores desplazamientos se registran en los sectores 2 y 4, con valores máximos en el sector 4, de tal forma que el movimiento de la masa deslizada no es conjunto o en bloque.

Este movimiento diferencial se traduce en grietas, como las reconocidas en la urbanización Lasaitasuna, consecuencia de las tensiones de cizalla generadas por este desplazamiento diferencial. La apertura de estas grietas tienen dirección NW-SE.

En la parte superior de la ladera (sectores 1 y 2), los desplazamientos en el eje X son hacia el este, mientras que en la parte inferior (sectores 3 y 4), son hacia el oeste. Esta variación en el sentido de los desplazamientos con relación a este eje indican una cierta componente de giro en el desplazamiento de la masa deslizada, marcada según la dirección del eje del sinclinal.

Este movimiento diferencial de la masa, al igual que ocurre en el caso de los desplazamientos en los norte sur, origina tensiones de cizalla que darían lugar a la aparición de grietas. No obstante, dadas las características litológicas de los materiales superficiales, estas grietas no serían visibles.

De este análisis de los desplazamientos se deduce que la presencia del sinclinal y, en mayor medida, de la inmersión del eje del mismo, condiciona la dirección de movimiento de la masa deslizada.

Por otro lado, los mayores desplazamientos en planta registrados en dirección norte-sur se corresponden con la zona central del pie del deslizamiento, entre los sectores 3 y 4, y tienen una cierta componente oeste.

Los máximos desplazamientos en altimetría se localizan en el sector 2, siendo en todo caso movimientos descendentes (asientos) en los sectores 1, 2 y 4. Sin embargo, en el sector 3, los movimientos registrados son ligeramente ascendentes, de manera que en este sector tiene lugar un movimiento de suave levantamiento según los registros del control topográfico.

Este tipo de movimiento ascendente es típico de desplazamientos con cierta componente rotacional, no habiéndose identificado así en la zona de aguas arriba de la presa (sector 4).

3.14. MORFOLOGÍA DE LA SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO

3.14.1. Límites del deslizamiento

En base a los datos de auscultación, se pueden hacer los siguientes comentarios objetivos sobre los límites del deslizamiento:

- Límite oeste:
 - Los puntos de control topográfico V-39, V-44, V-46 y V-04 prácticamente no registran movimientos, por lo que quedarían fuera de la zona activa.
 - Las grietas de la urbanización Lasaitasuna permiten delimitar claramente el deslizamiento en esa zona.
- Límite norte:
 - No hay puntos de control topográfico que permitan delimitar el deslizamiento en la parte alta de la ladera.
 - El inclinómetro SCI-16 muestra un plano de deslizamiento a 6 m de profundidad, aunque se desconoce si ese plano corresponde al plano principal de deslizamiento o a una inestabilidad local. No debe descartarse que esté dentro de los límites de deslizamiento.
- Límite este:
 - El punto V-42 dejó de ser operativo tras dos lecturas, pero sí registró movimientos.
 - El V-48 no se instaló hasta el 25/Feb/13, y registró movimientos importantes, por lo que el límite este del deslizamiento podría llegar, como mínimo, hasta ese punto.
 - Las grietas detectadas en la carretera N-240 permiten delimitar claramente el deslizamiento en esa zona.
 - En el punto V-26 se han medido desplazamientos importantes, por lo que estaría incluido en los límites del deslizamiento.
- Límite sur:
 - El punto V-55 está instalado desde el 06/Mar/2013, y hasta la última lectura disponible se desplazó 1 cm aproximadamente.
 - El punto V-53 está instalado desde el 25/Feb/2013, y aunque pequeños, sí que registra desplazamientos.
 - El punto V-52 no se ha movido desde su instalación.

- Los puntos V-56, V-57 y V-58 no han recogido desplazamientos apreciables desde su instalación.
- En el inclinómetro SZ-05 se puede diferenciar claramente una superficie de rotura a 12 m de profundidad, en la que se han registrado movimientos contemporáneamente a otros inclinómetros. Esta superficie de rotura sería coherente con la superficie de rotura principal obtenida de la interpolación con otros inclinómetros. Por estos motivos el inclinómetro SZ-05 podría estar incluido en la zona movilizada.
- En el inclinómetro SZ-06 también se detecta una superficie de deslizamiento. Sin embargo no se registraron movimientos durante el mismo periodo, por lo que podría estar fuera de la zona movilizada.
- En el punto V-51, que está instalado desde el 25/2/13, se ha medido casi 1 cm de desplazamiento, por lo que podría estar incluido en la zona movilizada.
- El punto V-29, dejó de tener lectura a partir del 22/Feb/2013, pero hasta entonces registró desplazamientos importantes.
- En los puntos V-49 y V-28 no se han registrado movimientos significativos.

3.14.2. Metodología

Una vez introducidos los datos del análisis de los inclinómetros al GIS, y utilizando herramientas de interpolación, es posible obtener la morfología aproximada de la superficie de deslizamiento.

Para ello, en primer lugar se han seleccionado los inclinómetros en los que claramente se observa una línea de rotura, obteniendo la cota de rotura mediante la diferencia entre la cota de la boca del sondeo y la profundidad de rotura. Los inclinómetros utilizados en la interpolación son los siguientes:

- SCI-02, SCI-03, SCI-06, SCI-09, SCI-10, SCI-11, SCI-12, SCI-13, SCI-14, SCI-15, SCI-16, SZ-02, SZ-03A, SZ-05 y SZ-06.

Cabe destacar que en el SCI-12, por coherencia con los inclinómetros cercanos, en la interpolación se ha utilizado el plano con movimientos secundario situado a 52 m de profundidad.

Adicionalmente se han utilizado los datos de los inclinómetros instalados en perforaciones realizadas con micropilotadora.

Paralelamente se han utilizado una serie de puntos en el contorno del deslizamiento en los que se considera que la profundidad de rotura es 0.

Finalmente, dada la separación entre puntos con datos en algunas zonas del ámbito de estudio, ha sido necesario añadir tres puntos adicionales para forzar la interpolación y obtener un resultado coherente. Se ha buscado añadir el menor número de estos puntos posible, con el objetivo de obtener un resultado objetivo.

A continuación se muestran el resultado de dos interpolaciones diferentes. Es importante destacar que el resultado puede cambiar con la información que se obtenga de nuevos inclinómetros, observaciones de superficie o interpretaciones del mecanismo de rotura.

3.14.3. Opción 1

En este caso en la interpolación se han utilizado 15 inclinómetros, los 2 inclinómetros hechos en taladros, 64 puntos de contorno y tres puntos de interpretación para forzar la interpolación. Estos tres

puntos se sitúan junto al límite oeste del deslizamiento, con la misma profundidad de rotura que el SCI-09.

En la figura siguiente se puede ver que se obtiene una superficie de deslizamiento uniforme. La profundidad de rotura es coherente entre todos los inclinómetros disponibles. Los datos obtenidos de los inclinómetros realizados en los taladros hechos con micropilotadora también son coherentes con la tendencia global.

En este caso, los inclinómetros SZ-05 y SZ-06, situados fuera del contorno y con los puntos de contorno entre medio de éstos y el resto de inclinómetros, no intervienen en la interpolación.

Es destacable observar que las curvas de nivel de la superficie de deslizamiento son prácticamente paralelas a la dirección de capa de los datos de estructura del macizo tomados en campo en la parte media de la ladera (en la parte baja los datos de rumbos, buzamientos espaciados etc. son más dispersos debido a la complejidad de la estructura).

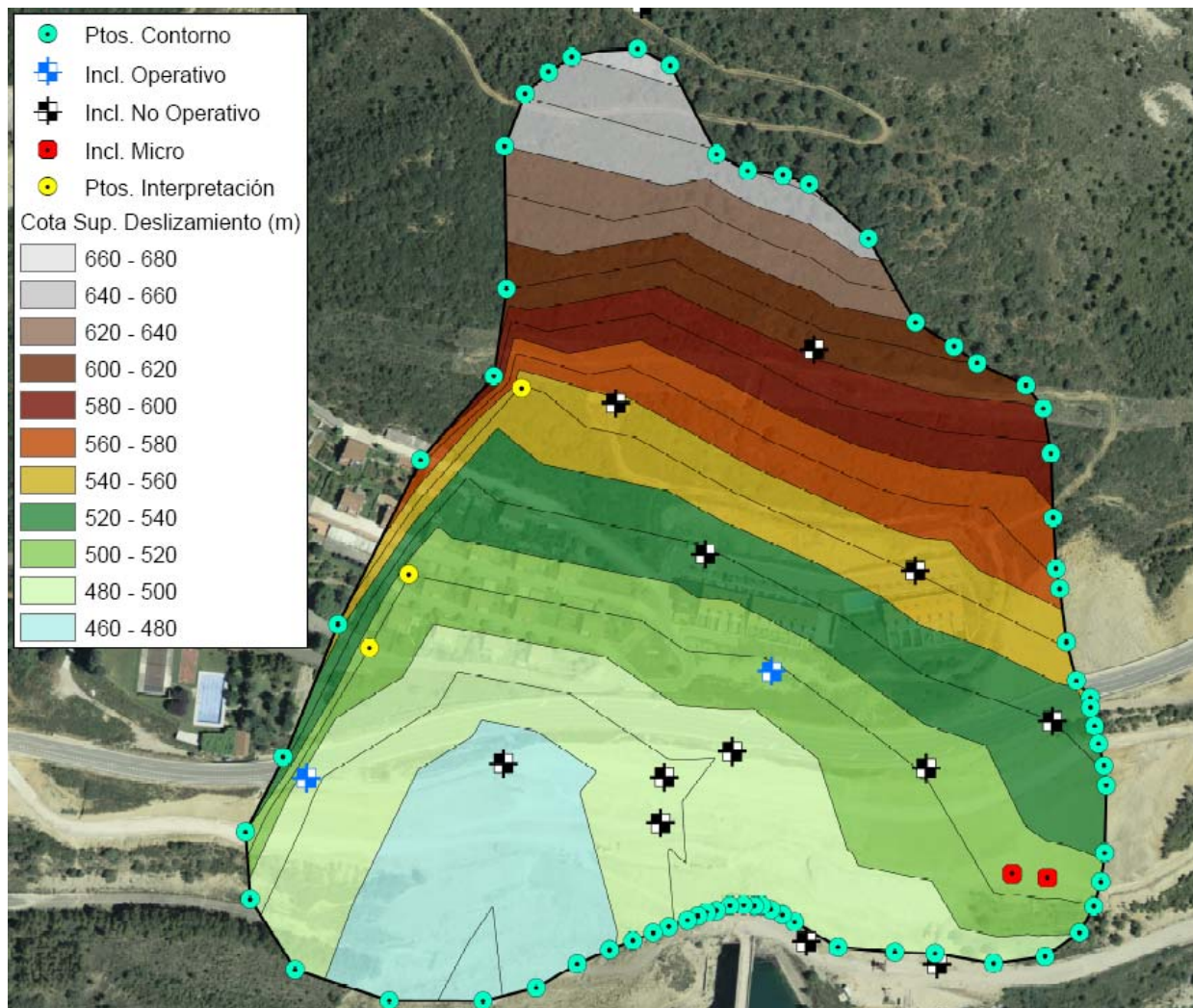


Figura 156. Estimación de la superficie de deslizamiento. Opción 1.

3.14.4. Opción 2

La única diferencia entre esta opción y la anterior es que se han descartado en la interpolación los puntos de contorno situados junto al estribo derecho de la presa y en el límite inferior aguas arriba de la misma. De este modo, los inclinómetros SZ-05 y SZ-06 sí intervienen en la interpolación (aunque queden fuera del contorno, que funciona como polígono de recorte, sí intervienen en la triangulación).

El resultado es el siguiente:

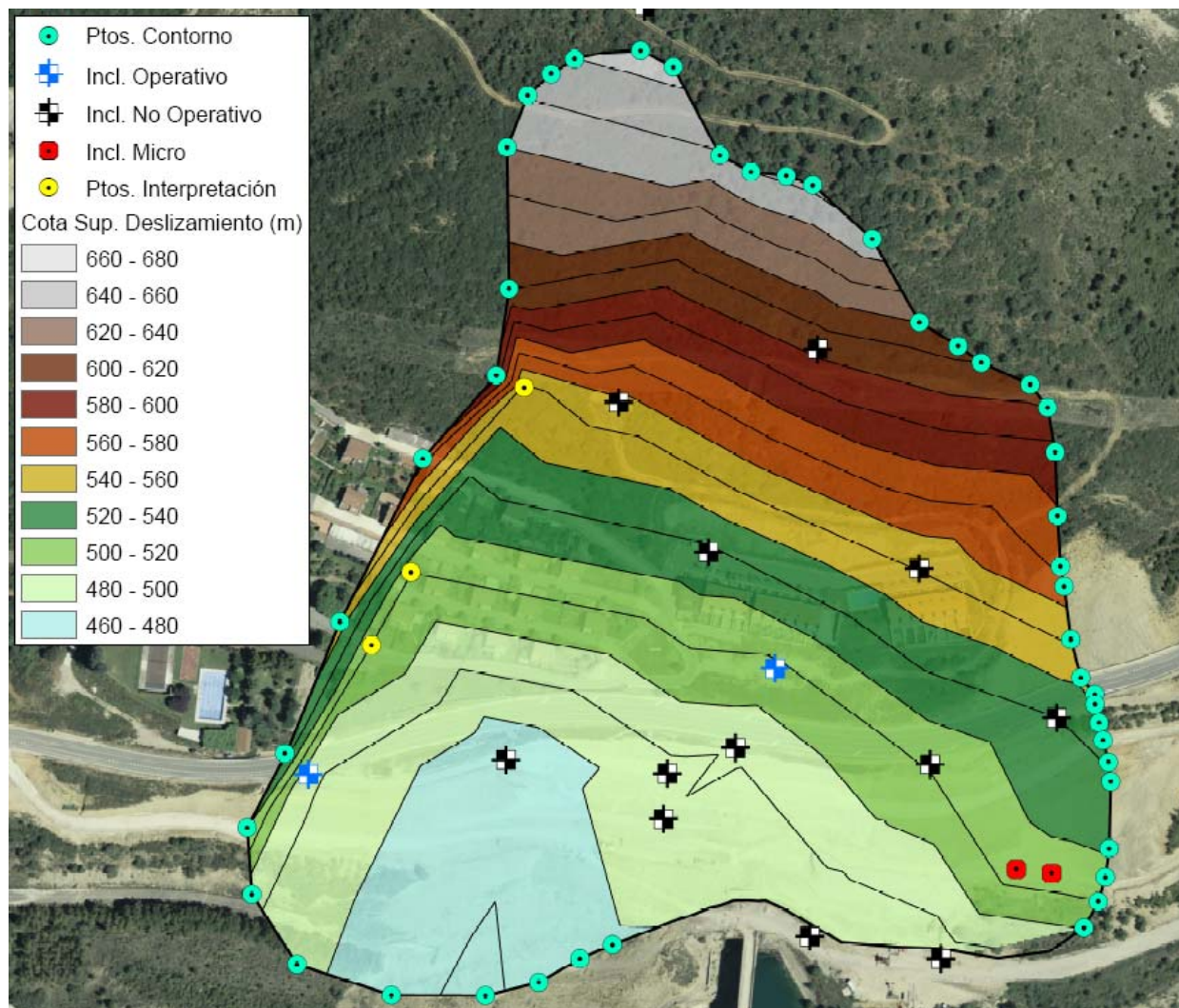


Figura 157. Estimación de la superficie de deslizamiento. Opción 2.

Lo más destacable de este resultado es que incorporando a la interpolación los inclinómetros SZ-05 y SZ-06, la superficie de deslizamiento continúa siendo uniforme. De hecho, la curva de nivel de la cota 490 pasa a ser paralela a la 500, lo cual da una morfología más regular. De este resultado se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- El contorno del deslizamiento podría incluir los inclinómetros SZ-05 y SZ-06.

- La superficie de deslizamiento detectada en los inclinómetros SZ-05 y SZ-06 podría ser la misma que la detectada en el resto de inclinómetros.
- En la presa, la superficie de deslizamiento no afloraría por encima del estribo, sino que contactaría directamente con la presa en profundidad. Según la interpolación este contacto se produciría sobre la cota 479,5.

3.15. CÁLCULO DE VOLUMENES

3.15.1. Volumen excavado para el recredido de la presa

Partiendo de los modelos digitales del terreno creados a partir de la cartografía del año 2000 (situación inicial) y del año 2012 (posterior a las excavaciones para el recredido y previa a los trabajos de estabilización de la ladera), es posible operar entre ellos y calcular el volumen que se excavó para el recredido de la presa.

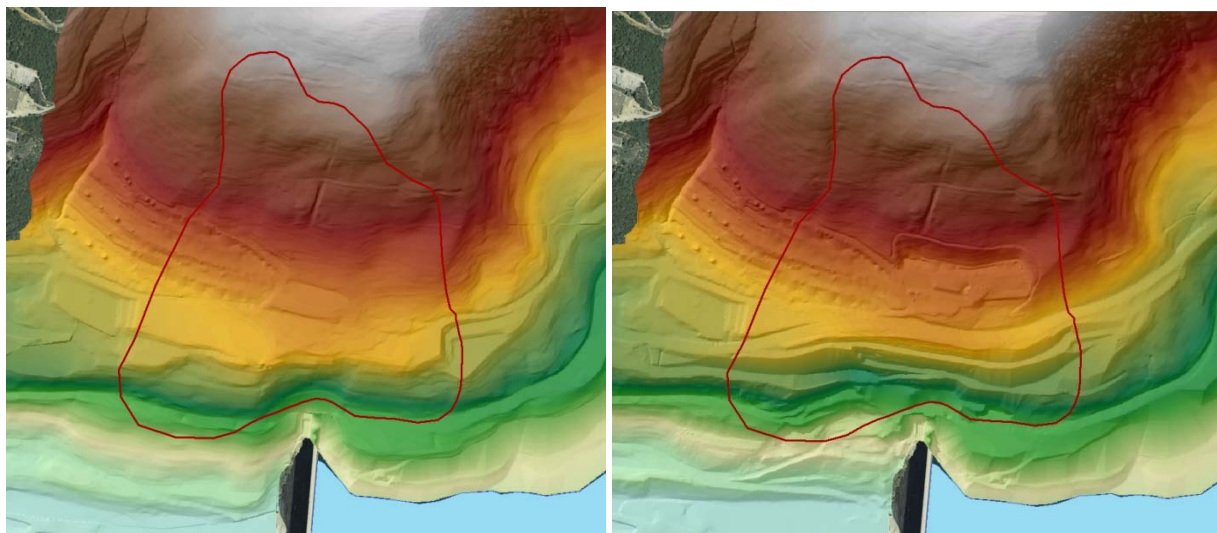


Figura 158. Izquierda: Modelo Digital del Terreno del año 2000. Derecha: Modelo Digital del Terreno del año 2012.

En la figura siguiente, se muestra el resultado de restar el MDT del año 2000 y el MDT del año 2012, donde se pueden diferenciar las zonas de excavación (tonos rojos) y relleno (tonos verdes). Existe un pequeño error residual debido a que los levantamientos topográficos no tienen exactamente la misma referencia.

Prácticamente todo el movimiento de tierra son excavaciones. Se diferencia claramente el desvío de la carretera, la excavación para la construcción de la urbanización Mirador de Yesa, los taludes de la nueva carretera N-240 en la zona este y finalmente la excavación par el recredido de la presa.

Considerando toda la extensión del MDT (incluyendo las zonas fuera del contorno marcado de deslizamiento) se obtiene un volumen de excavación de 840.000 m³ y un volumen de relleno de 70.000 m³. Por lo tanto el balance es 770.000 m³.

Considerando únicamente la zona dentro del contorno marcado de deslizamiento, el balance es 470.000 m³. Los 300.000 m³ de diferencia están básicamente entre el límite inferior del deslizamiento marcado y el cauce.

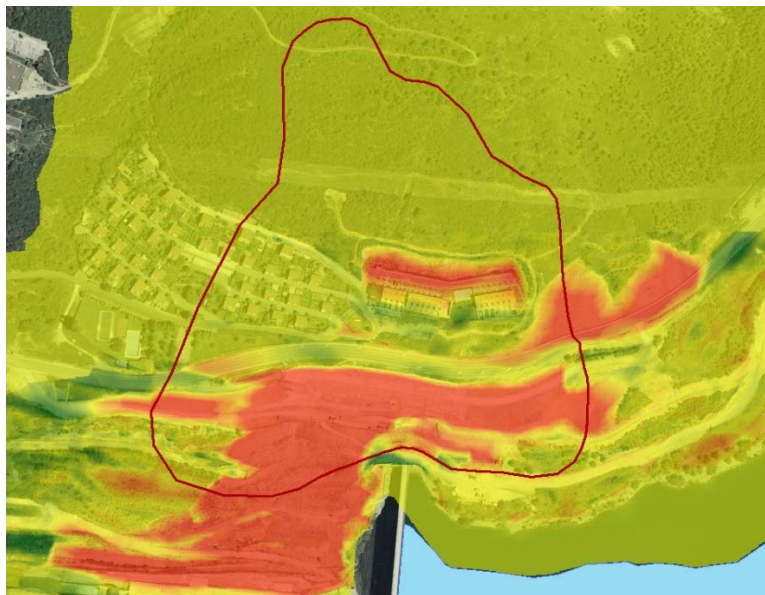


Figura 159. Cálculo del volumen de excavación entre los años 2000 y 2012.

3.15.2. Volumen deslizado

De forma análoga a lo realizado en el apartado anterior, se puede obtener el volumen deslizado a partir de los modelos digitales del terreno y de la superficie de deslizamiento. Se han utilizado como referencia el MDT del año 2012, y la Opción 2 de la superficie de deslizamiento:

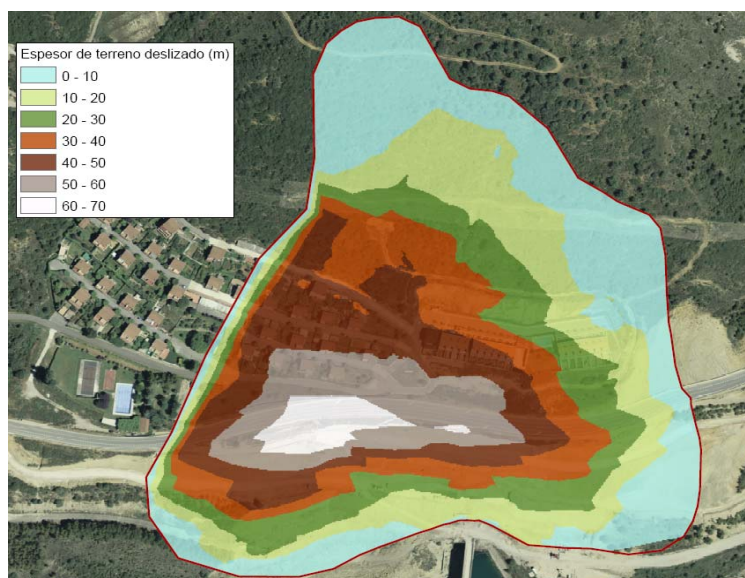


Figura 160. Cálculo del volumen deslizado.

El volumen deslizado, según la Opción 2 de la interpolación de la superficie de deslizamiento, y considerando el Modelo Digital del Terreno del año 2012, es de 4.109.000 m³.

3.15.3. Volumen de excavación en la parte alta de la ladera

Análogamente al procedimiento presentado en el apartado anterior, partiendo de los modelos digitales del terreno de la excavación en la parte alta de la ladera, es posible calcular el volumen excavado. El análisis se ha hecho para el levantamiento topográfico de las excavaciones a fecha de 8 de mayo de 2013, y para la propuesta de excavaciones definitivas disponible a mayo de 2013.

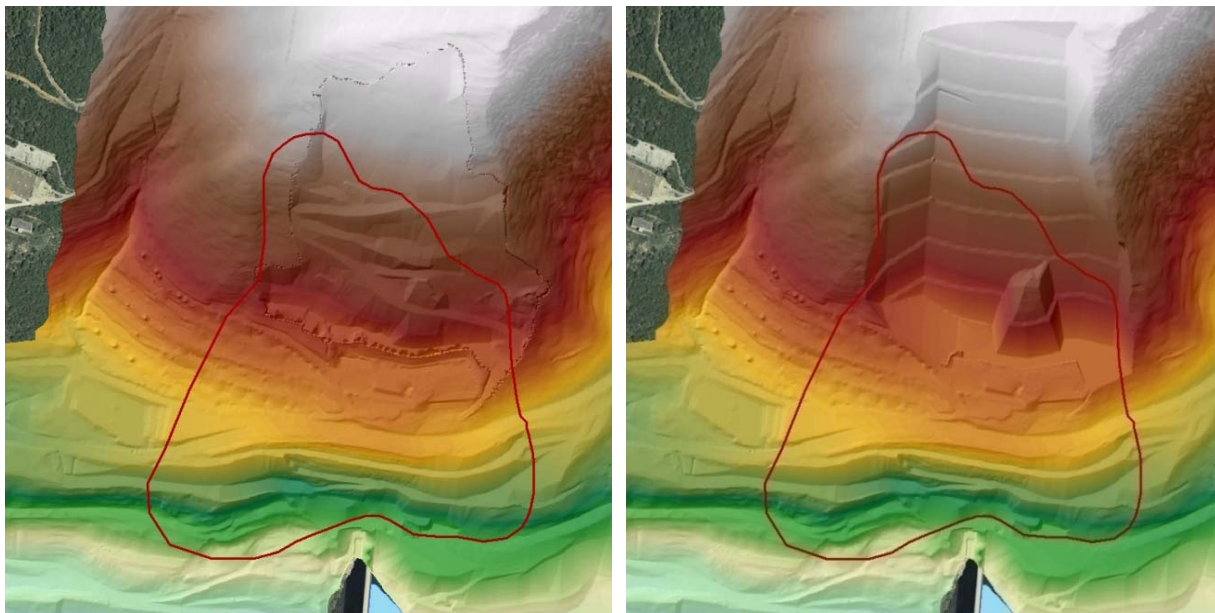


Figura 161. Izquierda: MDT del 08/05/2013. Derecha: MDT de la situación definitiva (propuesta de mayo de 2013).

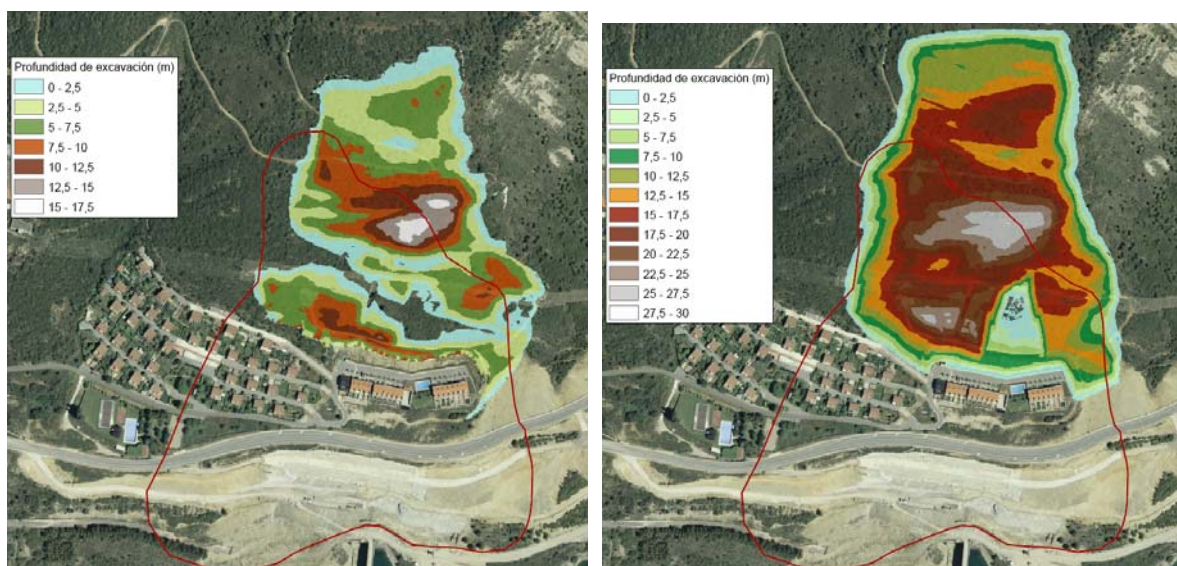


Figura 162. Cálculo del volumen de excavación. Izquierda: según MDT del 08/05/2013. Derecha: según MDT de la situación definitiva (propuesta de mayo de 2013).

Los volúmenes obtenidos se resumen en la tabla siguiente:

	Volumen de excavación (m ³)	Volumen de excavación dentro de la zona deslizada * (m ³)	Volumen de masa deslizada ** (m ³)
Excavación hasta el 08/05/2013	466.400	264.100	3.935.300
Excavación final según propuesta de mayo de 2013	1.527.000	861.300	3.614.100

* Se han considerado los límites del deslizamiento disponibles a 18/04/2013.

** Se ha considerado la Opción 2 de la interpolación de la superficie de deslizamiento

Tabla 42. Resultados del cálculo del volumen de excavación en la parte alta de la ladera.

3.16. RELACIÓN DE FACTORES INFLUYENTES EN INESTABILIDADES

A partir de la intensa campaña de investigación geotécnica y de auscultación realizada, se puede considerar que la inestabilidad de ladera observada en la margen derecha de la presa de Yesa no estaría desarrollándose por medio de un único mecanismo de inestabilidad. Aunque todo el movimiento producido en los últimos meses se hubiese producido por deslizamiento sobre una única superficie, existe una historia de sucesivos deslizamientos y con diferentes tipologías que han tenido lugar en la ladera.

En caso de que hubiese tenido lugar una única tipología de deslizamiento, el mecanismo más similar hubiese sido del tipo de deslizamiento planar o translacional en roca, que también recibe el nombre de resbalamiento. Aunque pueda haberse producido históricamente en alguna zona concreta de la ladera, especialmente en la zona alta de la misma, como se muestra en las figuras adjuntas, estos movimientos suelen afectar a capas superficiales de roca y habitualmente no alcanzarían las profundidades de rotura detectadas en los inclinómetros.

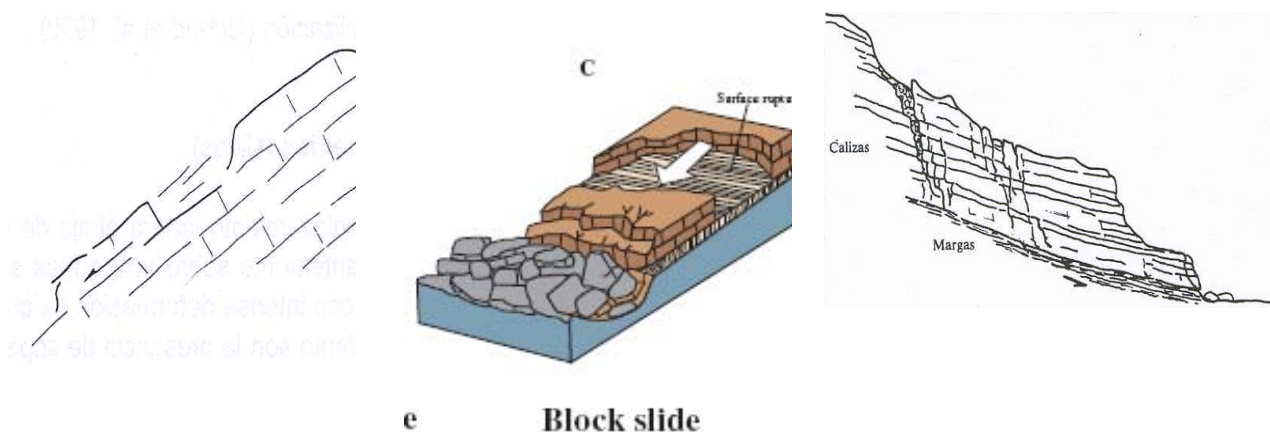


Figura 163. Tres ejemplos de deslizamiento translacional a favor de planos de estratificación, que representan un mecanismo único o "sencillo". Fuente: Figuras tomadas de Corominas, Tipología de los movimientos de ladera USGS Landslide types and processes e IGME Manual de taludes.



Figura 164. Ejemplo de un deslizamiento translacional de bloques reciente, de pequeña extensión, producido a favor de la estratificación en la zona media de la ladera. El talud tiene pocos días. Nótese la acumulación de bloques que se produce en el pie. A mayor escala constituyen depósitos similares a los descritos como coluvial con bloques (Q3).
Punto de lectura 75.

Existen indicios en la geomorfología de la ladera, especialmente en la zona alta, y en los planos que se detectan en sondeos con zonas de arcillas blandas entre capas de rocas, que los movimientos tanto históricos como los recientes se han producido en varios planos de estratificación situados a profundidades variadas y afectado a volúmenes de roca diferentes. La inestabilidad de la ladera podría corresponder a un mecanismo general de inestabilidad de ladera que implicara la deformación profunda del macizo rocoso, a diferentes profundidades, aunque el movimiento más reciente estuviese más concentrado a favor de un plano.



Figura 165. Detalles sondeo SCI-9.

Estos movimientos complejos de ladera pueden afectar a espesores importantes de roca cuando las condiciones litológicas, disposición estructural y geometría de la ladera son lo suficientemente desfavorables. En la bibliografía geológica se citan estos tipos de inestabilidades como deformaciones profundas de roca controladas por la estructura. En las figuras adjuntas se ilustran algunos ejemplos de tipología de deslizamiento posiblemente parecidos. Son movimientos lentos, que presentan morfologías más claras de escarpes en la zona superior, mientras que en la zona baja se acumula el material de derrubios al degradarse el macizo en el pie. En estas acumulaciones del pie de la ladera pueden darse deslizamientos rotaciones típicos o desprendimientos de roca al estar el macizo más debilitado por lo que constituyen el punto de mayor riesgo geológico, ya que los movimientos de la ladera general suelen ser muy lentos.

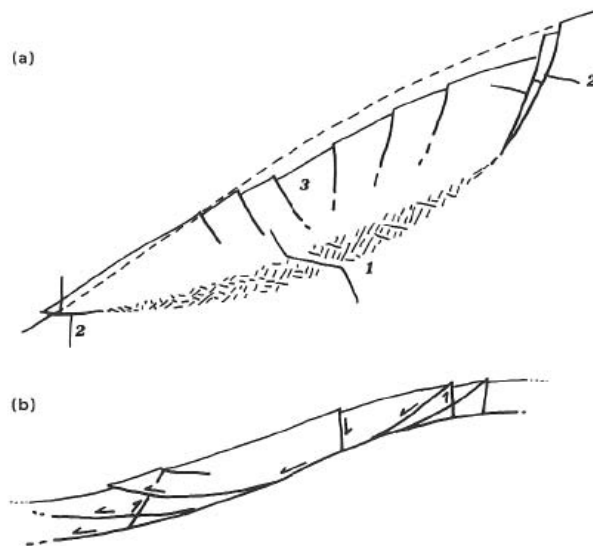


FIGURE 7.2.5 Scheme of deformation occurring in a Sackung according to (a) the non-shearing model (b) and the plastic failure model. Key to symbols: 1, zone of viscous deformation; 2, zone yielded by shearing; 3, shearing in the brittle (shallow) zone to accommodate for the volume decrease in the ductile (deep) zone. Dotted line represents the former slope surface ((a) after Mahr, 1977; (b) after Savage and Varnes, 1987)

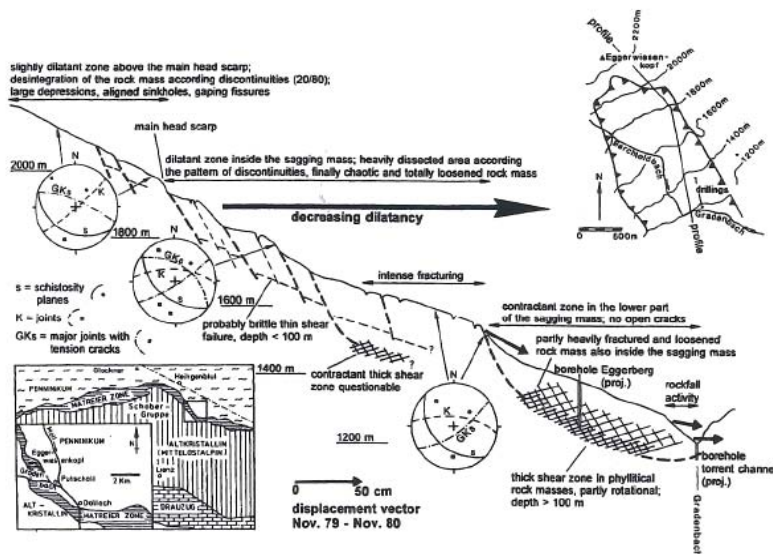
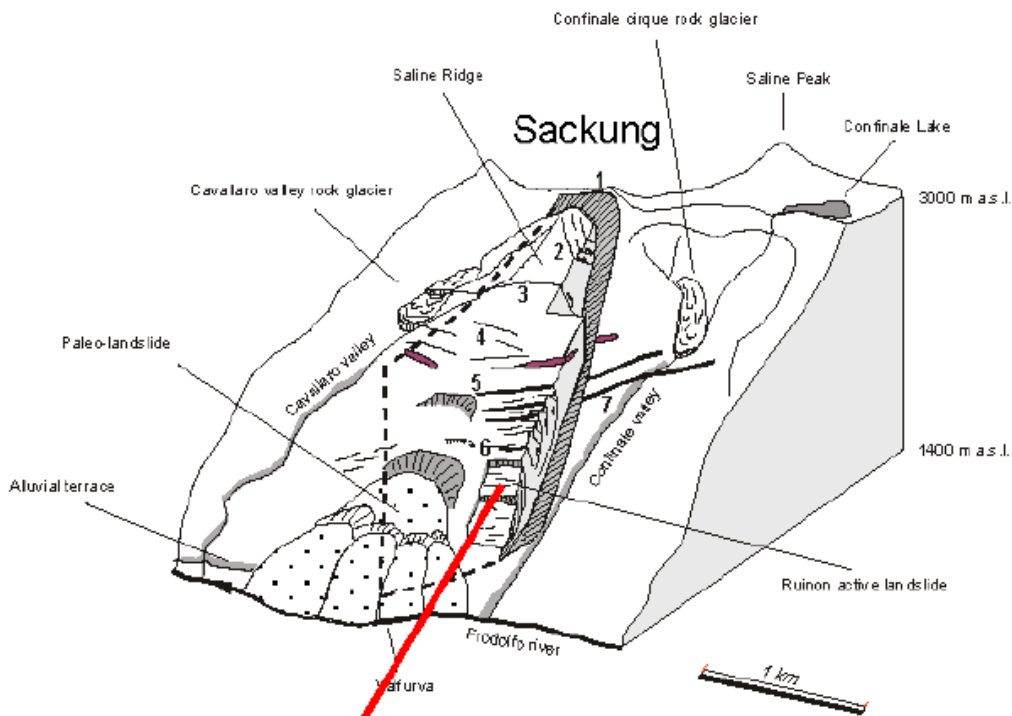
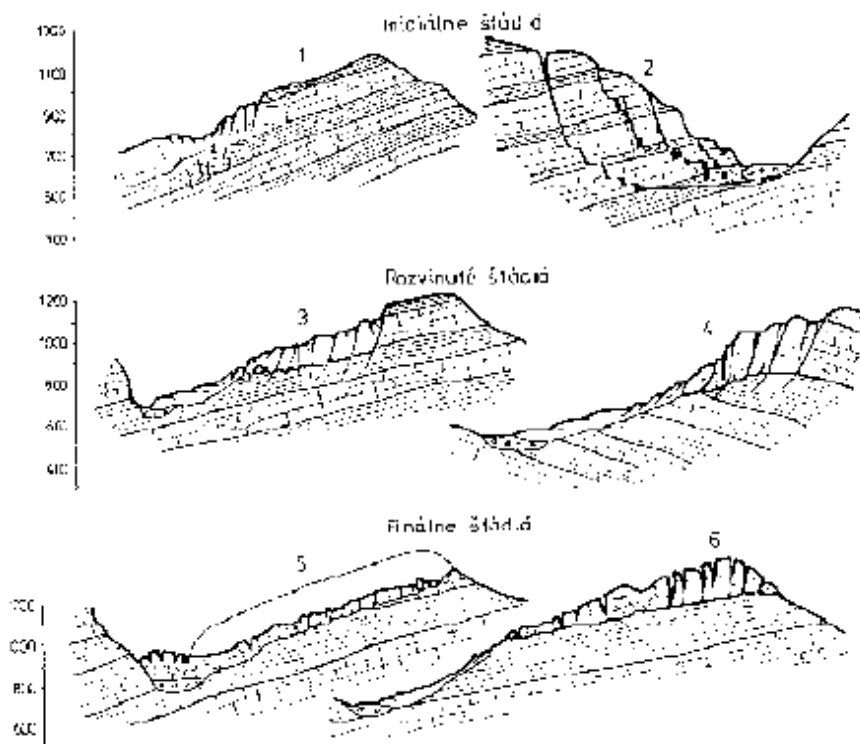
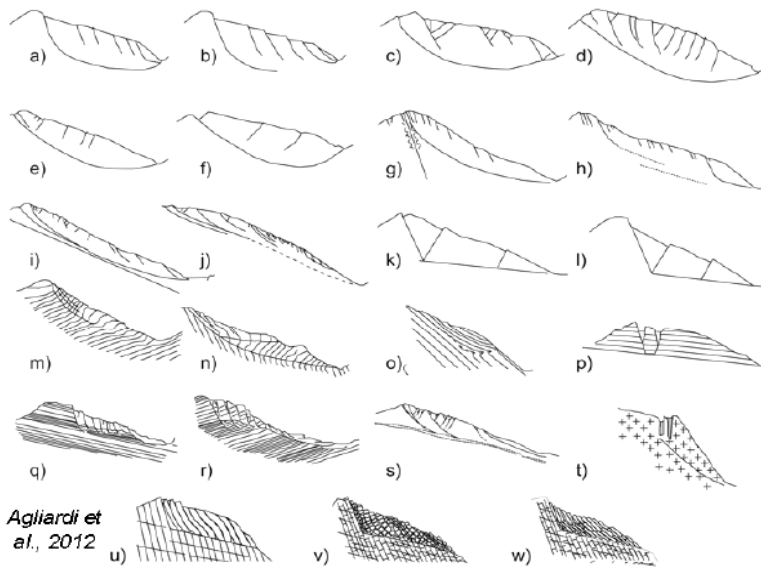


FIGURE 7.2.6 Diagram showing the structural-geological features (dilatant-contractant); depth and kind of shear surfaces and displacement vectors of a rock flow (Sackung, Talzuschub)

Figura 166. Dos ejemplos de deslizamientos complejos con rotura profunda en roca controlada por estructura desfavorable en la ladera. Fuente: Landslide recognition. Dikau Ed. John Wiley & sons. 1996





No unique mechanisms !

Wide range of:

- geo- settings
- morpho- settings
- geometry
- kinematics
- maturity / activity

Relationships with:

- stratigraphy
- structural patterns
- individual structures

Agliardi et al., 2012

Figura 167. Tres figuras que resumen un catálogo de algunos ejemplos de deslizamientos con mecanismo de deformación profunda en roca, controlada por la estructura. Fuente: Slow, deep-seated rock slope deformation (DSGSD) Agliardi, 2012

Habitualmente estos mecanismos complejos de deslizamiento tienen lugar en laderas con desniveles muy superiores al existente en la presente ladera, o se producen en valles donde ha habido erosión glaciar, que ha contribuido a excavar el valle de una forma relativamente rápida, produciéndose posteriormente una decompresión general de la ladera. Pero en el emplazamiento en estudio, con una disposición estructural similar a la reflejada en algunos de los ejemplos, los materiales presentan unas condiciones de resistencia muy bajas en los planos que han sufrido alteración de las margas a arcillas por la humedad.

Otro mecanismo complejo de deslizamiento cuando hay una capa más rígida de roca sobre otro material margoso es la denominada combadura (cambering) y pandeo de valle (bulging). En el caso del presente estudio no se han determinado aún movimientos que afecten a las margas de Pamplona en el fondo del valle, por lo que se requeriría profundizar en el estudio para evaluar la posible incidencia de este posible tipo de movimiento.

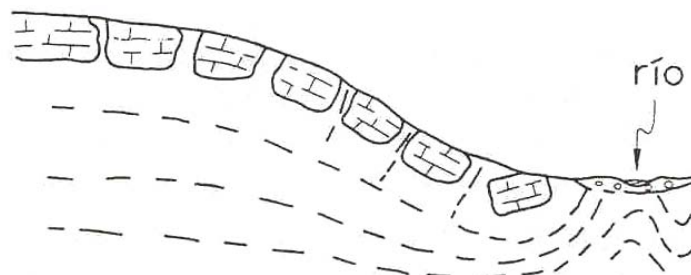


Figura 168. Deslizamiento complejo de tipo combadura y pandeo de valle. Fuente: Corominas, J. Tipología de los movimientos de ladera.

Aunque en este momento sea necesario profundizar en el estudio de la inestabilidad de la ladera de cara a determinar concretamente cual ha sido la tipología del movimiento y el mecanismo que lo ha desencadenado, lo que parece ponerse de manifiesto es que en la ladera existía, de forma oculta, uno o varios deslizamientos que habrían debilitado ya el macizo, particularmente algunos planos de estratificación y a la generación de depósitos de suelos de mayor entidad que si no se hubiesen producido dichos deslizamientos. Esta situación habría dado lugar a las aparentes morfologías de zonas planas existentes en la ladera y al potente coluvial existente en la base de la ladera derecha. Al menos de forma local, algunos planos de estratificación presentarían de forma natural, condiciones de resistencia residual.

Sobre estas posibles condiciones existentes se han desarrollado las obras para la construcción de la presa de Yesa y del posterior recrecimiento. A continuación se enumeran una serie de circunstancias particulares que se considera que pueden tener relación con la evolución que parece presentar el movimiento actual.

- La excavación del estribo derecho de la presa de Yesa se realizó mayoritariamente en las margas de Pamplona, salvo una zona situada en la coronación donde se excavó el flysch, y donde la estructura de la roca no presentaba una estructura desfavorable, como sí que ocurría en el estribo izquierdo.
- Parece que los deslizamientos que se produjeron en las etapas iniciales de la obra solo afectaron a los suelos y roca alterada existentes, siendo de tipo rotacional habitual. Estos deslizamientos se agravaban por el alto grado de alterabilidad de las margas.
- El importante volumen de suelos coluviales existentes en la ladera podría haber estado realizando un efecto de contención de la ladera, en el pie de las capas de flysch situadas por encima en la ladera. Al retirarse parte de estos suelos, se perdió esta disposición favorable a la estabilidad.
- También el recubrimiento de suelos dificultaba el estudio de la orientación de las capas de flysch. Como reflejan los datos tomados en las excavaciones realizadas para el recrecimiento, la orientación real de las capas es menos favorable, que la observable en los anteriores afloramientos existentes. No obstante, esta disposición estructural no es totalmente desfavorable para la estabilidad, como lo es la orientación de las capas situadas por encima de la carretera actual.
- Aparte de los suelos, las excavaciones para el recrecimiento han retirado también material rocoso del flysch, del pie de la ladera.
- Las voladuras realizadas para la excavación de los túneles de la autovía aunque no hubiesen resultado el factor desencadenante del movimiento de la ladera, podrían haber contribuido con las vibraciones a incrementar la apertura de las juntas entre los bloques de las capas de arenisca. Por esta razón se podría haber favorecido la circulación de agua y la reducción de la resistencia de los planos con la alteración de las margas.
- Prácticamente en todos los deslizamientos es el agua (las condiciones hidrostáticas) la determinante de marcar el momento en que se inicie el movimiento. Cabe señalar que los últimos meses han sido especialmente lluviosos en la zona.

4. PRECIPITACIONES EN LA ZONA

Con independencia de otros posibles factores, a lo largo del estudio se pone de manifiesto la indudable relación existente entre las inestabilidades observadas en las formaciones del flysch de Yesa con los la presencia de agua en el terreno y su desfavorable influencia en el comportamiento de estos materiales

En este sentido, cabe señalar que, durante los meses transcurridos desde el pasado otoño hasta fecha de redacción del presente documento, se han venido registrado índices de pluviometría que pueden considerarse excepcionales con relación a los registros disponibles.

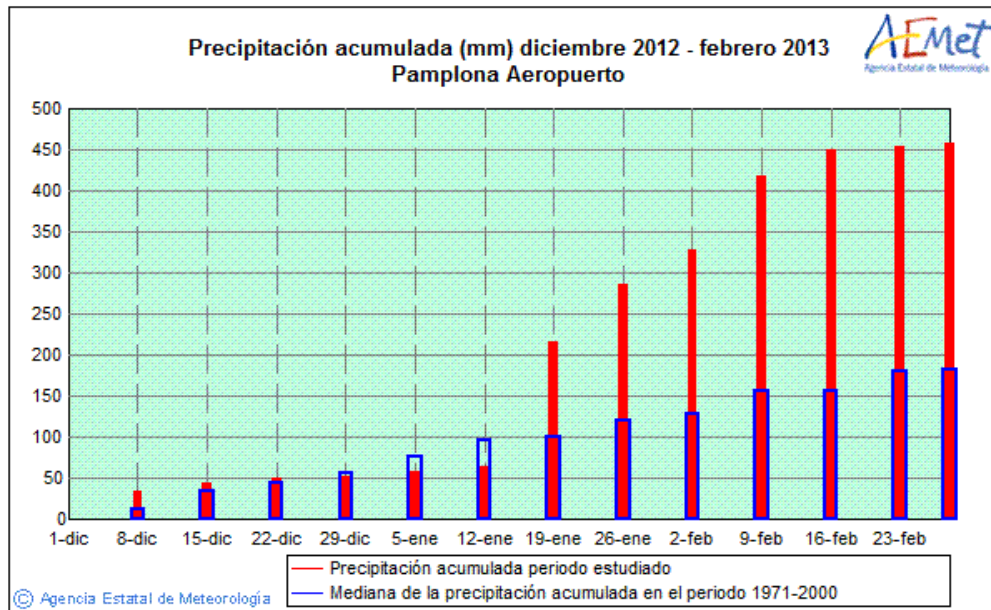


Figura 169. Ejemplo de precipitaciones acumuladas en Pamplona Dic-2012–Marzo 2013(Fuente: AEMET).

En la figura siguiente se muestra la gráfica de precipitaciones, diarias y acumuladas, en la zona. El periodo de mayor intensidad acumulada de los últimos meses corresponde a la segunda y primera quincena de los meses de enero y febrero de este año.

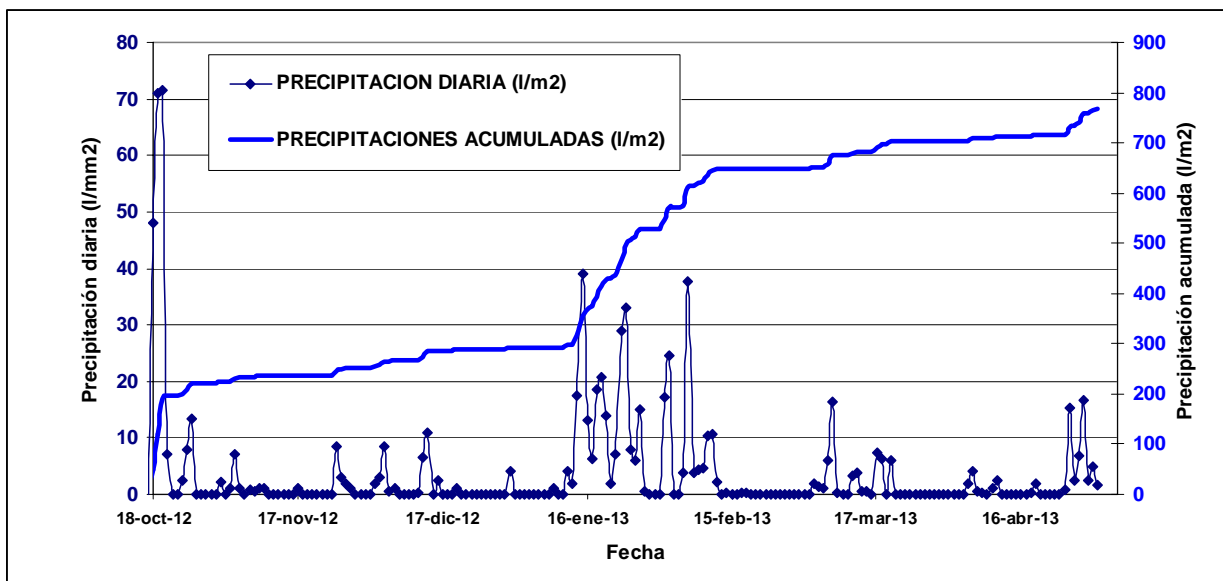


Figura 170. Precipitaciones en la zona, diaria y acumulada Octubre-Mayo 2013.

Con un desfase de unas dos semanas desde el inicio de ese periodo de lluvia intensa, se registra, a través de los dispositivos de control de la ladera, un incremento significativo de desplazamientos, lo que motiva, precisamente, la puesta en marcha, con carácter de emergencia, de los trabajos encaminados a la mejora de las condiciones de estabilidad, ya iniciados con resultados muy favorables, y que actualmente se siguen llevando a cabo.

En los apéndice 7 se incluye un análisis correspondiente a los periodos de retorno de las lluvias de los últimos meses.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los distintos análisis realizados hasta la fecha, se considera que en el desarrollo de los deslizamientos observados en la ladera derecha de la presa de Yesa concurren, al menos, las siguientes circunstancias:

- Existencia de unas condiciones geológicas especialmente adversas con materiales de rigidez variable -suelos y rocas- y de naturaleza potencialmente inestable, favorecida por la disposición estructural (buzamiento hacia el valle, existencia de paleodeslizamientos superpuestos...) y formaciones geológicas (subniveles margosos) muy sensibles a la acción del agua en sus distintas afecciones.
- Excavaciones en la margen derecha agua abajo y en el entorno del estribo derecho de la presa para el plinto del recrecido.
- Excavaciones en la ladera para el desvío de la carretera N-240.
- Túneles de la Autovía A-21: vibraciones inducidas en el terreno como consecuencia de las detonaciones de explosivos durante su construcción.
- Acción del agua por distintas razones y en particular por efecto de las extraordinarias precipitaciones registradas en últimos meses del año anterior y primeros de 2013.
- Sismicidad: natural o inducida.

Se considera que la concatenación de todas, o algunas de estas circunstancias, está en el origen de la re-activación del movimiento de grandes masas de materiales que ya resultaban potencialmente inestables, muy susceptibles a la activación de deslizamientos.

La superposición de efectos en el tiempo, y la ausencia de dispositivos de control que permitan disponer de registros históricos, hacen, en nuestra opinión, inviable discriminar en qué proporción ha podido contribuir cada uno de los posibles factores indicados, a la reactivación de un deslizamiento de esta naturaleza.

En particular, tras el análisis efectuado a través de GIS, se considera que, tanto por condiciones de inestabilidad inducida, como por coincidencia temporal, y por el sentido y magnitud de los desplazamientos que se han registrado, la excavación efectuada para el encaje en la ladera de la presa recrecida, ha podido influir, de forma apreciable, en la reactivación de los movimientos en la ladera, que se aceleran de manera extraordinaria en febrero del presente año, coincidentes con un ciclo de lluvia especialmente intenso.

A esta acumulación de efectos negativos ha podido colaborar el efecto de la vibración inducida por la superposición de las voladuras realizadas para la excavación de los túneles de la A-21, posiblemente favoreciendo la apertura de juntas y contactos entre materiales margosos y areniscosos favoreciendo la infiltración de agua y su acción desestabilizante, a través de vías preferentes generadas en una formación potencialmente muy susceptible a sufrir problemáticas de inestabilidades y deslizamientos.

Precisar en qué medida el agua actúa de forma decisiva en la generación de inestabilidades resulta extraordinariamente complejo, pero no se puede descartar que, su efecto haya favorecido, o incluso inducido de forma decisiva, la reactivación de los apreciables desplazamientos registrados hasta febrero de 2013.

En general, se considera que el agua es el principal agente desencadenante de problemas de inestabilidad en taludes. Los efectos del agua pueden ser:

- Incremento de peso (desestabilizador) por incremento de densidad (aumento de humedad)
- Reducción de resistencia efectiva por incremento de presiones intersticial
- Generación de empujes hidrostáticos en juntas y planos subparalelos de contacto entre paquetes de diferente permeabilidad.
- Modificación de las propiedades resistentes del terreno (reblandecimientos) por efectos físico-químicos, (disolución de sales, cambios iónicos) en particular en los niveles de predominio de suelos finos margosos formando nuevos planos de debilidad, y además con carácter cíclico dependiendo de los ciclos de humectación y desecación.
- Erosiones y arrastres de suelos finos, generando superficies de especial debilidad.

En todo caso, el grado de estabilidad que se alcance en el futuro por las medidas de mejora que se acometan, o la adecuación de medidas de refuerzo solo podrá ser verificado mediante la incorporación de un sistema de auscultación adecuado y especialmente intenso en toda la capa de flysch, que permita disponer de datos objetivos con objeto de poder contrastar las hipótesis e interpretaciones que pueden elaborarse, dada la extraordinariamente compleja y variable estructura geológica de la ladera (especialmente en el sector inferior de la ladera), y que por tanto tienen un inevitable grado de incertidumbre.

Aparte de la auscultación de la inestabilidad actual, debe considerarse el riesgo de que en la zona baja de la ladera se pueda producir un deslizamiento secundario que afecte al macizo decomprimido (Puntos de lectura 120, 121 y 122) ya que, aunque de menor dimensión, debe ser objeto de atención mediante la incorporación de dispositivos de auscultación complementarios.

Hasta ahora se han elaborado comprobaciones de estabilidad mediante modelos de equilibrio límite, sobre numerosas hipótesis y con distintos criterios de saturación, de modos de fallo, parámetros y modelos constitutivos.

Dichos modelos consideran la existencia de bandas o zonas o superficies de debilidad, geológicamente pre-existentes (paleodeslizamientos), a través de las cuales parecen haberse producido desplazamientos relativos entre masa de terreno contiguas, de acuerdo con los datos de auscultación disponibles.

En dichas comprobaciones, en general, no se han considerado deformaciones ni cambios tensionales inducidos por las primeras. Este tipo de análisis se plantea como bidimensional, simplificación que, en general, se considera suficiente para el estudio de la mayor parte de los problemas de deslizamientos en geotecnia si bien cabría plantear estudios tridimensionales para seguir profundizando en el análisis.

Por otra parte, resulta evidente la favorable respuesta que ha supuesto la excavación de una buena parte de la masa deslizada en la atenuación del movimiento, hecho constatado a través de la auscultación disponible.

De acuerdo con los diferentes cálculos que han sido realizados, verificado por los datos de auscultación disponibles, las excavaciones fueron iniciadas en febrero con carácter de urgencia, para suavizado del talud, y cuyo volumen total previsto a la finalización estos trabajos, será aproximadamente 1.500.000 m³, permitirán mejorar significativamente el Factor de Seguridad global de estabilidad de la ladera.

En este sentido y en la línea de avanzar en actuaciones encaminadas a disponer de un amplio margen de seguridad y, dada la entidad de la problemática, por la presencia de la presa actual y por los trabajos del recrecido, se recomienda lo siguiente:

- Disponer de una mejor caracterización del comportamiento del terreno a través de baterías de ensayos en laboratorio, sobre muestras inalteradas y/o remodeladas, con distintas densidades y contenidos de humedad.
- Estudios de sismica: tomografía sísmica y sísmica pasiva para comparar las propiedades del macizo en diferentes puntos, comparando también con zonas de macizo no deslizado.

- Profundizar en el problema mediante el desarrollo de un modelo geomecánico tridimensional, concretamente mediante el código MIDAS-GTS que permita analizar deformaciones y cambios tensionales con modelos constitutivos que permitan incorporar anisotropías, reblandecimientos cambios de presiones de agua y vibraciones inducidas.

MIDAS-GTS (Geotechnical Tunnel analysis System), es un programa de elementos finitos de última generación, capaz de resolver prácticamente todos los problemas geotécnicos con geometrías tridimensionales. Sus capacidades de cálculo incluyen:

- Análisis tenso-deformacional del comportamiento de medios porosos saturados y semisaturados,
- Cálculos de infiltración. Régimen estacionario y transitorio.
- Cálculos tenso-deformacionales y de infiltración semi-acoplados.
- Incluye 15 modelos constitutivos del terreno.
- Fenómenos dinámicos debidos a terremotos, explosiones y cargas móviles.
- Cálculos de consolidación del terreno y cálculos de estabilidad sin drenaje.
- Análisis de estabilidad de laderas mediante el método SRF (Strenght Reduction Factor)
- Análisis de esfuerzos y tensiones en elementos estructurales y de sostenimiento.

Partiendo de la superficie de deslizamiento obtenida con GIS se puede reproducir una malla de elementos finitos como la del siguiente modelo:

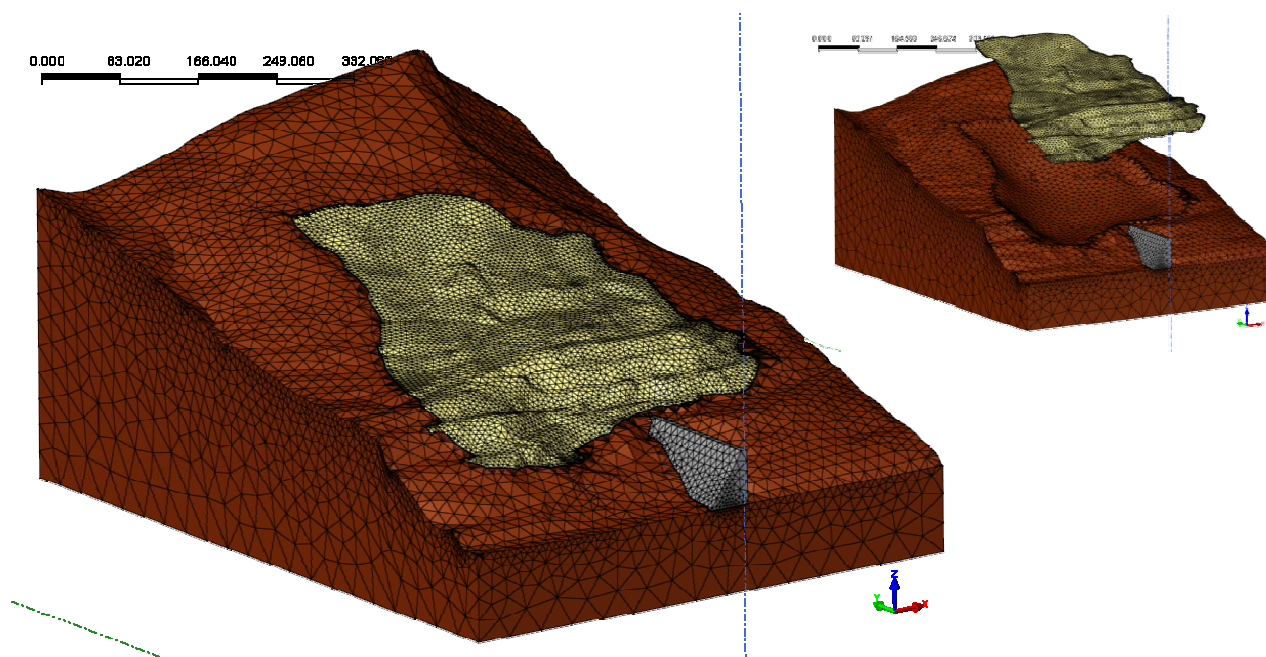


Figura 171. Malla de elementos finitos preliminar.


- La idea ya contemplada en fases anteriores de construir muros de gravedad (muros-jardinera) y de una batería de anclajes de gran capacidad, debe ser acometida, con objeto de favorecer y mejorar ampliamente la estabilidad global y local, en especial atención para situaciones extraordinarias, como eventos sísmicos, o de saturación excepcional del terreno en esa zona

- Como valor orientativo se considera que, para acciones normales, el factor de seguridad de estabilidad de la ladera debería estar en el orden de 1,25.
- Se debe avanzar en la incorporación de sistemas que favorezcan el drenaje, y la rápida disipación de presiones de agua, por su efecto claramente estabilizador. Entre otros podría considerarse la ejecución de pozos y/o túneles o galerías subhorizontales hasta la zona de contacto flisch–marga, en la línea de lo previsto en estudios precedentes.
- Incorporar nuevos dispositivos de control y más concretamente mediante inclinómetros, puntos de seguimiento superficial para seguimiento con estación total y piezómetros de cuerda vibrante aislados a distintas profundidades en el seno de las capas de Flysch para poder efectuar un seguimiento más completo que permita analizar la influencia de los distintos factores y acciones que intervienen sobre el terreno, para delimitar el contorno del deslizamiento y su evolución a lo largo del tiempo y en el espacio.

Al menos se propone la realización de los siguientes elementos:

- Inclinómetros en la zona baja de la ladera, tanto aguas abajo para determinar la situación del pie de la ladera como en la zona de aguas arriba para estudiar la zona de roca posiblemente descomprimida.
- Piezómetros de cuerda vibrante, preferentemente aislados en el seno del flysch
- Extensómetros incrementales para medida de extensiones o acortamientos en profundidad
- Hitos superficiales fuera del contorno del deslizamiento actual

San Sebastián de los Reyes, (Madrid), 12 de junio de 2013



Álvaro Barrero Díaz
Ldo. en C. Geológicas



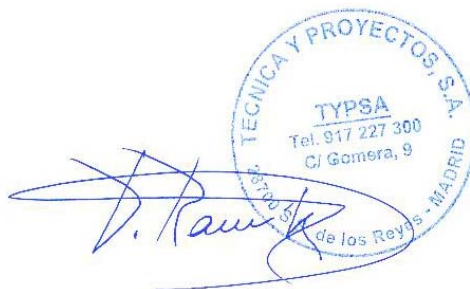
Alexandre Plaza Castel
Ingeniero Geólogo



Patricia Bardavío Domínguez
Lda. en C. Geológicas



Miguel Trancoso Gómez
Ing. de Caminos, Canales y Puertos



TYP SA
INGENIEROS
CONSULTORES
Y ARQUITECTOS
Tel. 917 227 300
C/ Gomera, 9
28014 MADRID

Pedro Ramírez Rodríguez
Ing. de Caminos, Canales y Puertos
Director del departamento de Geotecnia



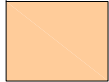

6. APÉNDICES

6.1. APENDICE 1. CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE DETALLE A ESCALA 1:1.000

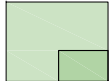



LEYENDA

CUATERNARIO

FORMACIONES DE SUELOS (ESPESOR ESTIMADO > 2 m)

	Q ₁	DEPÓSITO ALUVIAL
	Q ₂	SUELOS COLUVIALES
	Q ₃	COLUVIAL DE BLOQUES. PREDOMINIO DE BLOQUES DE ARENISCA, ESTRUCTURA CAÓTICA. POSIBLE ACUMULACIÓN DE MATERIAL DESLIZADO.
	Q ₄	RELLENO Y VERTIDOS

TERCIARIO. SUBSTRATO

	T ₁	MARGAS DE PAMPLONA
	T ₂	FLYSCH DE YESA. INDIFERENCIADO. SUBSTRATO CUBIERTO
	T _{2AR}	PREDOMINIO DE ARENISCAS CON INTERCALACIONES DE MARGAS
	T _{2M}	PREDOMINIO DE MARGAS CON INTERCALACIONES DE ARENISCAS

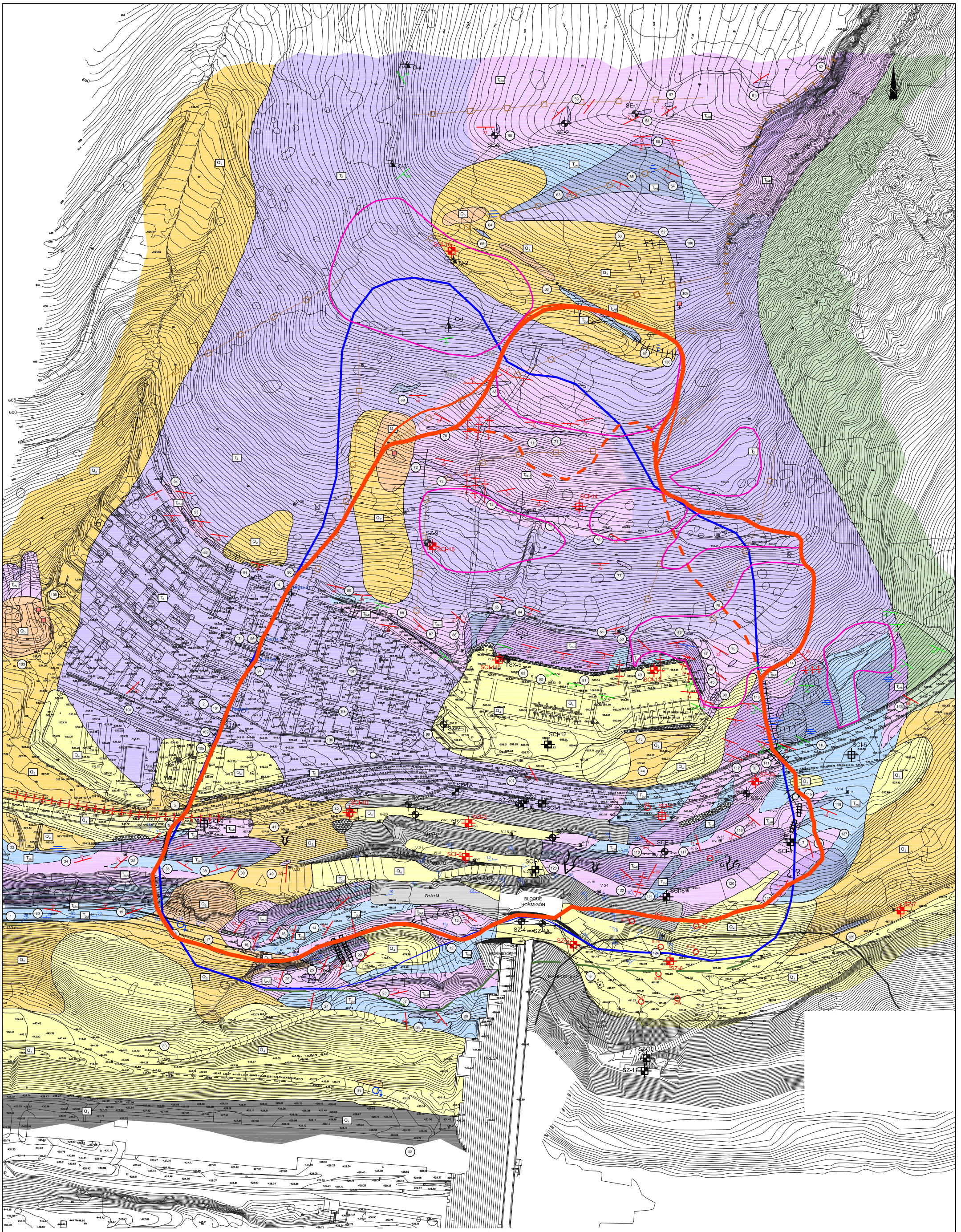
NOTAS:

- LOS AFLORAMIENTOS SE DISTINGUEN CON TONOS FUERTES DE COLOR.
- DATOS DE GEOLOGÍA DE CAMPO TOMADOS DEL 20 AL 22 DE MARZO DE 2013.
- EN LAS ZONAS EXCAVADAS LA TOPOGRAFÍA NO REFLEJA LOS ESCARPES CON AFLORAMIENTOS.
- LA DIFERENCIACIÓN DE LAS FACIES CON PREDOMINIO DE ARENISCA O MARGA, DENTRO DEL FLYSCH, SE REALIZA SÓLO EN AFLORAMIENTOS Y DONDE EXISTEN DATOS PREVIOS. LA VARIACIÓN LATERAL DE LA CAPAS ES MUY ALTA.
- EN FASES POSTERIORES SE REVISARÁ LA FOTOGRAFÍA AÉREA Y LAS CAMPAÑAS MÁS ANTIGUAS.

SÍMBOLOS

	FALLA INTERPRETADA		REZUME DE HUMEDAD
	FALLA		FLUENCIA DE AGUA
	CONTACTO SUELO-ROCA O ENTRE DISTINTAS FORMACIONES DE SUELOS.		DESPLAZAMIENTO (AFECTANDO A LOS METROS SUPERFICIALES DE TERRENO)
	CONTACTO ENTRE FORMACIONES		CAIDA LOCAL DEL TALUD
	CONTACTO LITOLÓGICO		BLOQUES AISLADOS
	DIRECCIÓN Y BUZAMIENTO DE LA ESTRATIFICACIÓN. (MARZO 2013)		INDICIOS DE REPTACIÓN SUPERFICIAL
	MEDIDAS DE LA ESTRATIFICACIÓN DE CAMPAÑAS ANTERIORES		MACIZO ROCOSO DECOMPRIMIDO. INDICIOS DE MOVIMIENTO LIGERO ENTRE BLOQUES DE LAS CAPAS SIN LLEGAR A DESTRUIRSE LA ESTRUCTURA
	EJE DE PLIEGUE ANTICLINAL		MURO O REFUERZO DE ESCOLLERA
	EJE DE PLIEGUE SINCLINAL		MURO DE HORMIGÓN
	INMERSIÓN DEL EJE DEL PLIEGUE		MURO DE MAMPOSTERÍA
	ESCARPE GEOMORFOLÓGICO		GRIETAS
	ALINEACIÓN TOPOGRÁFICA CON MARCADO CONTRASTE DE PENDIENTE		GRIETAS CON COMPONENTE DE DIRECCIÓN
	CONTORNO DE MOVIMIENTOS FEBRERO 2013		PUNTO DE LECTURA
	CONTORNO DE MOVIMIENTOS A 18-04-2013		PUNTO DEPRIMIDO
	CONTORNO DE MOVIMIENTOS A 07-06-2013		HUNDIMIENTO
	CONTORNO DEL DESPLAZAMIENTO SI SIGUIERA EXCLUSIVAMENTE LA ESTRATIFICACIÓN		BANDA DE TERRENO AGRIETADO CON MOVIMIENTOS LIGEROS ENTRE LOS BLOQUES DE LAS CAPAS DE ARENISCA. ZONAS DE FLANCO DEL DESLIZAMIENTO.
	RELLENOS DE PALEODESLIZAMIENTOS ROTACIONALES		TALUD REFORZADO GUNITA, ANCLAJES, DRENES (G+A+D)
	POSIBLE CONTORNO DE DESLIZAMIENTO EN EL PIE EN ZONA NO VISIBLE		





9 10 (EN ESTRIBO IZQUIERDO)

LEYENDA

	SONDEO INCLINOMÉTRICO NO OPERATIVO		SONDEO PIEZOMÉTRICO OPERATIVO
	SONDEO INCLINOMÉTRICO OPERATIVO		SONDEO PIEZOMÉTRICO PROPUESTO PREVISTO POR LA CHE
	SONDEO INCLINOMÉTRICO PREVISTO POR LA CHE		SONDEO EXISTENTE
			BASE DE CONTROL TOPOGRÁFICO

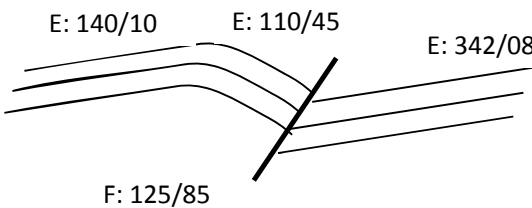
	CONTORNO DE MOVIMIENTOS FEBRERO 2013
	CONTORNO DE MOVIMIENTOS A 18-04-2013
	CONTORNO DE MOVIMIENTOS A 07-06-2013
	CONTORNO DEL DESLIZAMIENTO SI SIGUIERA EXCLUSIVAMENTE LA ESTRATIFICACIÓN
	RELLANOS DE PALEODESLIZAMIENTOS ROTACIONALES
	POSIBLE CONTORNO DE DESLIZAMIENTO EN EL PIE EN ZONA NO VISIBLE

6.2. APÉNDICE 2. PUNTOS DE LECTURA, DATOS ESTRUCTURALES Y FOTOGRAFÍAS

Punto	Descripción	Fotografías	
		De	Hasta
1	Corte en materiales del flysch. Estructura replegada. Caídas de bloques de areniscas por descalce de las capas	DSCF0618	DSCF0621
2	Grietas en la calzada del vial de la urbanización. <i>Ver también punto de lectura 101</i> Daños garajes (<i>Ver también punto de lectura 97</i>)	DSCF0622	DSCF0626
		DSCF0627	DSCF0630
3	Daños edificaciones (<i>Ver también punto de lectura 95</i>)	DSCF0631	DSCF0637
4	Daños por grietas en vial y garajes (<i>Ver también punto de lectura 90</i>) Panorámica hacia la ladera del estribo izquierdo Detalle de afloramiento en flysch y suelos	DSCF0632	DSCF0642
		DSCF0643	DSCF0647
		DSCF0648	DSCF0649
5	Panorámica hacia la ladera del estribo izquierdo Sondeo en ejecución. Lentas de arcillas entre areniscas Instrumentación topografía Daños en la cuneta de la carretera, flanco oeste del deslizamiento. Cuneta deformada y talud en suelo coluvial con regueros más erosionados en la zona deformada. Hacia el oeste, hay muro de hormigón sin daños, para la contención del talud de la carretera excavado en suelos	DSCF0650	DSCF0659
		DSCF0660	DSCF0665
		DSCF0666	DSCF0669
		DSCF0670	DSCF0672
		DSCF0943	DSCF0947
6	Flanco este del deslizamiento. Estratos de Flysch. Grietas en la carretera <i>(Ver también puntos de lectura 110 a 112)</i>	DSCF0673	DSCF0695
7	Afloramiento de capas de flysch. Flanco este del deslizamiento <i>Ver también puntos de lectura 125 y 126</i>	DSCF0696	DSCF0708
8	Panorámica de las obras de estabilización en la base de la ladera	DSCF0709	DSCF0728
9	Aliviadero. Vista de la ladera desde la margen izquierda	DSCF0729	DSCF0739
10	Panorámica desde la margen izquierda Obras en la margen izquierda. Contacto del deslizamiento de la Refaya	DSCF0740	DSCF0743
		DSC_8587	DSC_8626
		DSCF0744	DSCF0746
		DSC_8627	DSC_8628
11	Excavación en la cabecera de la zona deslizada <i>Ver también punto de lectura 71</i>	DSCF0747	DSCF0753
12	Panorámica. Afloramiento de capa de arenisca en primer término	DSCF0754	DSCF0757
13	Afloramiento de areniscas con intercalaciones de marga gris. En la plataforma del camino se aprecia dos pequeños huecos de hundimiento entre bloques de arenisca, con ligero desplazamiento, alineados con dirección 80°. Indicios de posible grieta entre ellos. Grieta en la gunita con testigo de pintura. <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF0749	DSCF0764
14	Nueva base topográfica. En el talud del afloramiento, capa con predominio de marga en la base del talud y tres barras de areniscas, con juntas abiertas y dos familias de juntas claras, ortogonales. <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF0765	DSCF0770

Punto	Descripción	Fotografías	
		De	Hasta
15	Medida de la estratificación en la capa de arenisca. La estratificación presenta un ligero alabeo con buzamientos bajos hacia el interior del talud. Las juntas en las capas de arenisca tienen aperturas milimétricas <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF0771 DSCF0821	DSCF0784 DSCF0827
16	Afloramiento de areniscas con intercalaciones centimétricas de marga, situado en el extremo del muro de mampostería existente, cuya parte más al este ha sido demolido para construir el acceso a la obra. El muro en general se encuentra en buen estado salvo una fisura milimétrica entre bloques en un punto. Los planos de estratificación tienen estructuras sedimentarias tipo ripples con ondulaciones. <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF0785 DSCF0820	DSCF0790
17	Coluvial con predominio de bloques de arenisca, angulosos, con disposición caótica, sin que se observe una estructura aparente. Posible pie de acumulación de material deslizado antiguo	DSCF0791	DSCF0797
18	El contacto del coluvial de bloques llega hasta enfrente del sondeo SX-6. En el talud excavado en el coluvial se ha formado un deslizamiento rotacional, reciente, que afecta al talud inestable excavado en el coluvial de bloques. Hay fluencia local de agua en el pie de la masa deslizada. Por detrás de la coronación de la caída se han formado nuevas grietas. Hacia el oeste, el talud aflora roca bien estratificada.	DSCF0798	DSCF0807
19	Hasta este punto, desde el este, en el afloramiento del talud la capa de arenisca presenta los bloques de las capas algo desencajados, como si hubiese habido un movimiento milimétrico entre ellos. También es la zona que tiene caídas superficiales de suelos en la cara del talud. Mas al oeste la estratificación es más continua y las capas son más rectas, sin movimiento entre bloques (f 8013) <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF0808	DSCF0814
20	Talud con afloramiento de capas continuas de arenisca con intercalaciones de margas y margas con intercalaciones de arenisca. Hay caídas de bloques de areniscas descalzados. Hay humedad en la cara del talud. Pequeña falla.. <i>Hoja de datos estructurales.</i>	DSCF0815	DSCF0819
21	Banda vertical, con planos con grietas y con movimientos entre los bloques de las capas de arenisca. Planos abiertos con aperturas centimétricas. Humedad <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF0828	DSCF0833
22	Arenisca con intercalaciones de marga. La medida de la estratificación está tomada en el lado más al este, donde las capas mantienen la continuidad <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF0834	DSCF0837
	Panorámica de conjunto de los puntos 21 y 22	DSCF0838	DSCF0840
23	Afloramiento de areniscas con intercalaciones de capas de marga gris, con espesores de 40 - 60 cm. <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF0841	DSCF0842
	Panorámica de la presa y la ladera de la margen izquierda	DSCF0843	DSCF0848

Punto	Descripción	Fotografías	
		De	Hasta
24	Afloramiento de predominio de marga con intercalaciones de arenisca <i>Hojas de datos estructurales</i>		DSCF0849
25	Talud con niveles destacados de capas con predominio de arenisca y capas con predominio de marga. Hacia el oeste hay un plano de falla que limita con un depósito de suelos coluvial con bloques de arenisca, angulosos, y disposición caótica. La orientación de la falla es aproximada. Es paralela a la familia principal de juntas y subparalela al valle. <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF0850	DSCF0854
26	Afloramiento de arenisca, con capas claras y buena estratificación, que aflora en la base del talud, entre los bloques. Hacia el oeste hay un predominio de coluvial de bloques, salvo algunas capas aisladas y dispersas que afloran entre los bloques. <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF0855	DSCF0858
	En el piso de la plataforma excavada entre las bermas, hay grietas de tracción entre los bloques de las capas de arenisca, formados al separarse éstos por los planos de la junta principal, paralela a la ladera.	DSCF059	DSCF0860
27	Panorámica del escarpe en el que aflora la roca, excavado en capas de areniscas con intercalaciones de marga. Planos abiertos por separación de los bloques de las capas de areniscas a favor de la familia de juntas principal, paralela al valle y a la posible falla.	DSCF0861	DSCF0864
28	Marga gris con intercalaciones ocasionales de arenisca, de espesor centimétrico. La medida de la estratificación se mide bien en el bloque inferior de la falla, pero en el bloque superior la medida de la orientación es dudosa. <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF0865	DSCF0866
29	Afloramiento de marga gris, con aspecto masivo. No se aprecia bien la estratificación con capas claras. En superficie muy fisurada por la alterabilidad de la marga gris, pero no fracturada por posible movimiento de la ladera, parece un afloramiento de roca in situ.	DSCF0867	DSCF0869 DSCF0874
	Vista del dique de la presa actual	DSCF0870	DSCF0873
30	La zona baja de la ladera está cubierta de suelo coluvial y en bastantes zonas también por vertidos de la obra de recrecimiento y de las pistas de acceso.	DSCF0874	DSCF0881
31	En el pie de la ladera hay un corte en suelos coluviales, con predominio de lajas de arenisca. Presentan una estructura imbricada, con menos finos que en otros cortes en suelo coluvial. No es una acumulación de coluvial de bloques caóticos. Se podría intentar hacer una roza para ver mejor la estructura de los suelos. Mana agua en el pie de la acumulación de suelos.	DSCF0882	DSCF0884
32	Panorámica desde la base de ambas laderas, especialmente de la ladera del margen derecho	DSCF0885	DSCF0903
33	Panorámica desde el oeste	DSCF0906	DSCF0910
	Vista de la margen izquierda	DSCF0904	DSCF0905

Punto	Descripción	Fotografías	
		De	Hasta
34	En la parte inferior del talud, aflora marga gris con intercalaciones centimétricas de arenisca marrón. Encima, hay al menos un metro de coluvial <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF0911	DSCF0912
35	Predominio de arenisca, en capas de espesor centimétrico, con intercalaciones de marga. Falla local. Encima está el relleno de la carretera con un pequeño pedraplén en su base. <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF0913	DSCF0915
36	En el talud excavado en roca hay una banda subvertical, de unos cinco metros de anchura, en la que las capas están rotas, con bloques descolocados y ligeramente desplazados. Predominio de capas de arenisca. Constituye el flanco oeste del deslizamiento. En la parte baja del talud hay una capa de roca con predominio de marga gris, que en el punto que coincide con la zona de rotura, se encuentra alterada a color marrón <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF0916	DSCF0925
37	En la zona alta de la banda de rotura en el talud se aprecia la estructura definida por planos de estratificación netos, pero replegados en pliegues de escala métrica y una falla local. Predominio de marga gris con intercalaciones de arenisca. 	DSCF0926	DSCF0928
38	En la parte baja del talud predomina la marga gris con intercalaciones centimétricas de arenisca. En la parte superior hay predominio de arenisca. <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF0929	DSCF0932
39	En la zona baja del talud, predominio de marga gris con intercalaciones centimétricas de arenisca. En el centro y parte superior del talud, predominio de arenisca, con una zona de mayor espesor de las capas, hasta un metro, correspondiente a un paleocanal. Planos de juntas abiertos. <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF0933	DSCF0934
40	Al acercarse hacia la base topográfica, que también es el inicio del talud gunitado, el talud se encuentra sucio, cubierto de bloques y suelo coluvial. Se pierde la estratificación de las capas de arenisca, hacia la zona de contacto con el coluvial y además las capas se encuentran cada vez más rotas y desencajadas. Posible afloramiento o bloque de arenisca desplazado, situado en la base del talud. <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF0935	DSCF0942
41	Encima de la berma, talud excavado en suelo coluvial con bloques de arenisca en lajas. Fotos del muro anclado	DSCF0948	DSCF0955
42	Inicio del muro anclado con gunita y drenes. Drenes secos. Vistas de los muros desde la parte superior.	DSCF0956	DSCF0965
		DSC_8650	DSC_8661

Punto	Descripción	Fotografías	
		De	Hasta
43	Muro de escollera que contiene el relleno de los chalets	DSCF0966 DSCF0972	DSCF0968 DSCF0975
44	Corte en suelos coluviales formados por grava angulosa con algo de arena e indicios de arcilla. Por encima, zonas con vertidos superficiales	DSCF0969	DSCF0971
	Vista hacia las excavaciones de la zona alta	DSCF0976	DSCF0978
45	Afloramiento con predominio de arenisca marrón <i>Hojas de datos estructurales</i>		DSCF0979
46	Afloramiento con predominio de arenisca marrón <i>Hojas de datos estructurales</i>		DSCF0980
47	Afloramiento con predominio de arenisca marrón <i>Hojas de datos estructurales</i>		DSCF0981
48	Afloramiento con predominio de arenisca marrón. <i>Hojas de datos estructurales</i>		DSCF0982
	Panorámica estaciones 48 a 45	DSCF0983	DSCF0985
	En la zona baja del talud hay marga gris, en el núcleo de un anticlinal local		DSCF0986
49	Flanco Este del pliegue. En el núcleo aflora marga gris fisurada. Encima, capa de arenisca de espesor centimétrico, que aparece rota y no se aprecia bien la orientación de la estructura salvo en el plano medido <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF0987	DSCF0988
50	Capa de arenisca sobre marga. Dentro del núcleo de margas en el pliegue, la estructura es caótica, no se ven capas de areniscas que definan la estructura <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF0989	DSCF0992
51	Areniscas con intercalaciones de marga gris. A partir del flanco oeste del pliegue, ya hay capas claras de areniscas, con continuidad en todo el talud <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF0993	DSCF0993
	Panorámica hacia el sur. Chalets en primer plano	DSCF1002	DSCF1001 DSCF1004
52	Zona de grietas superficiales en la ladera. Apertura: 4 cm	DSCF1005	DSCF1006
	Apertura: 11 cm		DSCF1007
	Apertura: 7 cm		DSCF1008
	Apertura: 8 cm		DSCF1009
	Apertura: 4 cm		DSCF1010
	En general esta zona de ladera de fuerte pendiente, presenta una continuidad de pequeños escalones centimétricos, que pueden reflejar un proceso de reptación superficial de los suelos coluviales		DSCF1011
53	Zona de grieta superficial en la ladera. Apertura: 4 cm		DSCF1012
	Vista hacia la zona baja de la ladera. Antiguas instalaciones		DSCF1013
	Panorámica del talud de coronación de la zona finalmente excavada y retirada, de izquierda a derecha, puntos de lectura 63, 55, 56 y 54	DSCF1014	DSCF1019
54	Marga arenosa marrón grisáceo y gris		DSCF1020

Punto	Descripción	Fotografías	
		De	Hasta
	Detalle del plano en que se ha medido la orientación de la estratificación. Los planos de más continuidad son producidos por la excavación del talud. <i>Hojas de datos estructurales</i>		DSCF1021
	Resume superficial de agua en la cara del talud		DSCF1022
55	Marga con intercalaciones de arenisca. Posible plano de estratificación. Orientación dudosa. <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF1023	DSCF1025
56	En la parte alta de la excavación, arenisca marrón, con planos de estratificación bien marcados. La orientación de la familia de juntas principal, paralela a la ladera, favorece la separación de bloques que deslizan sobre la estratificación, arrancados por la ejecución de las excavaciones <i>Hojas de datos estructurales</i>		DSCF1026
	Vista hacia el pie del talud	DSCF1063	DSCF1064
57	En la zona alta de la ladera, una vez superada la zona de cumbre hacia el norte E: 328/20, aflora una capa de arenisca en la superficie del terreno, buzando la estratificación hacia el norte, que es el lado contrario al que presenta en la ladera. Paralelo a la cumbre parece apreciarse una ligera depresión longitudinal, que podría ser la zona de apertura de un antiguo deslizamiento o simplemente una zona ligeramente excavada para las antiguas instalaciones de la presa.	DSCF1027	DSCF1029 DSCF1034
	Panorámica hacia la Sierra de Leire	DSCF1030	DSCF1033
58	Afloramiento superficial de una capa de arenisca, que también buza hacia el norte. Junto al sondeo SE-1 <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF1035	DSCF1037
59	Pequeño corte en arenisca marrón, correspondiente al acceso al sondeo SE-2 <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF1038	DSCF1039
60	Mal afloramiento de arenisca en el acceso al sondeo SE-3. Aparentemente la tendencia del buzamiento de la estratificación vuelve a ser hacia el sur. <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF1040	DSCF1041
61	Afloraminto de una capa superficial de arenisca en el piso del camino. Capa rota <i>Hojas de datos estructurales</i>		DSCF1042
62	Panorámica desde la cumbre. Vistas generales de las laderas de ambos márgenes del embalse. En el escarpe aflora arenisca bien estratificada. Detalles de grietas en los vertidos superficiales realizados en la vaguada situada al este de la zona de actuación. Vertederos del material excavado en la orilla del embalse.	DSCF1043	DSCF1062
		DSC_8662	DSC_8673
63	Marga calcárea gris <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF1065	DSCF1066

Punto	Descripción	Fotografías	
		De	Hasta
64	En la parte inferior del talud, hay marga gris y encima coluvial, formado por gravas angulosas de arenisca y con algo de arena y arcilla. Por la ejecución de la excavación está mezclado con roca alterada, sin que se pueda diferenciar el contacto. Hay también lajas de arenisca, que se han arrancado y ensucian la cara del talud. Rezume superficial de agua	DSCF1067	DSCF1071
65	Hasta tres metros de coluvial, formado por bloques de arenisca, sin estructura clara definida, pero aparentemente con escaso transporte. Debajo aflora marga alterada G.IV. Talud sucio, con restos de alguna capa de arenisca rota	DSCF1072 DSCF1076	DSCF1073 DSCF1077
	Panorámica hacia las zonas inferiores donde se ha realizado ya la excavación de la ladera	DSCF1074	DSCF1076
66	En el talud llega a observarse hasta 5 m de espesor de suelo coluvial con bloques de arenisca. Debajo se corta marga alterada con capas ocasionales de arenisca. Talud sucio.	DSCF1078	DSCF1080
67	Talud en la zona de la curva, se observan hasta 6 m de suelo coluvial, formado por grava con finos y bloques ocasionales. Por la ejecución del talud, los suelos aparecen mezclados con marga alterada gris, sin que se llegue a observar bien el contacto. Hay caída local de talud y rezumes superficiales de agua	DSCF1081	DSCF1084
	Vistas hacia la zona inferior de la ladera, con trabajos de explanación	DSCF1085	DSCF1086
68	Arenisca con intercalaciones de marga gris, y debajo marga gris, corte de 2,5 m de altura donde aflora la roca. La estratificación es de tendencia subhorizontal pero se aprecia un cierto alabeo. El mayor valor de buzamiento (40º) corresponde a una capa de marga. Por encima, toda la ladera está ya explanada, habiéndose retirado la mayoría de los suelos <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF1087	DSCF1093
69	El talud excavado en la zona de la curva se encuentra con la superficie cubierta con bloques rotos y movidos por la excavación. Parece que las capas presentan una tendencia de la estratificación hacia el sur, que es hacia el exterior de la ladera. <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF1094	DSCF1095
70	Arenisca, con intercalaciones de marga. Se aprecia bien la estratificación. Hacia el este en el talud de la pista, se aprecia el suave plegamiento que afecta a la estratificación, pero siempre con los planos descalzados hacia el exterior de la ladera. <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF1096	DSCF1099
71	Arenisca con intercalaciones ocasionales de marga gris. <i>Hojas de datos estructurales</i>		DSCF1100
72	Zona de falla que ha roto las capas de arenisca, que en esta zona alcanzan espesores decimétricos, formándose bloques con estratificación desplazada. Es posible que parte de los bloques se hayan desplazado como coluvial hacia una paleovaguada, situada a continuación hacia el oeste	DSCF1101	DSCF1105
73	Las capas de areniscas vuelven a estar bien estratificadas, con planos continuos, aunque los buzamientos de los estratos son bastante más fuertes que en la zona alta de la ladera <i>Hojas de datos estructurales</i>		DSCF1106

Punto	Descripción	Fotografías	
		De	Hasta
74	La estratificación de las capas de arenisca, presenta un suave plegamiento, pero con las capas descalzadas hacia el exterior de la ladera. La medida de la estratificación está tomada en el flanco más al este de los suaves pliegues y a continuación se encuentra una zona de falla <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF1107	DSCF1110
75	Afloramiento continuo de capas de arenisca en el talud. Buzamientos fuertes hacia el exterior de la ladera y del talud, habiéndose producido caídas translacionales del talud a favor de las capas. <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF1111	DSCF1118
76	Afloramiento con predominio de capas de arenisca. <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF1119	DSCF1120
	Panorámica de los trabajos de explanación	DSCF1121	DSCF1125
77	Predominio de capas de arenisca y debajo marga con arenisca. <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF1126	DSCF1131
78	Panorámica desde la base de la explanación en roca que en parte también afecta a suelos coluviales.	DSCF1132	DSCF1135
79	Arenisca con intercalaciones de marga gris		DSCF1136
80	Arenisca con intercalaciones ocasionales de marga gris		DSCF1137
	Detalles de la ejecución de la obra de explanación de la coronación del deslizamiento	DSCF1138	DSCF1140
81	Areniscas con intercalaciones de marga gris. Capas finas, bien estratificadas y planos continuos <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF1141	DSCF1143
82	Areniscas con intercalaciones ocasionales de margas, bien estratificadas, capas continuas. Estratos en parte descalzados en la cara del talud. <i>Hojas de datos estructurales</i>		DSCF1144
83	Areniscas con intercalaciones de margas. Algunos de los bloques de una de las capas de arenisca se han desplazado, dejando un hueco de entre 5 y 20 cm. Son bloques superficiales, movidos posiblemente por la caída de los bloques en el talud. <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF1145	DSCF1147
	Tapa inclinómetro SX-5	DSCF1148	DSCF1149
84	Areniscas con intercalaciones ocasionales de margas, bien estratificadas, con capas continuas. Caídas de bloques a favor de la estratificación, en la cara del talud. <i>Hojas de datos estructurales</i>		DSCF1150
85	Areniscas con intercalaciones de margas en capas centimétricas. <i>Hojas de datos estructurales</i> Los bloques de la hilera superior del muro de escollera se han movido ligeramente abriéndose los huecos entre bloques hasta 10 cm.	DSCF1151	DSCF1154

Punto	Descripción	Fotografías	
		De	Hasta
86	Afloramiento de arenisca con intercalaciones de marga gris. Hay una grieta de separación entre la acumulación de suelos y el escarpe del afloramiento de roca. Está relacionada con el ligero desplazamiento de los bloques superiores del muro de escollera. <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF1155	DSCF1157
	Panorámica de los chalets y de algunas instalaciones	DSCF1158	DSCF1161
87	Afloramiento de capas de arenisca, además encima hay al menos 1 m de suelo coluvial, formado por grava angulosa con arena <i>Hojas de datos estructurales</i>		DSCF1162
88	Arenisca con intercalaciones de marga gris <i>Hojas de datos estructurales</i>		DSCF1163
89	Marga, con intercalaciones centimétricas de arenisca marrón. <i>Hojas de datos estructurales</i> En el pavimento de hormigón, grieta con apertura aparente de 2 cm.	DSCF1164	DSCF1166
	En las proximidades, hacia el oeste, apertura de 1,5 cm entre dos losas del pavimento de hormigón		DSCF1167
90	Grieta en el pavimento de hormigón, con apertura aparente de 3 cm. Desplazamiento con componente hacia el pie de la ladera. Terna 1	DSCF1168	DSCF1173
91	Capa de arenisca. No se observa el corte de la capa, solo el plano superior. El afloramiento es pequeño, correspondiendo únicamente al techo de la capa. Encima se observan 3 m de coluvial, formado por grava con bastante arena y algo de arcilla. Hay algunos bolos angulosos ocasionales de arenisca <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF1174	DSCF1175
	Pequeño muro, paralelo a la ladera separado 1 cm hacia la ladera. La grieta ha sido reparada anteriormente		DSCF1176
92	Arenisca con capas ocasionales de marga <i>Hojas de datos estructurales</i>		DSCF1177
93	Capa de arenisca <i>Hojas de datos estructurales</i>		DSCF1178
94	Capa de arenisca, de espesor decimétrico. En una zona los bloques de la capa están algo movidos, y hacia la vaguada parece existir una zona de falla, con una familia de juntas paralela a ella. <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF1179	DSCF1180
95	Hundimiento en la acera. Terna 2. Ha habido movimiento de las losas del pavimento de hormigón. En la junta hay una separación de 1,5 cm y la losa del lado oeste ha descendido 2 cm. En la casa hay grietas	DSCF1181	DSCF1186
	Deformación del muro junto al hundimiento		DSCF1189
96	Grieta en el pavimento. Marcada como 3.8. Apertura 2 cm	DSCF1187	DSCF1188
97	Grieta en la pared del garaje, que continúa por la acera y el pavimento asfáltico. Apertura 3 - 3,5 cm. Terna 3. Hay un taladro de un sondeo sin tapa	DSCF1190	DSCF1194

Punto	Descripción	Fotografías	
		De	Hasta
98	Hundimiento somero en el pavimento. Tiene huellas de haber sido arreglado antiguamente y se ha vuelto a romper. Diámetro 0,7 m. También grieta en el pavimento asfáltico y el bordillo externo está deformado	DSCF1195	DSCF1198
99	Rellenos, junto al sondeo SX-2	DSCF1199	DSCF1202
	Panorámica hacia la cumbre	DSCF1227	DSCF1229
100	Deslizamiento traslacional a favor de los planos de estratificación, que afecta a los metros superficiales de las capas de arenisca. Acumulación de bloques en el pie. En la vaguada hay acumulación de suelos coluviales formados por gravas angulosas con bastante arena.	DSCF1203	DSCF1207
101	Grieta en el pavimento asfáltico, hasta 2 cm de apertura. Se aprecia también un ligero desplazamiento del movimiento hacia la ladera. Terna 4. En el muro de mampostería hay una pequeña grieta entre los bloques.	DSCF1208	DSCF1212
102	Grieta en el pavimento, que no ha llegado a cruzar toda la calzada. Apertura hasta 1 cm. El muro de mampostería que está sobre la calzada, tiene una pequeña abertura entre algunos bloques	DSCF1213	DSCF1217
103	Pie de la zona de acumulación del material deslizado en el deslizamiento traslacional local, que también incluye suelo coluvial removido. Bloques caóticos.	DSCF1218	DSCF1221
104	Bloque de arenisca empotrado en el muro. Es dudoso que sea afloramiento pero se ha medido la posible estratificación. <i>Hojas de datos estructurales</i>		DSCF1222
105	Pequeña grieta que solo afecta al muro de mampostería. Apertura 1 cm. Es reciente.		DSCF1223
106	Grietas en la calzada. En un punto del lado derecho de la calzada aparece una pequeña zona hundida, posible asiento en suelo coluvial.	DSCF1224	DSCF1226
107	Pequeño afloramiento de arenisca		DSCF1230
108	Calicata de investigación de la posible zona alta de coronación del deslizamiento	DSCF1231	DSCF1239
109	Bloques de arenisca de tamaño métrico, 1-2 m, parecen movidos, no se interpreta que sea afloramiento	DSCF1240	DSCF1241
110	Dos deslizamientos rotacionels superficiales en las margas grises fisuradas de la cara del talud. Algunas zonas puntuales de humedad.	DSCF1242	DSCF1244
111	Grietas en la carretera. No se aprecia bien la apertura al estar sucio por el paso de camiones. La grieta continúa hacia el afloramiento de roca en el talud, donde las capas de areniscas están rotas en pequeños bloques con aperturas milimétricas de las juntas. <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF1245	DSCF1249
	Se aprecia un ligero goteo de agua en algunos estratos, a favor de los contactos arenisca - marga	DSCF1250	DSCF1251
112	Arenisca en capas finas, por lo que se han roto fácilmente en pequeños bloques centimétricos, sin embargo las capas tienen bastante continuidad sin que estén muy deformadas por el deslizamiento <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF1252	DSCF1255

Punto	Descripción	Fotografías	
		De	Hasta
113	Zona alta del talud, planos de areniscas con intercalaciones de margas. El lado oeste del afloramiento está marcado por una grieta entre capas, con continuidad hasta la base del talud. Posible flanco este de la zona deslizada <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF1256	DSCF1265
114	Transición entre capas de arenisca con intercalaciones de marga y marga con intercalaciones de arenisca, hacia el muro. Replegado	DSCF1266	DSCF1267
115	Grietas en la pista, irregulares, con apertura desigual. La zona entre las dos está ligeramente hundida	DSCF1268	DSCF1270
116	Afloramiento de arenisca <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF1271	DSCF1272
117	Sobre un tramo con predominio de marga, tramo de areniscas con intercalaciones de marga. Incluye dos capas con espesor de un metro. Capas de bastante continuidad. <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF1273	DSCF1275
118	Arenisca con intercalaciones de marga. A techo capa de marga <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF1276	DSCF1278
	Panorámica hacia las plataformas inferiores	DSCF1279	DSCF1281
119	Marga gris con intercalaciones de arenisca <i>Hojas de datos estructurales</i>		DSCF1282
120	Aunque el talud es alto, no se aprecia bien el macizo, se encuentra sucio con bloques dispersos en la superficie. Se aprecia una tendencia de las facies marga - arenisca, pero no se llega a ver buenos planos para medir la orientación de la estratificación	DSCF1283	DSCF1285
121	Falla. La estratificación está medida en el flanco este del pliegue. Arenisca con intercalaciones de marga <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF1286	DSCF1287
122	La estratificación está medida en el flanco oeste del pliegue. Arenisca con intercalaciones de marga <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF1288	DSCF1289
123	El talud está muy sucio. No se ven planos de estratificación y capas claras, sólo una tendencia de la litología marga - arenisca sobre la cara del talud. El macizo parece que ha sufrido una decompresión hacia el exterior de la ladera, con apertura de las juntas entre los bloques y estructura algo caótica pero sin que se lleguen a deformar completamente y originarse una acumulación de bloques	DSCF1290	DSCF1295
	Panorámica de los puntos 123 a 121	DSCF1296	DSCF1299
124	Zona de la parte superior del vertido realizado en el pie de la ladera. Encima muro de gunita y drenes	DSCF1300	DSCF1305
125	Arenisca con intercalaciones de marga. Medida de la estratificación en la base de las areniscas, en contacto con marga gris. Planos continuos	DSCF1306	DSCF1307
126	Arenisca con intercalaciones de marga gris. <i>Hojas de datos estructurales</i>	DSCF1308	DSCF1309

Punto	Descripción	Fotografías	
		De	Hasta
127	Panorámica de la posible zona de pie del deslizamiento. Sobre el afloramiento de margas que parecen in situ hay una serie de capas de arenisca, que hacia el techo presentan bandas de zonas rotas que pueden marcar el flanco este del deslizamiento, con estructura más caótica y pérdida de continuidad de las capas, pasando a estar los taludes sucios y cubiertos con bastantes bloques	DSCF1310	DSCF1316
128	Arenisca con intercalaciones de marga. Este paquete con predominio de arenisca se encuentra entre tramos con predominio de margas grises fisuradas	DSCF1317	DSCF1319
	Panorámica del valle situado al este del deslizamiento donde se han efectuado vertidos de parte del material excavado en coronación	DSCF1320	DSCF1322
129	Marga gris alterada con una capa de arenisca rota, subhorizontal. Encima coluvial con espesor mayor de tres metros	DSCF1323	DSCF1324
130	Apertura de grieta en la zona de coronación en zona ya excavada. Mayo 2013	130522-228	130522-241

DATOS ESTRUCTURALES DEL MACIZO ROCOSO

TRABAJO: LADERA YESA
 REALIZADO: ABD.

LOCALIDAD: YESA.
 FECHA: marzo 13.

HOJA: 3 DE 3



SITUACIÓN	TIPO DE PLANO	ORIENTACIÓN		CONTINUIDAD (m) S.RUMBO/S.BUZ						ESPACIADO (m)						SUPERFICIE		RELLENO		METEORIZACIÓN	RESISTENCIA	AGUA	LITOLOGÍA	OBSERVACIONES		
		DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO	BUZAMIENTO	1	1 A 3	3 A 10	10 A 20	>20	< 0.02	0.02 A 0.06	0.06 A 0.2	0.2 A 0.6	0.6 A 2	2 A 6	>6	ONDULACIÓN	JRC	ESPESOR (m)	TIPO							
122	E	219	13					X	X										10	B	Ox	II	3	S	Arenisca	
125	E	294	14					X	X										9	B	Ox	II	3	S	Arenisca	
126	E	257	13					X	X										11	B	Ox	II	3	S	Arenisca	
128	E	209	26					X	X										11	B	Ox	II	3	S	Arenisca	
* Estación 013: Con intercalaciones de marga																										
* Estación 014: Con intercalaciones de arenisca																										
* Estación 015: Con intercalaciones de marga																										
* Estación 016: Con intercalaciones centimétricas de marga																										
* Estación 019: Con intercalaciones de marga																										
* Estación 020: Con intercalaciones de marga																										
* Estación 021: Conintercalaciones centimétricas de marga																										
Estación 029:																										
(1)	Plano dudoso																									
Estación 055:																										
(2)	Plano dudoso																									
Estación 104:																										
(3)	Plano dudoso																									

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSC_8598



DSC_8599



DSC_8600



DSC_8600-8602



DSC_8601



DSC_8602



DSC_8603



DSC_8603-8604



DSC_8604



DSC_8605



DSC_8606



DSC_8606-8607



DSC_8607



DSC_8608
Page 2/56



DSC_8609

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSC_8609-8612



DSC_8610



DSC_8611



DSC_8612



DSC_8613



DSC_8613-8615



DSC_8614



DSC_8615



DSC_8616



DSC_8617



DSC_8618



DSC_8619



DSC_8620



DSC_8620-8623
Page 3/56



DSC_8621

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSC_8622



DSC_8623



DSC_8624



DSC_8624-8626



DSC_8625



DSC_8626



DSC_8627



DSC_8628



DSCF0618



DSCF0619



DSCF0619-0620



DSCF0620



DSCF0621



DSCF0622
Page 4/56



DSCF0623

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF0624



DSCF0625



DSCF0626



DSCF0627



DSCF0628



DSCF0629



DSCF0630



DSCF0631



DSCF0632



DSCF0633



DSCF0634



DSCF0635



DSCF0636



DSCF0637



DSCF0638

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF0639



DSCF0640



DSCF0641



DSCF0642



DSCF0643



DSCF0644



DSCF0644-0646



DSCF0645



DSCF0646



DSCF0647



DSCF0648



DSCF0649



DSCF0650



DSCF0651
Page 6/56



DSCF0651-0656

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF0652



DSCF0653



DSCF0654



DSCF0655



DSCF0656



DSCF0657



DSCF0657-0659



DSCF0658



DSCF0659



DSCF0660



DSCF0661



DSCF0662



DSCF0663



DSCF0664



DSCF0665

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF0666



DSCF0667



DSCF0668



DSCF0669



DSCF0670



DSCF0671



DSCF0671-0672



DSCF0672



DSCF0673



DSCF0674



DSCF0675



DSCF0676



DSCF0677



DSCF0678
Page 8/56



DSCF0679

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF0680



DSCF0681



DSCF0682



DSCF0683



DSCF0684



DSCF0685



DSCF0685-0688



DSCF0686



DSCF0687



DSCF0688



DSCF0689



DSCF0690



DSCF0691



DSCF0692
Page 9/56



DSCF0693

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF0694



DSCF0695



DSCF0696



DSCF0697



DSCF0698



DSCF0699



DSCF0700



DSCF0701



DSCF0702



DSCF0703



DSCF0704



DSCF0705



DSCF0706



DSCF0707



DSCF0708

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF0709



DSCF0709-0711



DSCF0710



DSCF0711



DSCF0712



DSCF0713



DSCF0714



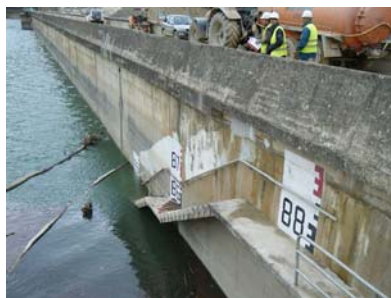
DSCF0715



DSCF0716



DSCF0717



DSCF0718



DSCF0719



DSCF0720



DSCF0721
Page 11/56



DSCF0721-0723

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF0722



DSCF0723



DSCF0724



DSCF0725



DSCF0726



DSCF0727



DSCF0727-0728



DSCF0728



DSCF0729



DSCF0730



DSCF0733



DSCF0734



DSCF0735



DSCF0736
Page 12/56



DSCF0736-0739

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF0737



DSCF0738



DSCF0739



DSCF0740



DSCF0740-0742



DSCF0741



DSCF0742



DSCF0743



DSCF0744



DSCF0744-0745



DSCF0745



DSCF0746



DSCF0747



DSCF0747-0748
Page 13/56



DSCF0748

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF0749



DSCF0749-0750



DSCF0750



DSCF0751



DSCF0752



DSCF0753



DSCF0754



DSCF0754-0755



DSCF0755



DSCF0756



DSCF0757



DSCF0758



DSCF0759



DSCF0760
Page 14/56



DSCF0761

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF0762



DSCF0763



DSCF0764



DSCF0765



DSCF0765-0767



DSCF0766



DSCF0767



DSCF0768



DSCF0769



DSCF0770



DSCF0771



DSCF0772



DSCF0772-0774



DSCF0773
Page 15/56



DSCF0774

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF0775



DSCF0776



DSCF0777



DSCF0778



DSCF0779



DSCF0780



DSCF0781



DSCF0782



DSCF0783



DSCF0784



DSCF0785



DSCF0785-0786



DSCF0786



DSCF0787
Page 16/56



DSCF0788

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF0789



DSCF0790



DSCF0791



DSCF0791-0792



DSCF0791-0795



DSCF0792



DSCF0793



DSCF0794



DSCF0795



DSCF0796



DSCF0797



DSCF0798



DSCF0799



DSCF0800
Page 17/56



DSCF0801

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF0801-0802



DSCF0802



DSCF0803



DSCF0804



DSCF0805



DSCF0806



DSCF0807



DSCF0808



DSCF0808-0809



DSCF0809



DSCF0810



DSCF0811



DSCF0812



DSCF0813
Page 18/56



DSCF0814

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF0815



DSCF0816



DSCF0817



DSCF0818



DSCF0819



DSCF0820



DSCF0821



DSCF0821-0822



DSCF0822



DSCF0823



DSCF0824



DSCF0825



DSCF0825-0826



DSCF0826
Page 19/56



DSCF0827

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF0828



DSCF0829



DSCF0830



DSCF0831



DSCF0832



DSCF0833



DSCF0834



DSCF0835



DSCF0836



DSCF0837



DSCF0838



DSCF0838-0840



DSCF0839



DSCF0840
Page 20/56



DSCF0841

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF0842



DSCF0843



DSCF0844



DSCF0844-0848



DSCF0845



DSCF0846



DSCF0847



DSCF0848



DSCF0849



DSCF0850



DSCF0850-0852



DSCF0851



DSCF0852



DSCF0853
Page 21/56



DSCF0854

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF0855



DSCF0855-0856



DSCF0856



DSCF0857



DSCF0857-0858



DSCF0858



DSCF0859



DSCF0860



DSCF0861



DSCF0861-0863



DSCF0862



DSCF0863



DSCF0864



DSCF0865
Page 22/56



DSCF0866

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF0867



DSCF0868



DSCF0869



DSCF0870



DSCF0871



DSCF0872



DSCF0872-0873



DSCF0873



DSCF0874



DSCF0875



DSCF0875-0877



DSCF0876



DSCF0877



DSCF0878
Page 23/56



DSCF0879

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF0880



DSCF0881



DSCF0882



DSCF0883



DSCF0884



DSCF0885



DSCF0886



DSCF0886-0888



DSCF0887



DSCF0888



DSCF0889



DSCF0889-0894



DSCF0890



DSCF0891



DSCF0892

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF0893



DSCF0894



DSCF0895



DSCF0895-0898



DSCF0896



DSCF0897



DSCF0898



DSCF0899



DSCF0899-0901



DSCF0900



DSCF0901



DSCF0901-0902.JPG



DSCF0902



DSCF0903
Page 25/56



DSCF0904

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF0905



DSCF0906



DSCF0907



DSCF0907-0909



DSCF0908



DSCF0909



DSCF0910



DSCF0911



DSCF0912



DSCF0913



DSCF0914



DSCF0915



DSCF0916



DSCF0916-0919
Page 26/56



DSCF0917

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF0918



DSCF0919



DSCF0920



DSCF0921



DSCF0921-0923



DSCF0922



DSCF0923



DSCF0924



DSCF0925



DSCF0926



DSCF0926-0927



DSCF0927



DSCF0928



DSCF0929
Page 27/56



DSCF0929-0930

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF0930



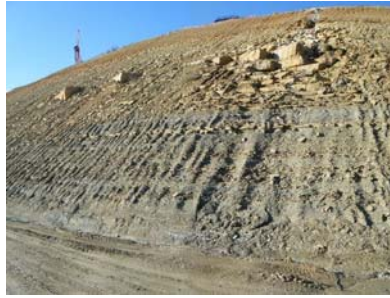
DSCF0931



DSCF0932



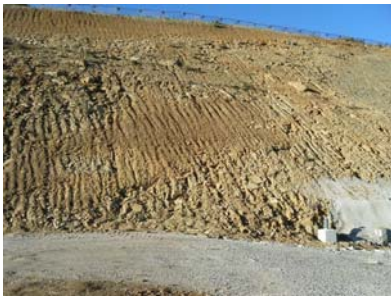
DSCF0933



DSCF0933-0934



DSCF0934



DSCF0935



DSCF0935-0938



DSCF0936



DSCF0937



DSCF0938



DSCF0939



DSCF0940



DSCF0940-0941



DSCF0941

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF0942



DSCF0943



DSCF0944



DSCF0945



DSCF0946



DSCF0947



DSCF0948



DSCF0948-0949



DSCF0949



DSCF0950



DSCF0951



DSCF0952



DSCF0952-0954



DSCF0953
Page 29/56



DSCF0954

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF0955



DSCF0956



DSCF0956-0957



DSCF0957



DSCF0958



DSCF0959



DSCF0960



DSCF0961



DSCF0962



DSCF0963



DSCF0964



DSCF0965



DSCF0966



DSCF0967



DSCF0968

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF0969



DSCF0970



DSCF0971



DSCF0972



DSCF0972-0974



DSCF0973



DSCF0974



DSCF0975



DSCF0976



DSCF0976-0977



DSCF0977



DSCF0978



DSCF0979



DSCF0980
Page 31/56



DSCF0981

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF0982



DSCF0983



DSCF0983-0985



DSCF0984



DSCF0985



DSCF0986



DSCF0987



DSCF0988



DSCF0989



DSCF0989-0991



DSCF0990



DSCF0991



DSCF0992



DSCF0993
Page 32/56



DSCF0994

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF0994-0997



DSCF0995



DSCF0996



DSCF0997



DSCF0998



DSCF0998-1001



DSCF0999



DSCF1001



DSCF1002



DSCF1003



DSCF1004



DSCF1005



DSCF1006



DSCF1007



DSCF1008

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF1009



DSCF1010



DSCF1011



DSCF1012



DSCF1013



DSCF1014



DSCF1015



DSCF1015-1019



DSCF1016



DSCF1017



DSCF1018



DSCF1019



DSCF1020



DSCF1021
Page 34/56



DSCF1022

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF1023



DSCF1024



DSCF1025



DSCF1026



DSCF1027



DSCF1028



DSCF1029



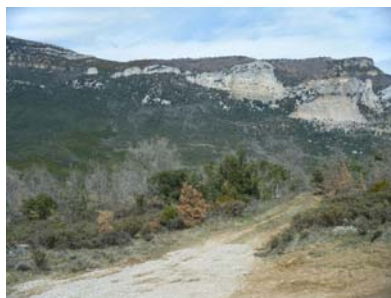
DSCF1030



DSCF1031



DSCF1031-1033



DSCF1032



DSCF1033



DSCF1034



DSCF1035
Page 35/56



DSCF1036

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF1037



DSCF1038



DSCF1039



DSCF1040



DSCF1041



DSCF1042



DSCF1043



DSCF1044



DSCF1045



DSCF1046



DSCF1047



DSCF1048



DSCF1049



DSCF1050
Page 36/56



DSCF1051

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF1052



DSCF1052-1054



DSCF1053



DSCF1054



DSCF1055



DSCF1056



DSCF1057



DSCF1058



DSCF1059



DSCF1059-1062



DSCF1060



DSCF1061



DSCF1062



DSCF1063
Page 37/56



DSCF1063-1064

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF1064



DSCF1065



DSCF1066



DSCF1067



DSCF1068



DSCF1069



DSCF1070



DSCF1071



DSCF1072



DSCF1073



DSCF1074



DSCF1075



DSCF1076



DSCF1077
Page 38/56



DSCF1078

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF1079



DSCF1080



DSCF1081



DSCF1082



DSCF1083



DSCF1083-1084



DSCF1084



DSCF1085



DSCF1086



DSCF1087



DSCF1087-1088



DSCF1088



DSCF1089



DSCF1090
Page 39/56



DSCF1091

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF1092



DSCF1092-1093



DSCF1093



DSCF1094



DSCF1095



DSCF1096



DSCF1097



DSCF1097-1099



DSCF1098



DSCF1099



DSCF1100



DSCF1101



DSCF1101-1103



DSCF1102
Page 40/56



DSCF1103

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF1104



DSCF1105



DSCF1106



DSCF1107



DSCF1107-1109



DSCF1108



DSCF1109



DSCF1110



DSCF1111



DSCF1112



DSCF1113



DSCF1114



DSCF1115



DSCF1115-1116
Page 41/56



DSCF1116

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF1117



DSCF1118



DSCF1119



DSCF1120



DSCF1121



DSCF1122



DSCF1123



DSCF1124



DSCF1124-1125



DSCF1125



DSCF1126



DSCF1127



DSCF1128



DSCF1129
Page 42/56



DSCF1130

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF1131



DSCF1131-1132



DSCF1132



DSCF1133



DSCF1134



DSCF1134-1135



DSCF1135



DSCF1136



DSCF1137



DSCF1138



DSCF1139



DSCF1140



DSCF1141



DSCF1141-1142
Page 43/56



DSCF1142

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF1143



DSCF1144



DSCF1145



DSCF1146



DSCF1147



DSCF1148



DSCF1149



DSCF1150



DSCF1151



DSCF1152



DSCF1153



DSCF1154



DSCF1155



DSCF1156



DSCF1157

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF1158



DSCF1159



DSCF1160



DSCF1160-1161



DSCF1161



DSCF1162



DSCF1163



DSCF1164



DSCF1165



DSCF1166



DSCF1167



DSCF1168



DSCF1169



DSCF1170
Page 45/56

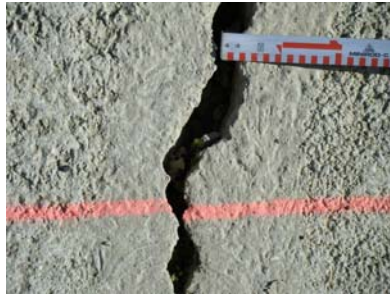


DSCF1171

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF1172



DSCF1173



DSCF1174



DSCF1175



DSCF1176



DSCF1177



DSCF1178



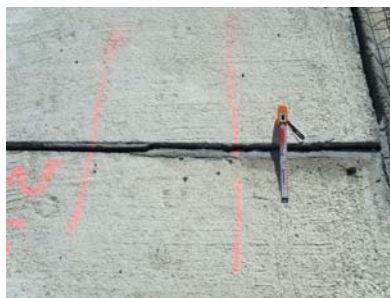
DSCF1179



DSCF1180



DSCF1181



DSCF1182



DSCF1183



DSCF1184



DSCF1185
Page 46/56



DSCF1186

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF1187



DSCF1187-1188



DSCF1188



DSCF1189



DSCF1190



DSCF1191



DSCF1192



DSCF1193



DSCF1194



DSCF1195



DSCF1196



DSCF1197



DSCF1198



DSCF1199
Page 47/56



DSCF1200

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF1201



DSCF1201-1202



DSCF1202



DSCF1203



DSCF1204



DSCF1205



DSCF1206



DSCF1207



DSCF1208



DSCF1209



DSCF1210



DSCF1211



DSCF1212



DSCF1213
Page 48/56



DSCF1214

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF1215



DSCF1216



DSCF1217



DSCF1218



DSCF1219



DSCF1220



DSCF1221



DSCF1222



DSCF1223



DSCF1224



DSCF1225



DSCF1226



DSCF1227



DSCF1227-1229
Page 49/56



DSCF1228

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF1229



DSCF1230



DSCF1231



DSCF1232



DSCF1233



DSCF1234



DSCF1235



DSCF1236



DSCF1237



DSCF1238



DSCF1239



DSCF1240



DSCF1241



DSCF1242
Page 50/56



DSCF1243

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF1244



DSCF1245



DSCF1246



DSCF1247



DSCF1248



DSCF1249



DSCF1250



DSCF1251



DSCF1252



DSCF1253



DSCF1254



DSCF1255



DSCF1256



DSCF1257
Page 51/56



DSCF1258

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA



DSCF1259



DSCF1260



DSCF1260-1261



DSCF1261



DSCF1262



DSCF1263



DSCF1264



DSCF1265



DSCF1266



DSCF1267



DSCF1268



DSCF1269



DSCF1270



DSCF1271
Page 52/56



DSCF1272

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA.



DSCF1273



DSCF1274



DSCF1275



DSCF1276



DSCF1277



DSCF1278



DSCF1279



DSCF1279-1281



DSCF1280



DSCF1281



DSCF1282



DSCF1283



DSCF1283-1285



DSCF1284
Page 52+1/56



DSCF1285

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA.



DSCF1286



DSCF1287



DSCF1288



DSCF1289



DSCF1290



DSCF1291



DSCF1292



DSCF1293



DSCF1294



DSCF1295



DSCF1296



DSCF1296-1299



DSCF1297



DSCF1298
Page 52+2/56



DSCF1299

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA.



DSCF1300



DSCF1300-1301



DSCF1301



DSCF1302



DSCF1303



DSCF1304



DSCF1305



DSCF1306



DSCF1306-1307



DSCF1307



DSCF1308



DSCF1309



DSCF1310



DSCF1310-1313



DSCF1311

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA.



DSCF1312



DSCF1313



DSCF1314



DSCF1314-1315



DSCF1315



DSCF1316



DSCF1317



DSCF1318



DSCF1319



DSCF1320



DSCF1320-1322



DSCF1321



DSCF1322



DSCF1323
Page 52+4/56



DSCF1324

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA.



130522 228



130522 229



130522 230



130522 231



130522 232



130522 233



130522 234



130522 235



130522 236



130522 237



130522 238



130522 239



130522 240



130522 241

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA. PANORAMICAS



DSC_8587-8590



DSC_8592-8595



DSC_8596-8599



DSC_8600-8602



DSC_8603-8604
Page 1/17

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA. PANORAMICAS



DSC_8606-8607



DSC_8609-8612



DSC_8613-8615



DSC_8620-8623



DSC_8624-8626

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA. PANORAMICAS



DSCF0619-0620



DSCF0644-0646



DSCF0651-0656



DSCF0657-0659



DSCF0671-0672
Page 3/17

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA. PANORAMICAS



DSCF0685-0688



DSCF0709-0711



DSCF0721-0723



DSCF0736-0739



DSCF0740-0742
Page 4/17

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA. PANORAMICAS



DSCF0744-0745



DSCF0747-0748



DSCF0749-0750



DSCF0754-0755



DSCF0765-0767

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA. PANORAMICAS



DSCF0772-0774



DSCF0785-0786



DSCF0791-0795



DSCF0808-0809



DSCF0821-0822
Page 6/17

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA. PANORAMICAS



DSCF0825-0826



DSCF0838-0840



DSCF0844-0848



DSCF0850-0852



DSCF0855-0856
Page 7/17

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA. PANORAMICAS



DSCF0861-0863



DSCF0875-0877



DSCF0886-0888



DSCF0889-0894



DSCF0895-0898
Page 8/17

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA. PANORAMICAS



DSCF0899-0901



DSCF0901-0902.JPG



DSCF0907-0909



DSCF0916-0919



DSCF0926-0927

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA. PANORAMICAS



DSCF0933-0934



DSCF0935-0938



DSCF0940-0941



DSCF0948-0949



DSCF0952-0954
Page 10/17

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA. PANORAMICAS



DSCF0972-0974



DSCF0976-0977



DSCF0989-0991



DSCF0994-0997



DSCF0998-1001
Page 11/17

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA. PANORAMICAS



DSCF1015-1019



DSCF1031-1033



DSCF1052-1054



DSCF1059-1062



DSCF1063-1064

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA. PANORAMICAS



DSCF1083-1084



DSCF1087-1088



DSCF1092-1093



DSCF1097-1099



DSCF1101-1103
Page 13/17

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA. PANORAMICAS



DSCF1107-1109



DSCF1124-1125



DSCF1131-1132



DSCF1134-1135



DSCF1141-1142
Page 14/17

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA. PANORAMICAS



DSCF1201-1202



DSCF1227-1229



DSCF1260-1261



DSCF1279-1281



DSCF1283-1285
Page 15/17

LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA. PANORAMICAS



DSCF1296-1299



DSCF1300-1301



DSCF1306-1307



DSCF1310-1313



DSCF1314-1315
Page 16/17

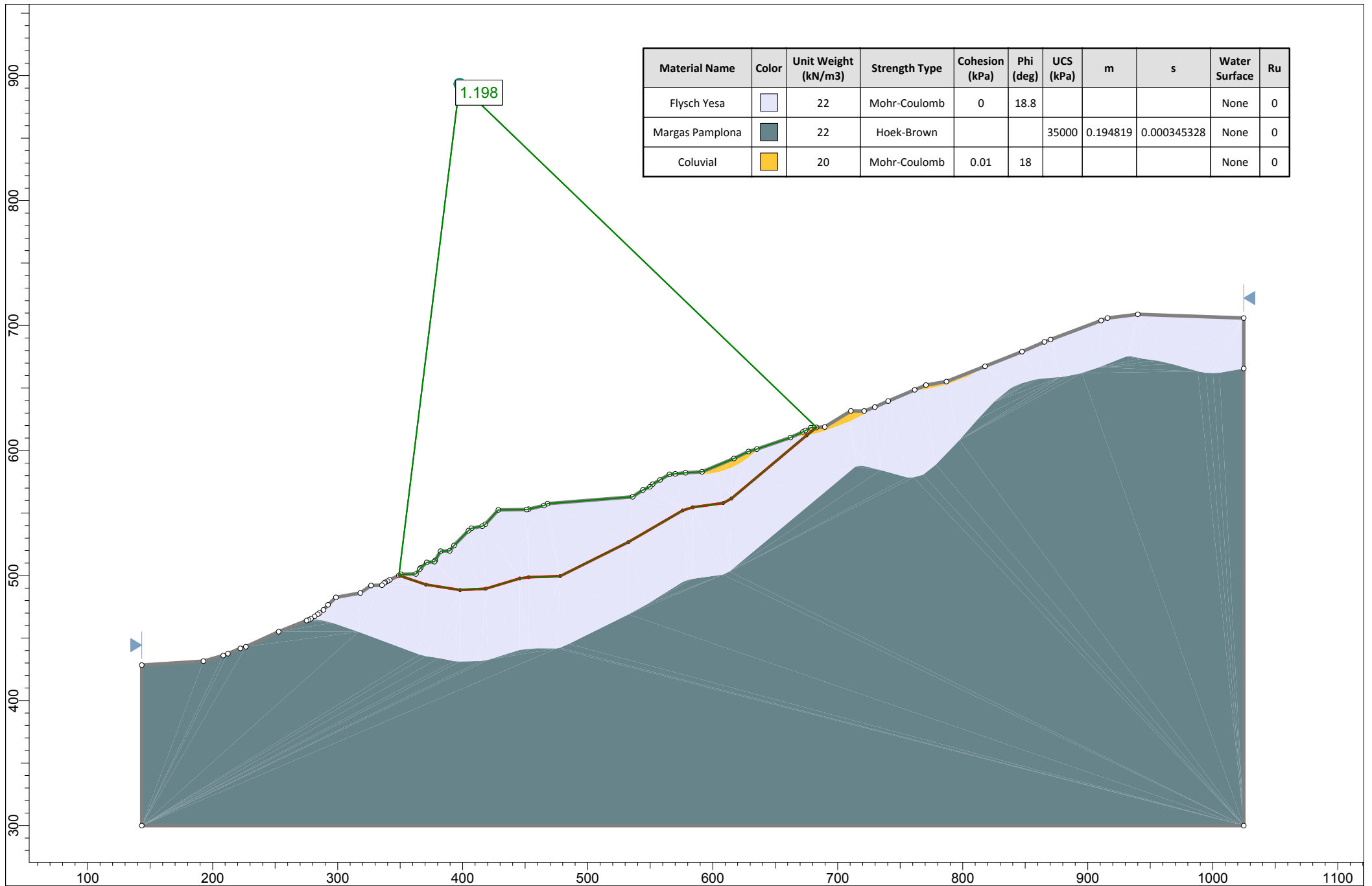
LADERA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YESA. PANORAMICAS

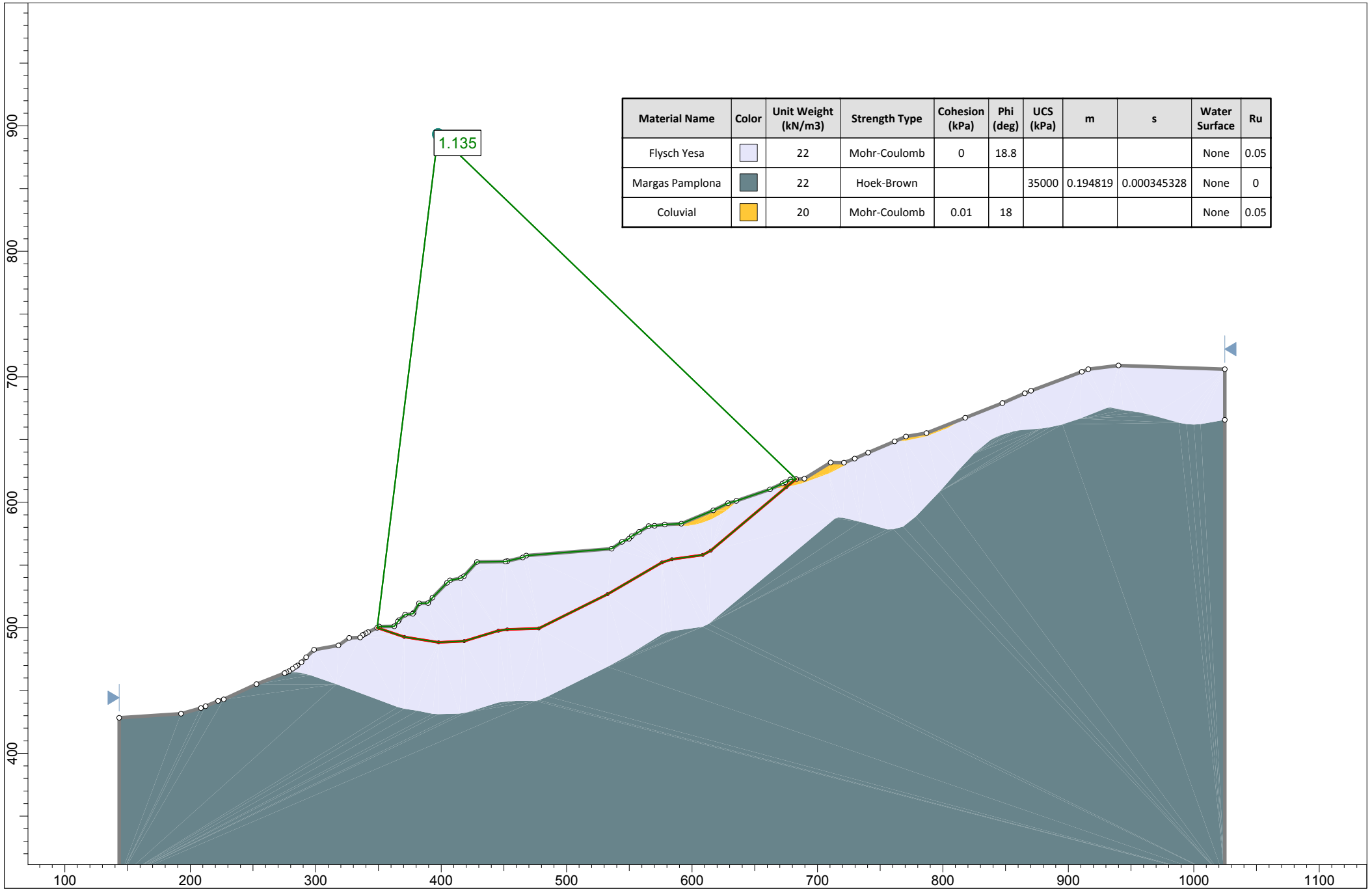


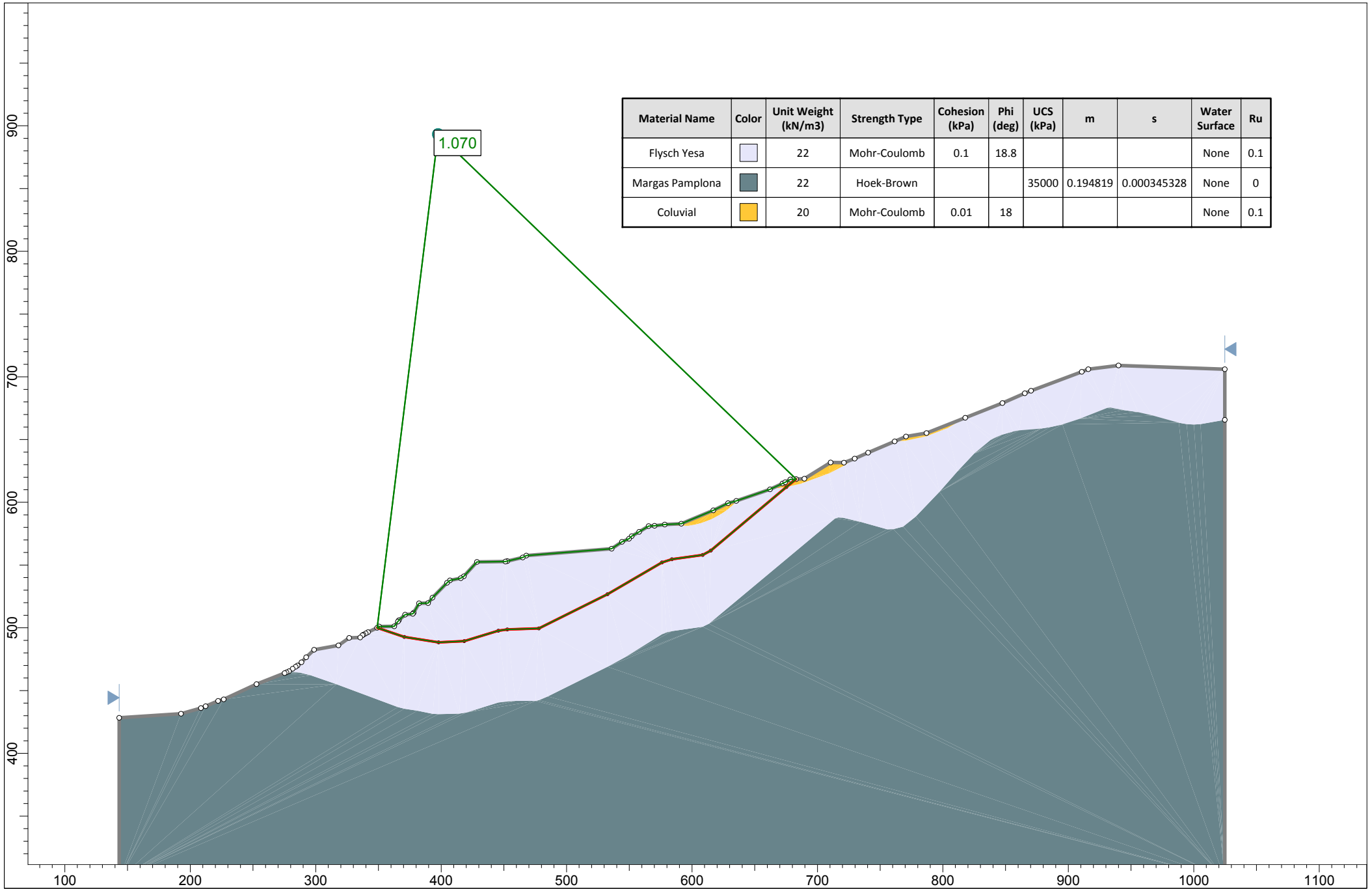
DSCF1320-1322

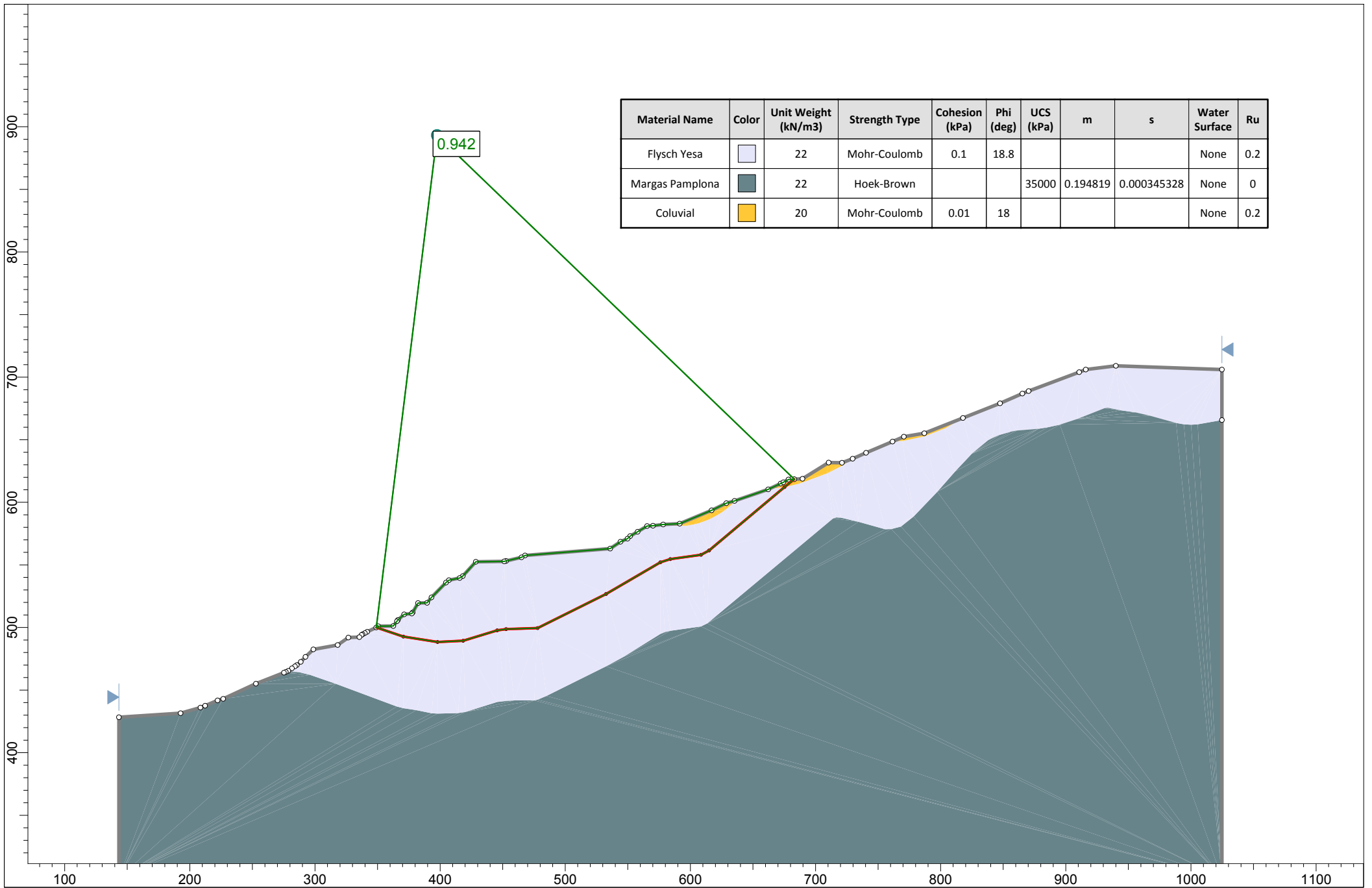
6.3. APÉNDICE 3. CÁLCULOS DE ESTABILIDAD

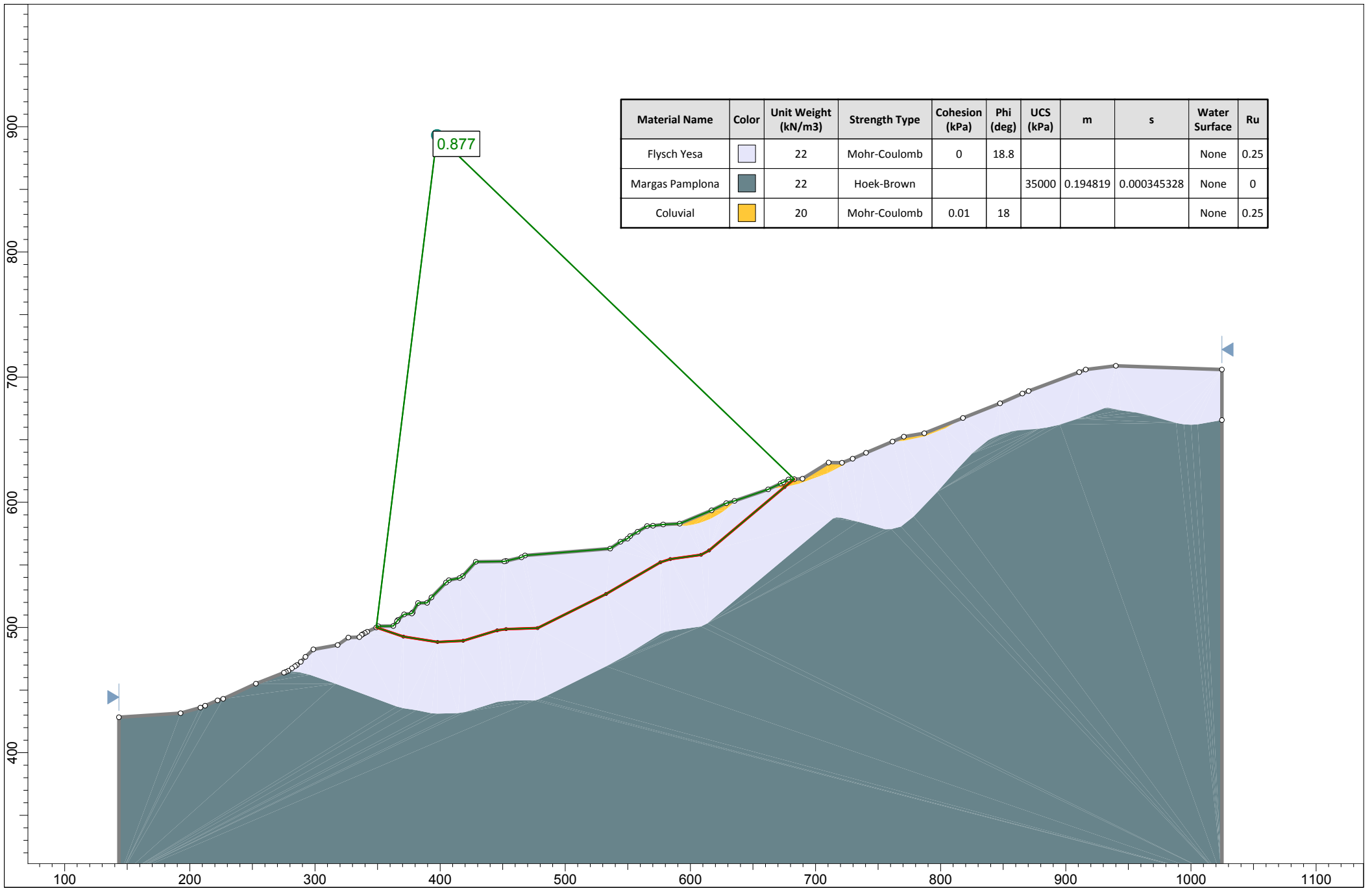
6.3.1. CÁLCULOS DE ESTABILIDAD (I-II): SLIDE V6 (ROCSCIENCE)








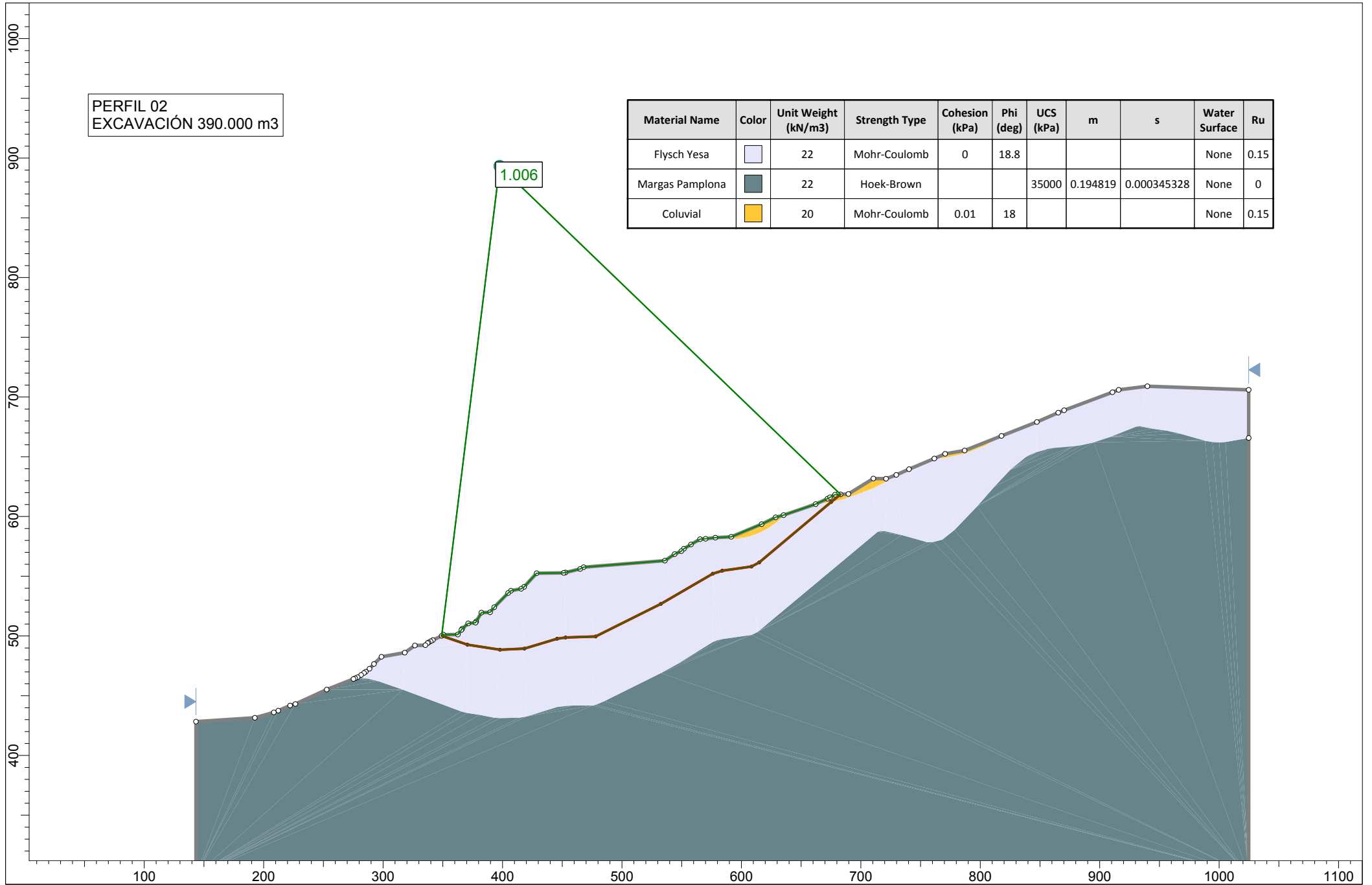









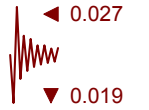
PERFIL 02
EXCAVACIÓN 390.000 m3

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	UCS (kPa)	m	s	Water Surface	Ru
Flysch Yesa		22	Mohr-Coulomb	0	18.8				None	0.15
Margas Pamplona		22	Hoek-Brown			35000	0.194819	0.000345328	None	0
Coluvial		20	Mohr-Coulomb	0.01	18				None	0.15

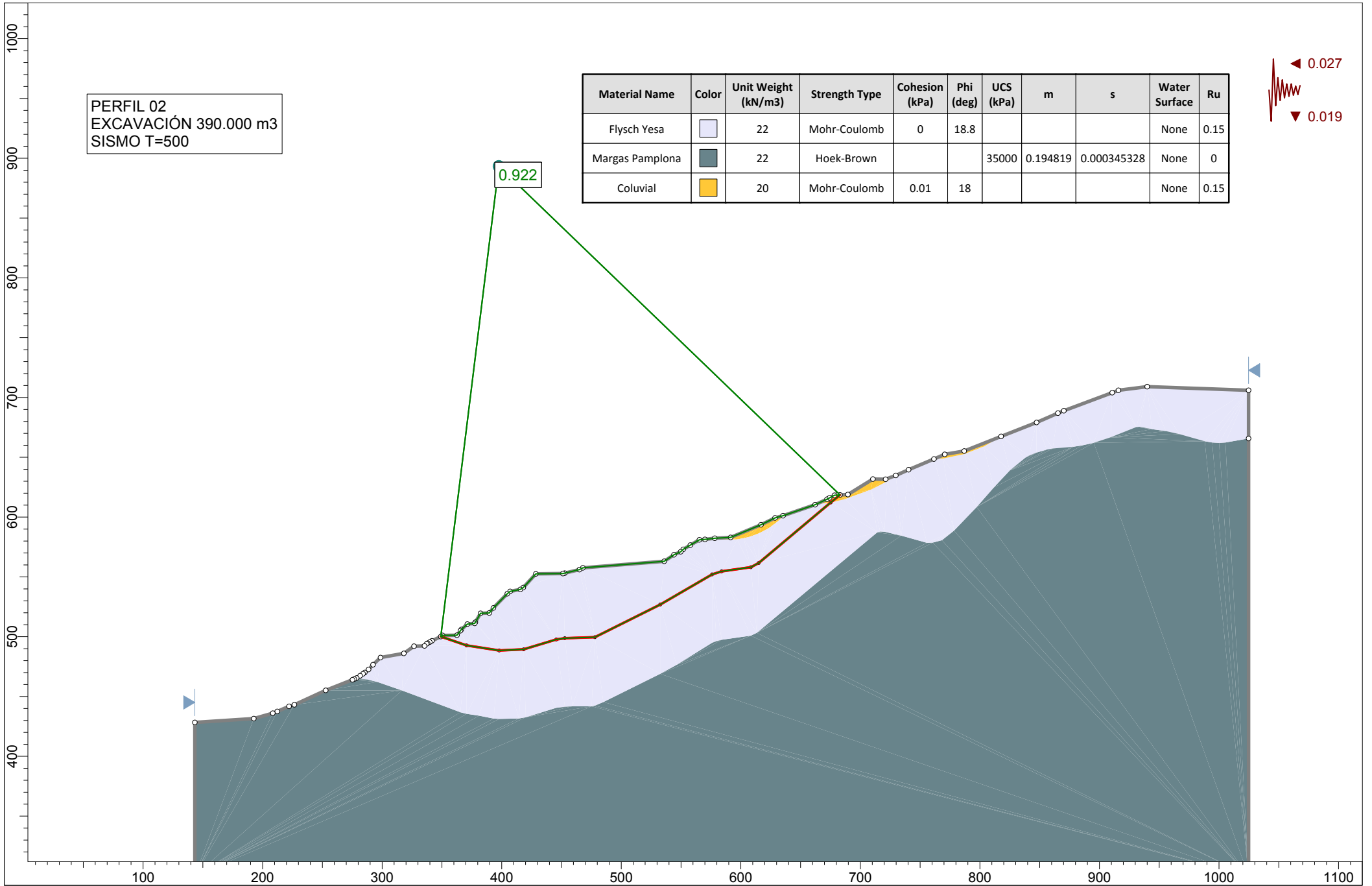


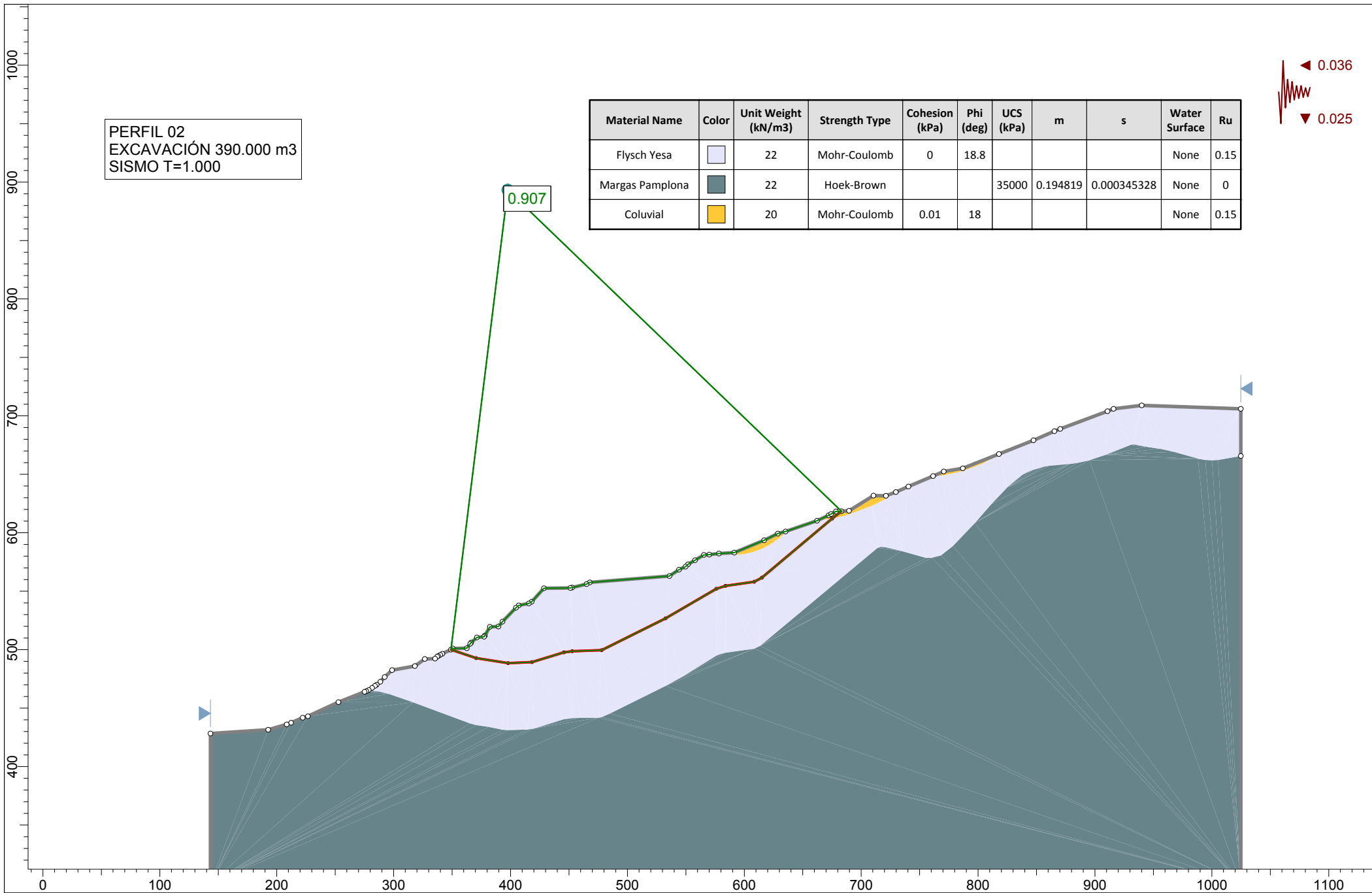
PERFIL 02
EXCAVACIÓN 390.000 m3
SISMO T=500

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	UCS (kPa)	m	s	Water Surface	Ru
Flysch Yesa		22	Mohr-Coulomb	0	18.8				None	0.15
Margas Pamplona		22	Hoek-Brown			35000	0.194819	0.000345328	None	0
Coluvial		20	Mohr-Coulomb	0.01	18				None	0.15






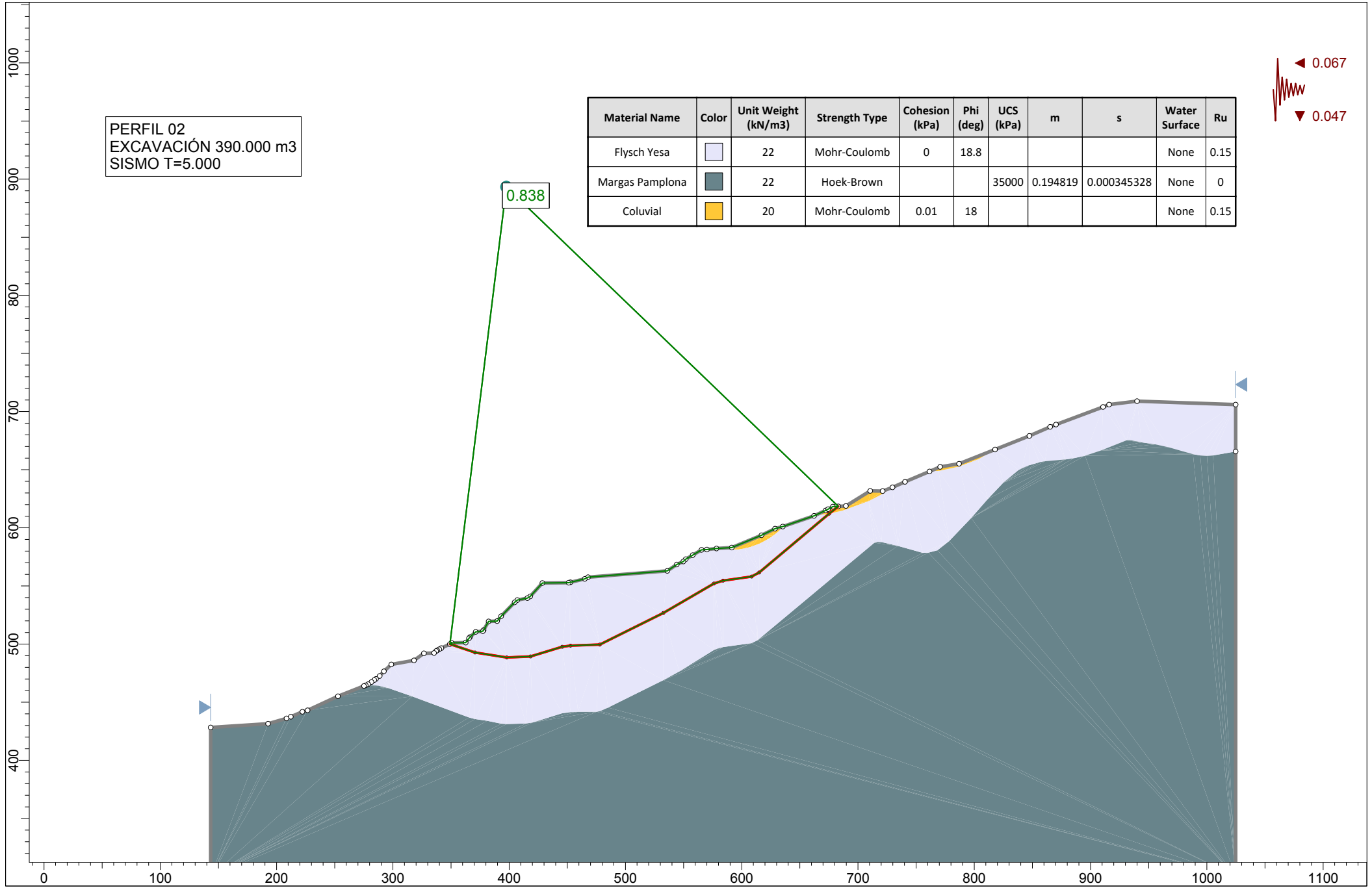
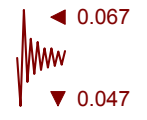
0.922

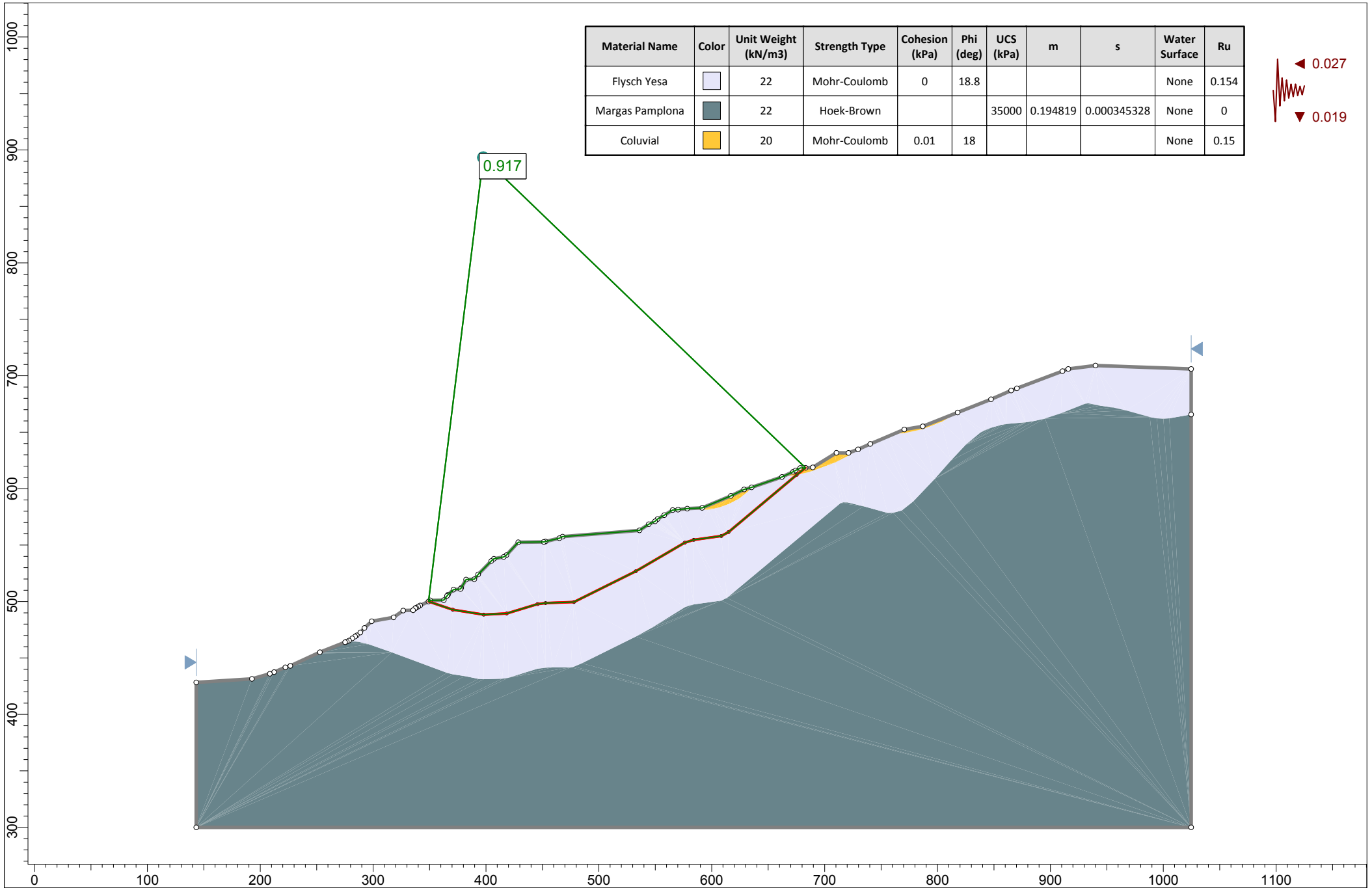




PERFIL 02
 EXCAVACIÓN 390.000 m³
 SISMO T=5.000

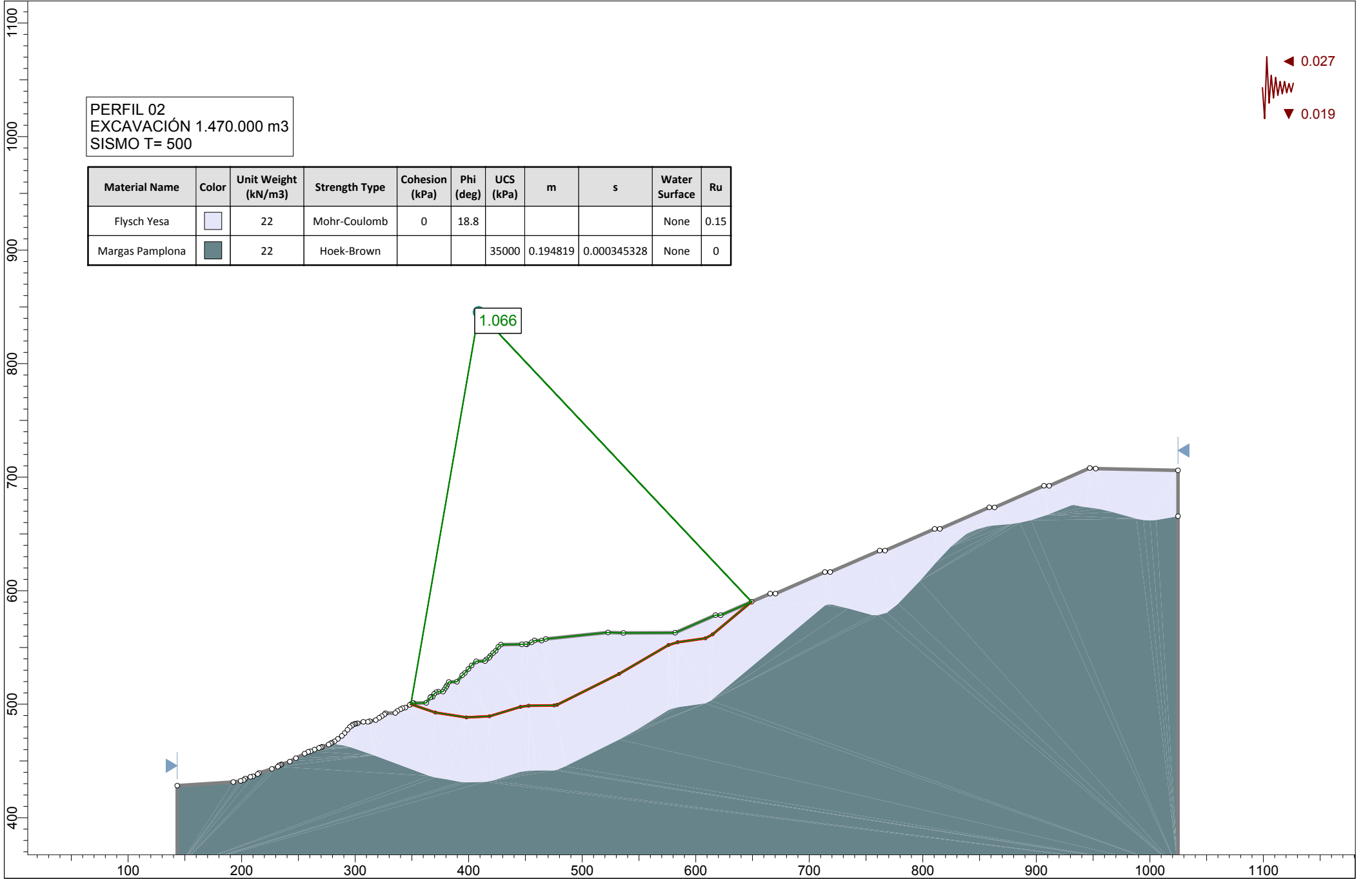
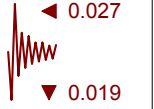
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	UCS (kPa)	m	s	Water Surface	Ru
Flysch Yesa		22	Mohr-Coulomb	0	18.8				None	0.15
Margas Pamplona		22	Hoek-Brown			35000	0.194819	0.000345328	None	0
Coluvial		20	Mohr-Coulomb	0.01	18				None	0.15





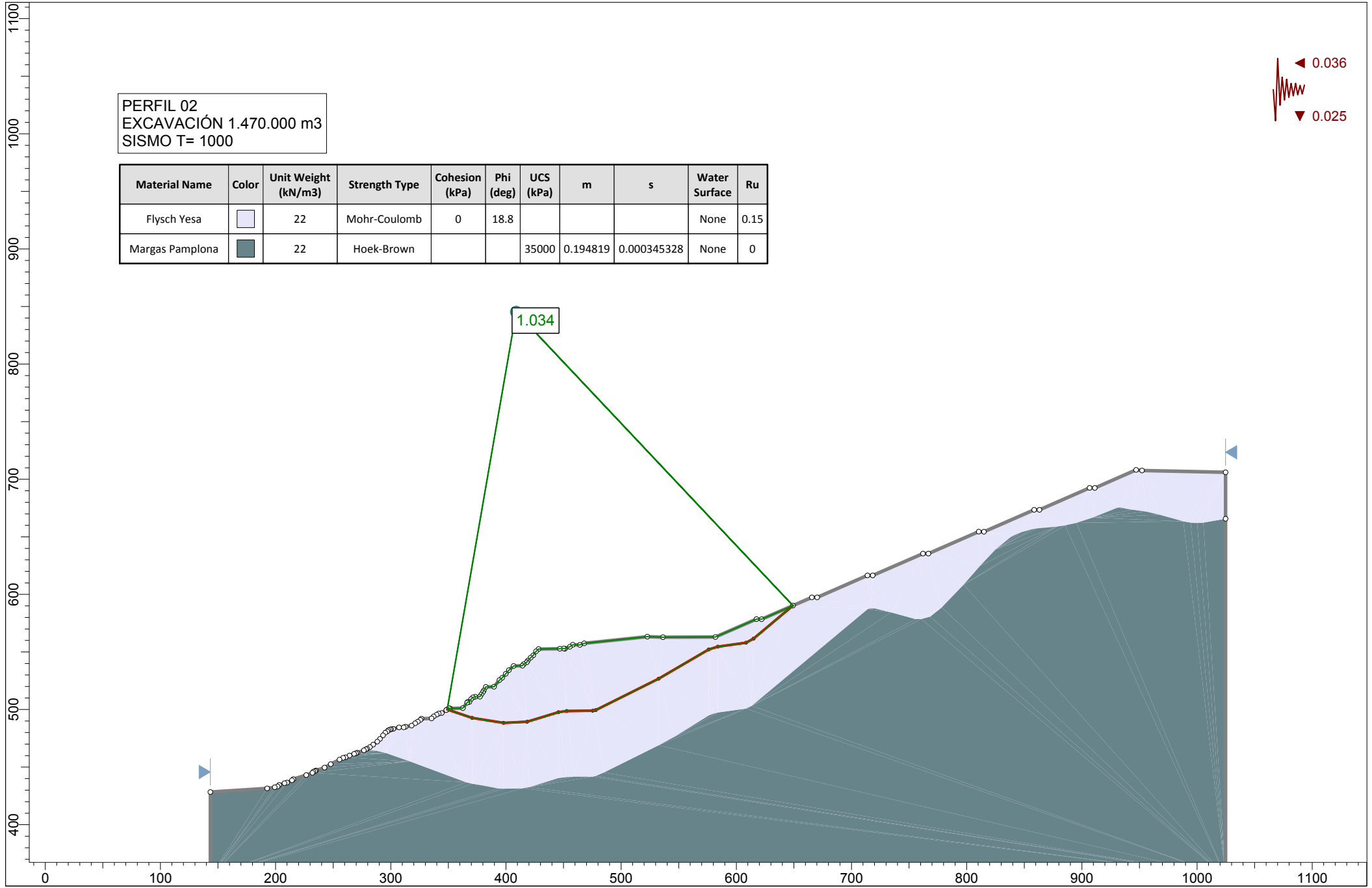
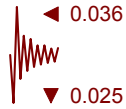
PERFIL 02
 EXCAVACIÓN 1.470.000 m3
 SISMO T= 500

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	UCS (kPa)	m	s	Water Surface	Ru
Flysch Yesa	Light Blue	22	Mohr-Coulomb	0	18.8				None	0.15
Margas Pamplona	Dark Blue	22	Hoek-Brown			35000	0.194819	0.000345328	None	0





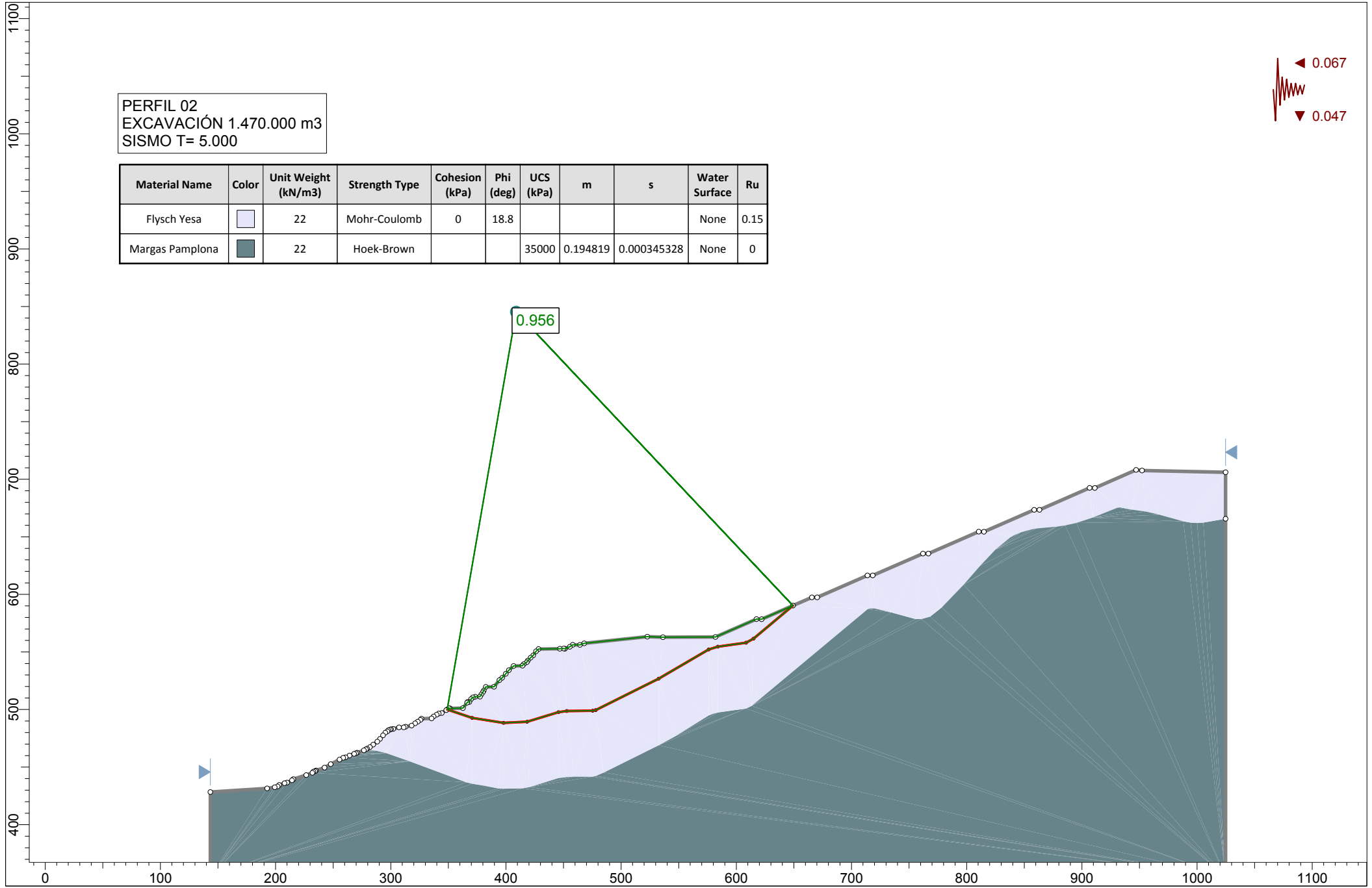
PERFIL 02
 EXCAVACIÓN 1.470.000 m3
 SISMO T= 1000

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	UCS (kPa)	m	s	Water Surface	Ru
Flysch Yesa	Light Blue	22	Mohr-Coulomb	0	18.8				None	0.15
Margas Pamplona	Dark Blue	22	Hoek-Brown			35000	0.194819	0.000345328	None	0





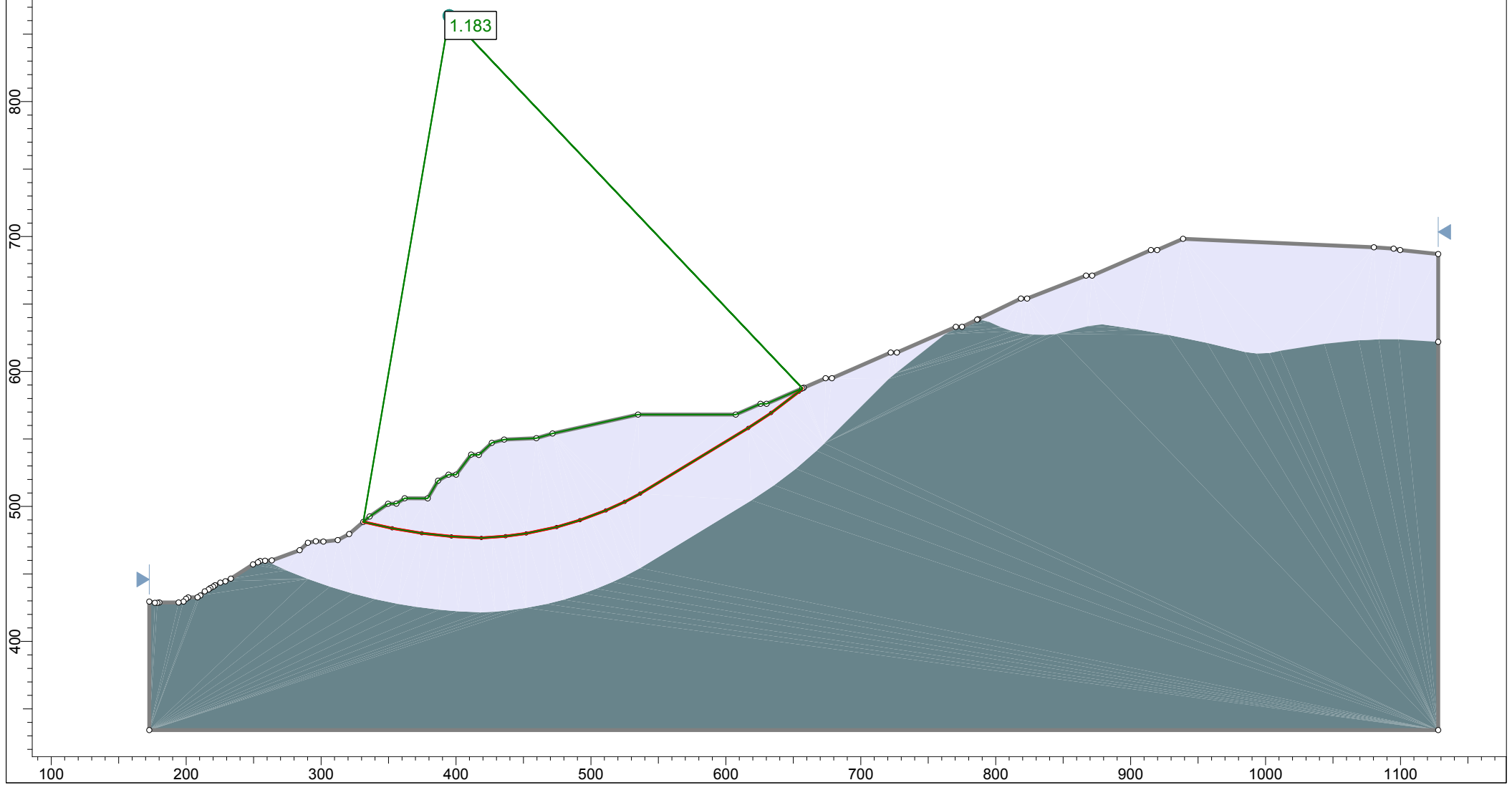
PERFIL 02
 EXCAVACIÓN 1.470.000 m³
 SISMO T= 5.000

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	UCS (kPa)	m	s	Water Surface	Ru
Flysch Yesa		22	Mohr-Coulomb	0	18.8				None	0.15
Margas Pamplona		22	Hoek-Brown			35000	0.194819	0.000345328	None	0





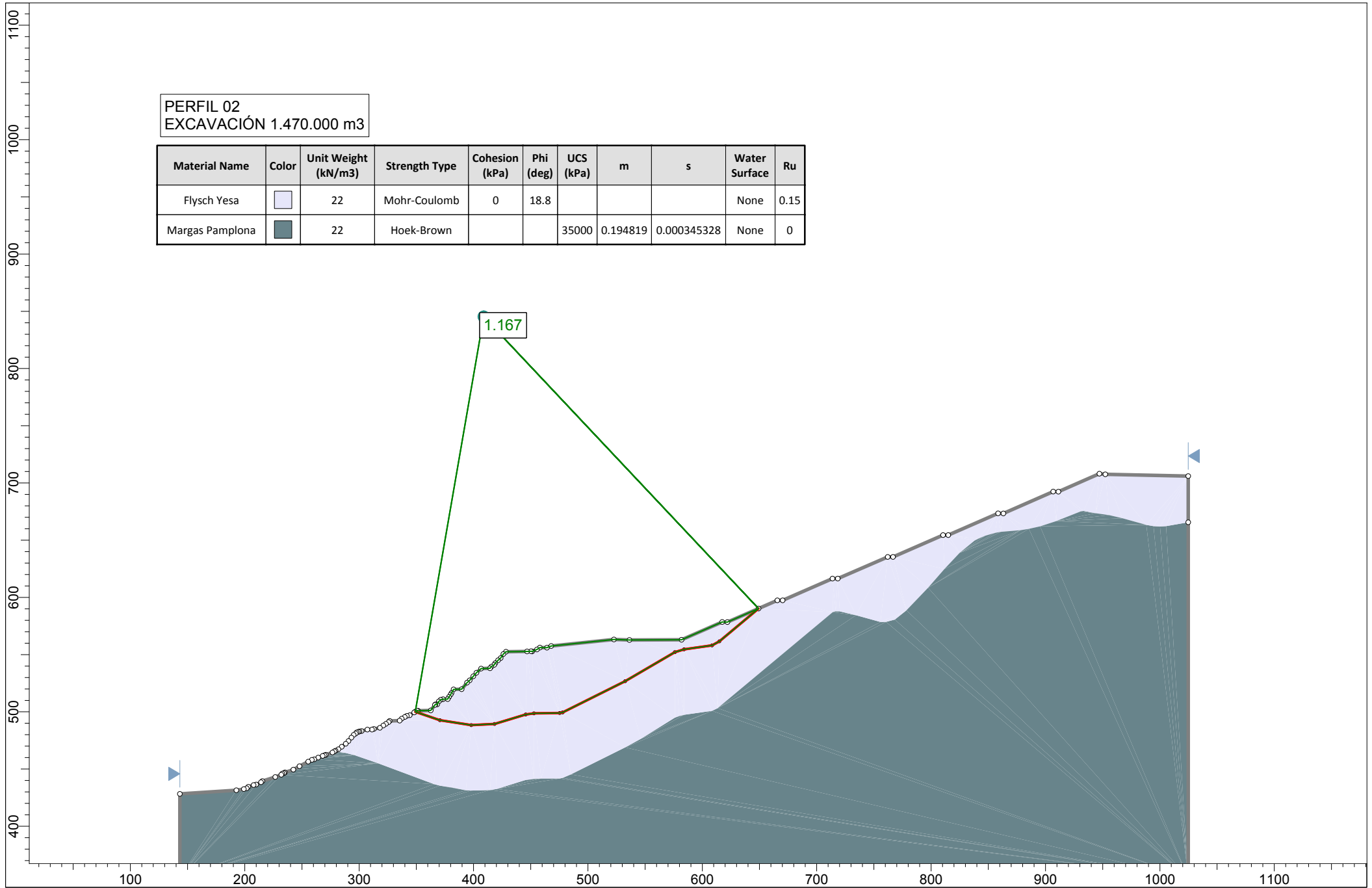
PERFIL 01
EXCAVACIÓN 1.470.000 m3

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	UCS (kPa)	m	s	Water Surface	Ru
Flysch Yesa		22	Mohr-Coulomb	0	18.8				None	0.15
Margas Pamplona		22	Hoek-Brown			35000	0.194819	0.000345328	None	0






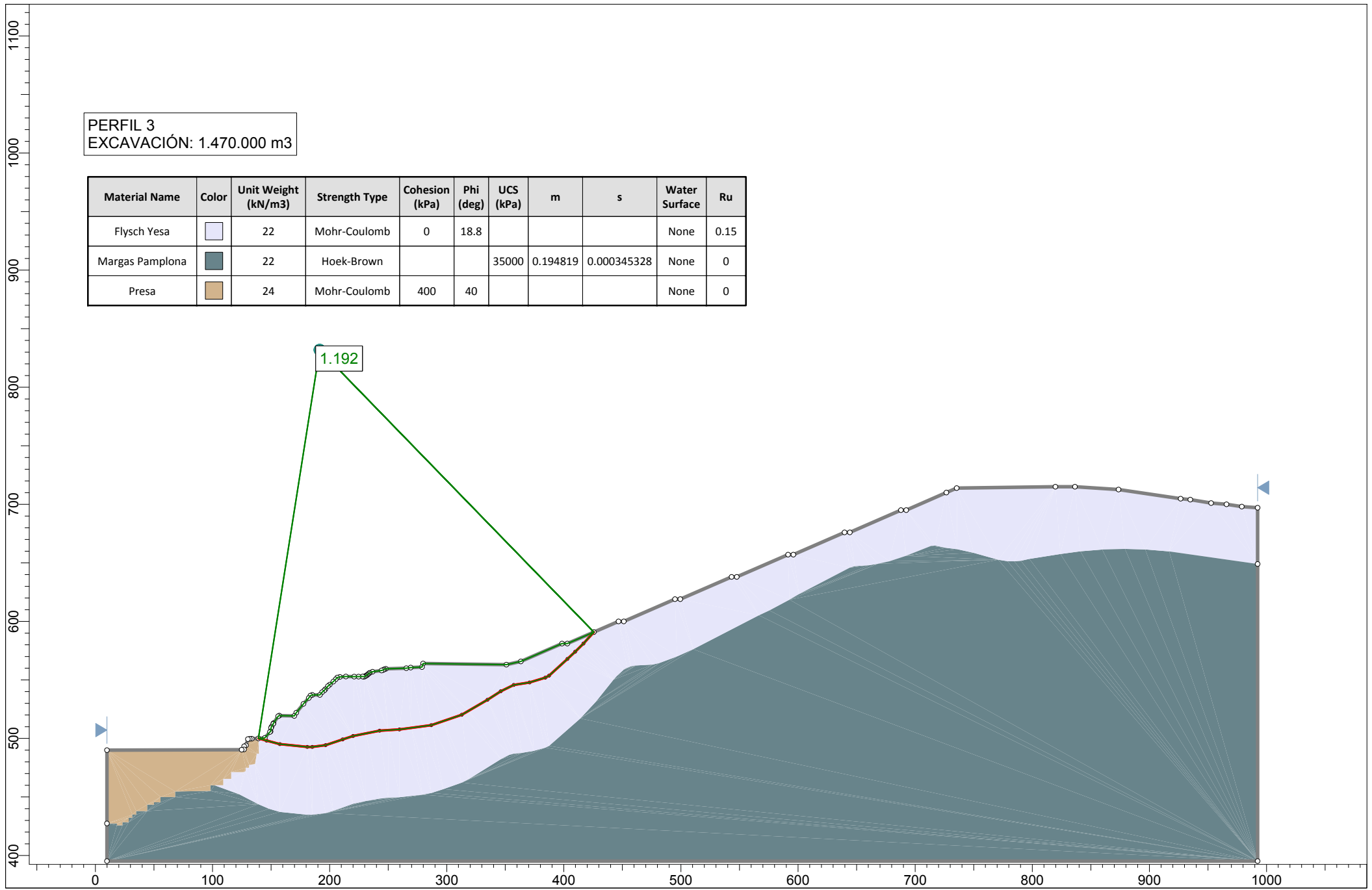
PERFIL 02
EXCAVACIÓN 1.470.000 m³

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	UCS (kPa)	m	s	Water Surface	Ru
Flysch Yesa		22	Mohr-Coulomb	0	18.8				None	0.15
Margas Pamplona		22	Hoek-Brown			35000	0.194819	0.000345328	None	0





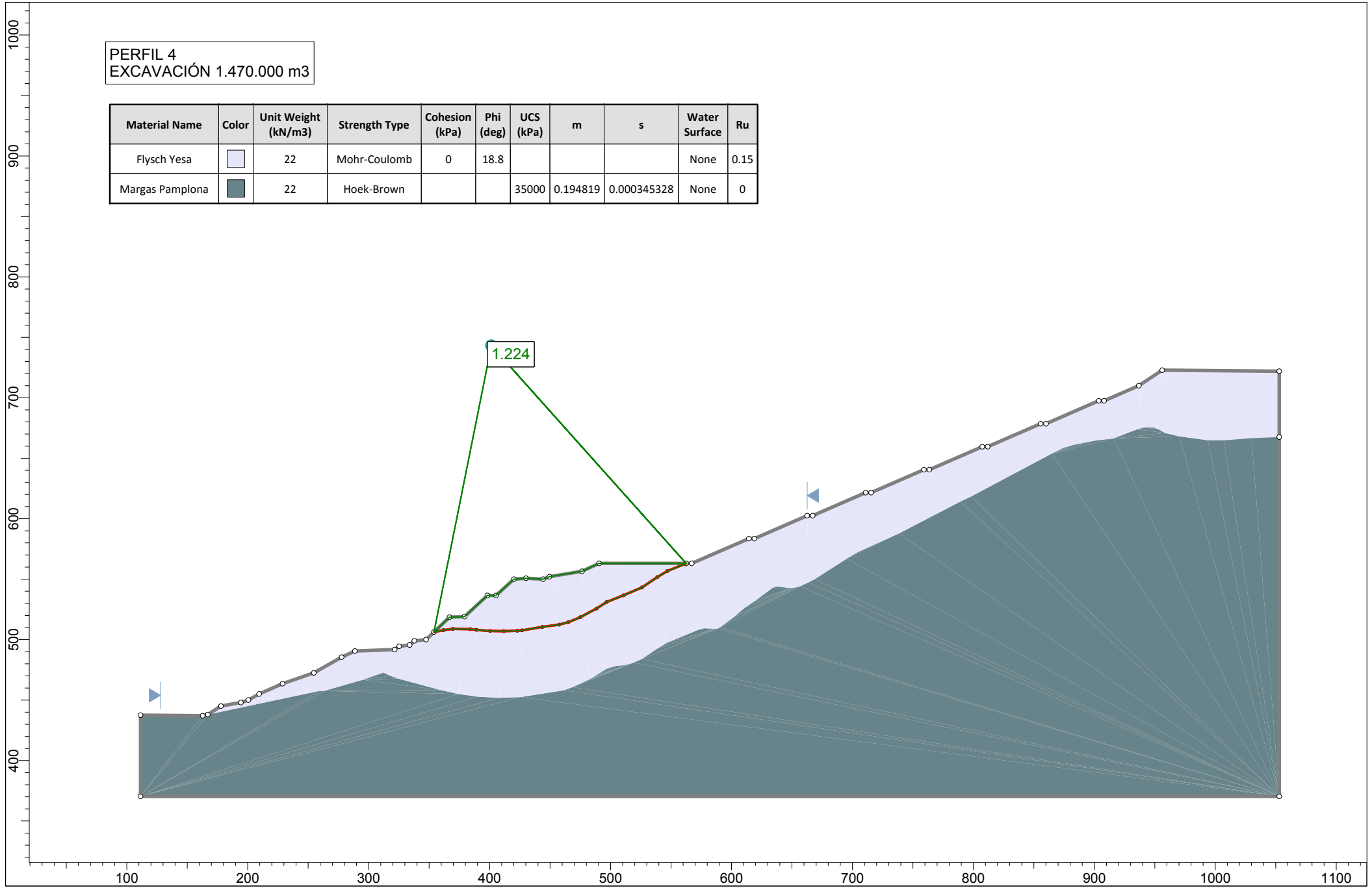
PERFIL 3
EXCAVACIÓN: 1.470.000 m3

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	UCS (kPa)	m	s	Water Surface	Ru
Flysch Yesa		22	Mohr-Coulomb	0	18.8				None	0.15
Margas Pamplona		22	Hoek-Brown			35000	0.194819	0.000345328	None	0
Presa		24	Mohr-Coulomb	400	40				None	0



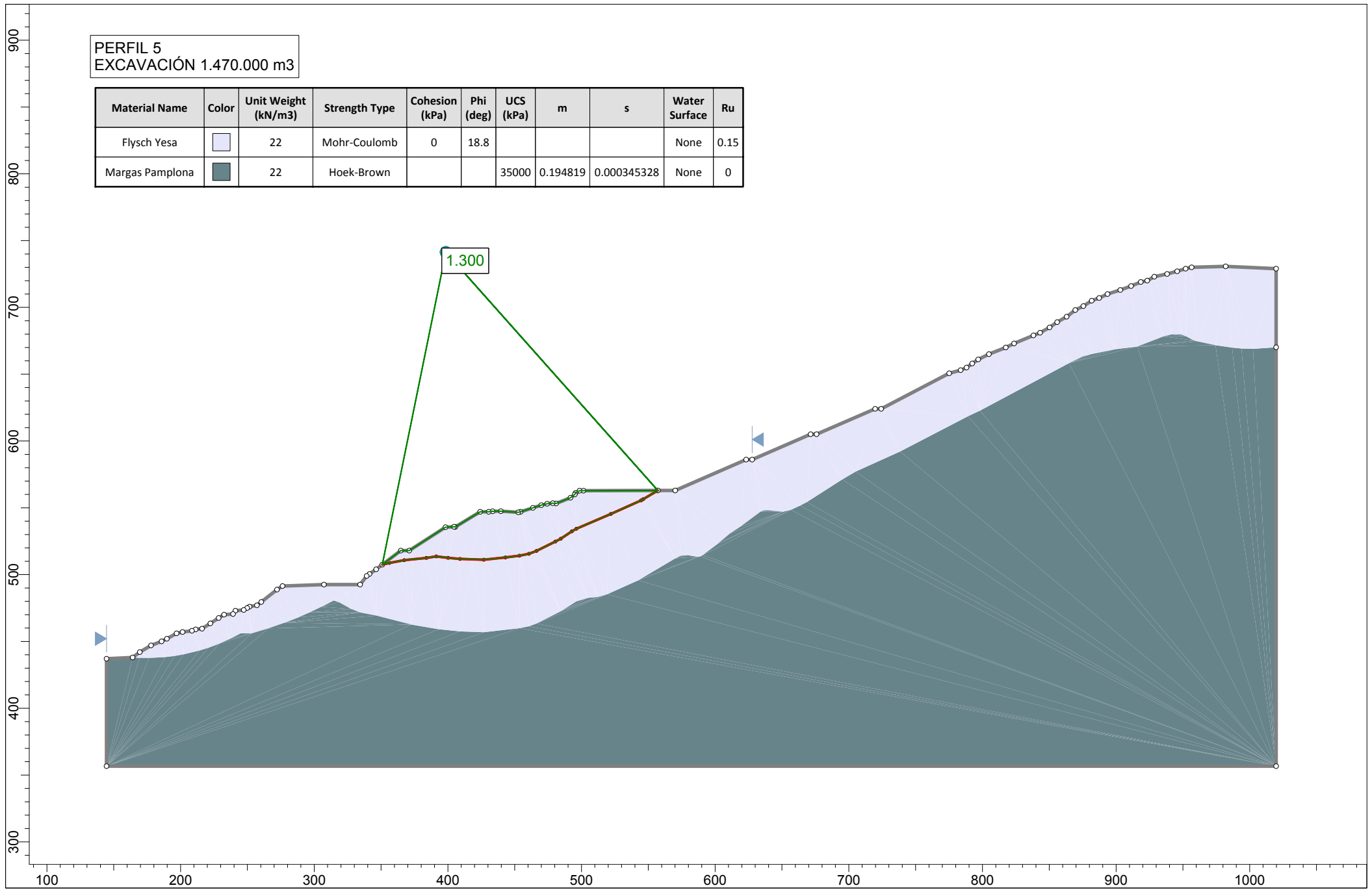
PERFIL 4
EXCAVACIÓN 1.470.000 m3

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	UCS (kPa)	m	s	Water Surface	Ru
Flysch Yesa		22	Mohr-Coulomb	0	18.8				None	0.15
Margas Pamplona		22	Hoek-Brown			35000	0.194819	0.000345328	None	0






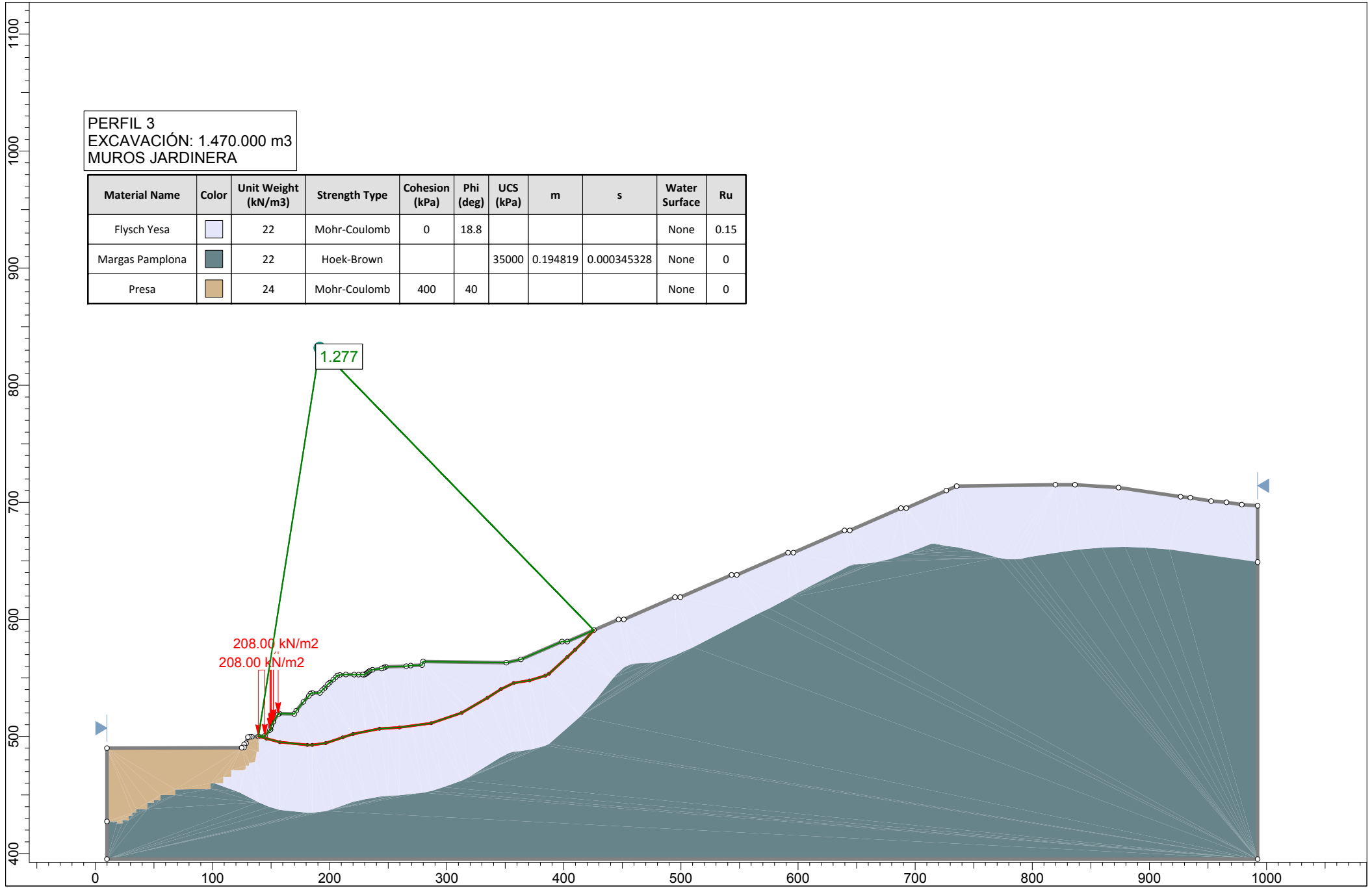
PERFIL 5
EXCAVACIÓN 1.470.000 m³

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	UCS (kPa)	m	s	Water Surface	Ru
Flysch Yesa	Light Blue	22	Mohr-Coulomb	0	18.8				None	0.15
Margas Pamplona	Dark Blue	22	Hoek-Brown			35000	0.194819	0.000345328	None	0



PERFIL 3
 EXCAVACIÓN: 1.470.000 m³
 MUROS JARDINERA

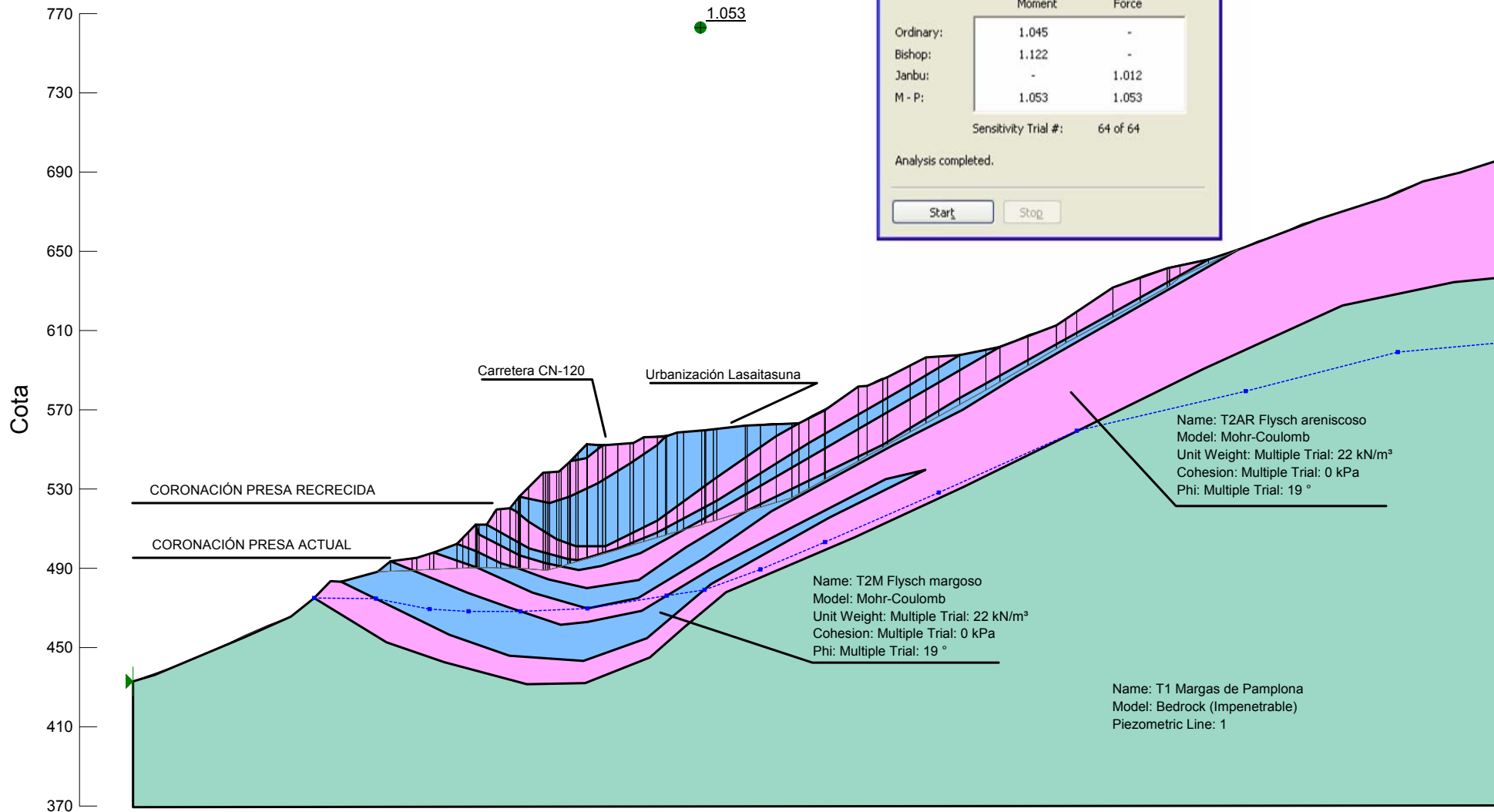
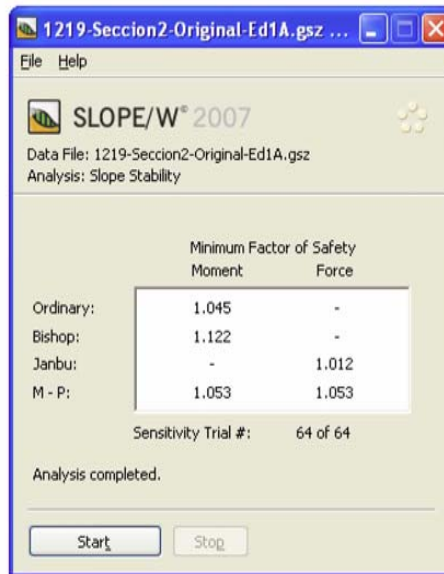
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	UCS (kPa)	m	s	Water Surface	Ru
Flysch Yesa		22	Mohr-Coulomb	0	18.8				None	0.15
Margas Pamplona		22	Hoek-Brown			35000	0.194819	0.000345328	None	0
Presa		24	Mohr-Coulomb	400	40				None	0



6.3.2. CÁLCULOS DE ESTABILIDAD (II-II): SLOPE/W (GEOSTUDIO 2007)

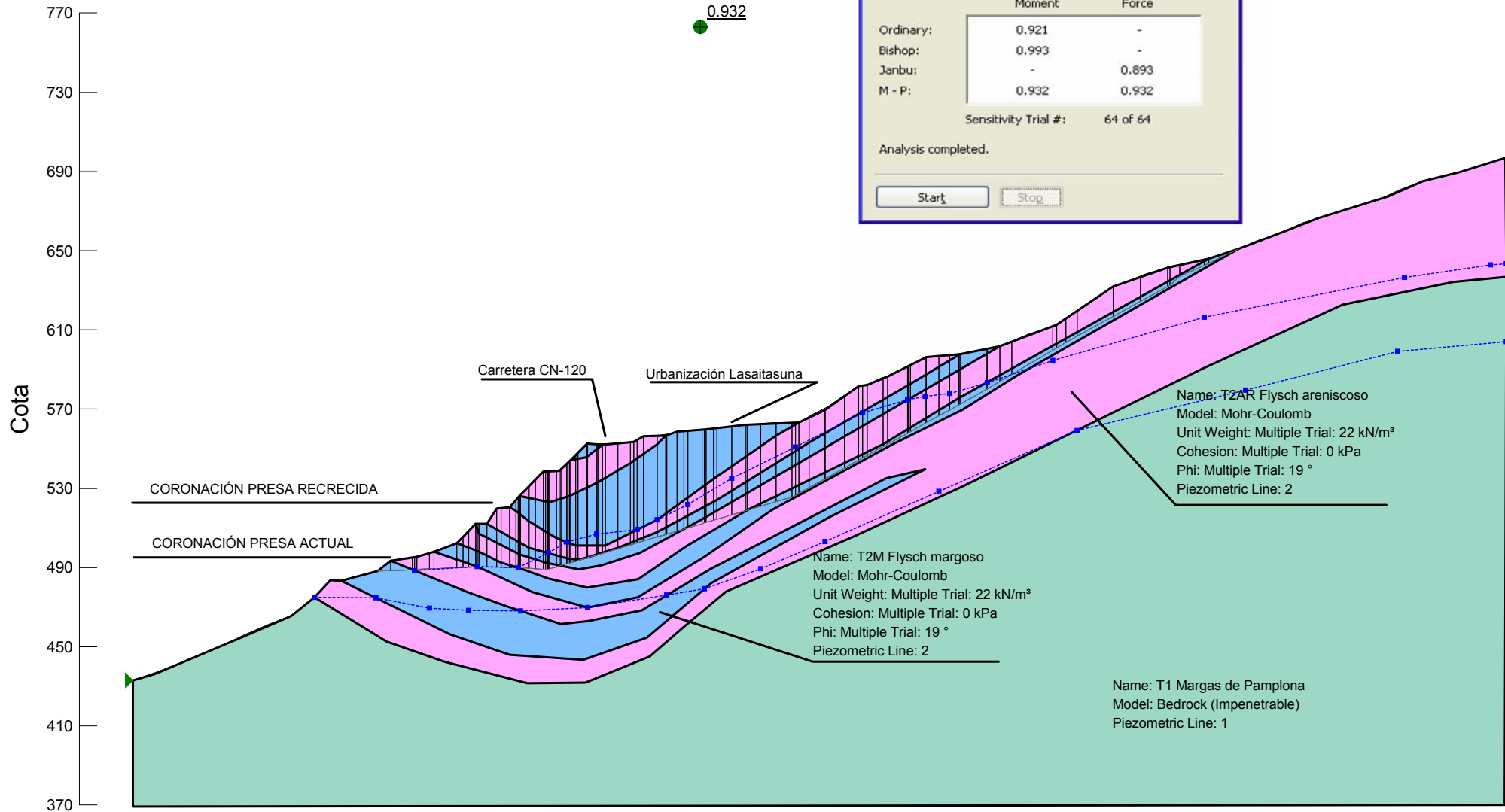
ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica única

File Name: 1219-Seccion2-Original-Ed1A.gsz



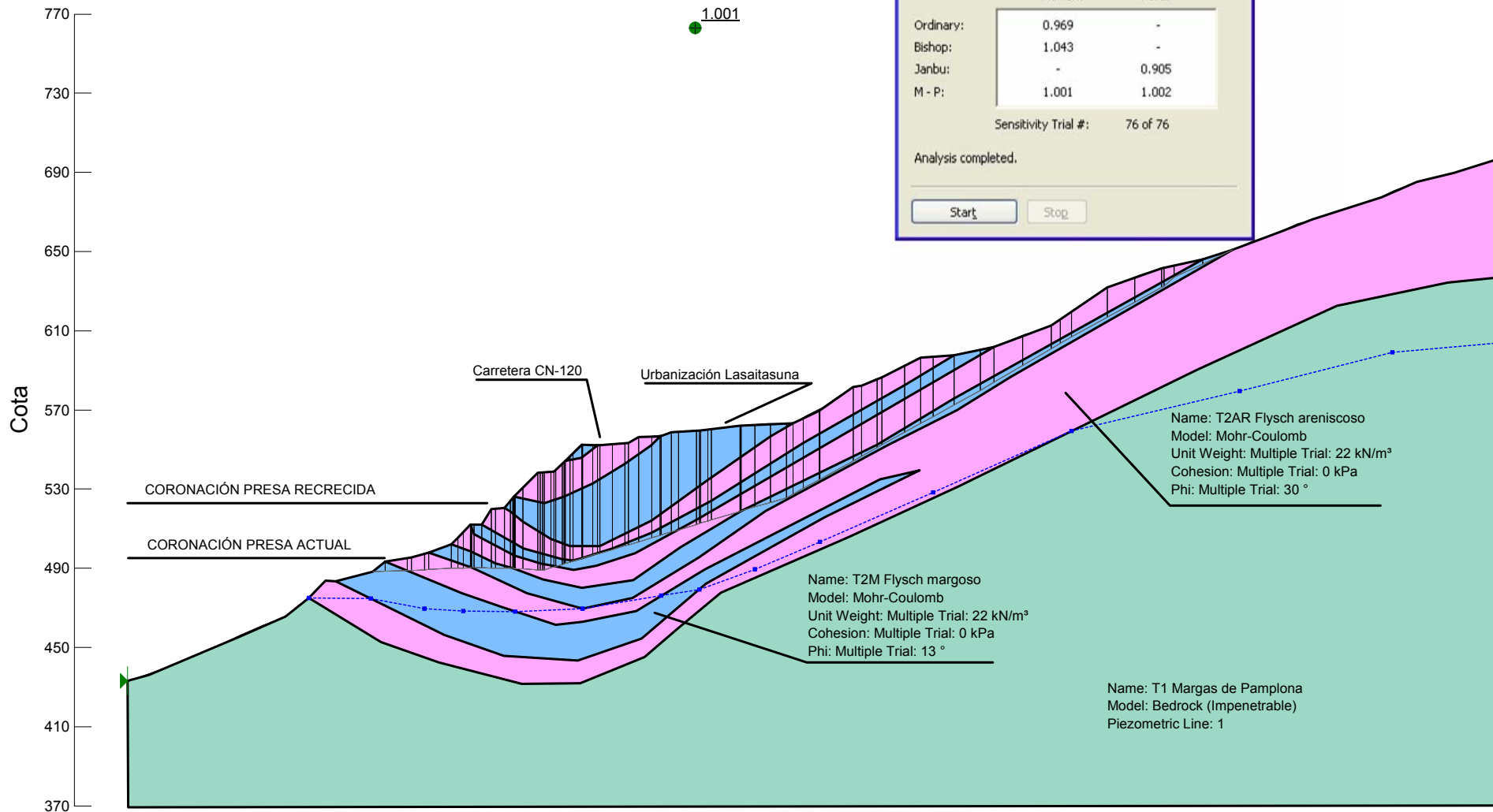
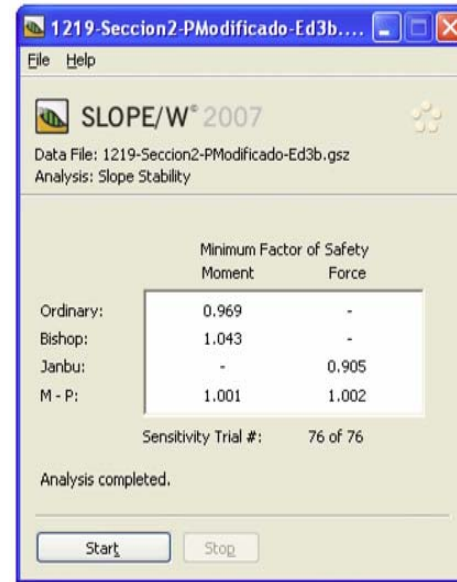
ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica múltiple

File Name: 1219-Seccion2-Original-Ed2A.gsz



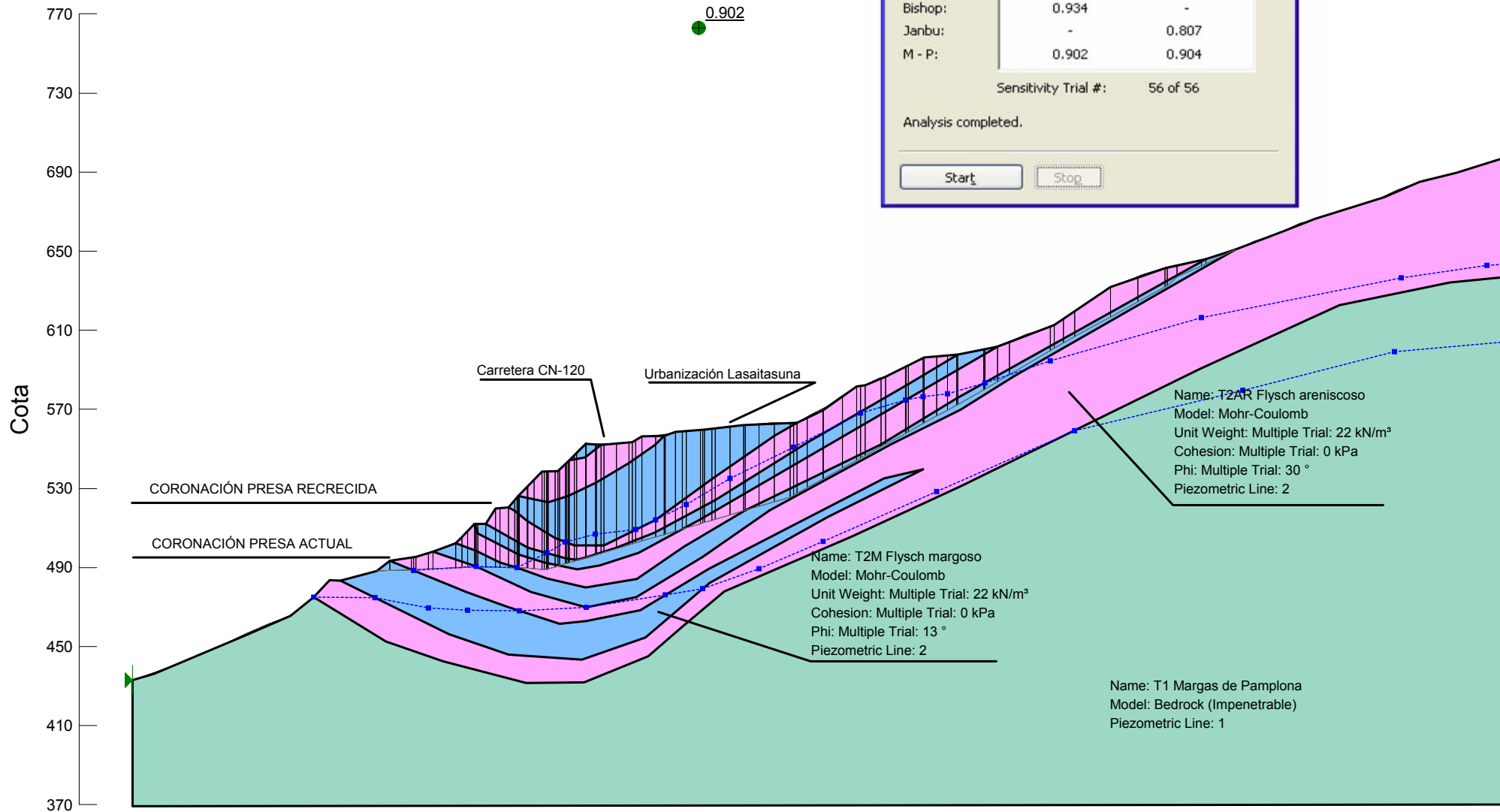
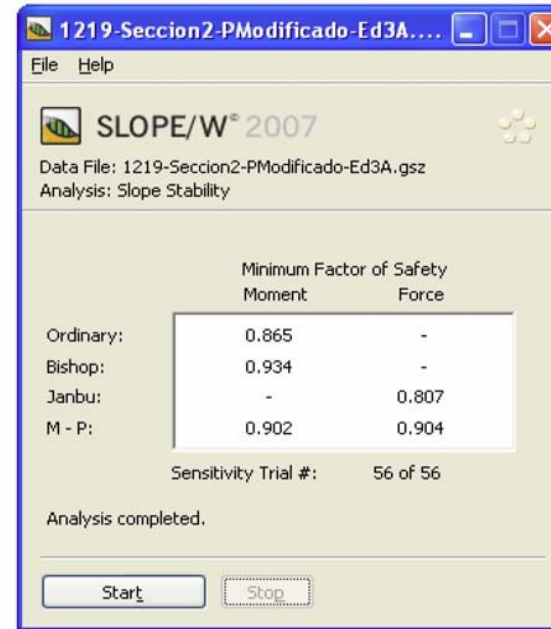
ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica unica

File Name: 1219-Seccion2-PModificado-Ed3b.gsz



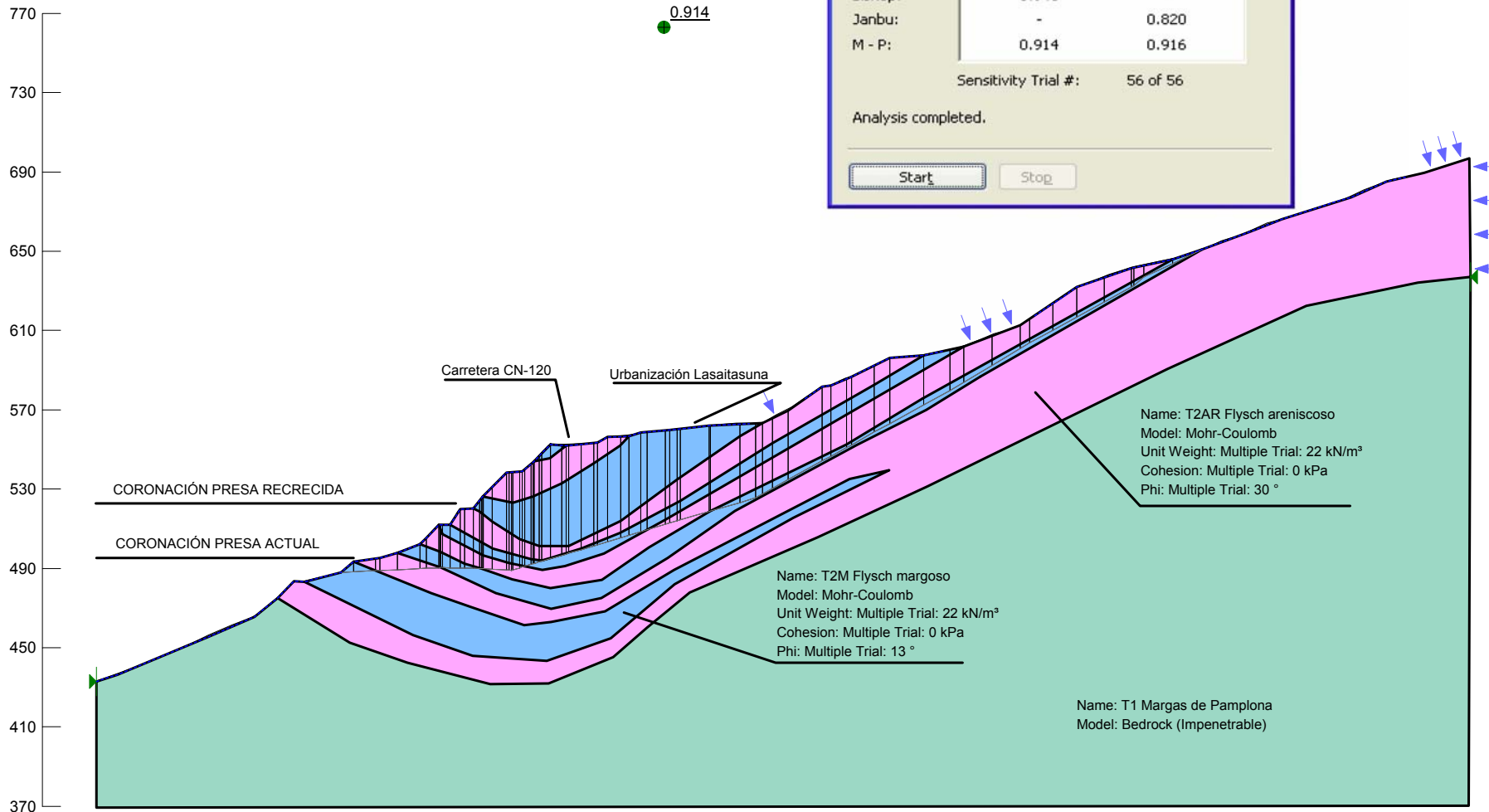
ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica múltiple

File Name: 1219-Seccion2-PModificado-Ed3A.gsz



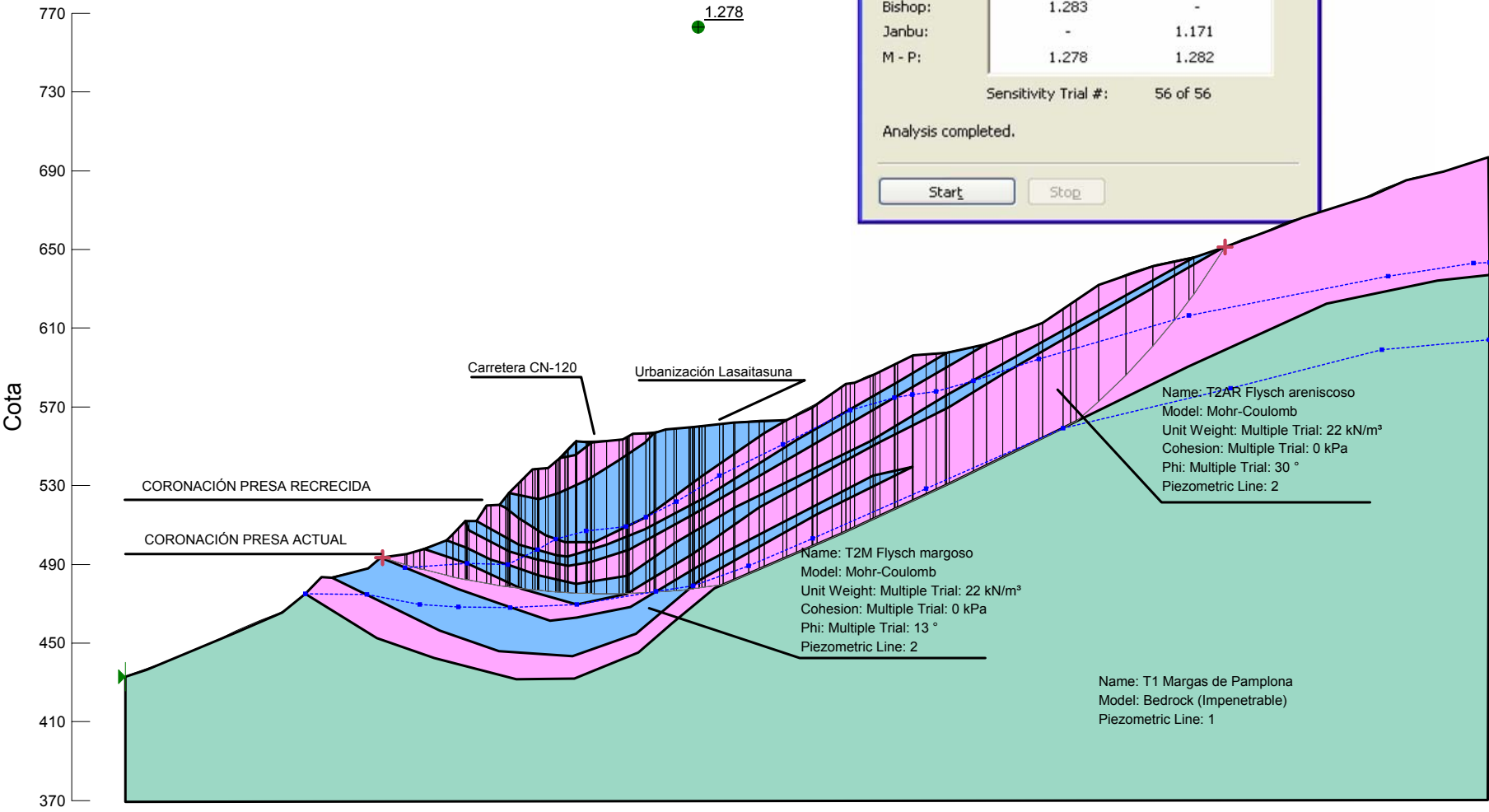
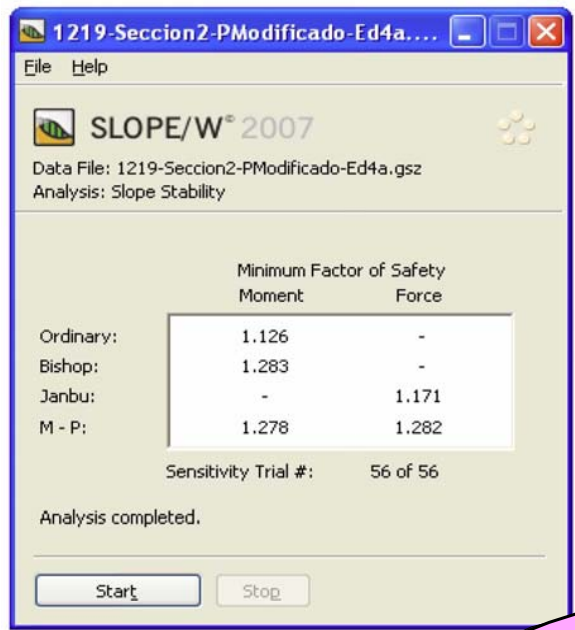
ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Agua confinada

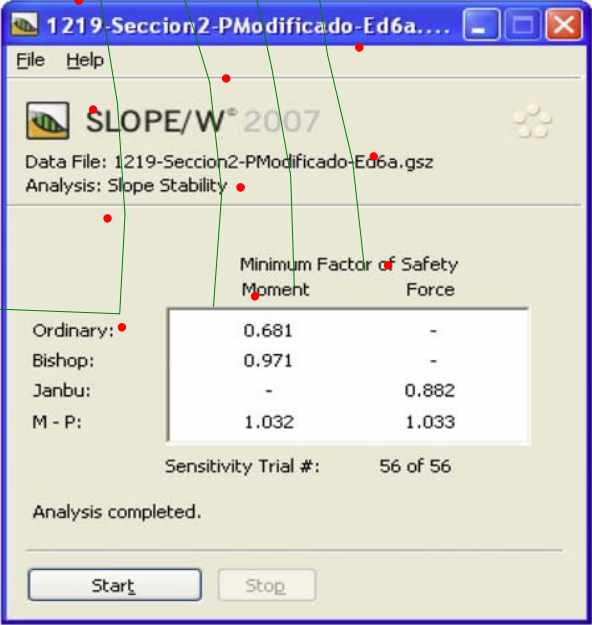
File Name: 1219-Seccion2-PModificado-PressHead-Ed2a.gsz



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "entry and exit specified"
 Línea piezométrica múltiple

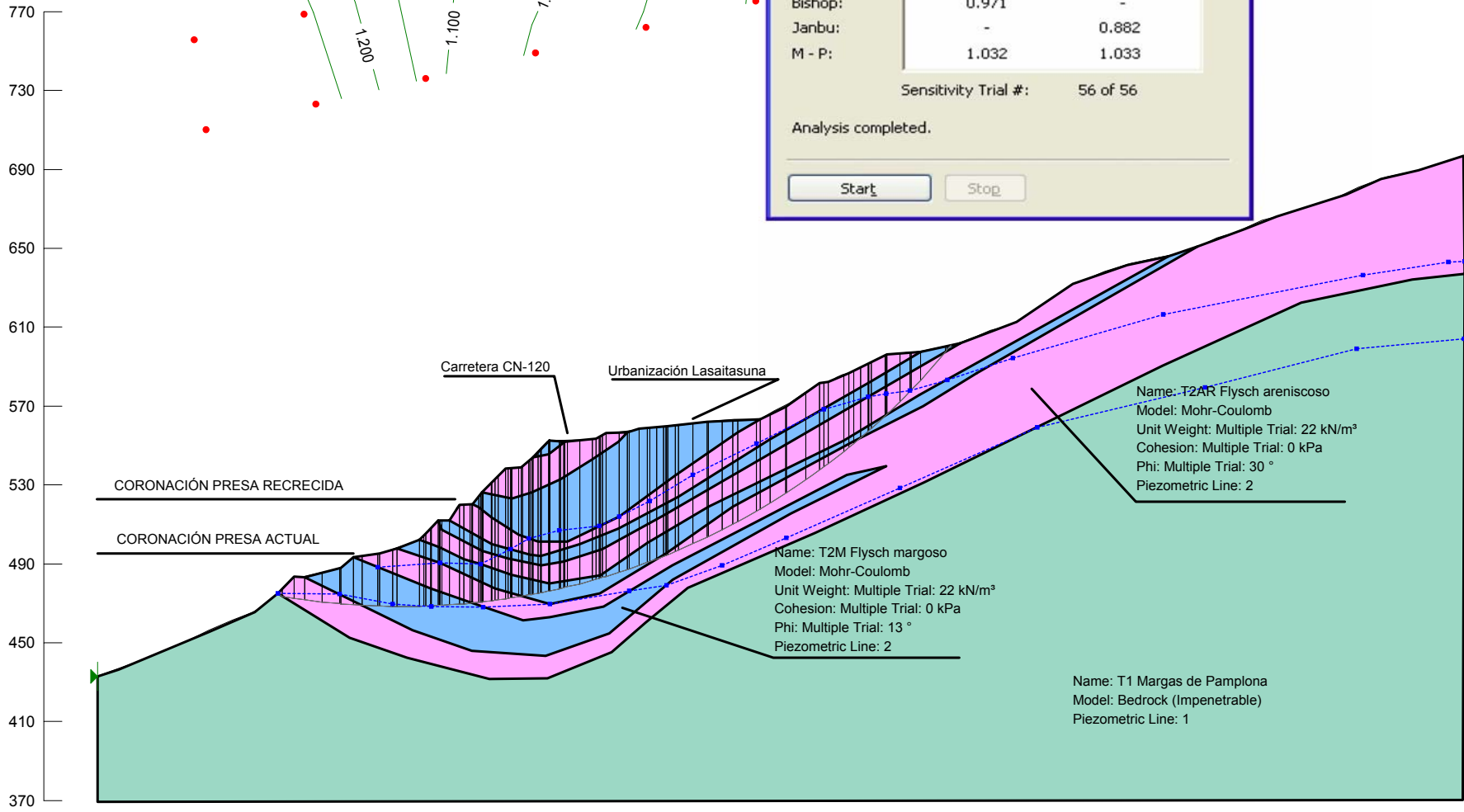
File Name: 1219-Seccion2-PModificado-Ed4a.gsz





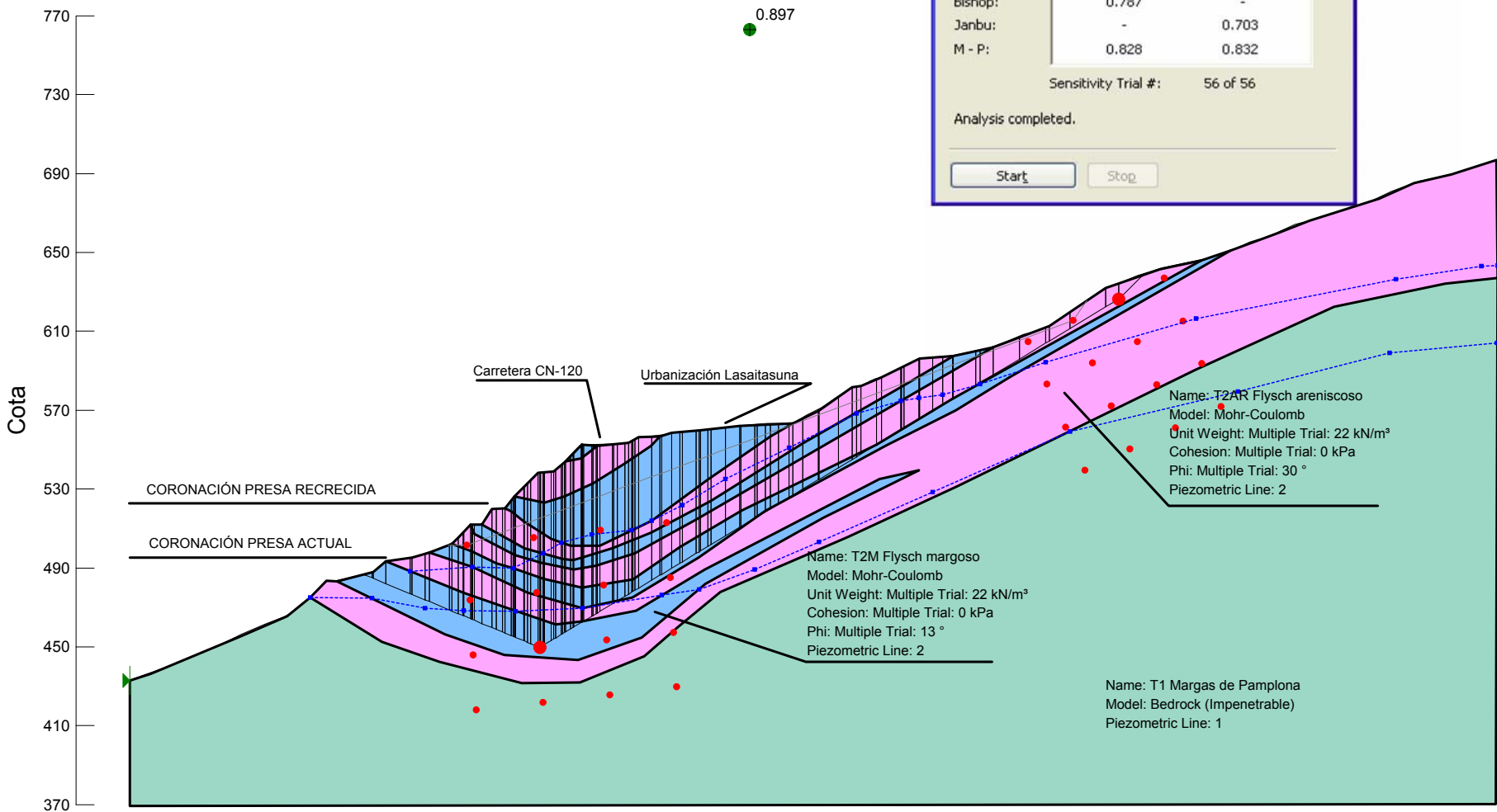
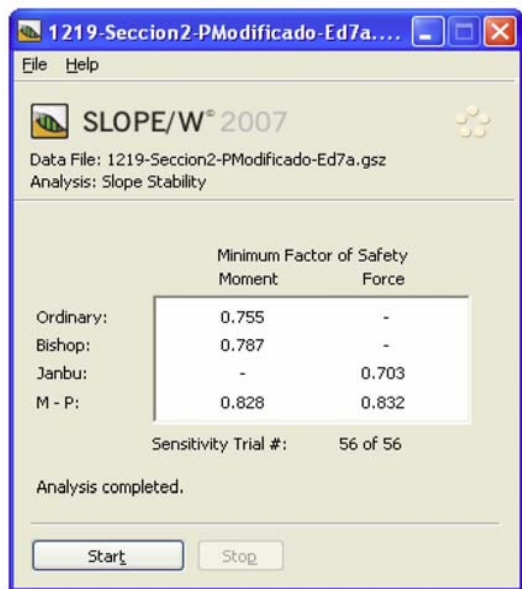
ESTABILIDAD LADERA DE YESA
Rotura tipo "rejilla de centros y radios de tangencia"
Línea piezométrica múltiple

File Name: 1219-Seccion2-PModificado-Ed6a.gsz



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "blocky specified"
 Línea piezométrica múltiple

File Name: 1219-Seccion2-PModificado-Ed7a.gsz



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "autolocate"
 Línea piezométrica múltiple

File Name: 1219-Seccion2-PModificado-Ed8a.gsz

1219-Seccion2-PModificado-Ed8a....

File Help

SLOPE/W® 2007

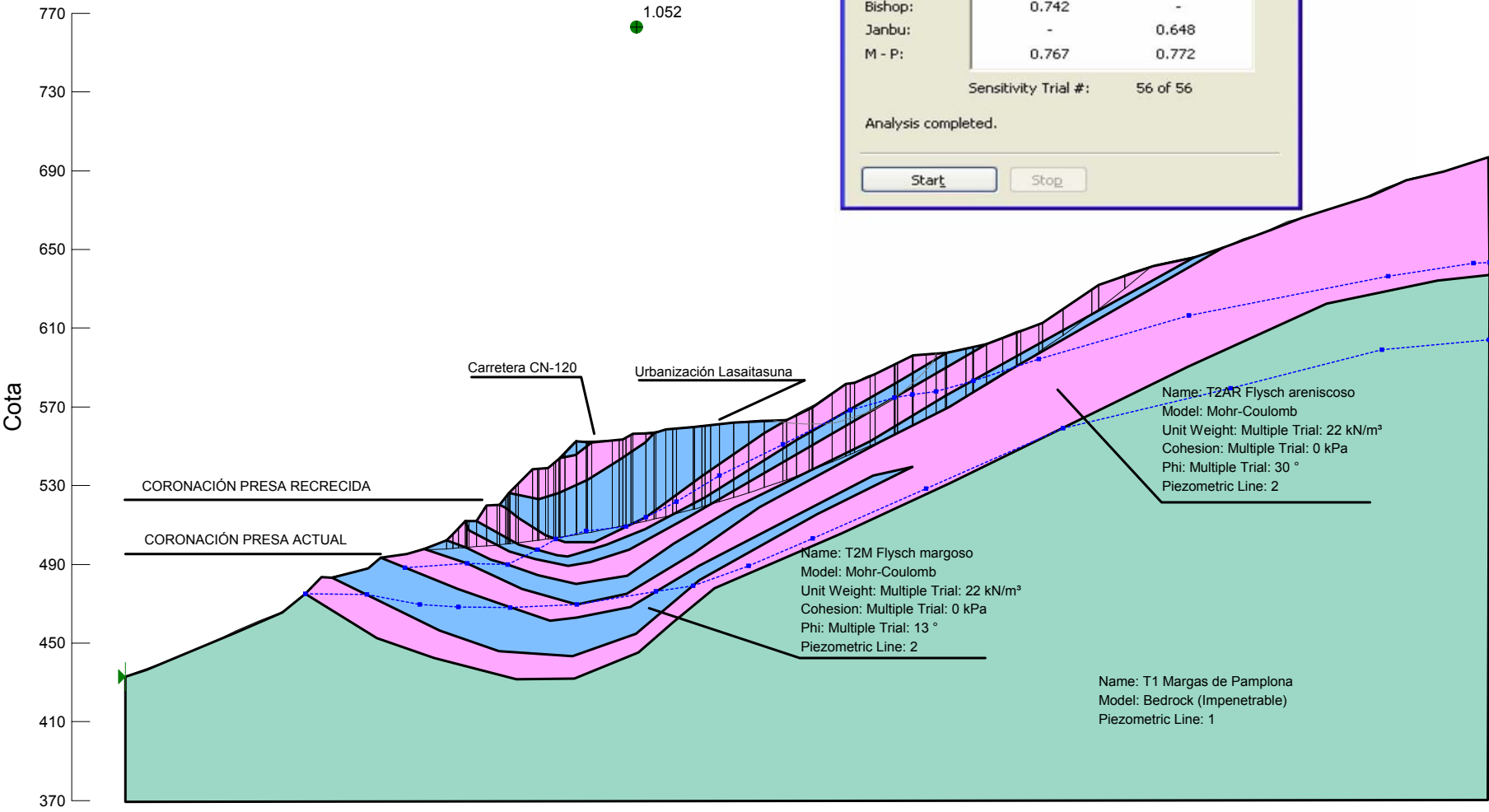
Data File: 1219-Seccion2-PModificado-Ed8a.gsz
 Analysis: Slope Stability

	Minimum Factor of Safety	
	Moment	Force
Ordinary:	0.648	-
Bishop:	0.742	-
Janbu:	-	0.648
M - P:	0.767	0.772

Sensitivity Trial #: 56 of 56

Analysis completed.

Start Stop



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica múltiple

File Name: 1219-Seccion2-Ed1.gsz

1219-Seccion2-Ed1.gsz - SLOPE/W...

File Help

SLOPE/W® 2007

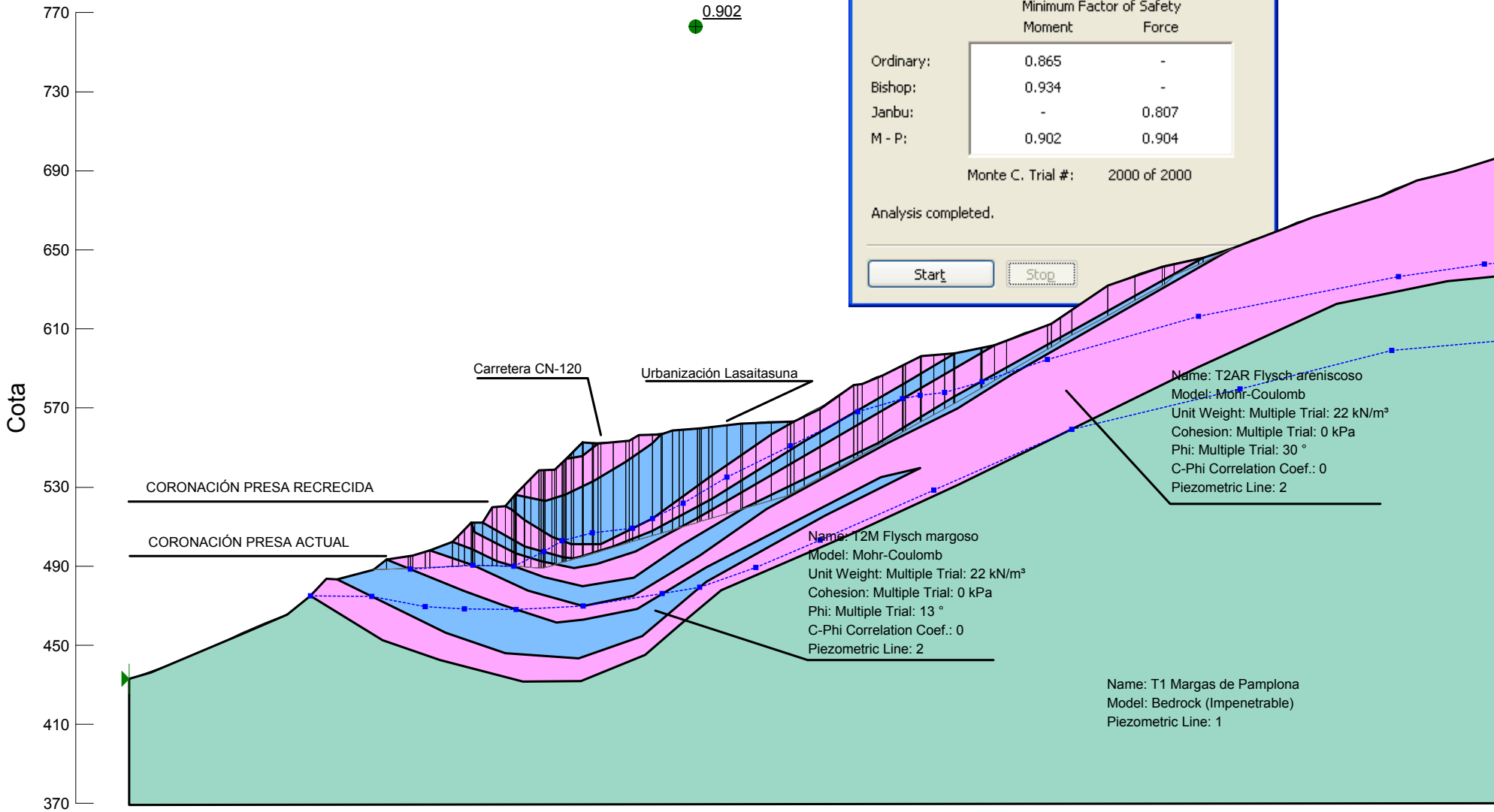
Data File: 1219-Seccion2-Ed1.gsz
 Analysis: Slope Stability

	Minimum Factor of Safety	
	Moment	Force
Ordinary:	0.865	-
Bishop:	0.934	-
Janbu:	-	0.807
M - P:	0.902	0.904

Monte C. Trial #: 2000 of 2000

Analysis completed.

Start Stop



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica múltiple

File Name: 1219-Seccion2-Ed2.gsz

1219-Seccion2-Ed2.gsz - SLOPE/W...

File Help

SLOPE/W® 2007

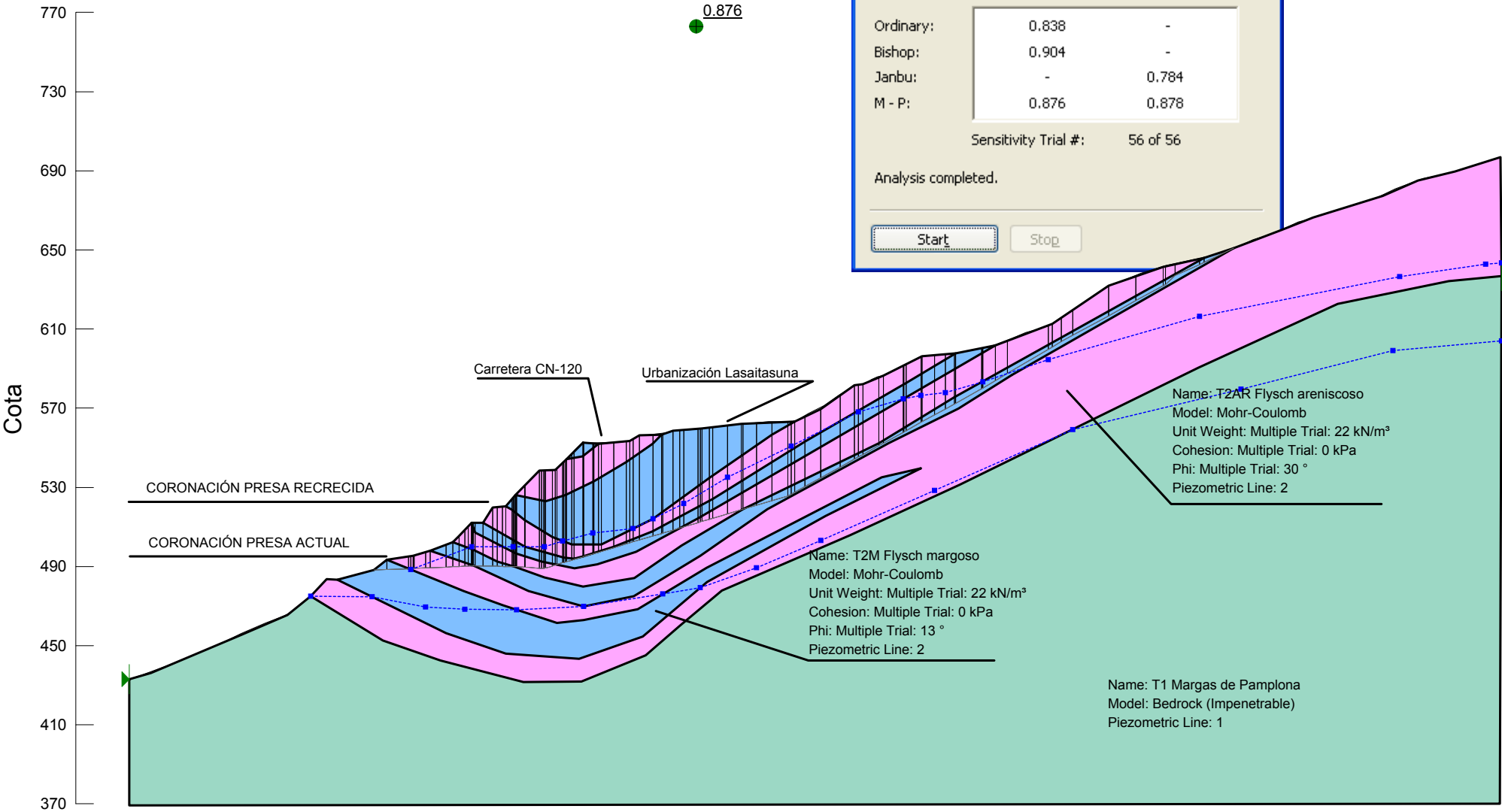
Data File: 1219-Seccion2-Ed2.gsz
 Analysis: Slope Stability

	Minimum Factor of Safety	
	Moment	Force
Ordinary:	0.838	-
Bishop:	0.904	-
Janbu:	-	0.784
M - P:	0.876	0.878

Sensitivity Trial #: 56 of 56

Analysis completed.

Start Stop



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica múltiple

File Name: 1219-Seccion2-Ed3.gsz

1219-Seccion2-Ed3.gsz - SLOPE/W...

File Help

SLOPE/W® 2007

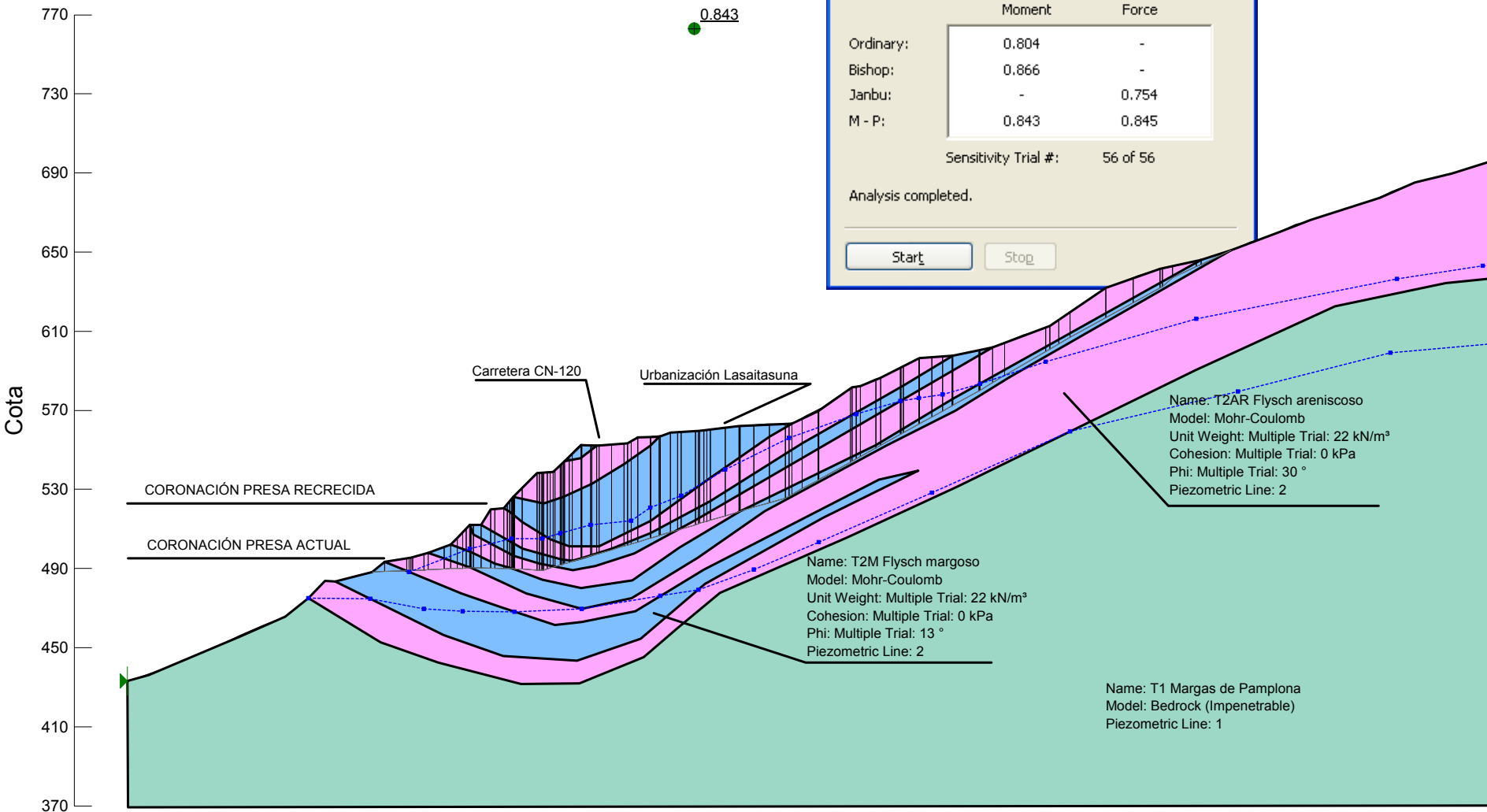
Data File: 1219-Seccion2-Ed3.gsz
 Analysis: Slope Stability

	Minimum Factor of Safety	
	Moment	Force
Ordinary:	0.804	-
Bishop:	0.866	-
Janbu:	-	0.754
M - P:	0.843	0.845

Sensitivity Trial #: 56 of 56

Analysis completed.

Start Stop



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica múltiple

File Name: 1219-Seccion2-Ed4.gsz

1219-Seccion2-Ed4.gsz - SLOPE/W...

File Help

SLOPE/W® 2007

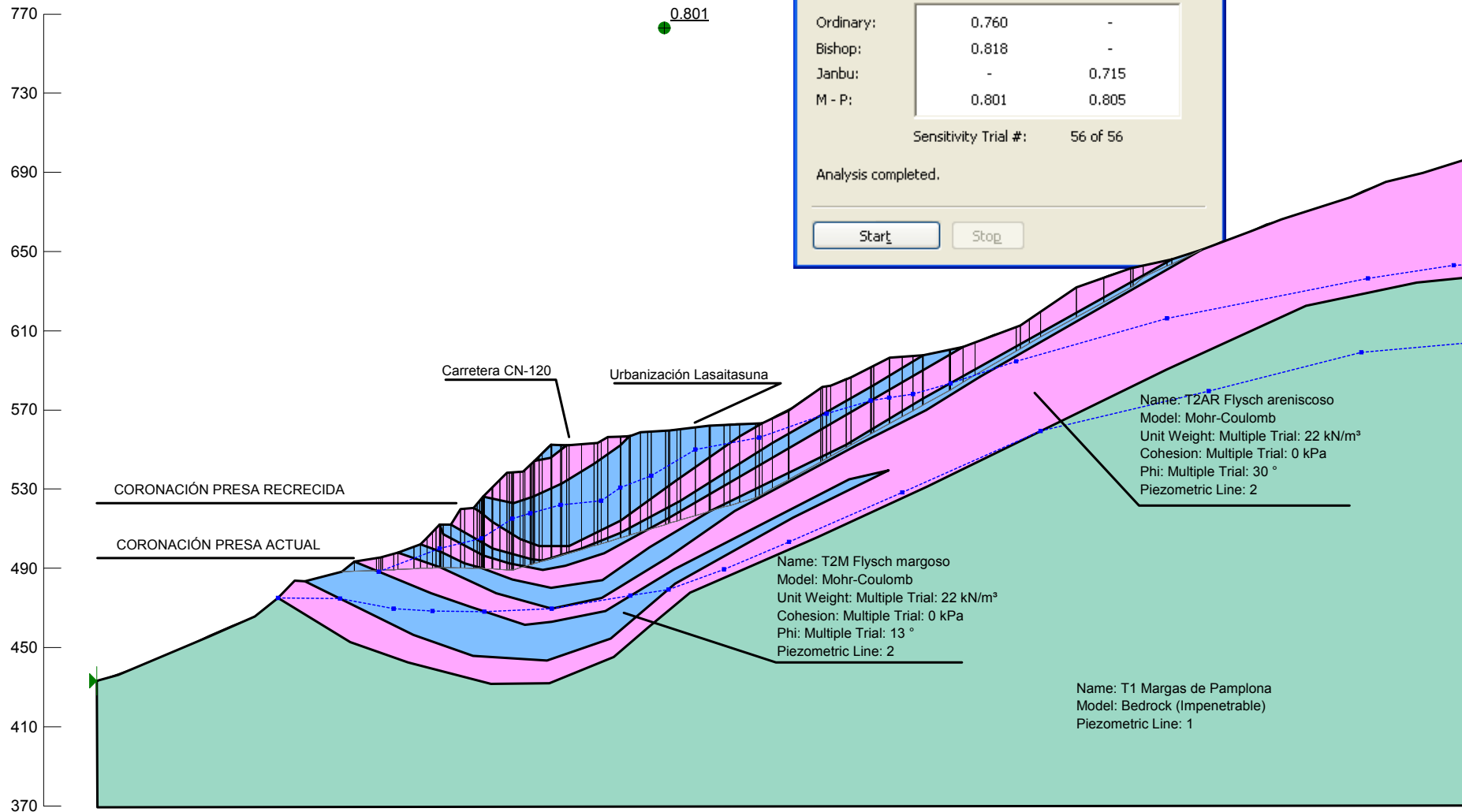
Data File: 1219-Seccion2-Ed4.gsz
 Analysis: Slope Stability

	Minimum Factor of Safety	
	Moment	Force
Ordinary:	0.760	-
Bishop:	0.818	-
Janbu:	-	0.715
M - P:	0.801	0.805

Sensitivity Trial #: 56 of 56

Analysis completed.

Start Stop



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica múltiple

File Name: 1219-Seccion2-Ed5.gsz

1219-Seccion2-Ed5.gsz - SLOPE/W...

File Help

SLOPE/W® 2007

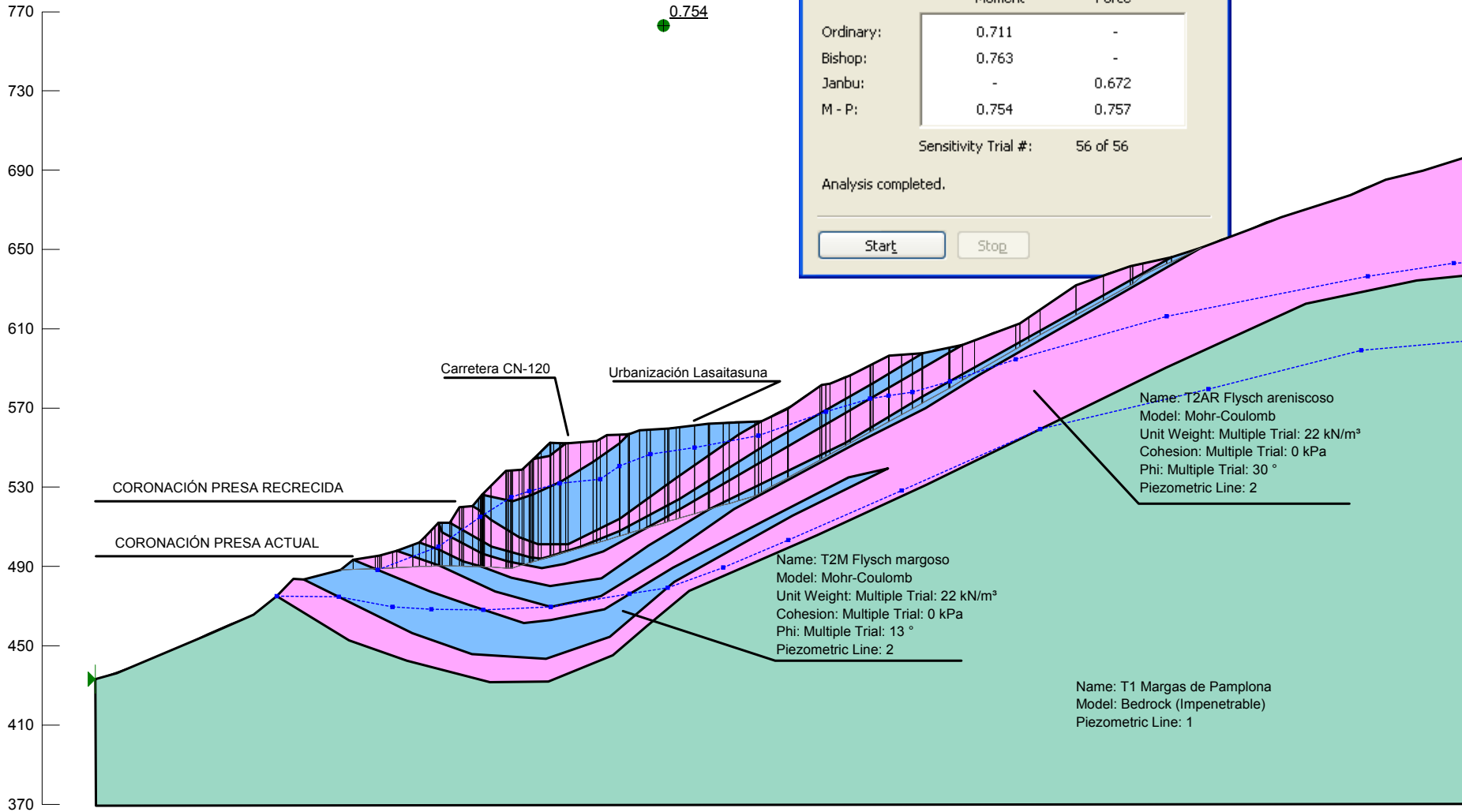
Data File: 1219-Seccion2-Ed5.gsz
 Analysis: Slope Stability

	Minimum Factor of Safety	
	Moment	Force
Ordinary:	0.711	-
Bishop:	0.763	-
Janbu:	-	0.672
M - P:	0.754	0.757

Sensitivity Trial #: 56 of 56

Analysis completed.

Start Stop



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica unica

File Name: 1219-Seccion2-Sismo001g.gsz

1219-Seccion2-Sismo001g.gsz - SL...

File Help

SLOPE/W[®] 2007

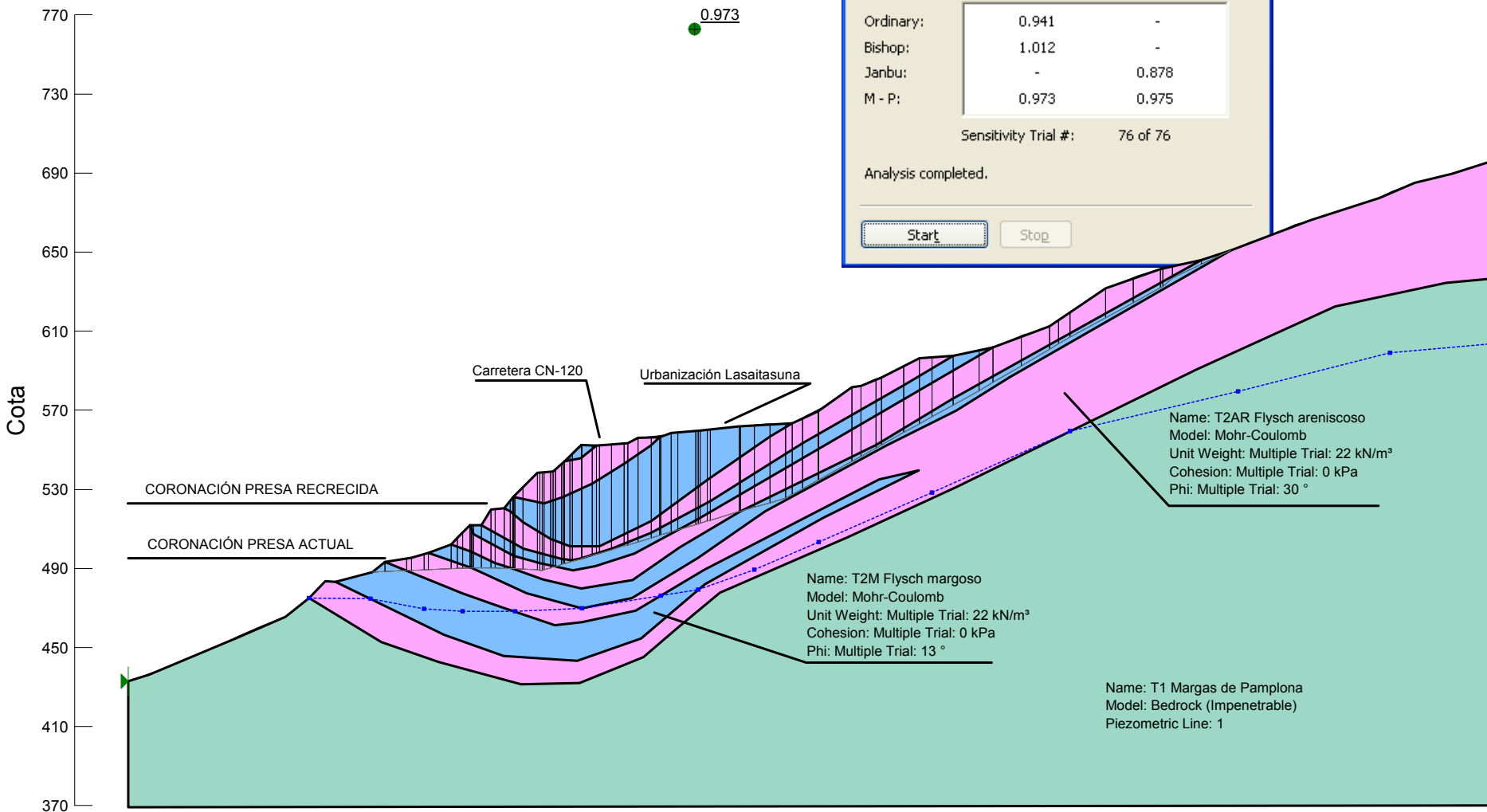
Data File: 1219-Seccion2-Sismo001g.gsz
 Analysis: Slope Stability

	Minimum Factor of Safety	
	Moment	Force
Ordinary:	0.941	-
Bishop:	1.012	-
Janbu:	-	0.878
M - P:	0.973	0.975

Sensitivity Trial #: 76 of 76

Analysis completed.

Start Stop



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica unica

File Name: 1219-Seccion2-Sismo002g.gsz

1219-Seccion2-Sismo002g.gsz - SL...

File Help

SLOPE/W® 2007

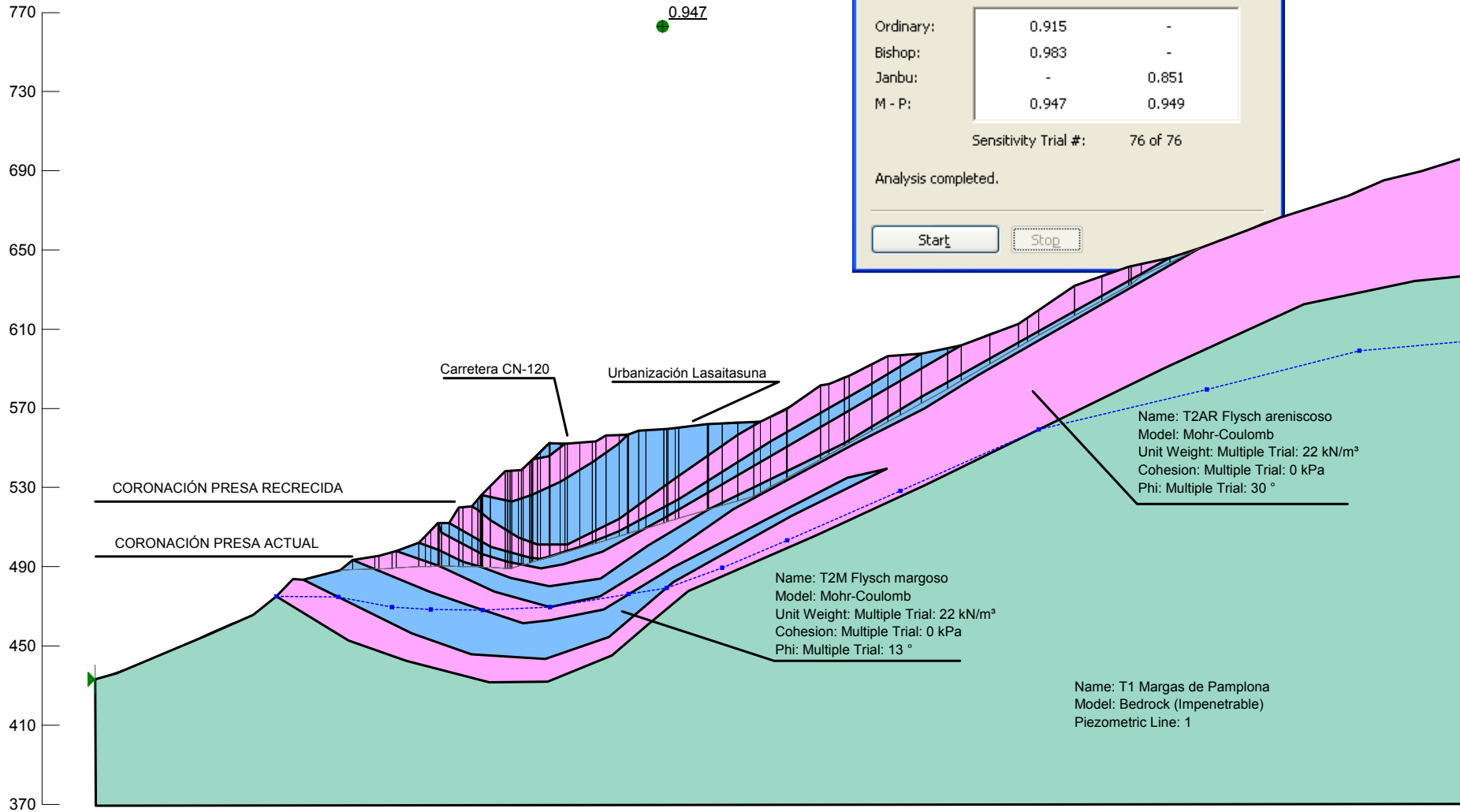
Data File: 1219-Seccion2-Sismo002g.gsz
 Analysis: Slope Stability

	Minimum Factor of Safety	
	Moment	Force
Ordinary:	0.915	-
Bishop:	0.983	-
Janbu:	-	0.851
M - P:	0.947	0.949

Sensitivity Trial #: 76 of 76

Analysis completed.

Start Stop



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica unica

File Name: 1219-Seccion2-Sismo003g.gsz

1219-Seccion2-Sismo003g.gsz - SL...

File Help

SLOPE/W® 2007

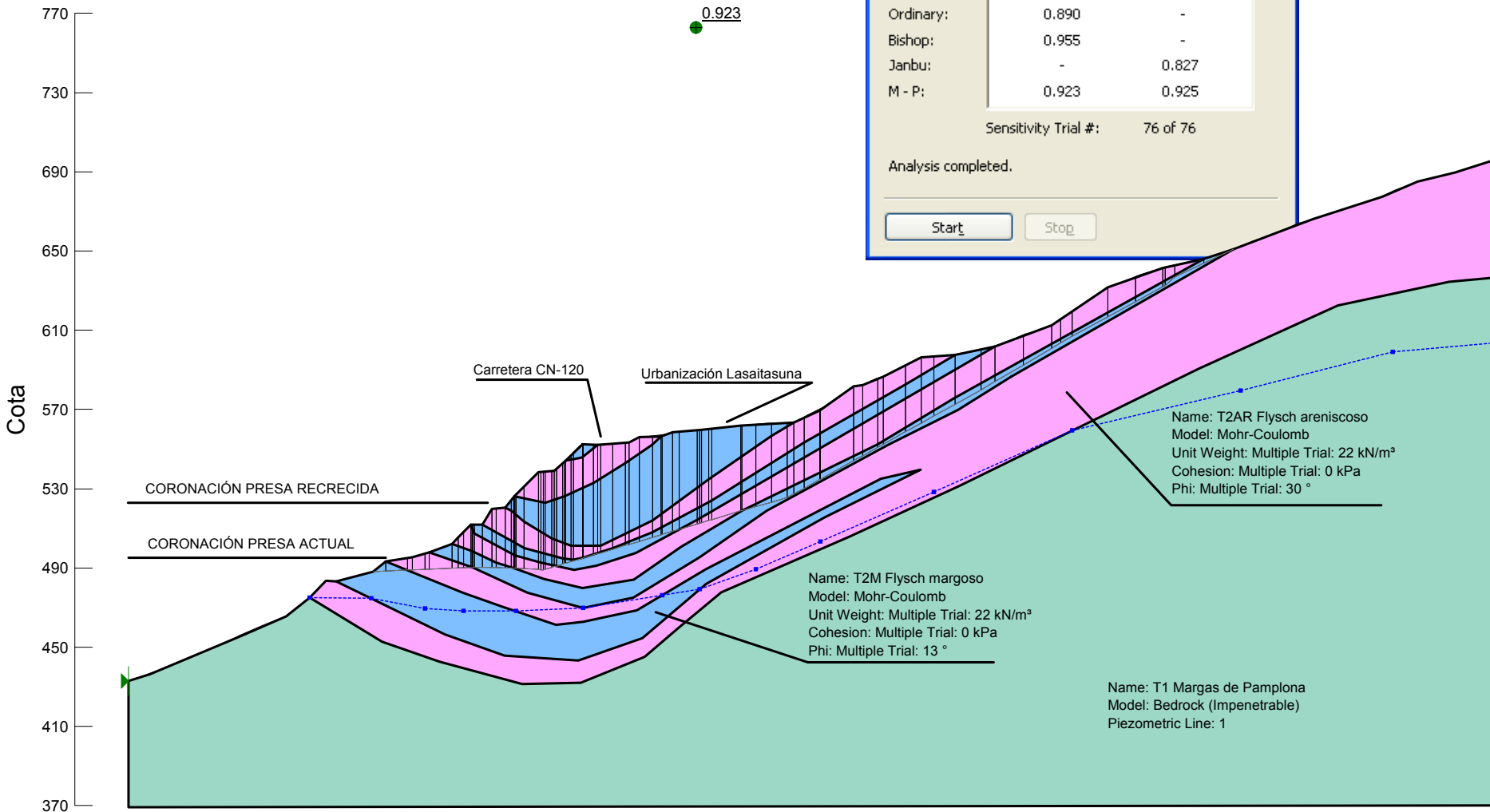
Data File: 1219-Seccion2-Sismo003g.gsz
 Analysis: Slope Stability

	Minimum Factor of Safety	
	Moment	Force
Ordinary:	0.890	-
Bishop:	0.955	-
Janbu:	-	0.827
M - P:	0.923	0.925

Sensitivity Trial #: 76 of 76

Analysis completed.

Start Stop



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica unica

File Name: 1219-Seccion2-Sismo004g.gsz

1219-Seccion2-Sismo004g.gsz - SL...

File Help

SLOPE/W® 2007

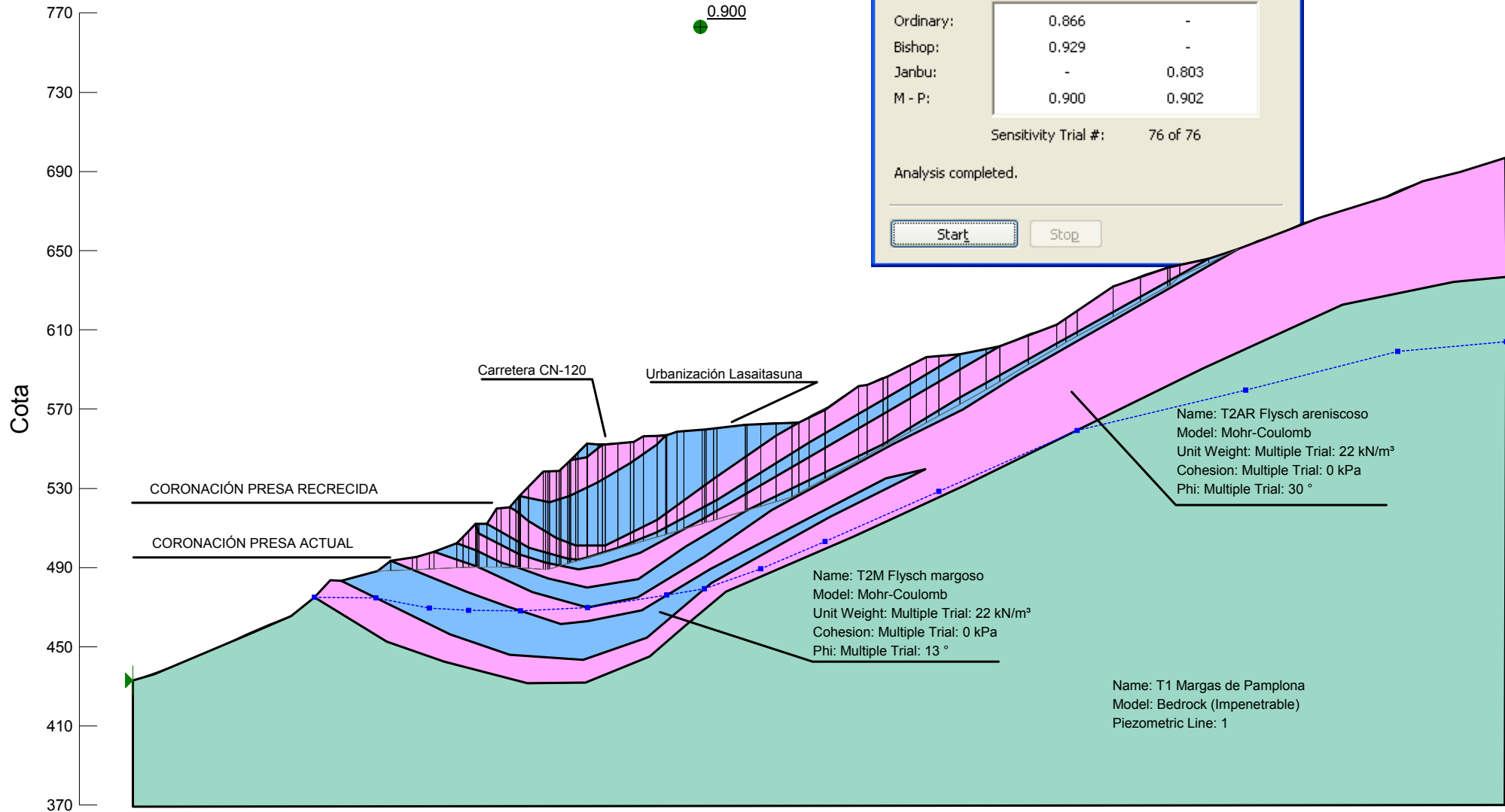
Data File: 1219-Seccion2-Sismo004g.gsz
 Analysis: Slope Stability

	Minimum Factor of Safety	
	Moment	Force
Ordinary:	0.866	-
Bishop:	0.929	-
Janbu:	-	0.803
M - P:	0.900	0.902

Sensitivity Trial #: 76 of 76

Analysis completed.

Start Stop



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica múltiple

File Name: 1219-Seccion2-EscalonadoTotal-1LP.gsz

1.311

1219-Seccion2-EscalonadoTotal-1...

File Help

SLOPE/W® 2007

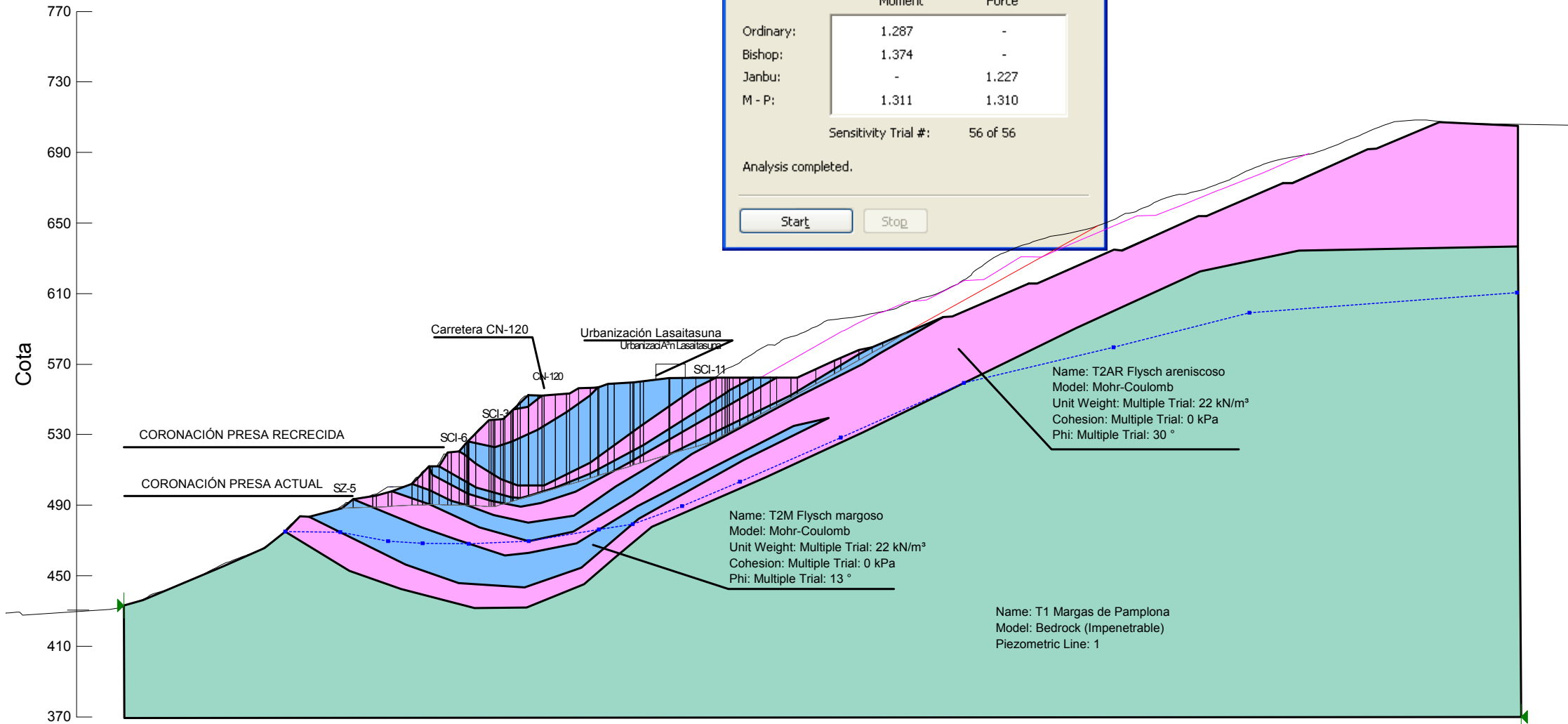
Data File: 1219-Seccion2-EscalonadoTotal-1LP.gsz
 Analysis: Slope Stability

	Minimum Factor of Safety	
	Moment	Force
Ordinary:	1.287	-
Bishop:	1.374	-
Janbu:	-	1.227
M - P:	1.311	1.310

Sensitivity Trial #: 56 of 56

Analysis completed.

Start Stop



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica múltiple

File Name: 1219-Seccion2-EscalonadoTotal-2LP.gsz

1219-Seccion2-EscalonadoTotal-2...

File Help

SLOPE/W® 2007

Data File: 1219-Seccion2-EscalonadoTotal-2LP.gsz
 Analysis: Slope Stability

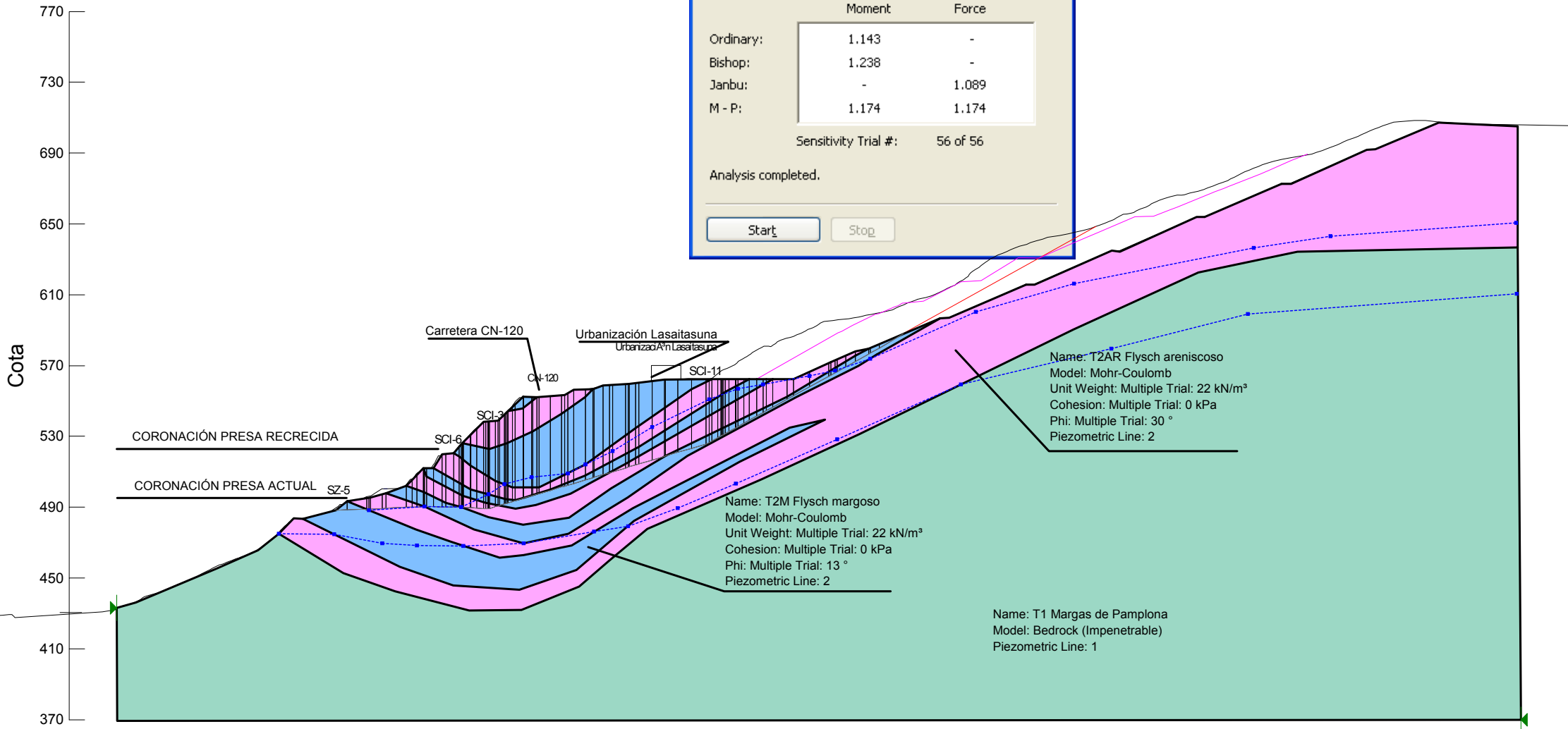
	Minimum Factor of Safety	Moment	Force
Ordinary:	1.143	-	-
Bishop:	1.238	-	-
Janbu:	-	-	1.089
M - P:	1.174	1.174	1.174

Sensitivity Trial #: 56 of 56

Analysis completed.

Start Stop

1.174



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica múltiple

File Name: 1219-Seccion2-EscalonadoParc-ABRIL-1LP.gsz

1219-Seccion2-EscalonadoParc-AB...

File Help

SLOPE/W® 2007

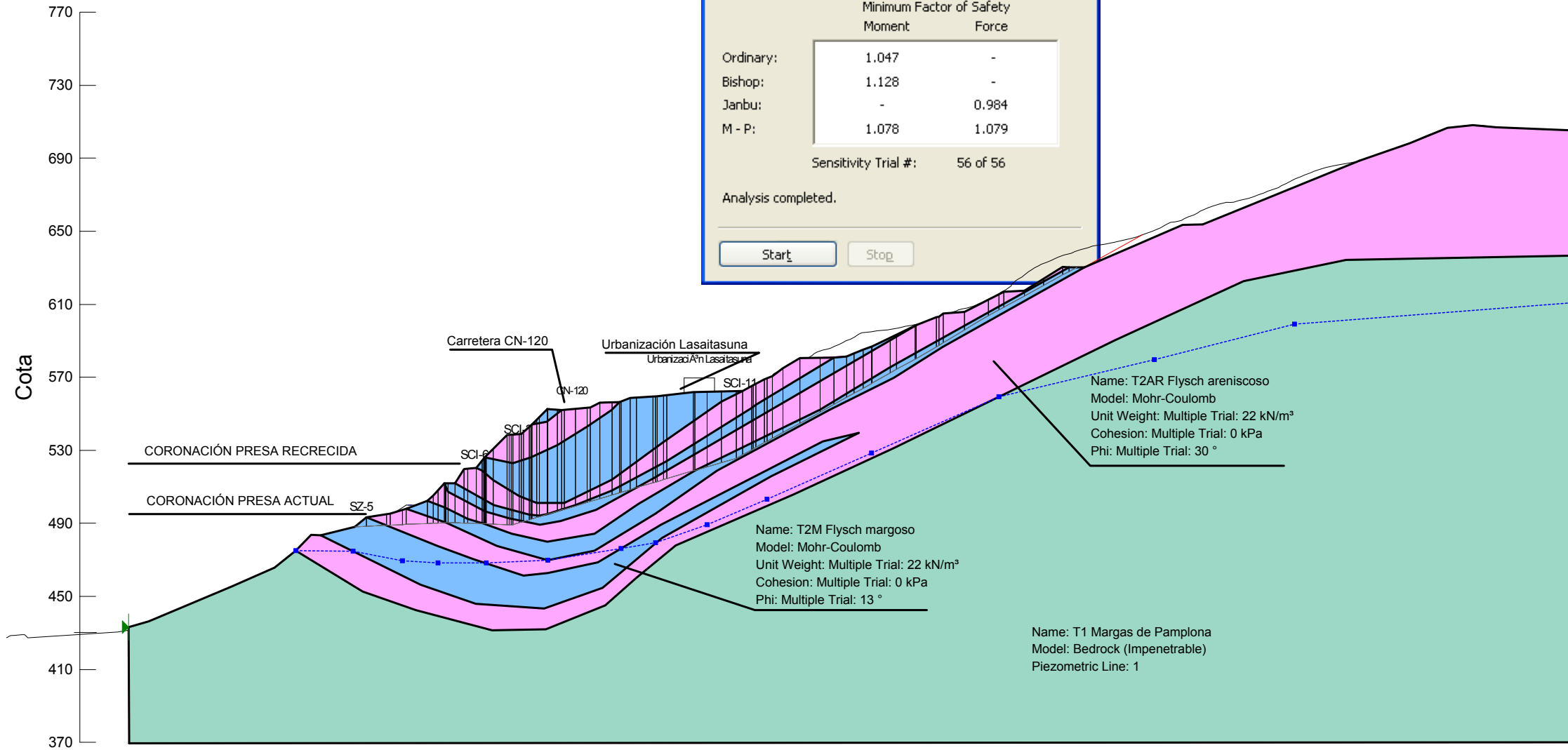
Data File: 1219-Seccion2-EscalonadoParc-ABRIL-1LP.gsz
 Analysis: Slope Stability

	Minimum Factor of Safety	
	Moment	Force
Ordinary:	1.047	-
Bishop:	1.128	-
Janbu:	-	0.984
M - P:	1.078	1.079

Sensitivity Trial #: 56 of 56

Analysis completed.

Start Stop



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica múltiple

File Name: 1219-Seccion2-EscalonadoParc-ABRIL-2LP.gsz

0.968

1219-Seccion2-EscalonadoParc-AB...

File Help

SLOPE/W® 2007

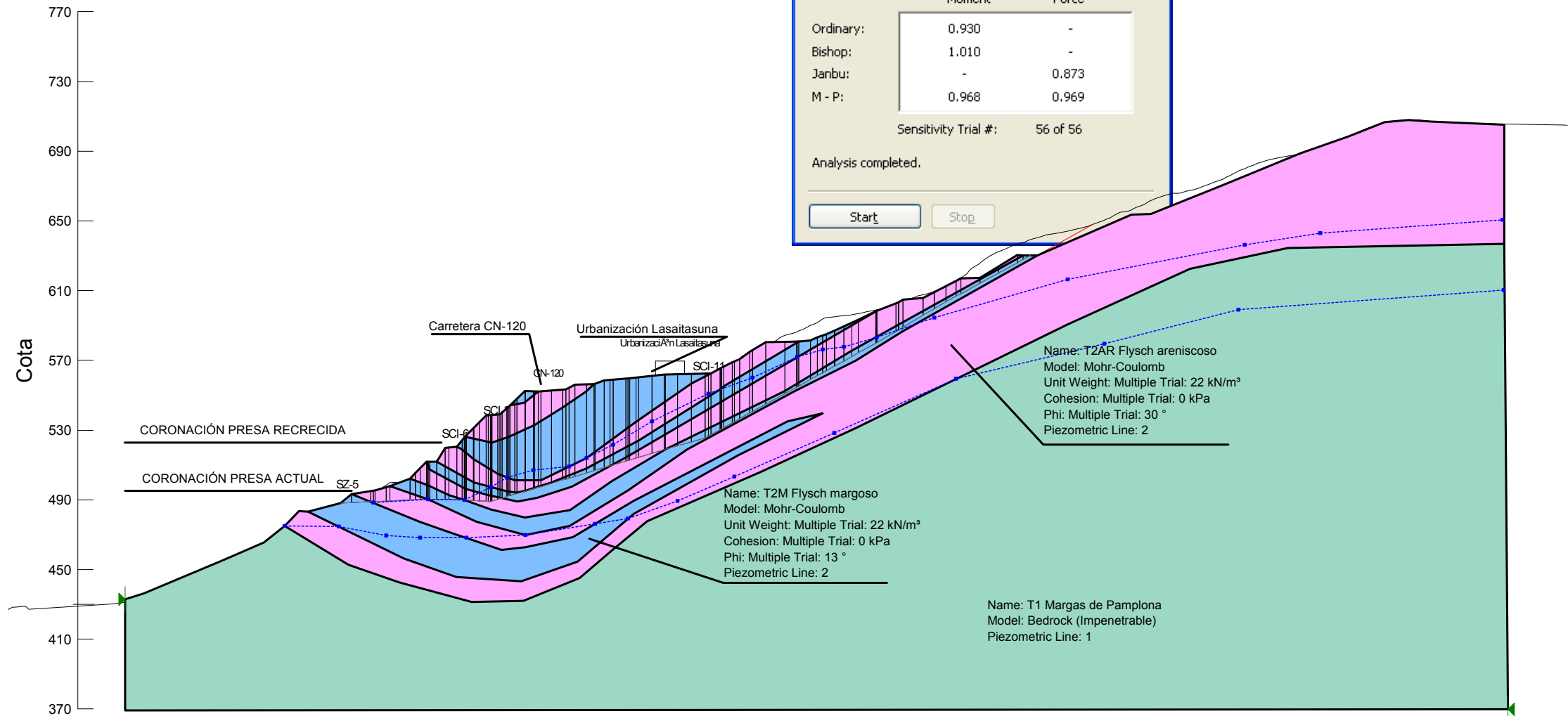
Data File: 1219-Seccion2-EscalonadoParc-ABRIL-2LP.gsz
 Analysis: Slope Stability

	Minimum Factor of Safety	
	Moment	Force
Ordinary:	0.930	-
Bishop:	1.010	-
Janbu:	-	0.873
M - P:	0.968	0.969

Sensitivity Trial #: 56 of 56

Analysis completed.

Start Stop



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica múltiple

File Name: 1219-Seccion2-EscalonadoParc-1LP.gsz

1219-Seccion2-EscalonadoParc-1L...

File Help

SLOPE/W® 2007

Data File: 1219-Seccion2-EscalonadoParc-1LP.gsz
 Analysis: Slope Stability

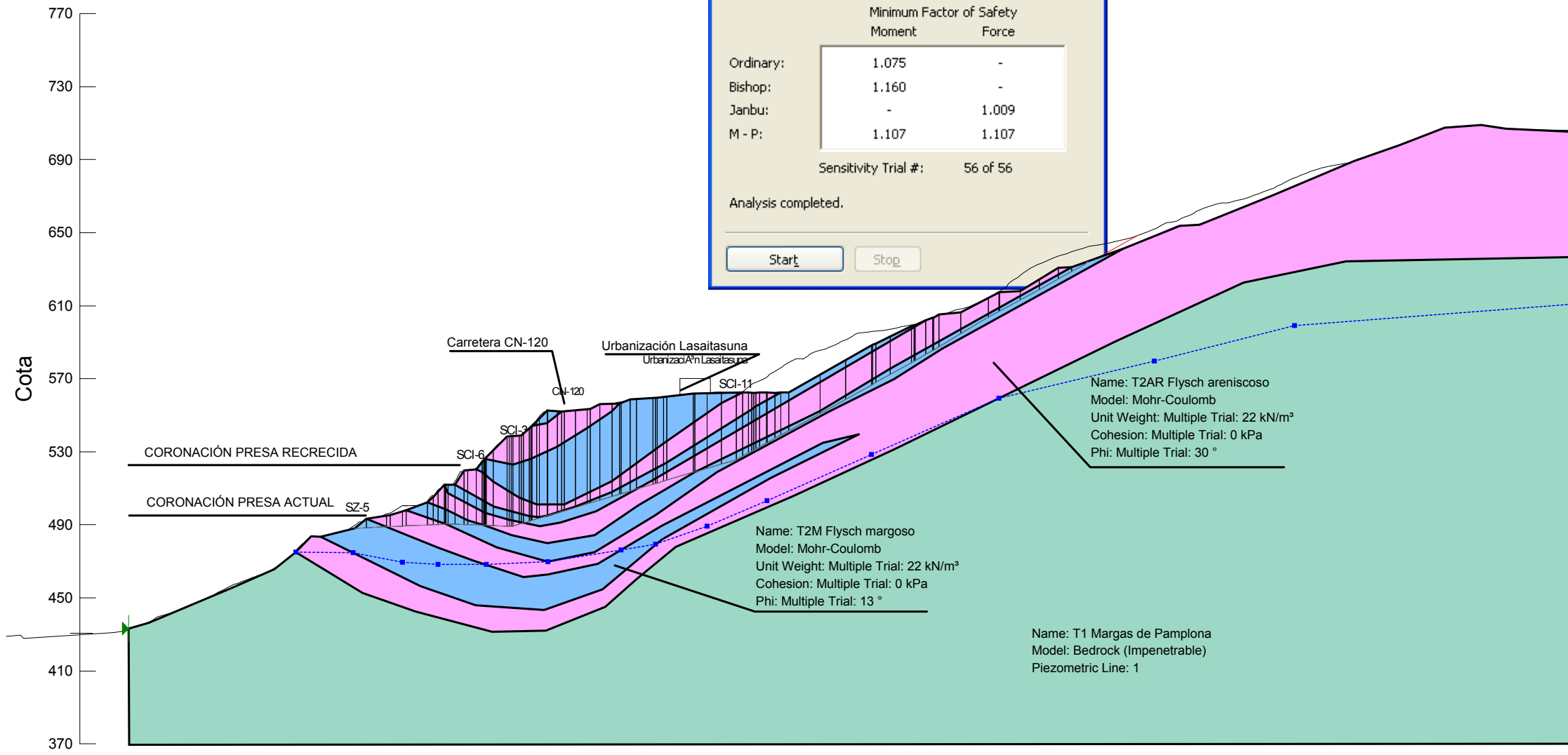
	Minimum Factor of Safety	
	Moment	Force
Ordinary:	1.075	-
Bishop:	1.160	-
Janbu:	-	1.009
M - P:	1.107	1.107

Sensitivity Trial #: 56 of 56

Analysis completed.

Start Stop

1.107



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica múltiple

File Name: 1219-Seccion2-EscalonadoParc-2LP.gsz

1219-Seccion2-EscalonadoParc-2L...

File Help

SLOPE/W® 2007

Data File: 1219-Seccion2-EscalonadoParc-2LP.gsz
 Analysis: Slope Stability

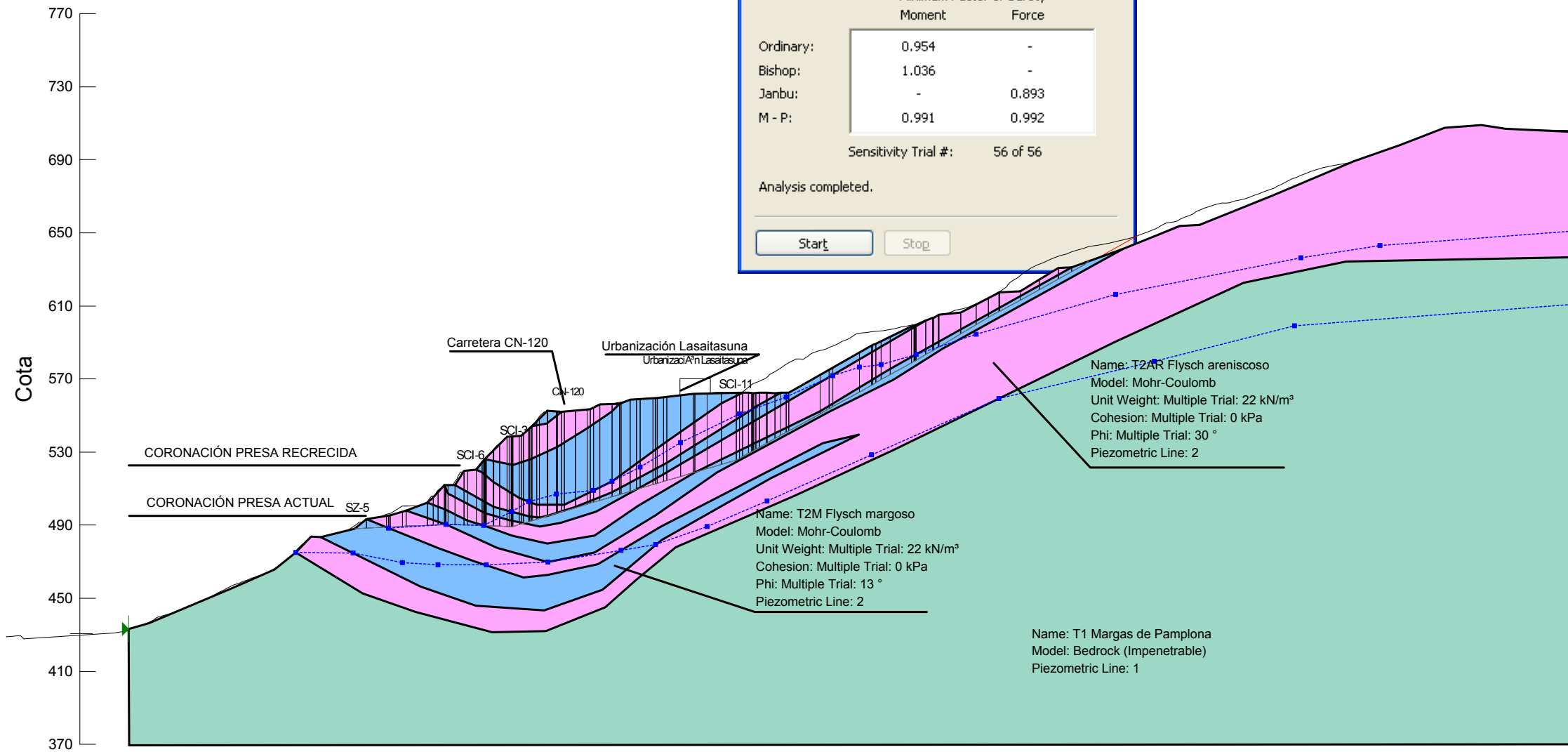
	Minimum Factor of Safety	
	Moment	Force
Ordinary:	0.954	-
Bishop:	1.036	-
Janbu:	-	0.893
M - P:	0.991	0.992

Sensitivity Trial #: 56 of 56

Analysis completed.

Start Stop

0.991



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica múltiple

File Name: 1219-Seccion2-EscalonadoTotal-2LP.gsz

1219-Seccion2-EscalonadoTotal-2...

File Help

SLOPE/W® 2007

Data File: 1219-Seccion2-EscalonadoTotal-2LP.gsz
 Analysis: Slope Stability

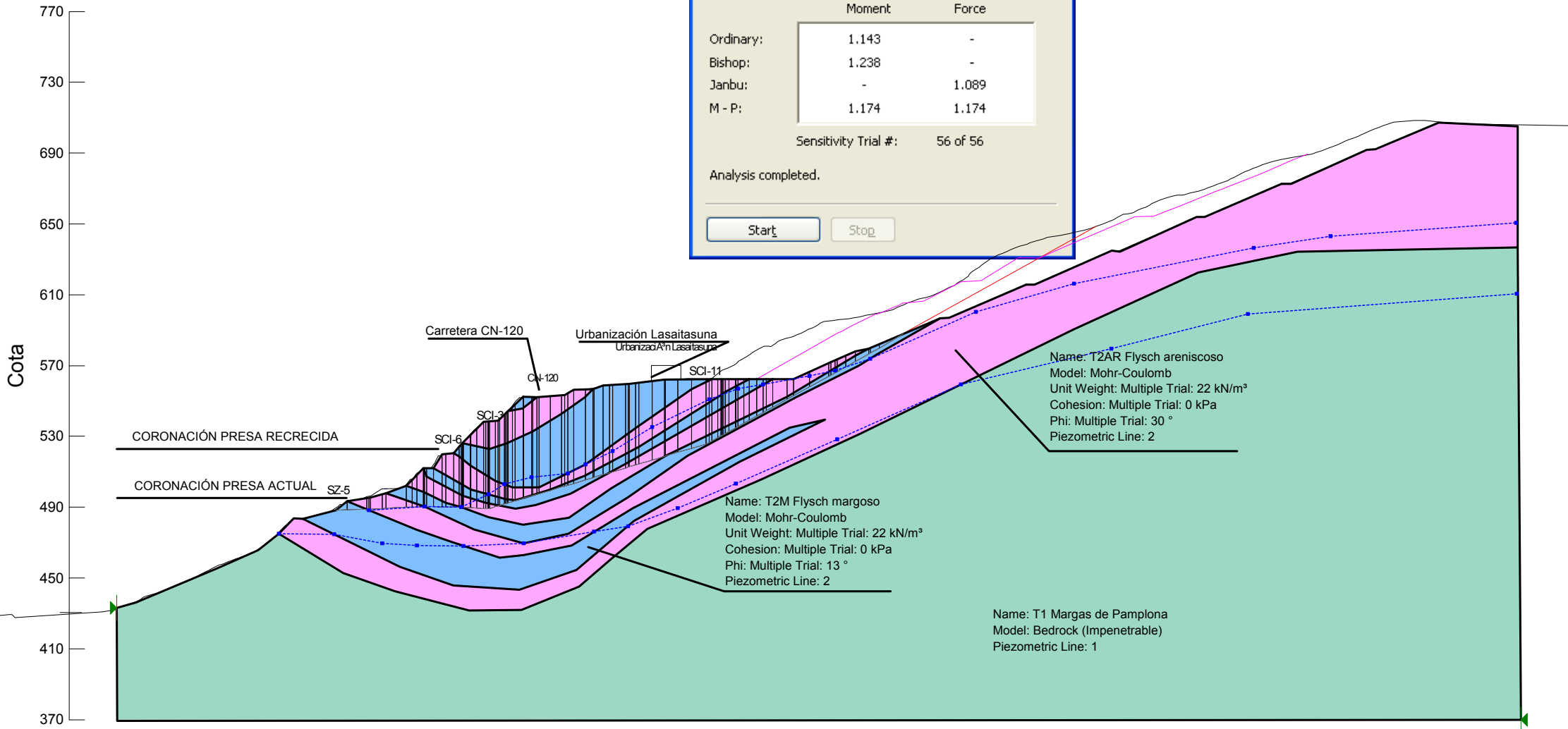
	Minimum Factor of Safety	
	Moment	Force
Ordinary:	1.143	-
Bishop:	1.238	-
Janbu:	-	1.089
M - P:	1.174	1.174

Sensitivity Trial #: 56 of 56

Analysis completed.

Start Stop

1.174



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica múltiple

File Name: 1219-Seccion2-EscalTotal+Jardineras-2LP.gsz

1.262

1219-Seccion2-EscalTotal+Jardine...

File Help

SLOPE/W® 2007

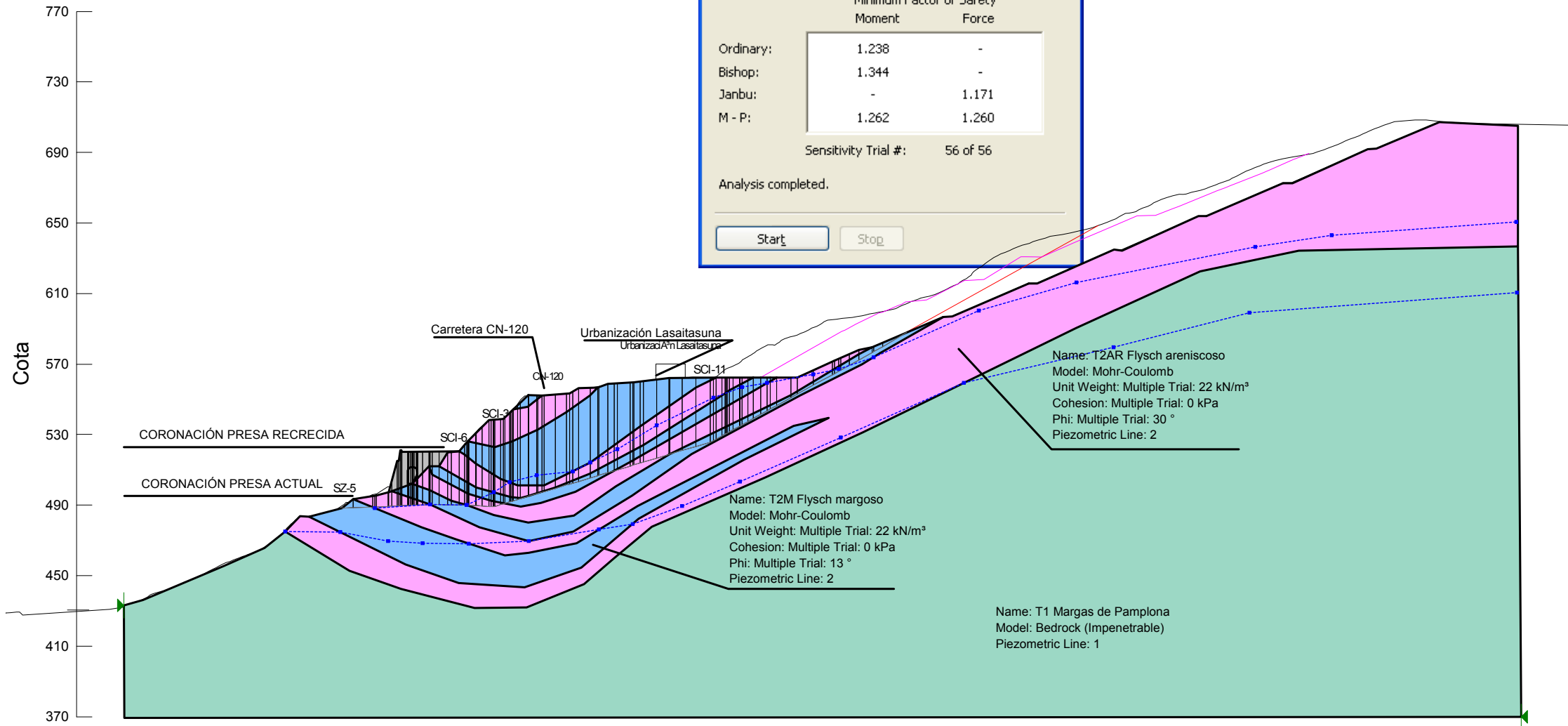
Data File: 1219-Seccion2-EscalTotal+Jardineras-2LP.gsz
 Analysis: Slope Stability

	Minimum Factor of Safety	
	Moment	Force
Ordinary:	1.238	-
Bishop:	1.344	-
Janbu:	-	1.171
M - P:	1.262	1.260

Sensitivity Trial #: 56 of 56

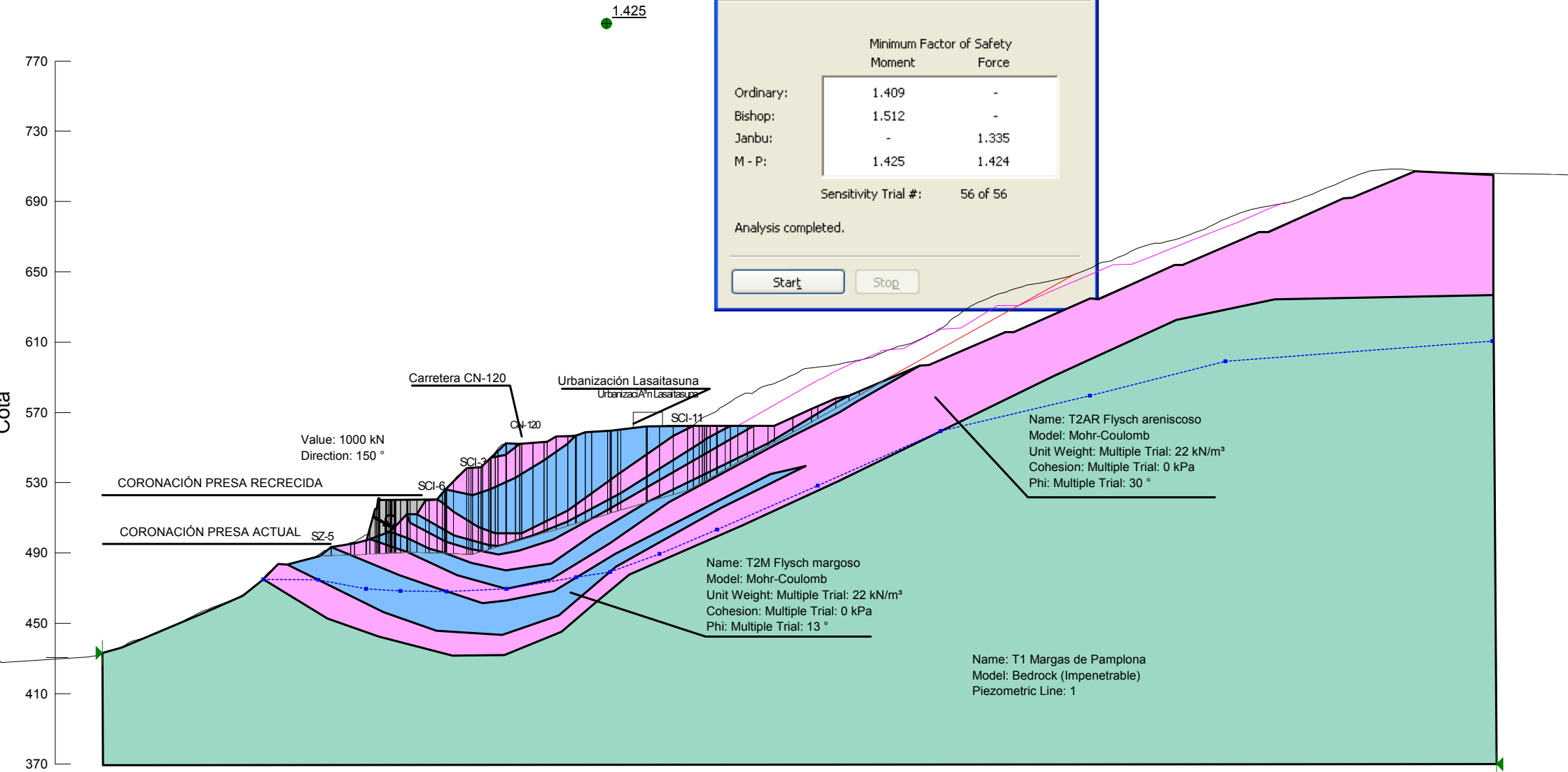
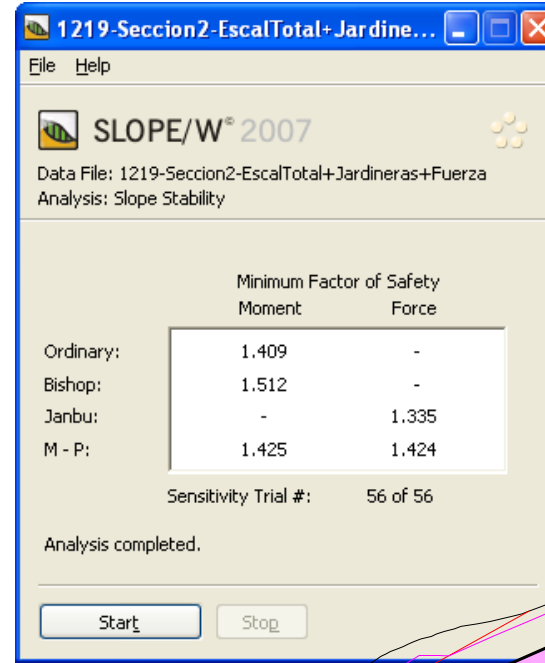
Analysis completed.

Start Stop



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica múltiple

File Name: 1219-Seccion2-EscalTotal+Jardineras+Fuerza externa-1LP.gsz



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica múltiple

File Name: 1219-Seccion2-EscalTotal+Jardineras+Fuerza externa-2LP.gsz

1219-Seccion2-EscalTotal+ Jardine...

File Help

SLOPE/W® 2007

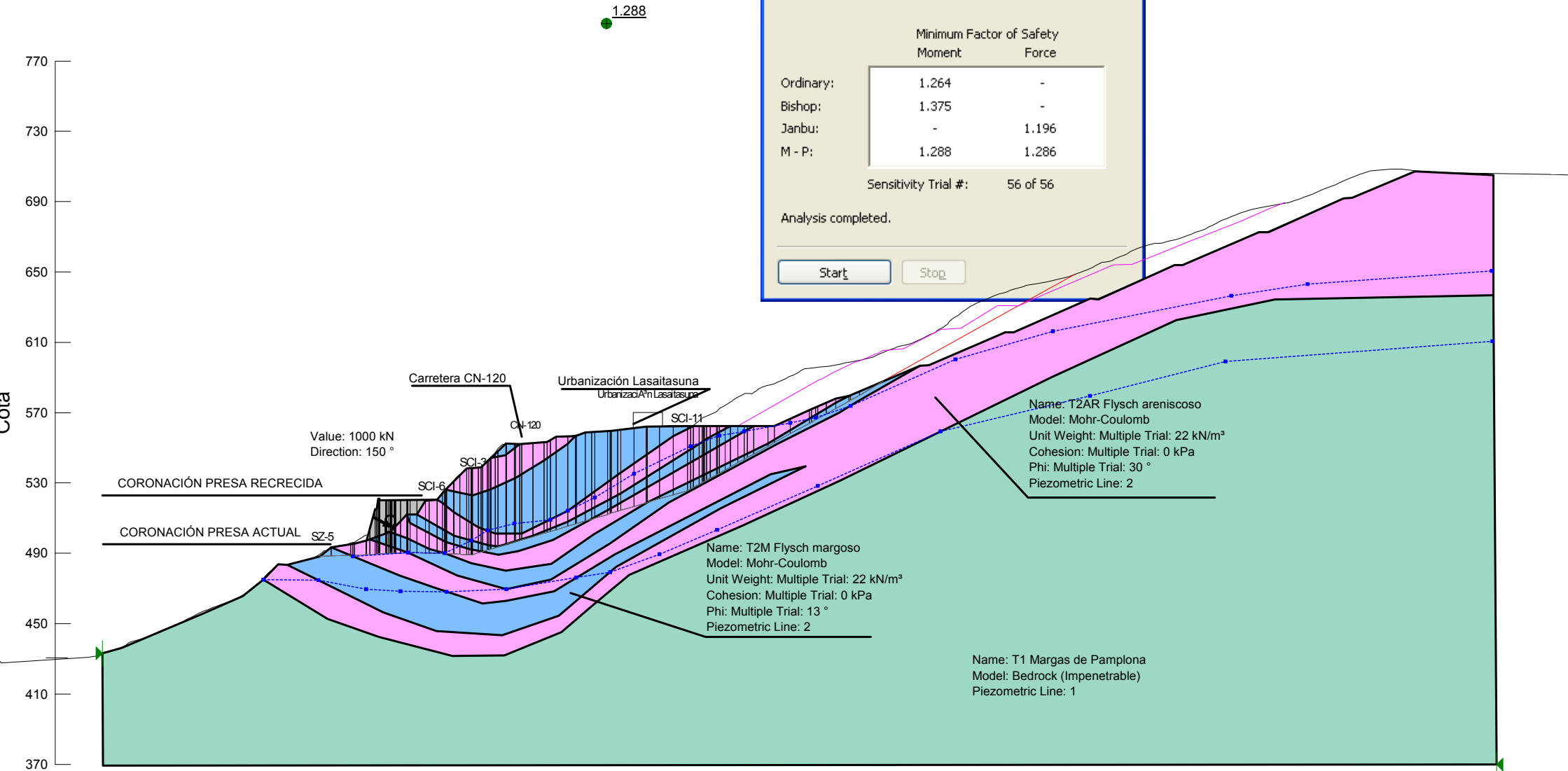
Data File: 1219-Seccion2-EscalTotal+Jardineras+Fuerza
 Analysis: Slope Stability

	Minimum Factor of Safety	
	Moment	Force
Ordinary:	1.264	-
Bishop:	1.375	-
Janbu:	-	1.196
M - P:	1.288	1.286

Sensitivity Trial #: 56 of 56

Analysis completed.

Start Stop



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica múltiple

File Name: 1219-Seccion2-EscalTotal+Jardineras+Anclaje-2LP.gsz

1219-Seccion2-EscalTotal+ Jardine...

File Help

SLOPE/W® 2007

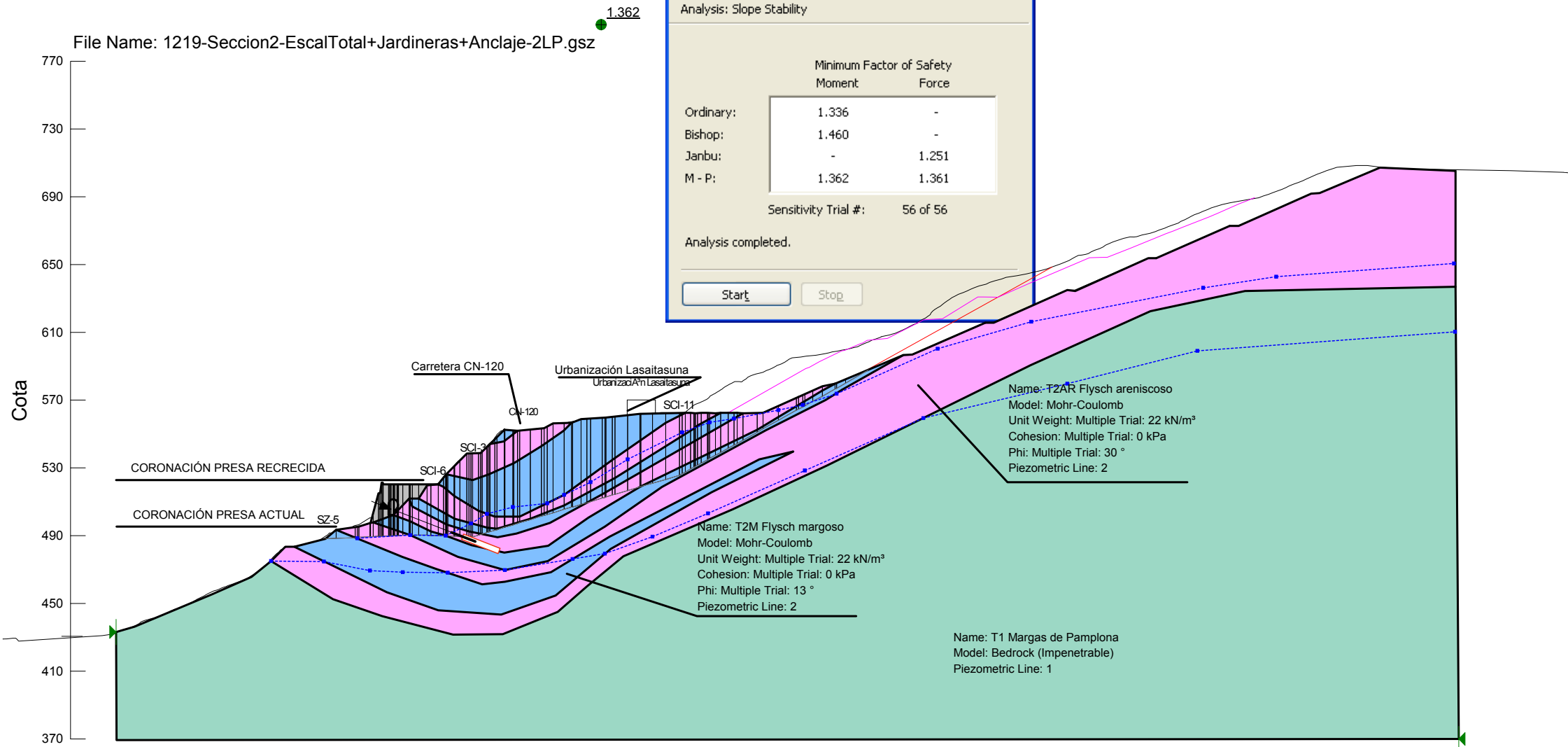
Data File:
 Analysis: Slope Stability

	Minimum Factor of Safety	
	Moment	Force
Ordinary:	1.336	-
Bishop:	1.460	-
Janbu:	-	1.251
M - P:	1.362	1.361

Sensitivity Trial #: 56 of 56

Analysis completed.

Start Stop



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica múltiple

File Name: 1219-Seccion2-EscalTotal+Jardineras+Anclaje-2LP.gsz

1219-Seccion2-EscalTotal+ Jardine...

File Help

SLOPE/W® 2007

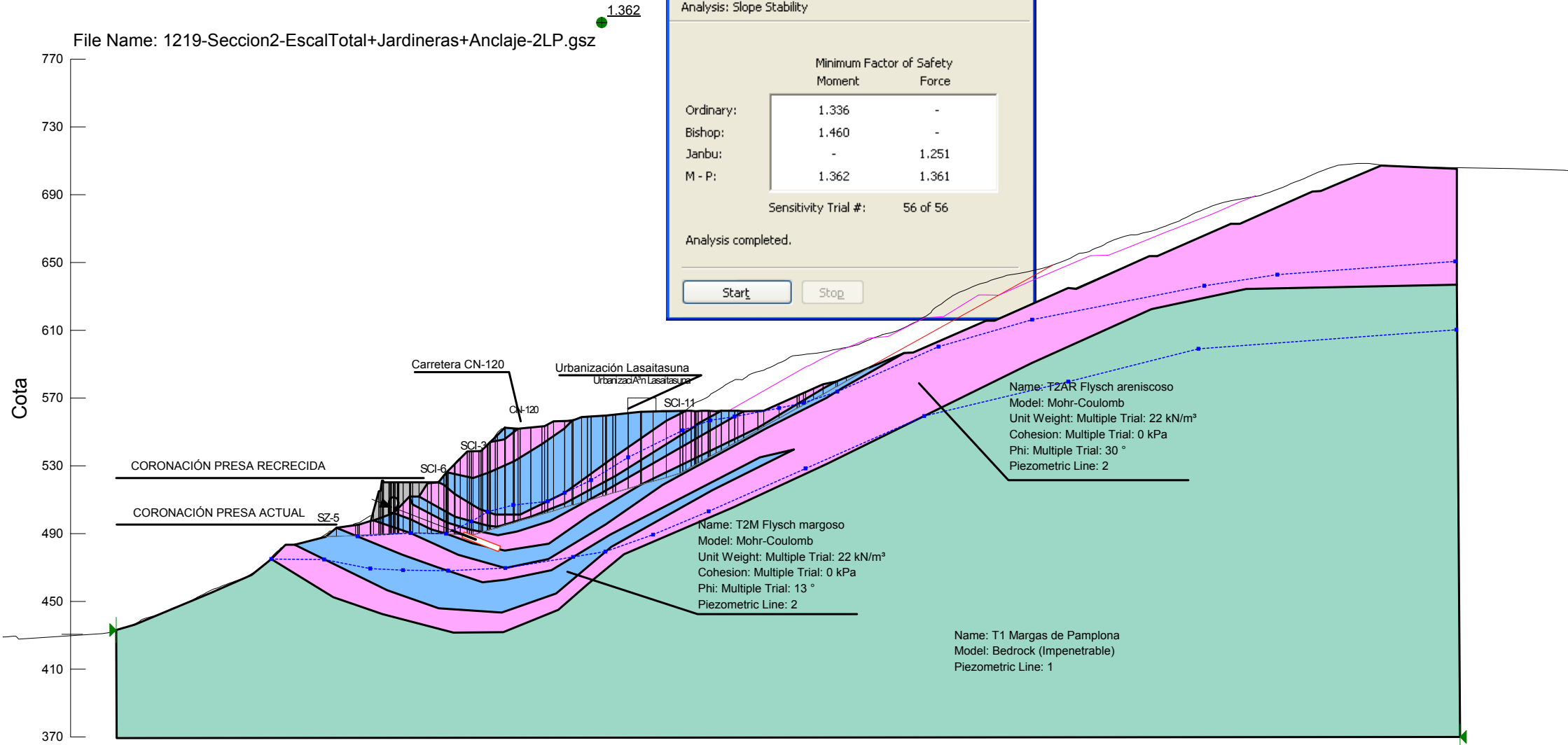
Data File:
 Analysis: Slope Stability

	Minimum Factor of Safety	
	Moment	Force
Ordinary:	1.336	-
Bishop:	1.460	-
Janbu:	-	1.251
M - P:	1.362	1.361

Sensitivity Trial #: 56 of 56

Analysis completed.

Start Stop



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica múltiple

File Name: 1219-Seccion2-ET+J+A-LPFutura.gsz

1219-Seccion2-ET+J+A-LPFutura...

File Help

SLOPE/W® 2007

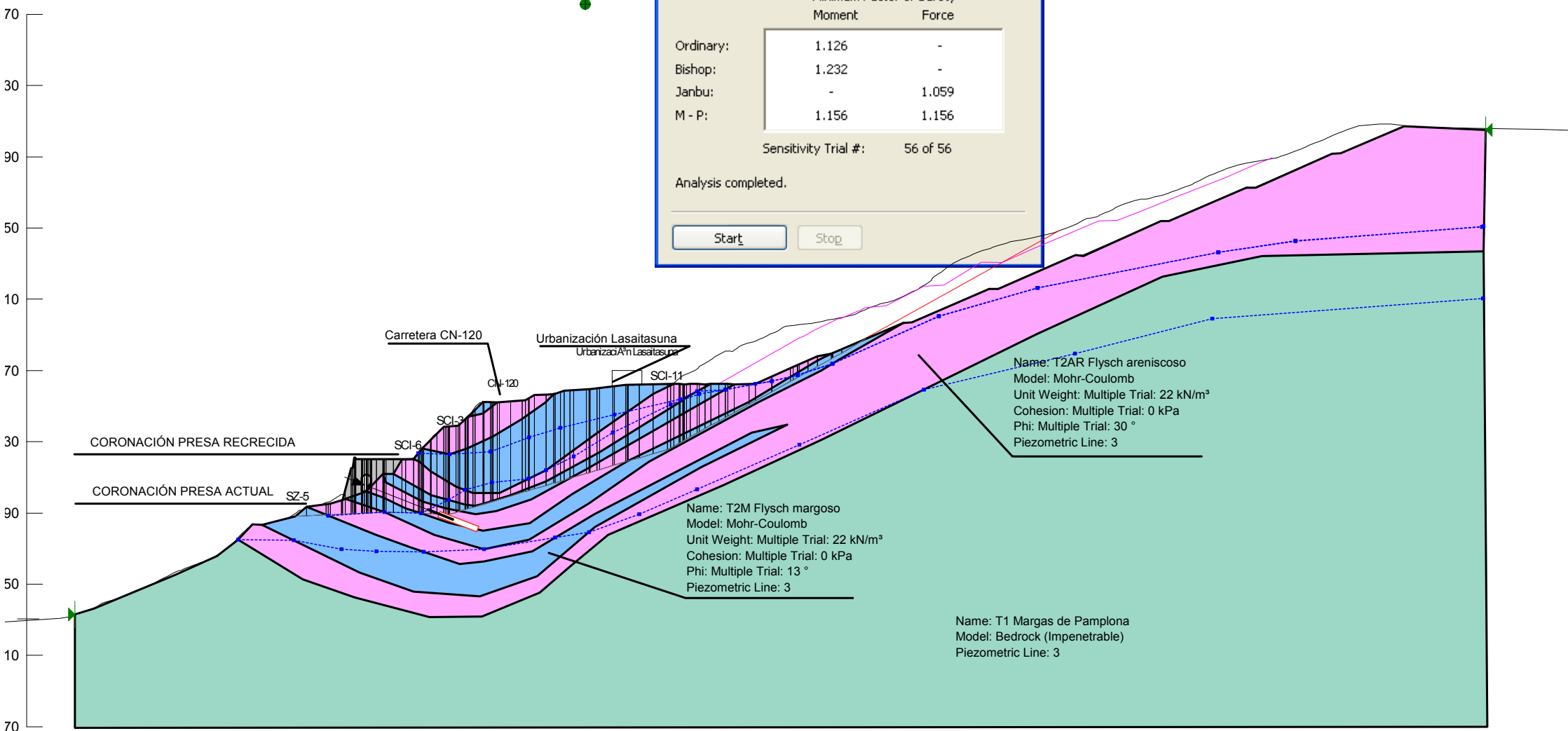
Data File: 1219-Seccion2-ET+J+A-LPFutura.gsz
 Analysis: Slope Stability

	Minimum Factor of Safety	
	Moment	Force
Ordinary:	1.126	-
Bishop:	1.232	-
Janbu:	-	1.059
M - P:	1.156	1.156

Sensitivity Trial #: 56 of 56

Analysis completed.

Start Stop



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica múltiple

File Name: 1219-Seccion2-ET+J+A-LPFutura1.3.gsz

1219-Seccion2-ET+J+A-LPFutura1...

File Help

SLOPE/W® 2007

Data File: 1219-Seccion2-ET+J+A-LPFutura1.3.gsz
 Analysis: Slope Stability

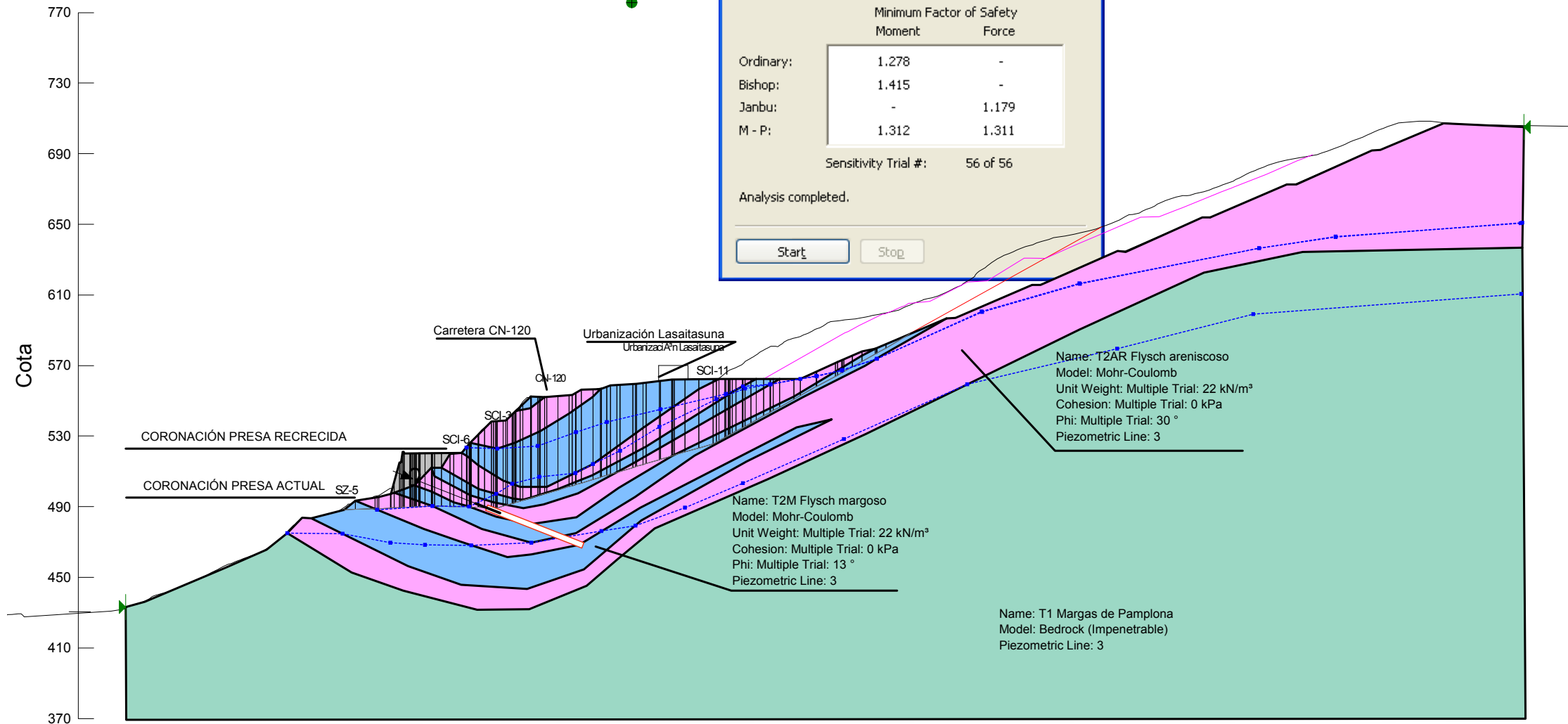
	Minimum Factor of Safety	
	Moment	Force
Ordinary:	1.278	-
Bishop:	1.415	-
Janbu:	-	1.179
M - P:	1.312	1.311

Sensitivity Trial #: 56 of 56

Analysis completed.

Start Stop

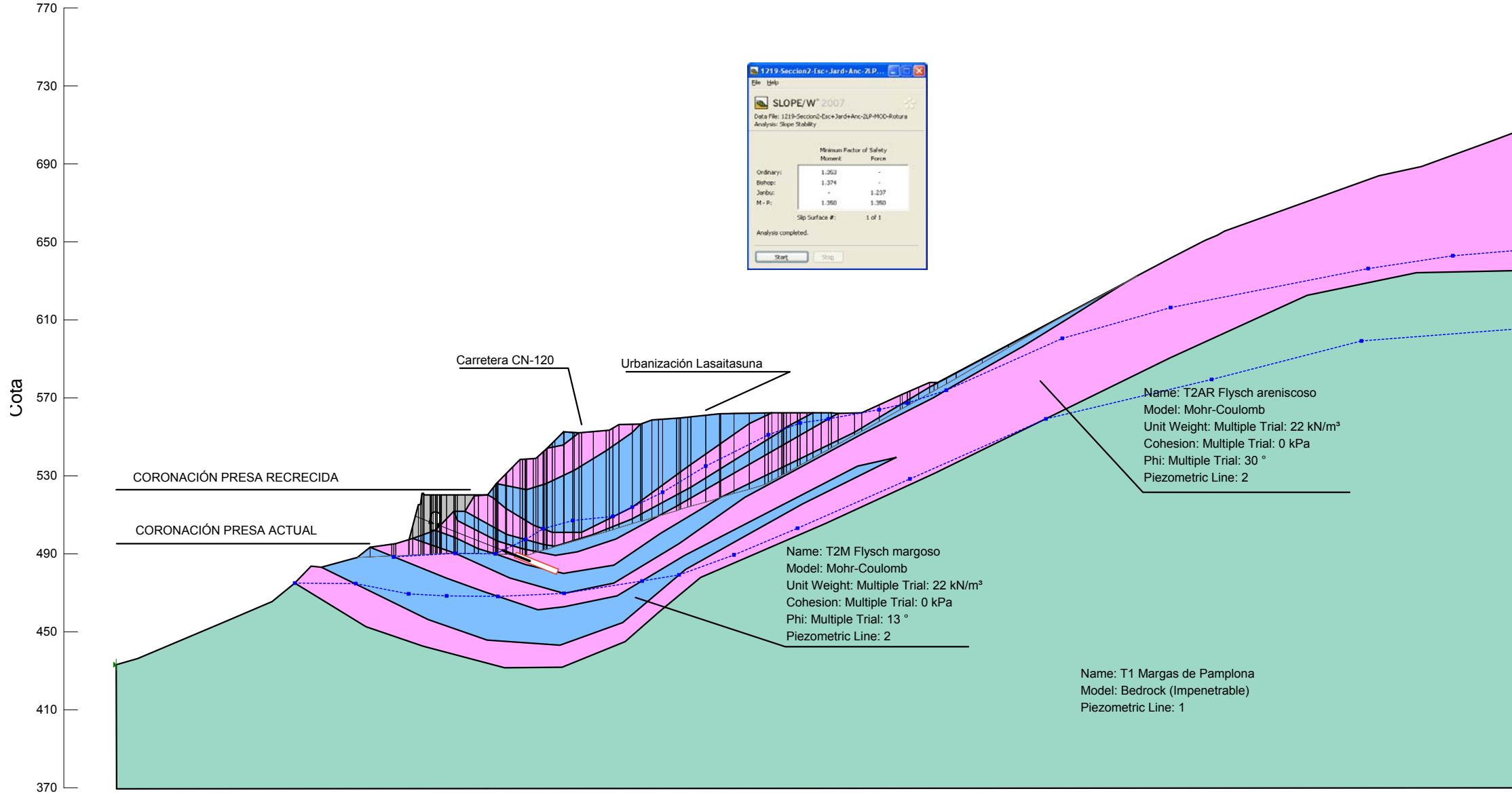
1.312



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica múltiple

1.350

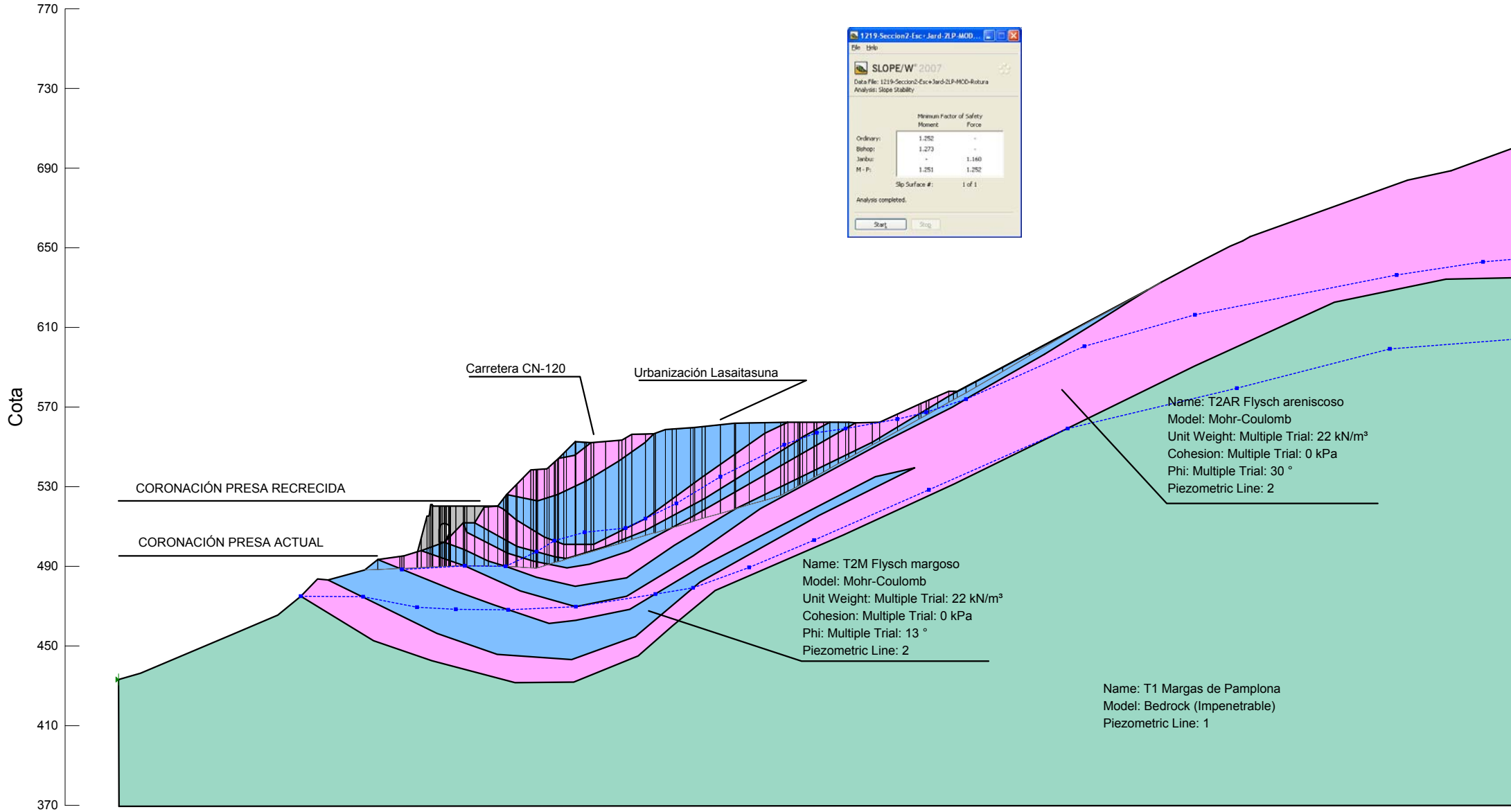
File Name: 1219-Seccion2-Esc+Jard+Anc-2LP-MOD-Rotura supuesta-Ed2.gsz



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica múltiple

1.251

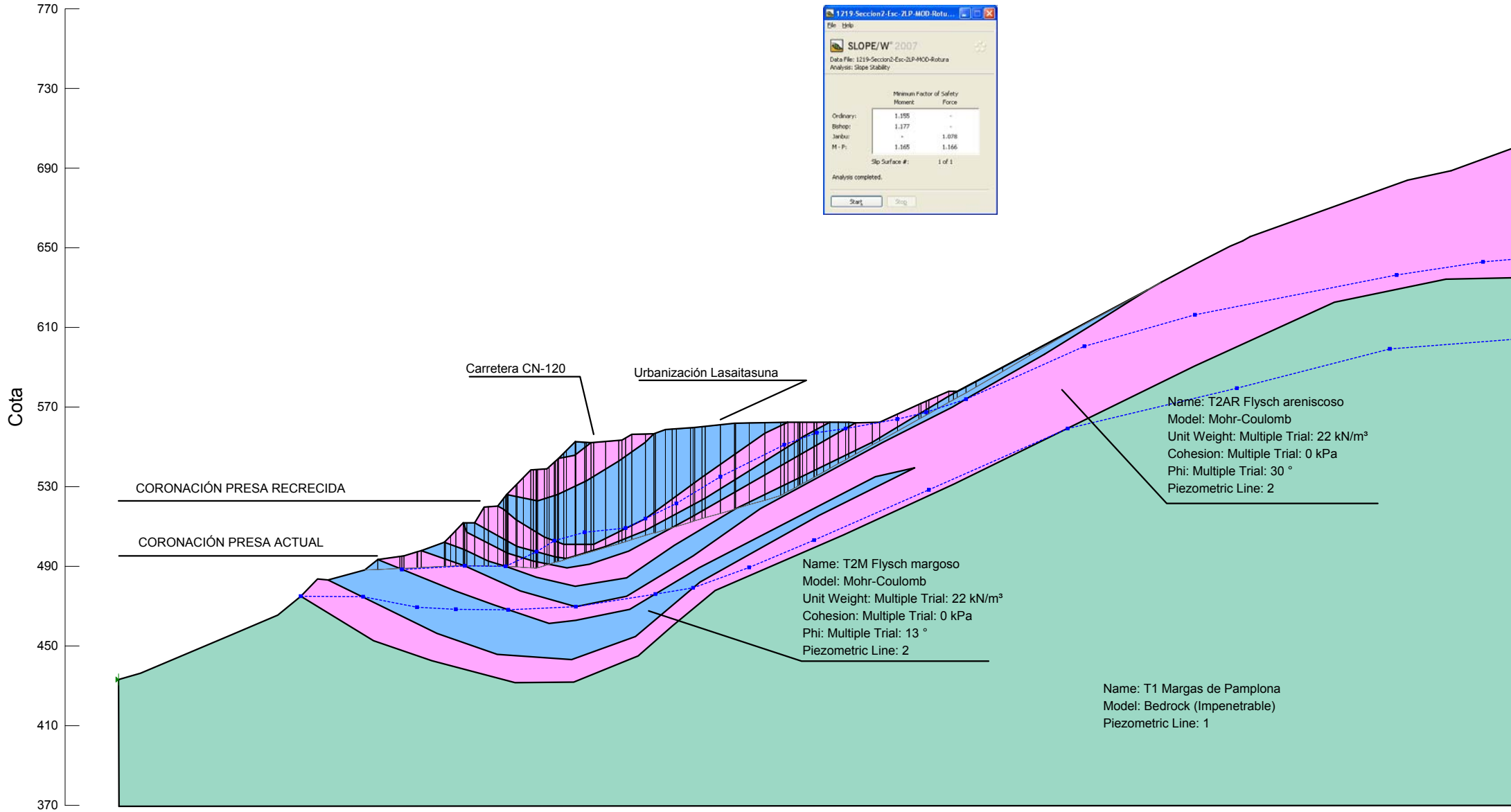
File Name: 1219-Seccion2-Esc+Jard-2LP-MOD-Rotura supuesta-Ed2.gsz



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica múltiple

1.165

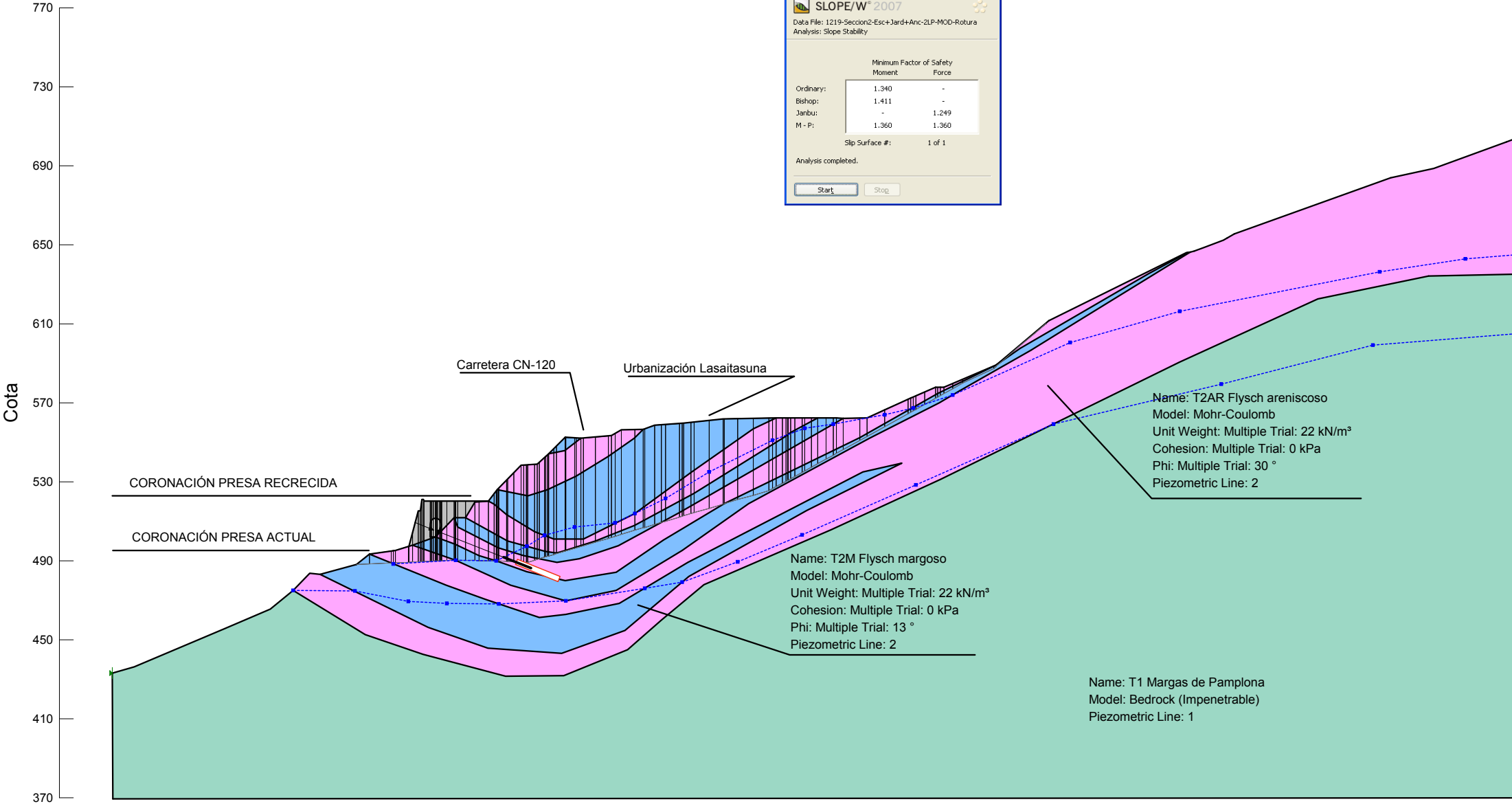
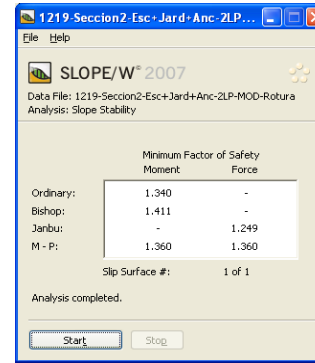
File Name: 1219-Seccion2-Esc-2LP-MOD-Rotura supuesta-Ed2.gsz



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica múltiple

1.360

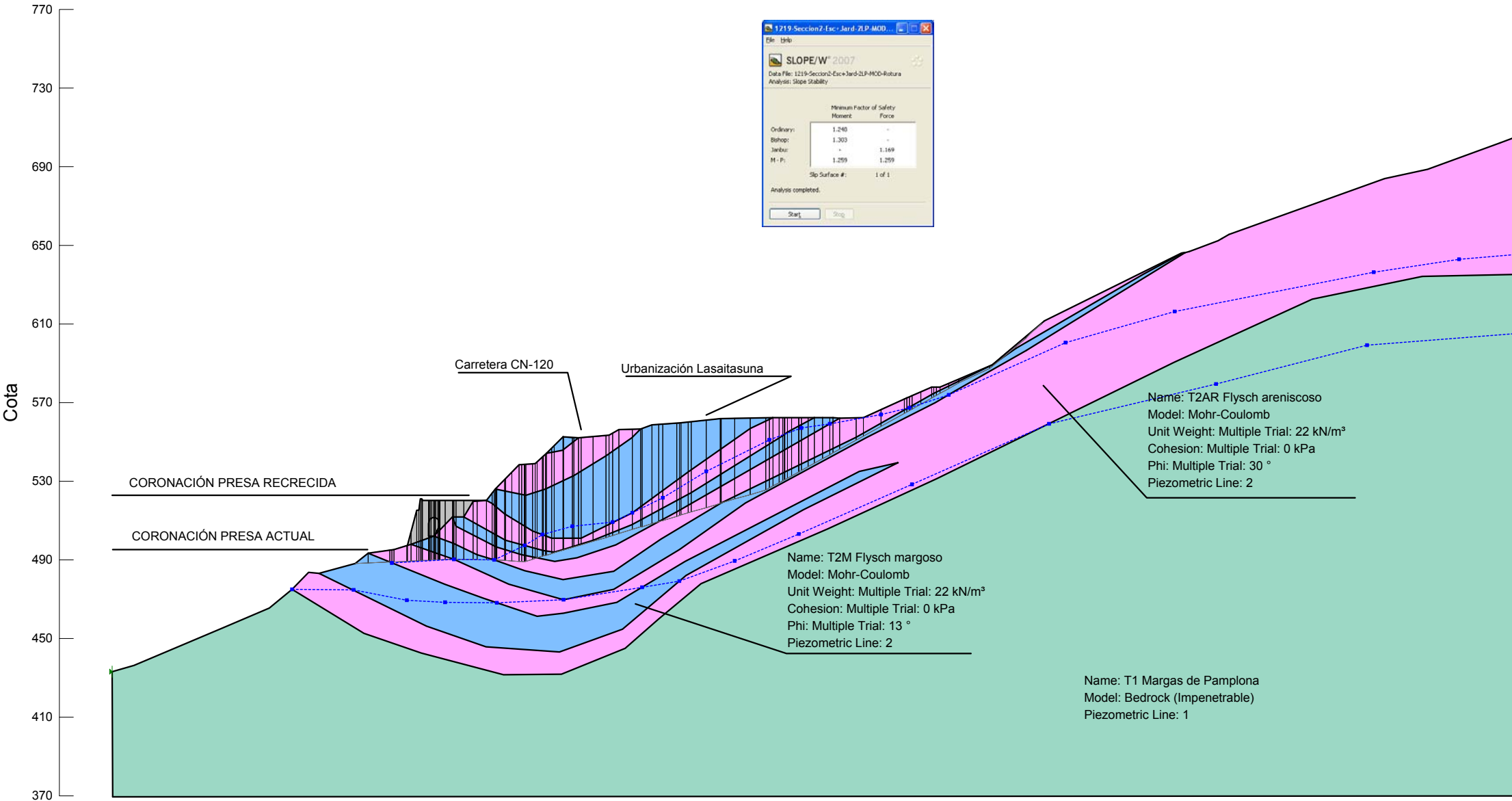
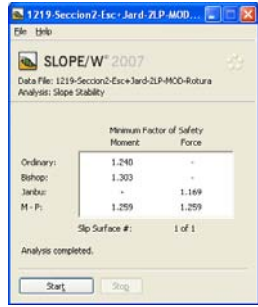
File Name: 1219-Seccion2-Esc+Jard+Anc-2LP-MOD-Rotura Asistencia-Ed2.gsz



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica múltiple

1.259

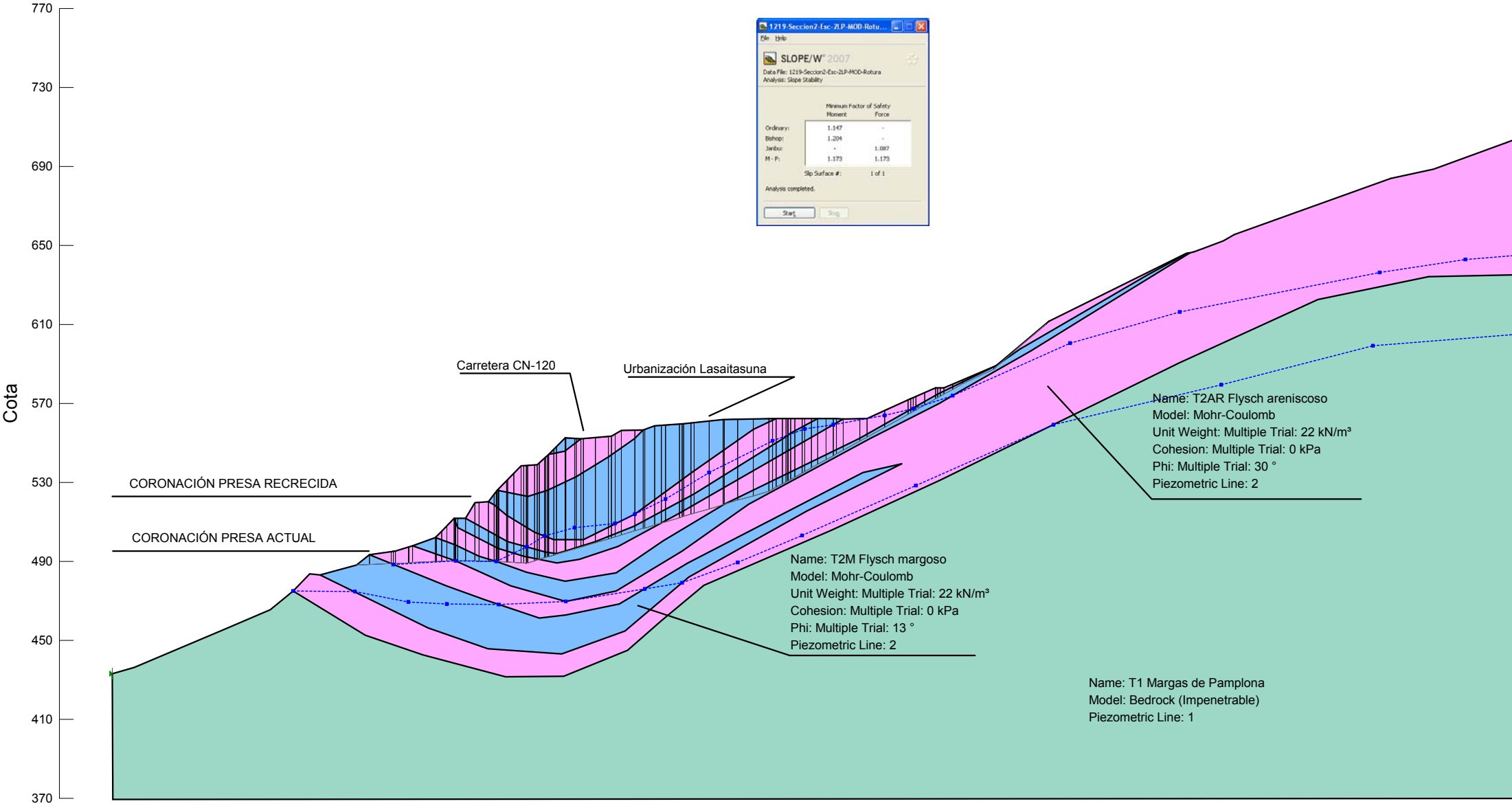
File Name: 1219-Seccion2-Esc+Jard-2LP-MOD-Rotura Asistencia-Ed2.gsz



ESTABILIDAD LADERA DE YESA
 Rotura tipo "fully specified"
 Línea piezométrica múltiple

1.173

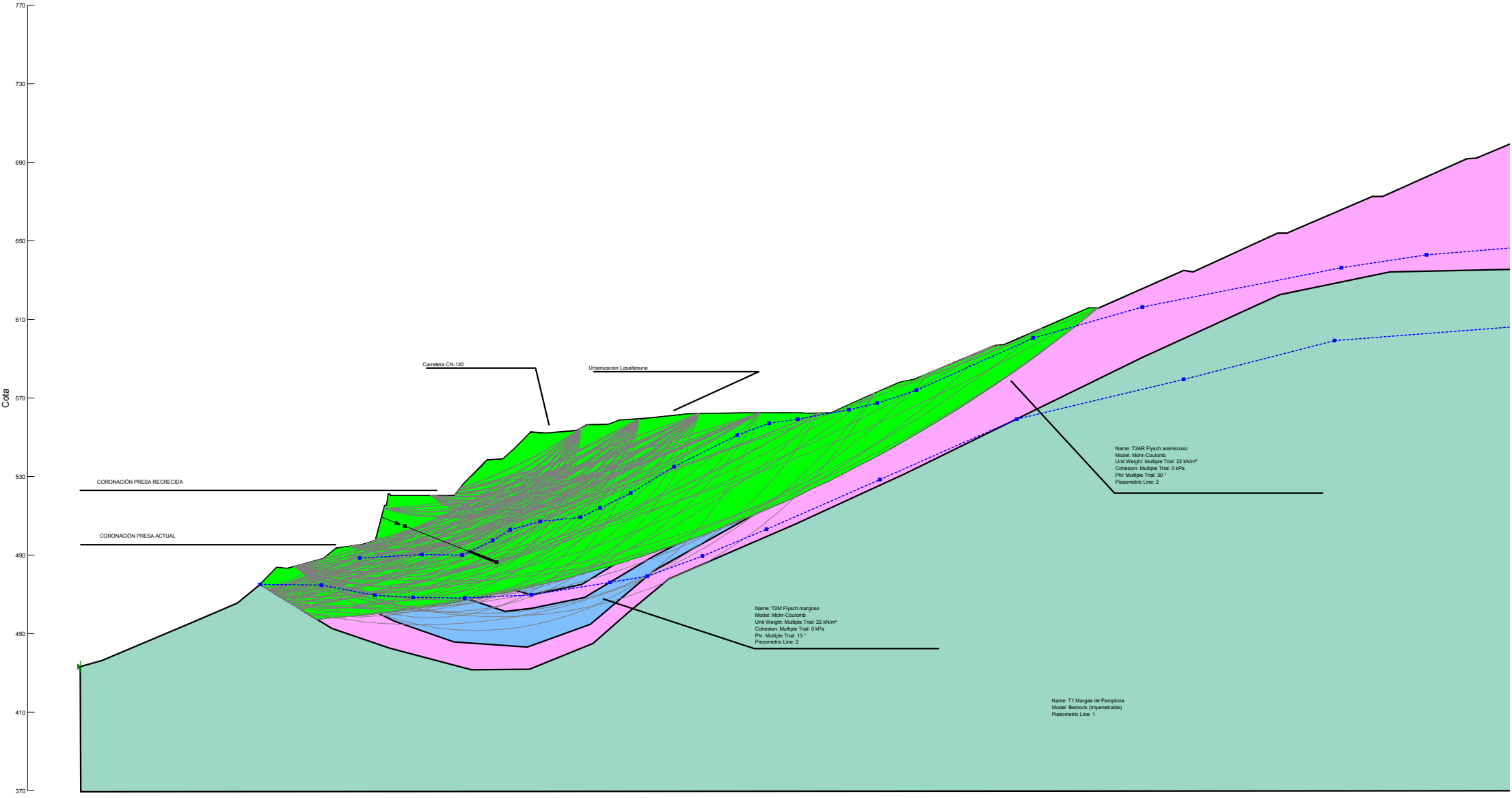
File Name: 1219-Seccion2-Esc-2LP-MOD-Rotura Asistencia-Ed2.gsz



Rotura tipo "fully specified"
Línea piezométrica múltiple

1.256

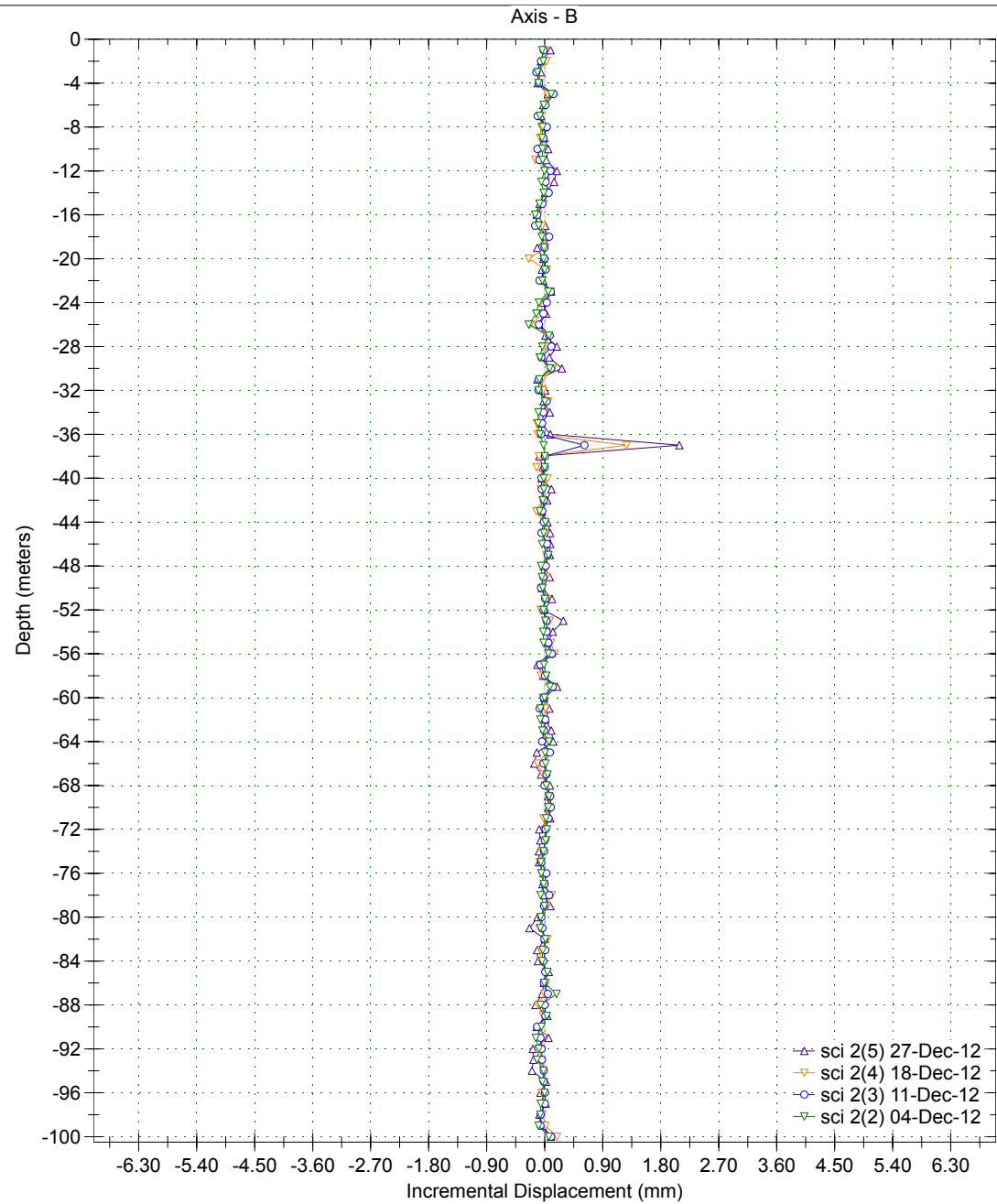
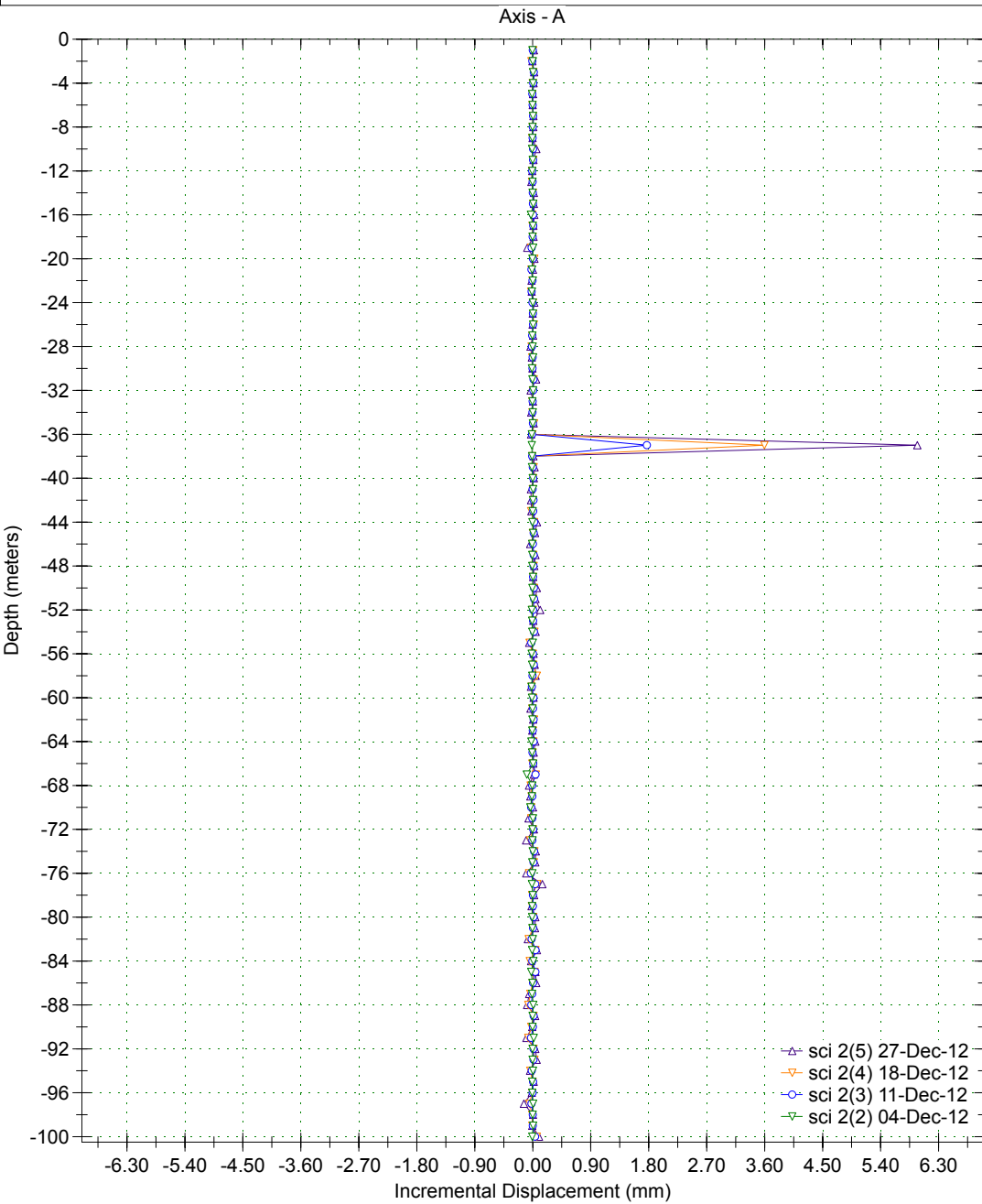
File Name: 1219-Seccion2-Esc+Jard+Anc-2LP-MOD-Autolocate.gsz



6.4. APÉNDICE 4. SALIDAS GRÁFICAS DE INCLINALYSIS

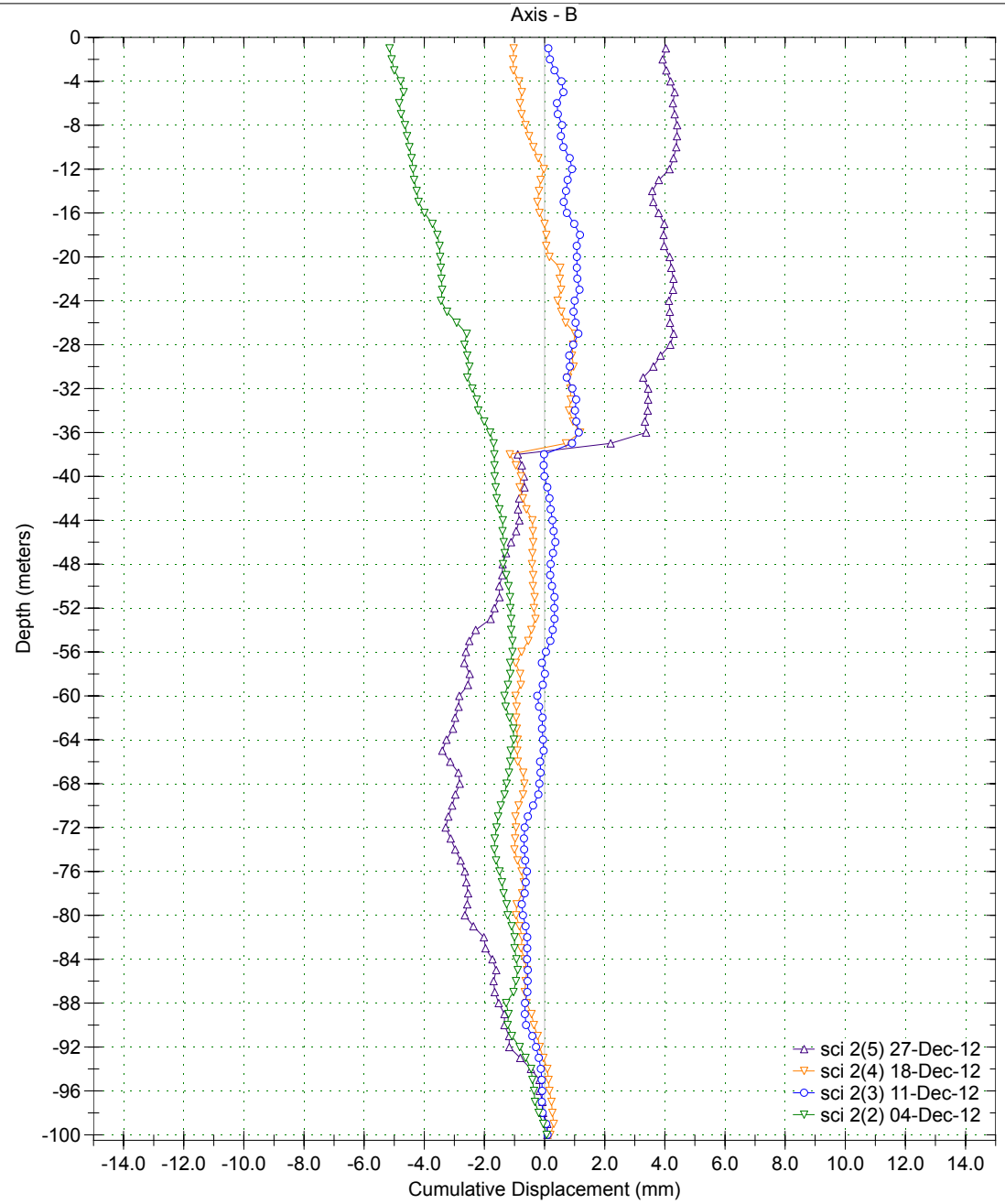
Borehole : sci 2
Project : Default Site
Location : YESA - Margen dcha
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 100.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2012 Dec 04 14:22
Applied Azimuth : 0.0 degrees



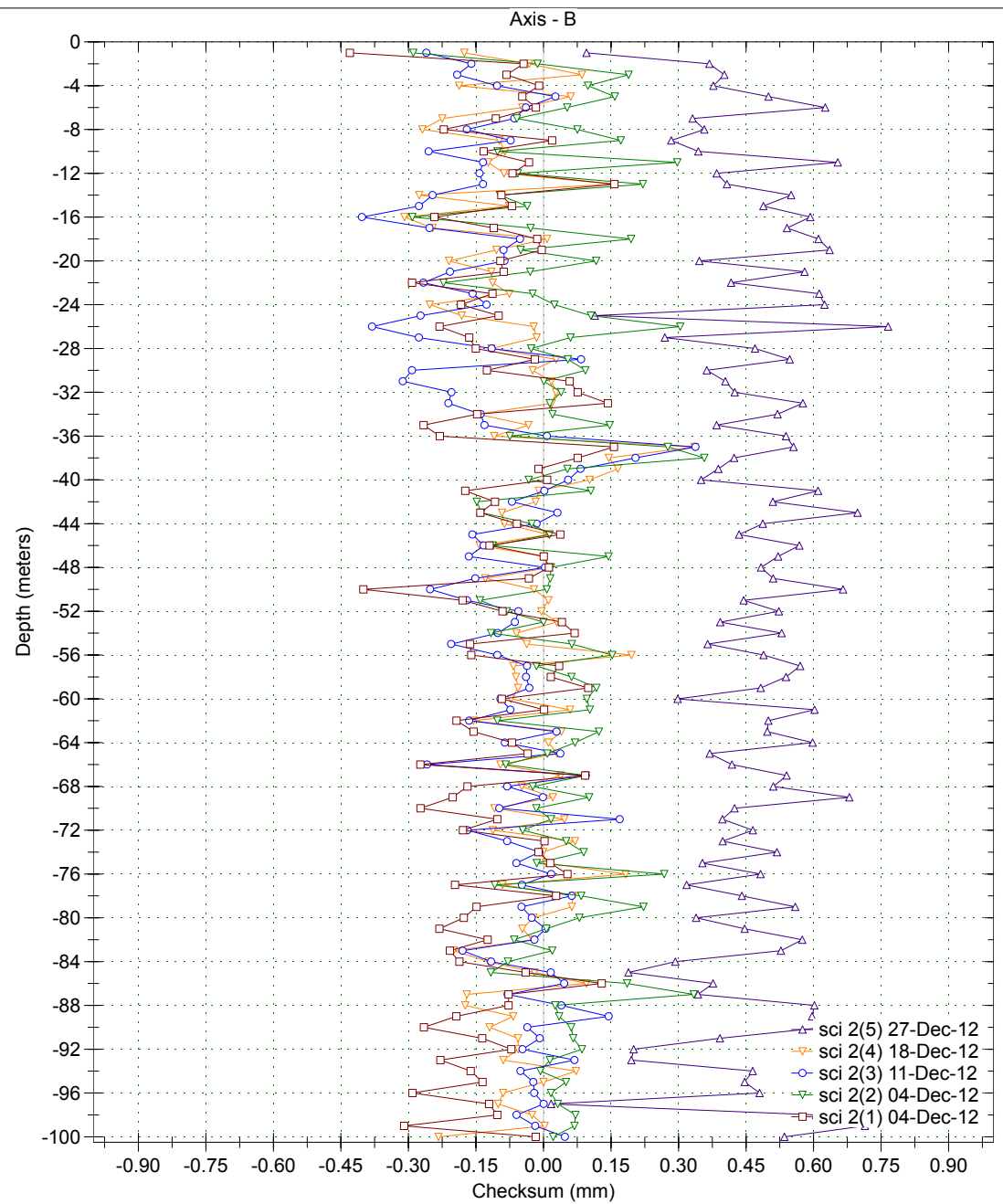
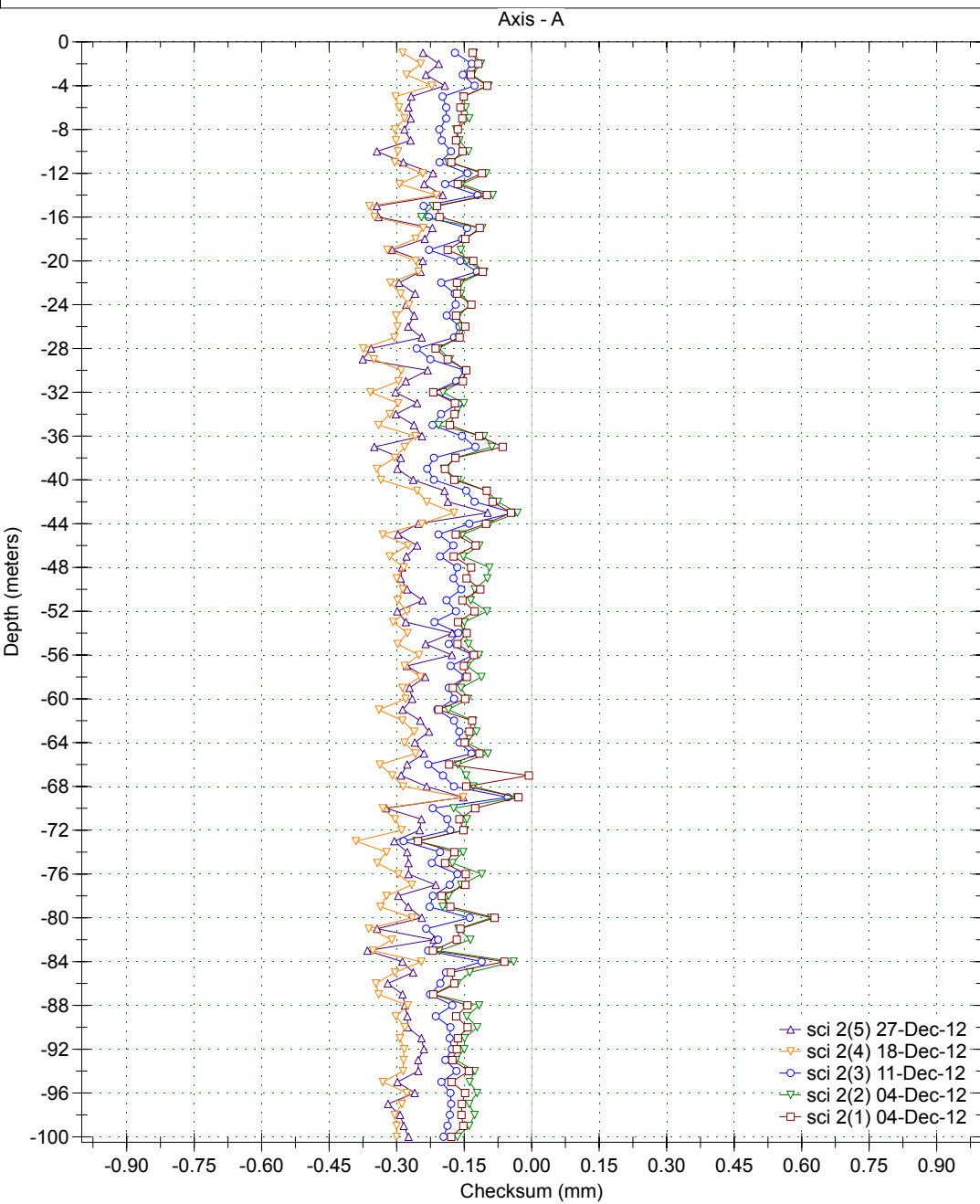
Borehole : sci 2
Project : Default Site
Location : YESA - Margen dcha
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 100.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2012 Dec 04 14:22
Applied Azimuth : 0.0 degrees



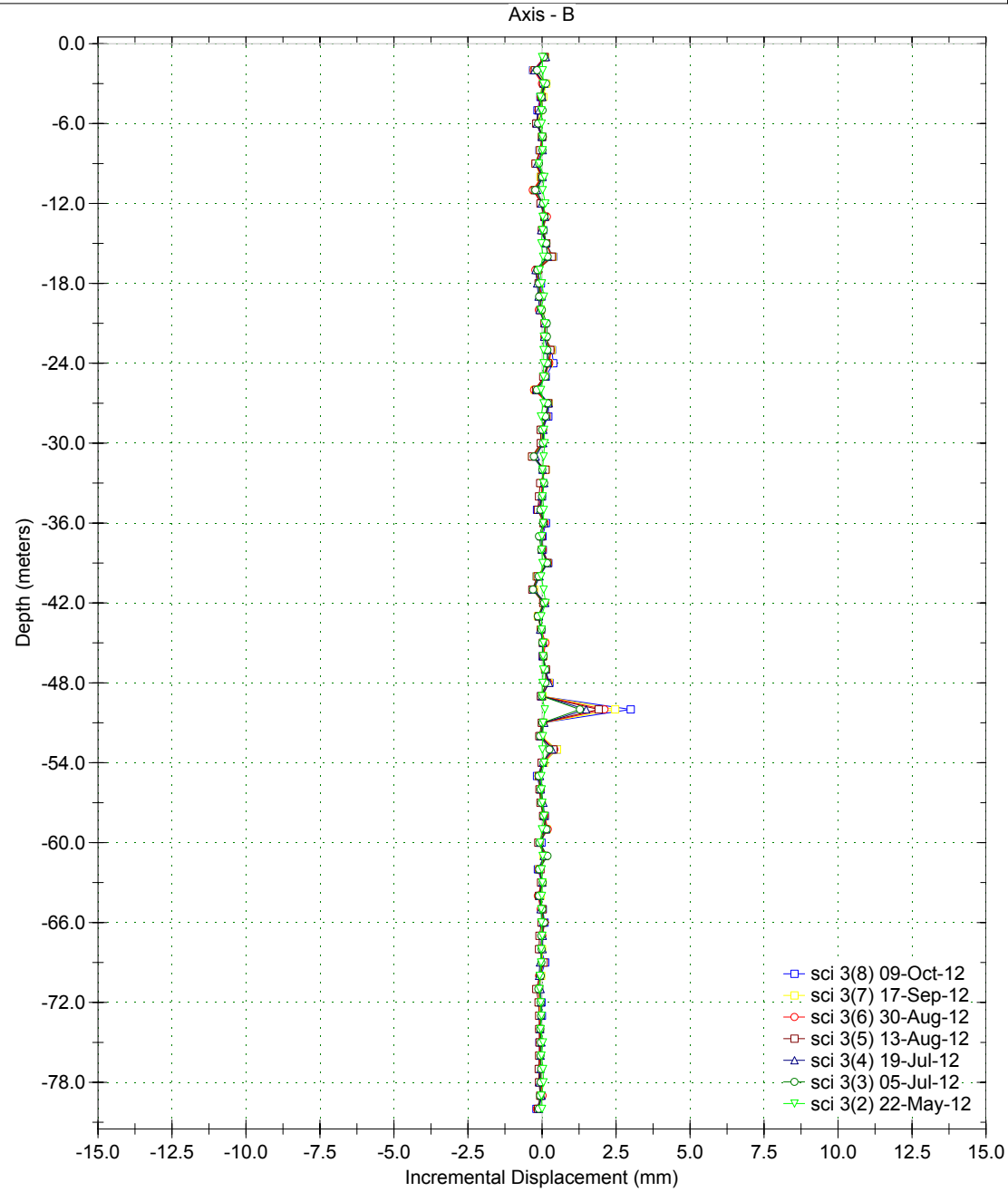
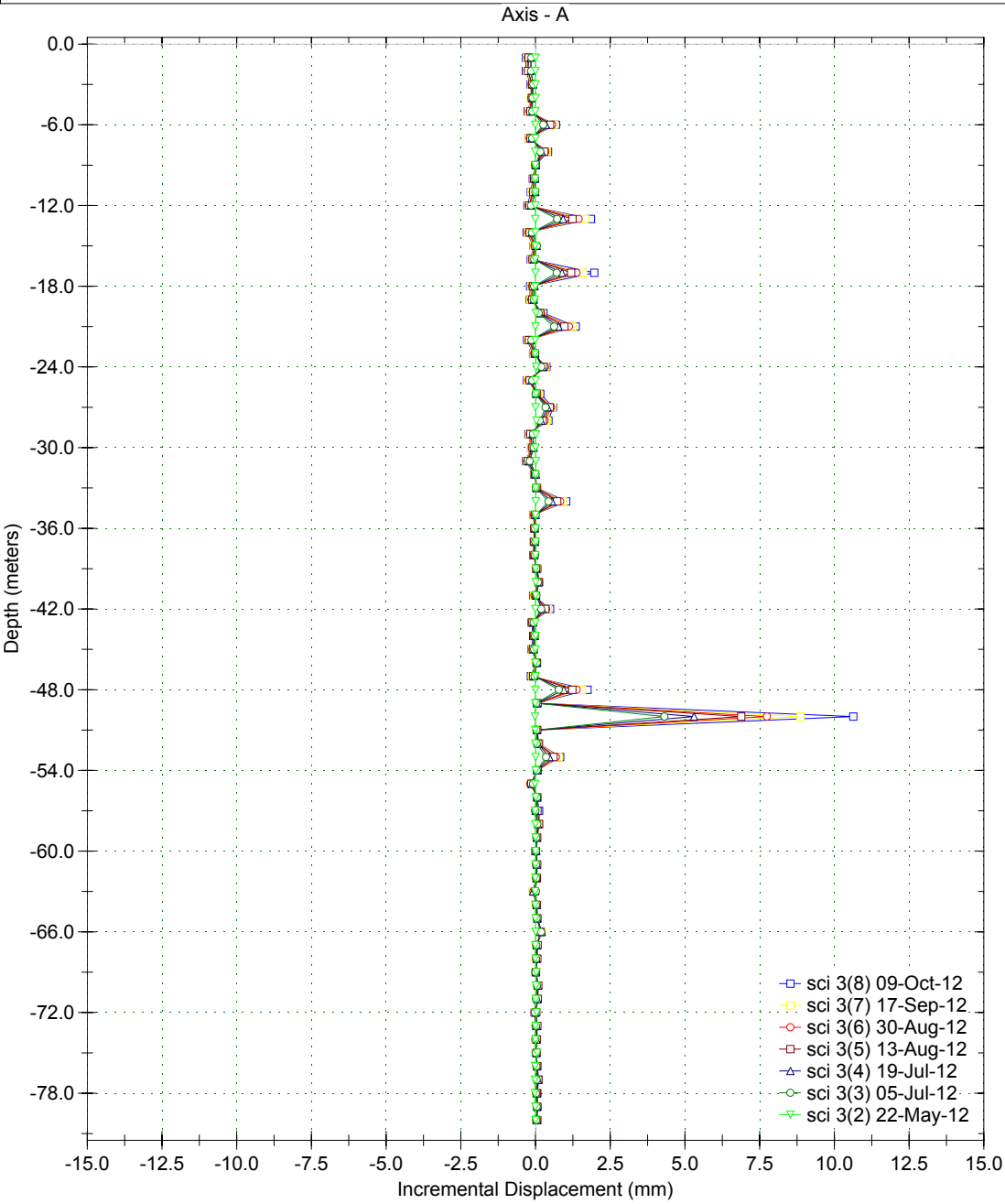
Borehole : sci 2
Project : Default Site
Location : YESA - Margen dcha
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 100.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2012 Dec 04 14:22
Applied Azimuth : 0.0 degrees



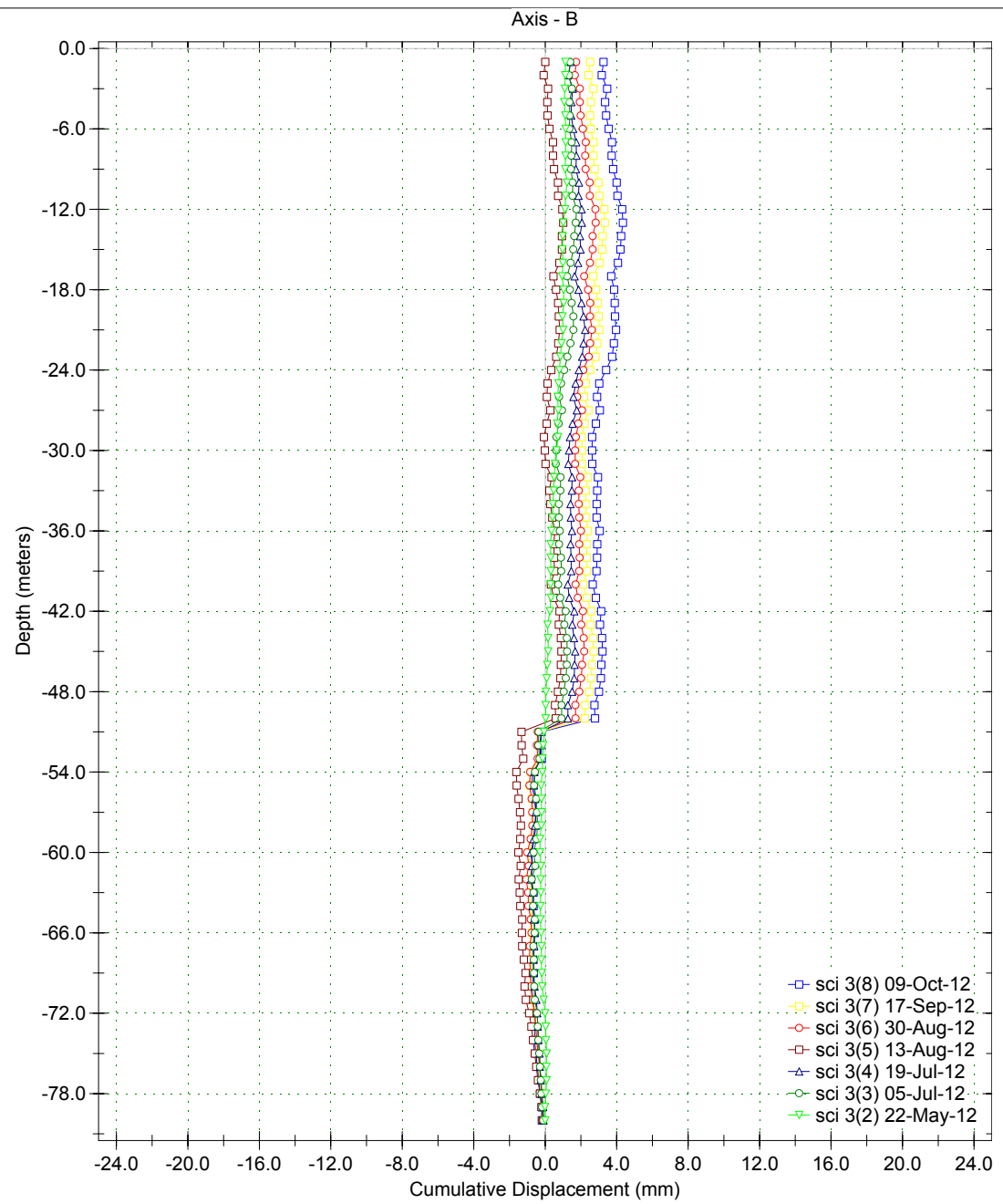
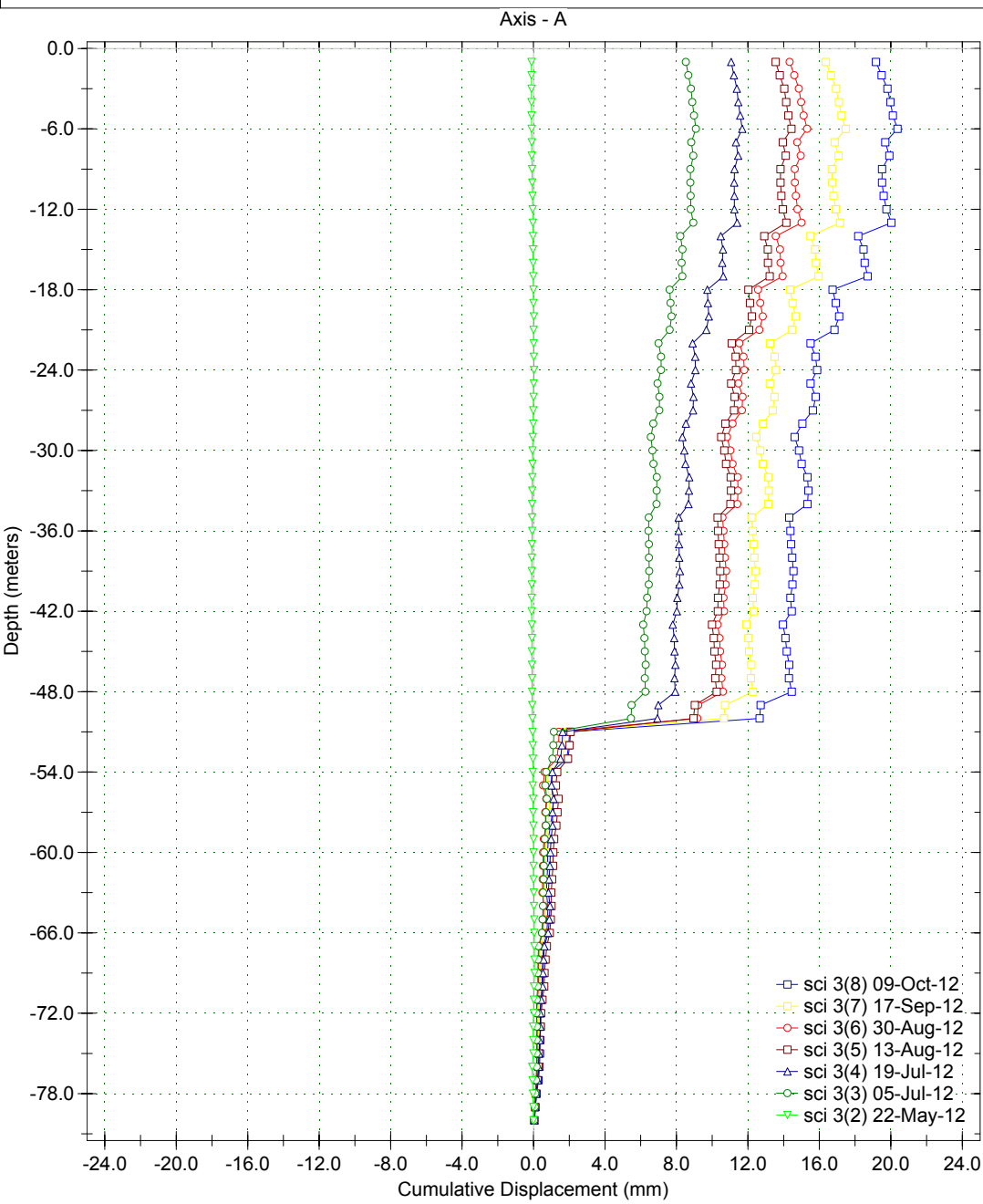
Borehole : sci 3
Project : yesa
Location :
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 80.0 meters
North Groove Azimuth :
Base Reading : 2012 May 22 13:05
Axis A Azimuth : 0.0 degrees



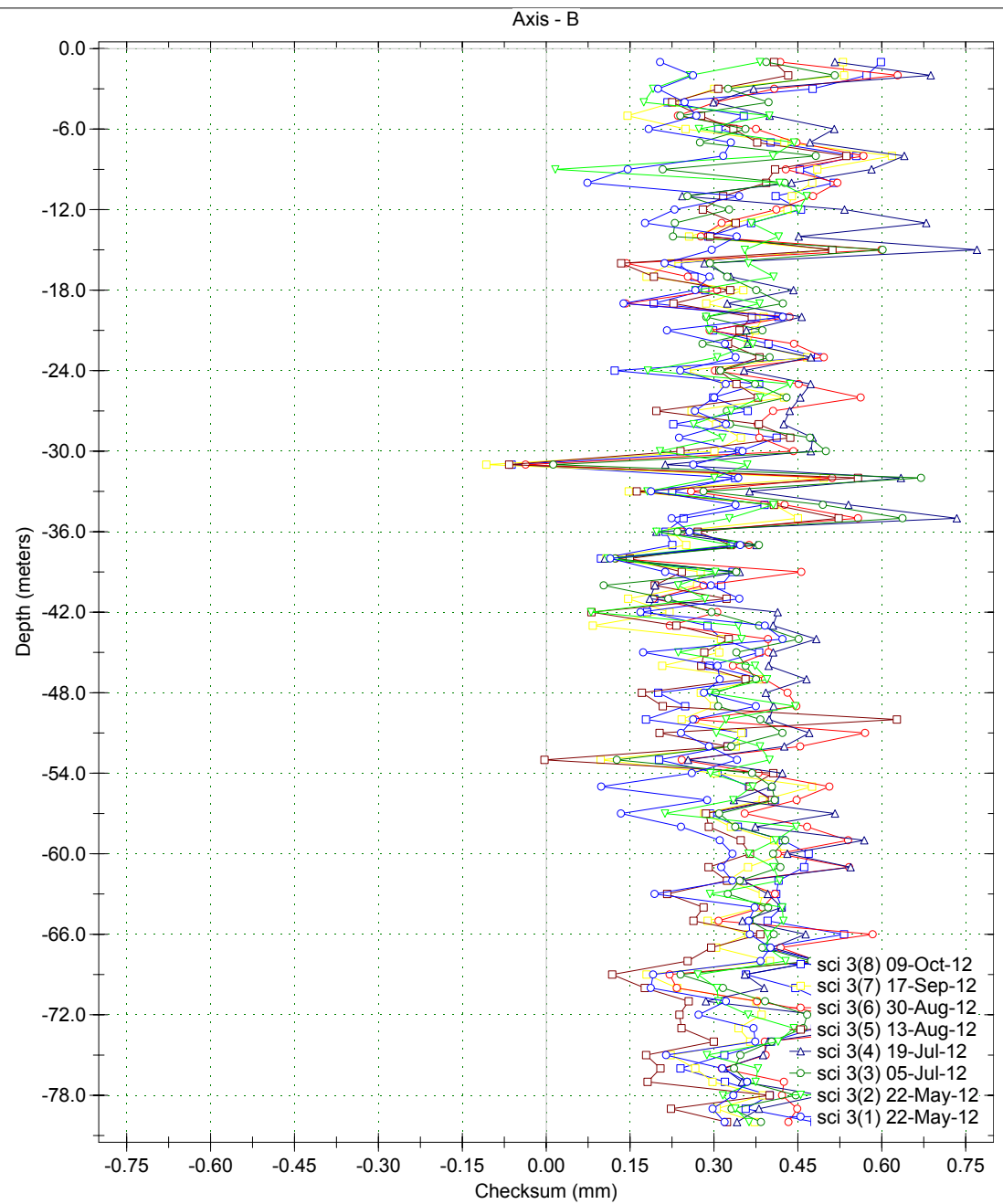
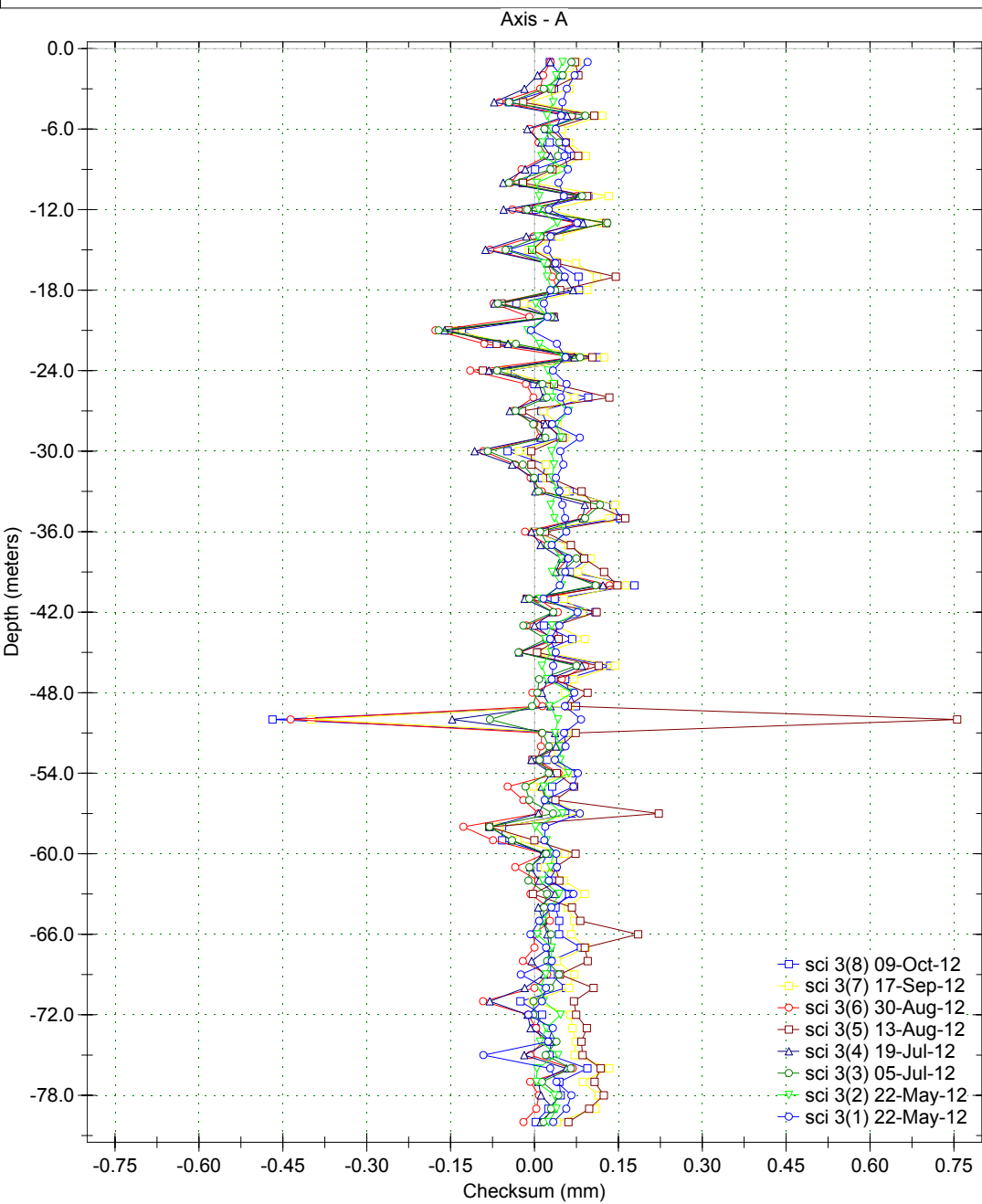
Borehole : sci 3
 Project : yesa
 Location :
 Northing :
 Easting :
 Collar :

Spiral Correction : N/A
 Collar Elevation : 0.0 meters
 Borehole Total Depth : 80.0 meters
 North Groove Azimuth :
 Base Reading : 2012 May 22 13:05
 Axis A Azimuth : 0.0 degrees



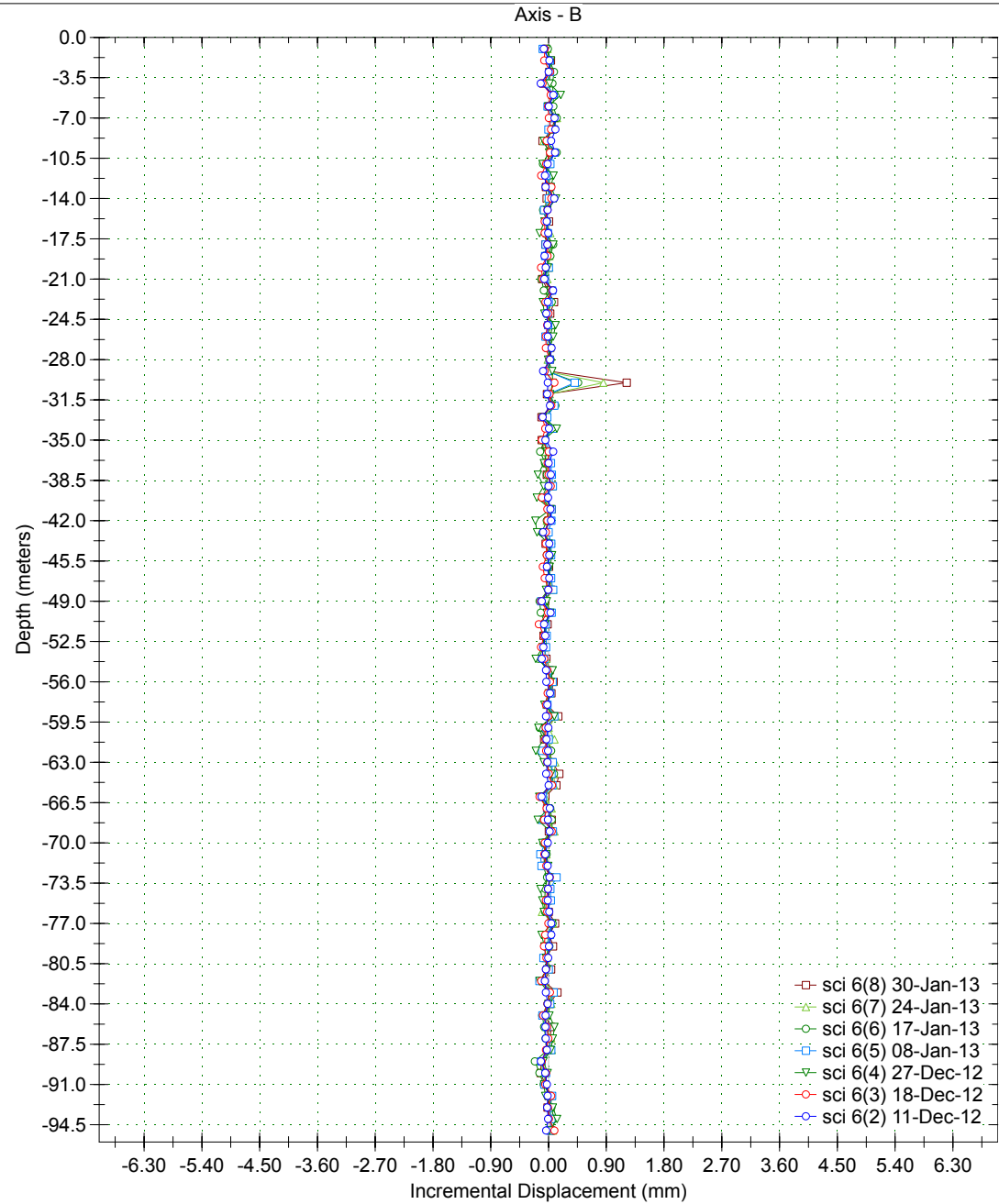
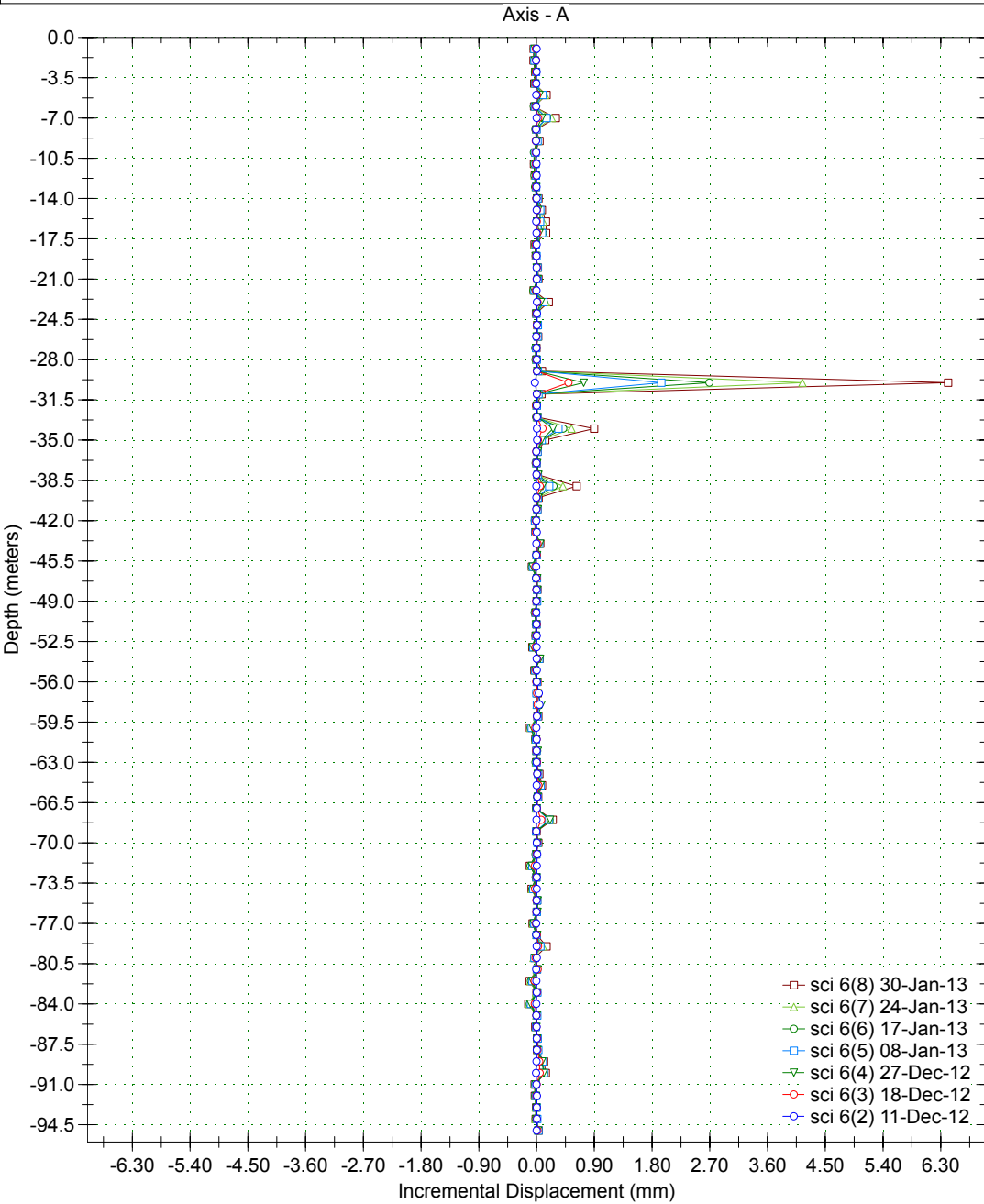
Borehole : sci 3
Project : yesa
Location :
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 80.0 meters
North Groove Azimuth :
Base Reading : 2012 May 22 13:05
Axis A Azimuth : 0.0 degrees



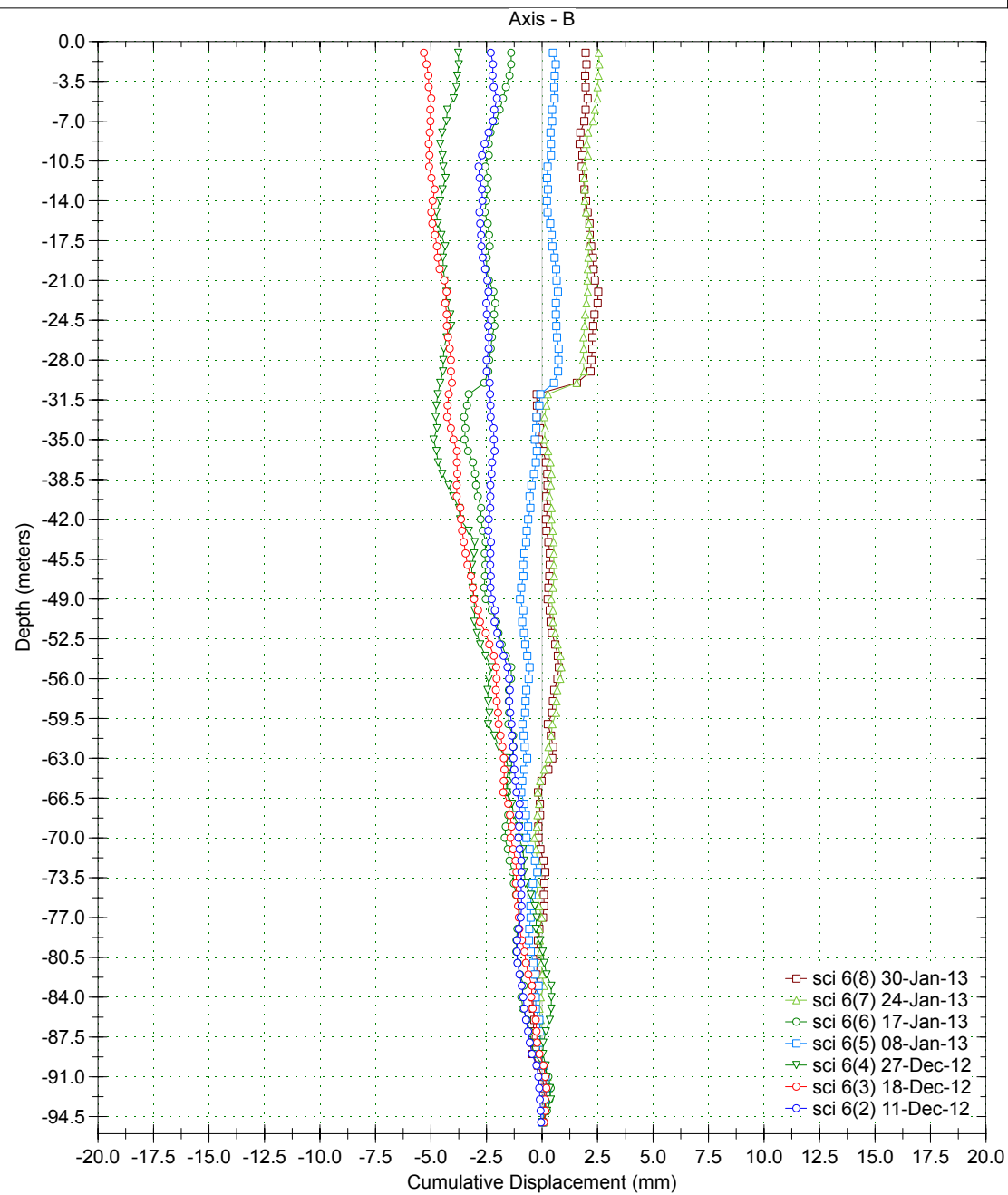
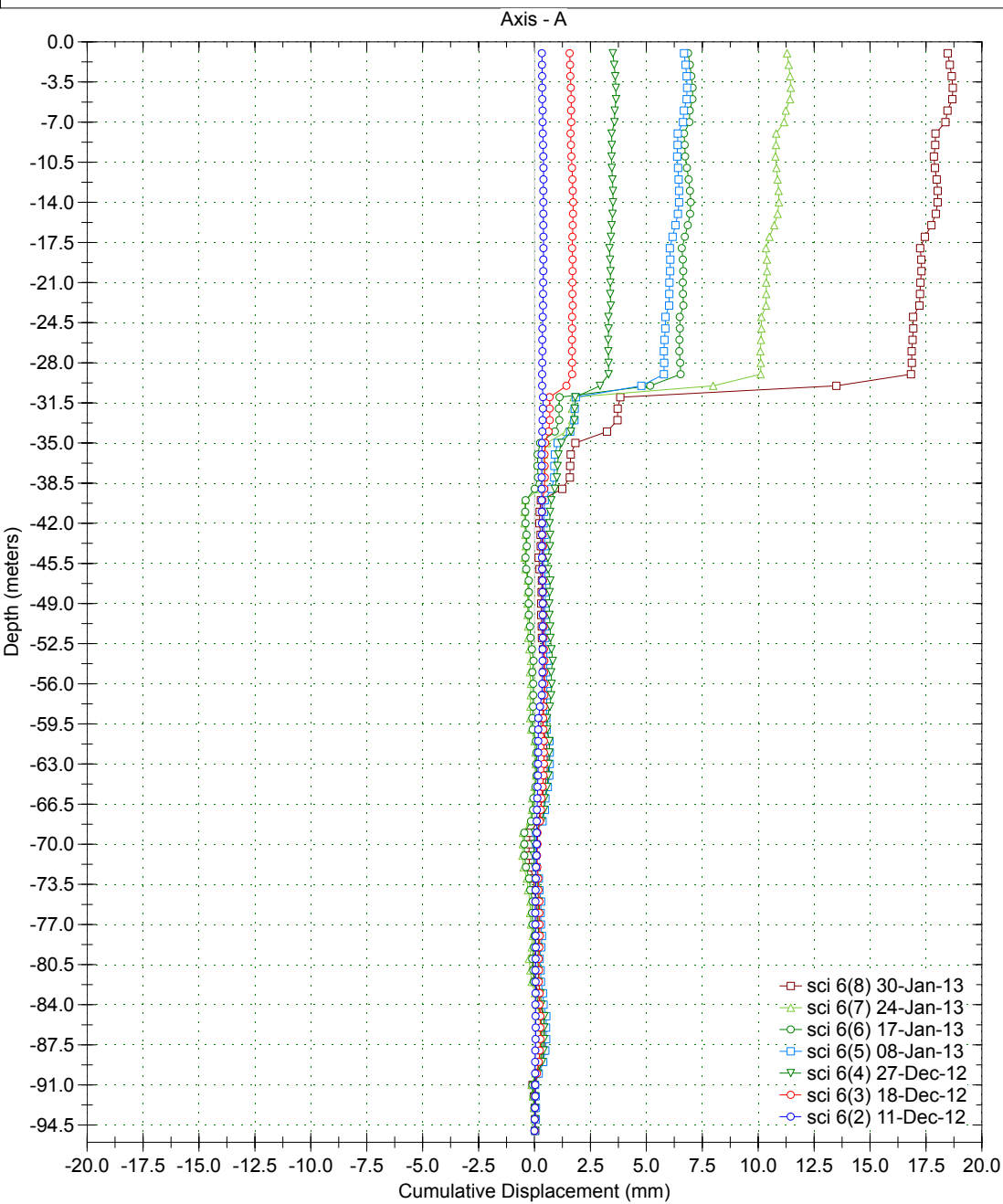
Borehole : sci 6
 Project : Default Site
 Location : YESA - Margen dcha
 Northing :
 Easting :
 Collar :

Spiral Correction : N/A
 Collar Elevation : 0.0 meters
 Borehole Total Depth : 95.0 meters
 A+ Groove Azimuth :
 Base Reading : 2012 Dec 11 12:59
 Applied Azimuth : 0.0 degrees



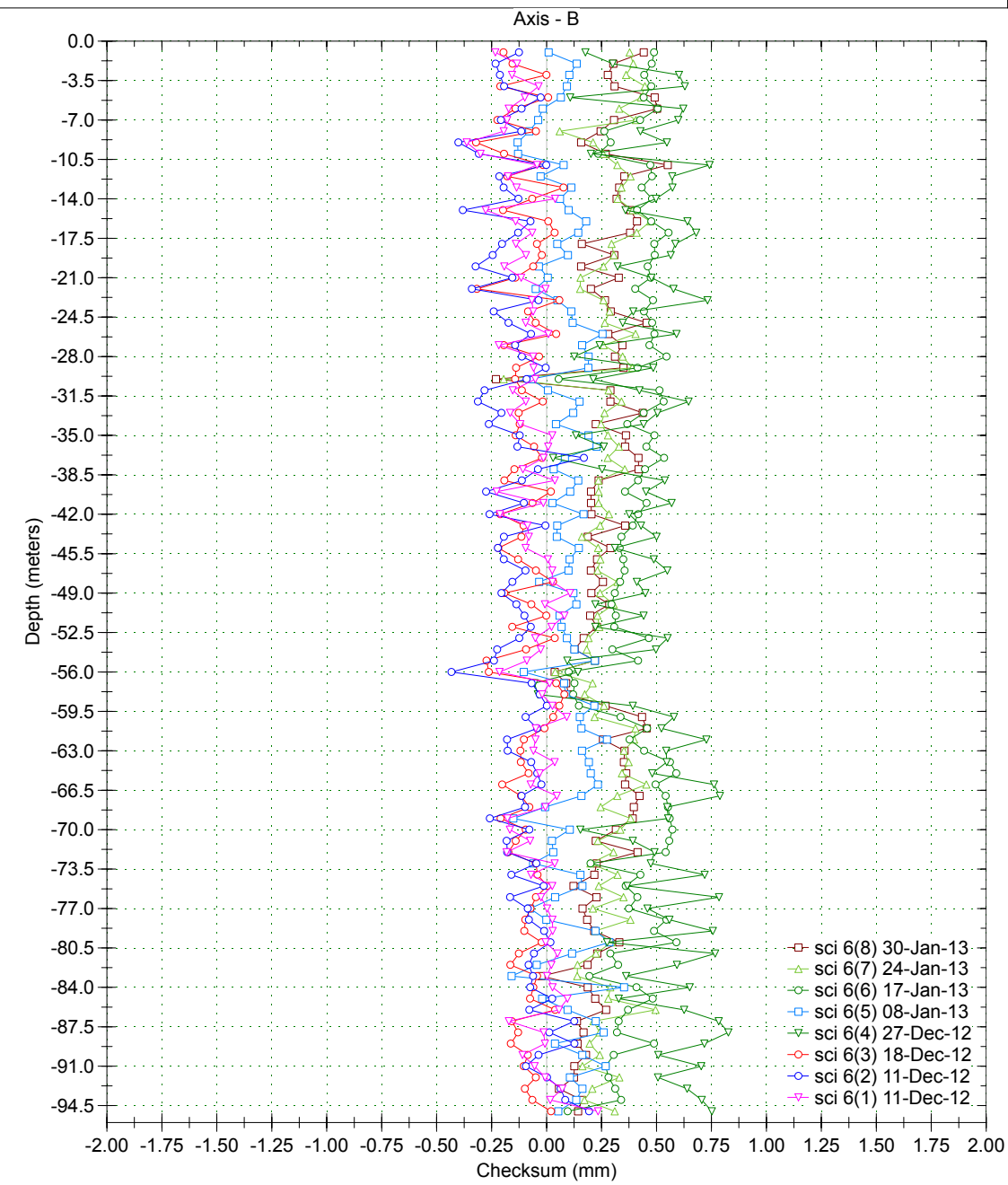
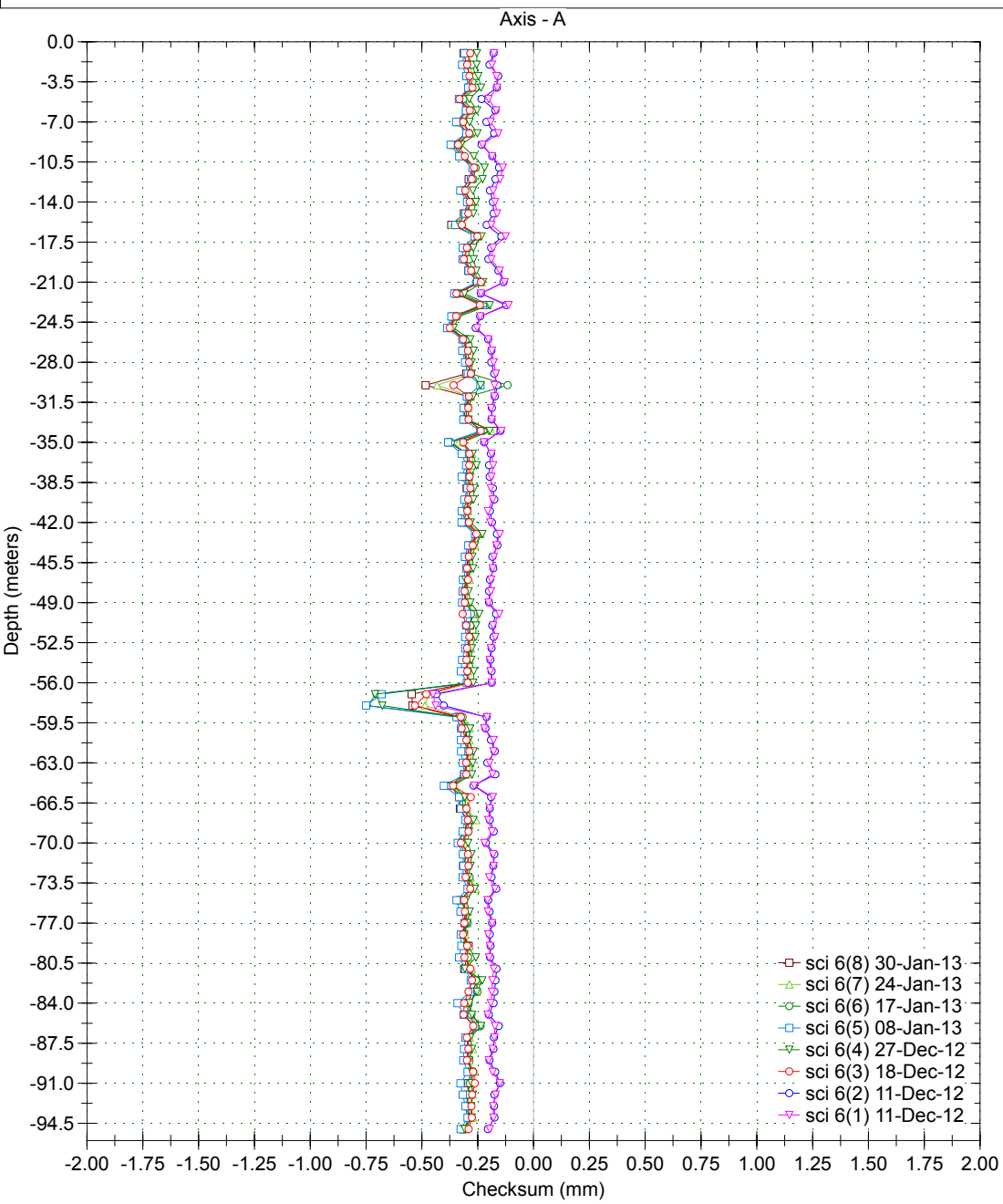
Borehole : sci 6
 Project : Default Site
 Location : YESA - Margen dcha
 Northing :
 Easting :
 Collar :

Spiral Correction : N/A
 Collar Elevation : 0.0 meters
 Borehole Total Depth : 95.0 meters
 A+ Groove Azimuth :
 Base Reading : 2012 Dec 11 12:59
 Applied Azimuth : 0.0 degrees



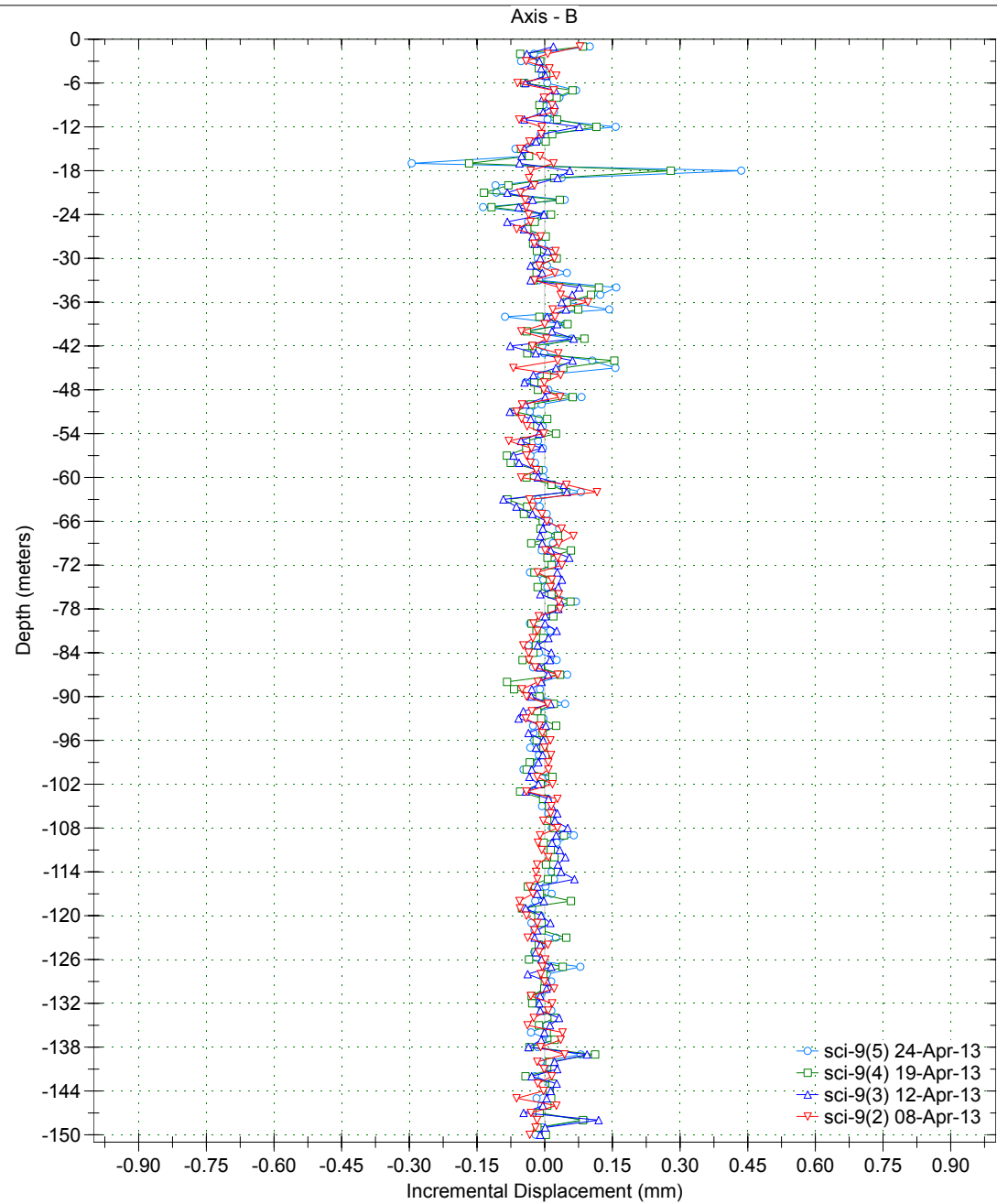
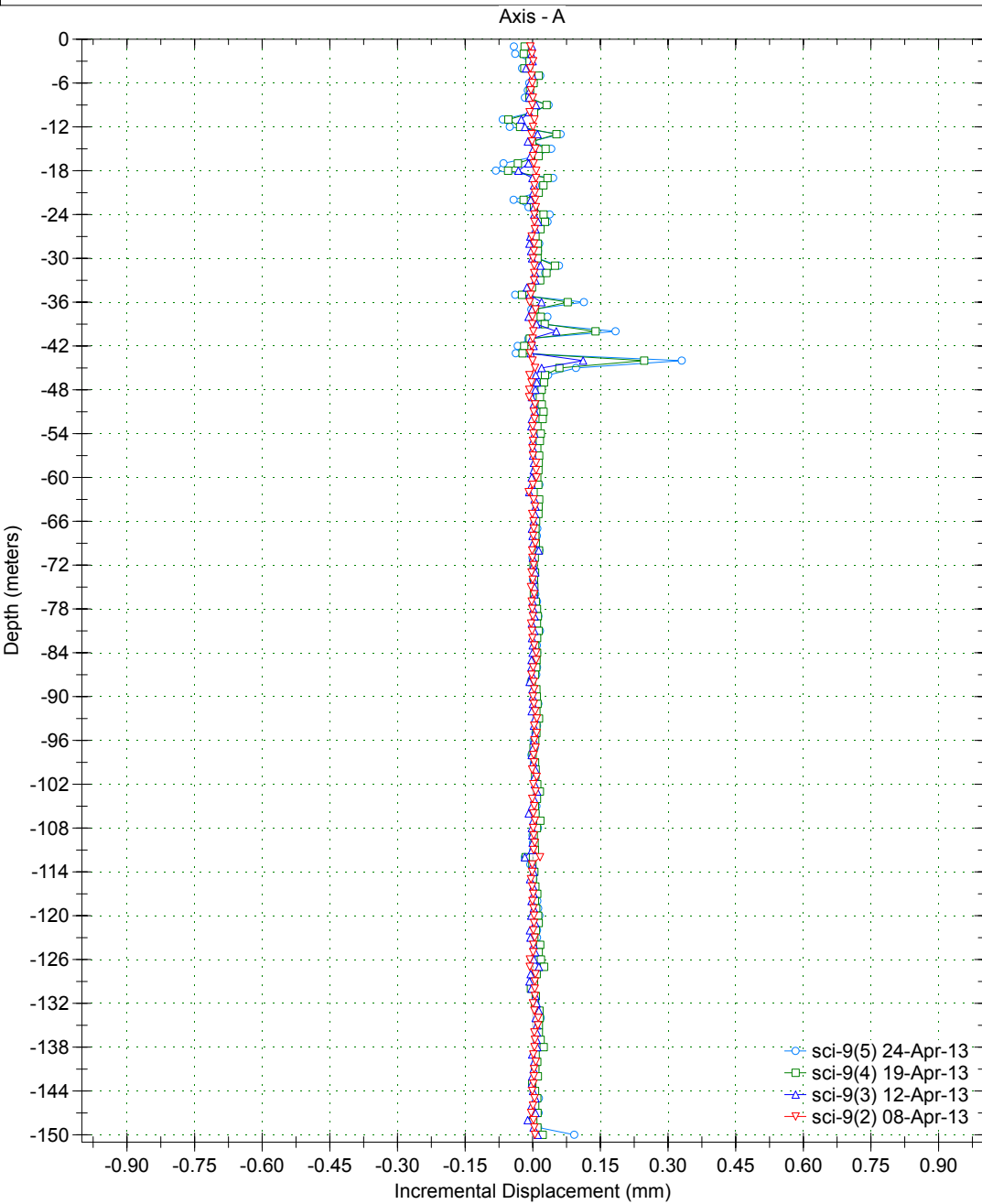
Borehole : sci 6
Project : Default Site
Location : YESA - Margen dcha
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 95.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2012 Dec 11 12:59
Applied Azimuth : 0.0 degrees



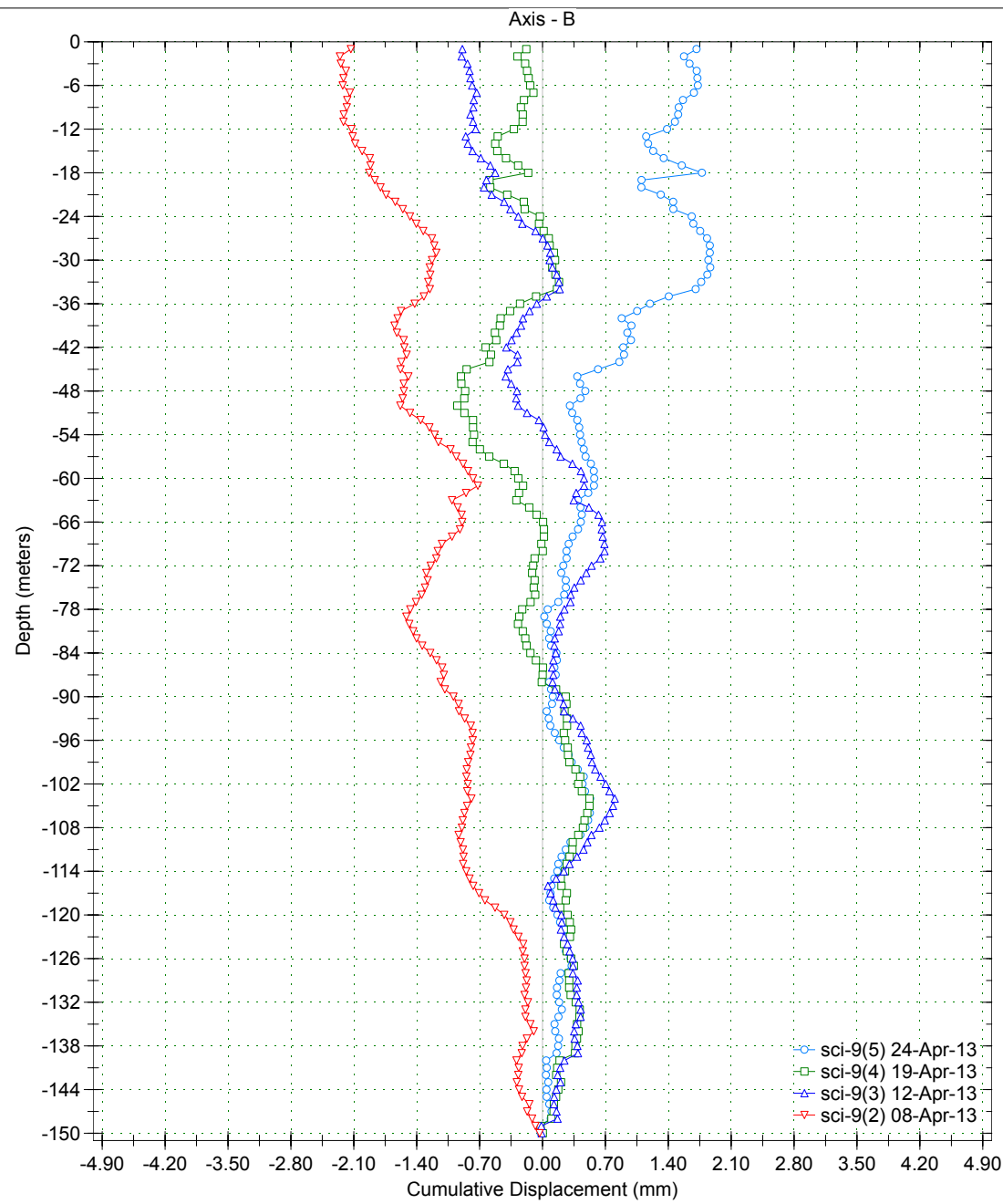
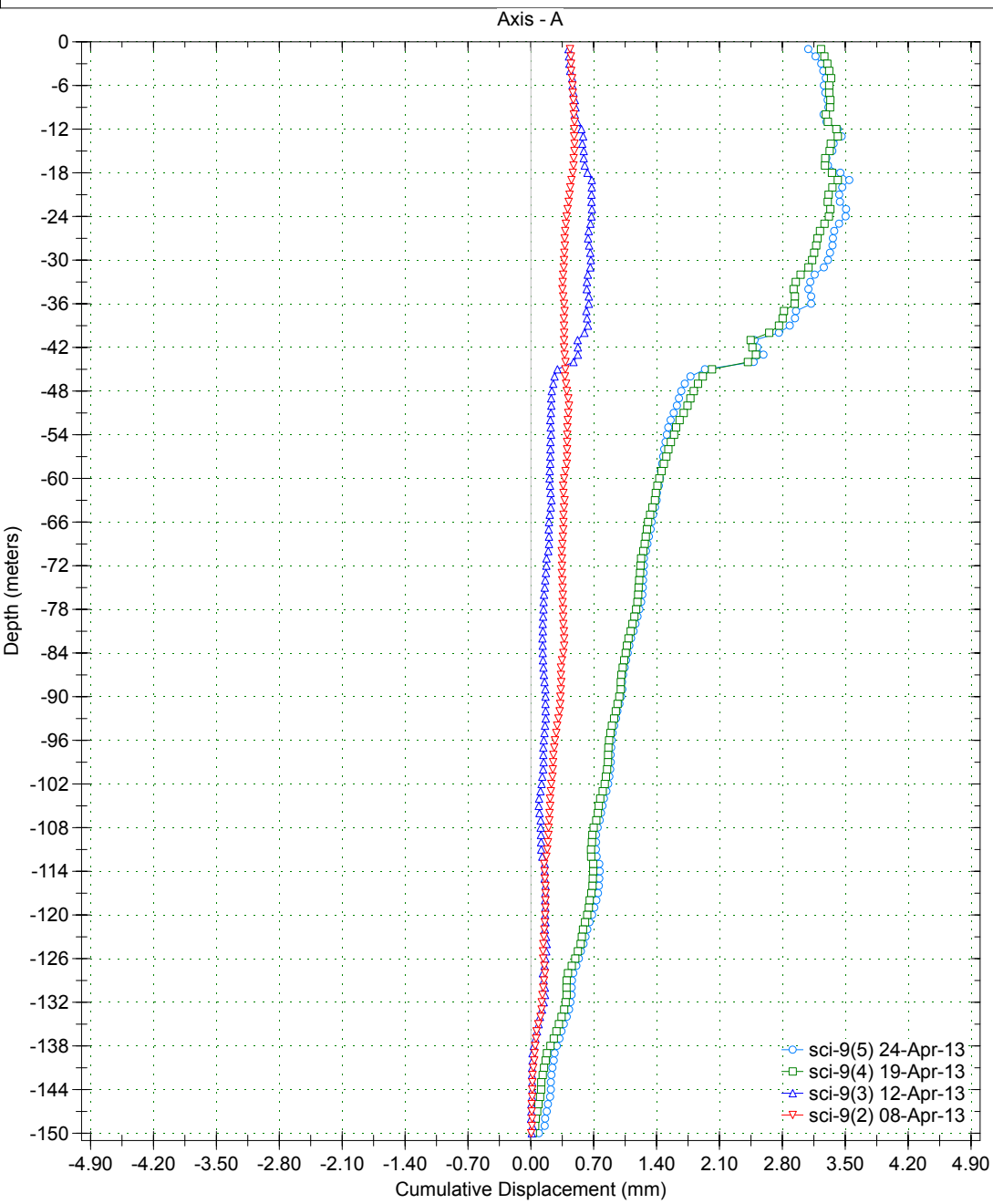
Borehole : sci-9
Project : Default Site
Location : YESA - Margen dcha
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 150.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2013 Apr 08 17:01
Applied Azimuth : 0.0 degrees



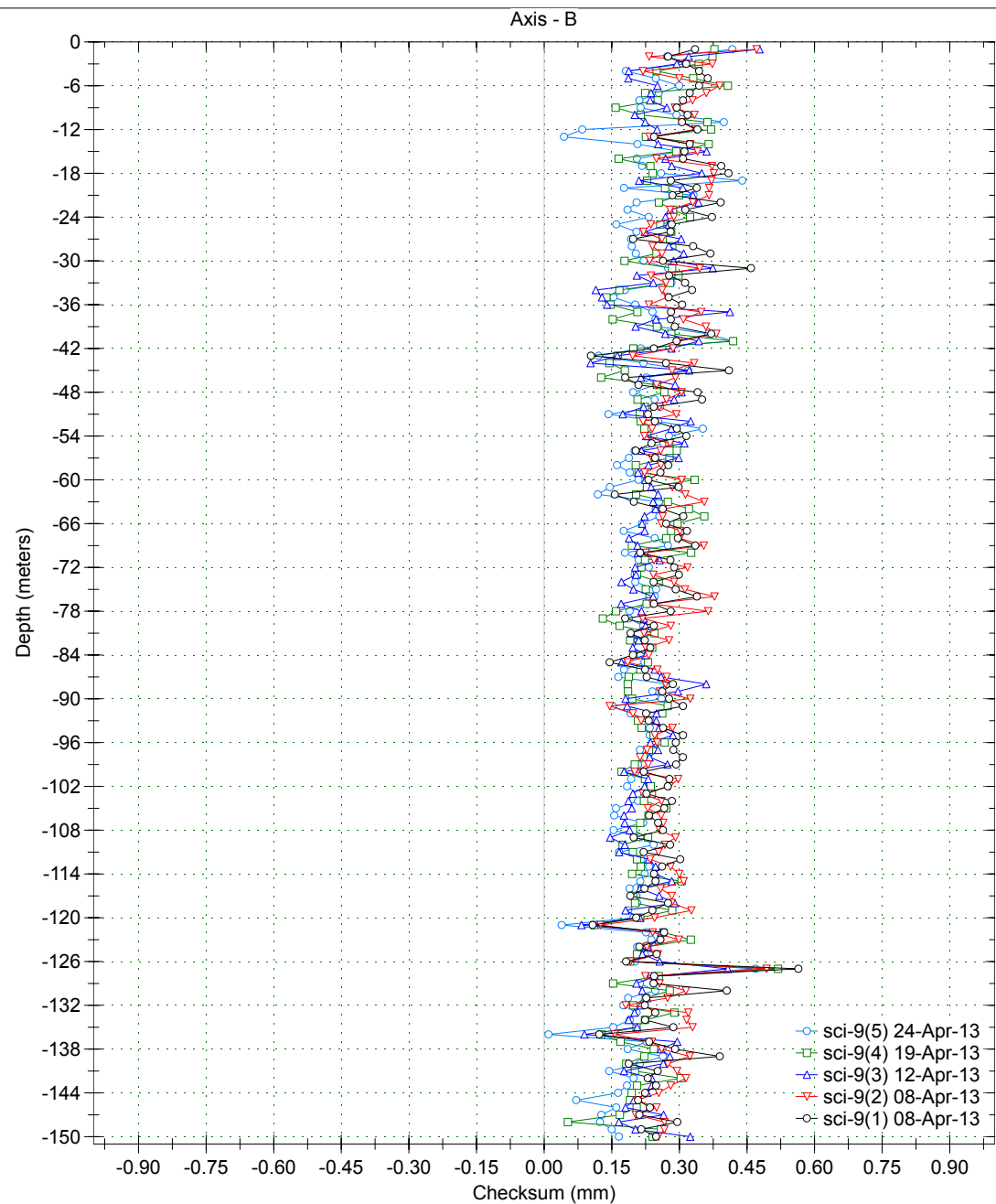
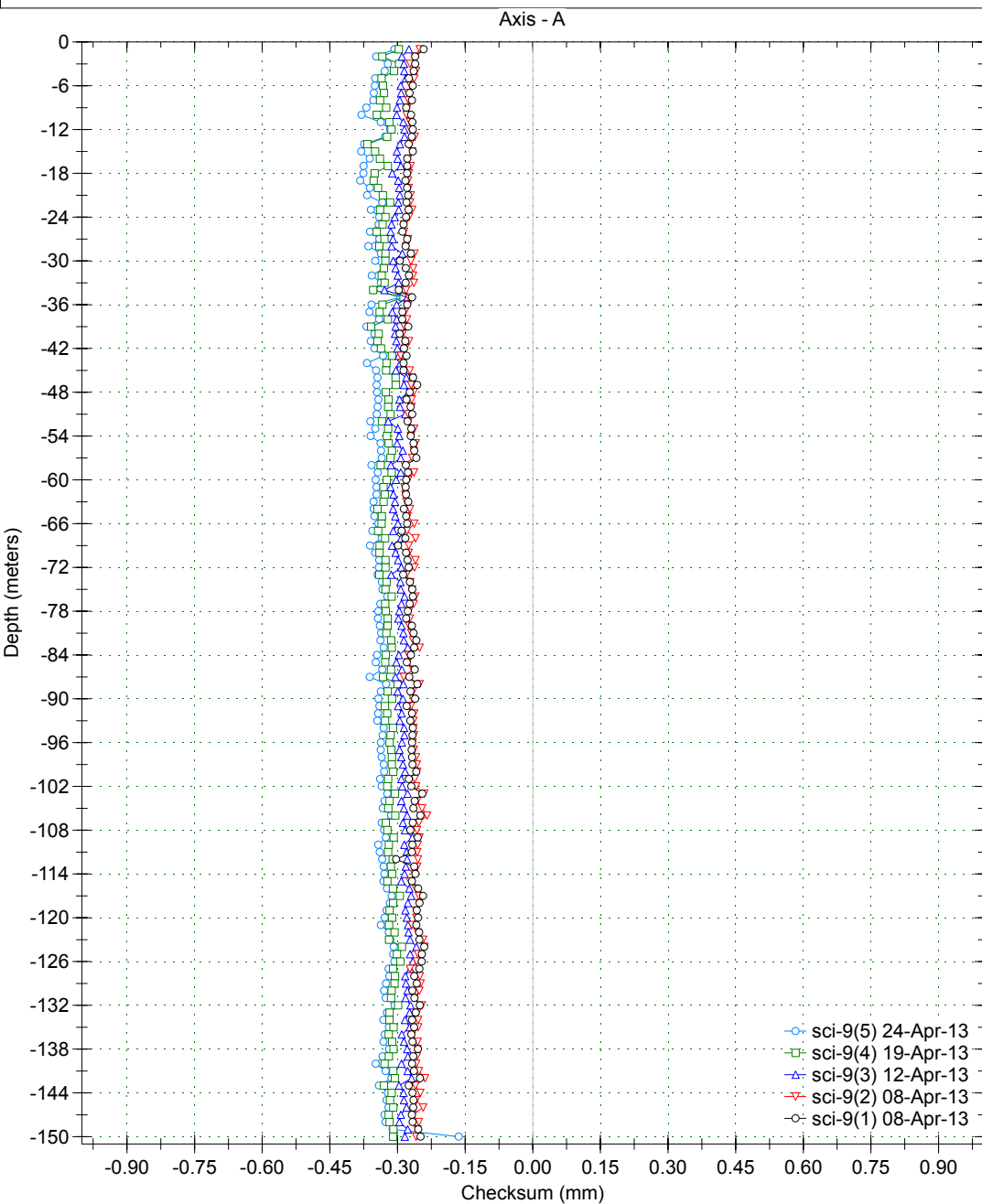
Borehole : sci-9
Project : Default Site
Location : YESA - Margen dcha
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 150.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2013 Apr 08 17:01
Applied Azimuth : 0.0 degrees



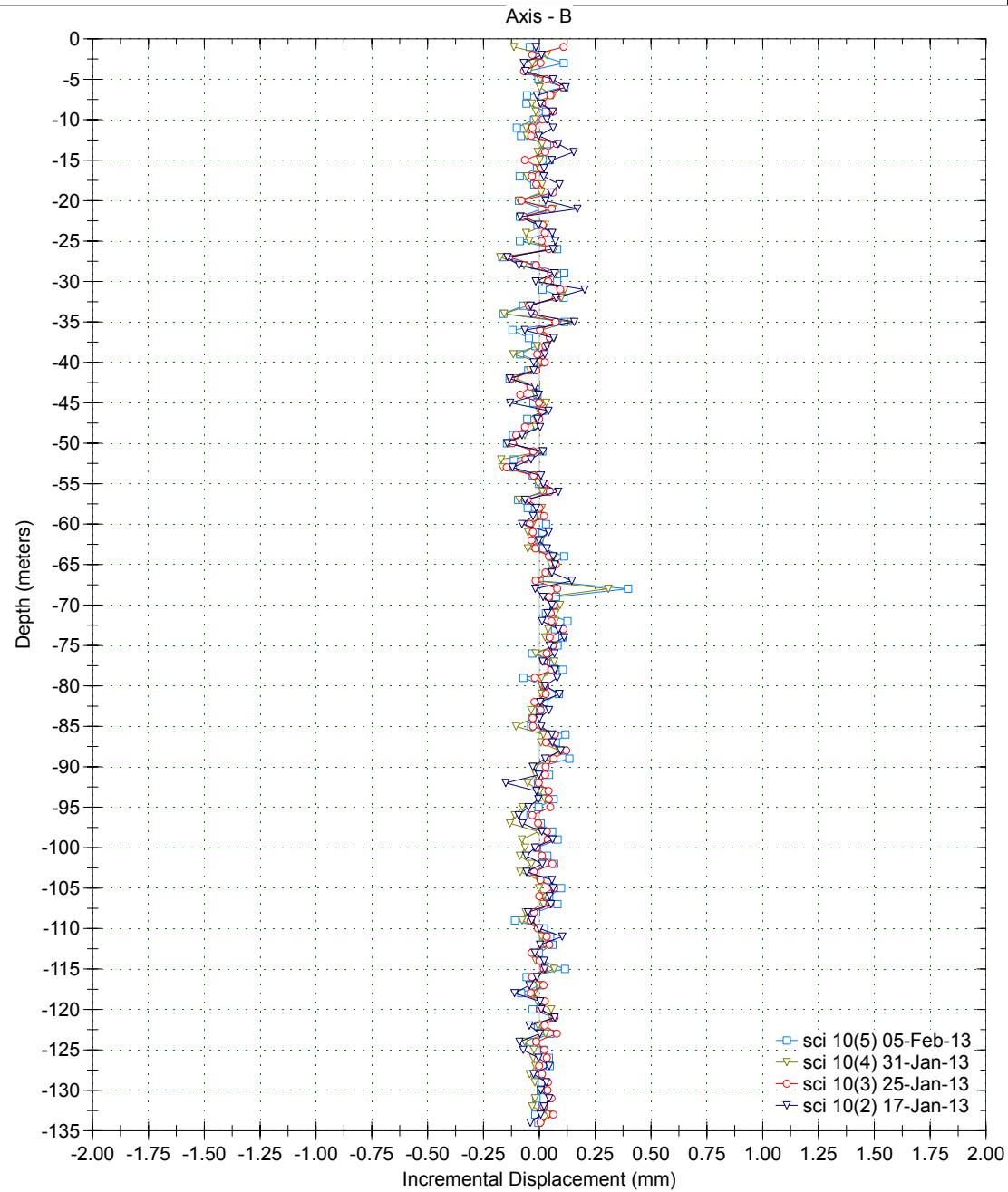
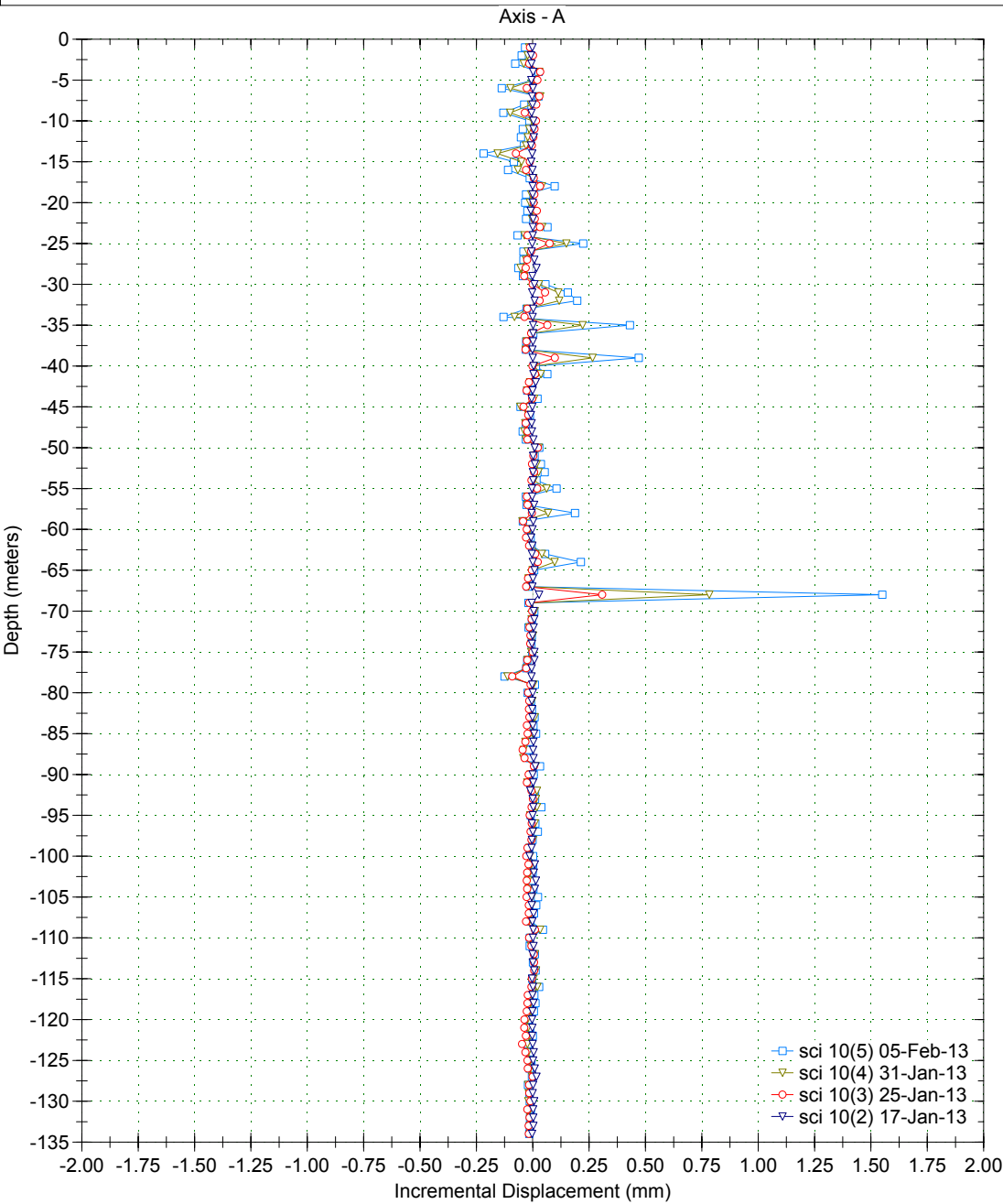
Borehole : sci-9
Project : Default Site
Location : YESA - Margen dcha
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 150.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2013 Apr 08 17:01
Applied Azimuth : 0.0 degrees



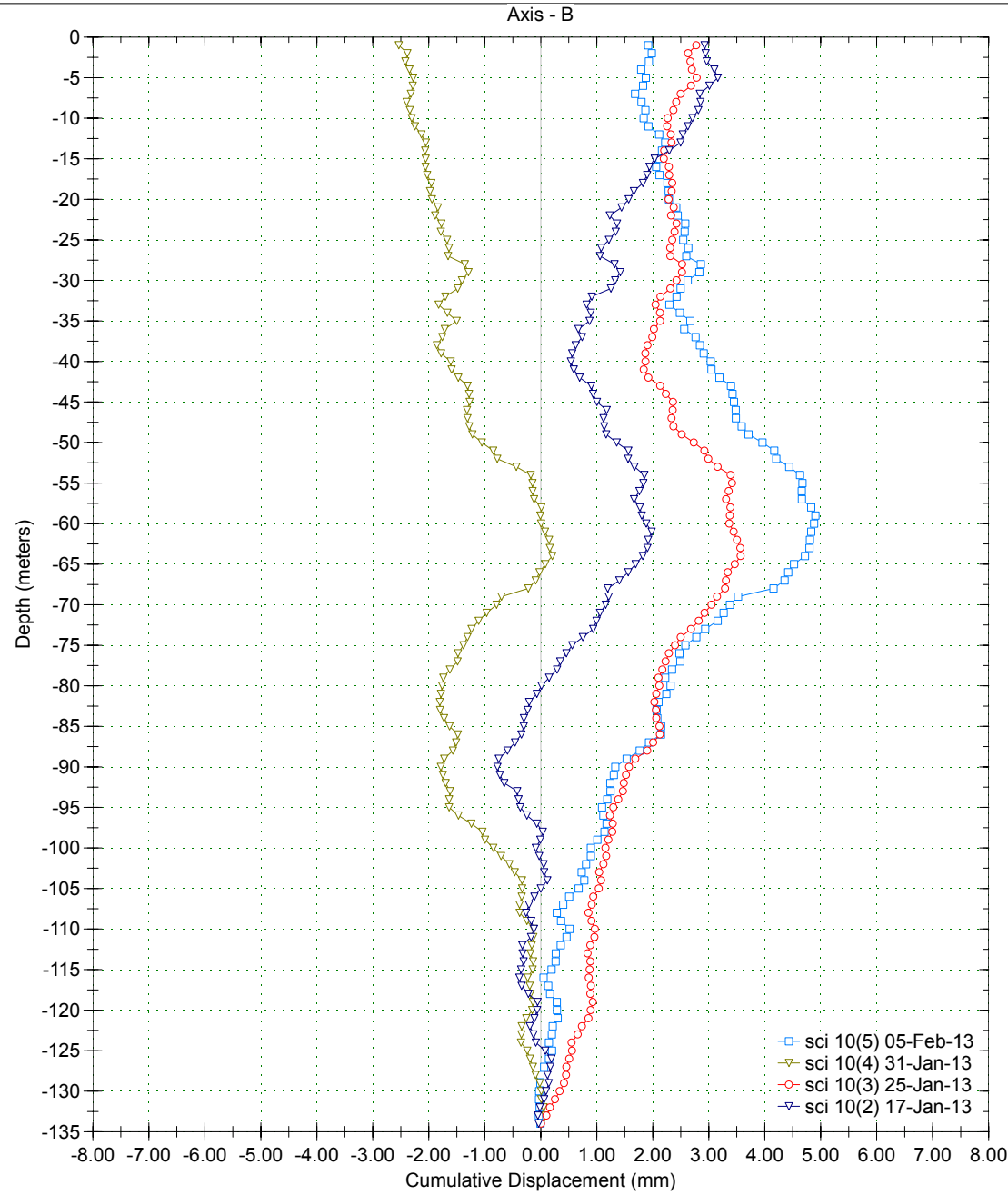
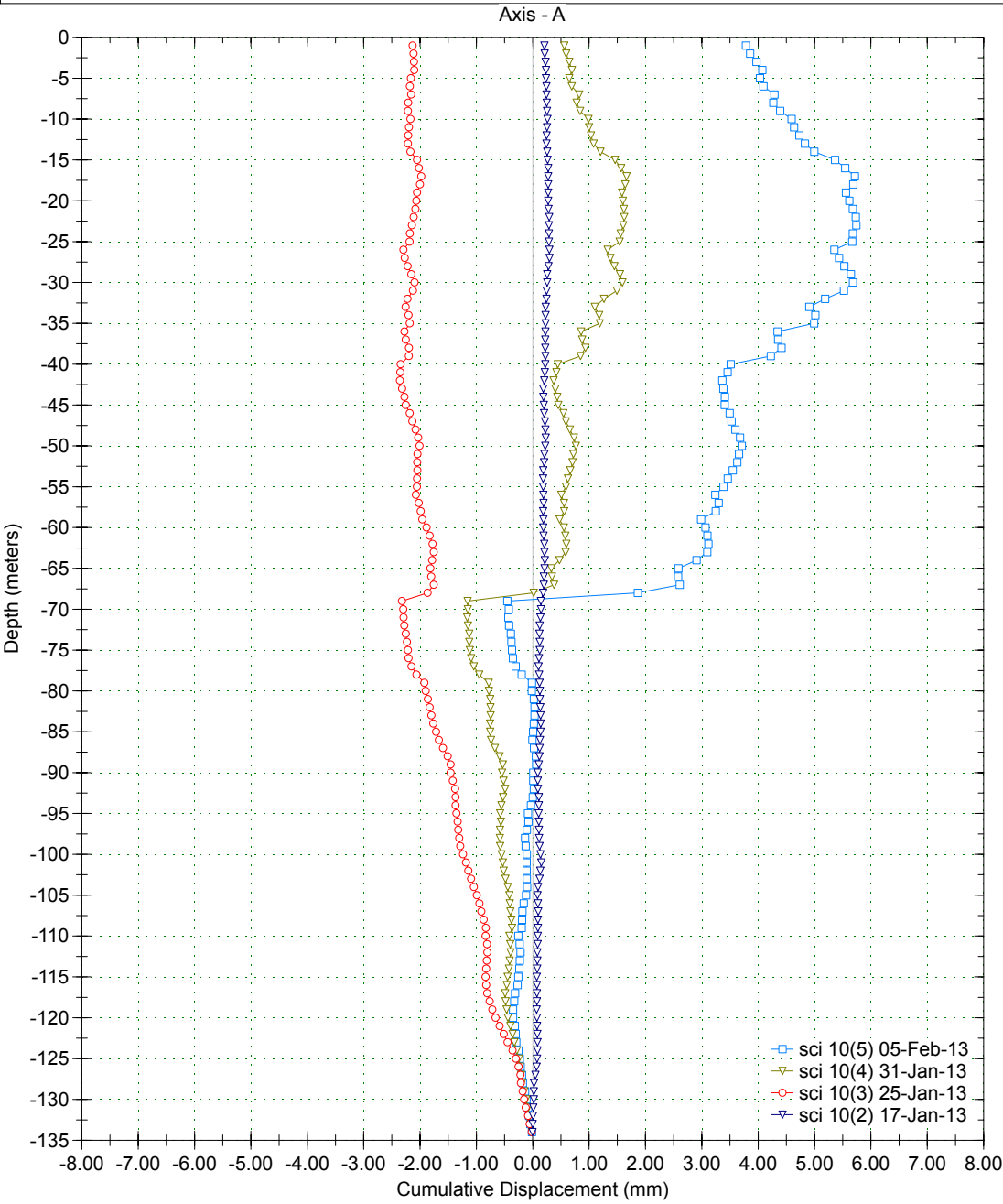
Borehole : sci 10
Project : Default Site
Location :
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 134.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2013 Jan 17 16:54
Applied Azimuth : 0.0 degrees



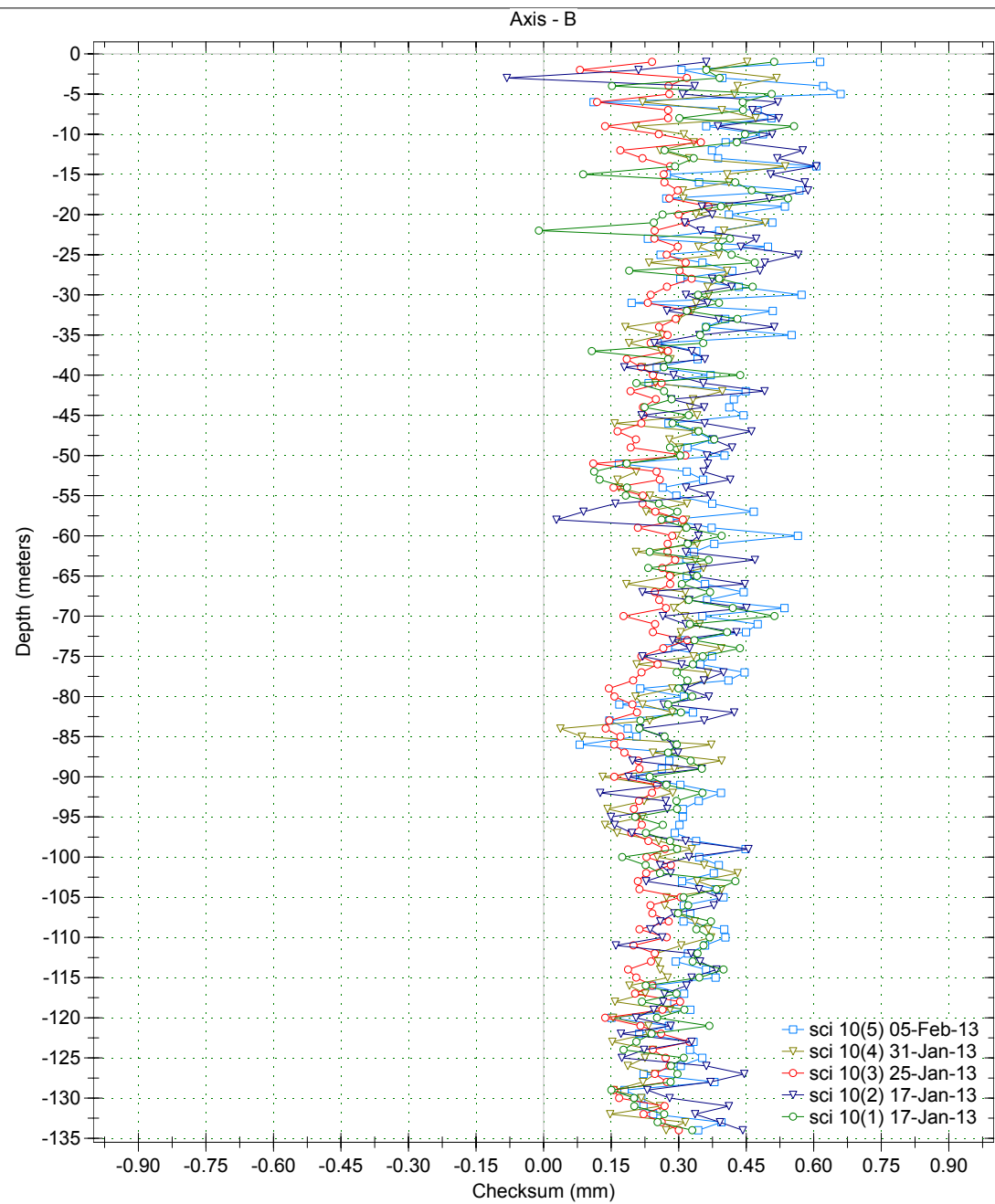
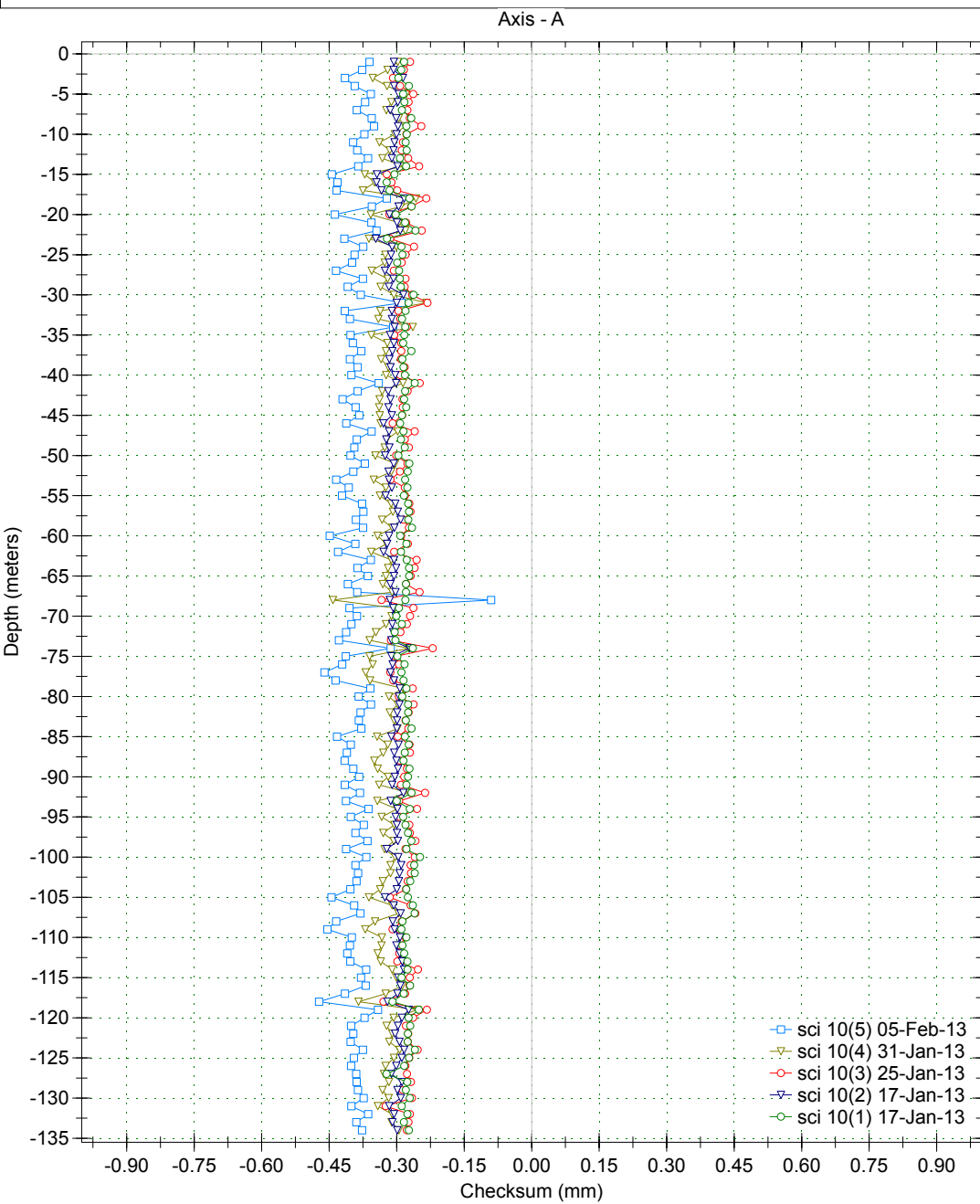
Borehole : sci 10
Project : Default Site
Location :
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 134.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2013 Jan 17 16:54
Applied Azimuth : 0.0 degrees



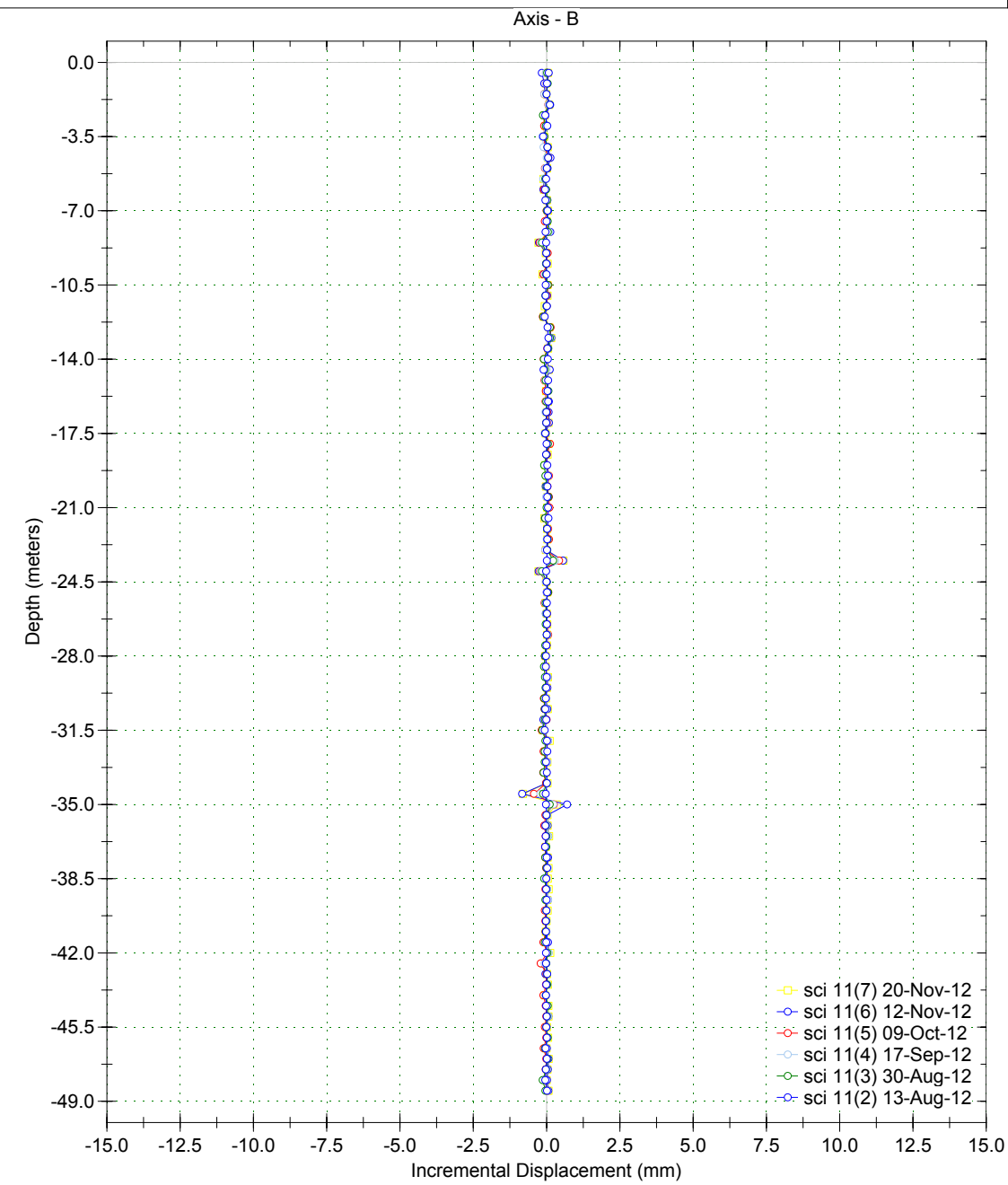
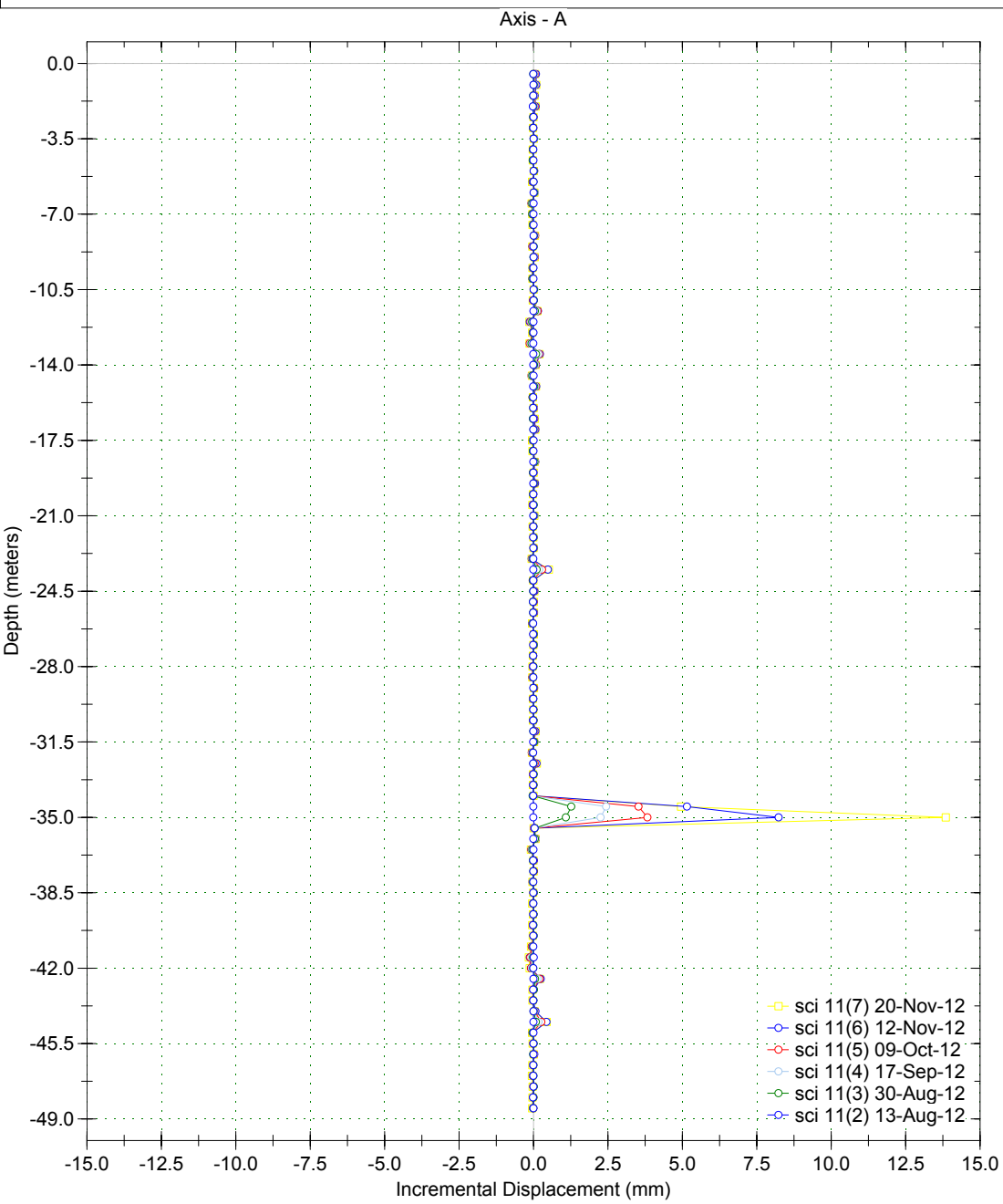
Borehole : sci 10
Project : Default Site
Location :
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 134.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2013 Jan 17 16:54
Applied Azimuth : 0.0 degrees



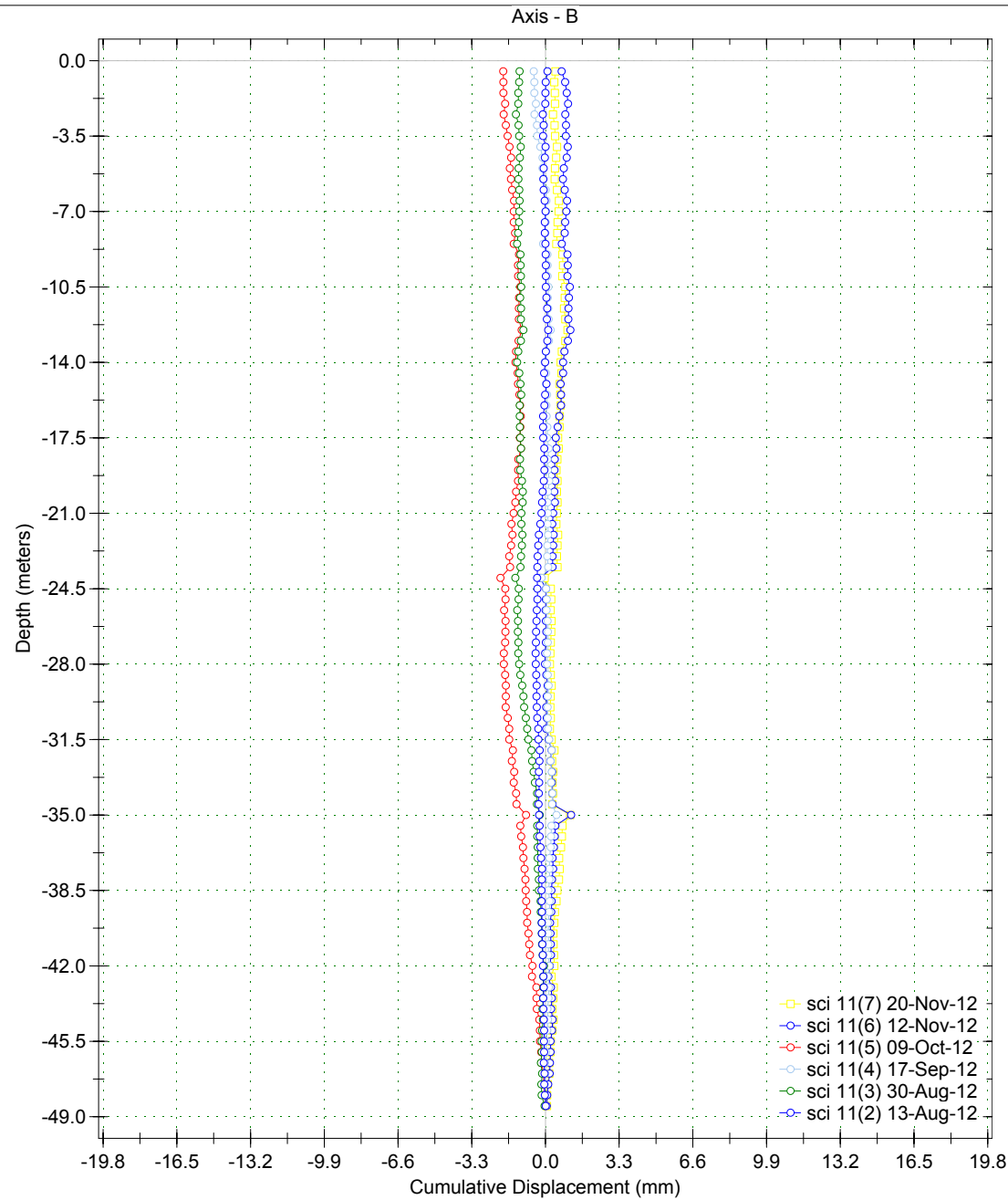
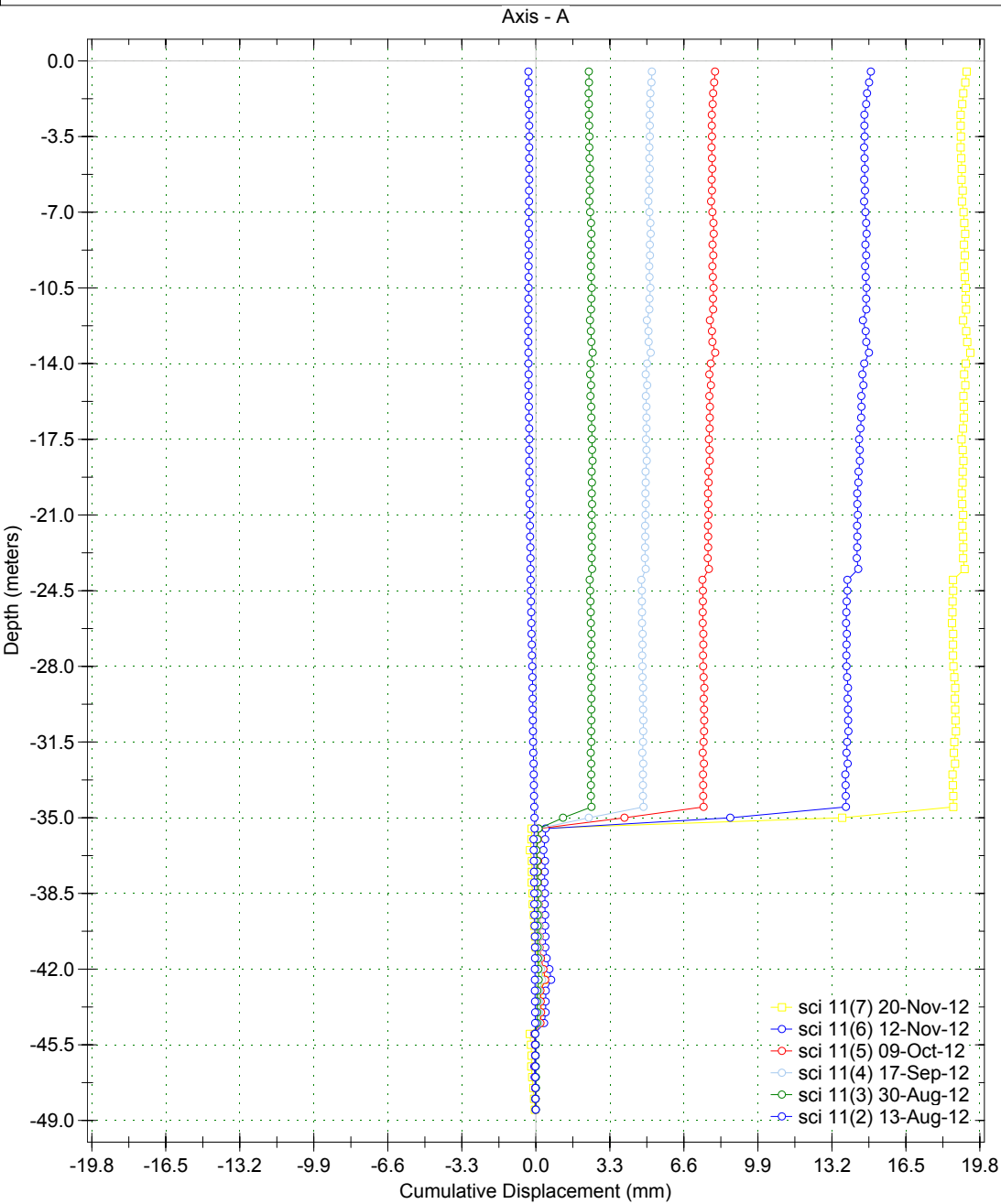
Borehole : sci 11
 Project : yesa
 Location :
 Northing :
 Easting :
 Collar :

Spiral Correction : N/A
 Collar Elevation : 0.0 meters
 Borehole Total Depth : 48.5 meters
 North Groove Azimuth :
 Base Reading : 2012 Aug 13 12:08
 Axis A Azimuth : 0.0 degrees



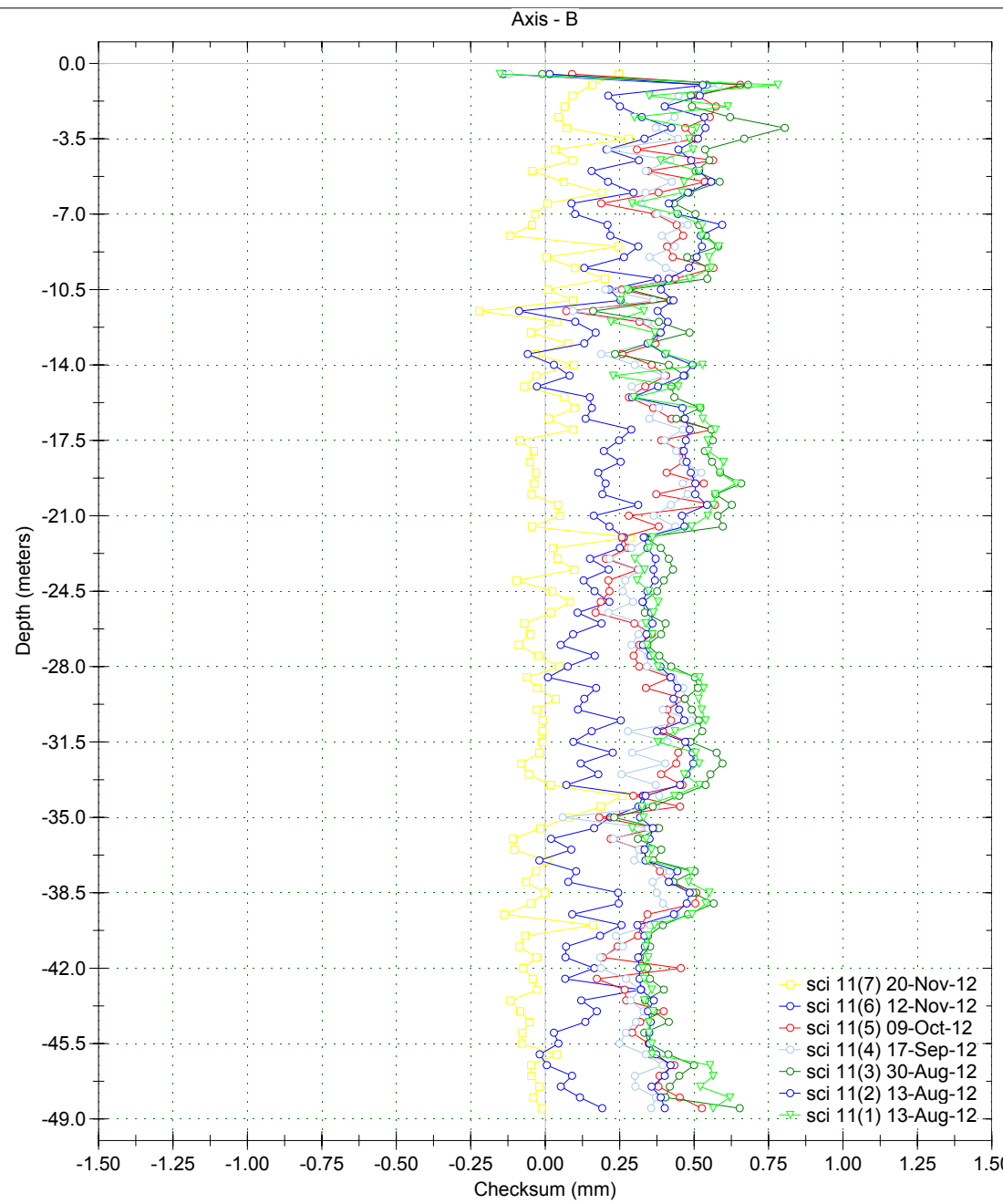
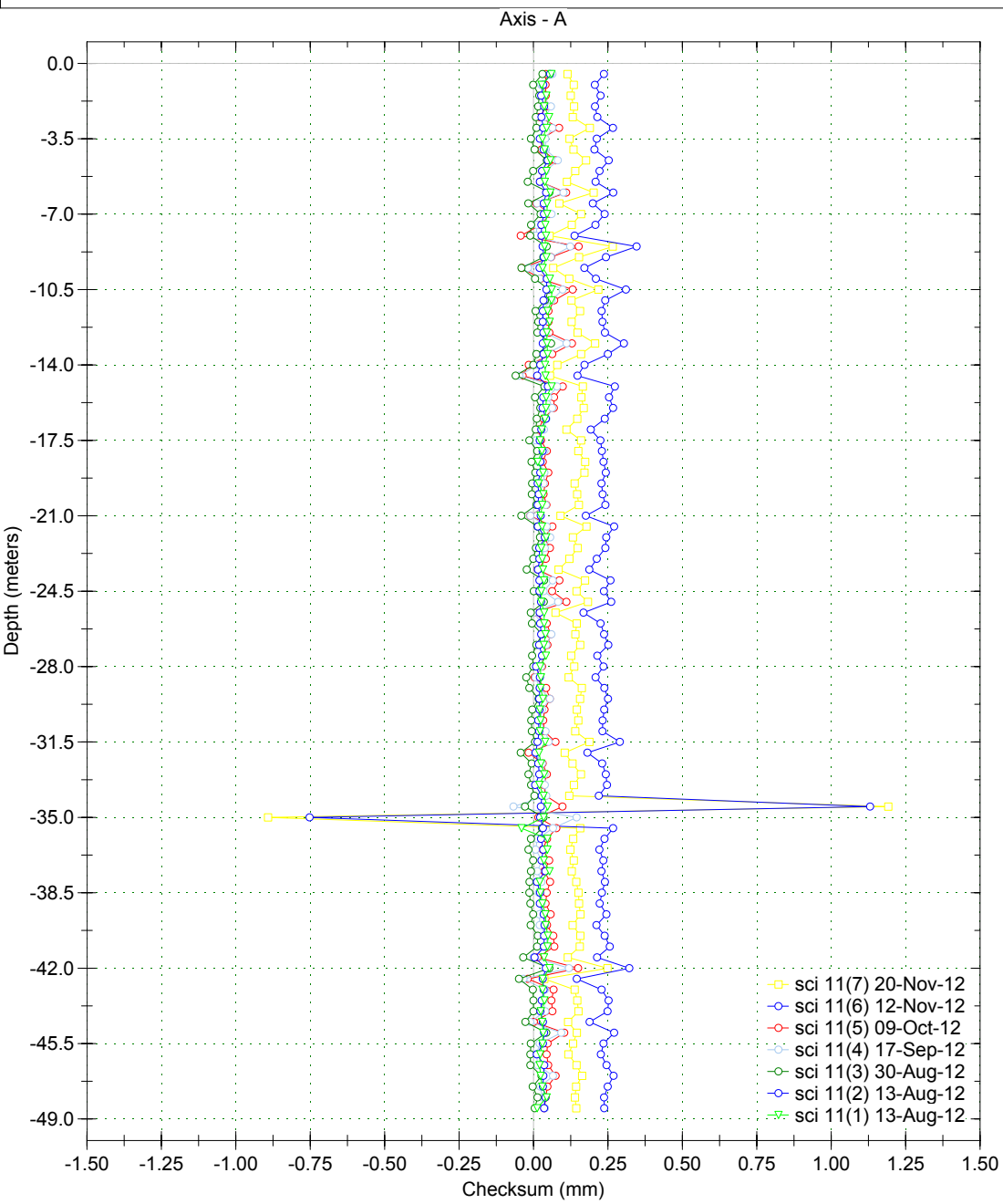
Borehole : sci 11
Project : yesa
Location :
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 48.5 meters
North Groove Azimuth :
Base Reading : 2012 Aug 13 12:08
Axis A Azimuth : 0.0 degrees



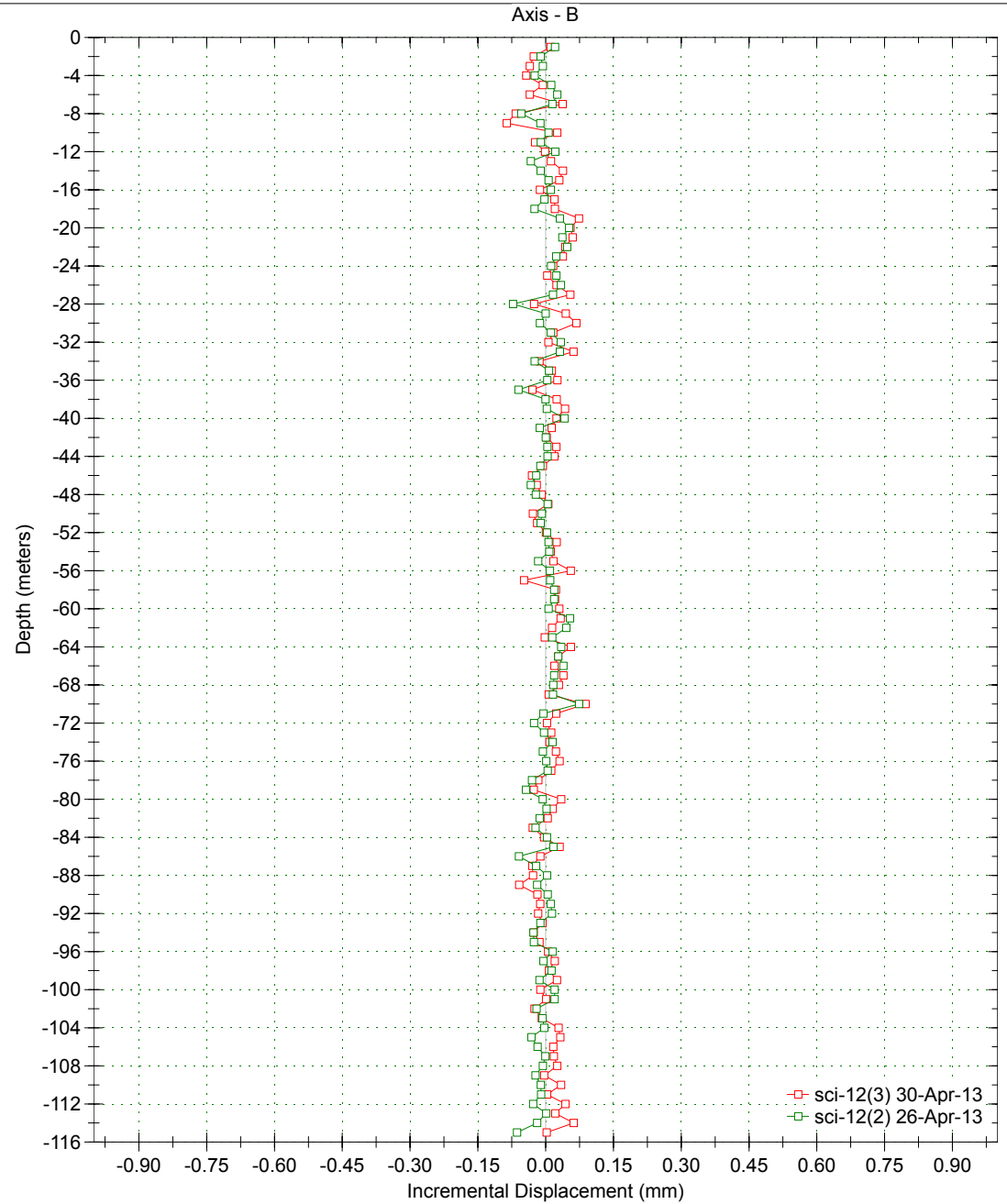
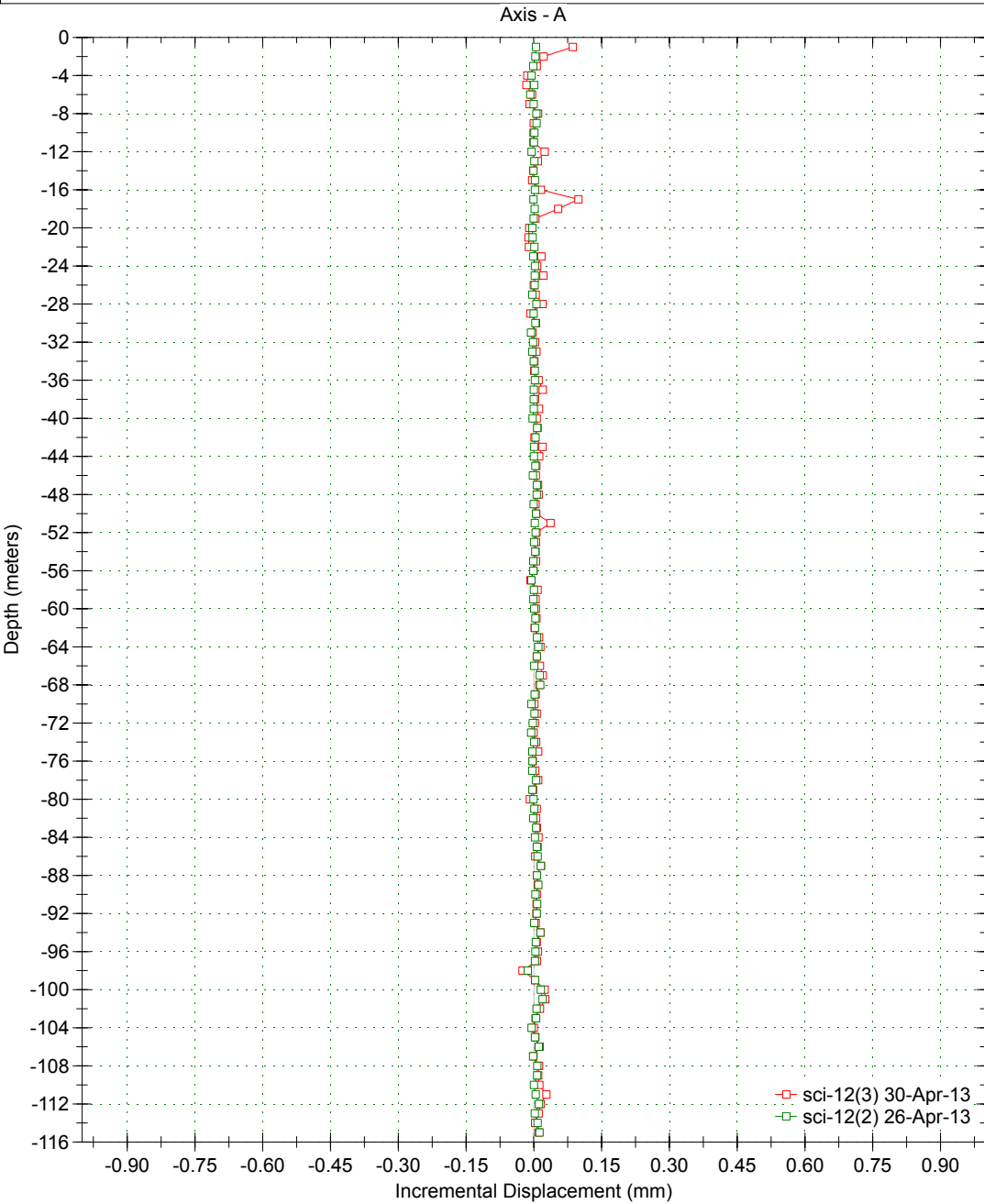
Borehole : sci 11
Project : yesa
Location :
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 48.5 meters
North Groove Azimuth :
Base Reading : 2012 Aug 13 12:08
Axis A Azimuth : 0.0 degrees



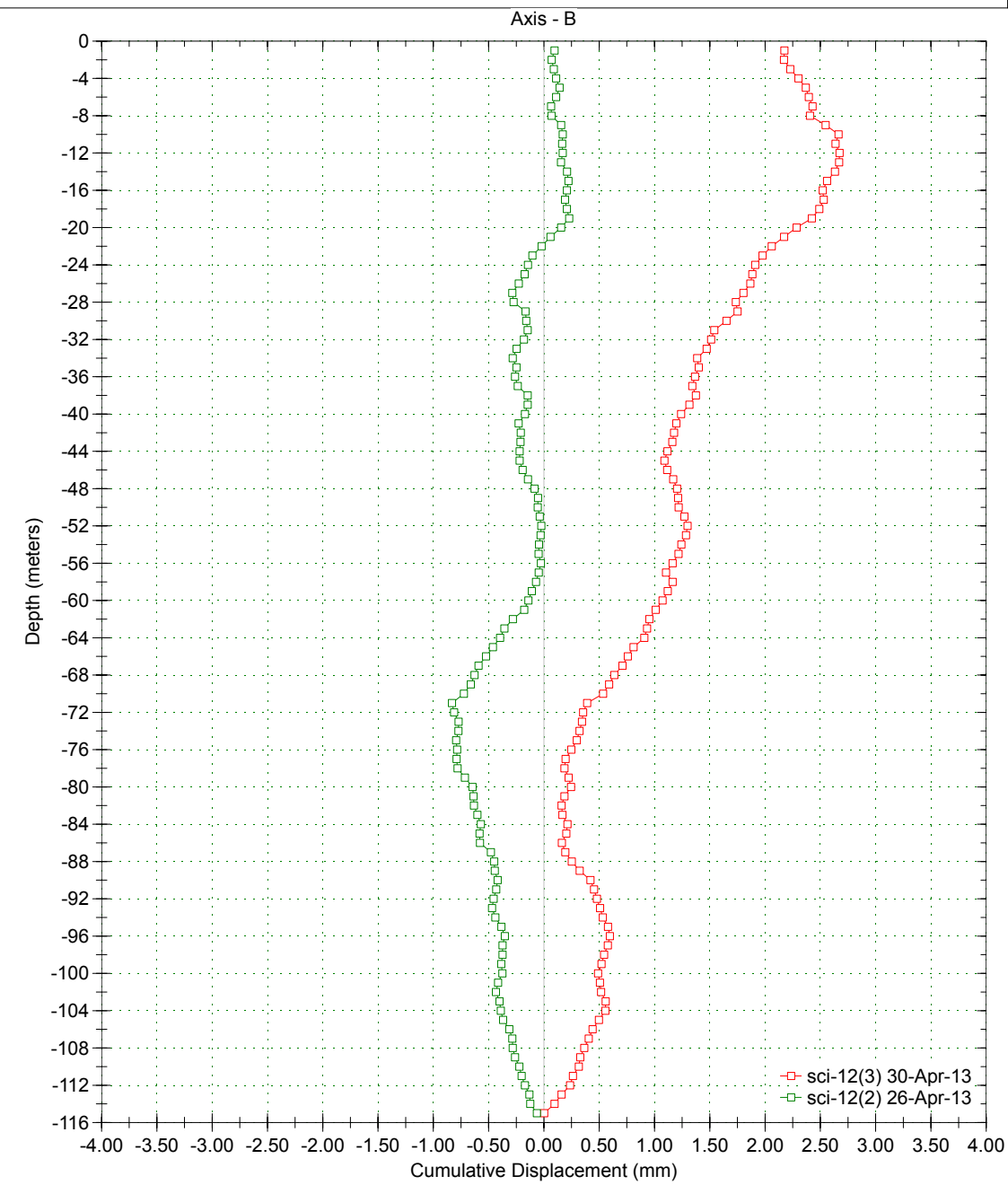
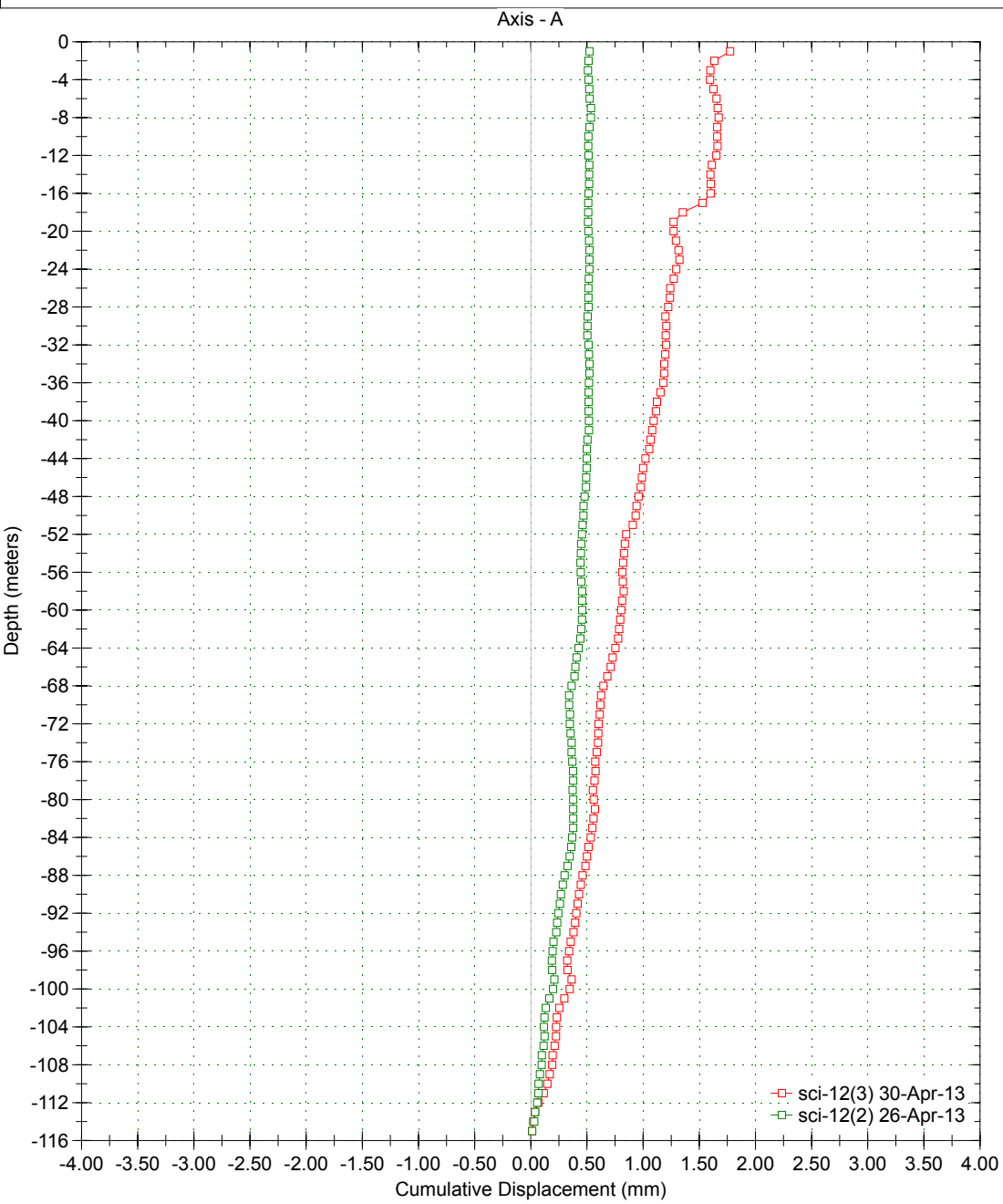
Borehole : sci 12
Project : Default Site
Location : YESA - Margen Dcha
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 115.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2013 Apr 26 10:24
Applied Azimuth : 0.0 degrees



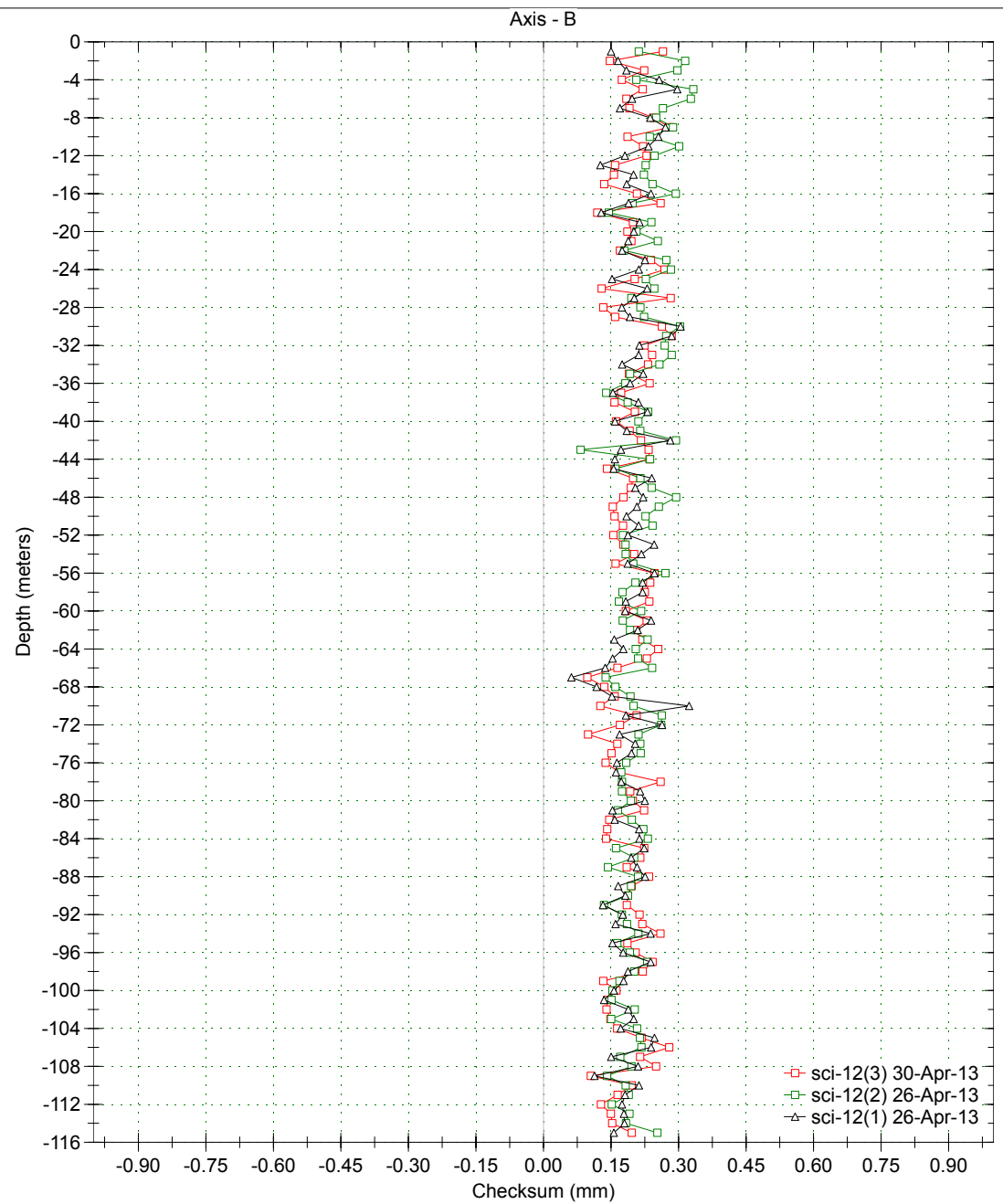
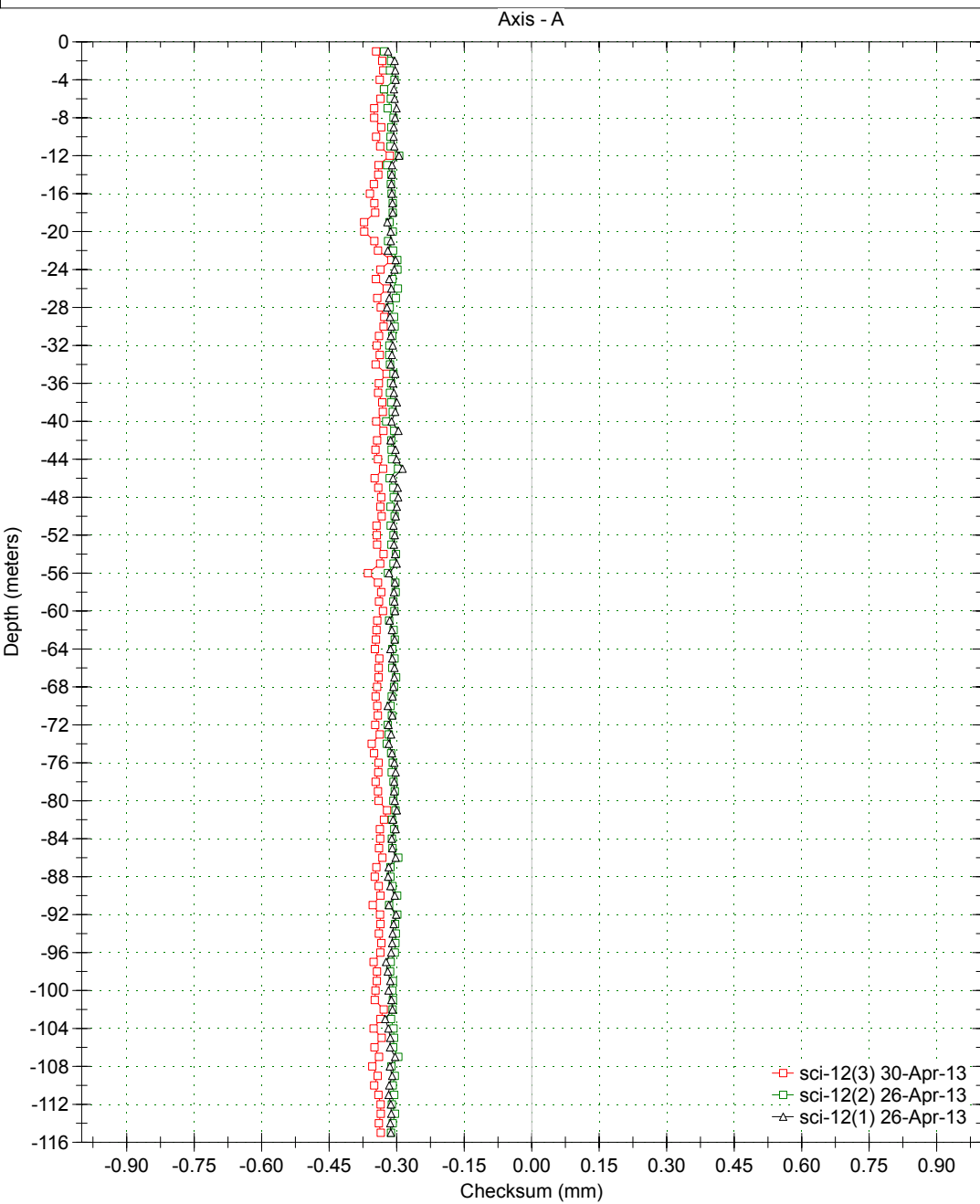
Borehole : sci 12
Project : Default Site
Location : YESA - Margen Dcha
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 115.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2013 Apr 26 10:24
Applied Azimuth : 0.0 degrees



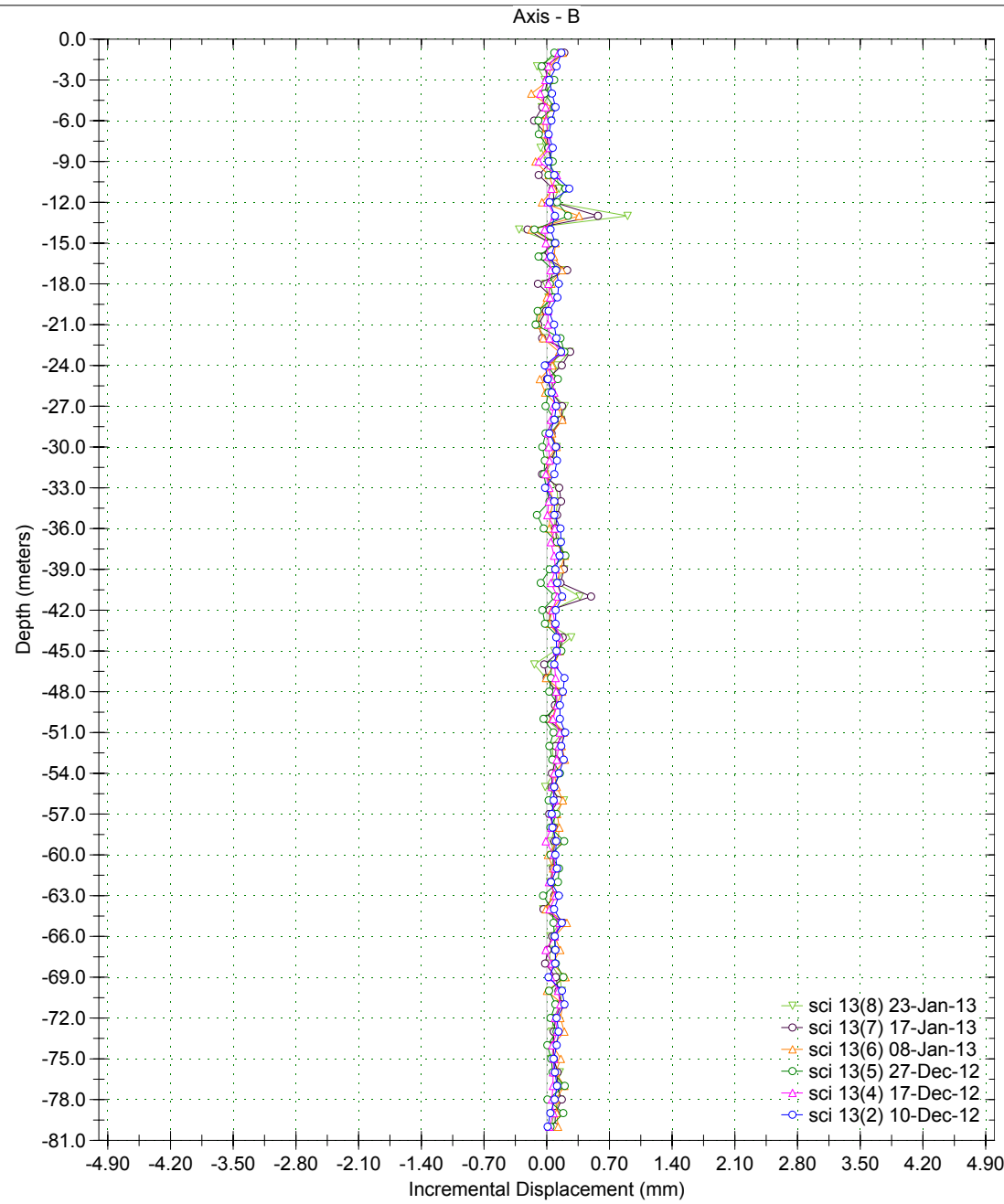
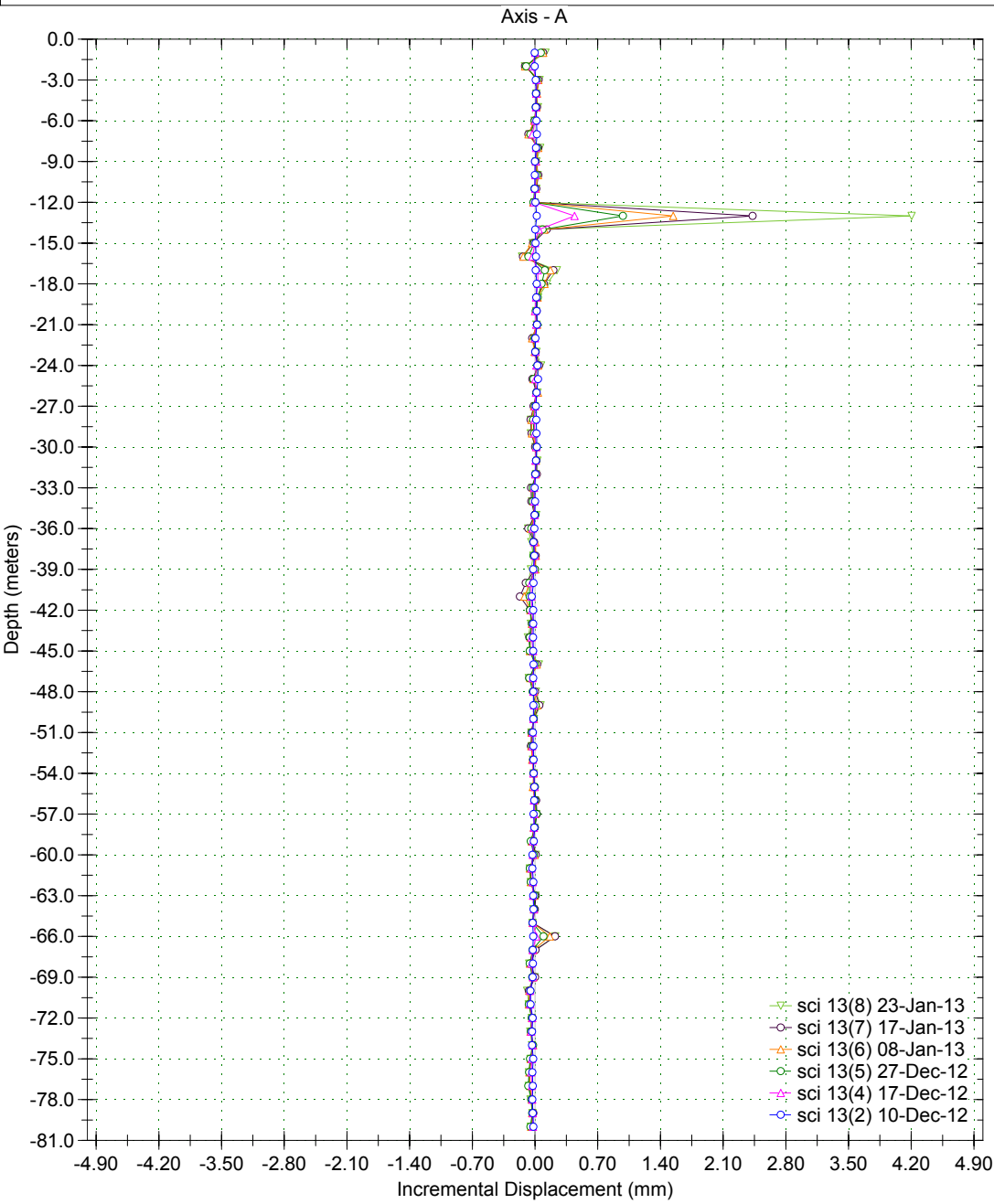
Borehole : sci 12
Project : Default Site
Location : YESA - Margen Dcha
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 115.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2013 Apr 26 10:24
Applied Azimuth : 0.0 degrees



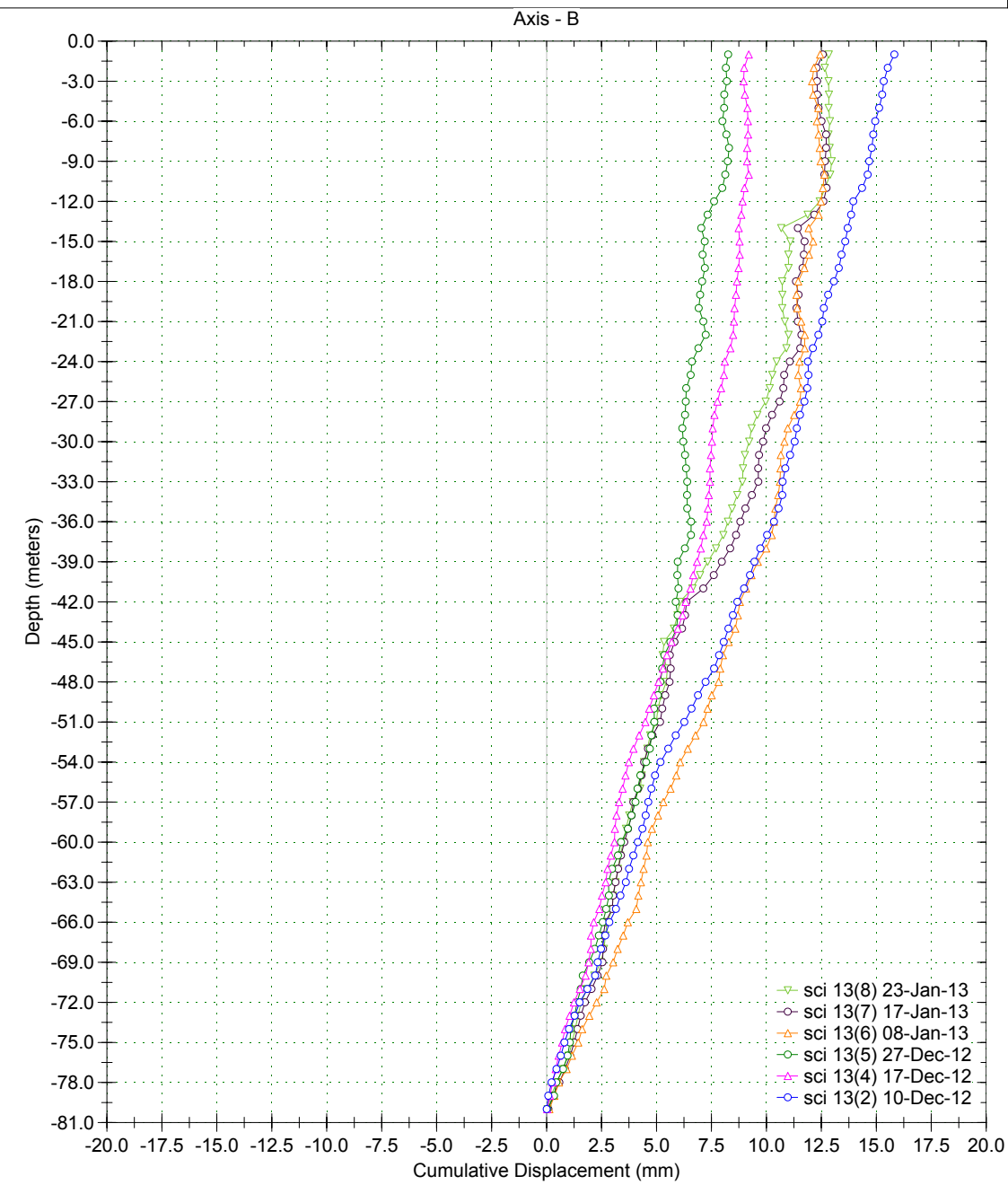
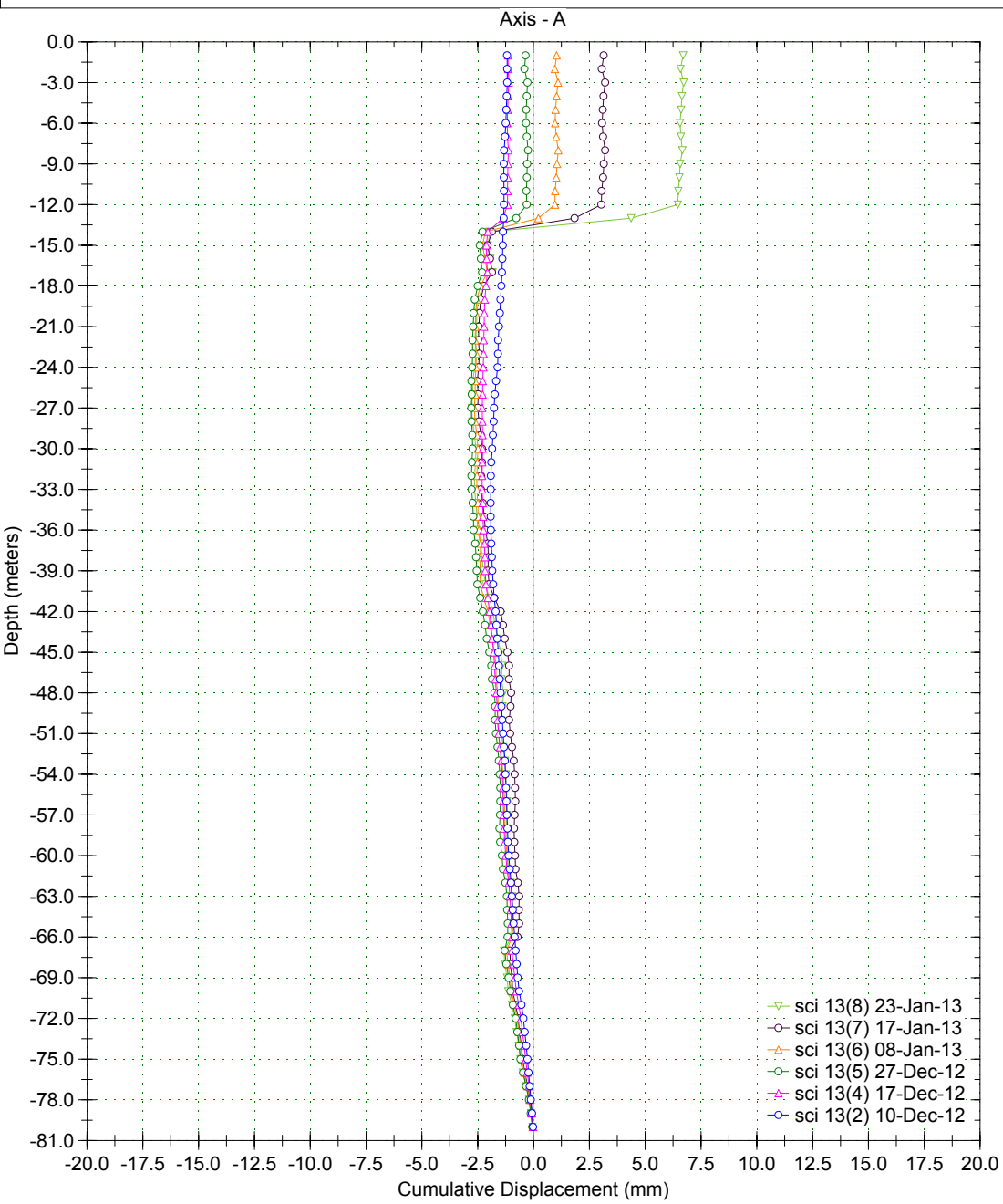
Borehole : sci 13
Project : Default Site
Location : YESA - Margen dcha
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 80.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2012 Dec 10 16:47
Applied Azimuth : 0.0 degrees



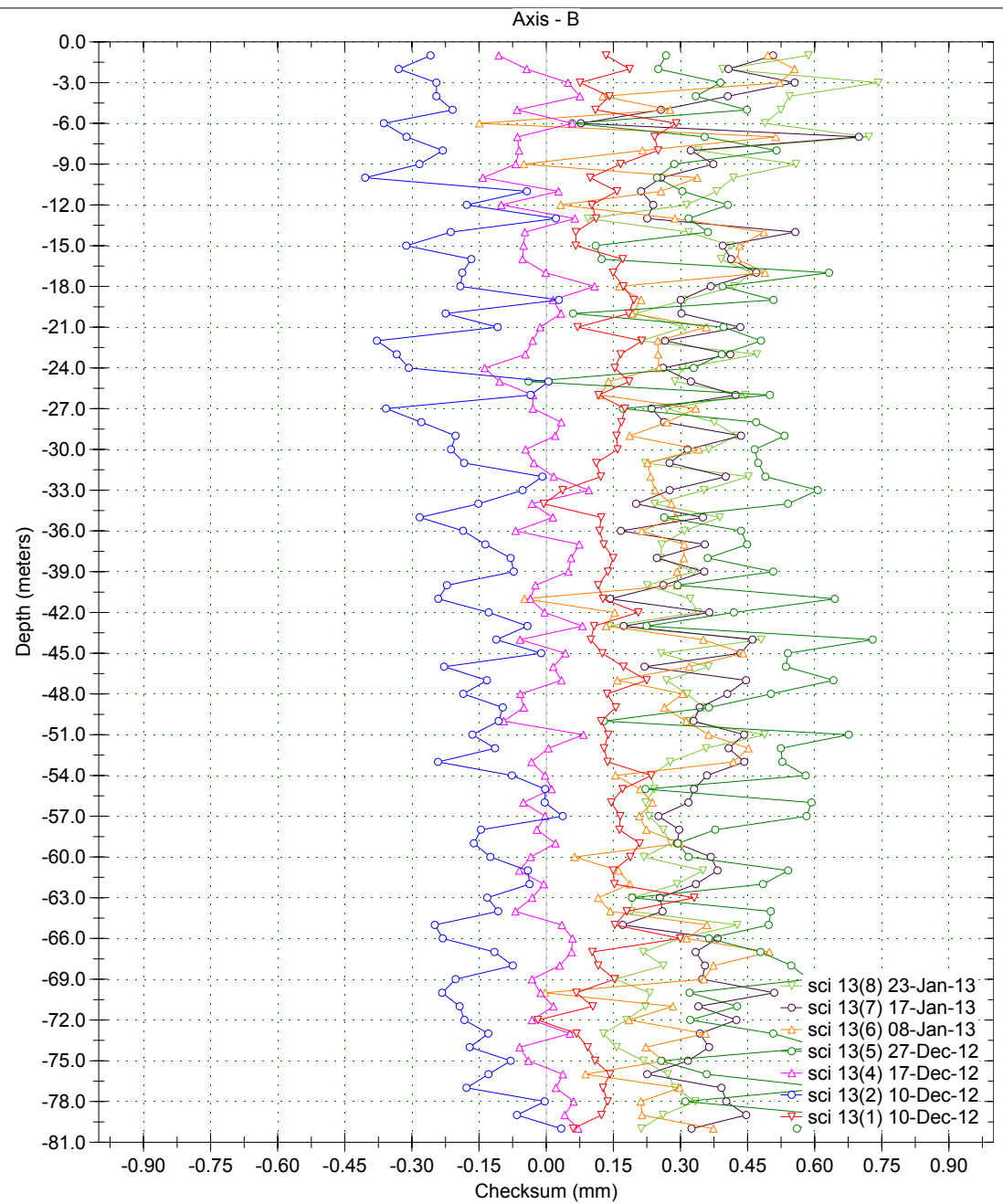
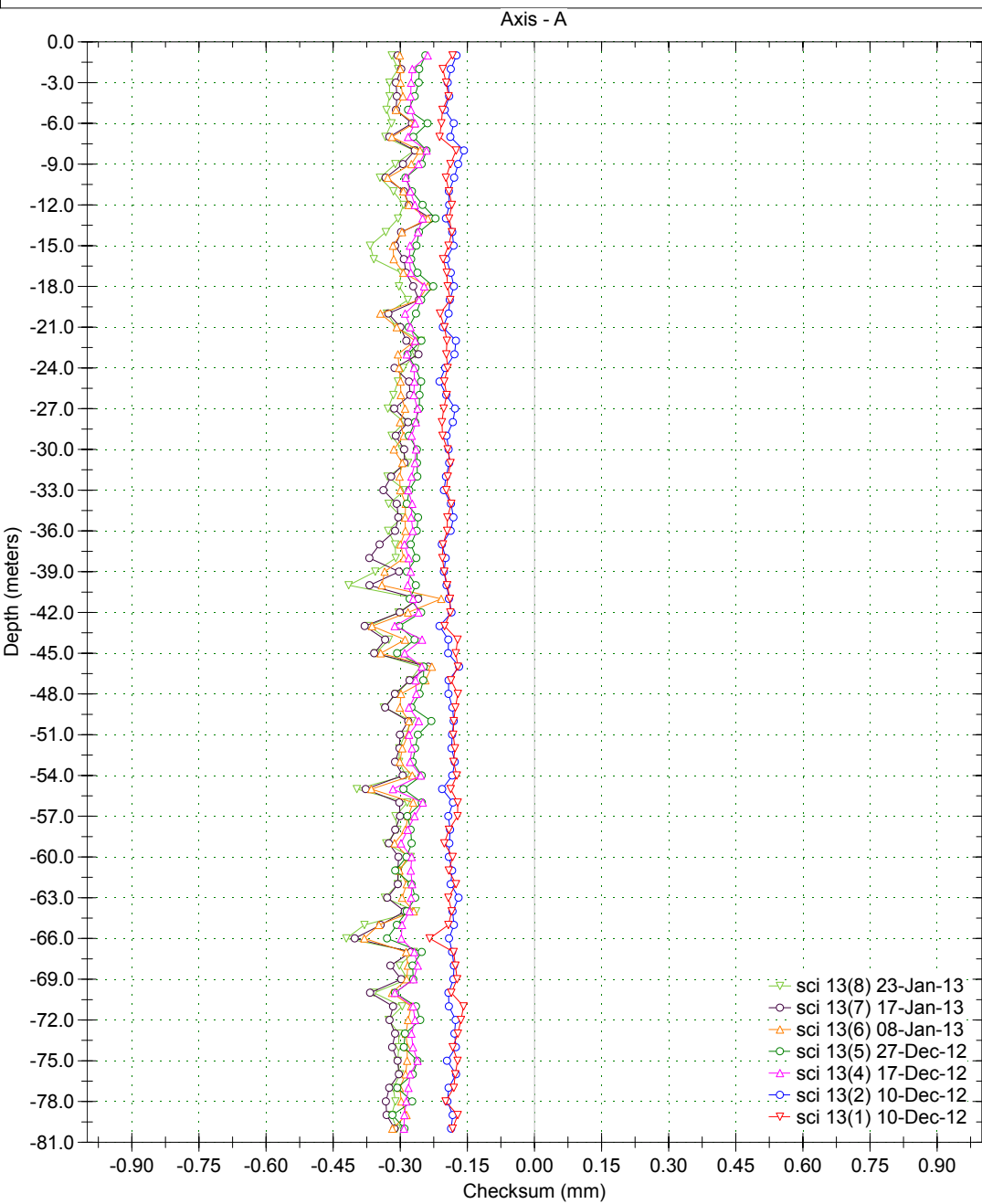
Borehole : sci 13
Project : Default Site
Location : YESA - Margen dcha
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 80.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2012 Dec 10 16:47
Applied Azimuth : 0.0 degrees



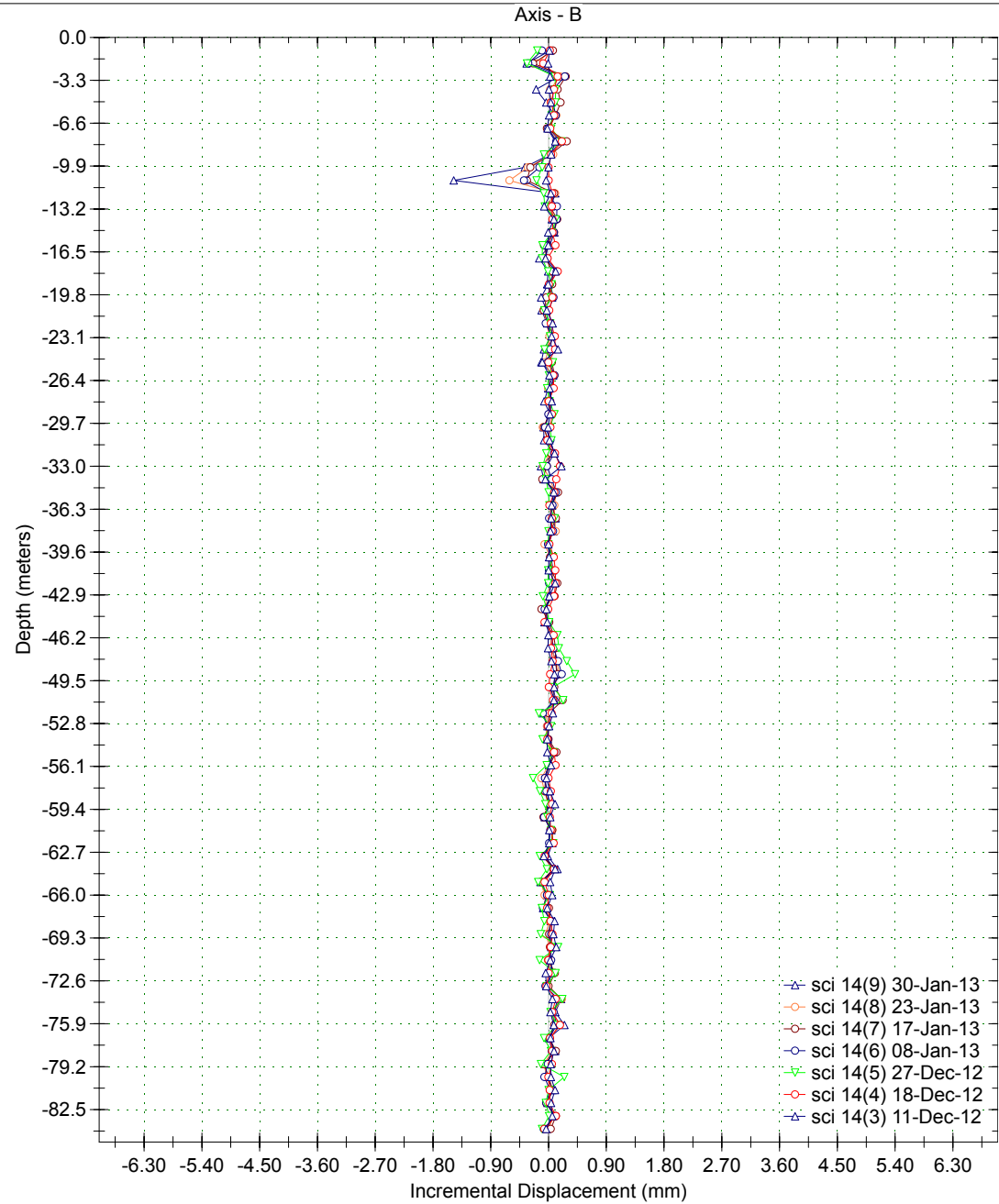
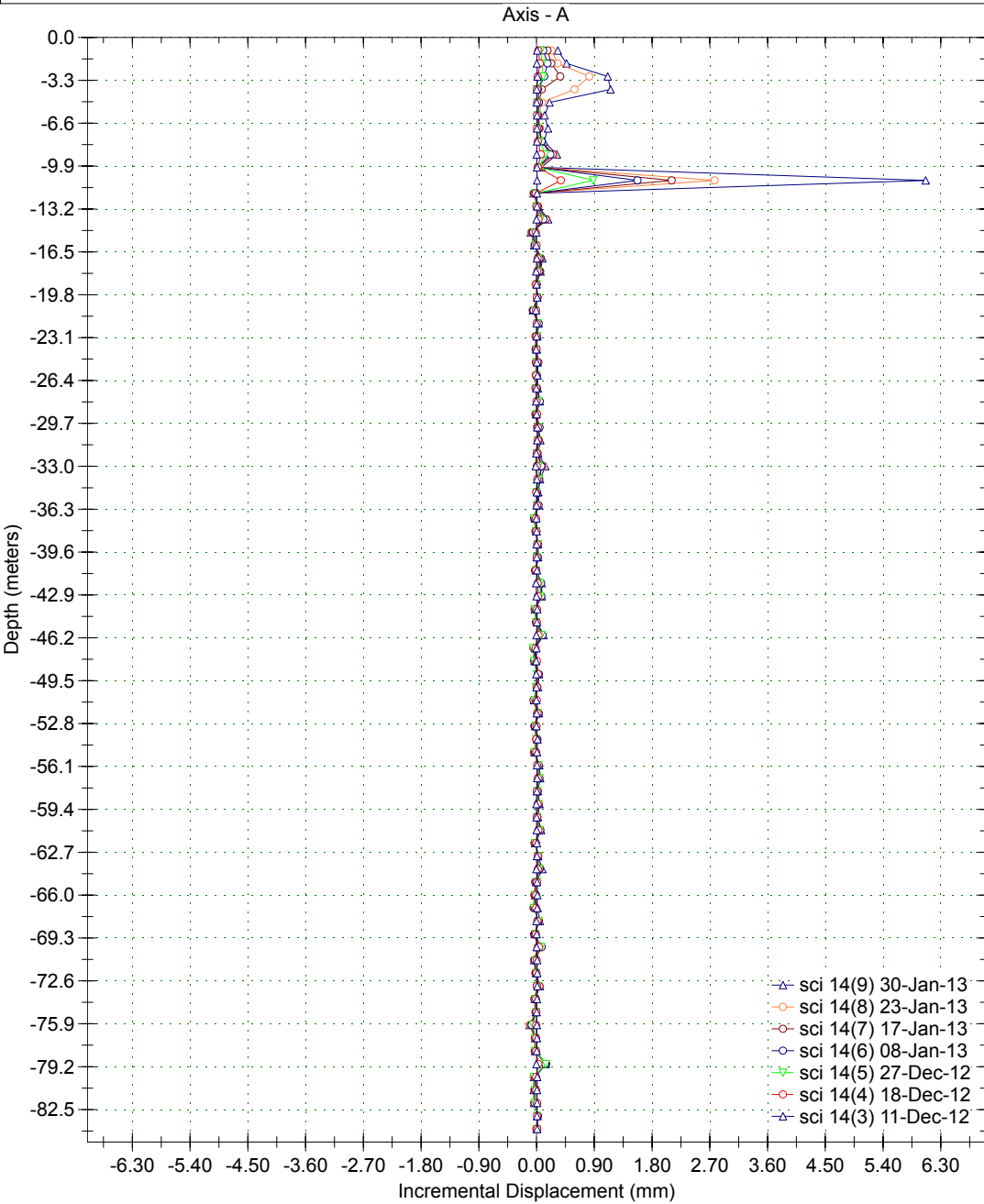
Borehole : sci 13
Project : Default Site
Location : YESA - Margen dcha
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 80.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2012 Dec 10 16:47
Applied Azimuth : 0.0 degrees



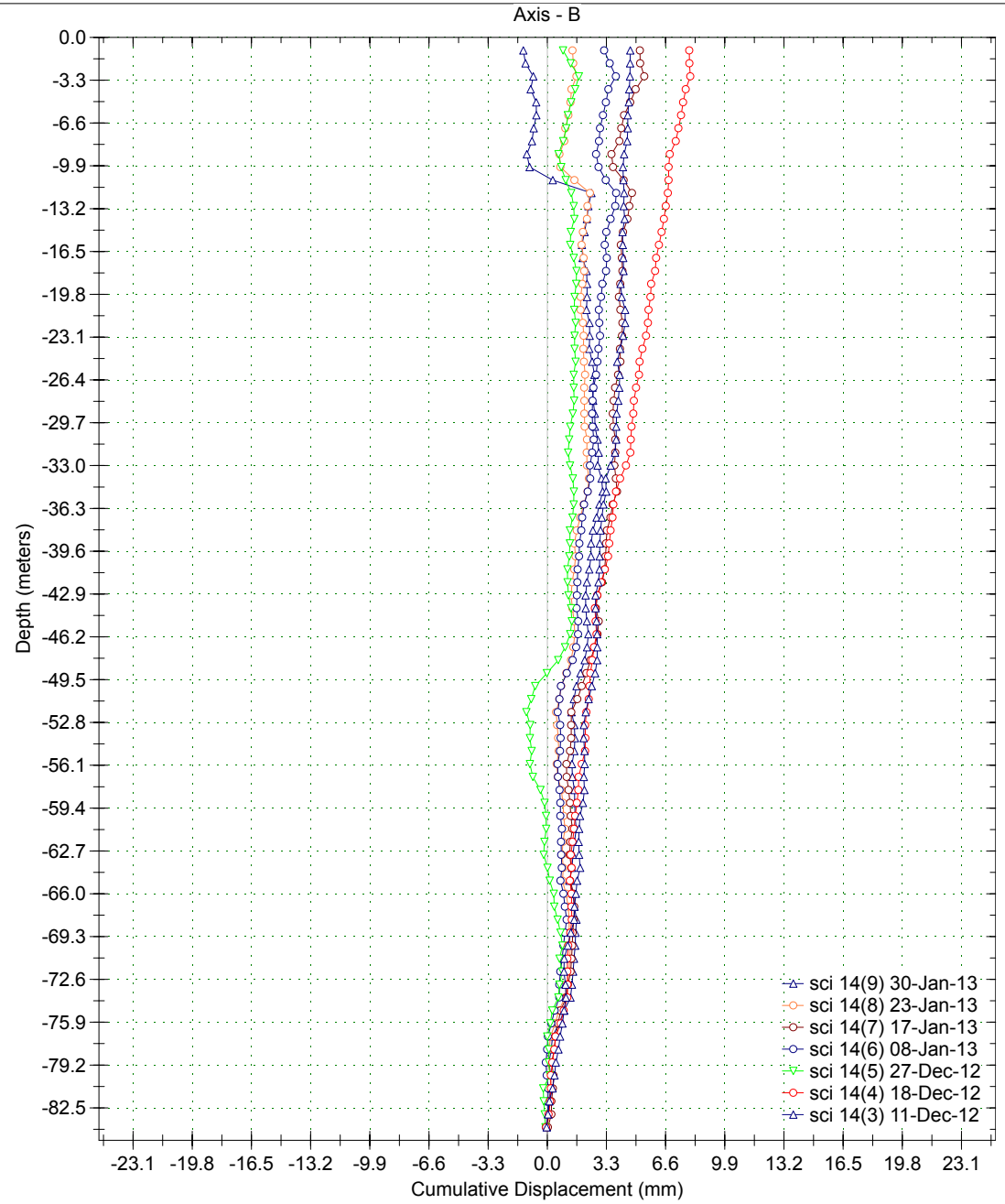
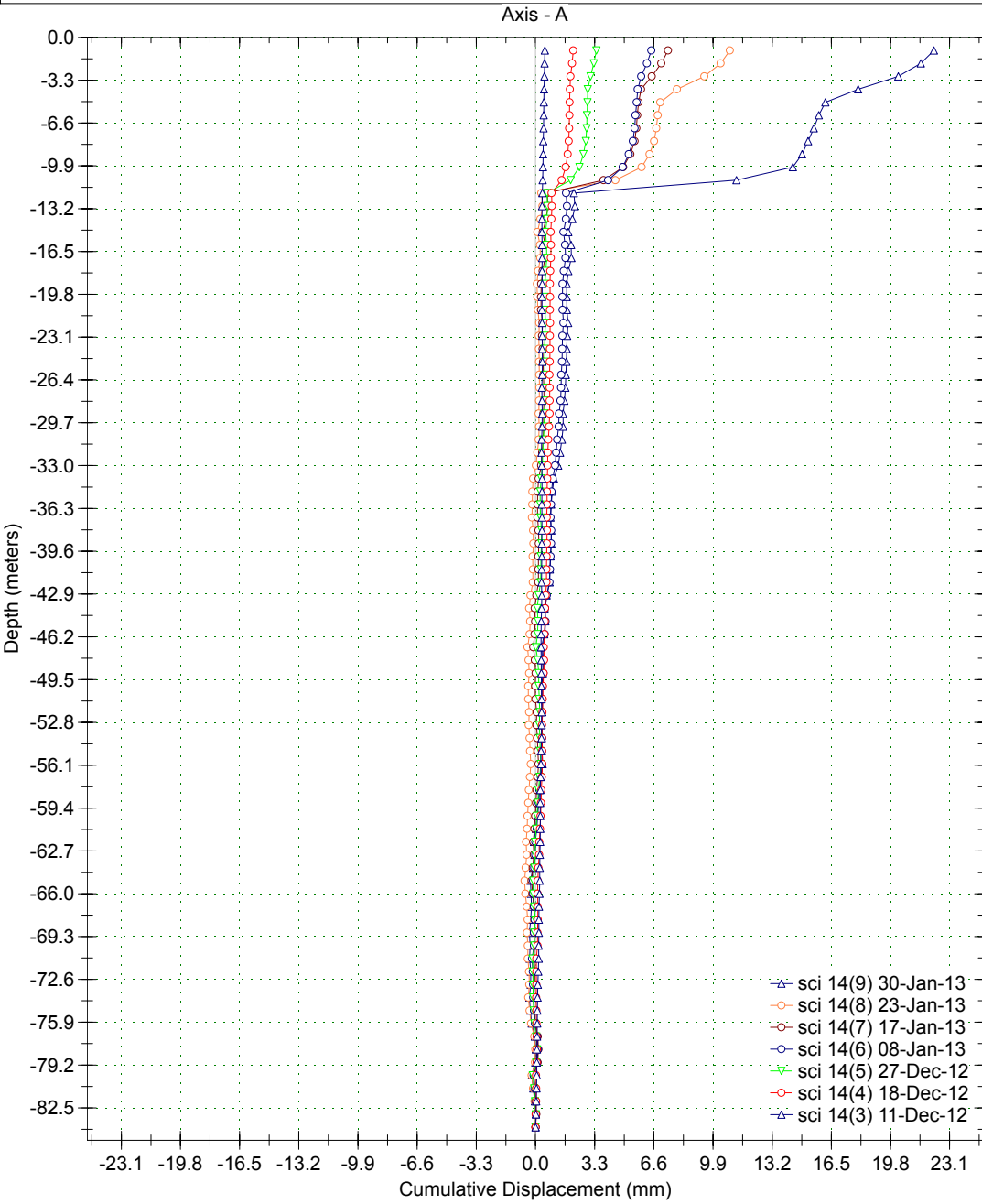
Borehole : sci 14
Project : Default Site
Location : YESA - Margen dcha
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 84.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2012 Dec 11 09:54
Applied Azimuth : 0.0 degrees



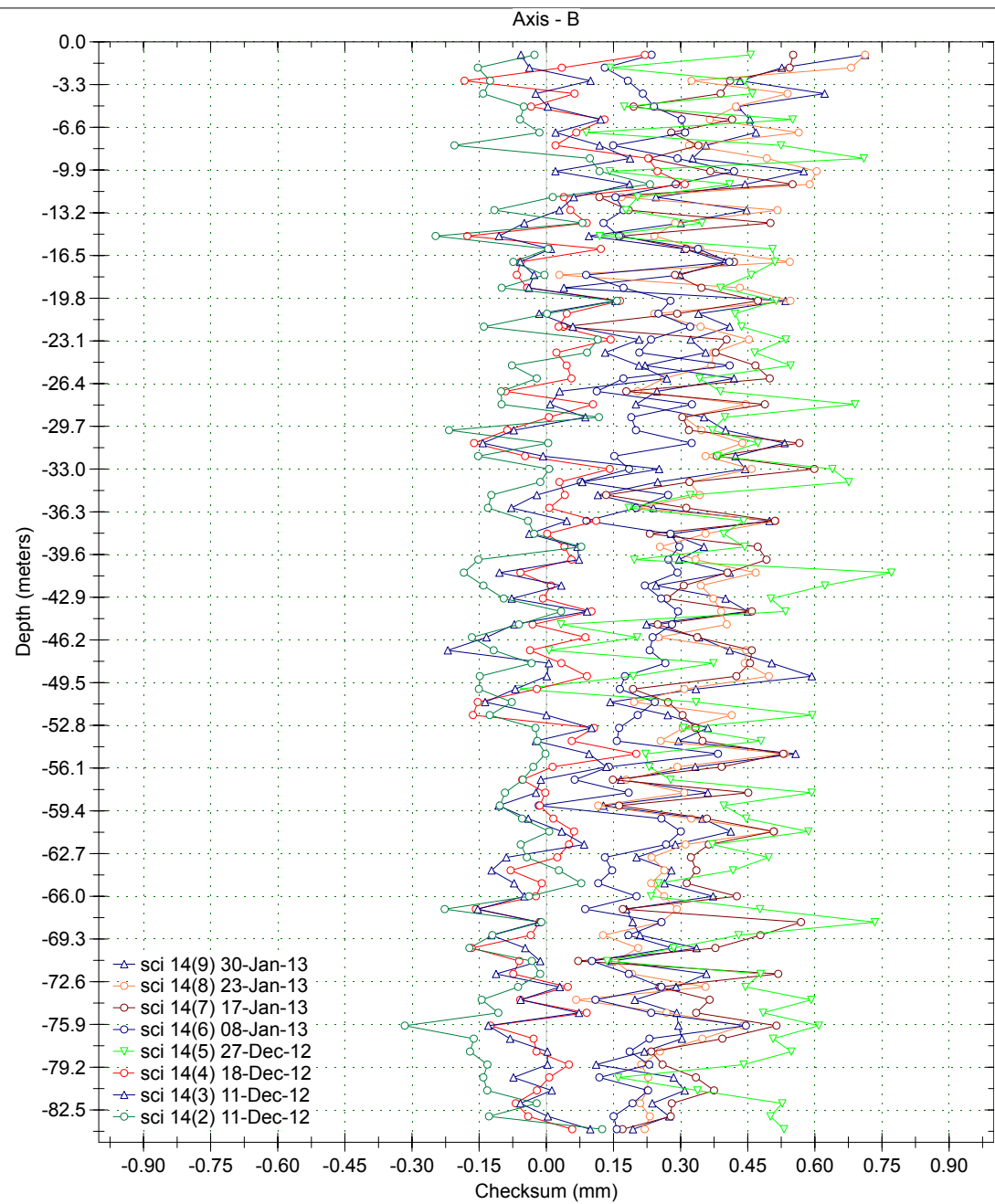
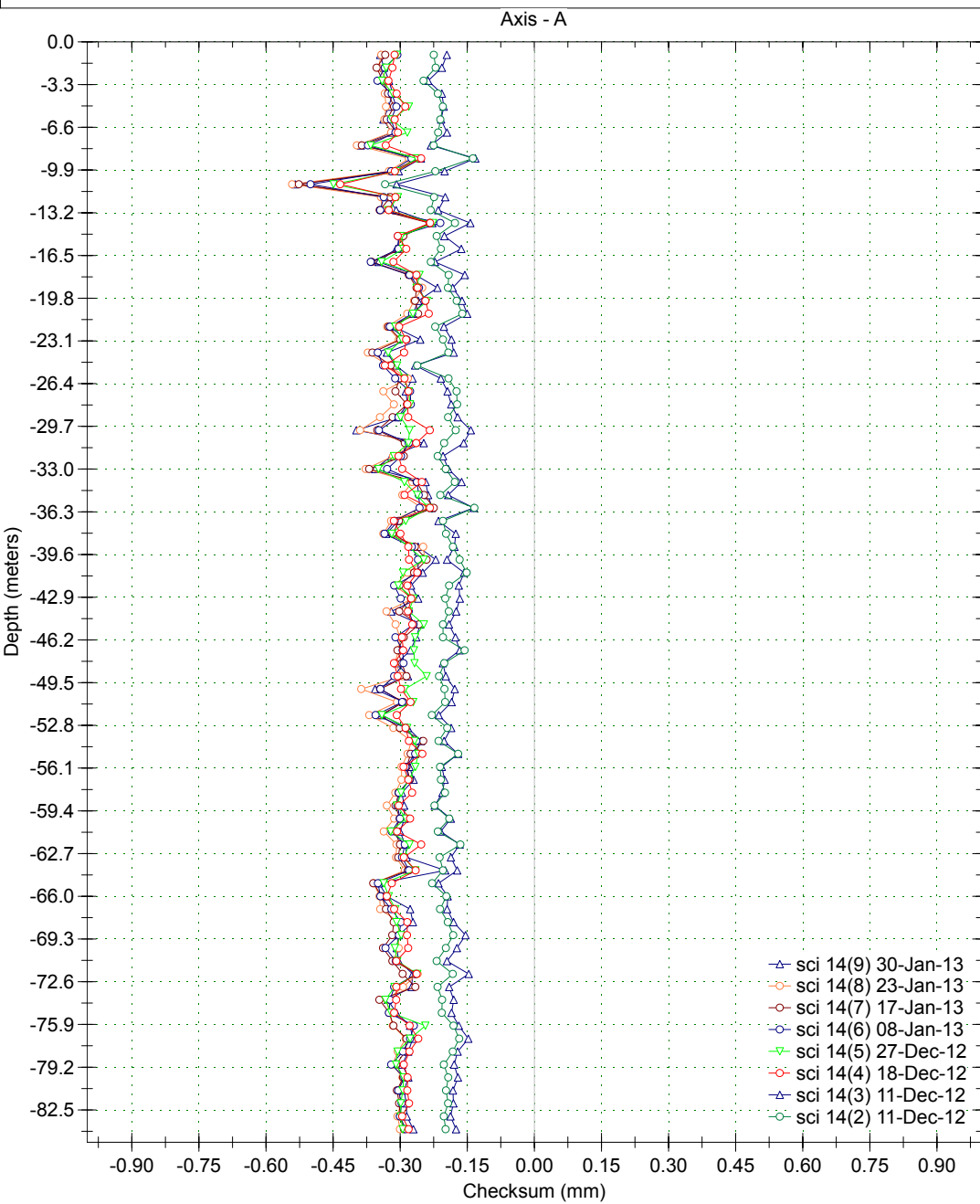
Borehole : sci 14
Project : Default Site
Location : YESA - Margen dcha
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 84.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2012 Dec 11 09:54
Applied Azimuth : 0.0 degrees



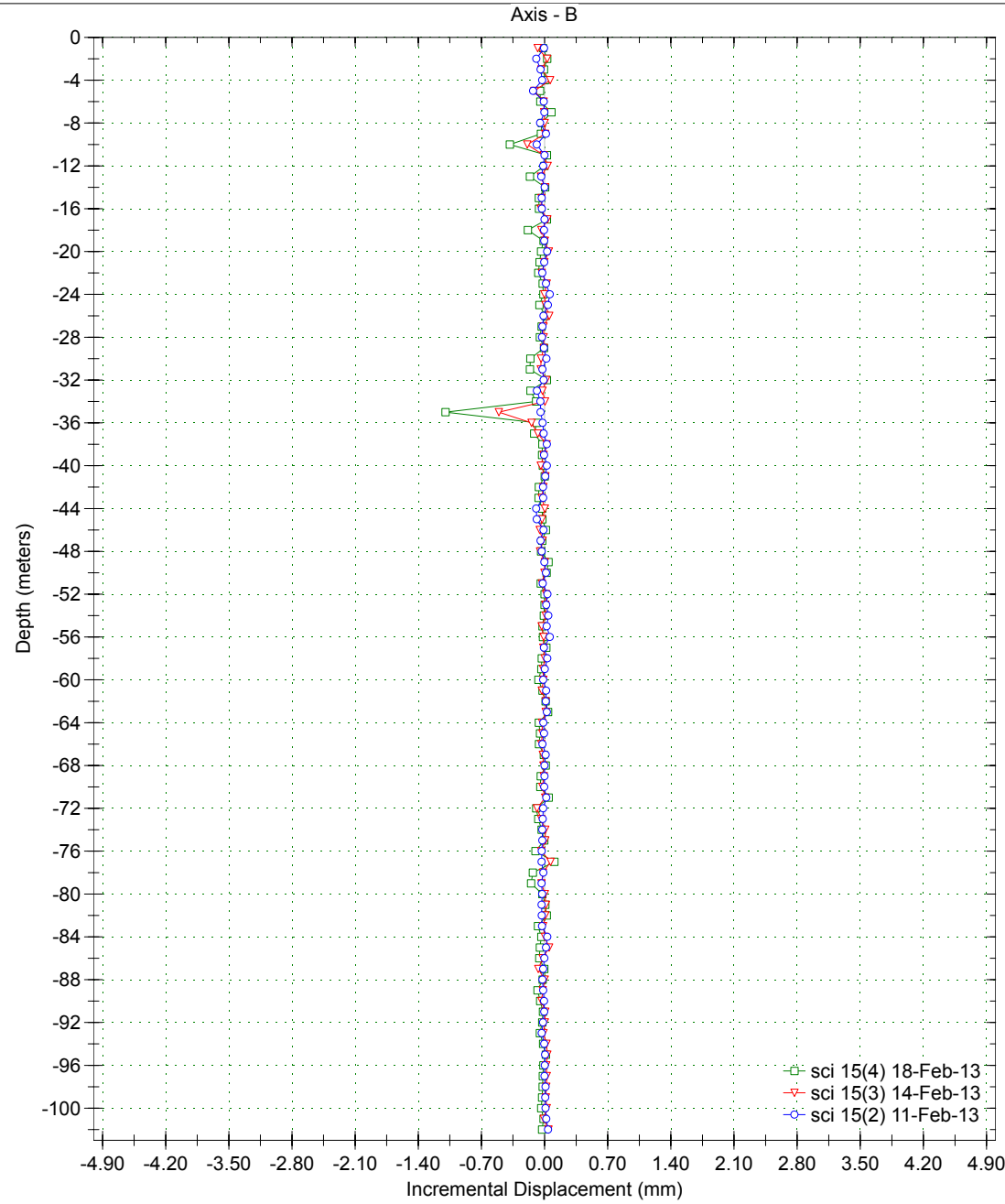
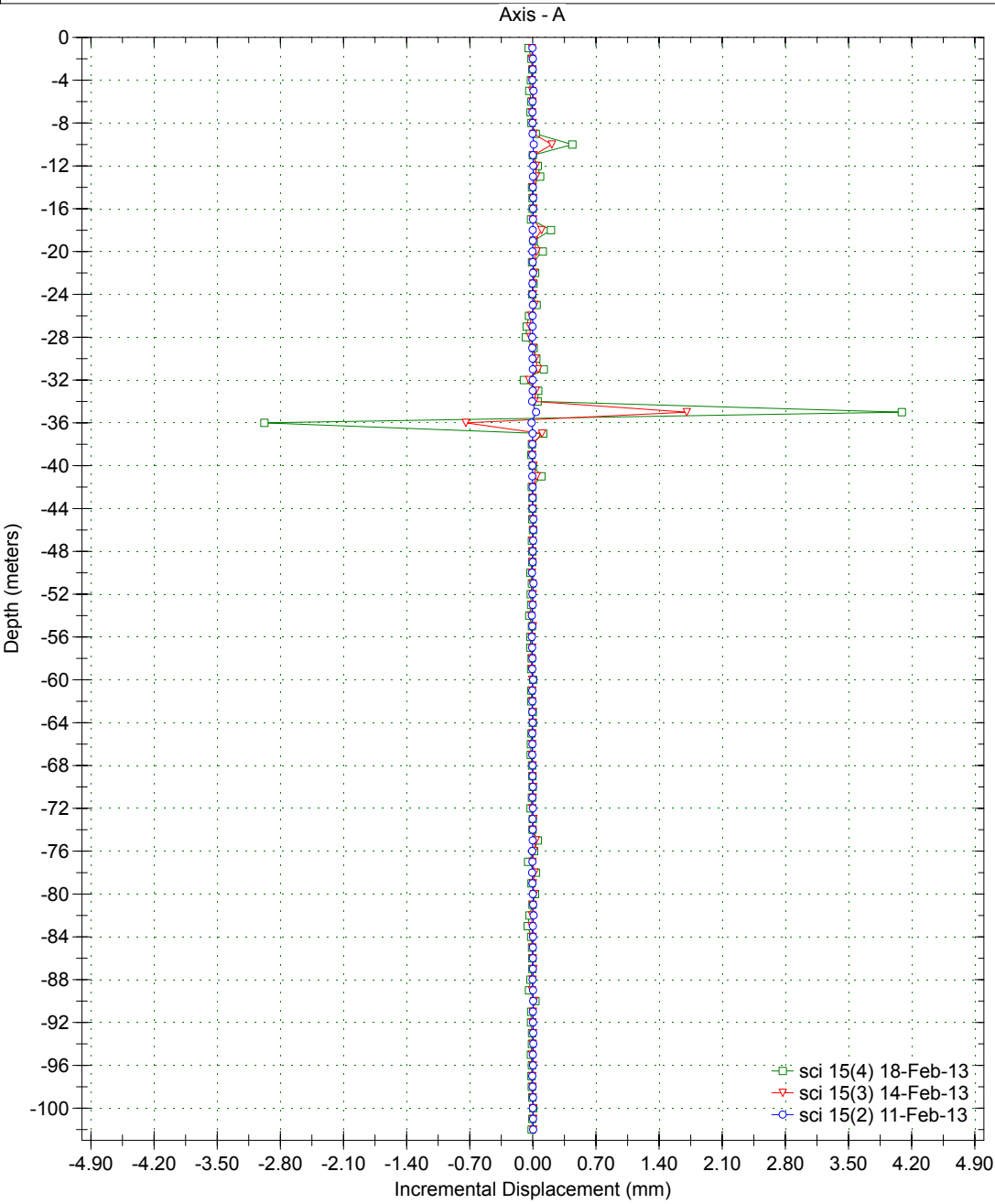
Borehole : sci 14
Project : Default Site
Location : YESA - Margen dcha
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 84.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2012 Dec 11 09:54
Applied Azimuth : 0.0 degrees



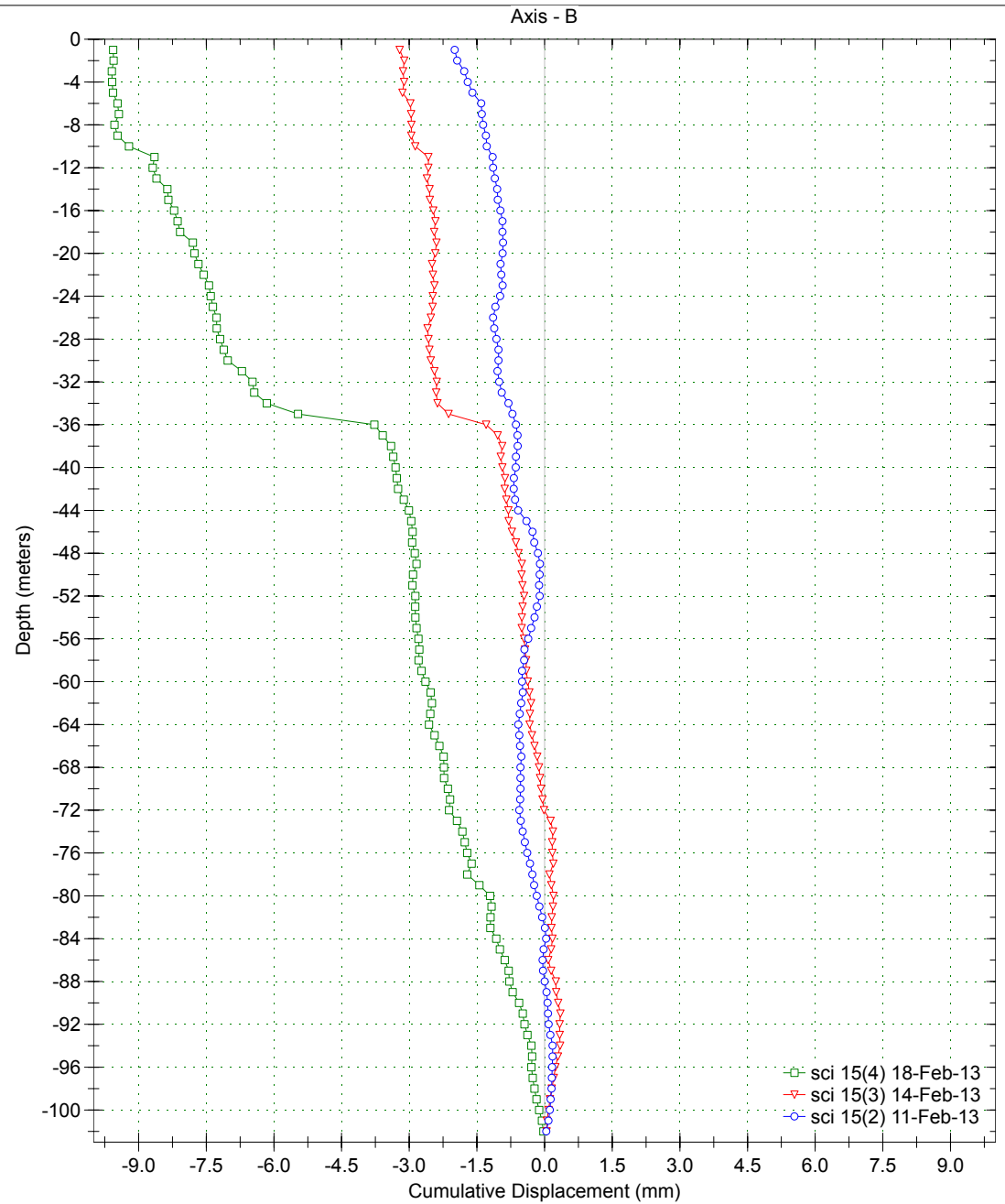
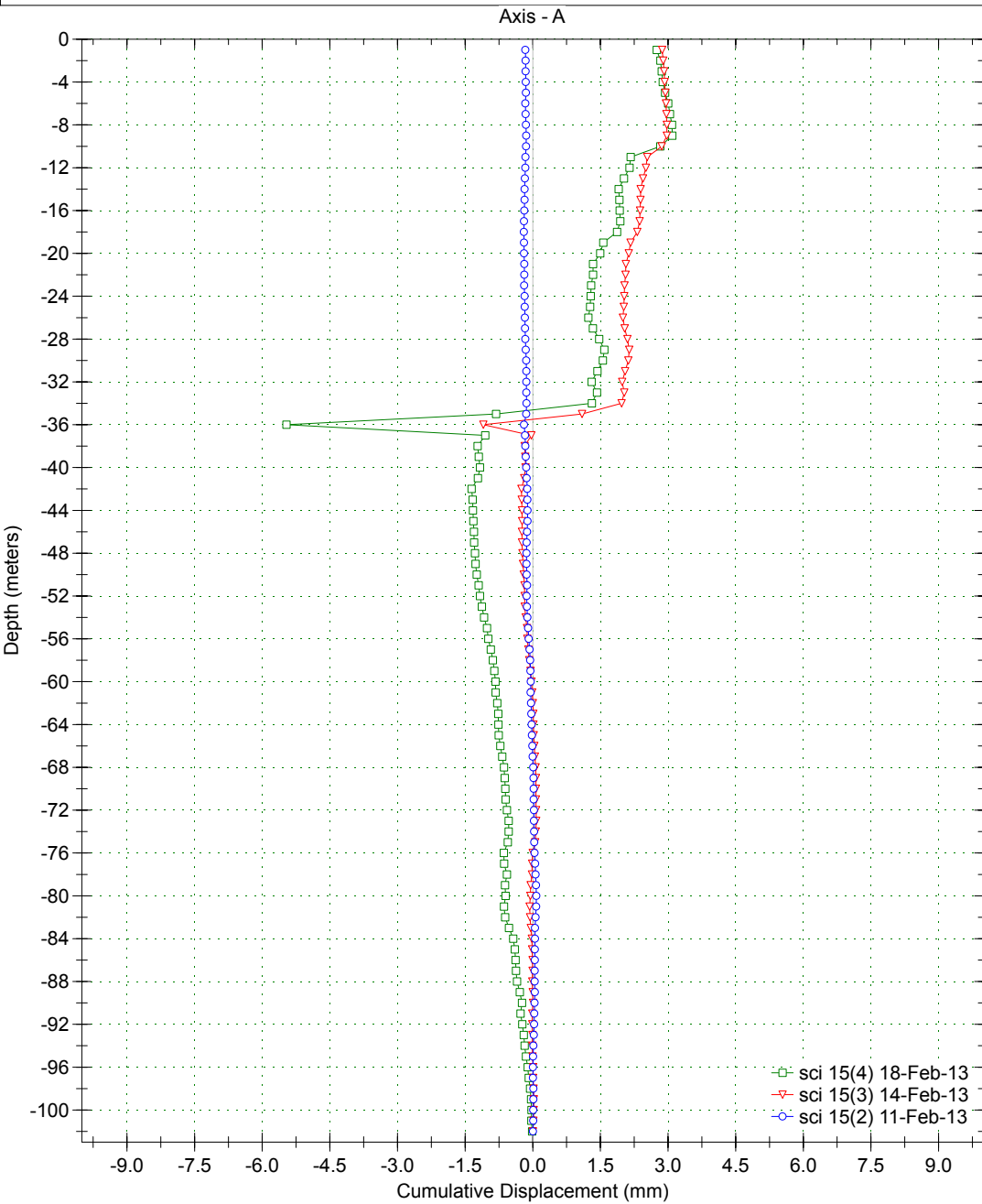
Borehole : sci 15
Project : Default Site
Location :
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 102.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2013 Feb 11 13:06
Applied Azimuth : 0.0 degrees



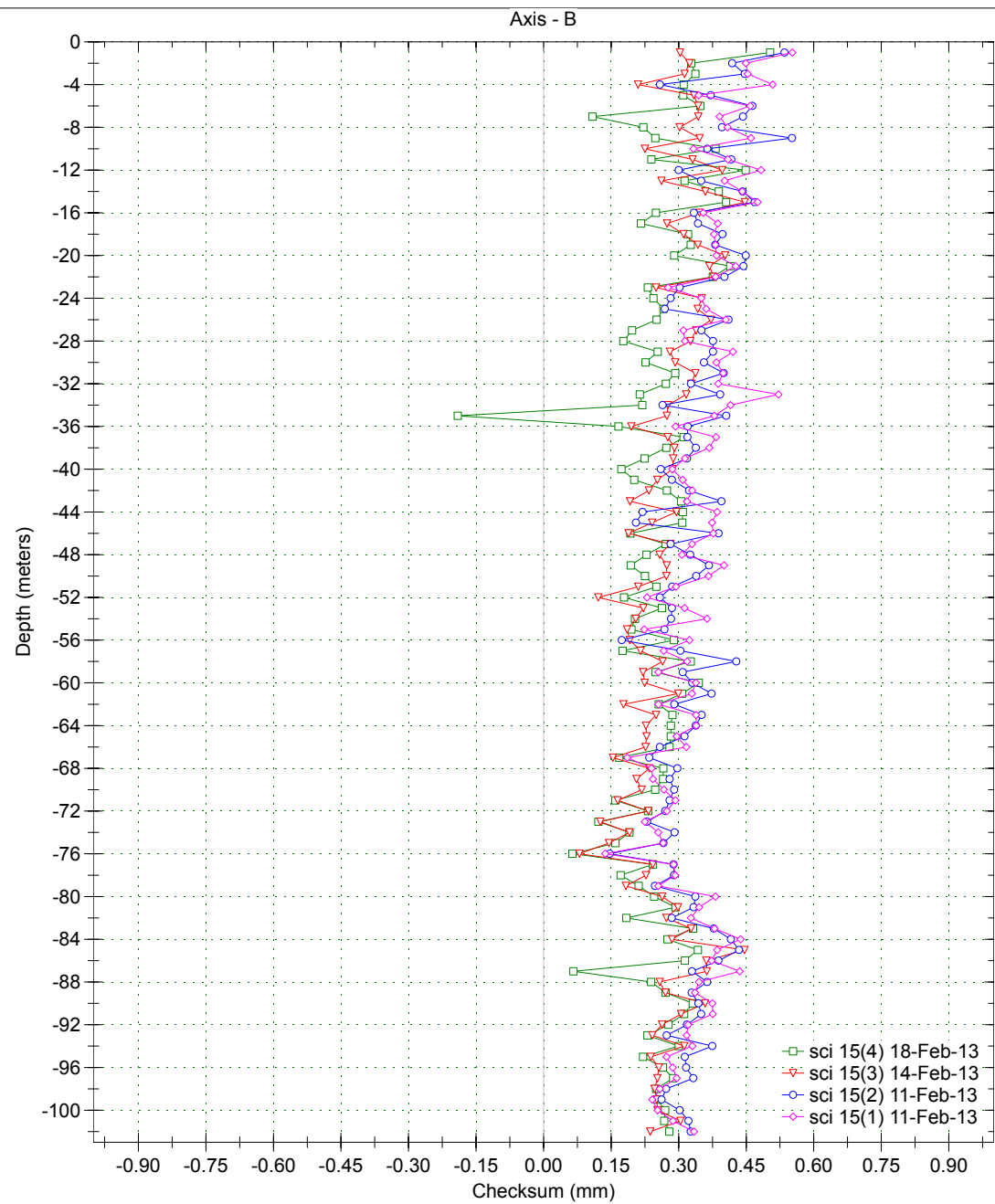
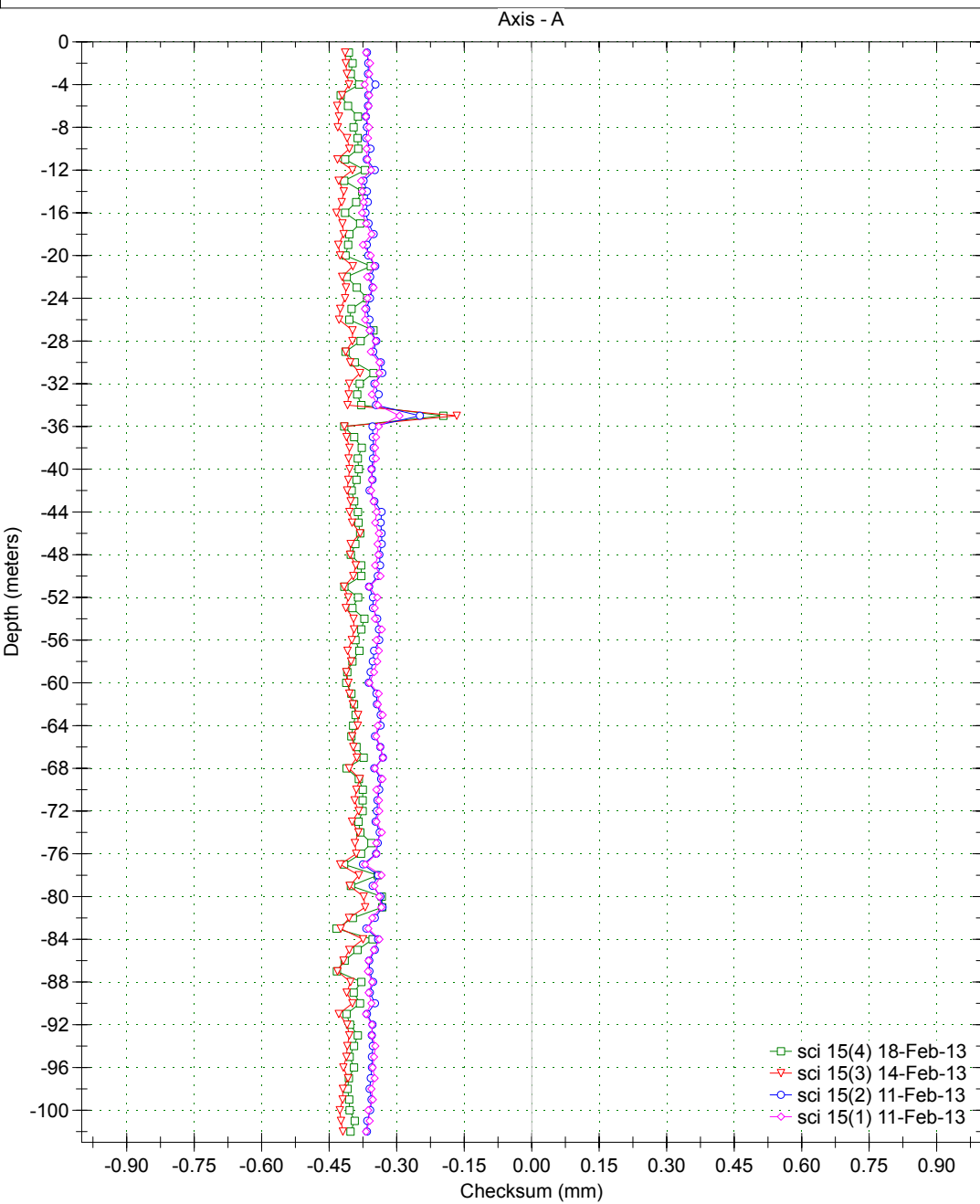
Borehole : sci 15
Project : Default Site
Location :
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 102.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2013 Feb 11 13:06
Applied Azimuth : 0.0 degrees



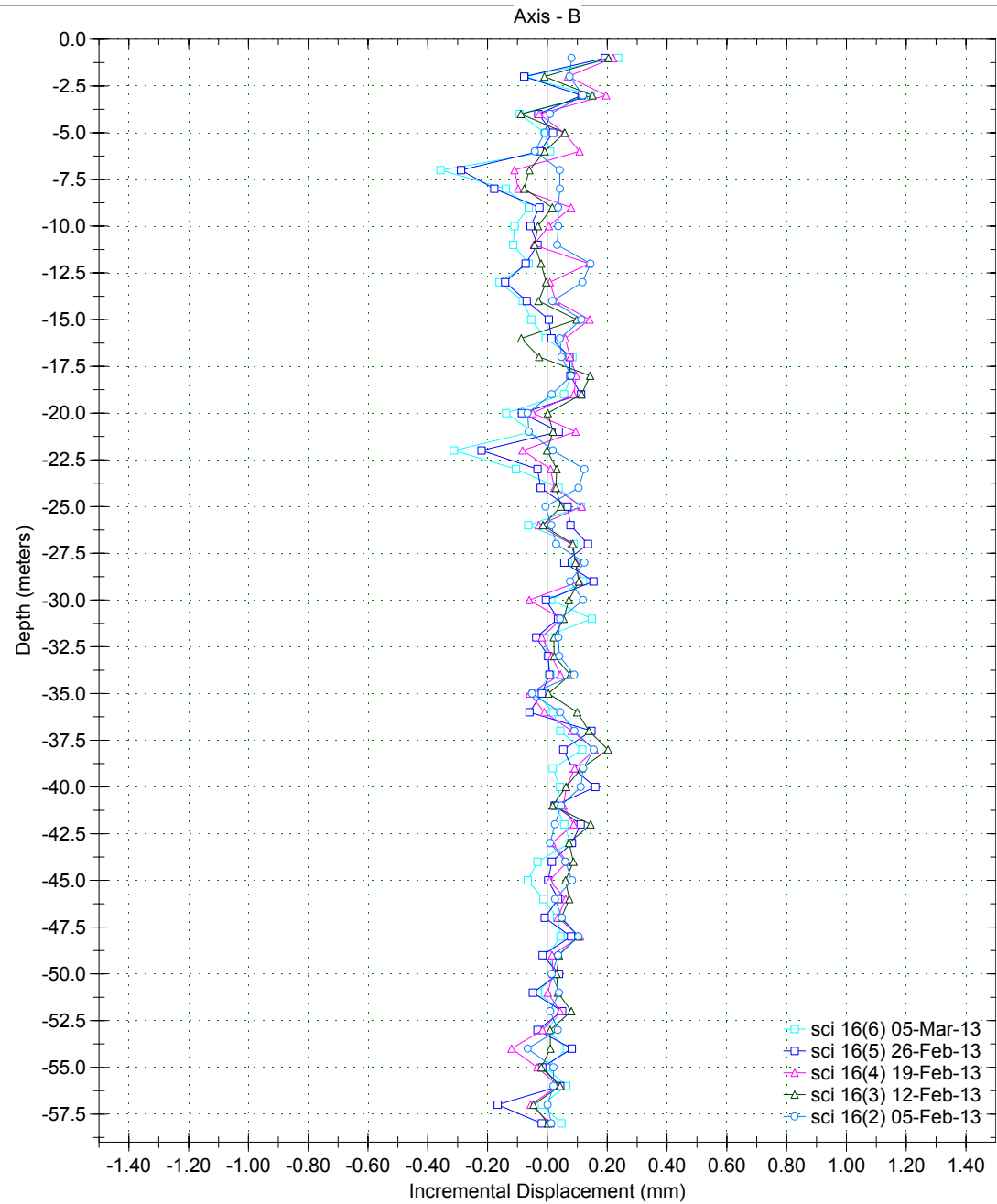
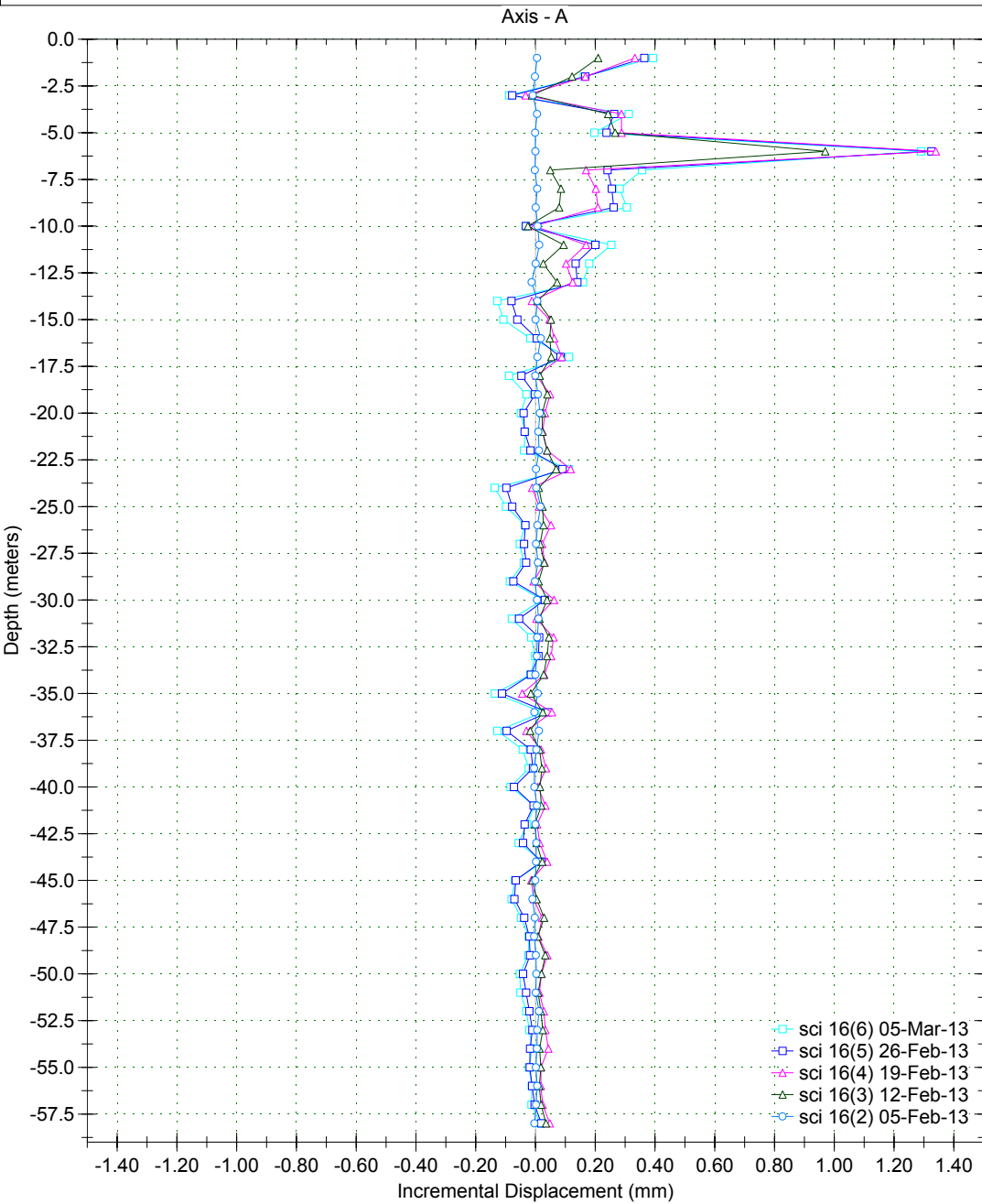
Borehole : sci 15
Project : Default Site
Location :
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 102.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2013 Feb 11 13:06
Applied Azimuth : 0.0 degrees



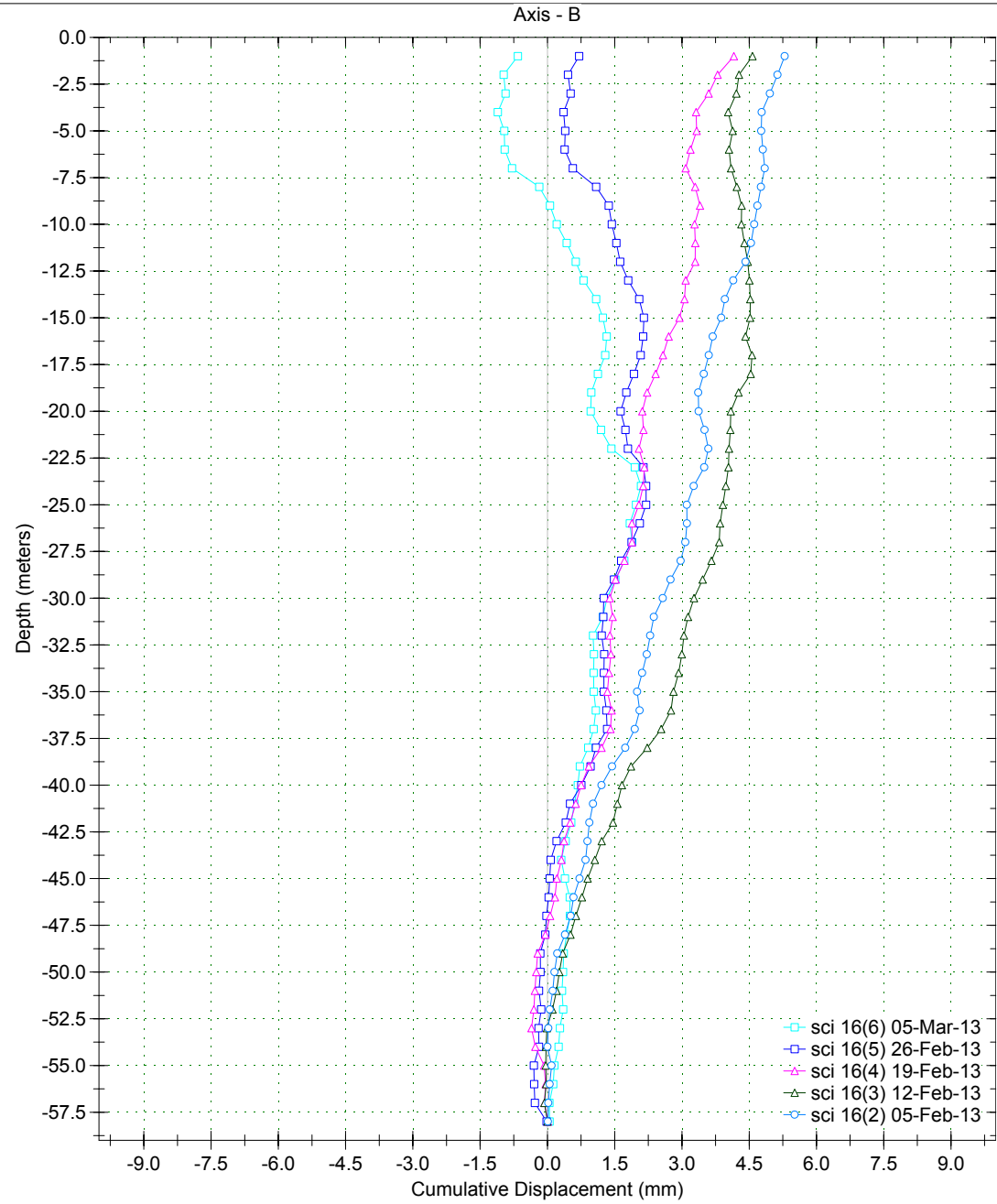
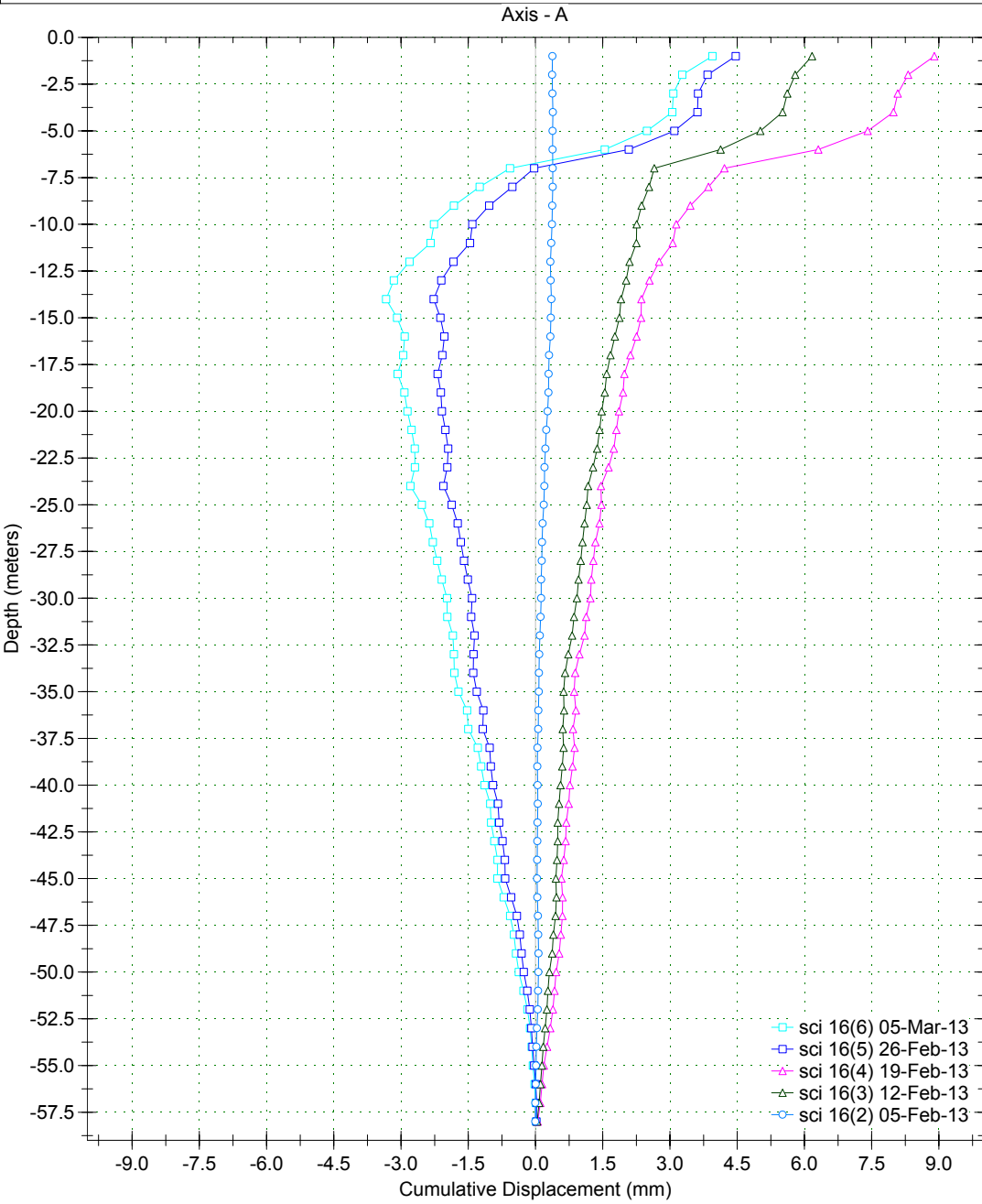
Borehole : sci 16
Project : Default Site
Location :
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 58.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2013 Feb 05 09:51
Applied Azimuth : 0.0 degrees



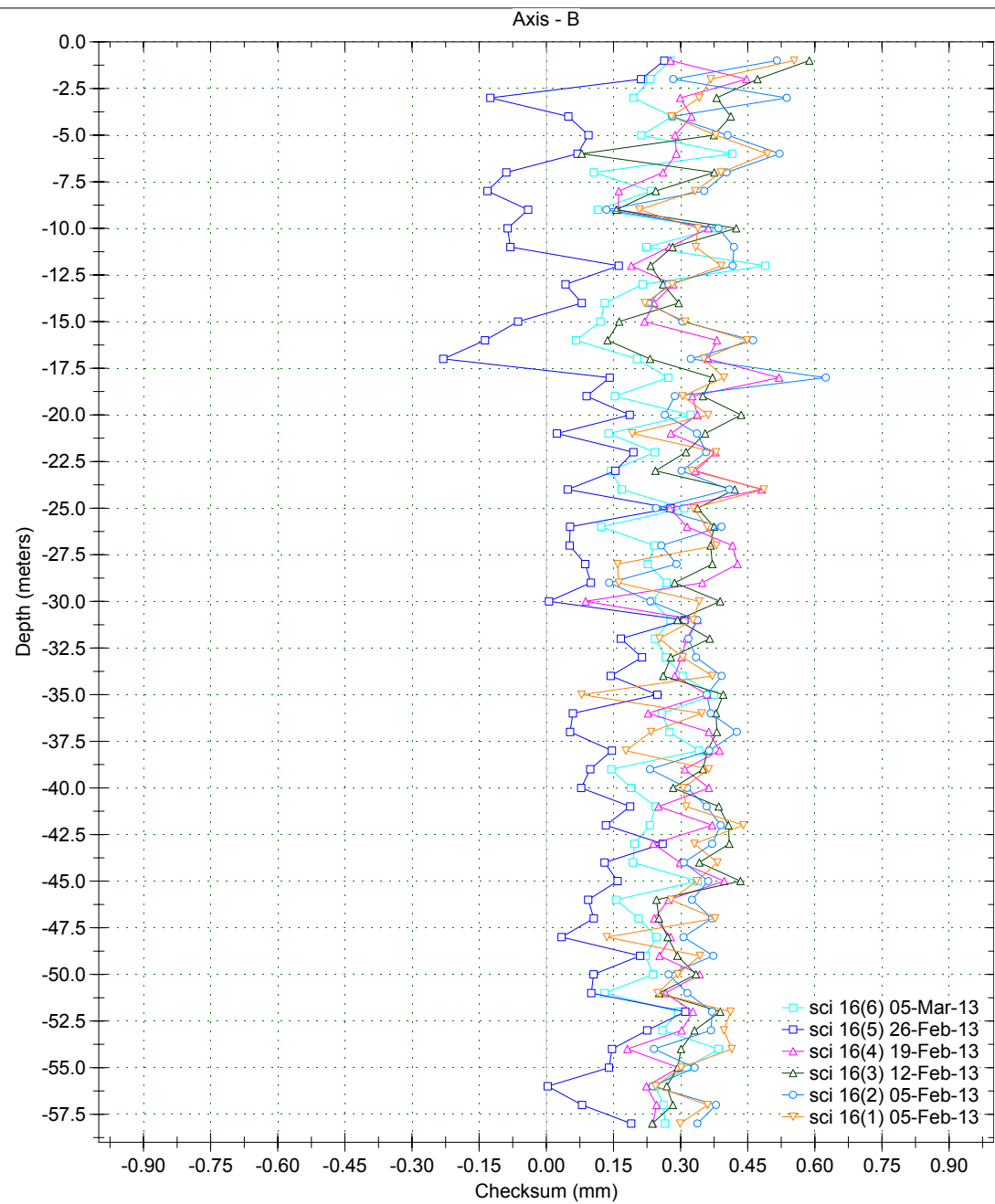
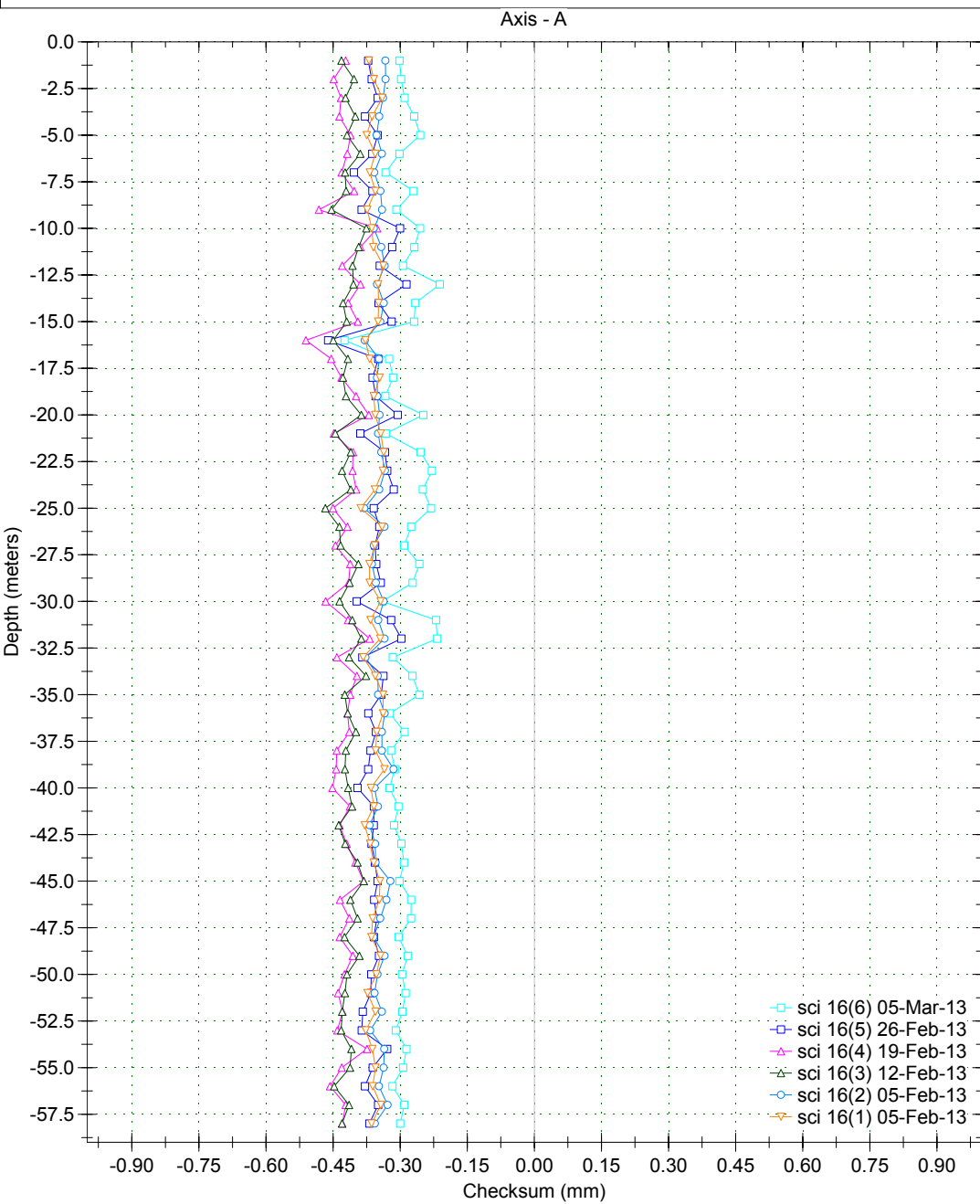
Borehole : sci 16
 Project : Default Site
 Location :
 Northing :
 Easting :
 Collar :

Spiral Correction : N/A
 Collar Elevation : 0.0 meters
 Borehole Total Depth : 58.0 meters
 A+ Groove Azimuth :
 Base Reading : 2013 Feb 05 09:51
 Applied Azimuth : 0.0 degrees



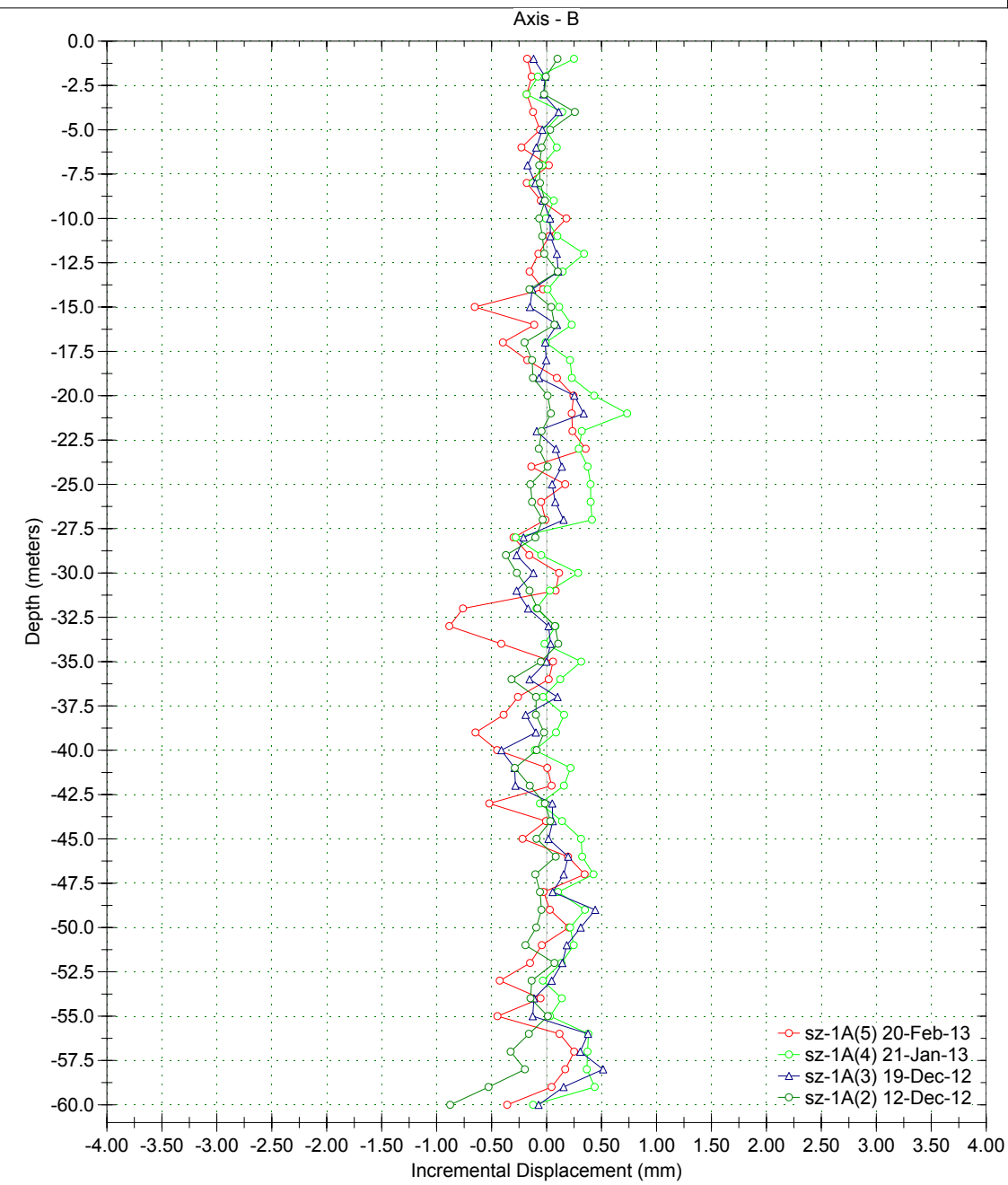
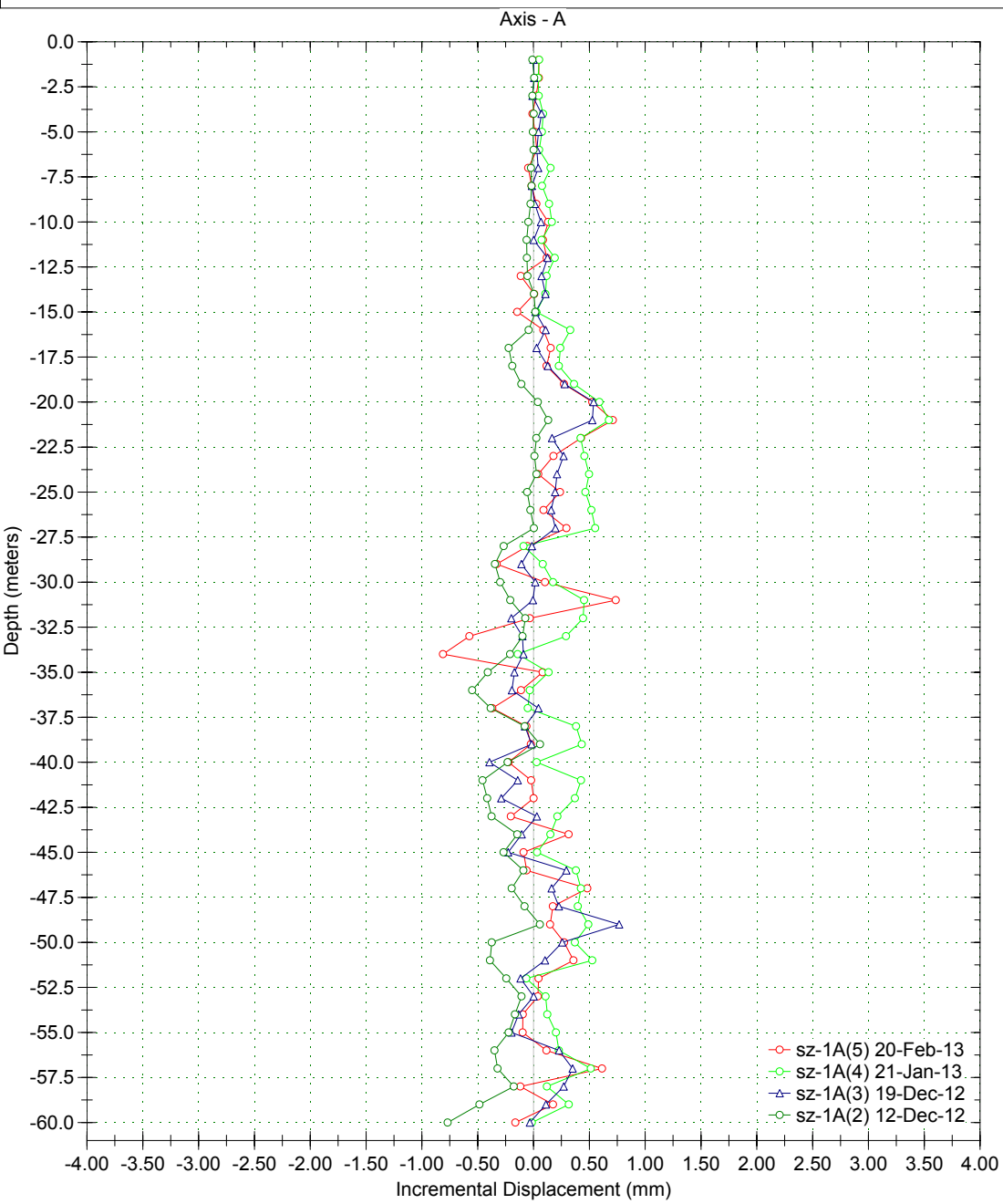
Borehole : sci 16
Project : Default Site
Location :
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 58.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2013 Feb 05 09:51
Applied Azimuth : 0.0 degrees



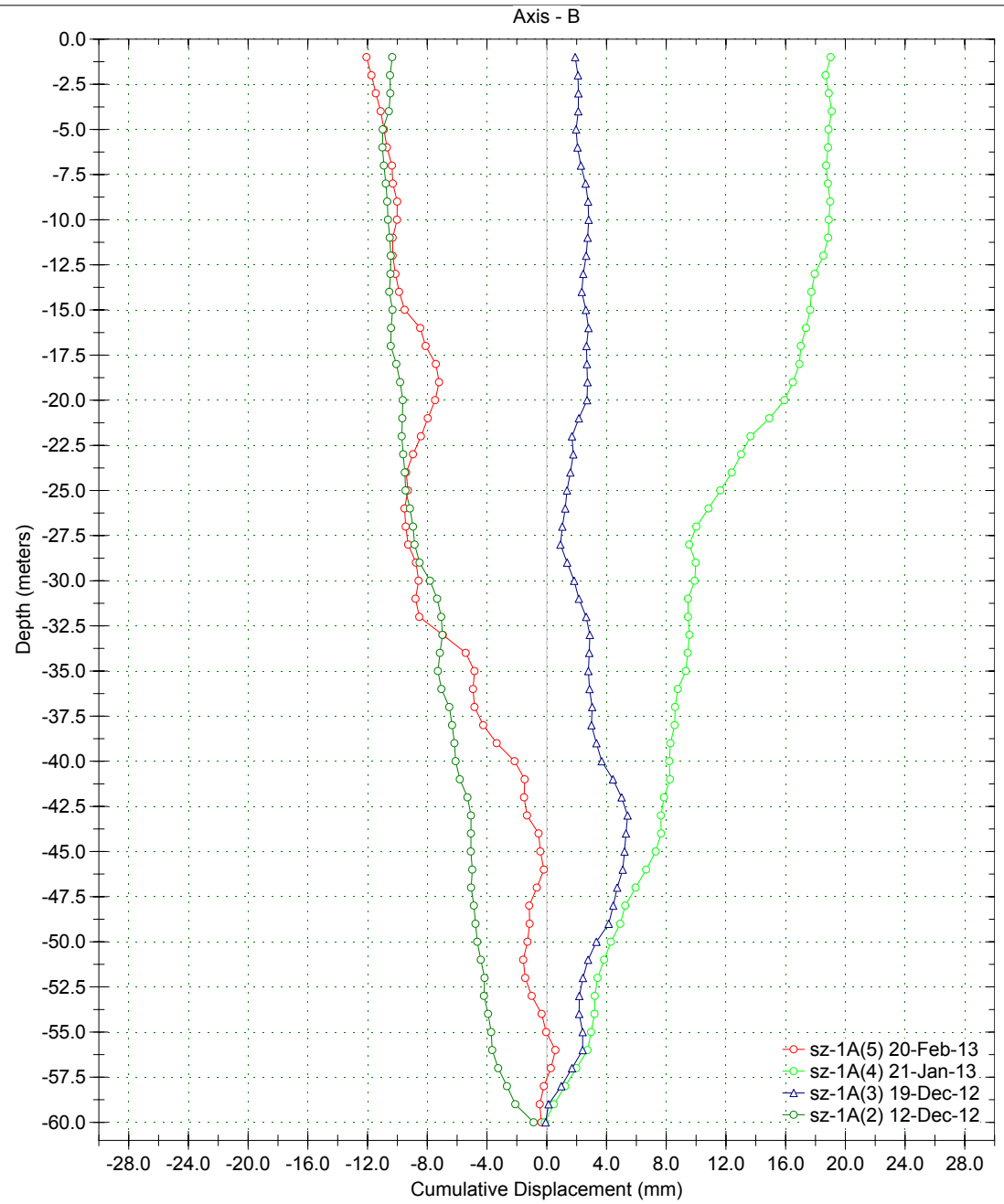
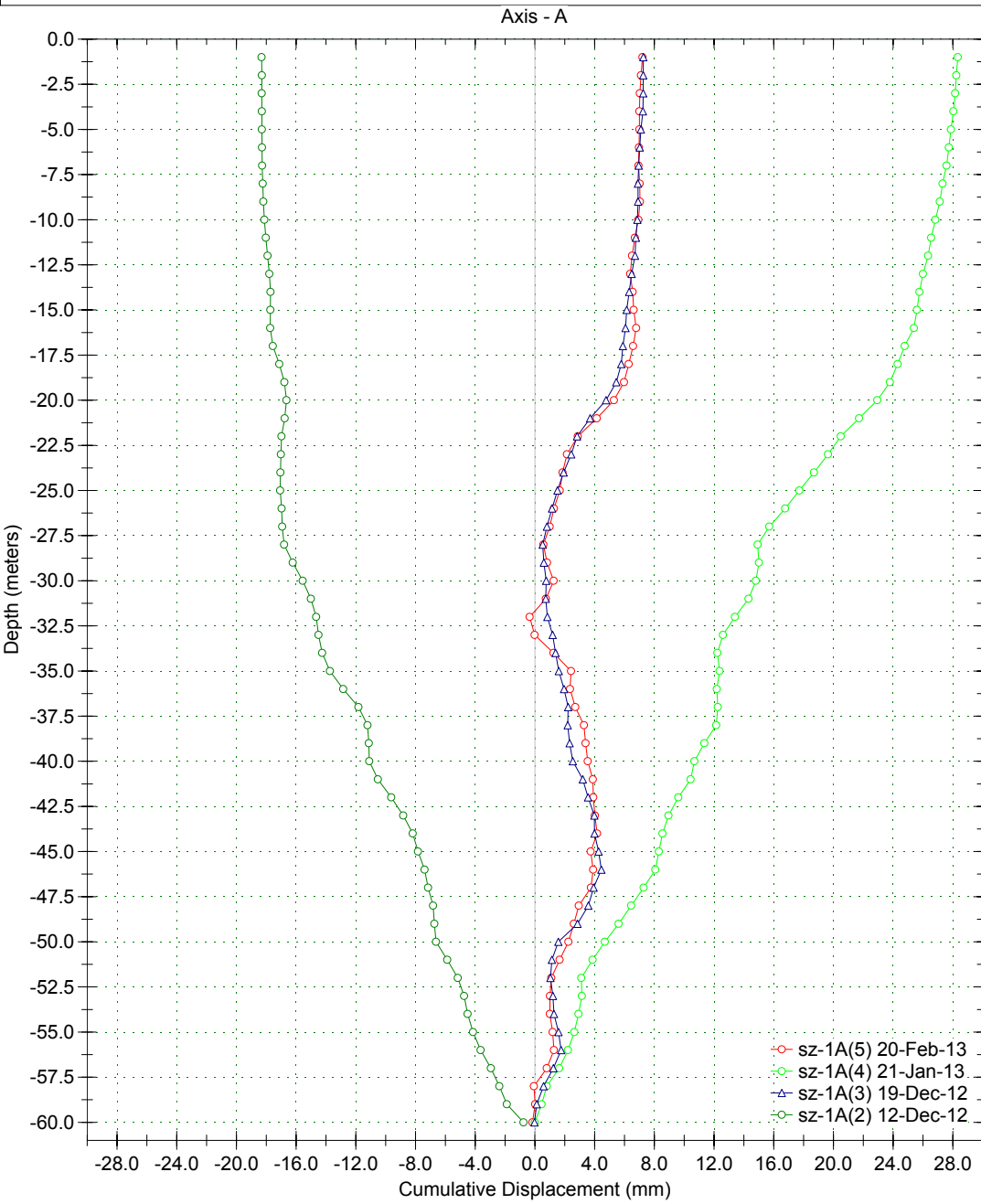
Borehole : sz-1A
 Project : Default Site
 Location : YESA - Margen dcha
 Northing :
 Easting :
 Collar :

Spiral Correction : N/A
 Collar Elevation : 0.0 meters
 Borehole Total Depth : 60.0 meters
 A+ Groove Azimuth :
 Base Reading : 2012 Dec 12 12:20
 Applied Azimuth : 0.0 degrees



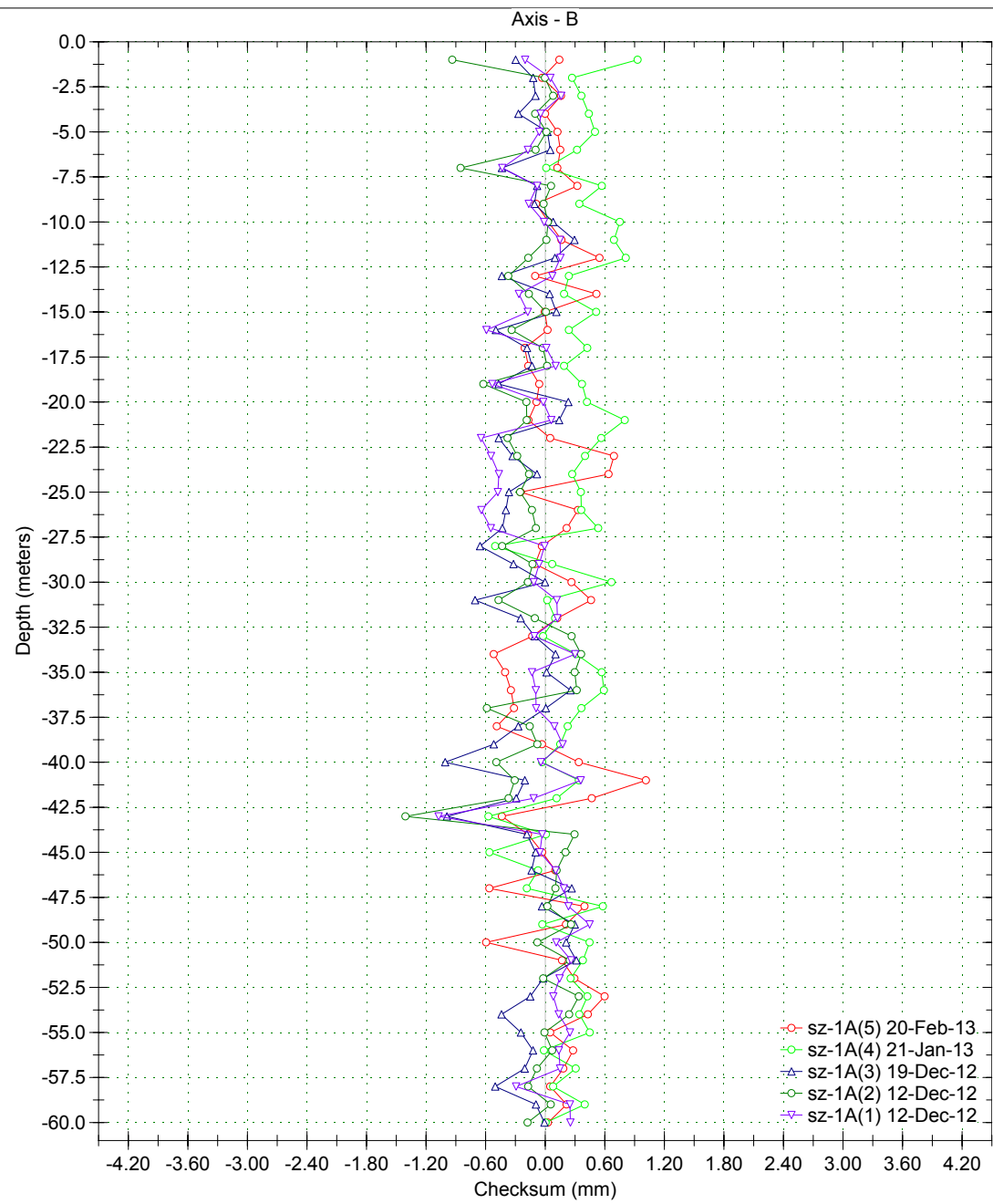
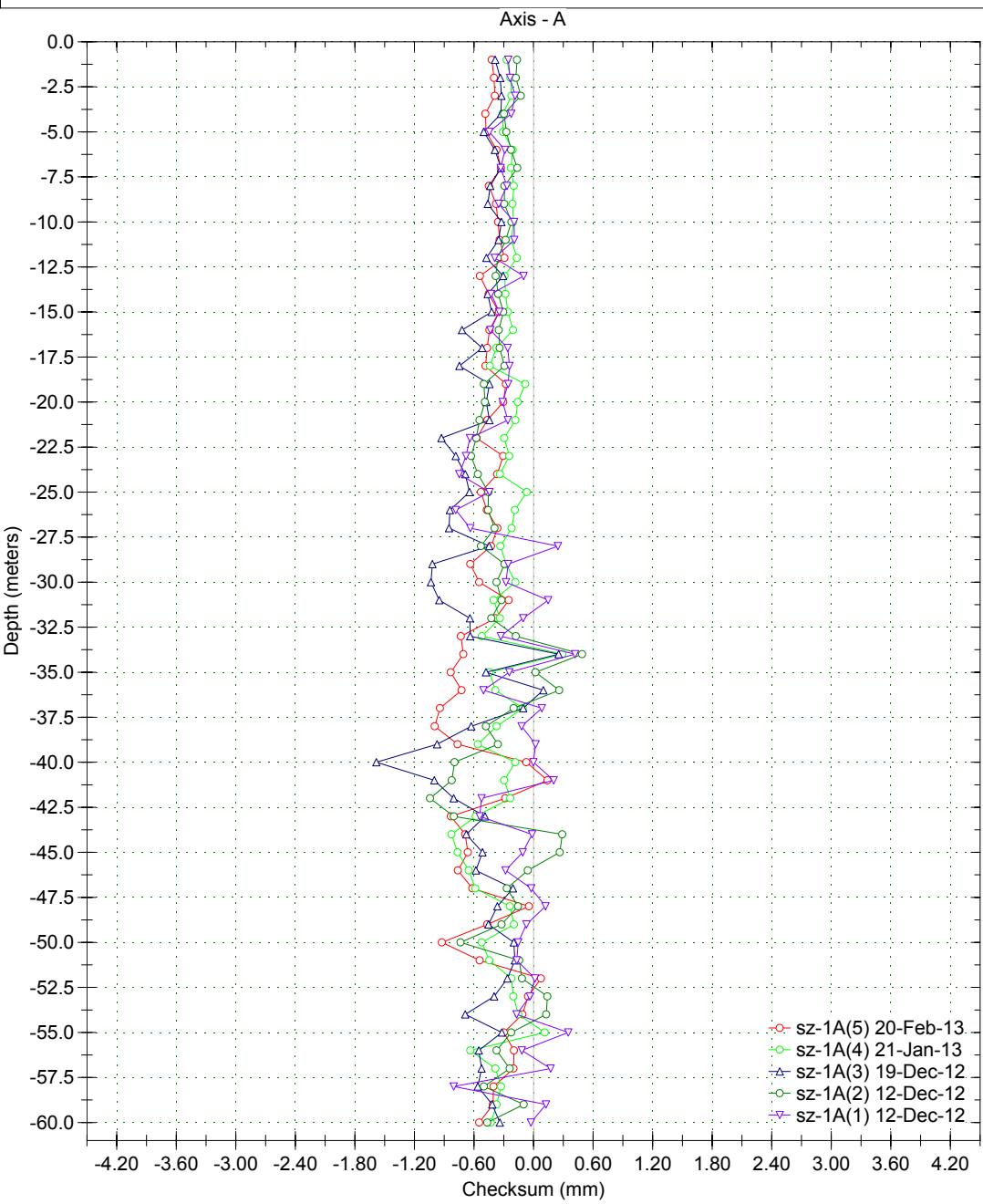
Borehole : sz-1A
 Project : Default Site
 Location : YESA - Margen dcha
 Northing :
 Easting :
 Collar :

Spiral Correction : N/A
 Collar Elevation : 0.0 meters
 Borehole Total Depth : 60.0 meters
 A+ Groove Azimuth :
 Base Reading : 2012 Dec 12 12:20
 Applied Azimuth : 0.0 degrees



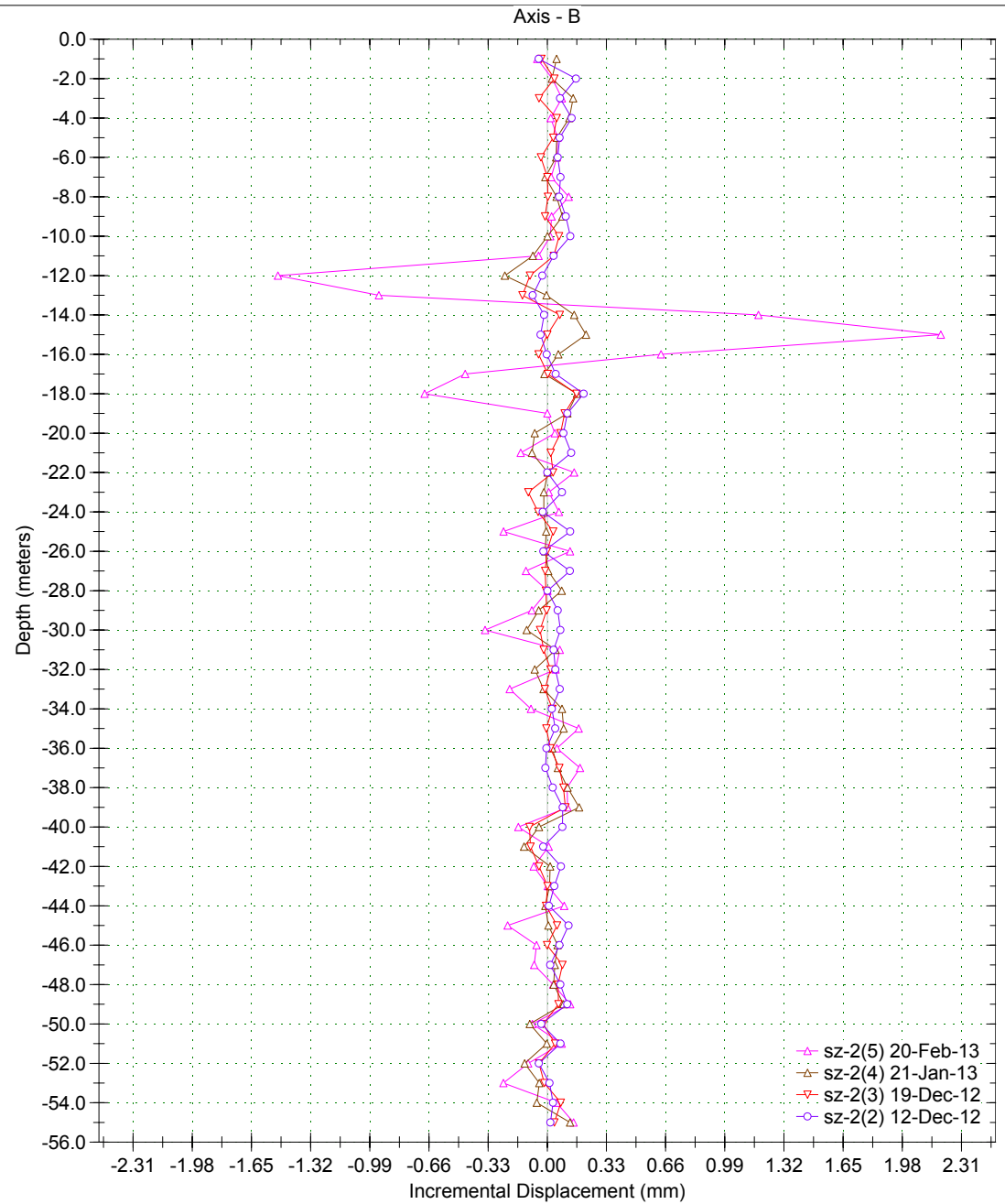
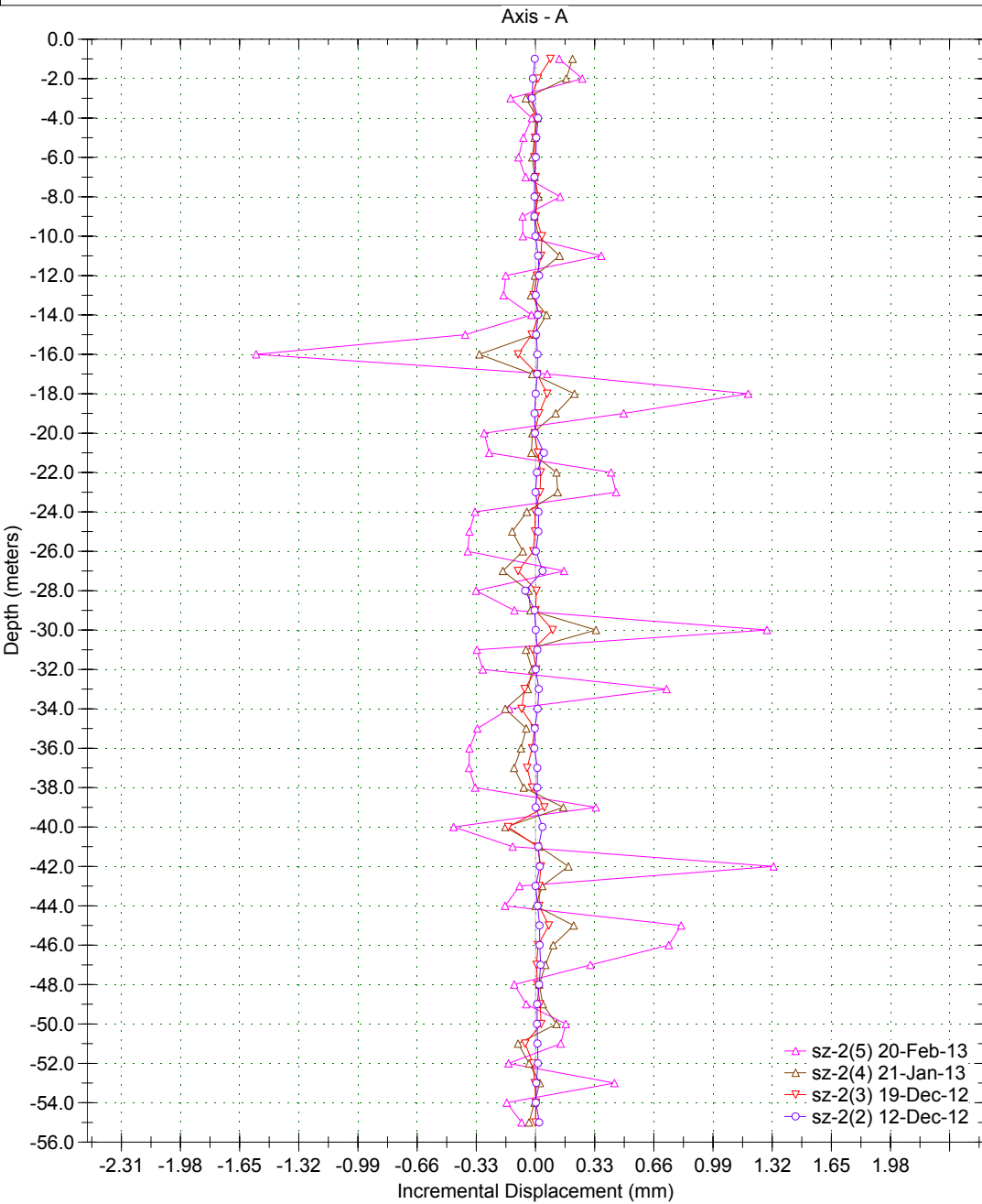
Borehole : sz-1A
Project : Default Site
Location : YESA - Margen dcha
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 60.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2012 Dec 12 12:20
Applied Azimuth : 0.0 degrees



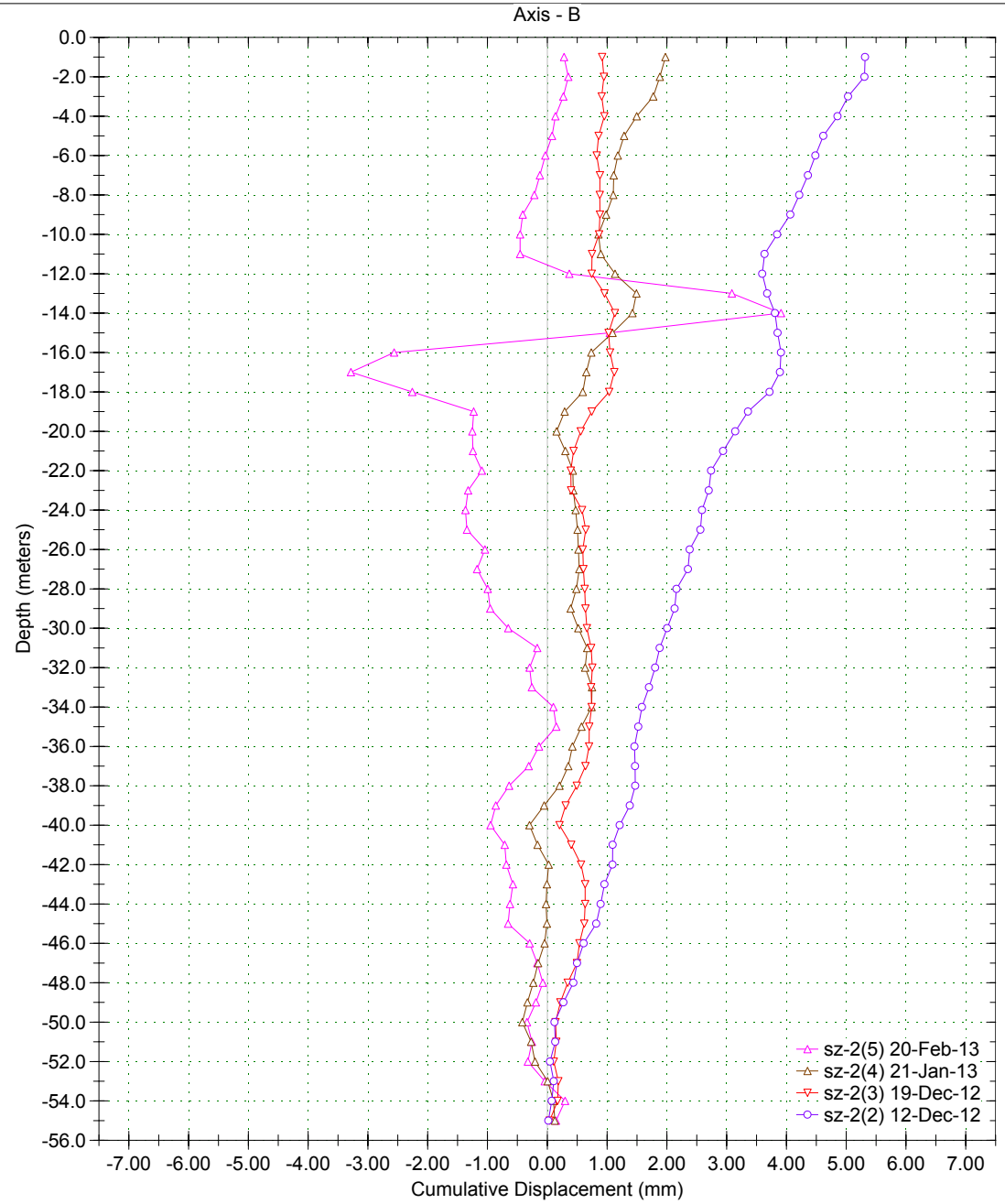
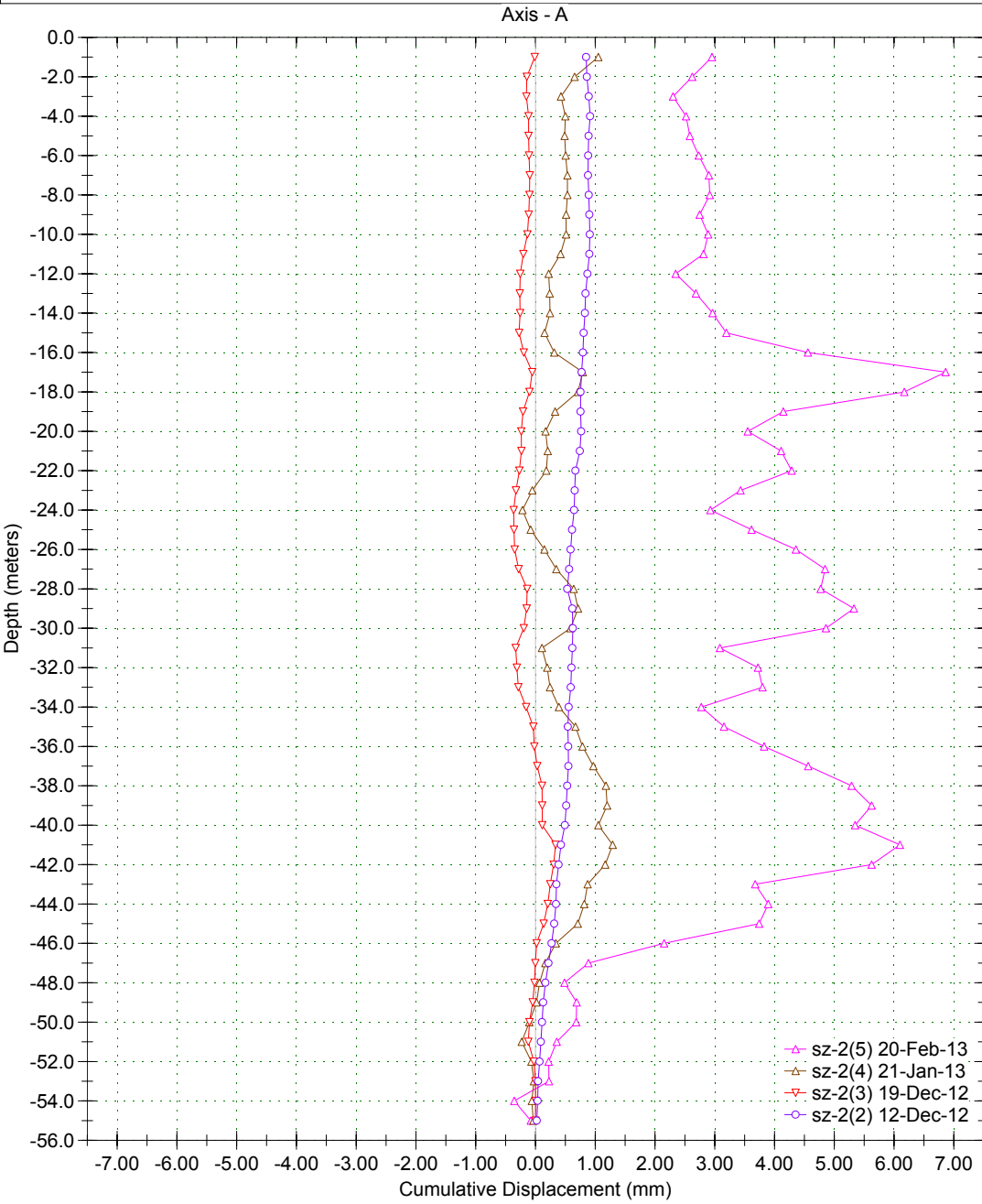
Borehole : sz-2
Project : Default Site
Location : YESA - Margen dcha
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 55.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2012 Dec 12 10:35
Applied Azimuth : 0.0 degrees



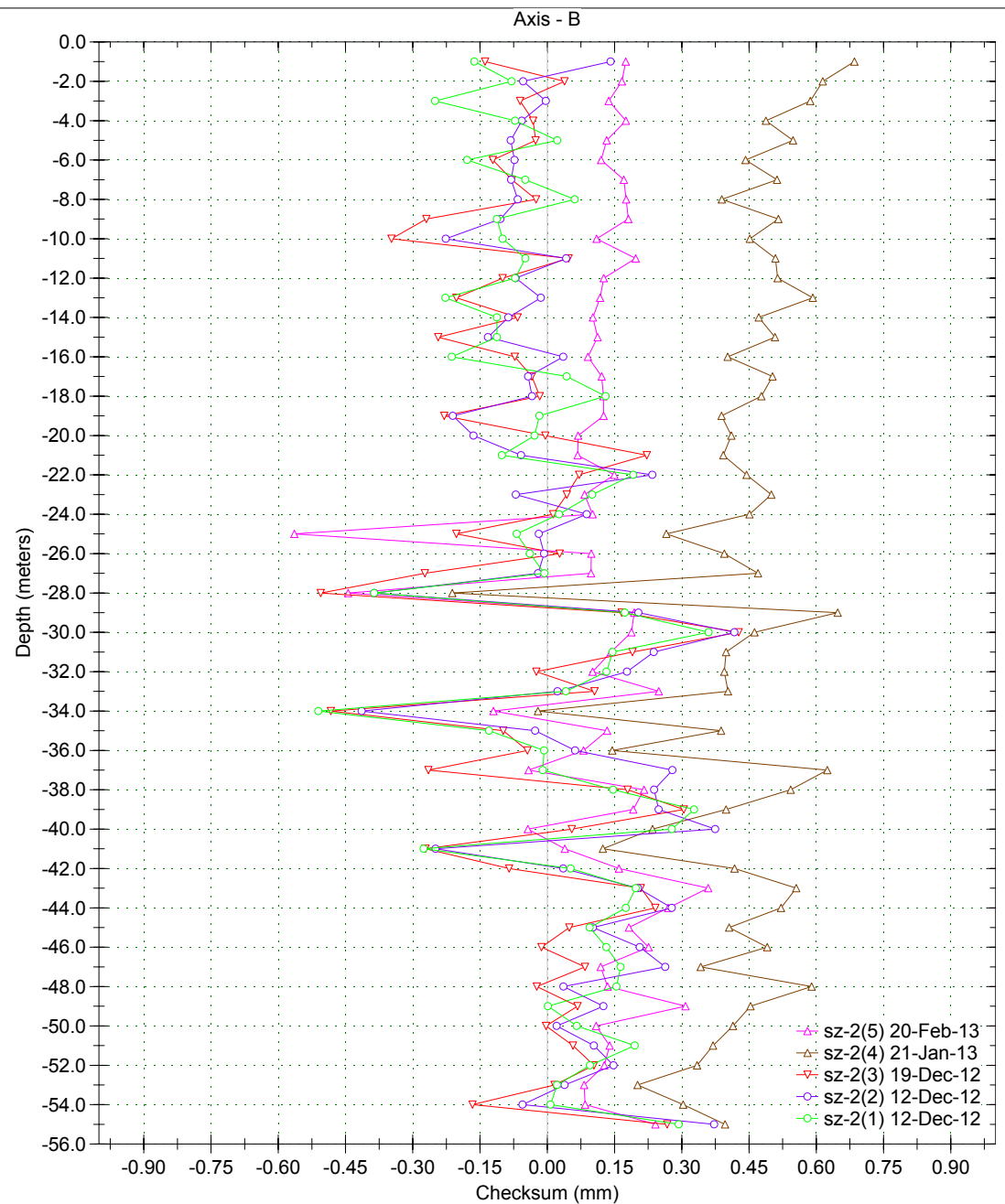
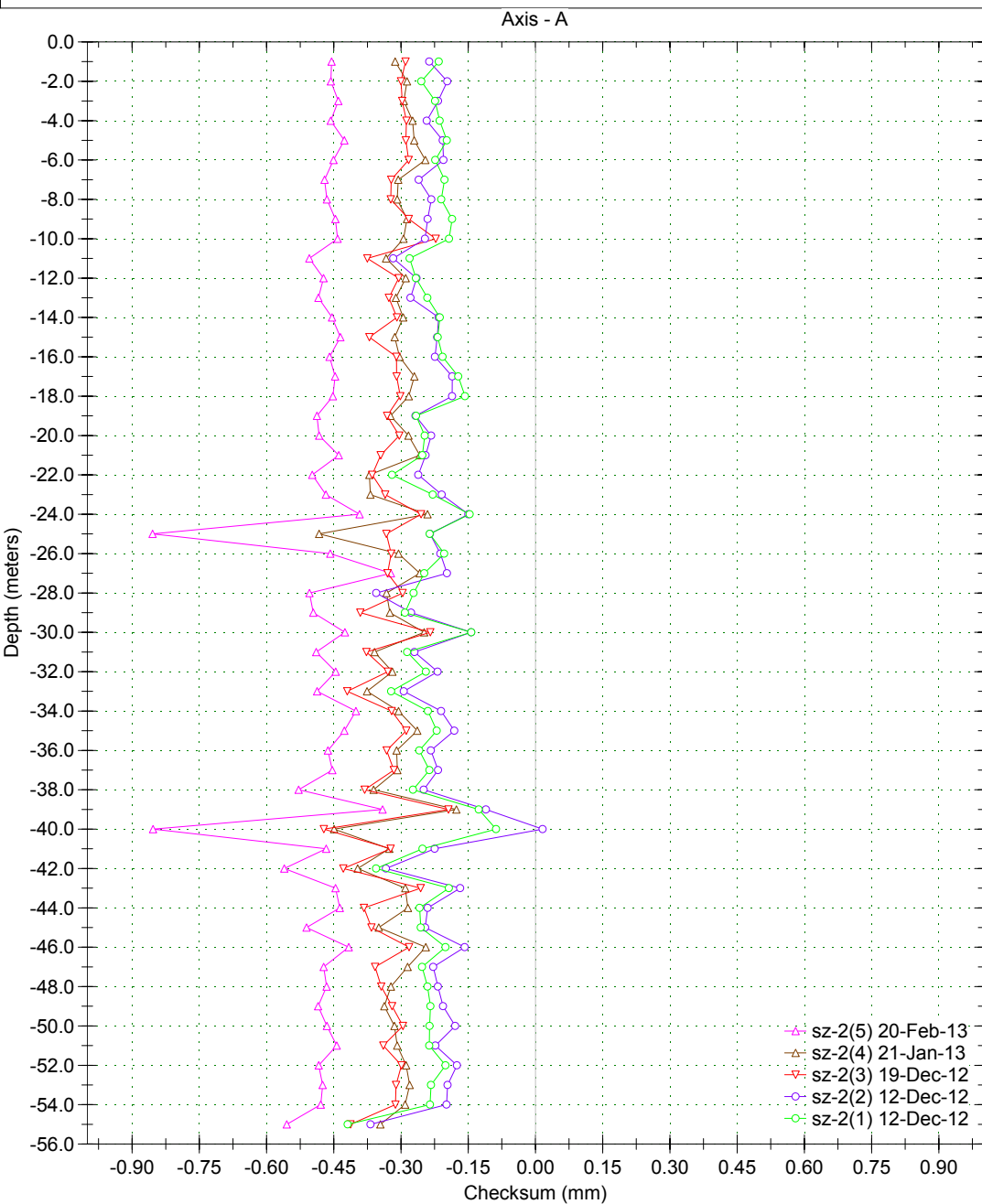
Borehole : sz-2
Project : Default Site
Location : YESA - Margen dcha
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 55.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2012 Dec 12 10:35
Applied Azimuth : 0.0 degrees



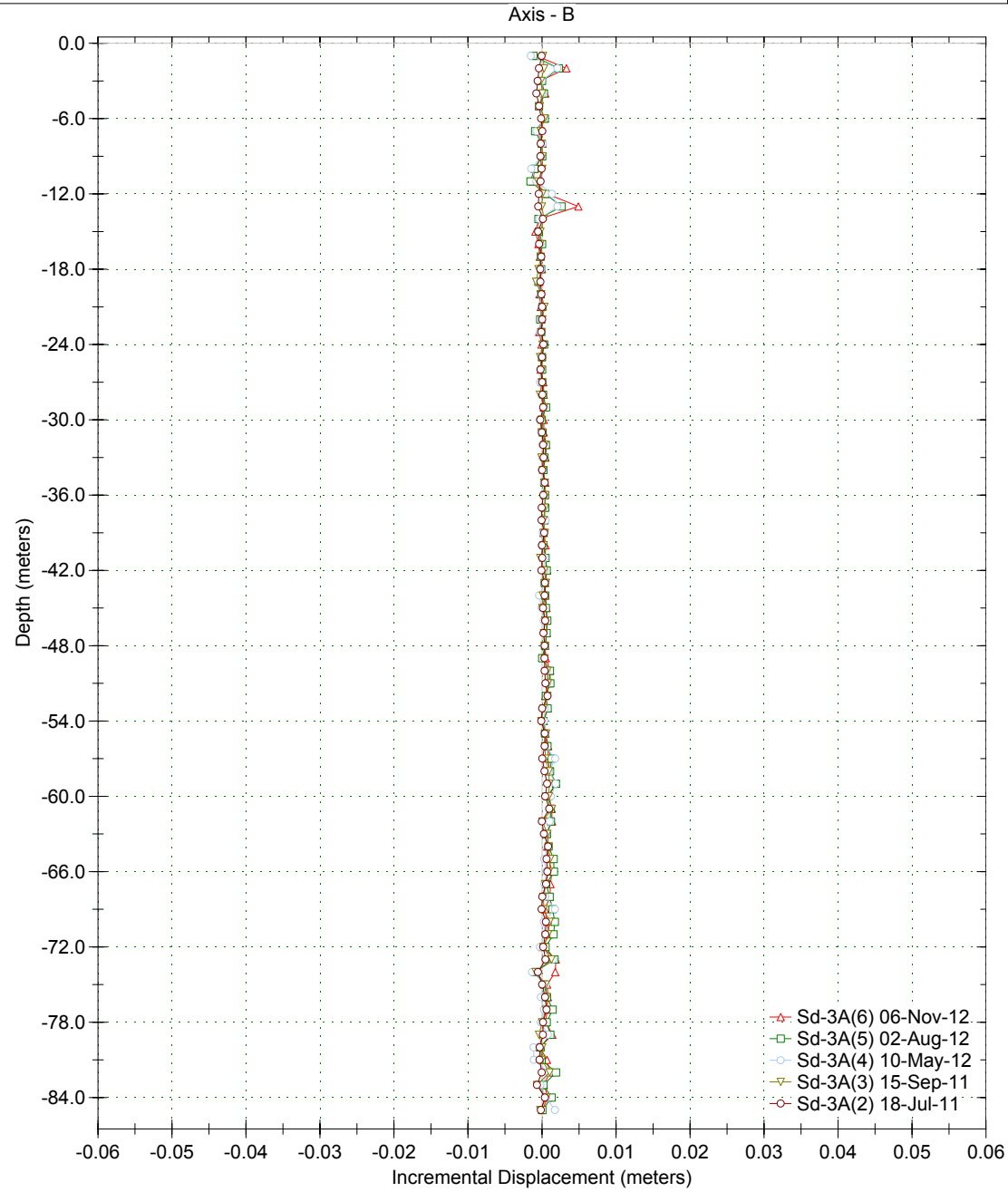
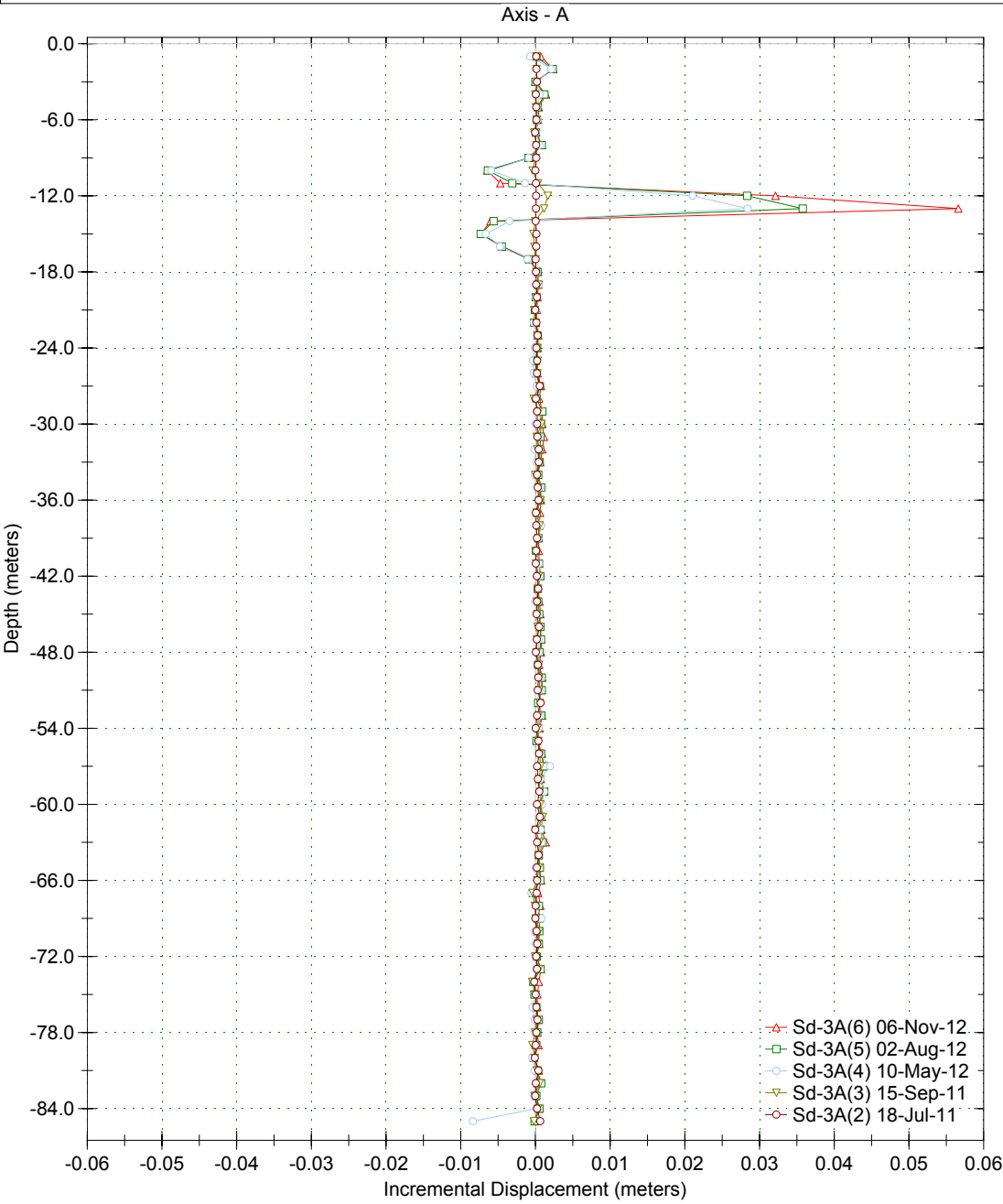
Borehole : sz-2
Project : Default Site
Location : YESA - Margen dcha
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 55.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2012 Dec 12 10:35
Applied Azimuth : 0.0 degrees



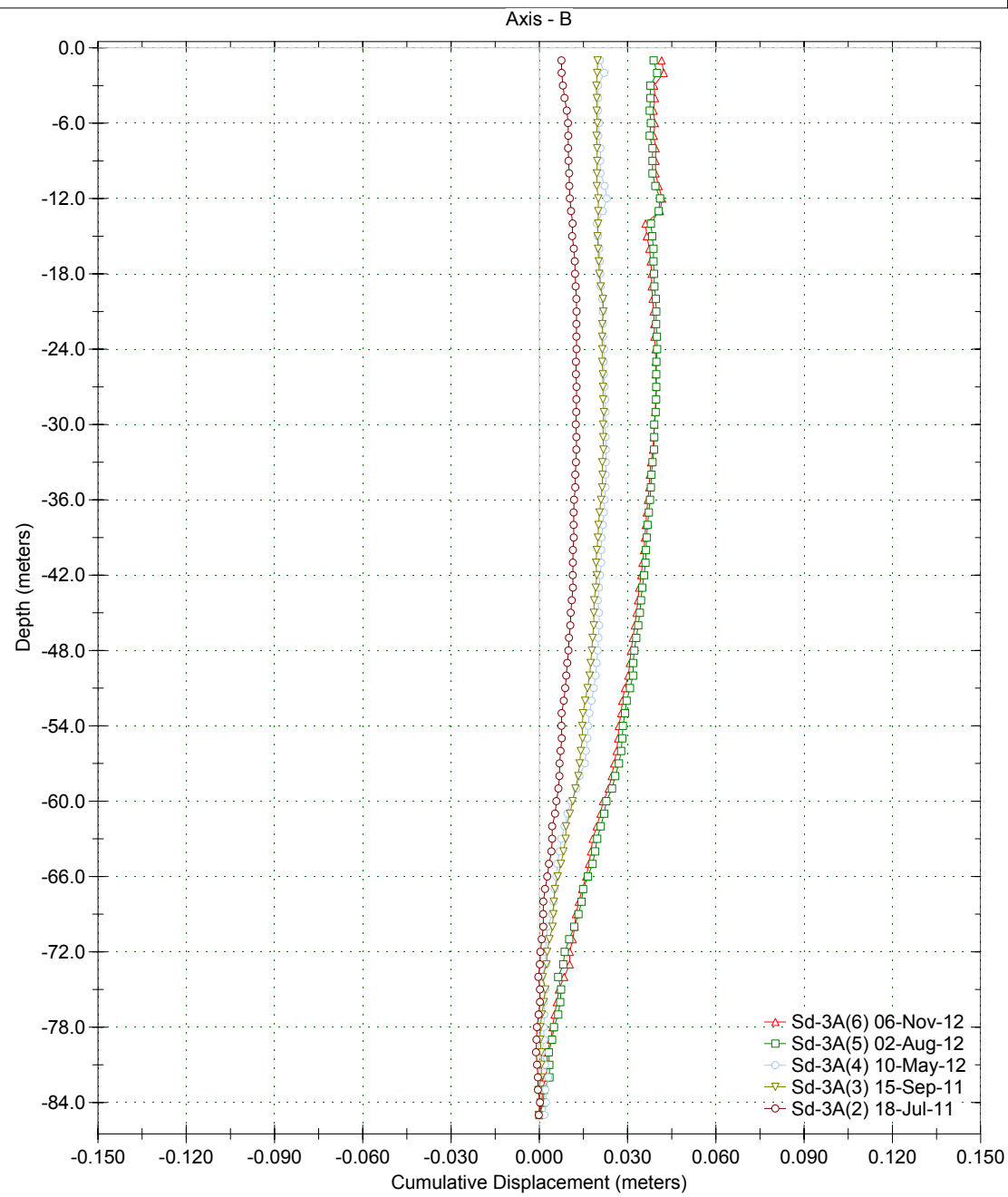
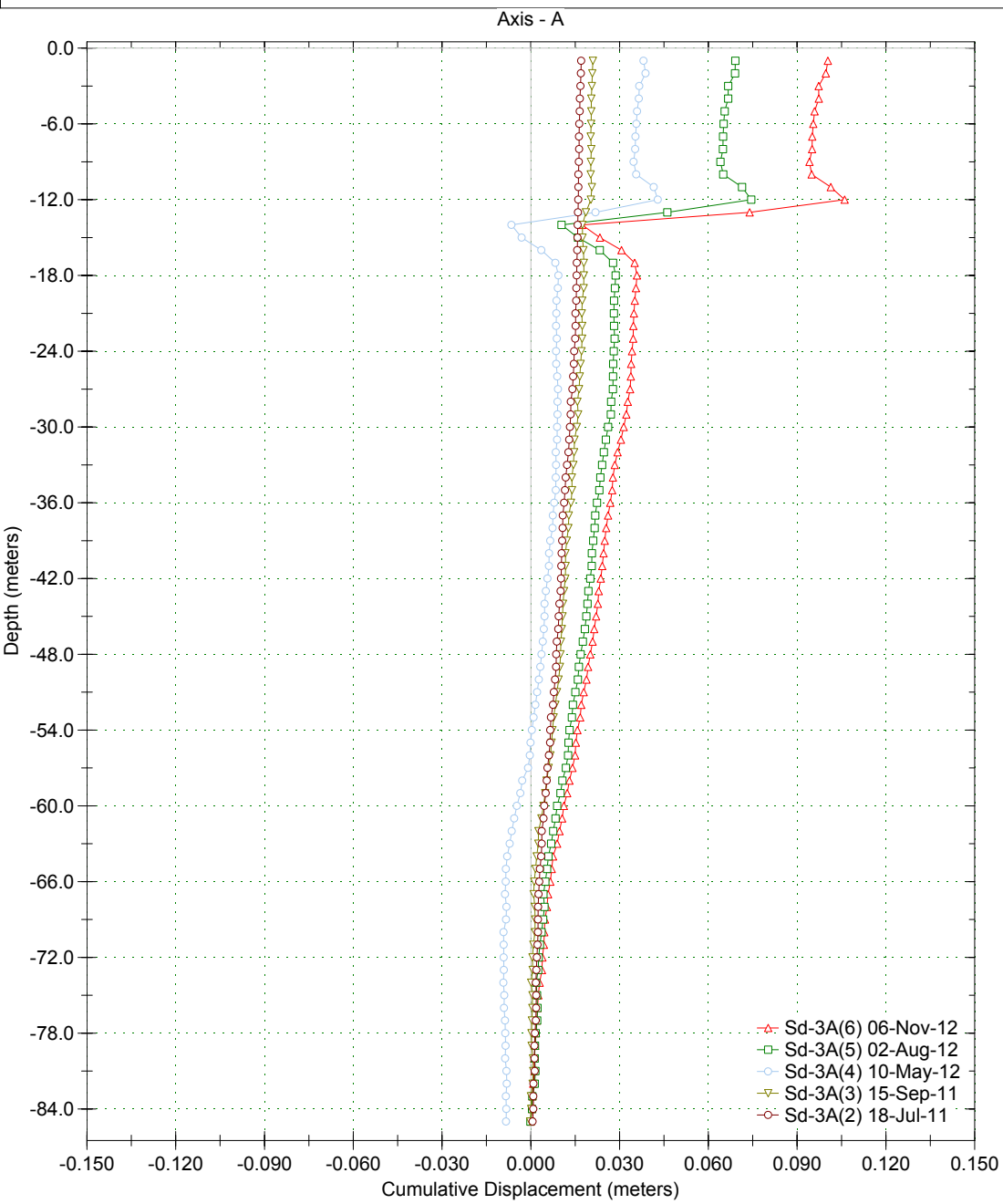
Borehole : Sd-3A
Project : yesa
Location :
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 85.0 meters
North Groove Azimuth :
Base Reading : 2011 Jul 18 14:20
Axis A Azimuth : 0.0 degrees



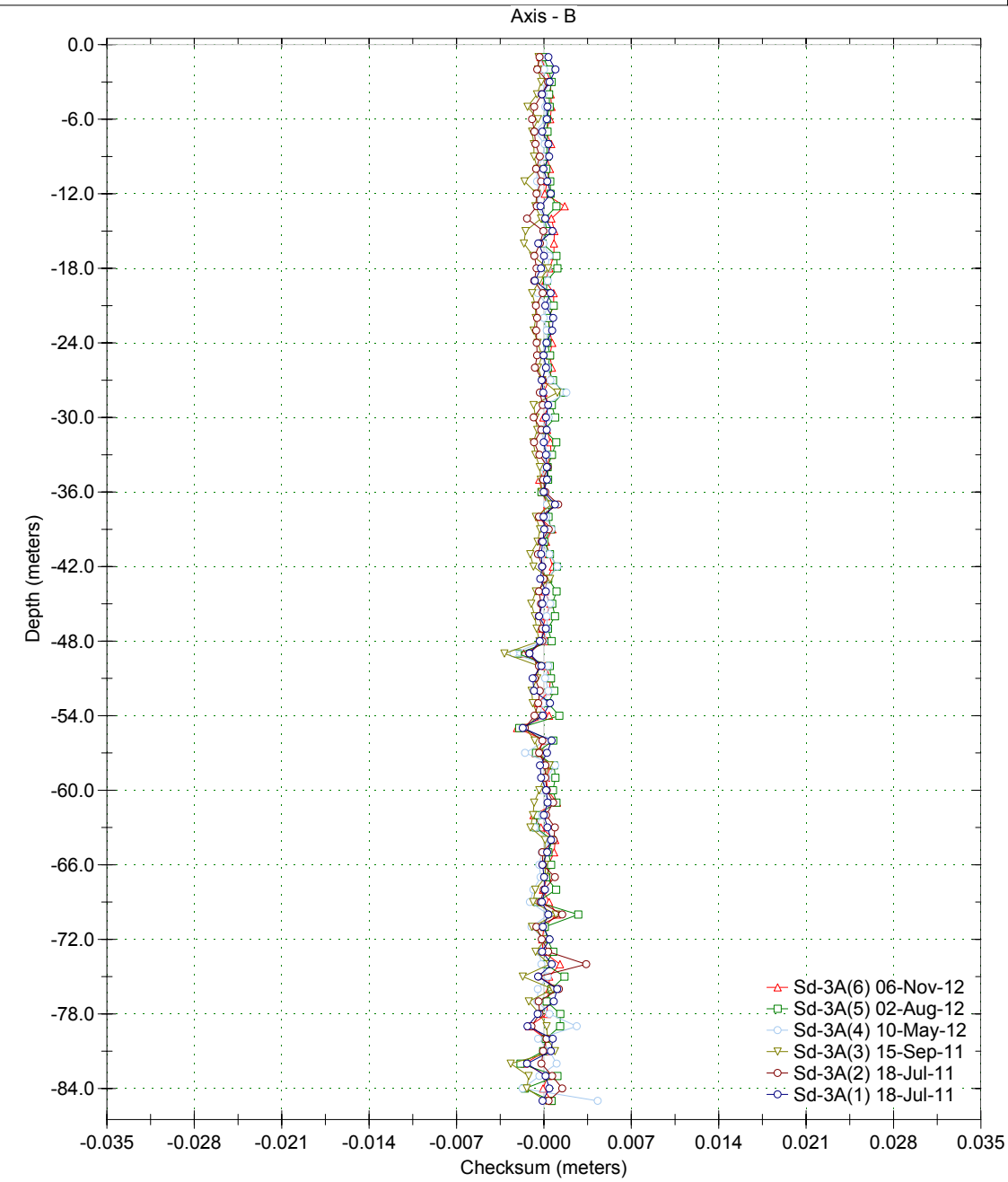
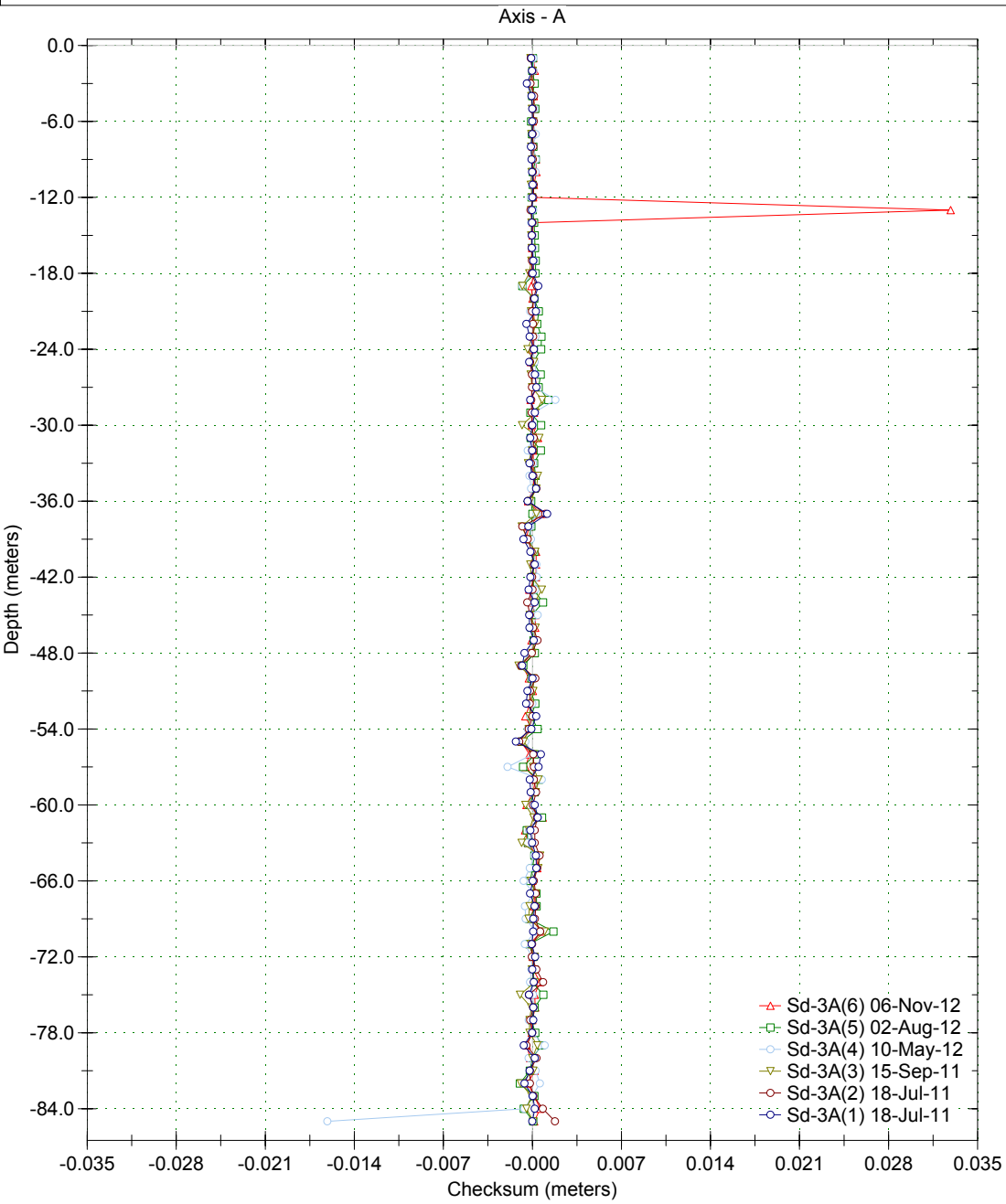
Borehole : Sd-3A
Project : yesa
Location :
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 85.0 meters
North Groove Azimuth :
Base Reading : 2011 Jul 18 14:20
Axis A Azimuth : 0.0 degrees



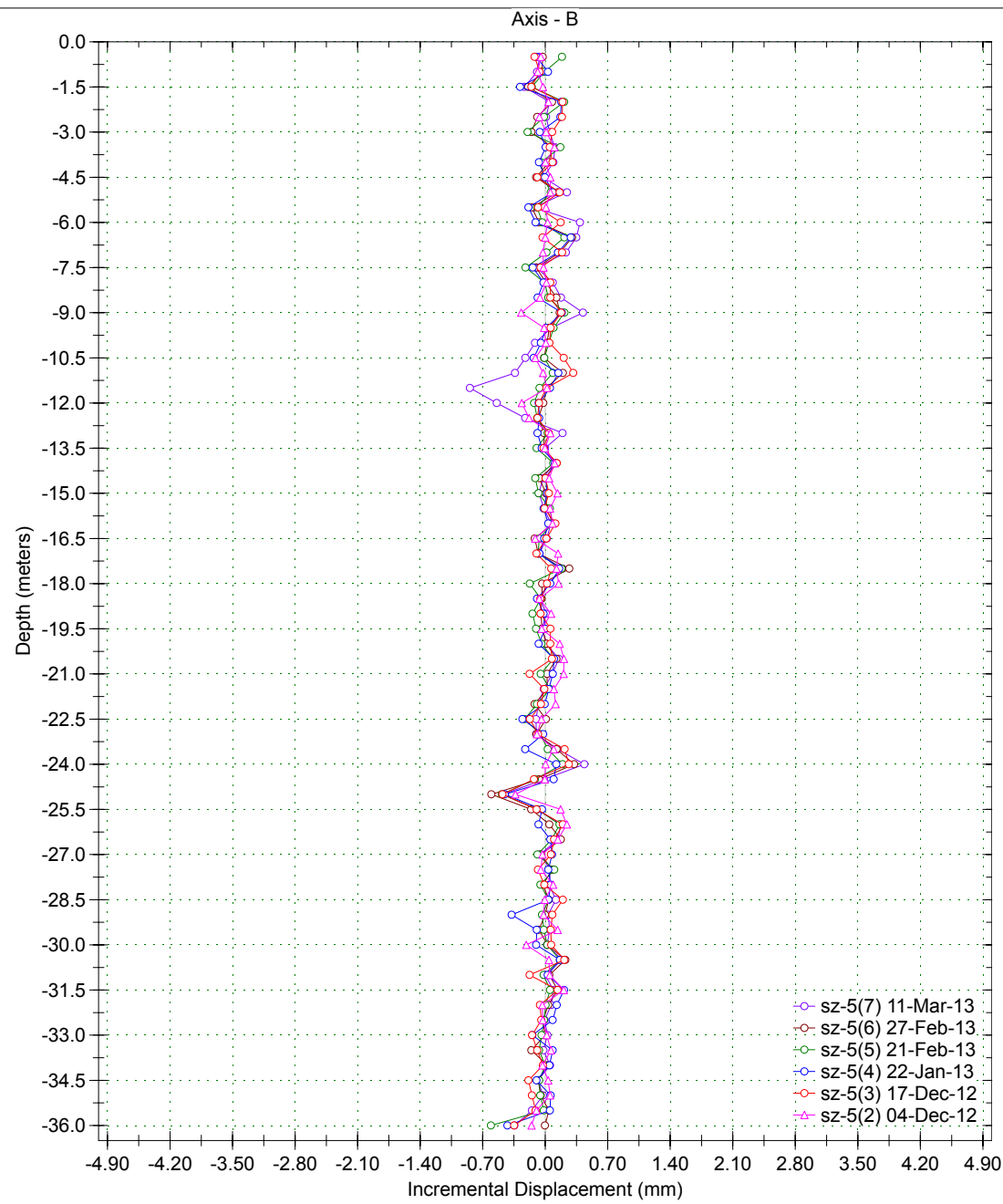
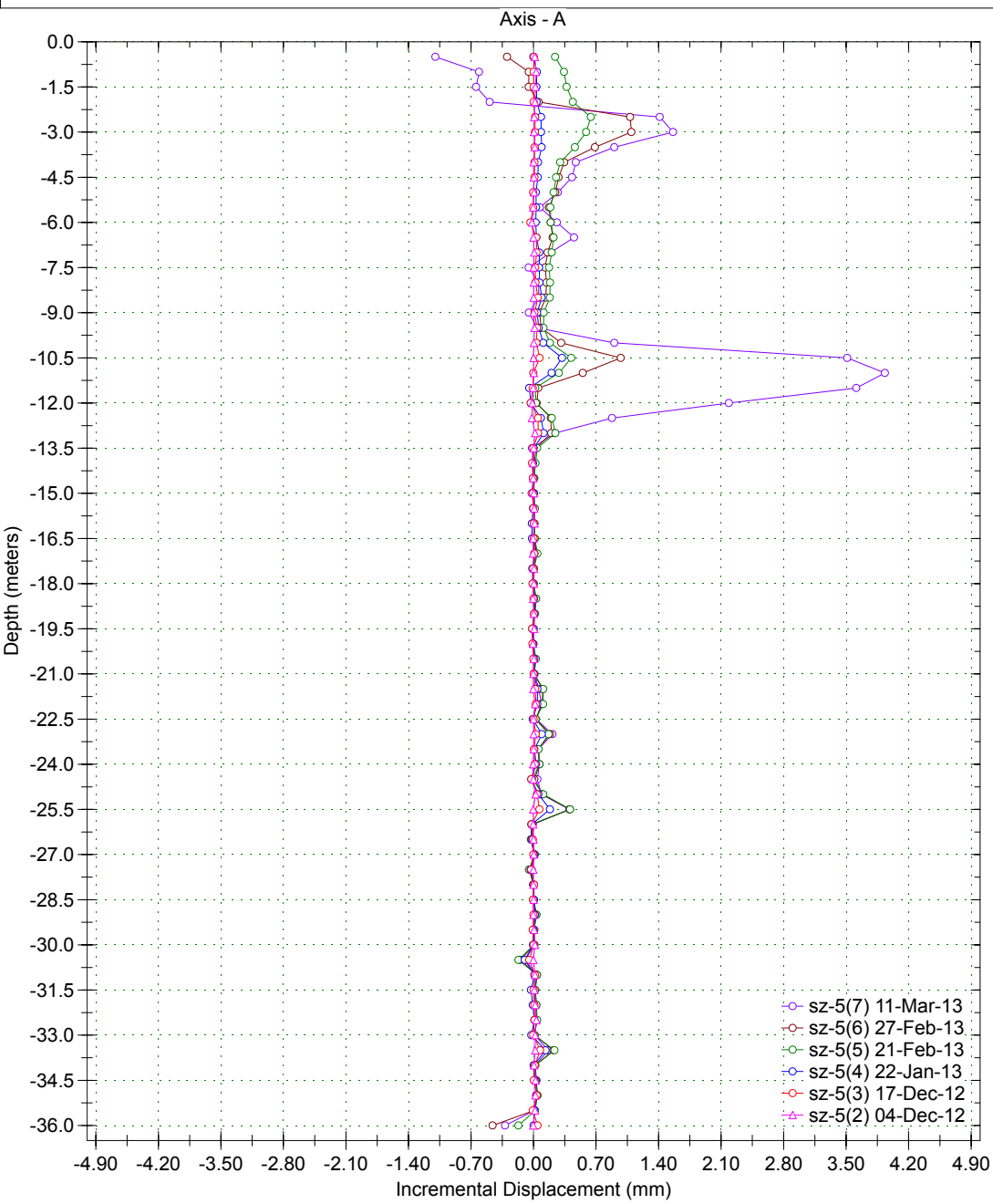
Borehole : Sd-3A
Project : yesa
Location :
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 85.0 meters
North Groove Azimuth :
Base Reading : 2011 Jul 18 14:20
Axis A Azimuth : 0.0 degrees



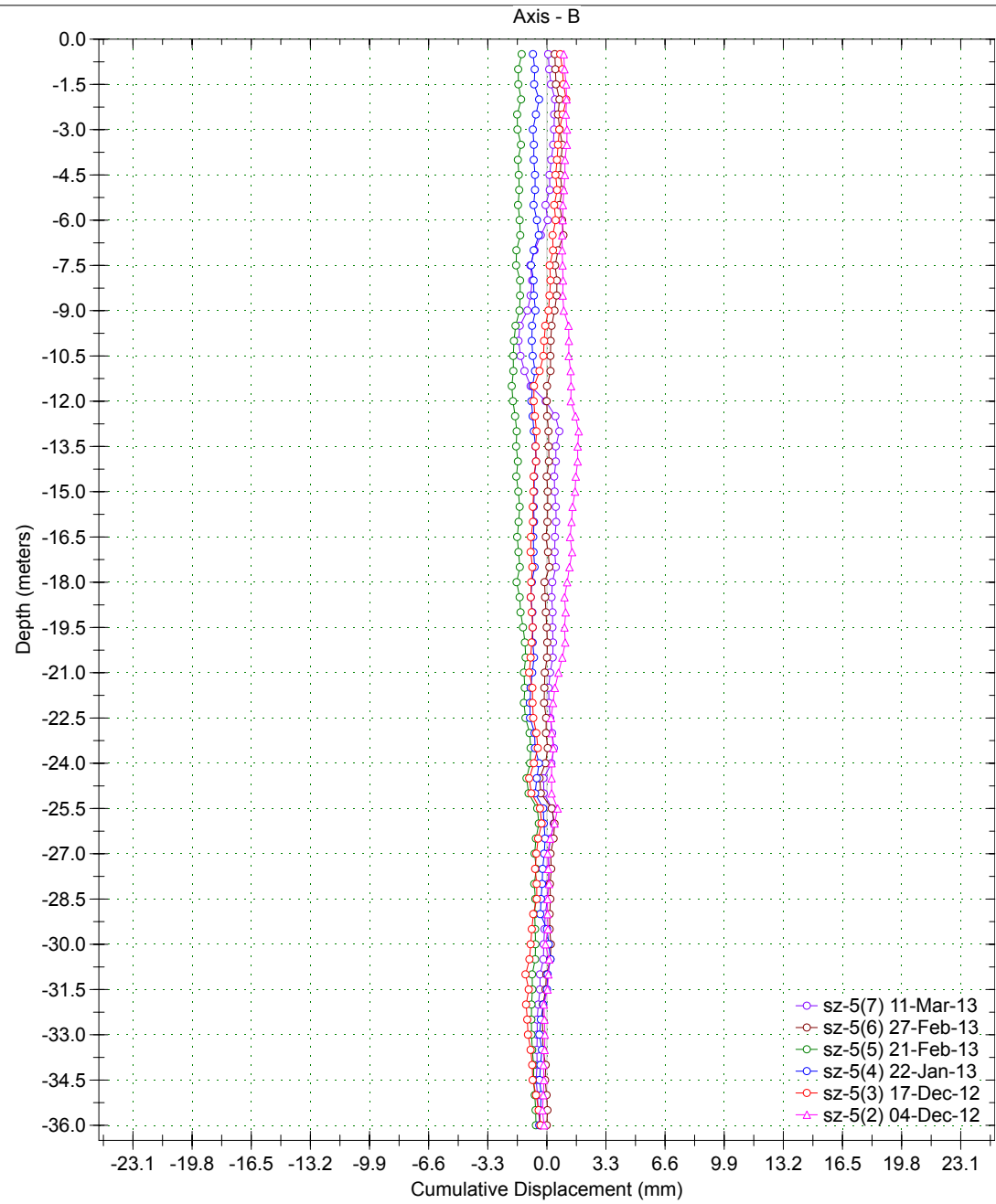
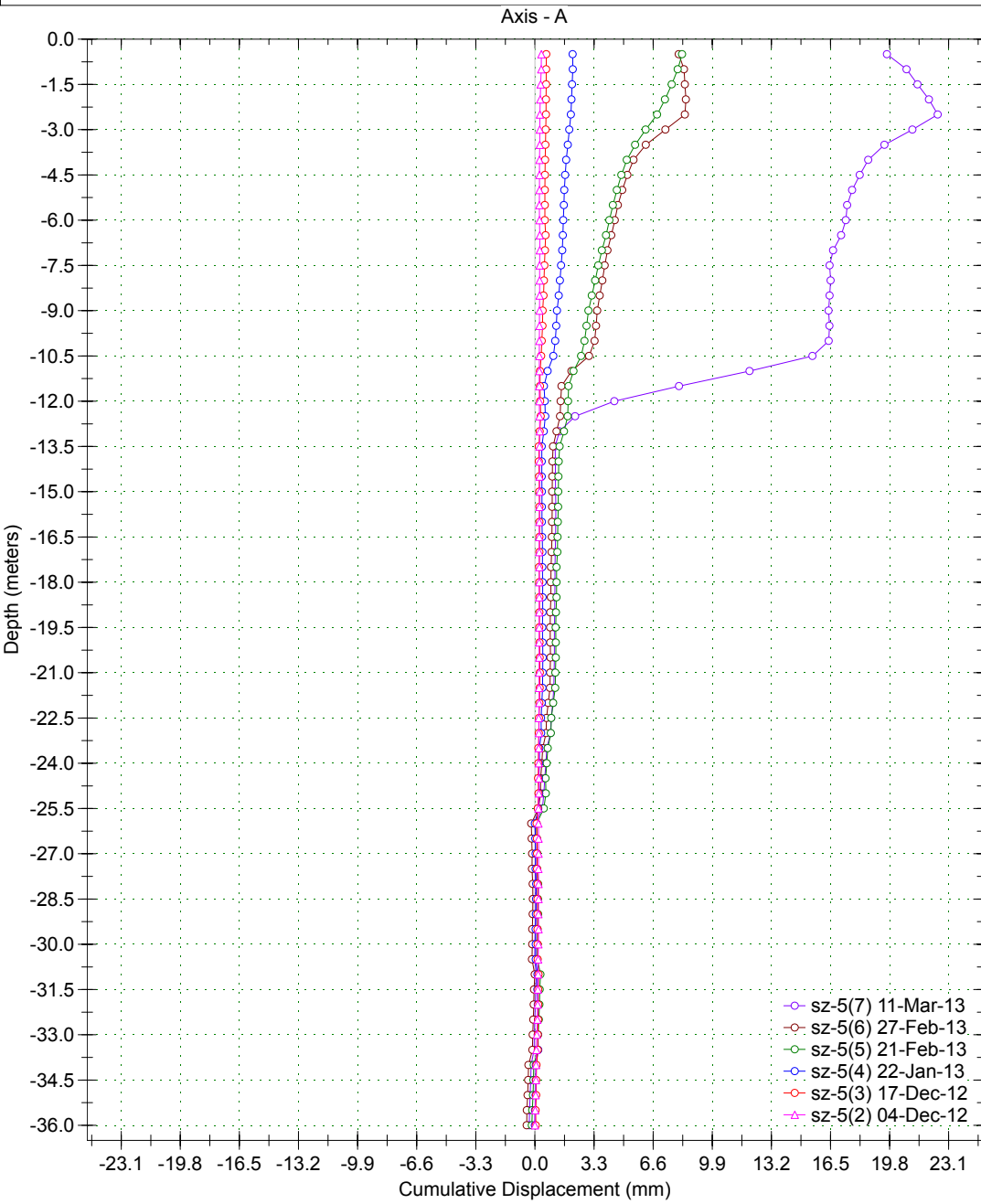
Borehole : sz-5
Project : Default Site
Location : YESA - Margen dcha
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 36.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2012 Dec 04 15:39
Applied Azimuth : 0.0 degrees



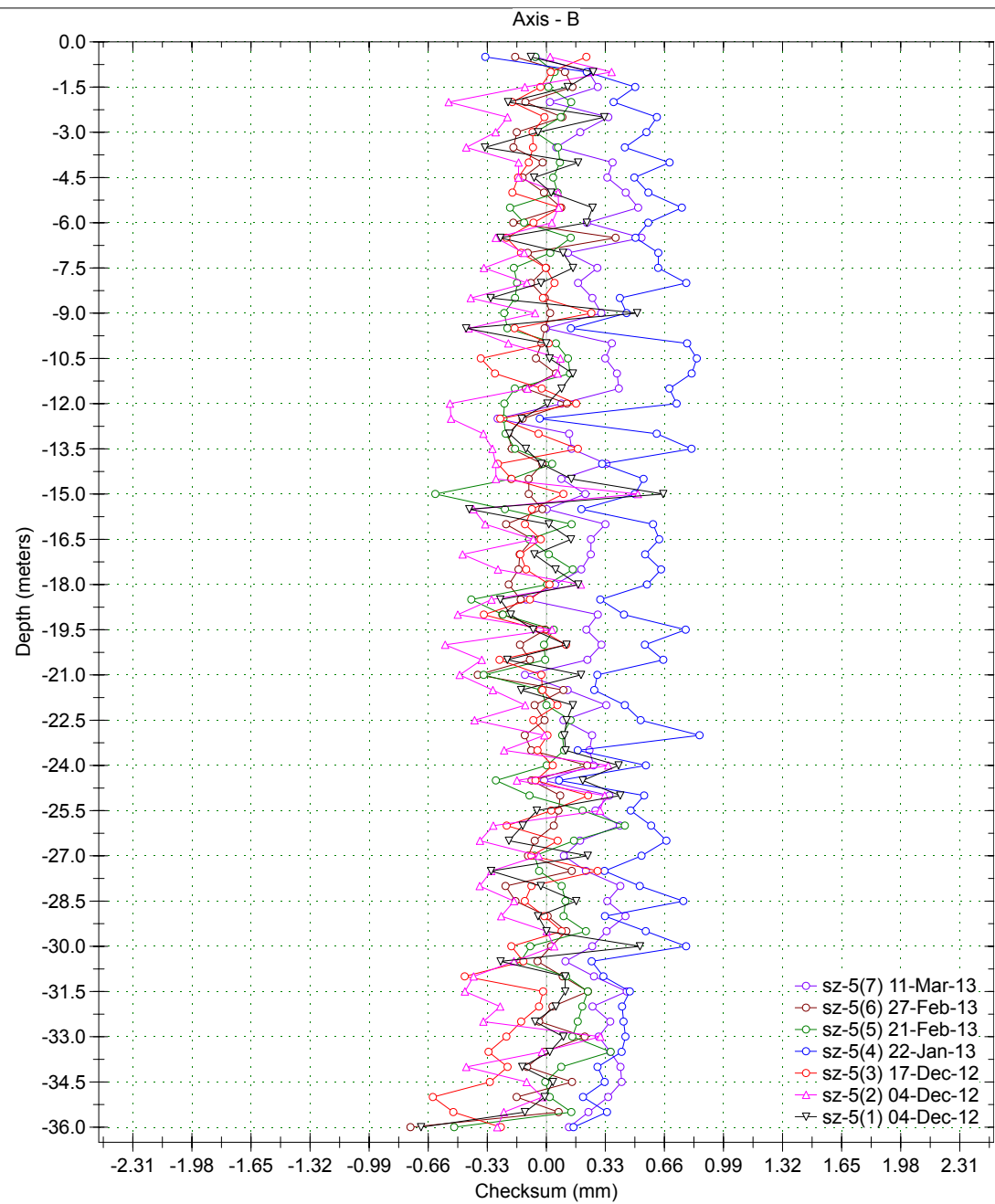
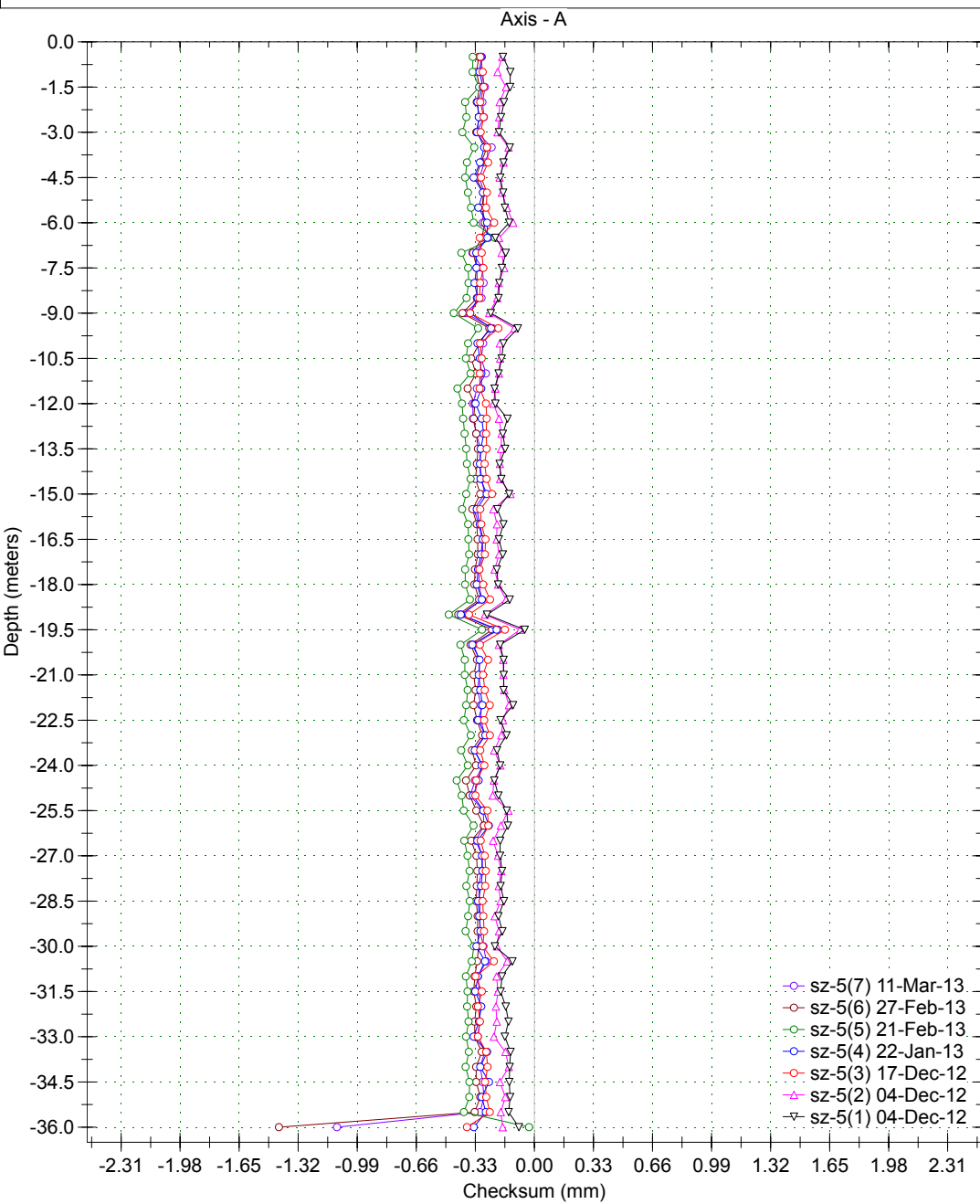
Borehole : sz-5
Project : Default Site
Location : YESA - Margen dcha
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 36.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2012 Dec 04 15:39
Applied Azimuth : 0.0 degrees



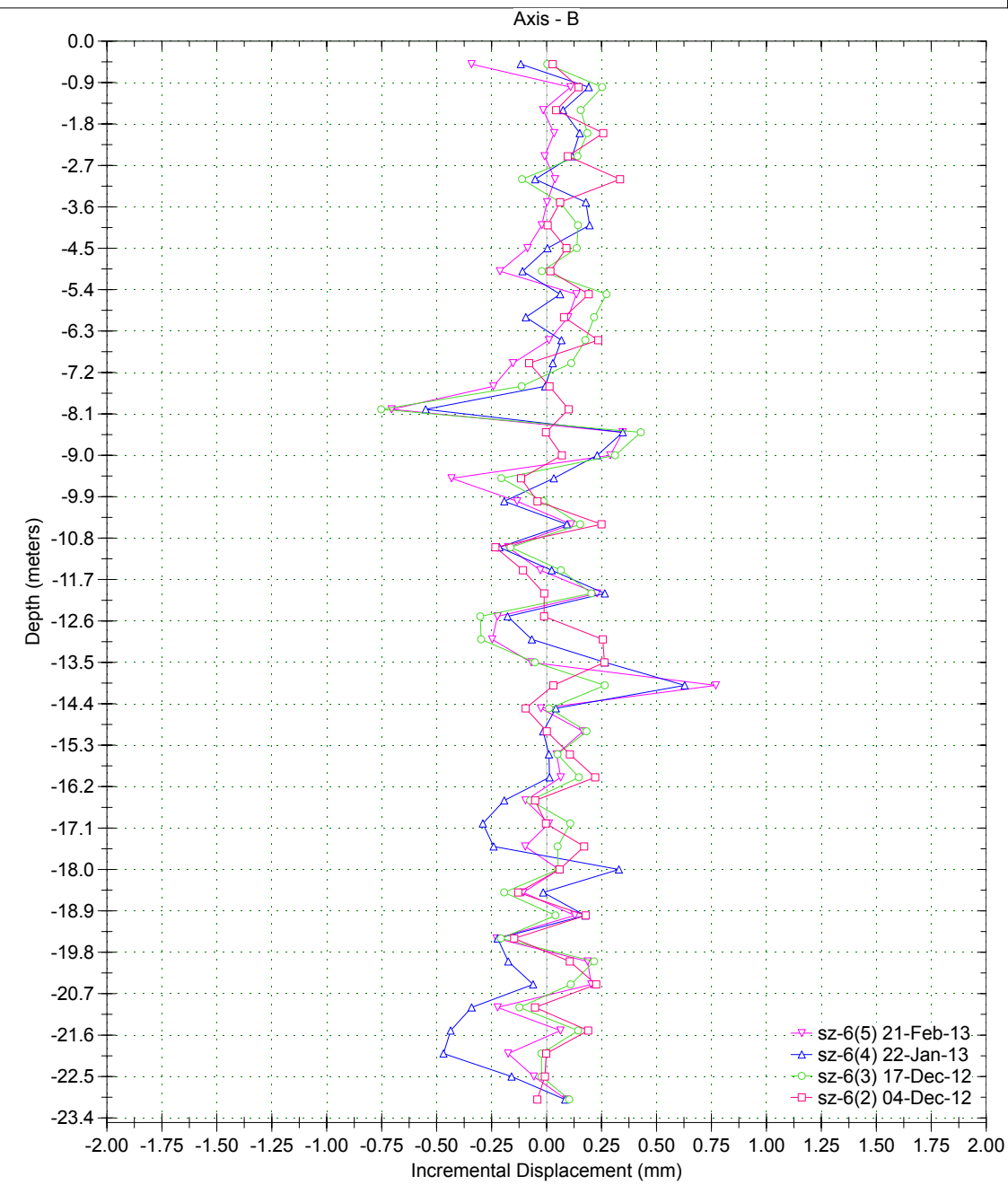
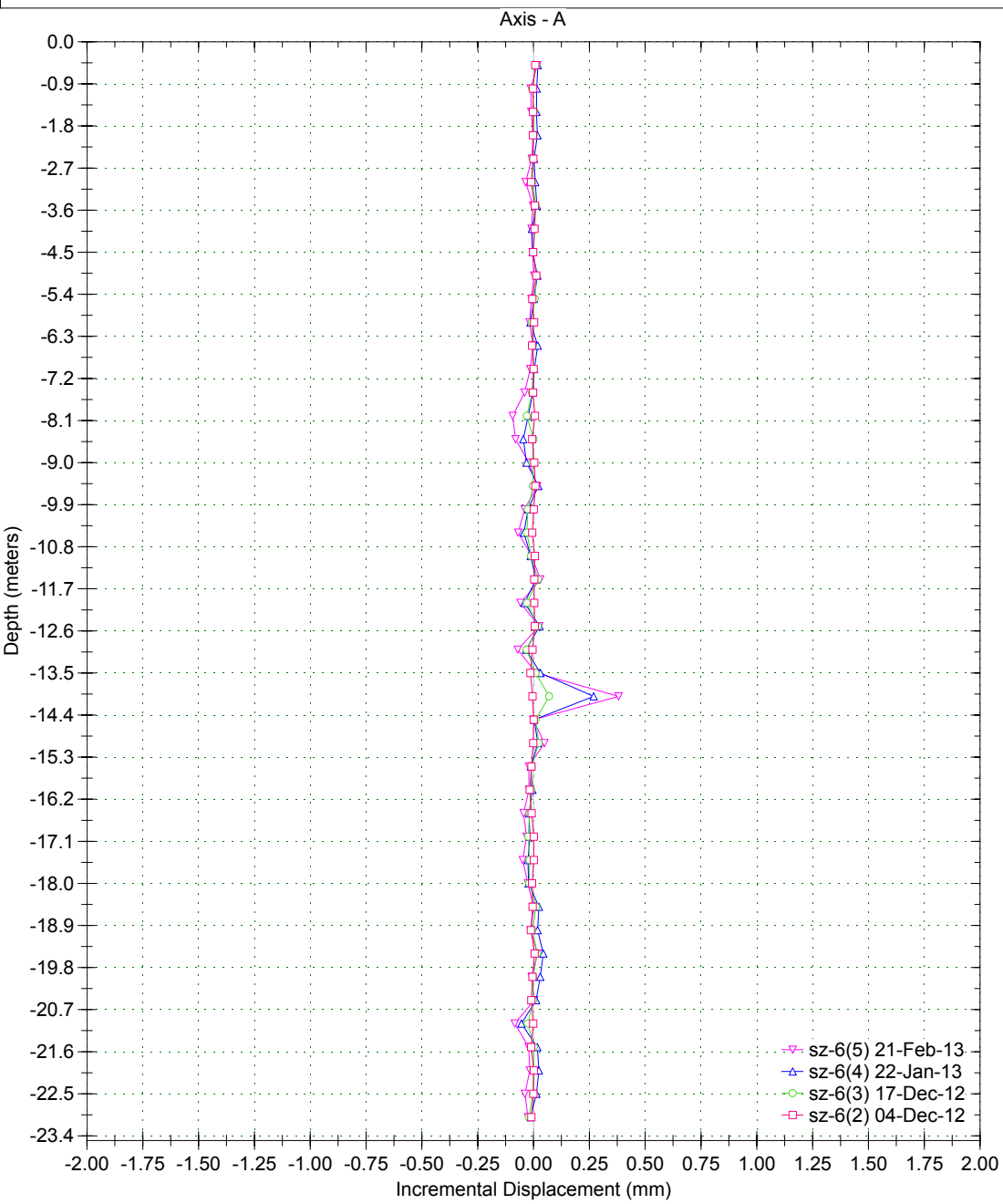
Borehole : sz-5
Project : Default Site
Location : YESA - Margen dcha
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 36.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2012 Dec 04 15:39
Applied Azimuth : 0.0 degrees



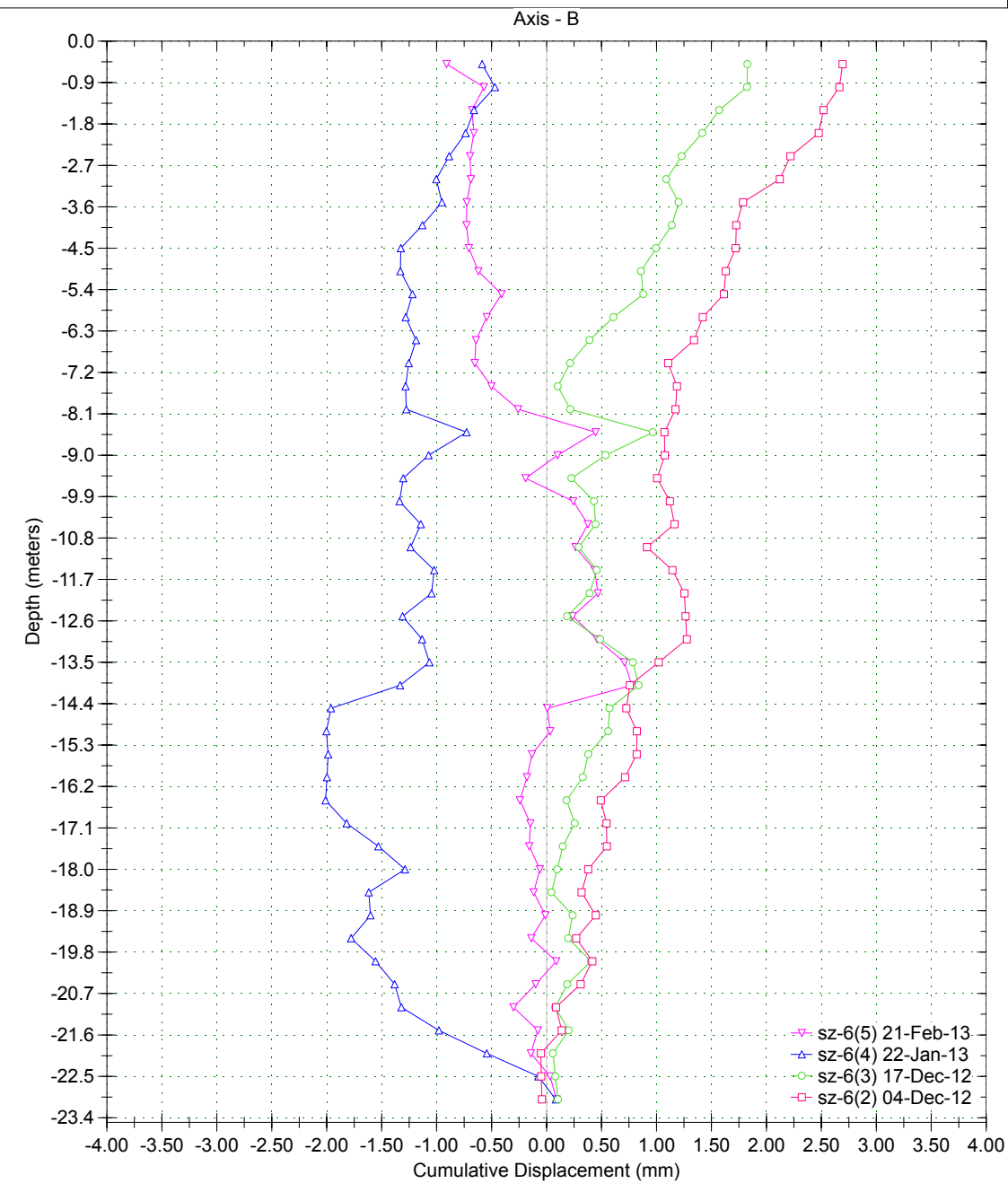
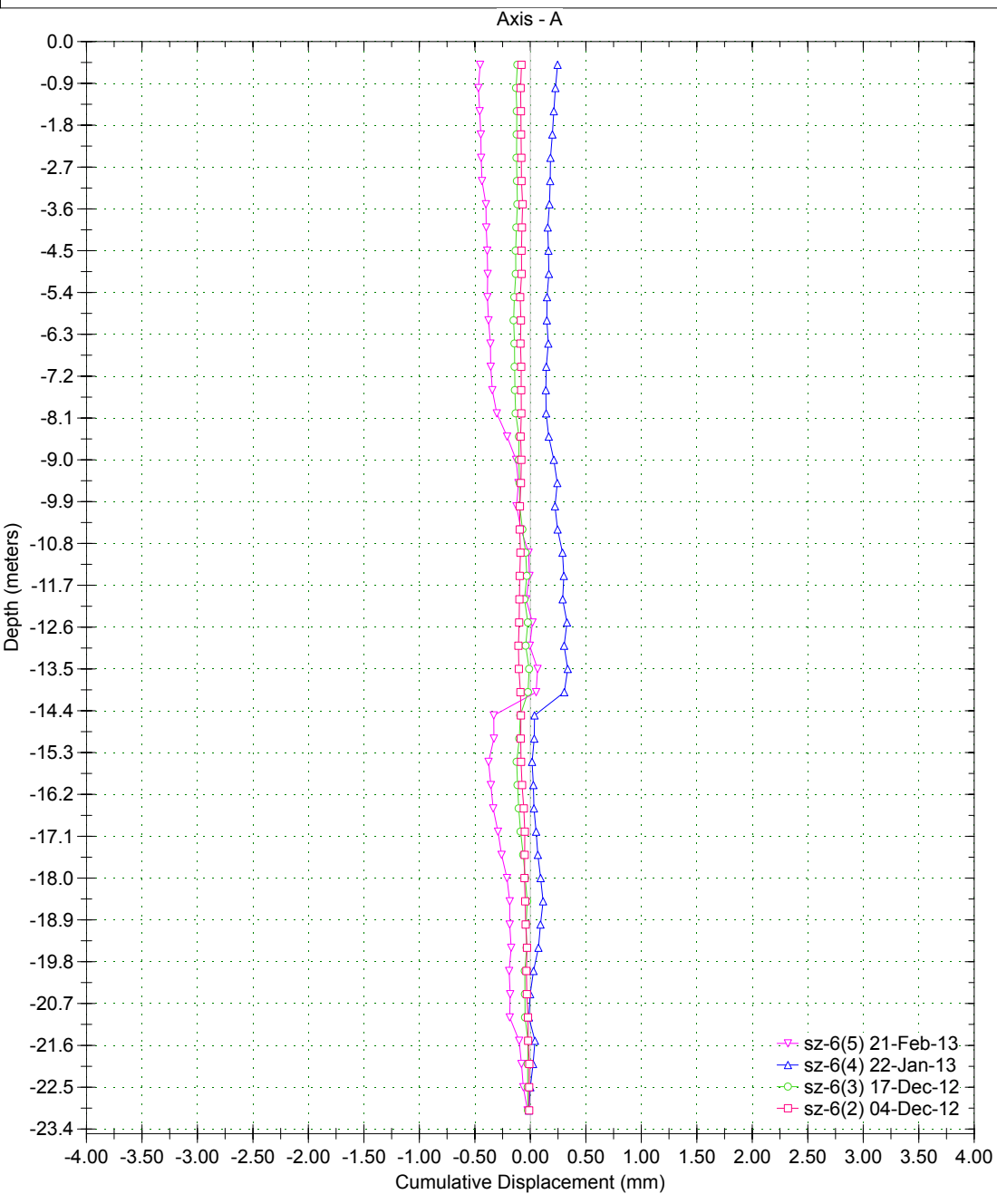
Borehole : sz-6
Project : Default Site
Location : YESA - Margen dcha
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 23.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2012 Dec 04 16:29
Applied Azimuth : 0.0 degrees



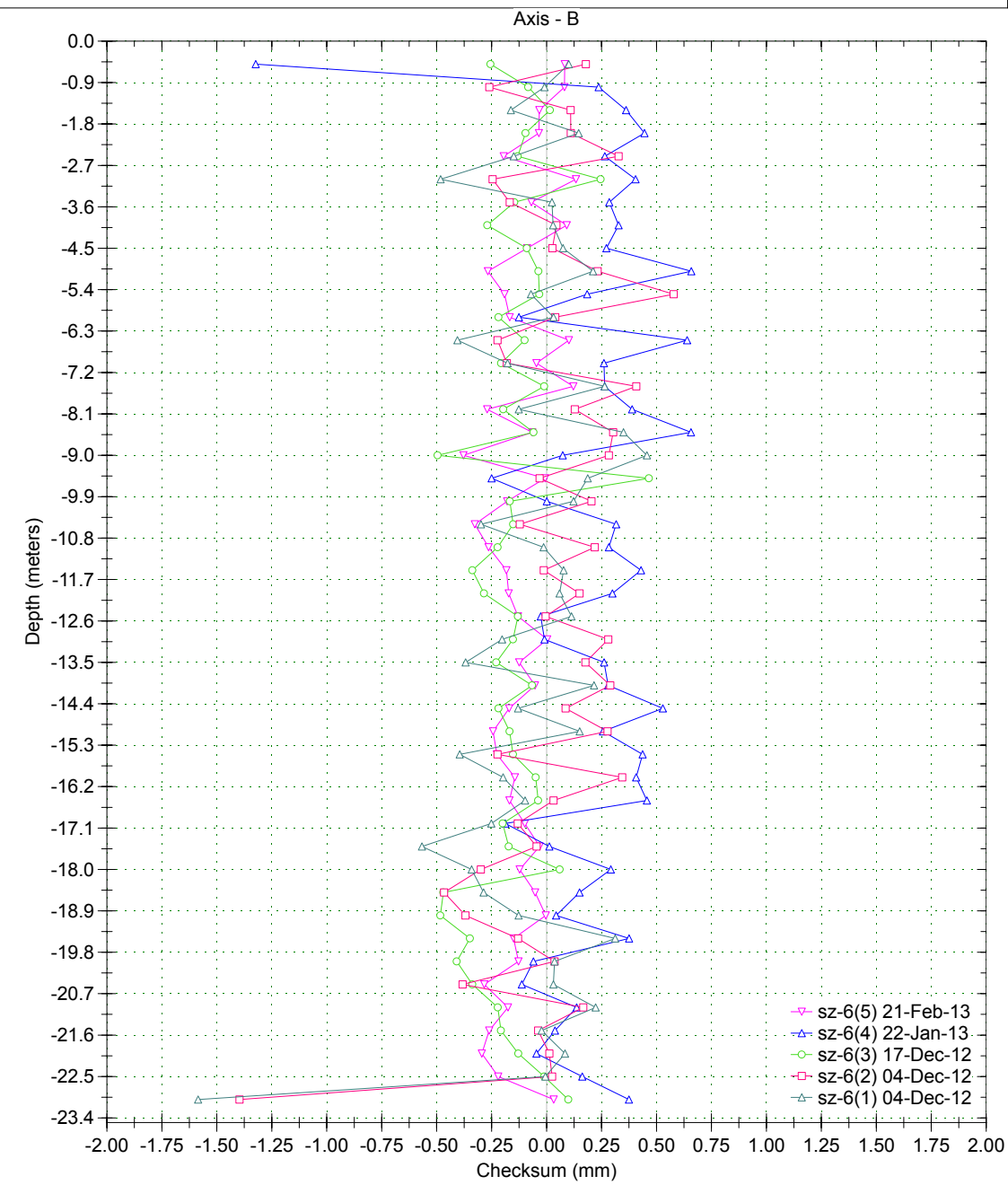
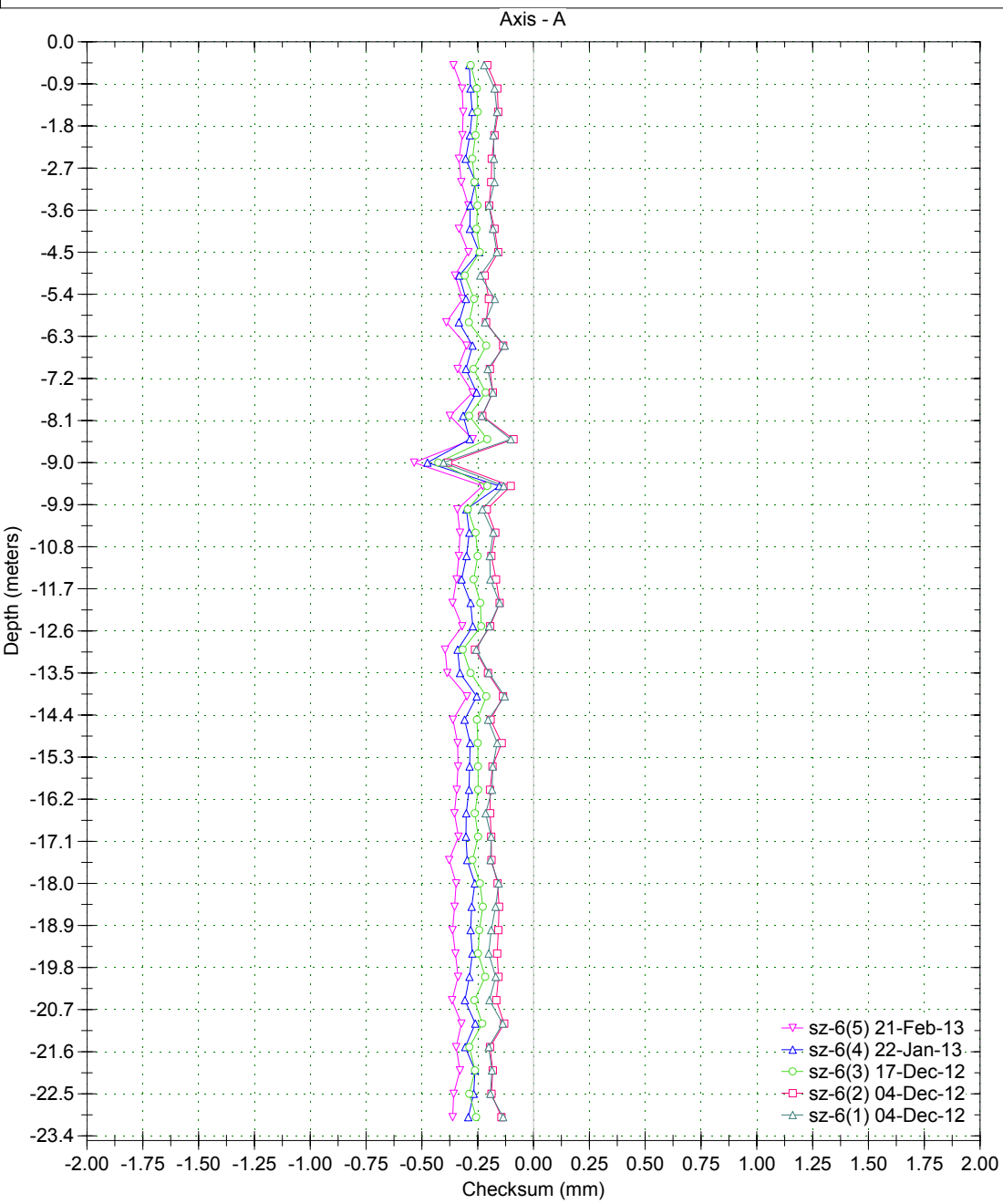
Borehole : sz-6
Project : Default Site
Location : YESA - Margen dcha
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 23.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2012 Dec 04 16:29
Applied Azimuth : 0.0 degrees



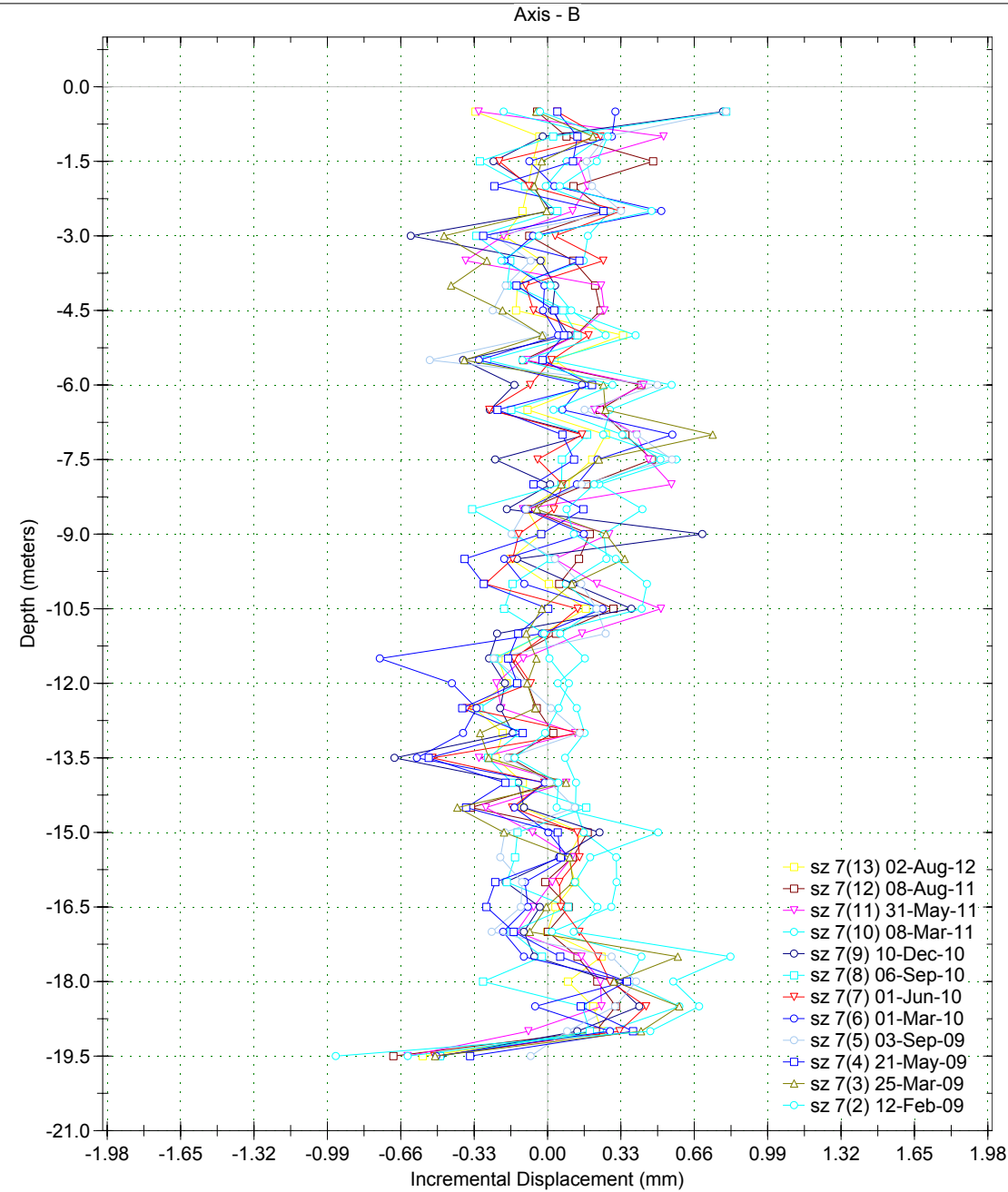
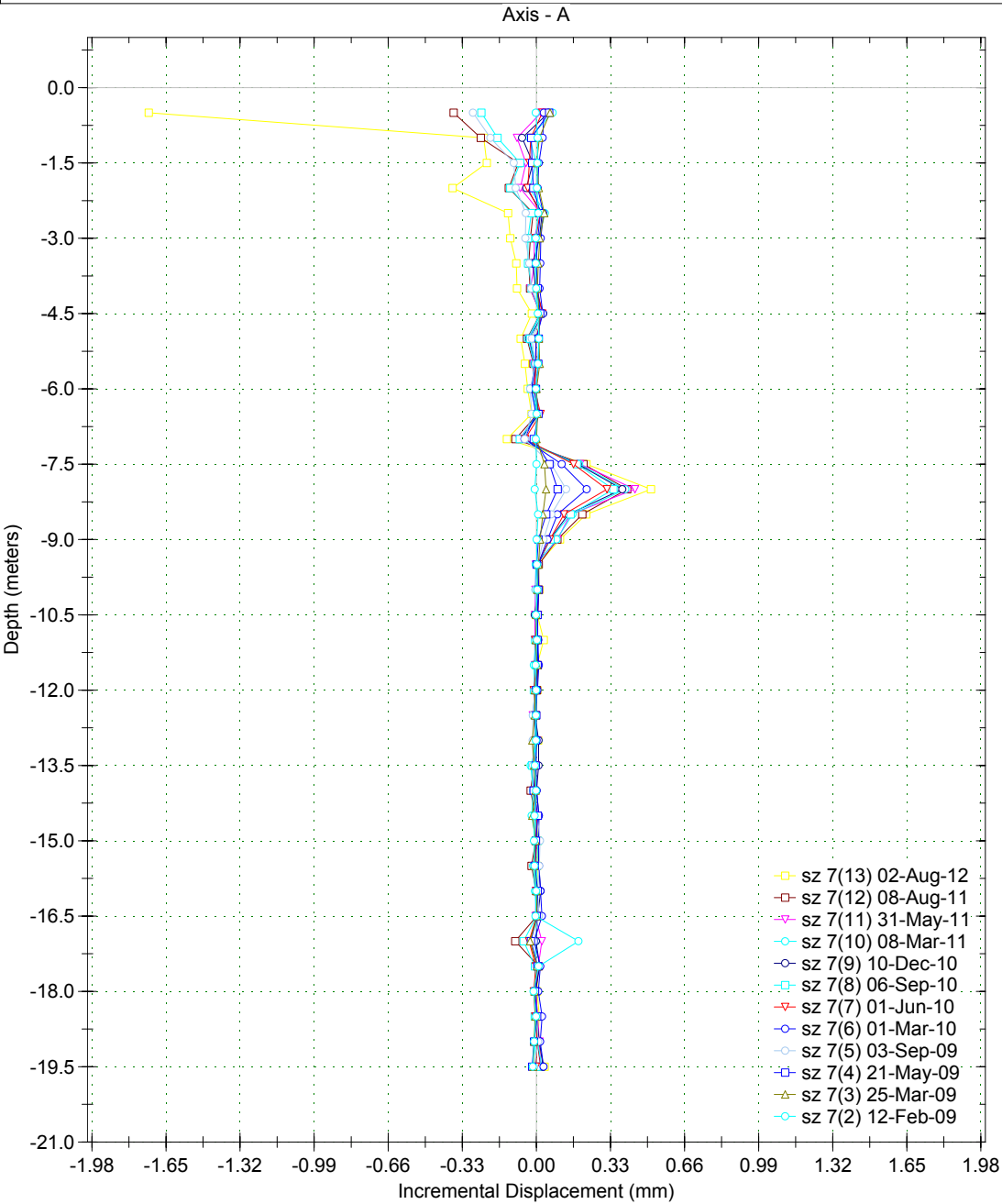
Borehole : sz-6
Project : Default Site
Location : YESA - Margen dcha
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 23.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2012 Dec 04 16:29
Applied Azimuth : 0.0 degrees



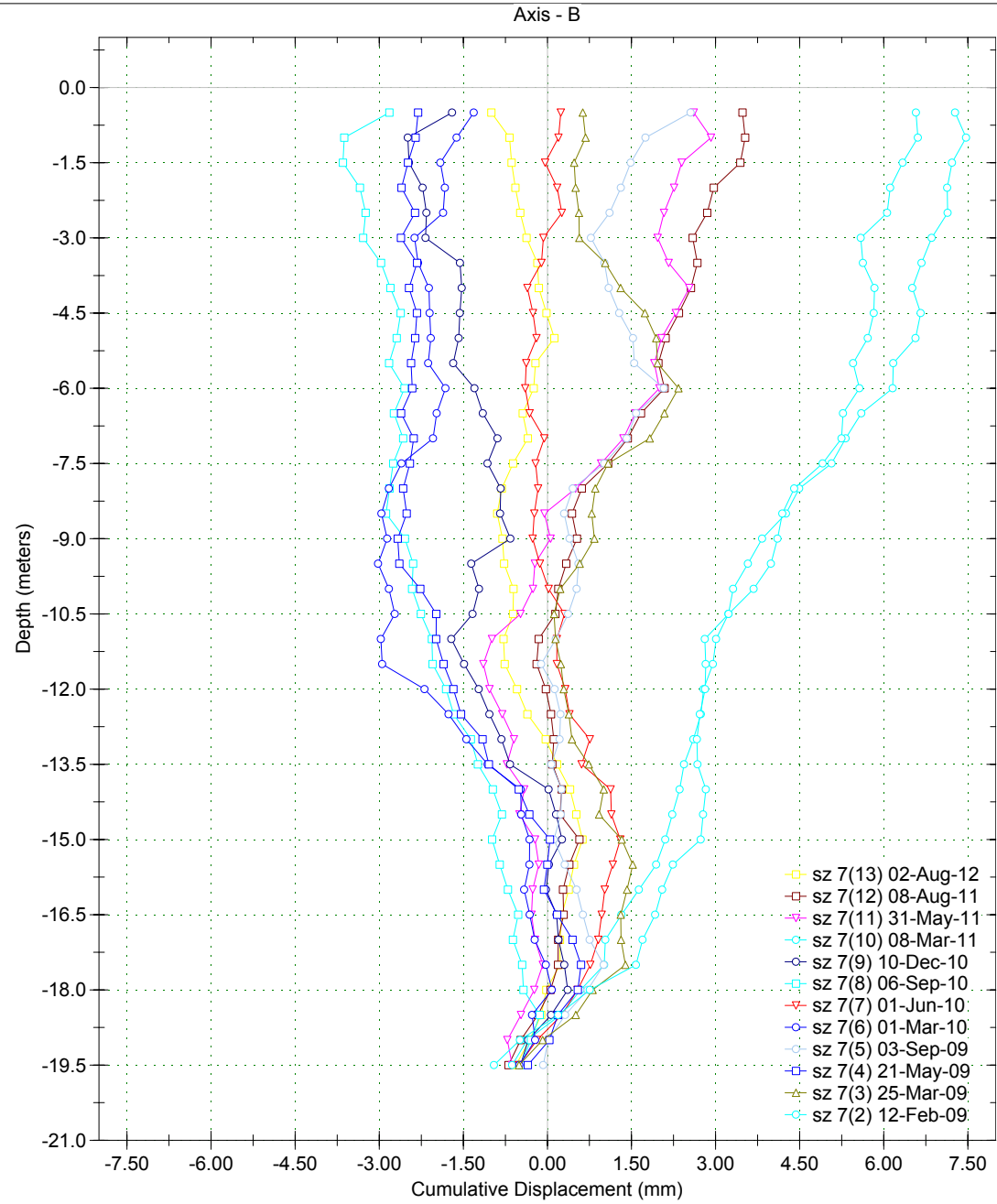
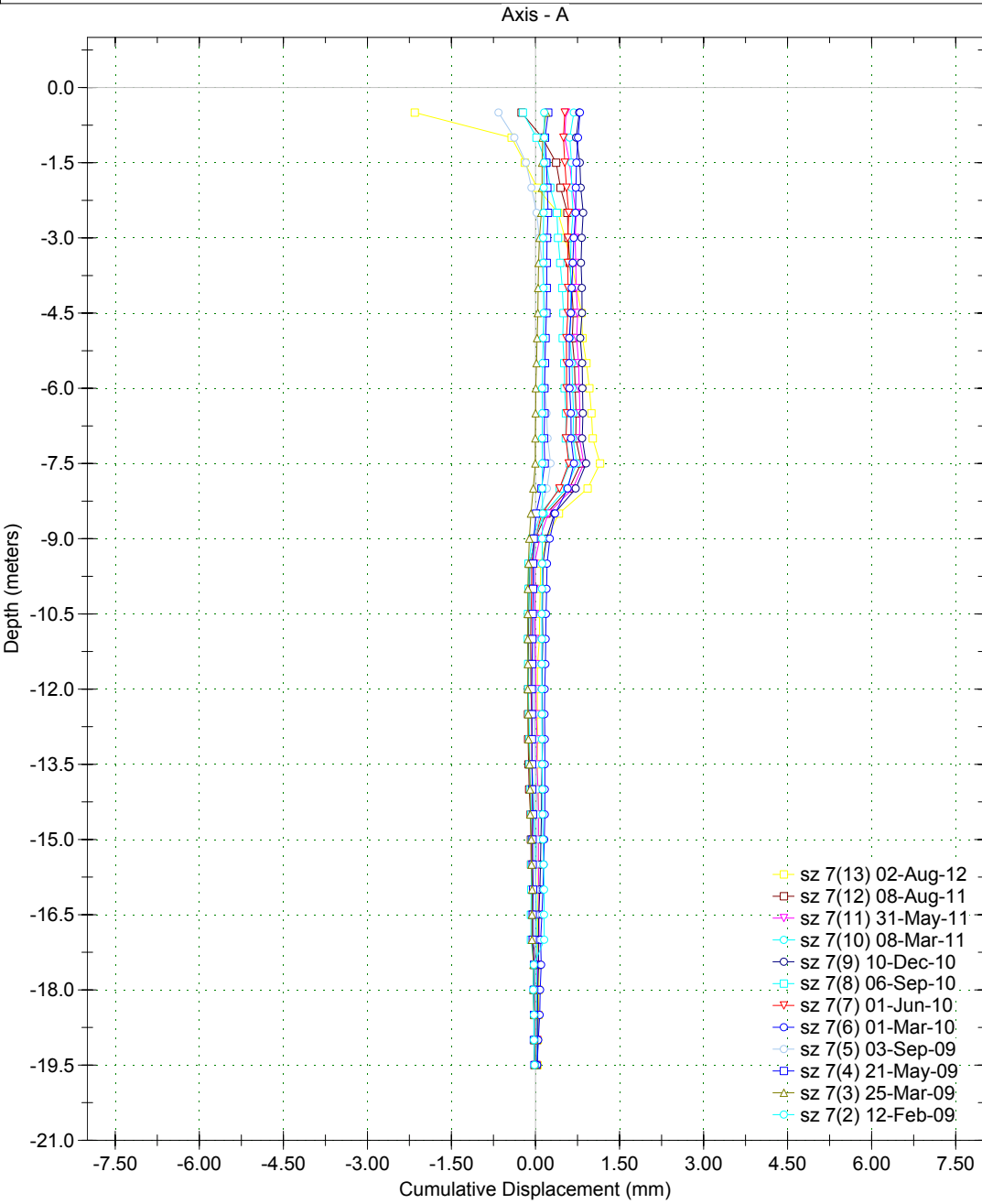
Borehole : sz 7
 Project : yesa
 Location : Margen derecha
 Northing :
 Easting :
 Collar :

Spiral Correction : N/A
 Collar Elevation : 0.0 meters
 Borehole Total Depth : 19.5 meters
 North Groove Azimuth :
 Base Reading : 2009 Feb 12 13:59
 Axis A Azimuth : 0.0 degrees



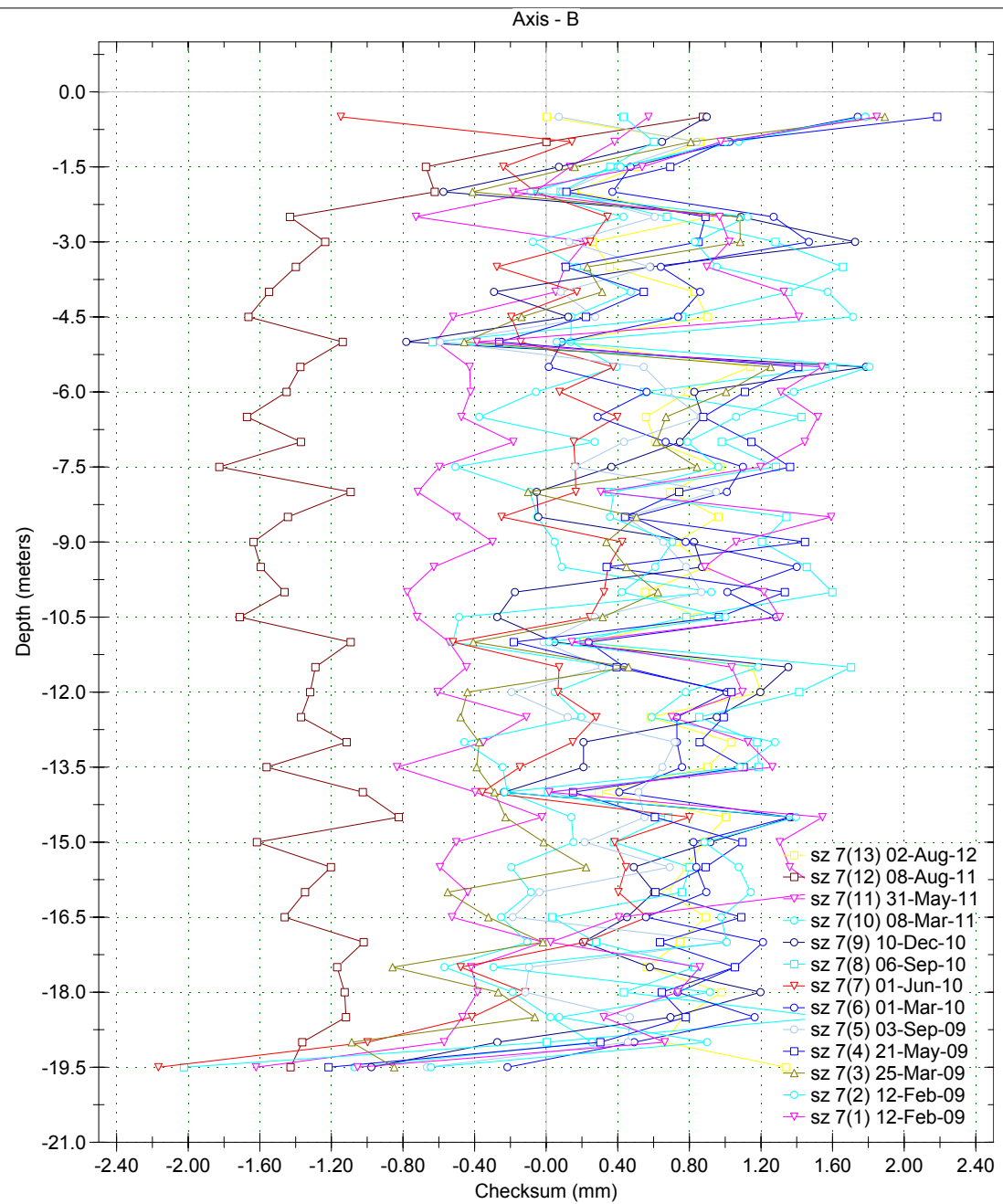
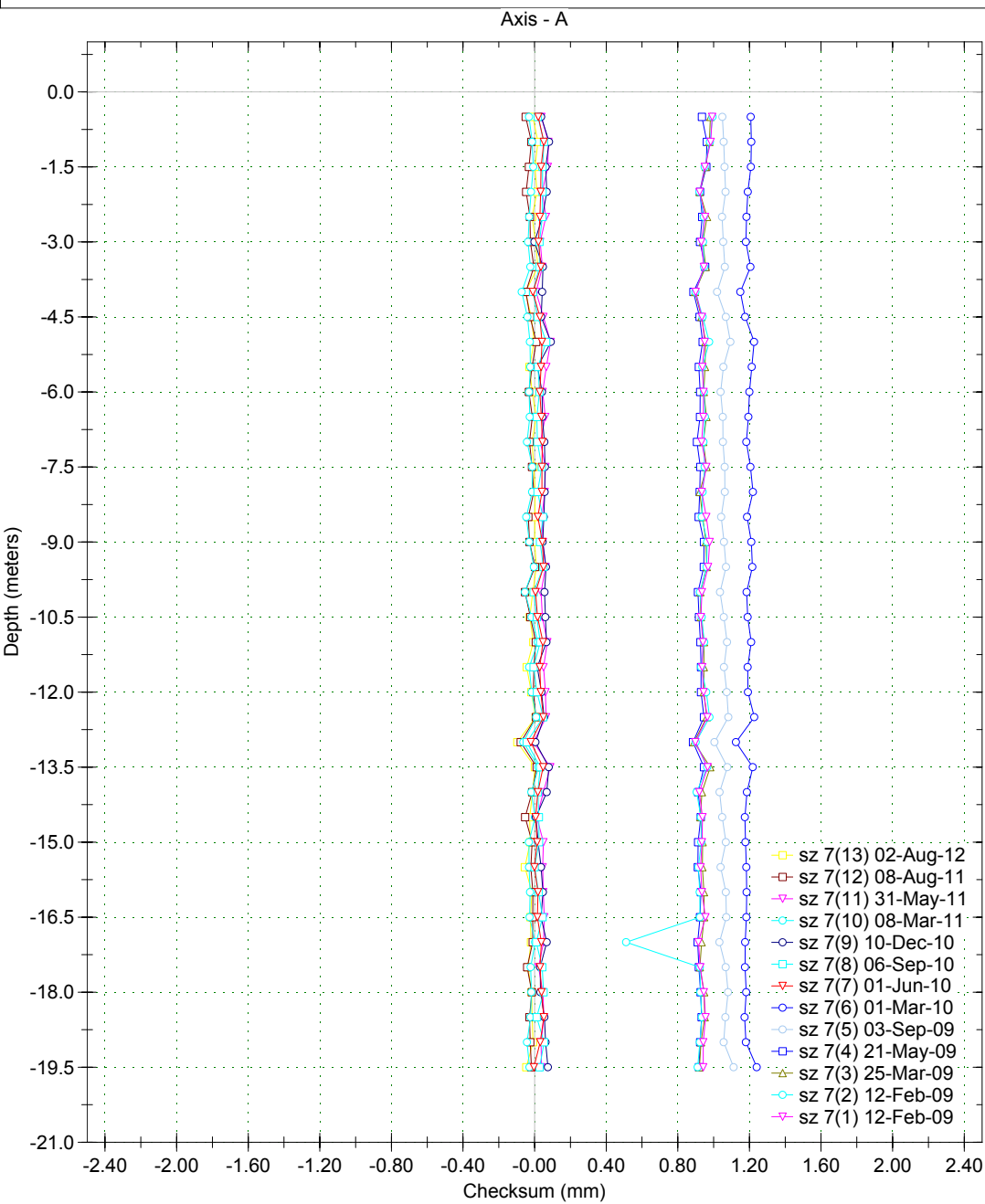
Borehole : sz 7
 Project : yesa
 Location : Margen derecha
 Northing :
 Easting :
 Collar :

Spiral Correction : N/A
 Collar Elevation : 0.0 meters
 Borehole Total Depth : 19.5 meters
 North Groove Azimuth :
 Base Reading : 2009 Feb 12 13:59
 Axis A Azimuth : 0.0 degrees



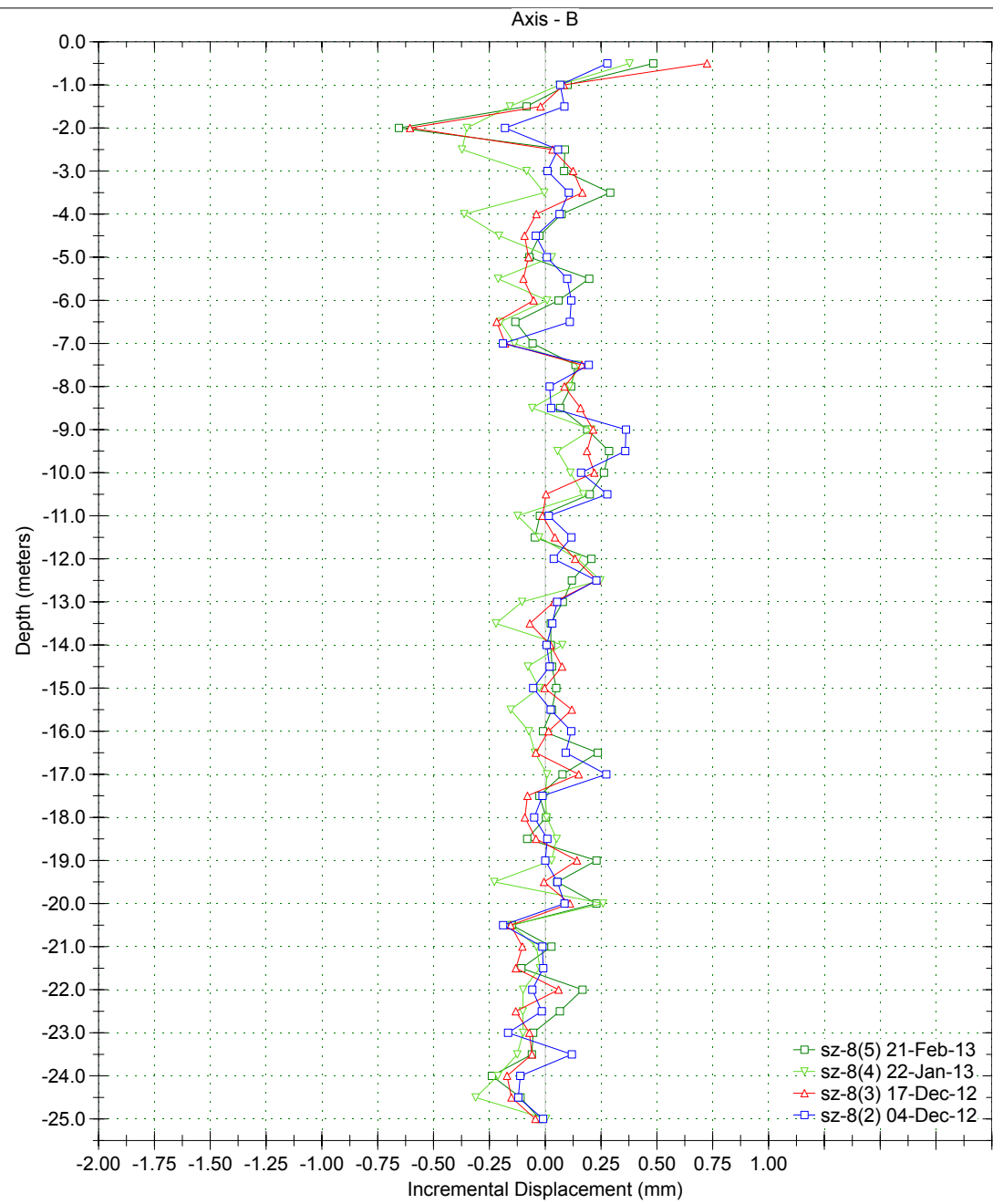
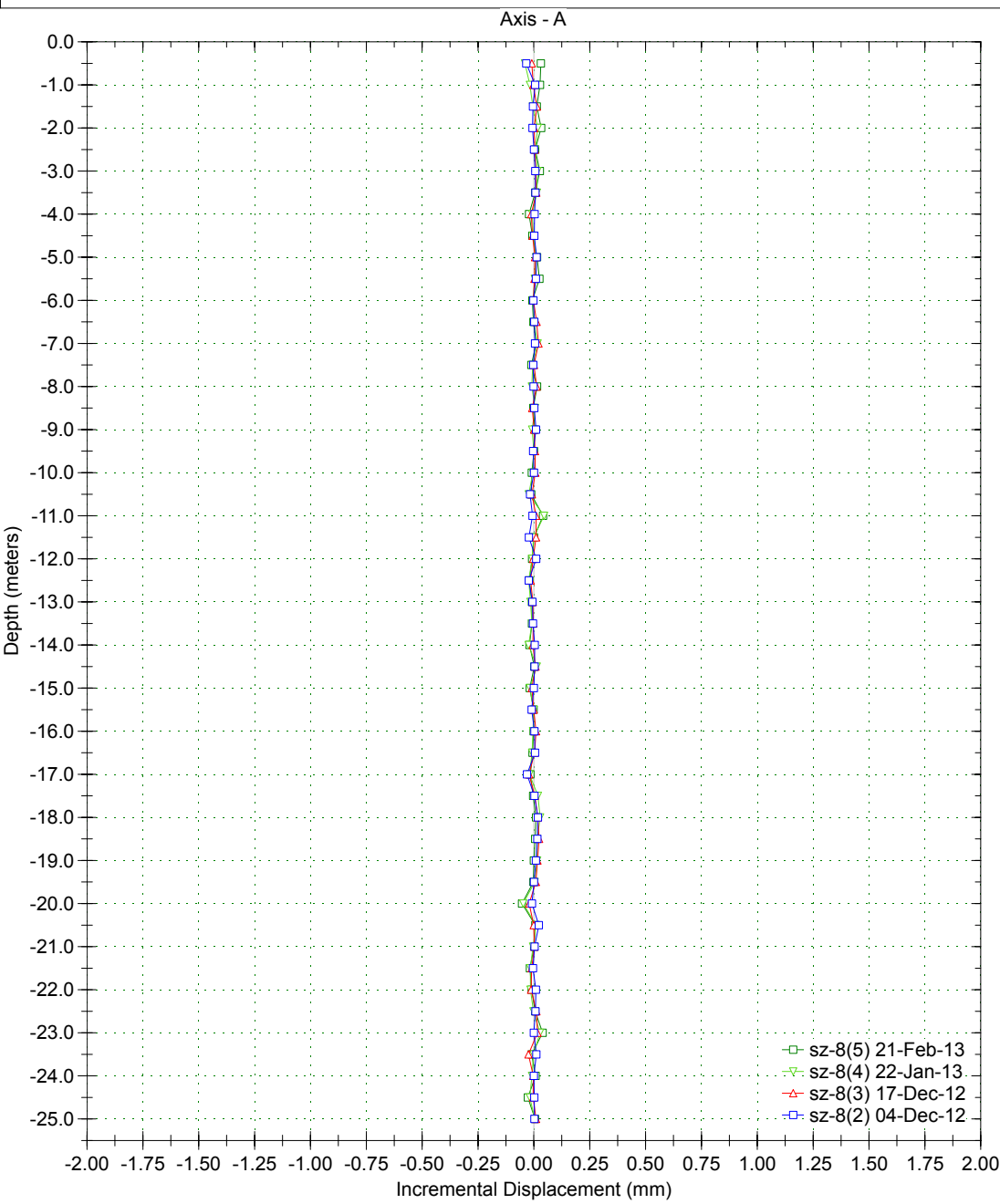
Borehole : sz 7
 Project : yesa
 Location : Margen derecha
 Northing :
 Easting :
 Collar :

Spiral Correction : N/A
 Collar Elevation : 0.0 meters
 Borehole Total Depth : 19.5 meters
 North Groove Azimuth :
 Base Reading : 2009 Feb 12 13:59
 Axis A Azimuth : 0.0 degrees



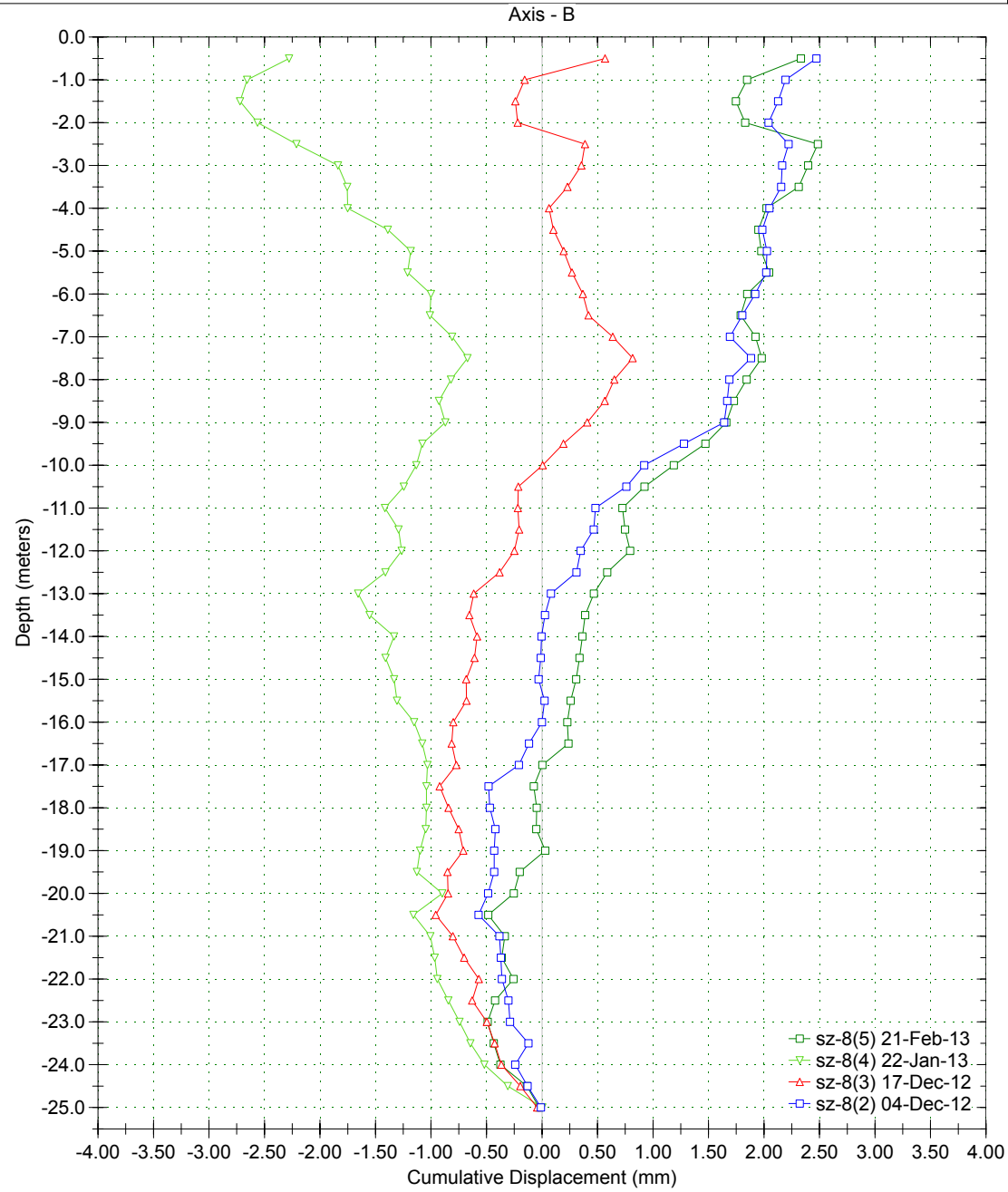
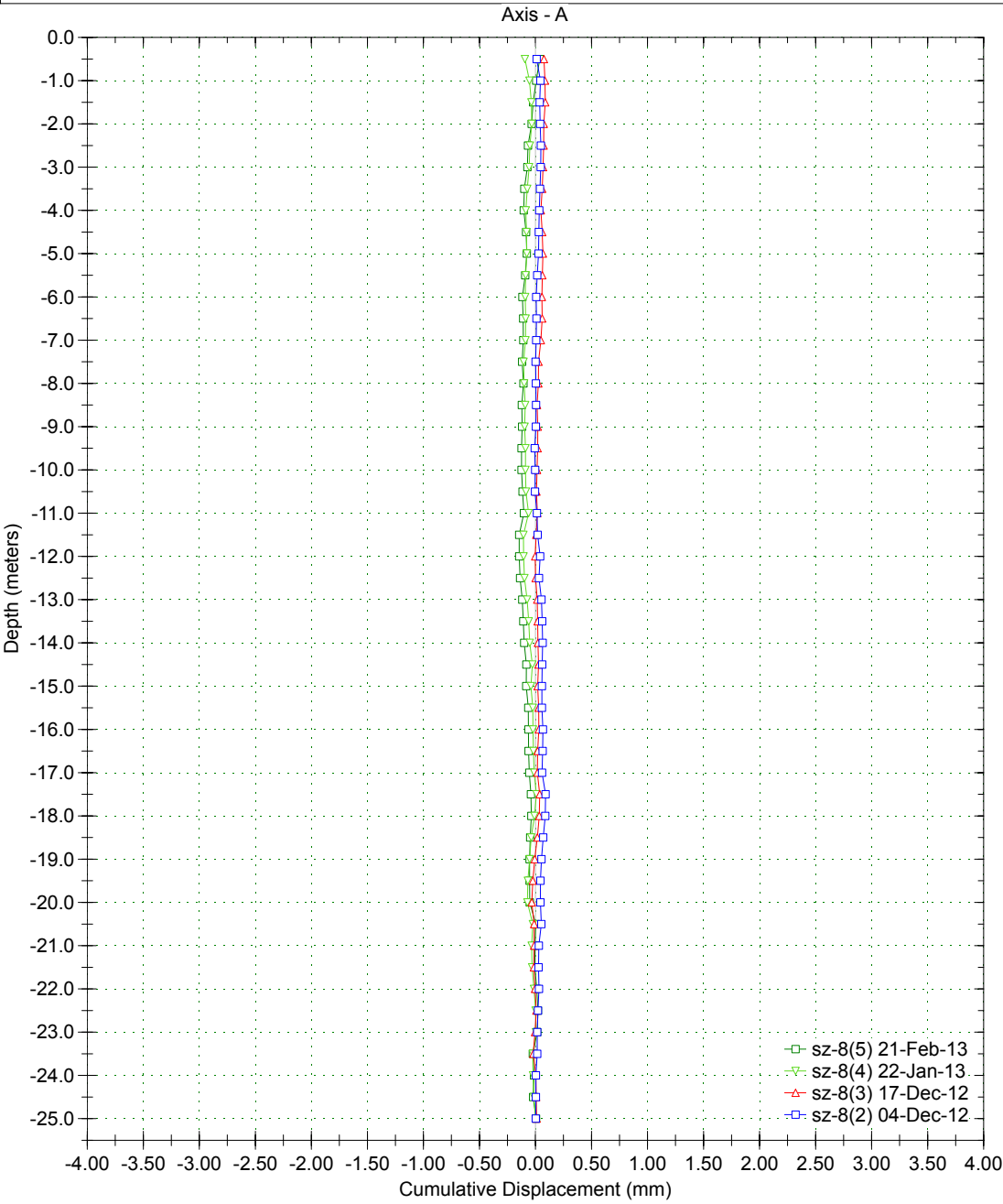
Borehole : sz-8
 Project : Default Site
 Location : YESA - Margen dcha
 Northing :
 Easting :
 Collar :

Spiral Correction : N/A
 Collar Elevation : 0.0 meters
 Borehole Total Depth : 25.0 meters
 A+ Groove Azimuth :
 Base Reading : 2012 Dec 04 17:12
 Applied Azimuth : 0.0 degrees



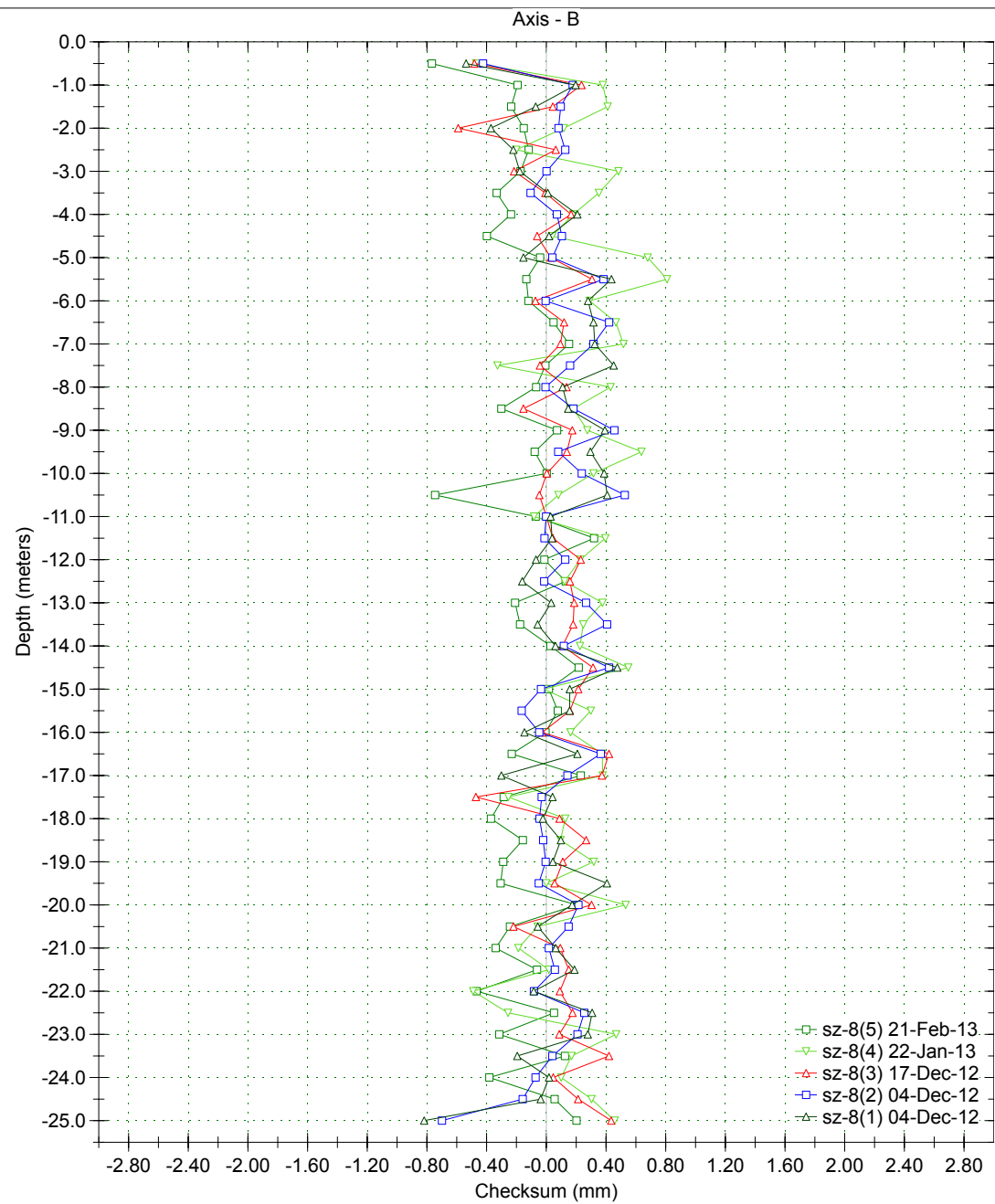
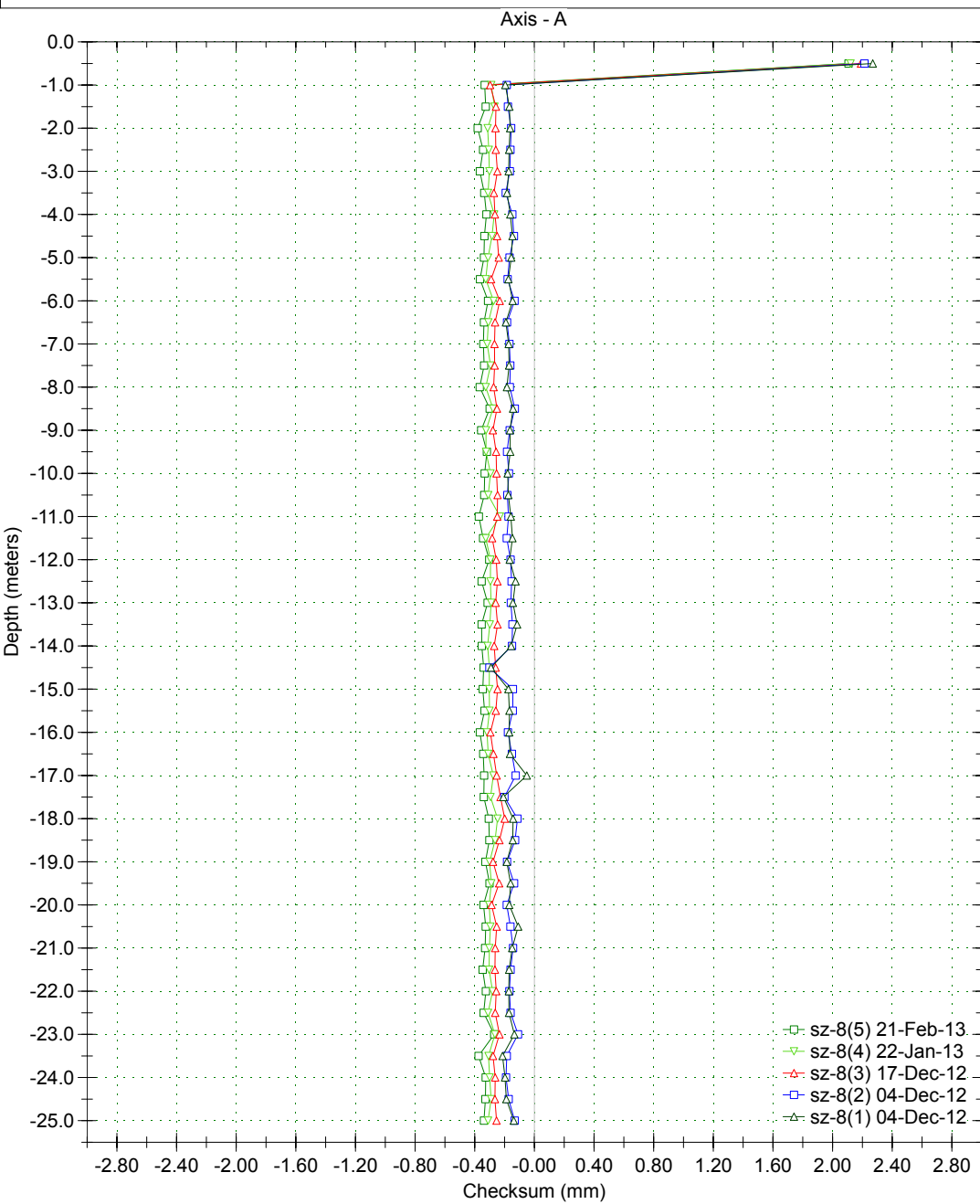
Borehole : sz-8
 Project : Default Site
 Location : YESA - Margen dcha
 Northing :
 Easting :
 Collar :

Spiral Correction : N/A
 Collar Elevation : 0.0 meters
 Borehole Total Depth : 25.0 meters
 A+ Groove Azimuth :
 Base Reading : 2012 Dec 04 17:12
 Applied Azimuth : 0.0 degrees



Borehole : sz-8
Project : Default Site
Location : YESA - Margen dcha
Northing :
Easting :
Collar :

Spiral Correction : N/A
Collar Elevation : 0.0 meters
Borehole Total Depth : 25.0 meters
A+ Groove Azimuth :
Base Reading : 2012 Dec 04 17:12
Applied Azimuth : 0.0 degrees



6.5. APÉNDICE 5. ANÁLISIS PRELIMINAR SOBRE VIBRACIONES INDUCIDAS POR LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TÚNELES DE LA A-21

■ ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO.....	1
2. DOCUMENTACIÓN CONSULTADA.....	1
3. RESUMEN DE LAS CONCLUSIONES DE LOS ESTUDIOS ANTERIORES.....	1
3.1. RESUMEN DE LAS CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE VIBRACIONES.....	1
3.2. RESUMEN DE LAS CONCLUSIONES DEL INFORME PERICIAL.....	1
4. GEOLOGÍA DE LA ZONA.....	2
5. CARACTERÍSTICAS MEDIAS DE LAS ROCAS.....	3
6. CRITERIOS DE DAÑOS EN ESTRUCTURAS.....	4
6.1. CRITERIO DE LA OFICINA DE MINAS DE LOS ESTADOS UNIDOS.....	4
6.2. CRITERIO DE LA UNE 22-381-93.....	6
7. CRITERIOS DE DAÑOS EN EL TERRENO.....	7
7.1. CRITERIO SUECO DE ROTURA POR TRACCIÓN.....	7
7.2. CRITERIO CANADIENSE DE PROPAGACIÓN DE FISURAS.....	7
7.3. CRITERIO BDI.....	8
8. CARGA EXPLOSIVA.....	9
9. ONDAS SÍSMICAS.....	12
10. LEY DE PROPAGACIÓN ESTIMADA.....	14
11. ZONAS DE DAÑO ESPERABLES.....	16
12. COMENTARIOS.....	18

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO

El 24 de abril de 2013, la Confederación Hidrográfica del Ebro, ha encargado a TYPESA estudiar la posible relación entre el deslizamiento detectado en la margen derecha de la presa de Yesa, y las voladuras que se realizaron en el año 2010, durante la construcción del túnel de Valmayor, de la Autovía del Pirineo.

Dado que la información disponible es escasa, se han realizado algunas suposiciones y consideraciones sobre las características del terreno, las cargas explosivas y las detonaciones. En base a éstas, se llega a unos resultados orientativos que se exponen al final de este documento.

2. DOCUMENTACIÓN CONSULTADA

Para la elaboración del presente informe, se han consultado los siguientes documentos:

- Apartado "Conclusiones" del "Estudio de Vibraciones del túnel de Yesa", con fecha octubre de 2010, elaborado por D. Emilio López Jimeno, Dr. Ingeniero de Minas.
- Apartado "Conclusiones" del Informe pericial elaborado por AQUILIA ARQUITECTOS con fecha 16 de noviembre de 2010, con número de referencia: 554309/3DRG
- Manual para el control y diseño de voladuras en obras de carreteras (Ministerio de Obras Públicas y Transportes) (1998)
- Manual de voladuras en túneles (Carlos López Jimeno, Emilio López Jimeno y Pilar Bermúdez) (2010)
- "Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration From Surface Mine Blasting" US Bureau of Mines Report of Investigations /1980-RI-8507
- UNE 22-381-93 "Control de vibraciones producidas por voladuras" (1993)
- "Drilling and blasting for surface excavations" USACE (1972)
- "A simplification of the Zoeppritz equations" Shuey (1985)
- Geotechnical Earthquake Engineering I. Towhata (2007)

3. RESUMEN DE LAS CONCLUSIONES DE LOS ESTUDIOS ANTERIORES

3.1. RESUMEN DE LAS CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE VIBRACIONES

- Las vibraciones máximas esperadas, son muchísimo menores que las máximas admisibles según la norma UNE 22-381-93 (Control de vibraciones producidas por voladuras)
- Las voladuras se perciben claramente por los vecinos de la urbanización.
- Si se tiene en cuenta la onda aérea y la vibración, las quejas deberían ser improbables.
- Se puede concluir que no hay ninguna relación entre las voladuras de producción realizadas en el túnel de Yesa y los daños reclamados.
- Los daños observados tienen su causa más probable en asientos diferenciales de los edificios.

3.2. RESUMEN DE LAS CONCLUSIONES DEL INFORME PERICIAL

Las conclusiones del informe pericial indican:

- La Urbanización Lasaitasuna se asienta sobre un conjunto de rocas de tipo Flysch, desde hace 30 años. Si sitúa en una de las laderas del Monte Valmayor, en la margen derecha de la cerrada

- de la Presa de Yesa. Está constituida por 90 viviendas con una diferencia de cota máxima de 30 m. Dentro de la urbanización, se localizan varios muros de contención y taludes.
- Entre agosto y septiembre de 2010, los vecinos de la Urbanización Lasaitasuna presentaron quejas a la Constructora y a las administraciones autonómicas y locales, por grietas y fisuras en 2 viviendas y en la pista de tenis.
 - Las grietas y fisuras se deben a asientos diferenciales del terreno.
 - La mínima distancia entre los túneles de la Autovía A-21 y la Urbanización Lasaitasuna, es de 385m.
 - La carga máxima del Proyecto de Voladuras, se estableció en 10,85 kg. Según este mismo Proyecto, la distancia de seguridad, es de 171,9m.
 - La empresa MAXAM efectuó 3 controles de vibraciones entre agosto y septiembre de 2010, determinando que la velocidad de vibración y la onda aérea se encontraban dentro de los límites establecidos por la normativa española y el United States Bureau of Mining respectivamente.
 - El Dr. Ingeniero de Minas, D. Emilio López Jimeno, realizó un estudio de vibraciones en octubre de 2010, determinando que no existía ninguna relación entre las voladuras realizadas en el túnel de Yesa, y los daños reclamados.
 - El mencionado informe pericial concluye que no existe ninguna relación entre las voladuras realizadas en el túnel de Yesa y la aparición de los daños que se reclamaban.

4. GEOLOGÍA DE LA ZONA

En la imagen siguiente, se puede ver una fotografía aérea de la zona tomada en el año 2008, donde se aprecia la presa, los túneles de la autovía y la urbanización:



De acuerdo con la información geológica elaborada para los estudios de la presa de Yesa, su recrecimiento y de la estabilidad de la ladera de la margen derecha, el terreno afectado por las excavaciones de los túneles corresponde fundamentalmente a la formación de margas de Pamplona, de edad Eoceno. Hacia el sur en la ladera en la que se emplaza la presa, afloran las areniscas y margas que constituyen la formación del flysch de Yesa (Ver apartado 3.2 Cartografía geológica, del informe).

5. CARACTERÍSTICAS MEDIAS DE LAS ROCAS

En la tabla siguiente, se han recopilado algunas características, incluidas en el Manual para el control y diseño de voladuras en obras de carreteras (Ministerio de Obras Públicas y Transportes) (1998):

Roca	Resistencia a la compresión simple (MPa)	Velocidad v_p (m/s)	Densidad (kg/m^3)
Anhidrita	42	900 - 1500	
Arenisca	4 - 320	1200 - 7000	2170 - 2700
Basalto	15 - 420	2400 - 4000	
Caliza	4 - 330	1500 - 6000	2370 - 2750
Cuarcita	90 - 470	5000 - 6000	
Diabasa	120 - 500	5800 - 7100	2804 - 3110
Dolomía	36 - 560	5000 - 6000	2750 - 2800
Esquisto	12 - 230	1800 - 3000	2700 - 3030
Gabro	150 - 280	6700 - 7300	2850 - 3120
Gneis	42 - 250	3000 - 6000	2590 - 3060
Granito	10 - 300	3000 - 6000	2516 - 2809
Marga	3 - 197	1800 - 3500	
Pizarra	27 - 320	1200 - 2100	2060 - 2680
Sal	21 - 35	4500 - 6500	
Yeso	150 - 45	3000 - 4000	

En el mencionado manual, también se indica que las resistencias dinámicas a tracción, se encuentran en general entre 5 y 15 veces por encima de las estáticas.

En el cuadro siguiente, se han comparado las resistencias típicas a compresión y tracción de las rocas, según el mencionado manual:

Resistencia	Baja	Media	Alta	Muy alta
σ_c (MPa)	5	20	60	>100
σ_t (MPa)	0,4	1,5	4	>20

Del cuadro anterior, se deduce que, en general, la resistencia a tracción es del orden del 7% de la resistencia a compresión.

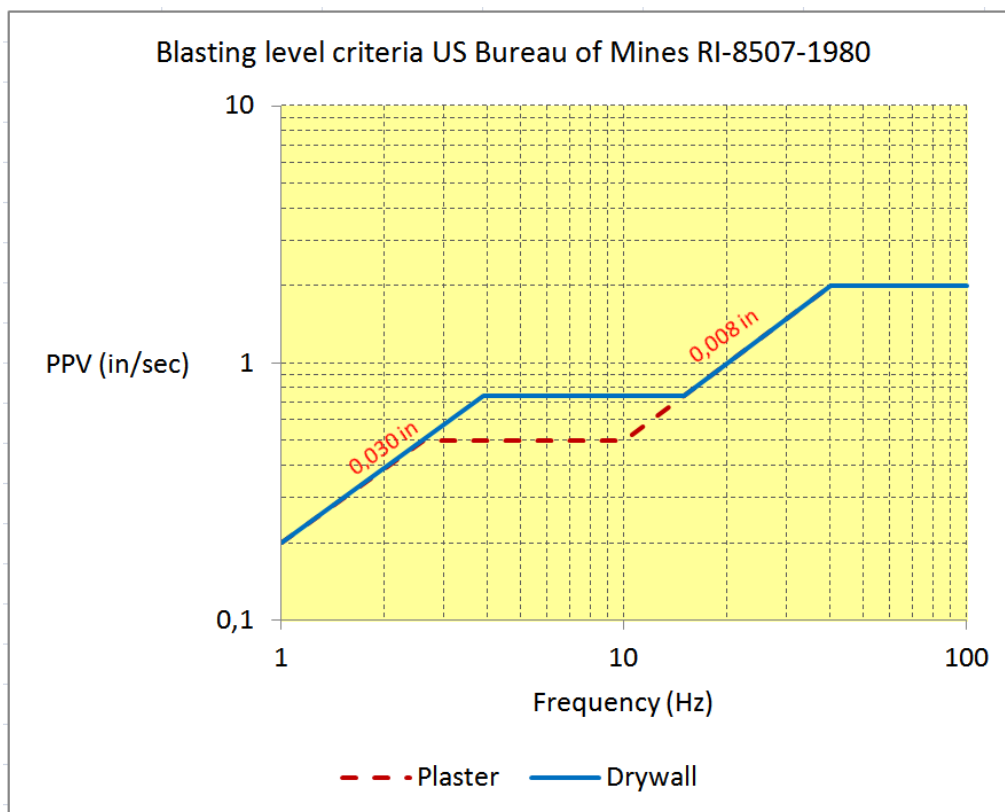
El mencionado Manual, también establece una correlación entre la resistencia a compresión simple de la roca, y su módulo de deformación elástico:

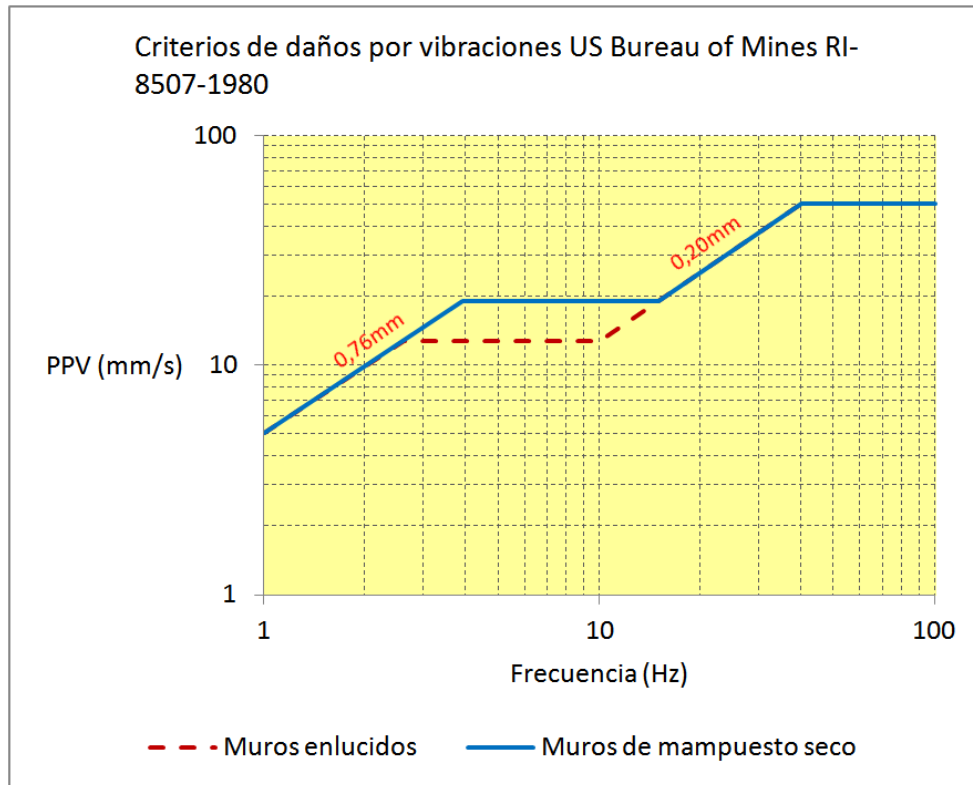
Resistencia	Baja	Media	Alta	Muy alta
E (MPa)	menor de 2.000	10.000 a 20.000	50.000	mayor de 80.000

6. CRITERIOS DE DAÑOS EN ESTRUCTURAS

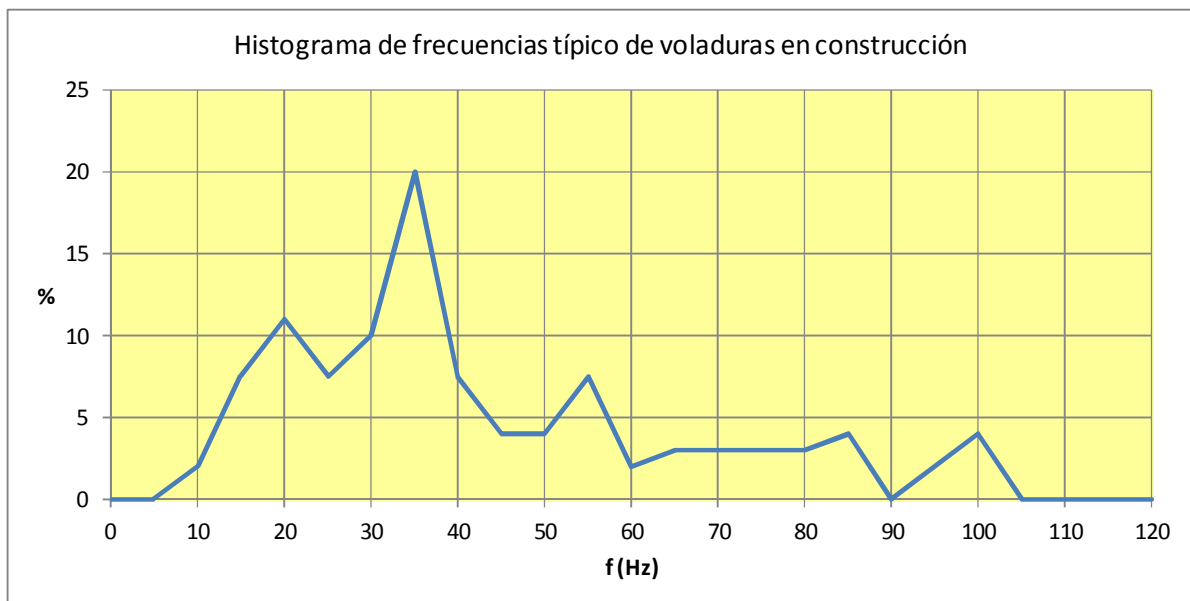
6.1. CRITERIO DE LA OFICINA DE MINAS DE LOS ESTADOS UNIDOS

De acuerdo con los estudios realizados por el US Bureau of Mines, se estableció un criterio de daños para distintos tipos de estructuras. En dicho informe se determinaron los valores admisibles de frecuencia y velocidad máxima de oscilación, según se trate de muros enlucidos con yeso (plaster), o muros con mampostería sin aglomerante (drywall).





En el mencionado informe, también se recopilaron una serie de histogramas de frecuencias de vibración, para los casos de voladuras en minas de carbón, canteras y construcción de obras civiles. A continuación se ha representado de manera aproximada el histograma correspondiente a los casos de voladuras en la construcción de obras civiles.



En base a este histograma, se puede deducir que, en general, en el 95% de los casos, las vibraciones tienen frecuencias comprendidas entre 10 y 85 Hz, y casi en el 85% de los casos, las vibraciones tienen frecuencia comprendidas entre 10 y 60 Hz.

Teniendo en cuenta lo anterior, se podría considerar que el criterio de las 8 milésimas de pulgada (para frecuencias comprendidas entre 10 y 85 Hz, es decir, sería un valor admisible para la amplitud de la oscilación. Dicho valor expresado en unidades del sistema internacional, sería de 0,20mm. Este valor del desplazamiento, para frecuencias próximas a 10 Hz, significaría una velocidad admisible de 13 mm/s.

6.2. CRITERIO DE LA UNE 22-381-93

En la norma UNE 22-381-93, se establece niveles seguros para el valor pico de la velocidad en su mayor componente de vibración del terreno, y para la frecuencia principal, en función del tipo de estructura.

Tipo de estructura	Frecuencia principal (Hz)		
	2-15	15-75	>75
	Velocidad (mm/s)	Desplazamiento (mm)	Velocidad (mm/s)
Grupo I: Edificios y naves industriales ligeras con estructuras de hormigón armado o metálicas	20	0,212	100
Grupo II : Edificios de viviendas, oficinas, centros comerciales y de recreo, cumpliendo la normativa legal vigente. Edificios y estructuras de valor arquitectónico, arquitectónico o histórico que por su fortaleza no presenten especial sensibilidad a las vibraciones	9	0,095	45
Grupo III: Estructuras de valor arqueológico, arquitectónico o histórico que presenten una especial sensibilidad a las vibraciones por ellas mismas o por elementos que pudieran contener	4	0,042	20

La velocidad correspondiente al intervalo de frecuencias entre 15 y 75 Hz, se puede estimar a partir de la expresión: $v = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot d$

Si se parte de la base de que las frecuencias de oscilación, se encontrarían comprendidas en un intervalo de entre 10 y 85 Hz, se ha considerado el caso prudente de que las frecuencias estuvieran próximas a 10 Hz. Para este caso, se considera que los niveles admisibles para las velocidades de vibración del terreno, serían:

Nivel	v admisible (mm/s)
I	20
II	9
III	4

7. CRITERIOS DE DAÑOS EN EL TERRENO

7.1. CRITERIO SUECO DE ROTURA POR TRACCIÓN

En este criterio, la velocidad de vibración se limita por razón de la resistencia dinámica a tracción de la roca. Se considera que el material se comporta de forma elástica y frágil, de forma que la rotura se produce cuando:

$$E \cdot \varepsilon \geq \sigma_{td}$$

La deformación por efecto de la vibración, se entiende que se produce porque la relación entre velocidad de vibración PPV, y la velocidad de propagación de las ondas P (v_p)

$$\varepsilon = \frac{PPV}{v_p}$$

En consecuencia, $\varepsilon_{adm} = \frac{\sigma_{td}}{E} = \frac{PPV_{adm}}{v_p} \Rightarrow PPV_{adm} = \frac{v_p \cdot \sigma_{td}}{E}$

En la tabla siguiente, se han incluido los parámetros considerados en la obtención de la velocidad admisible:

v_p (m/s)	E (MPa)	σ_{td} (MPa)
2000	2000	2

$$PPV_{adm} = \frac{2000 \cdot 2}{2000} = 2 \text{ m/s} = 2000 \text{ mm/s}$$

7.2. CRITERIO CANADIENSE DE PROPAGACIÓN DE FISURAS

Este criterio, tiene en consideración que por efecto de la vibración normal al plano de las fisuras, éstas se propagan por la masa de la roca. La expresión de la velocidad admisible de vibración, es la siguiente:

$$PPV_{adm} = \frac{0,021 \cdot \sigma_c}{v_p \cdot \rho_r}$$

Donde:

- PPV es la velocidad máxima de vibración admisible (m/s)
- σ_c es la resistencia a la compresión simple de la roca (N/m^2)
- ρ_r es la densidad de la roca (kg/m^3)

En la tabla siguiente, se han incluido los parámetros considerados en la obtención de la velocidad admisible:

v_p (m/s)	ρ_r (MPa)	σ_c (Pa)
2000	2400	$5 \cdot 10^6$

$$PPV_{adm} = \frac{0,021 \cdot 5 \cdot 10^6}{2000 \cdot 2400} = 0,021 \text{ m/s} = 21 \text{ mm/s}$$

7.3. CRITERIO BDI

El Blast Damage Index, ha sido desarrollado por Yu y Vongpaisal (1996), y tiene la siguiente expresión:

$$BDI = \frac{v_R \cdot \rho_r \cdot v_P}{k_s \cdot \sigma_{td}}$$

v_r es el vector resultante de la PPV

ρ_r es la densidad del macizo rocoso

V_p es la velocidad de propagación de las ondas P

k_s es un índice de la calidad del macizo rocoso entre 0 y 1 (normalmente se toma el RMR dividido por 100)

σ_{td} es la resistencia a tracción dinámica de la roca

En la tabla siguiente, se han incluido los niveles de daño asociados a los distintos valores del BDI:

BDI	Nivel de daño
BDI < 0,125	Sin daños
0,125 < BDI < 0,25	Daños no identificados
0,25 < BDI < 0,50	Daños pequeños
0,50 < BDI < 0,75	Daños moderados y discontinuos
0,75 < BDI < 1,00	Daños intensos y continuos. Necesitan refuerzo
1,00 < BDI < 1,50	Daños severos. Se necesitan refuerzos importantes
BDI > 2,00	Hundimientos.

En la tabla siguiente, se han incluido los parámetros considerados en la obtención de la velocidad admisible:

BDI	ρ_r (kg/m ³)	Vp (m/s)	k_s	σ_c (MPa)	q_{td} (N/m ²)
0,125	2400	2000	0,50	5	$2,0 \cdot 10^6$
0,50	2400	2000	0,50	5	$2,0 \cdot 10^6$
1,00	2400	2000	0,50	5	$2,0 \cdot 10^6$

$$v_R = \frac{BDI \cdot k_s \cdot \sigma_{td}}{\rho_r \cdot v_p} = \frac{0,125 \cdot 0,50 \cdot 2,0 \cdot 10^6}{2400 \cdot 2000} = 0,026 \text{ m/s} = 26 \text{ mm/s}$$

$$v_R = \frac{BDI \cdot k_s \cdot \sigma_{td}}{\rho_r \cdot v_p} = \frac{0,50 \cdot 0,50 \cdot 2,0 \cdot 10^6}{2400 \cdot 2000} = 0,104 \text{ m/s} = 104 \text{ mm/s}$$

$$v_R = \frac{BDI \cdot k_s \cdot \sigma_{td}}{\rho_r \cdot v_p} = \frac{1,00 \cdot 0,50 \cdot 2,0 \cdot 10^6}{2400 \cdot 2000} = 0,208 \text{ m/s} = 208 \text{ mm/s}$$

8. CARGA EXPLOSIVA

Las sustancias explosivas están constituidas en su mayor parte por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Como consecuencia de lo anterior, los principales productos gaseosos que se producen en una voladura son: CO₂, CO, N₂, NO₂, H₂O y O₂.

Los gases liberados en la detonación, inicialmente se encuentran a presiones muy elevadas, por lo que la ecuación de estado de los gases ideales no sería de aplicación. Por este motivo se emplean otras ecuaciones que tienen en cuenta no sólo el volumen total de los gases, sino también el volumen propio de las moléculas. En este sentido una de las formulaciones más comunes es la de Sarrau:

$$p \cdot \left(\frac{V}{m} - \alpha \right) = R \cdot T$$

Donde:

- p es la presión de detonación
- V es el volumen del gas en el instante de la detonación
- m es la masa del gas
- α es el volumen propio de las moléculas por unidad de masa o "covolumen"

En general, salvo que se dispongan de datos más fiables, se suele estimar α como:

$$\alpha = \frac{V_{k20}}{1.000}$$

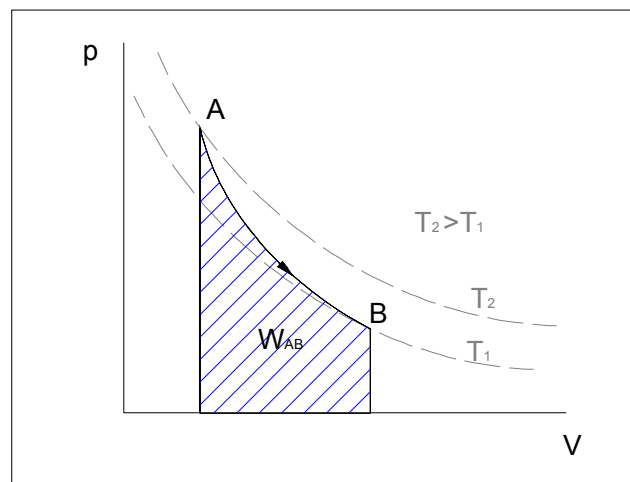
Donde V_{k20} es el volumen de los gases por unidad de masa, medido a 20°C

La expansión de los gases conforme avanza el frente de la onda aérea, se puede estudiar considerando que se trata de una expansión adiabática. En la imagen siguiente se ha representado una expansión adiabática y la energía liberada en el proceso.

La ecuación que relaciona la presión y el volumen del gas en un proceso adiabático es:

$$p \cdot V^\gamma = \text{constante}$$

Teniendo en cuenta las temperaturas a las que se espera que se encuentren los gases, el coeficiente adiabático γ tendría un valor comprendido entre 1,1 y 1,2.



La presión que se genera dentro de un bar reno debido a la detonación, se puede calcular en base la expresión propuesta en la publicación "Mining Reference Handbook" (Society For Mining Metallurgy and Exploration 2002) :

$$p = 2.32 \cdot 10^{-7} \cdot \rho \cdot v_d^2$$

Donde:

p es la presión de detonación en kbar

ρ es la densidad relativa del explosivo "specific gravity"

v_d es la velocidad de detonación en ft/s

Además, de esto, los frentes de onda, conforme se alejan del punto de detonación incrementan su superficie, y por lo tanto, se produce una reducción de la presión de los gases. Para frentes de onda sin confinamiento (hemisféricos), se puede utilizar la fórmula propuesta por Perkins incorporada en "Drilling and blasting for surface excavations" del USACE:

$$p = \frac{175}{\left(\frac{D}{W^{1/3}}\right)^{1.4}}$$

Donde:

- p es la presión de los gases (psi)
- D es la distancia al punto de la voladura (ft)
- W = es la carga relativa ANFO de explosivo (lb)

De acuerdo con las conclusiones del informe pericial, se ha supuesto que, en cada secuencia, se habrían detonado 10,85 kg de explosivo. Probablemente, en los barrenos de contorno, esta carga debería ser sensiblemente menor.

En la tabla siguiente, se han resumido algunas características generales, de distintos tipos de explosivos utilizados en excavaciones subterráneas:

Tipo de explosivo	Densidad (g/cm ³)	Velocidad de detonación (m/s)	RWS Potencia explosiva relativa en peso (%)	Calor de explosión (MJ/kg)	Volumen de gases (l/kg)	temperatura de explosión (°C)	resistencia al agua
Dinamita gelatinizada	1,5	4.000 - 6.000	135	4,1	600 - 800	3.000 – 4.000	buena
ANFO	0,8	3.000 - 4.000	100	3,9	900-1.000	2.000- 3.000	mala
Hidrogel	1,3	3.000-6.500	130	4,0	900	2.000- 3.000	buena
Explosivo de seguridad (*)	1,2	1.500-2.000	40	3,0	900-1.000	1.400 -2.000	mala

(*) En atmósferas con metano

En principio, en un barreno convencional, sería previsible una carga en fondo con un explosivo de alta densidad (por ejemplo dinamita gelatinizada), y una carga de columna con uno de menor densidad (por ejemplo ANFO). Del lado de la seguridad, se ha supuesto que el explosivo utilizado sería del tipo de las dinamitas gelatinizadas, con lo que sería esperable una potencia relativa en peso ANFO, del 135%.

En los túneles carreteros de autovía, la sección libre suele ser importante, por lo que los volúmenes de excavación en avance, conllevarían la necesidad de varias secuencias de detonación.

El consumo específico de explosivos, necesario para excavar túneles, se puede estimar a partir del criterio de Gustaffson (1973):

$$CE = \left(\frac{17}{S} + \frac{1,2}{\sqrt{S}} + 0,73 \right) \cdot \left(\frac{D}{40} \right)^{0,45}$$

Donde:

- CE es el consumo específico de explosivo (kg/m^3)
- S es la superficie del frente de excavación del túnel (m^2)
- D es el diámetro del barreno (mm)

Si se considera un frente de excavación de 60m^2 , un diámetro de perforación de 50mm , el consumo específico sería de $1,29\text{ kg}/\text{m}^3$. Si se suponen pases de $2,0\text{m}$ de longitud, se excavarían unos 120 m^3 por pase, lo que significaría 155 kg de explosivo.

Con premisa de $10,85\text{ kg}$ de carga instantánea, se habrían producido unas 14 secuencias de detonación en cada ciclo de trabajo.

9. ONDAS SÍSMICAS

En el caso de que se produjese una voladura, considerando un recubrimiento del túnel de varias decenas de metros, para los intervalos de iniciación habituales, sería esperable que los frentes de onda emitidos y reflejados, pudieran interactuar dentro del macizo rocoso. Estos fenómenos, a su vez, se verían afectados por los distintos contrastes de impedancias que pudieran darse dentro del terreno.

De acuerdo con lo publicado por I. Towhata en su libro *Geotechnical Earthquake Engineering* (2007), la proporción entre las amplitudes de las ondas reflejadas y refractadas, cuando se produce un cambio en las características del material, es función del contraste de impedancias acústicas. De esta manera, suponiendo que el espesor del material, es mayor o igual a un 25% de la longitud de onda, se puede estimar la energía reflejada en función del coeficiente de reflexión:

$$A_{ref} = A_{inc} \cdot R$$

Donde:

- A_{ref} es la amplitud de la onda reflejada
- A_{inc} es la amplitud de la incidente
- R es el coeficiente de reflexión

De una manera análoga, la amplitud de la onda refractada o transmitida, se puede estimar a partir de la siguiente ecuación:

$$A_{trans} = A_{inc} \cdot T$$

Donde:

- A_{trans} es la amplitud de la onda transmitida
- A_{inc} es la amplitud de la onda incidente

Llamando al terreno "capa 1" por ser el material desde el que se inicia la propagación de las ondas P, y "capa 2", al aire, se pueden estimar los coeficientes de reflexión y transmisión, suponiendo un ángulo de incidencia nulo y una interfase plana, a partir de la siguiente expresiones:

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

$$T = \frac{2 \cdot Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

Donde:

Z_i es la impedancia acústica del material i .

Siendo: $Z_i = \rho_i \cdot v_{pi}$

Como criterio general, se debe cumplir que R y T sumen la unidad, para que la suma de las amplitudes reflejadas y transmitidas, coincida con la amplitud de la onda incidente.

Los parámetros estimados para la determinación de las impedancias acústicas, han sido los siguientes:

Material	densidad ρ (kg/m ³)	velocidad de propagación de las ondas P v_p (m/s)	impedancia acústica Z (kg/m ² ·s)
Aire	1,20	340	408
Flysch	2.000	1.300	$2,6 \cdot 10^6$
Margas	2.400	2.000	$4,8 \cdot 10^6$

Como se deduce de los valores anteriores, el coeficiente de reflexión resultaría negativo en todos los casos en los que se propagase una onda sísmica desde el nivel de margas, hasta la superficie. Este hecho, indicaría que la reflexión se produce en oposición de fase respecto de la onda incidente.

Sentido de propagación	R	T
Flysch-Aire	-1,00	2,00
Marga-Flysch	-0,30	1,30

De acuerdo con las investigaciones de Shuey, publicadas en la revista Geophysics en 1985, cuando una onda elástica incide de forma oblicua en una interfase entre dos medios distintos, el coeficiente de reflexión que controla la amplitud de la onda reflejada, se encuentra muy condicionado por los coeficientes de Poisson y las velocidades de propagación de ambos medios. La expresión analítica que modeliza este fenómeno, es la siguiente:

$$R(\theta) = R + \left(A_{inc} \cdot R + \frac{v_2 - v_1}{\left(1 - \frac{v_1 + v_2}{2}\right)^2} \right) \cdot \text{sen}^2 \theta + \frac{v_{P2} - v_{P1}}{v_{P1} + v_{P2}} \cdot (\text{tg}^2 \theta - \text{sen}^2 \theta)$$

Con esta expresión, para ángulos de incidencia comprendidos entre 0 y 45° se obtienen resultados prácticamente exactos a los propuestos por las ecuaciones de Zoeppritz. Sin embargo, con ángulos de incidencia mayores, dependiendo de si la velocidad de propagación crece en la dirección del movimiento, o no, los errores pueden experimentar un incremento muy importante de forma súbita, o mantenerse en el entorno del 15%.

Si se supone $\theta=30^\circ$, $v_1=v_2$, entonces, si la frecuencia de vibración en las margas es de 35 Hz, la velocidad de oscilación podría estar en 500mm/s, lo que indicaría una amplitud de la onda incidente de 2,3mm.

En consecuencia, se obtendrían los siguientes coeficientes de reflexión, y de transmisión:

Sentido de propagación	R	T
Flysch-Aire	-1,00	2,00
Marga-Flysch	-0,32	1,32

10. LEY DE PROPAGACIÓN ESTIMADA

En general, para determinar la ley de propagación de las velocidades de partícula, se parte de formulaciones empíricas, con una serie de parámetros por determinar. De este modo, realizando ensayos en campo con distintas cargas, y registrando los movimientos del terreno, se pueden ajustar estas formulaciones a las características reales del terreno. No se ha tenido acceso a ningún estudio de este tipo, por lo que se va a plantear una ley de propagación aproximada.

En el "Manual de voladuras en túneles", se propone el método de la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología (NTNU), para estimar la velocidad de la partícula en función de la carga instantánea detonada, y de la distancia al punto de detonación:

$$v = 500 \cdot c \cdot \frac{Q^\alpha}{DS^\beta}$$

Donde:

- v es la velocidad de la partícula (mm/s)
- c es un parámetro que depende de las características del macizo rocoso
- Q es la carga de explosivo detonada en cada microrretardo (kg)
- DS es la distancia al punto de detonación (m)
- α depende de las características del explosivo

- β es una constante de amortiguación que tiene en cuenta la geometría, la fracturación y la absorción del terreno

Para roca muy esquistosa, fracturada, y dura, el valor medio de c , es respectivamente de 0,75, 1,00 y 1,20.

Para voladuras convencionales con explosivos encartuchados y ANFO, α vale 0,8, en cambio para voladuras en banco con grandes barrenos y explosivos tipo hidrogel, α vale 0,5

Para voladuras convencionales, y un intervalo de distancias comprendido entre 0 y 140m, β tendría un valor medio aproximado de $\beta = 1,37 + 0,0019 \cdot DS$

En cambio, para voladuras en banco, con grandes diámetros y explosivos tipo hidrogel, en un intervalo de distancias comprendido entre 0 y 140m, β tendría un valor medio aproximado de $\beta = 0,0096 \cdot DS$

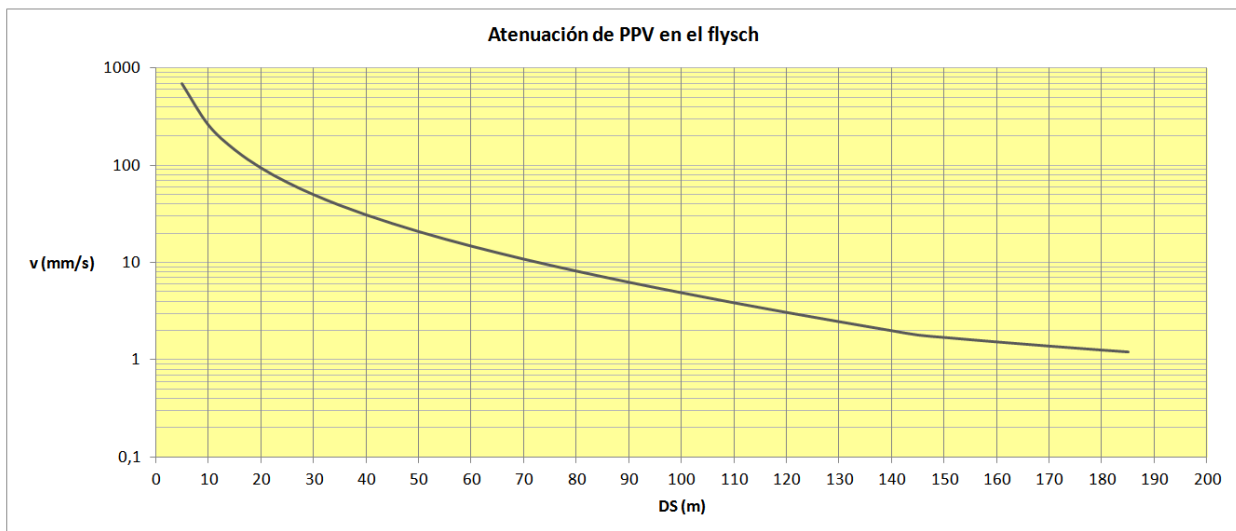
A partir de 140m de distancia, el coeficiente de amortiguación parece que se mantiene más o menos constante.

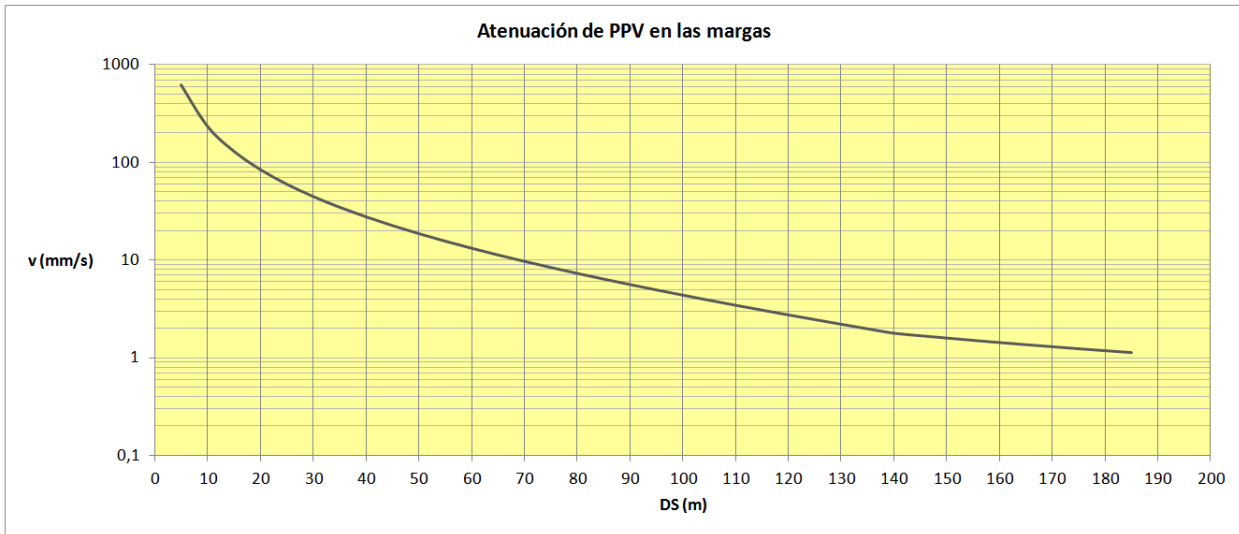
En la tabla siguiente, se han resumido los parámetros utilizados en la determinación de la atenuación de la velocidad:

Capa	c	Q (kg)	α	β (de 0 a 140m)
Flysch (*)	1,00	14,65	0,8	$1,37+0,0019 \cdot DS$
Margas	1,35	14,65	0,8	$1,37+0,0019 \cdot DS$

(*) Los valores de la velocidad de la partícula se han multiplicado por el coeficiente de transmisión de ondas, obtenido en el apartado Cargas explosivas y ondas sísmicas.

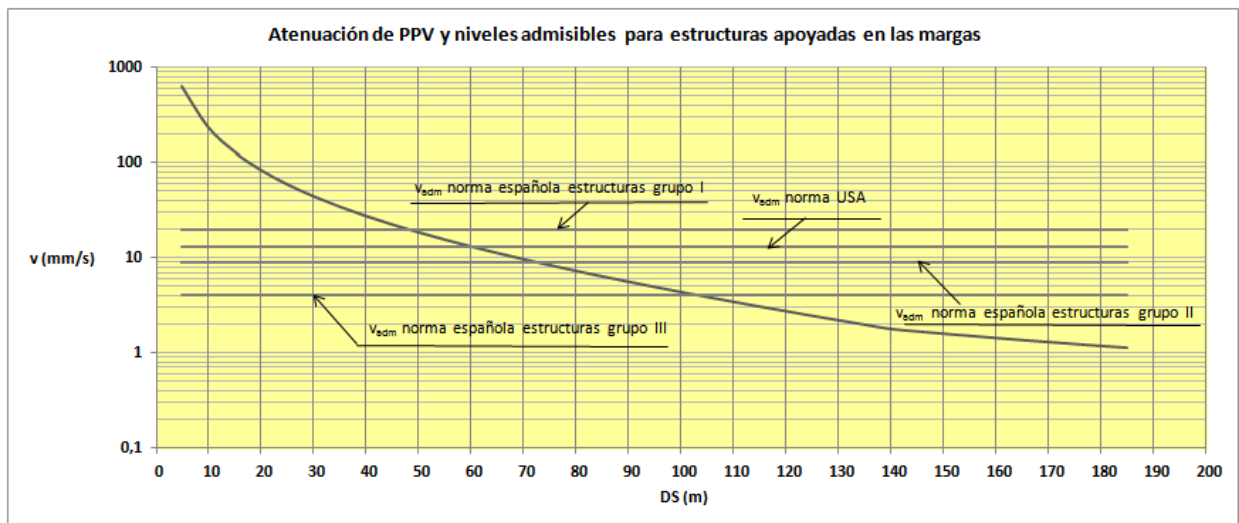
Los resultados de las estimaciones, se han representado en las figuras siguientes:

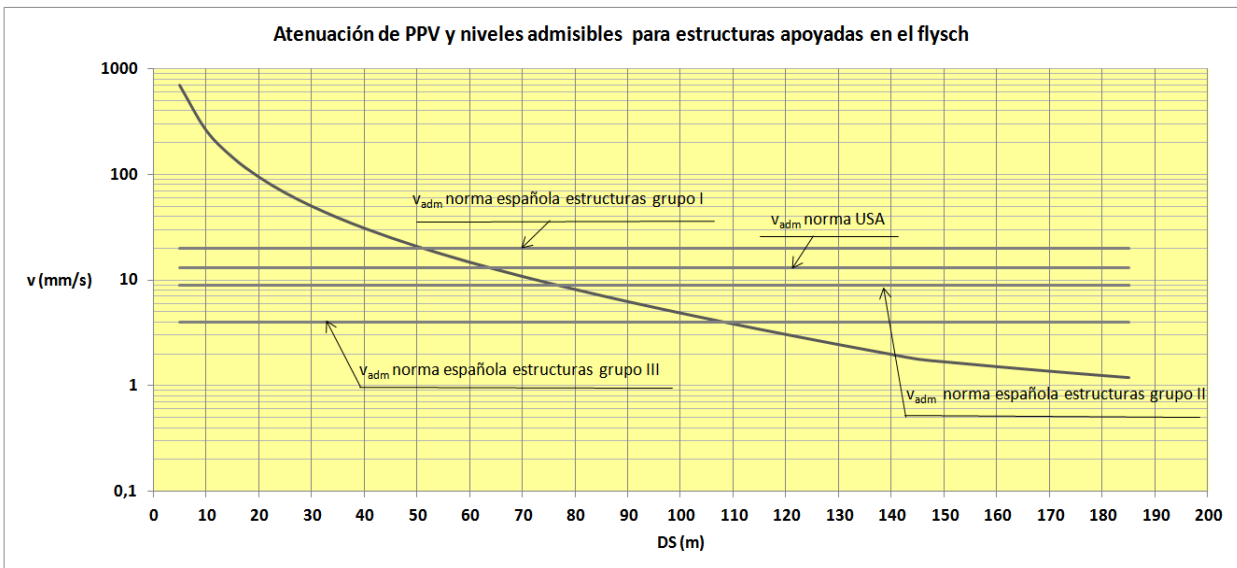
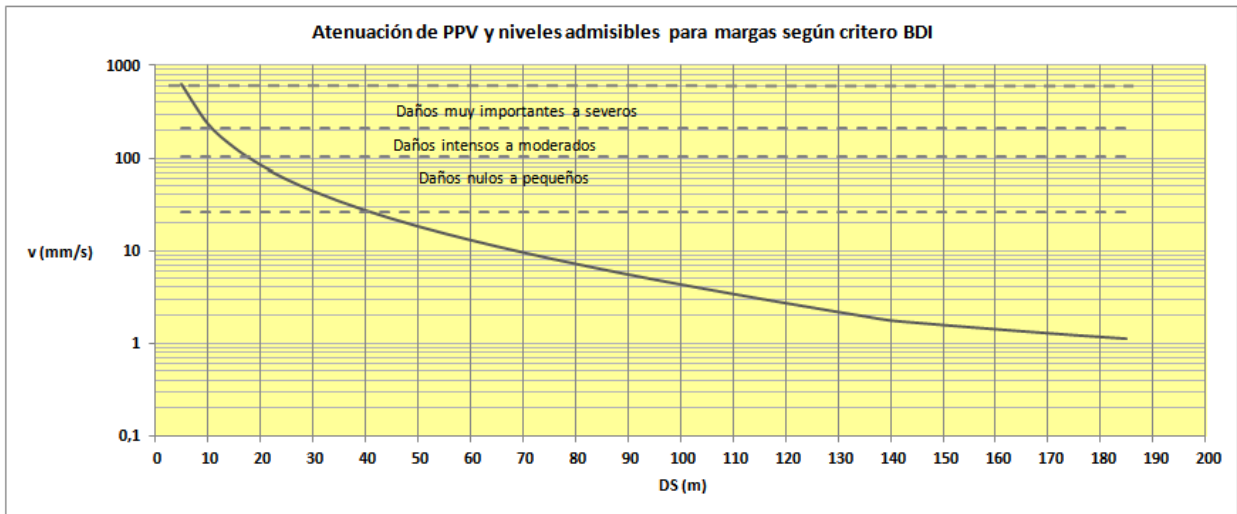


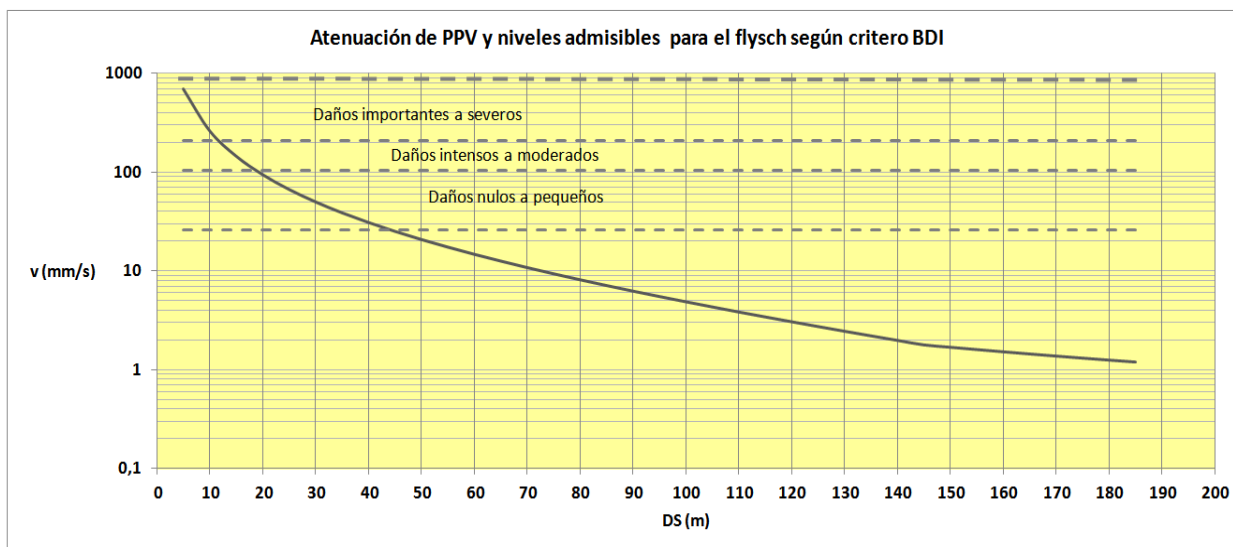


11. ZONAS DE DAÑO ESPERABLES

En los gráficos siguientes, se han representado los distintos niveles de velocidades admisibles, según se trate de estimar daños en estructuras, o en el propio macizo rocoso.







12. COMENTARIOS

Las estimaciones que se han realizado, incluyen varias suposiciones y simplificaciones, tales como la homogeneidad del terreno, las carga instantáneas, no considerar posibles fenómenos de interferencia entre los frentes de onda emitidos y reflejados, etc. Por este motivo, y dado que tampoco se tienen datos detallados de los planes de tiro, las propiedades geomecánicas y geotécnicas, los resultados expuestos se deberían considerar como orientativos.

Según se deduce de los gráficos de atenuación de las velocidades de vibración y de los criterios de daño, sería probable que la fisuración del macizo rocoso pudiera haberse incrementado alrededor de los túneles como consecuencia de las voladuras. Esta zona podría tener un espesor de unos 30 metros aproximadamente.

Para avanzar en el estudio de las posibles afecciones de las voladuras al terreno, sería deseable conocer algunos aspectos, tales como:

- Ley de amortiguación
- Medida de vibraciones y onda aérea
- Cargas aplicadas en cada microrretardo, y la potencia ANFO equivalente
- Tabla resumen de los registros de las voladuras
- Proyecto de voladuras para la construcción del Túnel de Valmayor de la Autovía del Pirineo. Tramo 5

Con las hipótesis adoptadas, las reflexiones de onda se encontrarían en oposición de fase respecto a las ondas incidentes, lo que en principio, reduciría los fenómenos de interferencias constructivas. Sin embargo, en el interior de la formación del flysch, debido a la disposición de las capas, se podrían producir contrastes de impedancia diferentes a los supuestos, de manera que en principio, no se pueden descartar fenómenos de amplificación.

6.6. APÉNDICE 6 ANÁLISIS PRELIMINAR SOBRE EL DRENAJE INDUCIDO POR LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TÚNELES DE LA A-21

■ **ÍNDICE**

1. INTRODUCCIÓN	5
2. DESCRIPCIÓN DEL PERFIL GEOLÓGICO	5
3. CÁLCULOS REALIZADOS	6
3.1. SOFTWARE UTILIZADO	6
3.2. PARÁMETROS DEL TERRENO Y CONDICIONES DE CONTORNO	6
3.3. CASOS ESTUDIADOS	7
4. RESULTADOS OBTENIDOS	7

■ ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Caudales m ³ /s/m	16
Tabla 2. Caudales l/s considerando un ancho de 1 km	16

■ ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta con la situación relativa de los túneles de la A-21 (Fuente: Google Maps 2013)	5
Figura 2. Perfil geológico con la situación relativa de los túneles de la A-21	6
Figura 3. Modelo 1. Nivel Freático 1 (NF entre la cota 480 y la 650).....	8
Figura 4. Modelo 1. Nivel Freático 1 (NF entre la cota 480 y la 650). Flujo del agua	8
Figura 5. Modelo 1. Nivel Freático 1 (NF entre la cota 480 y la 650). Carga total (altura total).....	9
Figura 6. Modelo 1. Nivel Freático 1 (NF entre la cota 480 y la 650). Presión de agua intersticial	9
Figura 7. Modelo 2. Nivel Freático 2 (NF entre la cota 490 y la 625).....	10
Figura 8. Modelo 2. Nivel Freático 2 (NF entre la cota 490 y la 625). Flujo del agua	10
Figura 9. Modelo 2. Nivel Freático 2 (NF entre la cota 490 y la 625). Carga total (altura total).....	11
Figura 10. Modelo 2. Nivel Freático 2 (NF entre la cota 490 y la 625). Presión de agua intersticial	11
Figura 11. Modelo 3. Nivel Freático 3 (NF superficial).....	12
Figura 12. Modelo 3. Nivel Freático 3 (NF superficial). Flujo del agua	12
Figura 13. Modelo 3. Nivel Freático 3 (NF superficial). Carga total (altura total).....	13
Figura 14. Modelo 3. Nivel Freático 3 (NF superficial). Presión de agua intersticial	13
Figura 15. Modelo 4. Coeficiente de permeabilidad constante (k=1e-007 m/s), NF entre la cota 480 y la 650	14
Figura 16. Modelo 4. Coeficiente de permeabilidad constante (k=1e-007 m/s), NF entre la cota 480 y la 650.	14
Figura 17. Modelo 4. Coeficiente de permeabilidad constante (k=1e-007 m/s), NF entre la cota 480 y la 650.	15
Figura 18. Modelo 4. Coeficiente de permeabilidad constante (k=1e-007 m/s), NF entre la cota 480 y la 650.	15

1. INTRODUCCIÓN

Entre mayo de 2010 y marzo de 2011 tuvo lugar la construcción de los túneles de la autopista A-21. La siguiente imagen muestra la ubicación en planta de estos túneles:



Figura 1. Planta con la situación relativa de los túneles de la A-21 (Fuente: Google Maps 2013)

Se ha realizado un análisis de filtraciones para estudiar los posibles efectos que estos túneles han podido tener en el entorno de la presa de Yesa. En este documento se incluye la información utilizada en el análisis y los resultados obtenidos.

2. DESCRIPCIÓN DEL PERFIL GEOLÓGICO

El perfil geológico de la margen derecha de la presa de Yesa está constituido por Margas de Pamplona sobre las que se apoya la unidad tipo Flysh, con un espesor que varía entre los 40 y los 110 m.

La siguiente imagen muestra el perfil geológico con la situación relativa de los túneles de la A-21.

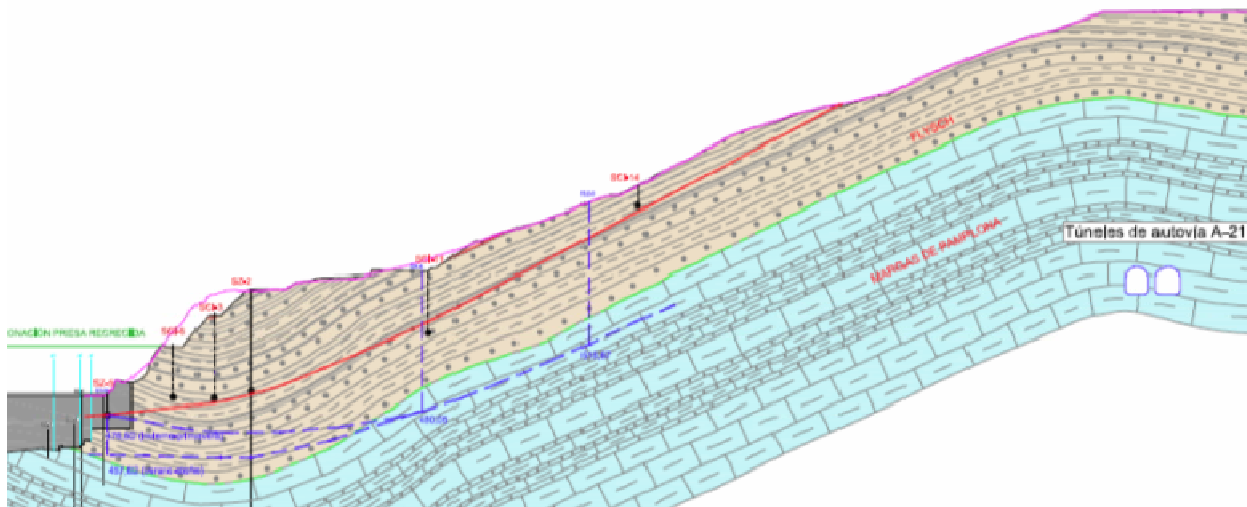


Figura 2. Perfil geológico con la situación relativa de los túneles de la A-21

3. CÁLCULOS REALIZADOS

3.1. SOFTWARE UTILIZADO

Para el estudio de las filtraciones en el entorno de la presa de Yesa se ha empleado el programa SEEP/W.

Este programa permite analizar problemas geotécnicos en los que intervengan filtraciones y disipaciones de presiones intersticiales (consolidaciones) tanto de forma estacionaria como dependiente del tiempo.

Ha sido desarrollado por Geo-Slope International, para el cálculo de problemas de filtración en suelos y sistemas fracturados (excavaciones bajo el nivel freático: túneles, cut-and-cover, cavernas, galerías, pozos, etc.) mediante la resolución de la ecuación de Darcy por el método de los elementos finitos.

El programa permite estudiar filtraciones en medios (suelos, macizos fracturados) con permeabilidad anisótropa o con permeabilidad dependiente de la presión, por lo que puede estudiar suelos saturados o no saturados. También permite contemplar la posibilidad de almacenamiento variable de agua dentro de los intersticios del suelo. Incluye todo tipo de condiciones de contorno: en carga, presión, caudal; o variarlas en función del valor de la presión. También permite condiciones de contorno dependientes del tiempo con lo que puede estudiar fenómenos transitorios. La resolución de procesos transitorios puede ser detenida en cualquier instante de tiempo para incluir cambios bruscos en las condiciones de contorno, lo que permite la resolución de problemas de gran complejidad. Otra posibilidad del programa es resolver problemas de consolidación obteniendo la evolución de las presiones intersticiales en el tiempo.

Para el caso en estudio, se han utilizado diferentes condiciones de contorno no dependientes del tiempo.

3.2. PARÁMETROS DEL TERRENO Y CONDICIONES DE CONTORNO

La siguiente tabla muestra el valor de permeabilidad (permeabilidad de saturación) definido en cada uno de los materiales incluidos en el modelo:

Material	K (m/s)
Flysh	1e-005
Margas de Pamplona	1e-007
Presa (hormigón)	1e009-

Al tratarse de modelos que no varían con el tiempo, el parámetro que tiene más importancia en el cálculo es el valor de la permeabilidad de saturación.

Con respecto a las condiciones de contorno, en el perímetro de los túneles se ha impuesto una condición de presión=0 y en el resto de modelo se han tanteado distintas configuraciones del nivel freático.

3.3. CASOS ESTUDIADOS

Se indica a continuación una lista de los casos estudiados:

- Modelo 1. Nivel freático 1 (NF entre la cota 480 y la 650)
- Modelo 2. Nivel freático 2 (NF entre la cota 490 y la 625)
- Modelo 3. Nivel freático 3 (NF superficial)
- Modelo 4. Coeficiente de permeabilidad constante ($k=1e-007$ m/s) y NF entre la cota 480 y la 650

4. RESULTADOS OBTENIDOS

En este apartado se incluyen los modelos utilizados en SEEP/W, las salidas gráficas del programa y los valores de caudales obtenidos, expresados en m³/s/m y en l/s considerando un ancho de 1 km.

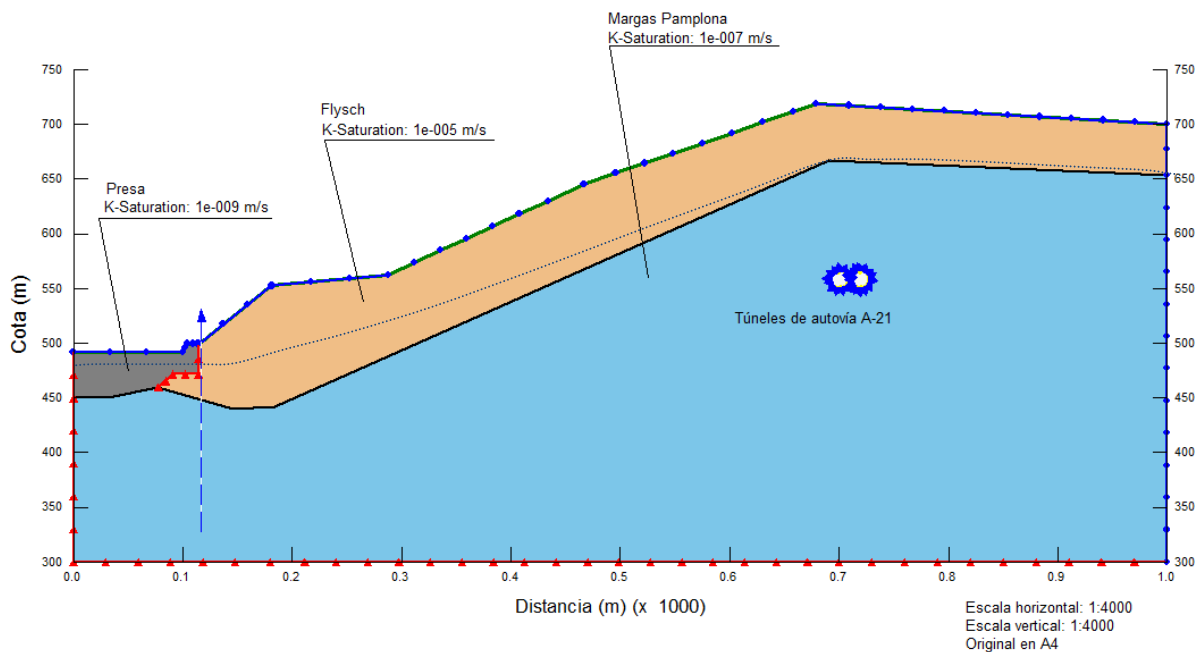


Figura 3. Modelo 1. Nivel Freático 1 (NF entre la cota 480 y la 650)

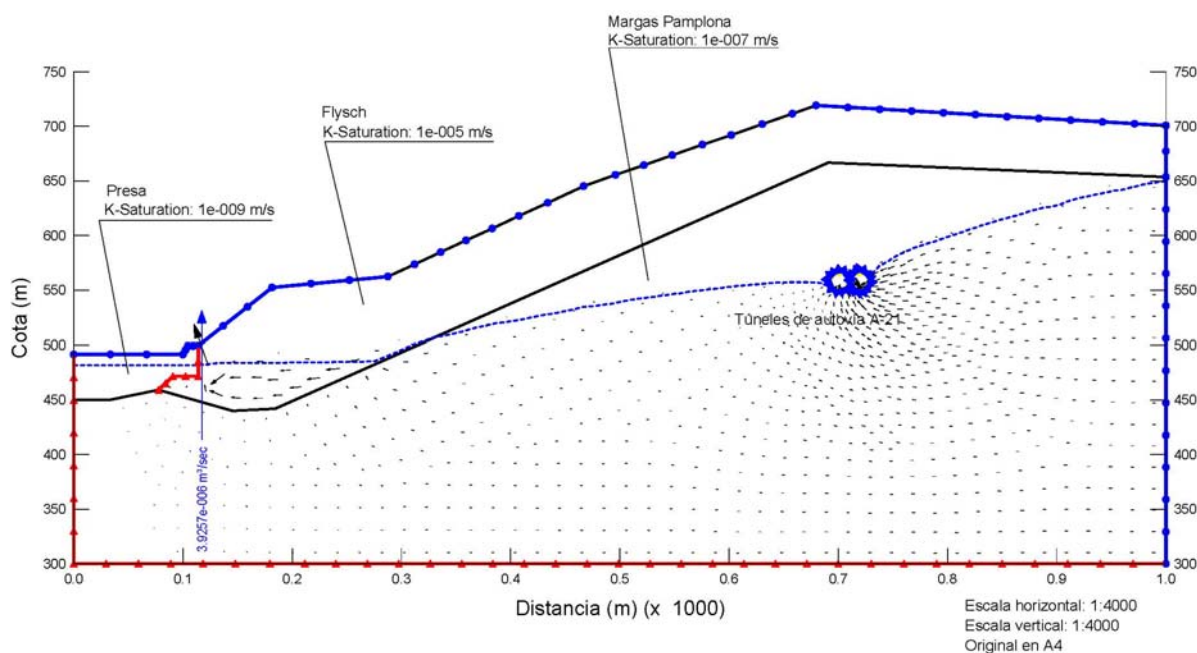


Figura 4. Modelo 1. Nivel Freático 1 (NF entre la cota 480 y la 650). Flujo del agua

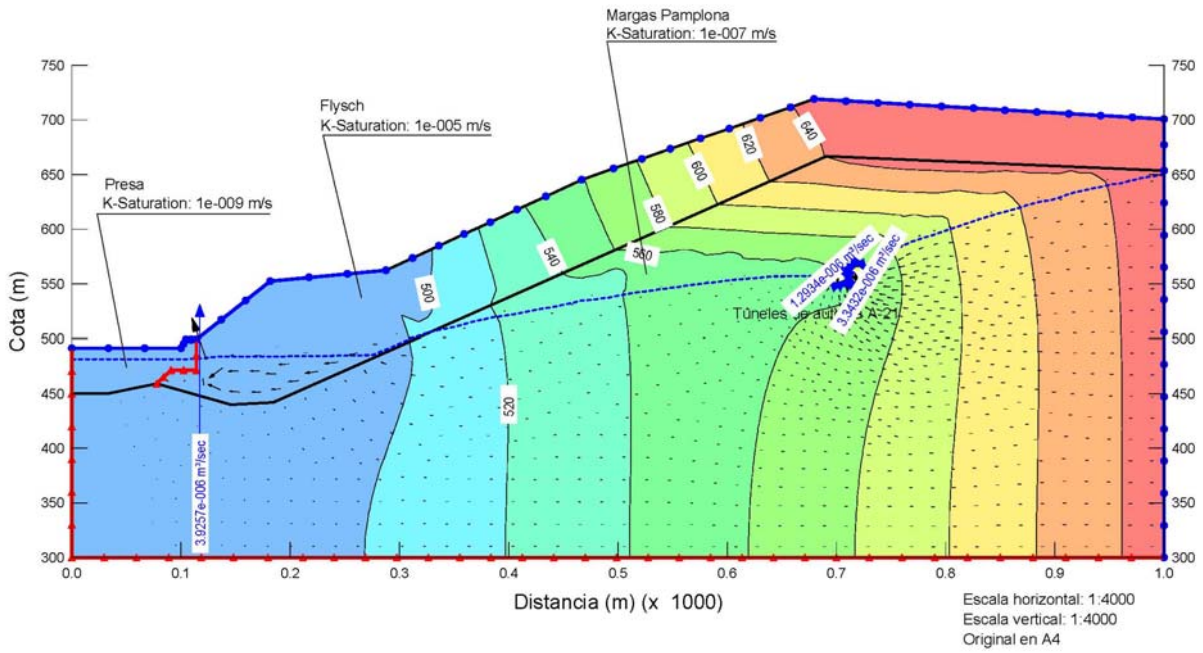


Figura 5. Modelo 1. Nivel Freático 1 (NF entre la cota 480 y la 650). Carga total (altura total)

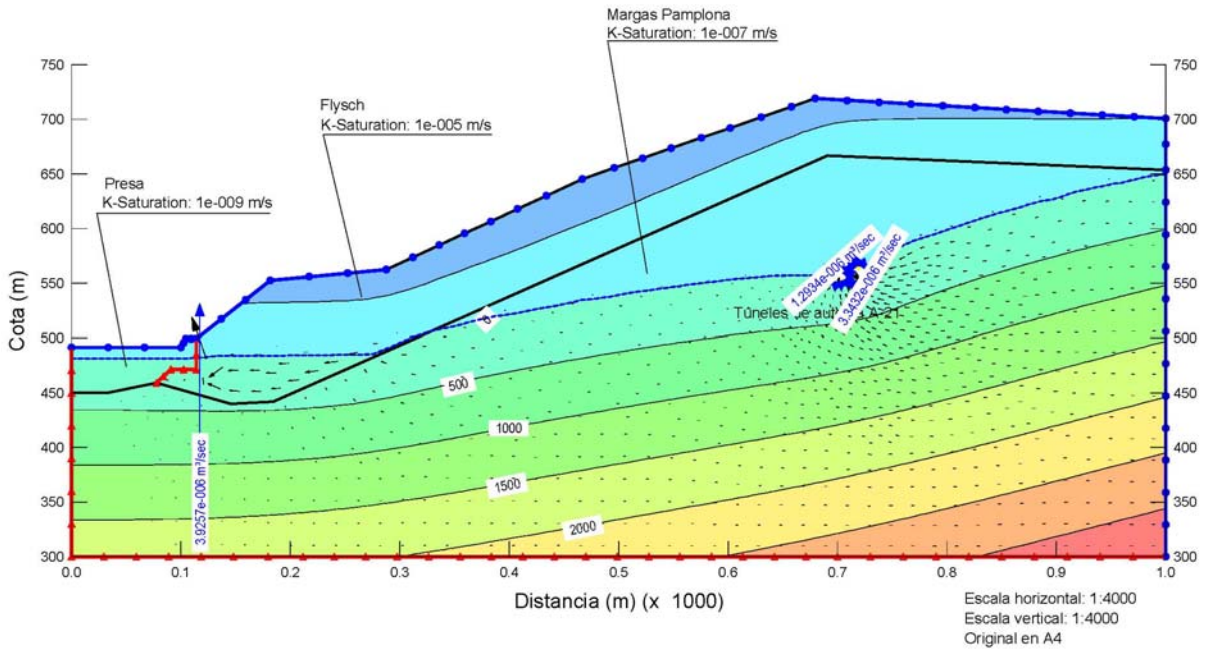


Figura 6. Modelo 1. Nivel Freático 1 (NF entre la cota 480 y la 650). Presión de agua intersticial

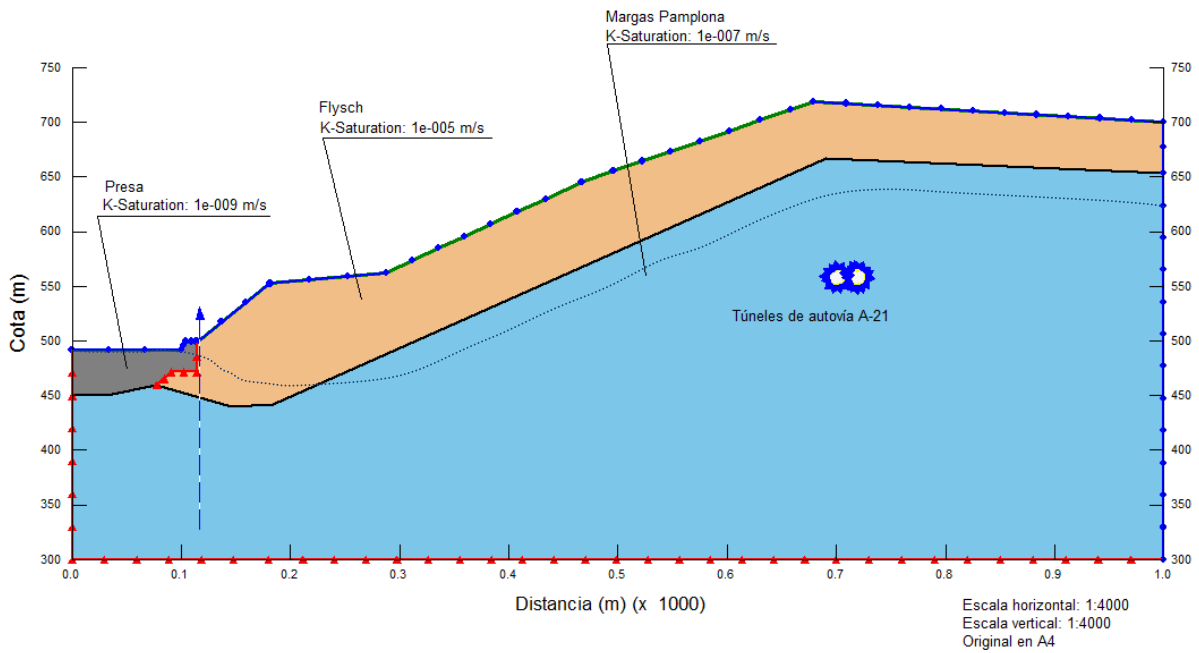


Figura 7. Modelo 2. Nivel Freático 2 (NF entre la cota 490 y la 625)

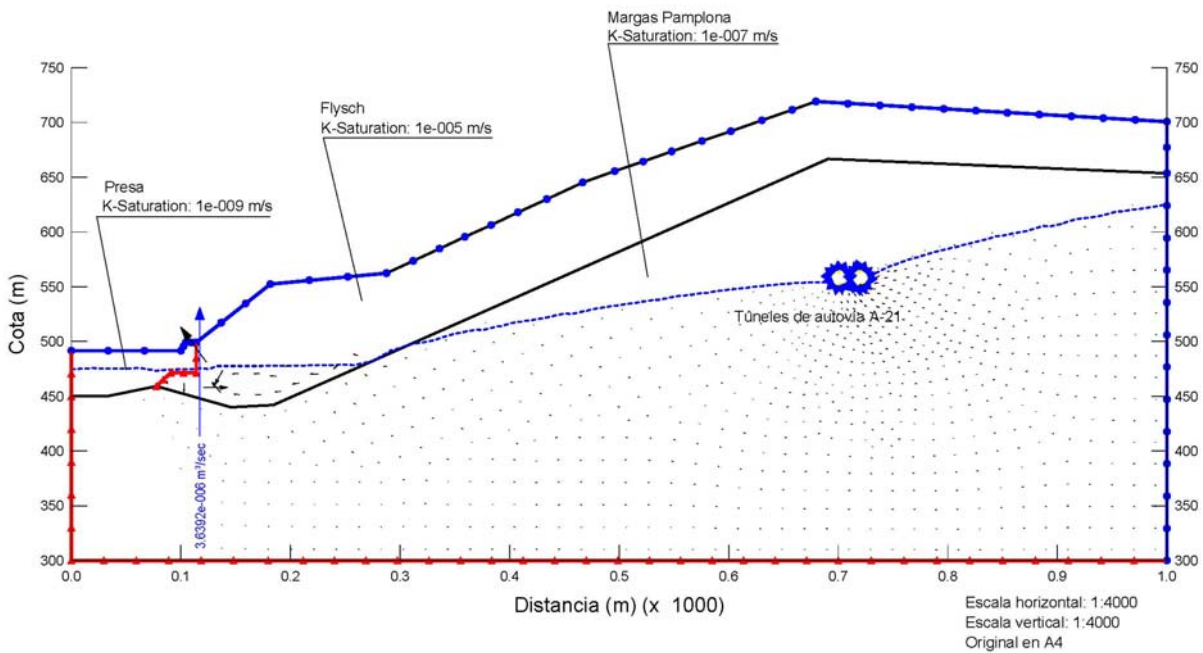


Figura 8. Modelo 2. Nivel Freático 2 (NF entre la cota 490 y la 625). Flujo del agua

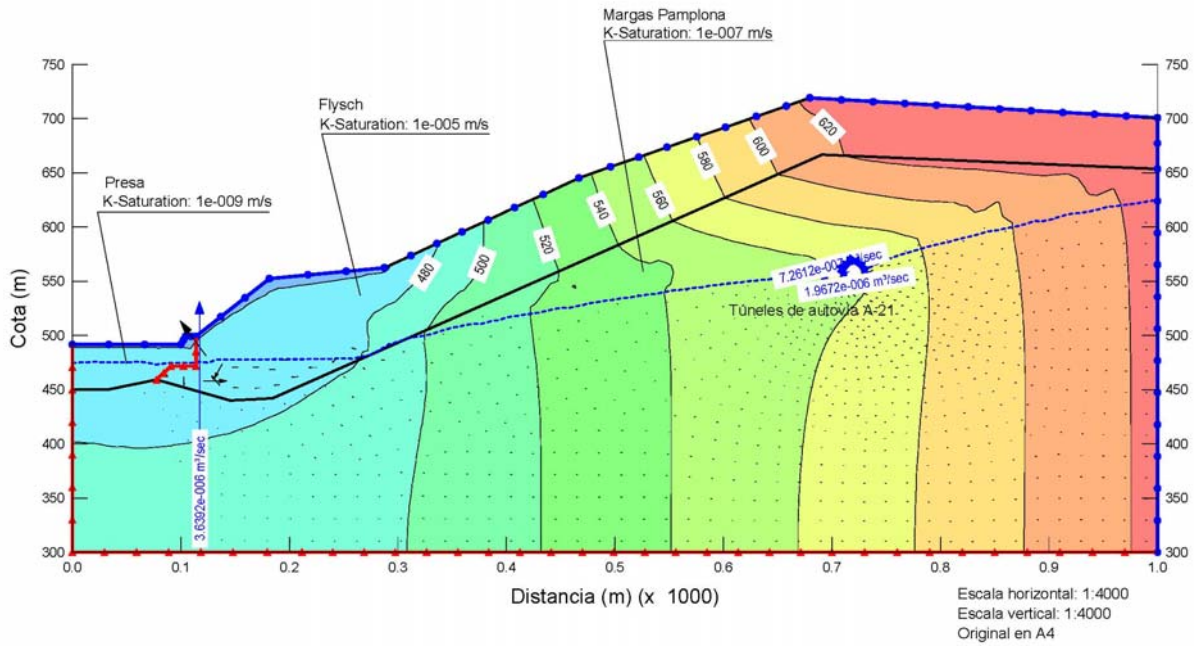


Figura 9. Modelo 2. Nivel Freático 2 (NF entre la cota 490 y la 625). Carga total (altura total)

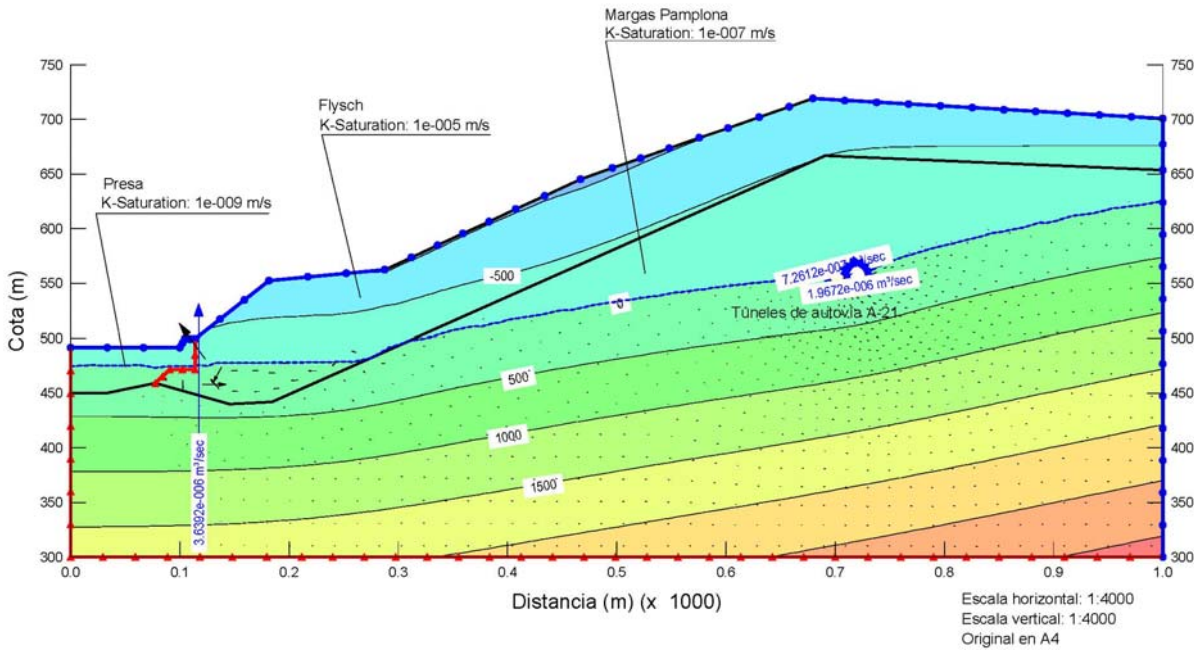


Figura 10. Modelo 2. Nivel Freático 2 (NF entre la cota 490 y la 625). Presión de agua intersticial

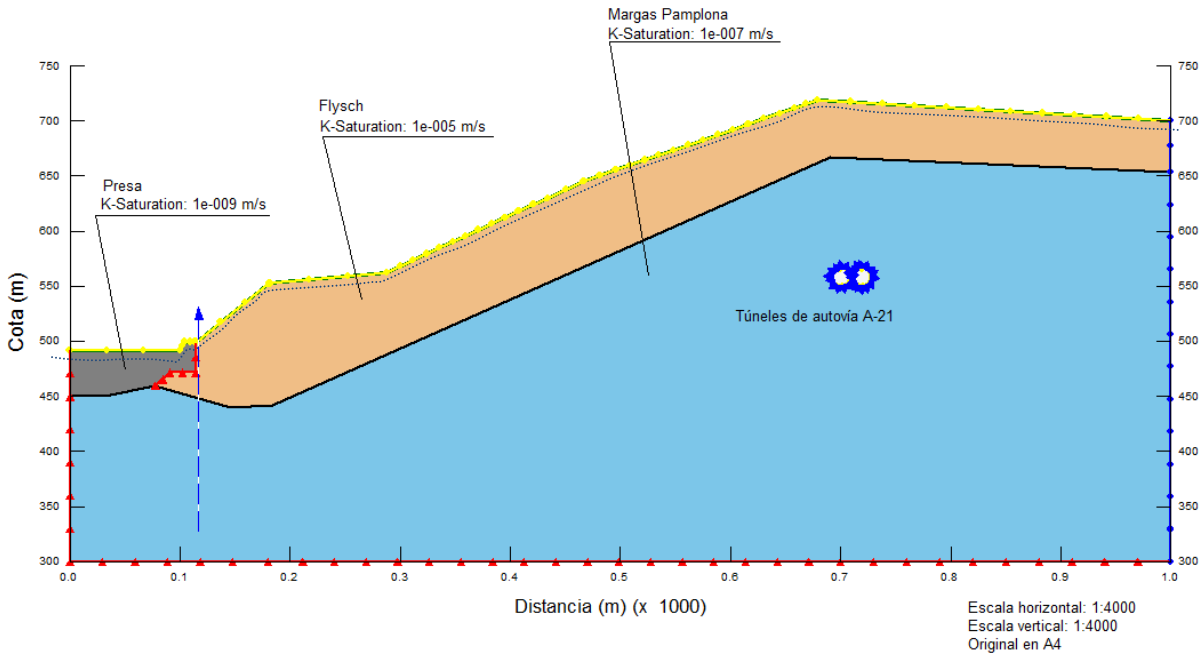


Figura 11. Modelo 3. Nivel Freático 3 (NF superficial)

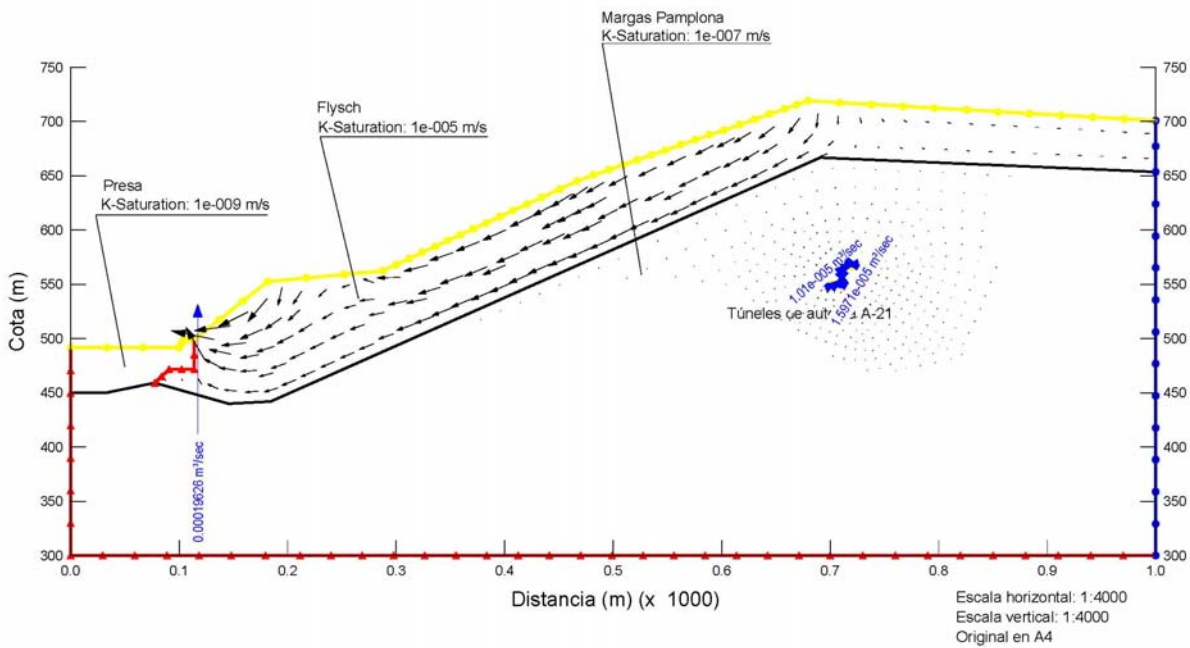


Figura 12. Modelo 3. Nivel Freático 3 (NF superficial). Flujo del agua

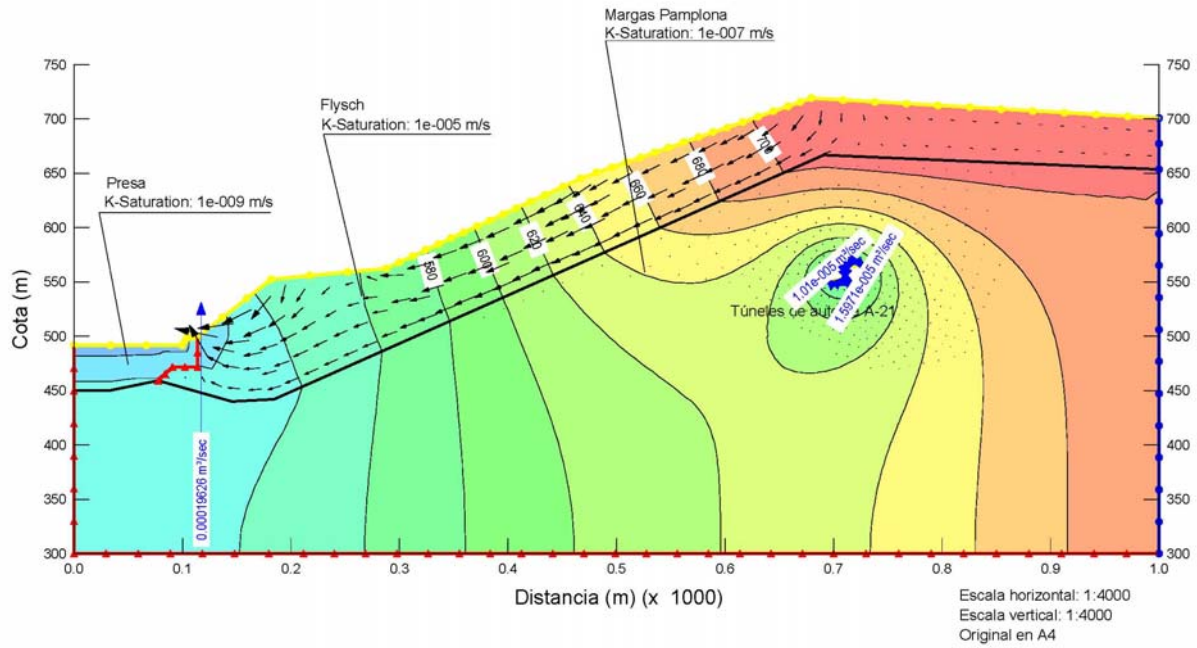


Figura 13. Modelo 3. Nivel Freático 3 (NF superficial). Carga total (altura total)

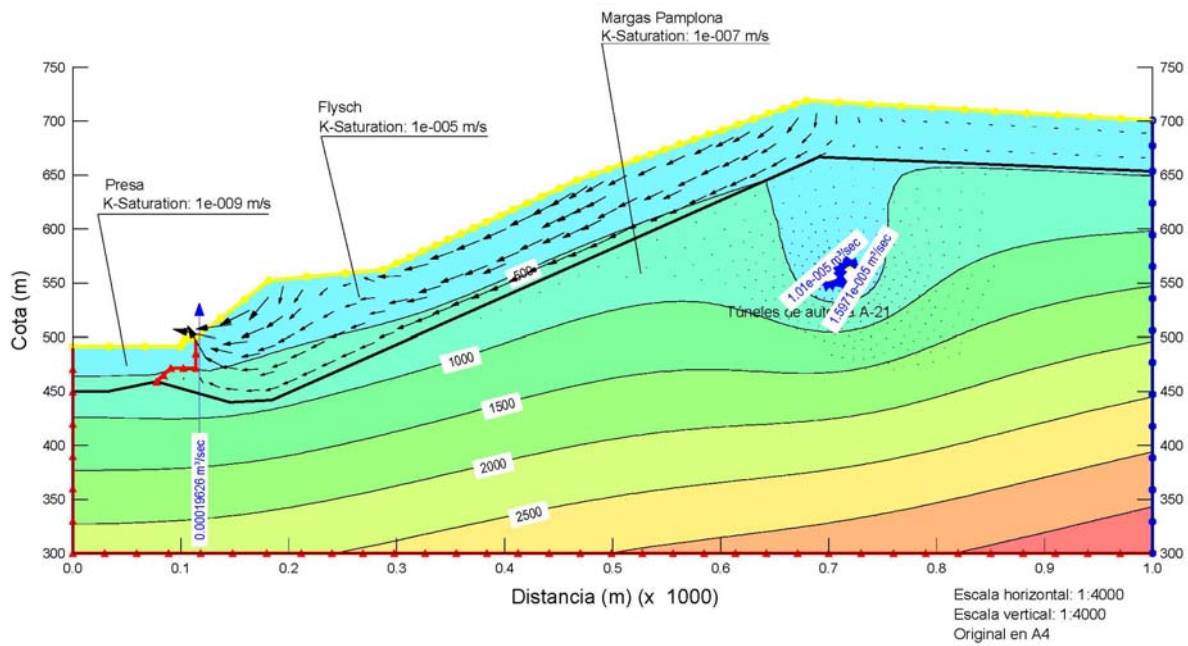


Figura 14. Modelo 3. Nivel Freático 3 (NF superficial). Presión de agua intersticial

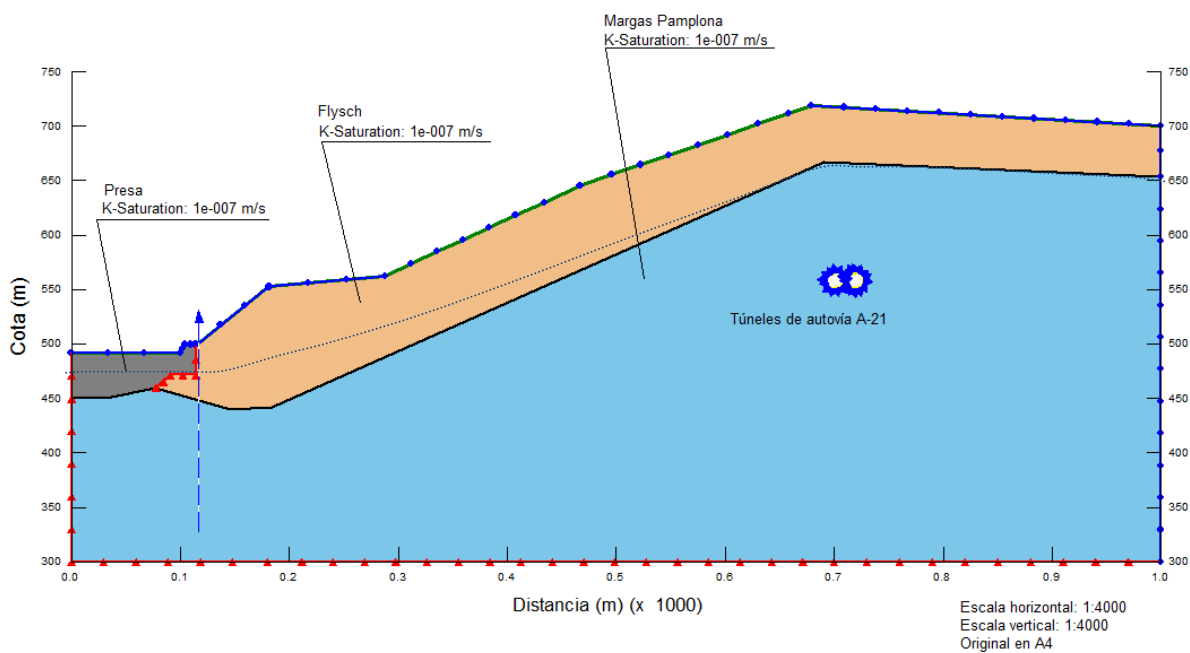


Figura 15. Modelo 4. Coeficiente de permeabilidad constante ($k=1e-007$ m/s), NF entre la cota 480 y la 650

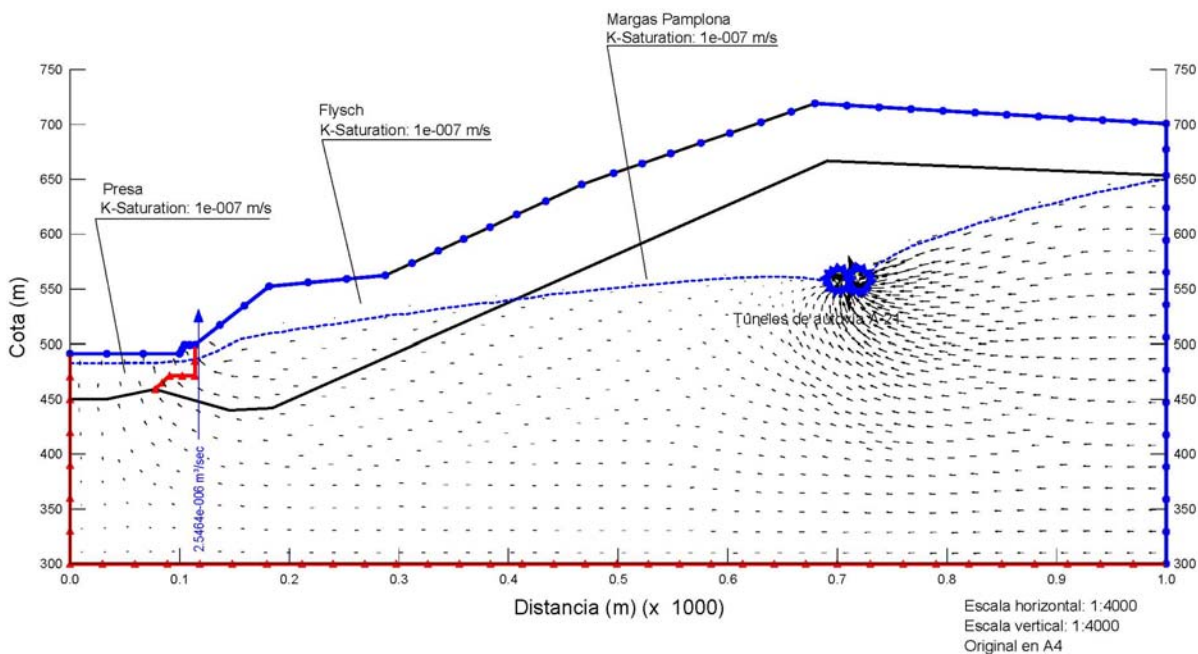


Figura 16. Modelo 4. Coeficiente de permeabilidad constante ($k=1e-007$ m/s), NF entre la cota 480 y la 650. Flujo del agua

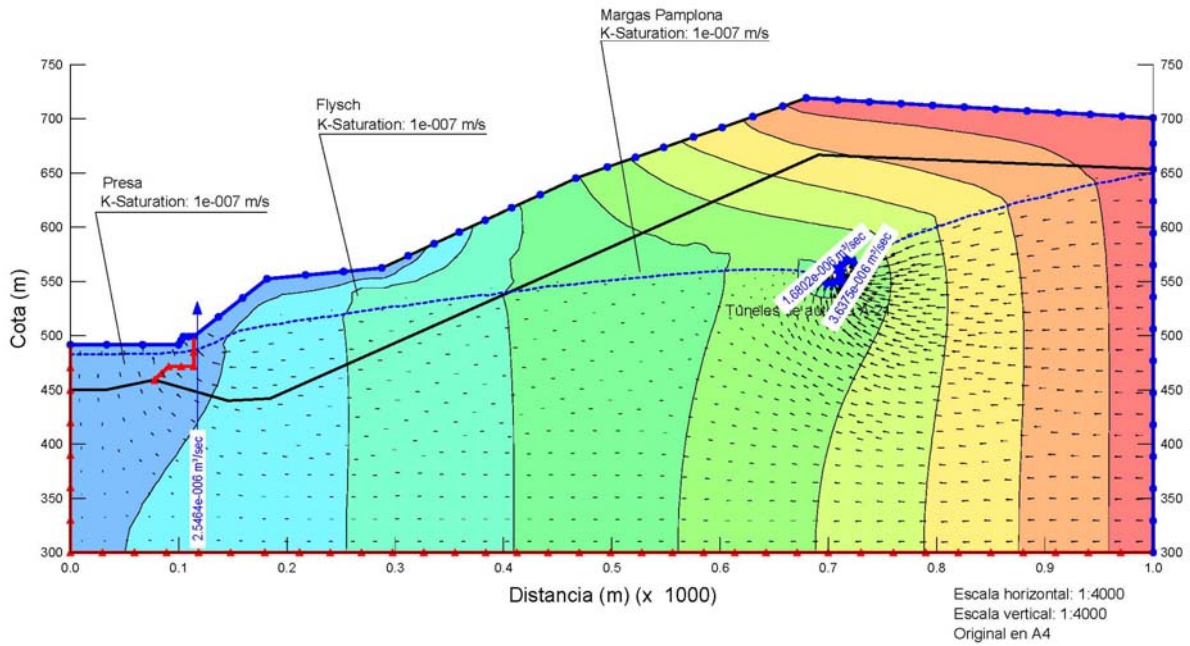


Figura 17. Modelo 4. Coeficiente de permeabilidad constante ($k=1e-007$ m/s), NF entre la cota 480 y la 650.
Carga total (altura total)

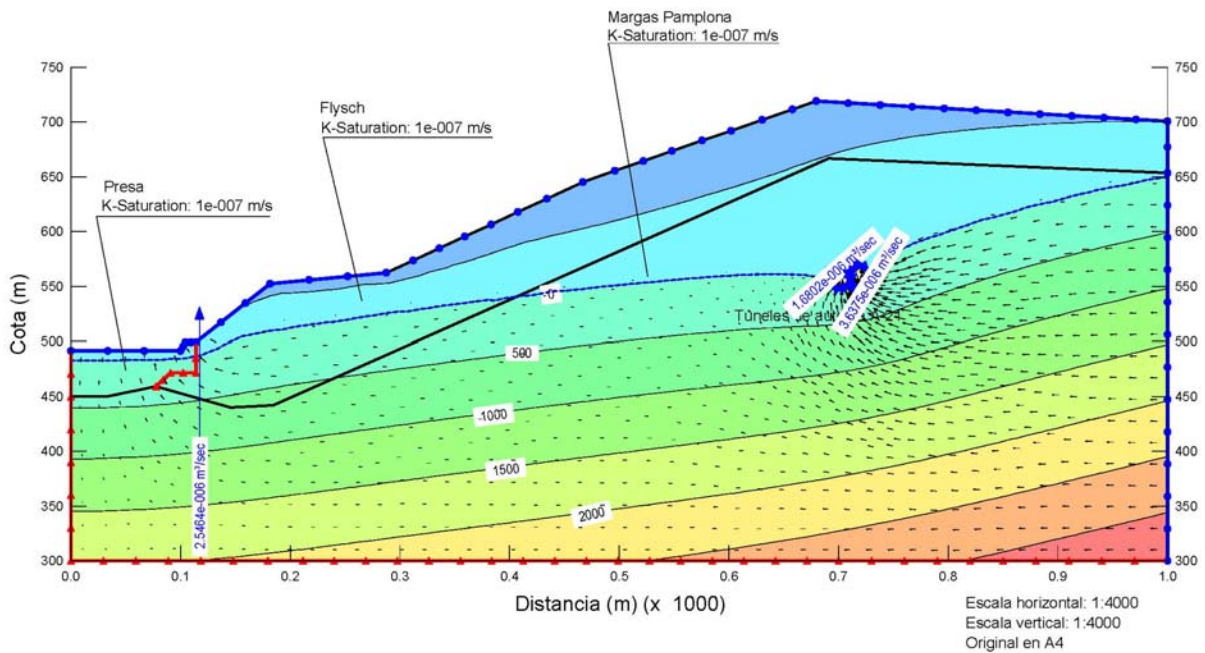


Figura 18. Modelo 4. Coeficiente de permeabilidad constante ($k=1e-007$ m/s), NF entre la cota 480 y la 650.
Presión de agua intersticial

Modelo	Paramento Presa	Túnel izquierdo	Túnel Derecho
1 NF entre la cota 480 y la 650	3,90E-06	1,30E-06	3,30E-06
2 NF entre la cota 490 y la 625	3,60E-06	7,30E-07	2,00E-06
3 NF superficial	1,96E-04	1,01E-05	1,60E-05
4 $k=1e-007$ m/s y NF entre la cota 480 y la 650	2,50E-06	1,70E-06	3,60E-06

Tabla 1. Caudales $m^3/s/m$

Modelo	Paramento Presa	Túnel izquierdo	Túnel Derecho
1 NF entre la cota 480 y la 650	3,90	1,30	3,30
2 NF entre la cota 490 y la 625	3,60	0,73	2,00
3 NF superficial	196,00	10,10	15,97
4 $k=1e-007$ m/s y NF entre la cota 480 y la 650	2,50	1,70	3,60

Tabla 2. Caudales l/s considerando un ancho de 1 km



■ HOJA DE CONTROL DE CALIDAD

DOCUMENTO	Índice preliminar para el Informe y preasignación de tareas				
PROYECTO	GE1219 INFORME LADERA YESA				
CÓDIGO	GE1219-FILTRACIONES_TunelDrenante-SEEP-Ed02.docx				
AUTOR	FIRMA	ALM			
	FECHA	26/03/2013			
VERIFICADO	FIRMA	PRR			
	FECHA	27/05/13			
DESTINATARIO	Grupo Tysa				
NOTAS					

■ ÍNDICE

1. TÚNEL DRENANTE	5
-------------------------	---

■ ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo con túnel drenante. Nivel Freático superficial	5
Figura 2. Modelo con túnel drenante. Nivel Freático superficial. Flujo del agua.....	6
Figura 3. Modelo con túnel drenante. Nivel Freático superficial. Carga total (altura total)	6
Figura 4. Modelo con túnel drenante. Nivel Freático superficial. Presión de agua intersticial.....	7
Figura 5. Modelo transversal con túnel drenante. Nivel Freático superficial.....	7
Figura 6. Modelo transversal con túnel drenante. Nivel Freático superficial. Flujo del agua.....	8
Figura 7. Modelo transversal con túnel drenante. Nivel Freático superficial. Carga total (altura total)	8
Figura 8. Modelo transversal con túnel drenante. Nivel Freático superficial. Presión de agua intersticial.....	9

1. TÚNEL DRENANTE

Se presenta a continuación un modelo de SEEP/W en el que se incluye un túnel drenante en la unidad tipo Flysch. Este modelo se presenta modelizando toda la ladera y también en un corte por la sección de dicho túnel.

Las siguientes figuras muestran los modelos y las salidas gráficas de SEEP/W.

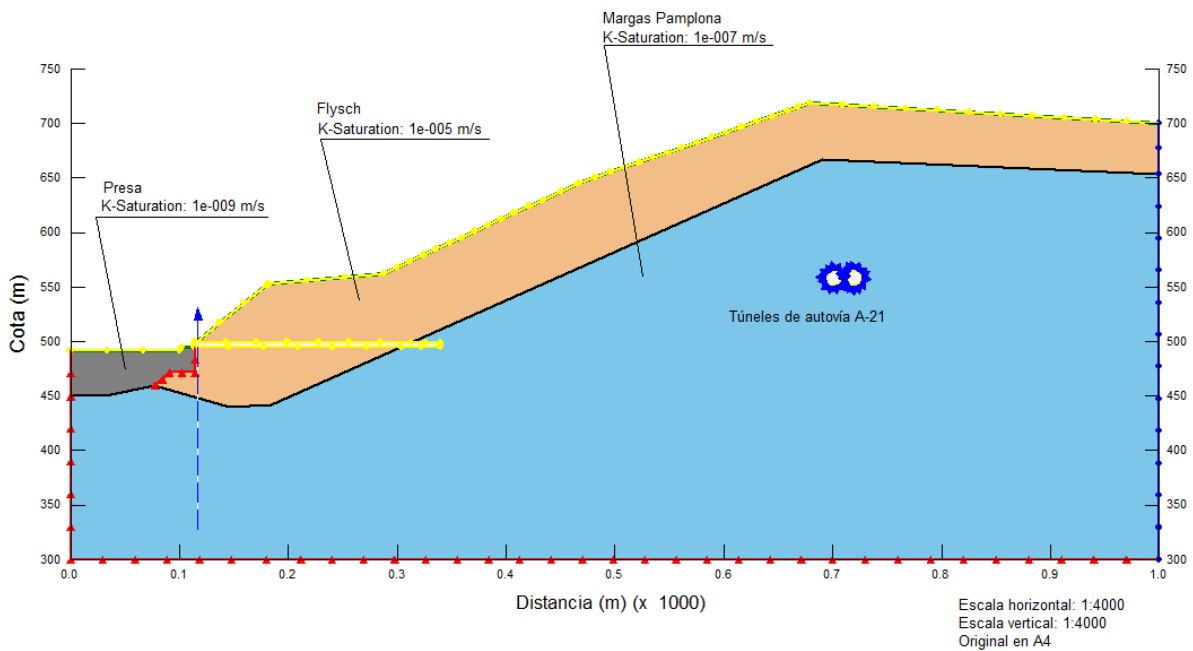


Figura 1. Modelo con túnel drenante. Nivel Freático superficial

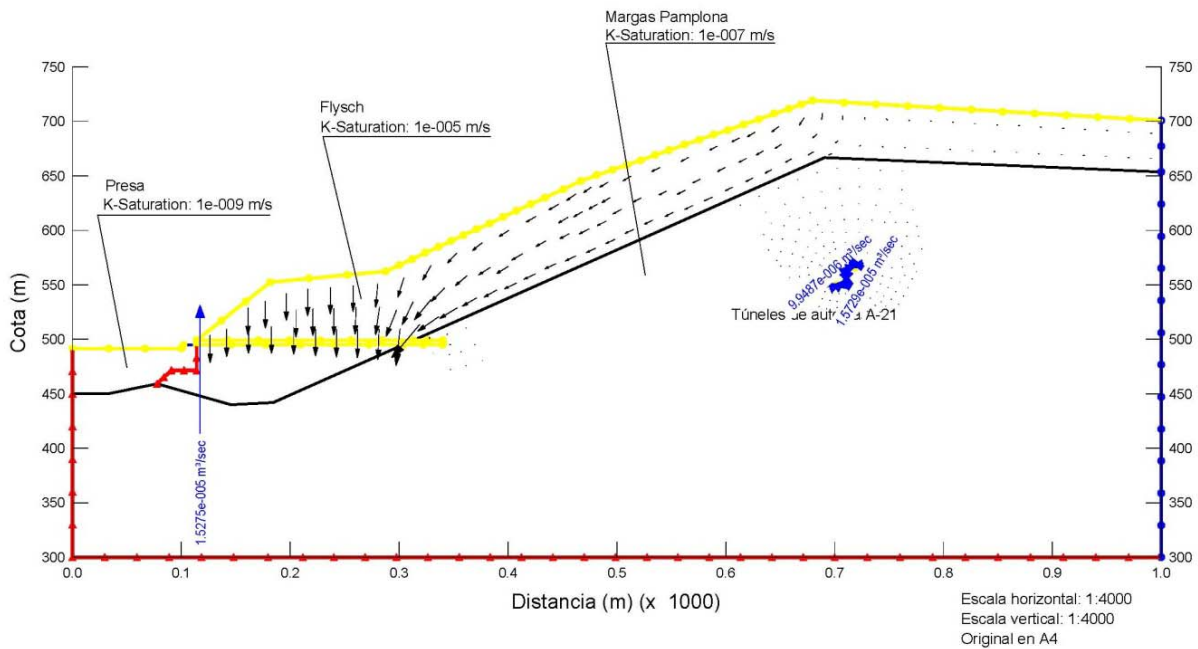


Figura 2. Modelo con túnel drenante. Nivel Freático superficial. Flujo del agua

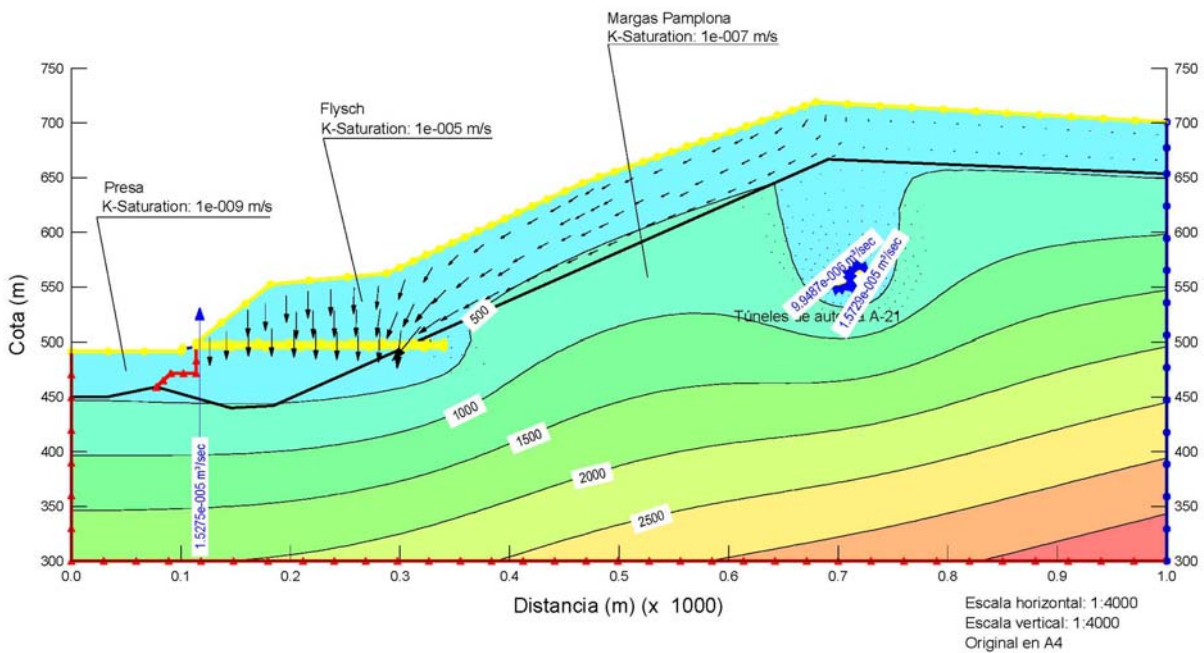


Figura 3. Modelo con túnel drenante. Nivel Freático superficial. Carga total (altura total)

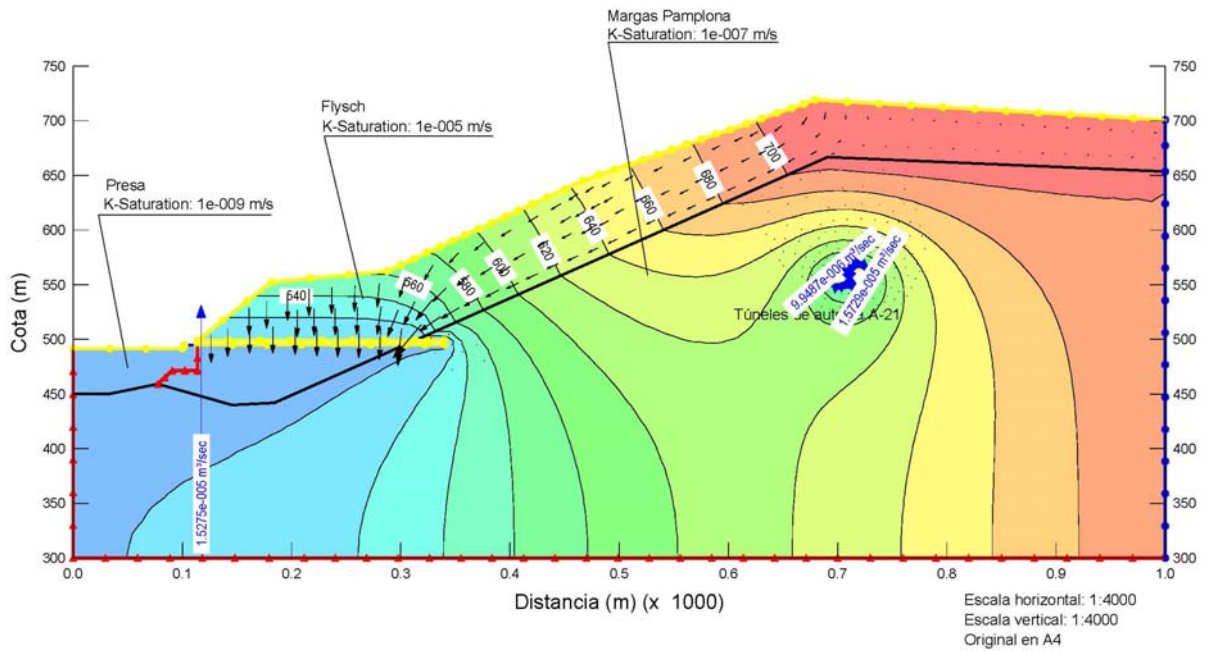


Figura 4. Modelo con túnel drenante. Nivel Freático superficial. Presión de agua intersticial

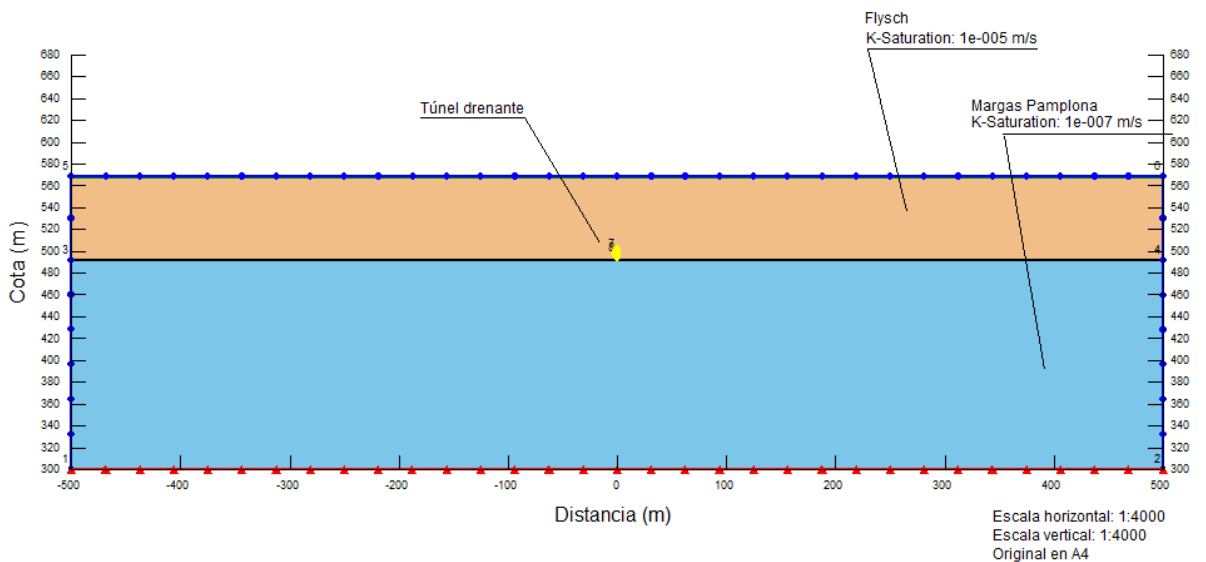


Figura 5. Modelo transversal con túnel drenante. Nivel Freático superficial

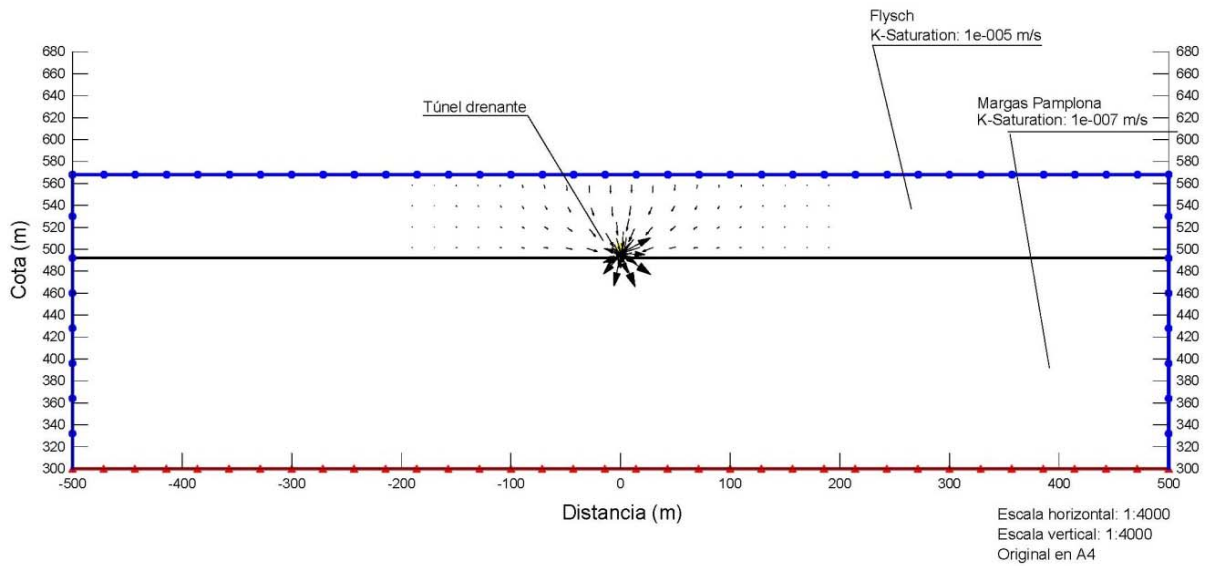


Figura 6. Modelo transversal con túnel drenante. Nivel Freático superficial. Flujo del agua

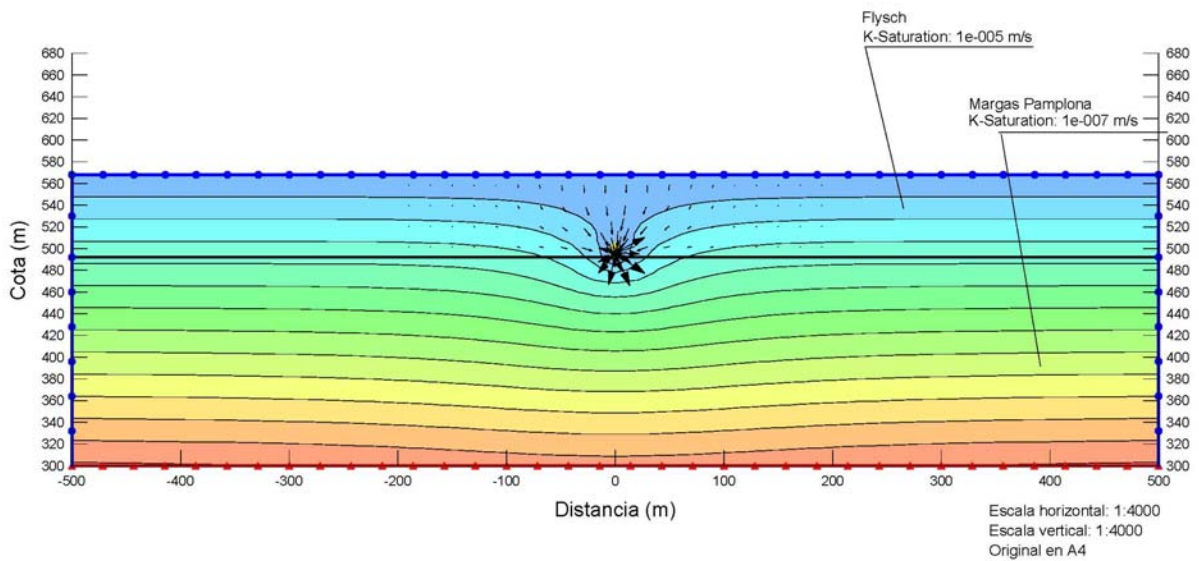


Figura 7. Modelo transversal con túnel drenante. Nivel Freático superficial. Carga total (altura total)

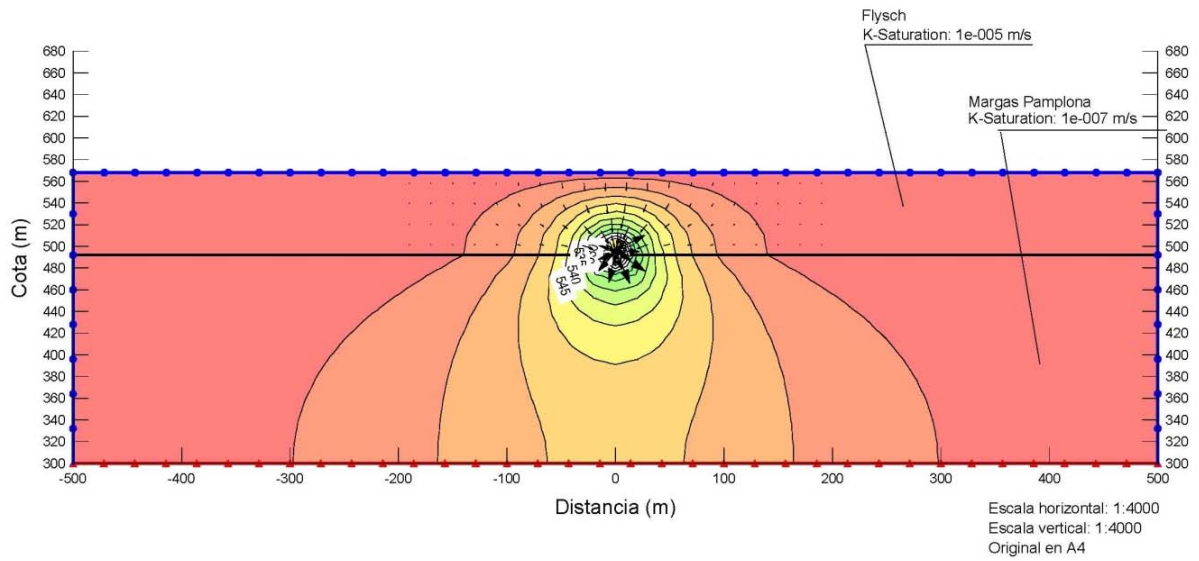


Figura 8. Modelo transversal con túnel drenante. Nivel Freático superficial. Presión de agua intersticial

6.7. APÉNDICE 7. ANÁLISIS DE PLUVIOMETRIA. PERIODOS DE RETORNO

CALCULO PERIODO DE RETORNO PRECIPITACIONES

1. PRECIPITACIONES MÁXIMAS ACUMULADAS A 15 DIAS

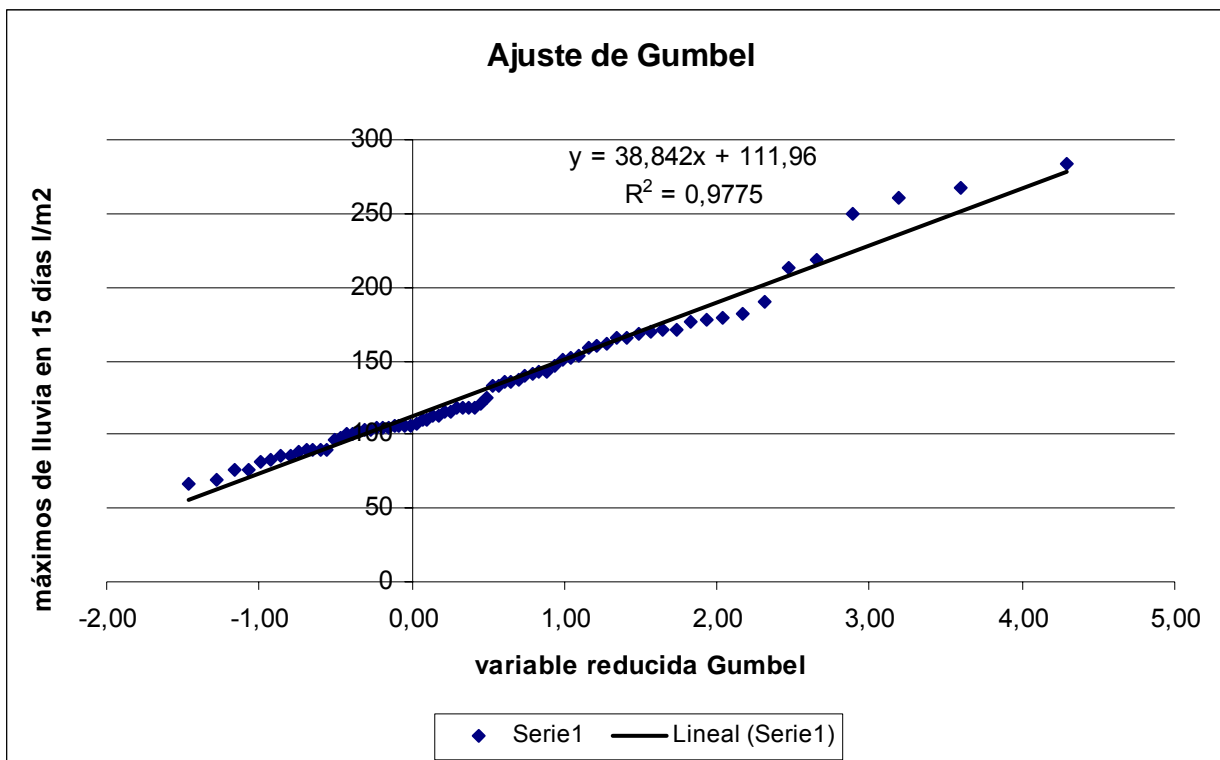
Datos de precipitaciones máximas acumuladas a 15 días:

FECHA	PRECIPITACION MÁXIMA 15 DIAS (mm)	PROBABILIDAD	GUMBEL
30/09/2005	67	0,014	-1,46
30/09/1955	69,5	0,027	-1,28
30/09/1943	75,7	0,041	-1,16
30/09/2012	75,8	0,054	-1,07
30/09/1964	81,5	0,068	-0,99
30/09/2011	83,4	0,081	-0,92
30/09/1952	84,9	0,095	-0,86
30/09/1958	85	0,108	-0,80
30/09/1991	88	0,122	-0,75
30/09/1933	89	0,135	-0,69
30/09/1973	89	0,149	-0,65
30/09/1956	89,5	0,162	-0,60
30/09/2002	90	0,176	-0,55
30/09/1970	96	0,189	-0,51
30/09/1954	98,2	0,203	-0,47
30/09/1932	100,2	0,216	-0,43
30/09/1969	100,5	0,230	-0,39
30/09/1992	101,5	0,243	-0,35
30/09/1971	103	0,257	-0,31
30/09/1951	103,5	0,270	-0,27

FECHA	PRECIPITACION MÁXIMA 15 DIAS (mm)	PROBABILIDAD	GUMBEL
30/09/2010	104,2	0,284	-0,23
30/09/1941	104,4	0,297	-0,19
30/09/2008	105,2	0,311	-0,16
30/09/1948	105,4	0,324	-0,12
30/09/1942	105,5	0,338	-0,08
30/09/2006	106	0,351	-0,04
30/09/1945	106,5	0,365	-0,01
30/09/1965	107,5	0,378	0,03
30/09/1953	110	0,392	0,07
30/09/2009	110,6	0,405	0,10
30/09/2004	112,5	0,419	0,14
30/09/1986	113	0,432	0,18
30/09/1972	115	0,446	0,21
30/09/1995	116	0,459	0,25
30/09/1963	117,5	0,473	0,29
30/09/1968	118,5	0,486	0,33
30/09/1980	118,5	0,500	0,37
30/09/1996	118,5	0,514	0,41
30/09/1946	121,4	0,527	0,45
30/09/1962	125,5	0,541	0,49
30/09/1934	132,5	0,554	0,53
30/09/1997	132,5	0,568	0,57
30/09/1966	135,5	0,581	0,61
30/09/1987	136	0,595	0,65

FECHA	PRECIPITACION MÁXIMA 15 DIAS (mm)	PROBABILIDAD	GUMBEL
30/09/1947	137,1	0,608	0,70
30/09/1960	140	0,622	0,74
30/09/1930	141,6	0,635	0,79
30/09/1975	143	0,649	0,84
30/09/1989	143	0,662	0,89
30/09/1957	147	0,676	0,94
30/09/1935	151,3	0,689	0,99
30/09/1931	151,7	0,703	1,04
30/09/1949	153,1	0,716	1,10
30/09/1961	159,1	0,730	1,15
30/09/2007	160,1	0,743	1,21
30/09/1993	161,5	0,757	1,28
30/09/1950	165,3	0,770	1,34
30/09/1974	166	0,784	1,41
30/09/2003	168,5	0,797	1,48
30/09/1983	169,5	0,811	1,56
30/09/1977	171	0,824	1,64
30/09/1994	171	0,838	1,73
30/09/1982	176	0,851	1,83
30/09/1976	178	0,865	1,93
30/09/1967	179	0,878	2,04
30/09/1985	181,5	0,892	2,17
30/09/1979	190	0,905	2,31
30/09/2001	213,5	0,919	2,47

FECHA	PRECIPITACION MÁXIMA 15 DIAS (mm)	PROBABILIDAD	GUMBEL
30/09/1978	218	0,932	2,66
30/09/1959	250	0,946	2,89
20/02/2013	261	0,959	3,18
30/09/1981	268	0,973	3,60
30/09/1988	283,5	0,986	4,30



PERIODO DE RETORNO, T (años)	VALOR GUMBEL	PRECIPITACIÓN (mm)
2	0,366512921	126,2
3	0,902720456	147,0
5	1,499939987	170,2
10	2,250367327	199,4
25	3,198534261	236,2
50	3,901938658	263,5
100	4,600149227	290,6
200	5,295812143	317,7
500	6,213607264	353,3
1000	6,907255071	380,3

Para los valores de precipitación máxima acumulada a 15 días correspondientes al día 20/02/2013, de 261 l/m², el periodo de retorno obtenido es de **46,9 años**.

2. PRECIPITACIONES MÁXIMAS ACUMULADAS A 30 DIAS

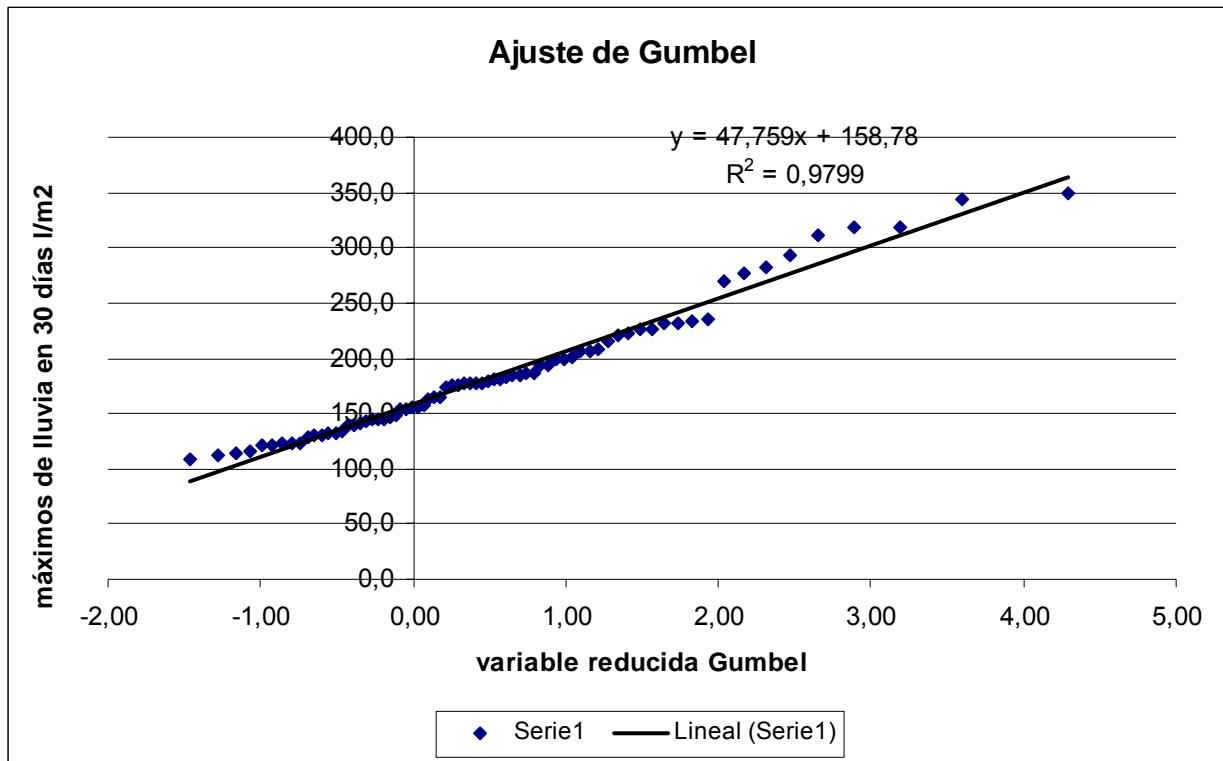
Datos de precipitaciones máximas acumuladas a 30 días:

FECHA	PRECIPITACIÓN MÁXIMA 30 DIAS	PROBABILIDAD	GUMBEL
30/09/1973	108,0	0,014	-1,46
30/09/2005	111,6	0,027	-1,28
30/09/2006	114,5	0,041	-1,16
30/09/1958	116,0	0,054	-1,07
30/09/2011	121,4	0,068	-0,99
30/09/1955	121,5	0,081	-0,92
30/09/1933	122,3	0,095	-0,86
30/09/2012	122,3	0,108	-0,80
30/09/1932	122,5	0,122	-0,75
30/09/1952	129,0	0,135	-0,69
30/09/1943	130,4	0,149	-0,65
30/09/1992	130,7	0,162	-0,60
30/09/1970	131,5	0,176	-0,55
30/09/2004	131,5	0,189	-0,51
30/09/1956	133,5	0,203	-0,47
30/09/2002	139,3	0,216	-0,43
30/09/1948	140,2	0,230	-0,39
30/09/1991	140,5	0,243	-0,35
30/09/1964	143,5	0,257	-0,31
30/09/1954	144,4	0,270	-0,27
30/09/1945	144,5	0,284	-0,23
30/09/1969	145,0	0,297	-0,19

FECHA	PRECIPITACIÓN MÁXIMA 30 DIAS	PROBABILIDAD	GUMBEL
30/09/1951	146,4	0,311	-0,16
30/09/1941	148,7	0,324	-0,12
30/09/1953	153,5	0,338	-0,08
30/09/2010	154,0	0,351	-0,04
30/09/1963	155,0	0,365	-0,01
30/09/1966	156,5	0,378	0,03
30/09/1935	158,2	0,392	0,07
30/09/1949	163,2	0,405	0,10
30/09/1995	164,0	0,419	0,14
30/09/1942	164,5	0,432	0,18
30/09/1971	173,5	0,446	0,21
30/09/1986	175,0	0,459	0,25
30/09/1968	176,0	0,473	0,29
30/09/1946	176,9	0,486	0,33
30/09/1996	177,0	0,500	0,37
30/09/2008	177,7	0,514	0,41
30/09/1950	177,9	0,527	0,45
30/09/1975	180,0	0,541	0,49
30/09/1962	181,0	0,554	0,53
30/09/1934	181,7	0,568	0,57
30/09/1984	183,0	0,581	0,61
30/09/1987	185,0	0,595	0,65
30/09/2009	185,4	0,608	0,70
30/09/1980	186,5	0,622	0,74
30/09/1960	187,0	0,635	0,79

FECHA	PRECIPITACIÓN MÁXIMA 30 DIAS	PROBABILIDAD	GUMBEL
30/09/1972	193,0	0,649	0,84
30/09/1989	194,5	0,662	0,89
30/09/1997	198,3	0,676	0,94
30/09/1965	198,5	0,689	0,99
30/09/1994	201,1	0,703	1,04
30/09/1961	205,6	0,716	1,10
30/09/2007	206,8	0,730	1,15
30/09/1974	208,0	0,743	1,21
30/09/2003	215,0	0,757	1,28
30/09/1957	221,1	0,770	1,34
30/09/1993	223,0	0,784	1,41
30/09/1985	226,0	0,797	1,48
30/09/1947	226,6	0,811	1,56
30/09/1976	231,0	0,824	1,64
30/09/1982	232,0	0,838	1,73
30/09/1967	234,0	0,851	1,83
30/09/1983	236,0	0,865	1,93
30/09/1931	269,8	0,878	2,04
30/09/2001	277,0	0,892	2,17
30/09/1977	282,0	0,905	2,31
30/09/1959	293,6	0,919	2,47
30/09/1978	311,0	0,932	2,66
30/09/1979	318,5	0,946	2,89
30/09/1981	319,0	0,959	3,18
30/09/1988	344,5	0,973	3,60

FECHA	PRECIPITACIÓN MÁXIMA 30 DÍAS	PROBABILIDAD	GUMBEL
20/02/2013	349,8	0,986	4,30



PERIODO DE RETORNO, T (años)	VALOR GUMBEL	PRECIPITACIÓN (mm)
2	0,366512921	176,3
3	0,902720456	201,9
5	1,499939987	230,4
10	2,250367327	266,3
25	3,198534261	311,5
50	3,901938658	345,1
100	4,600149227	378,5
200	5,295812143	411,7

500	6,213607264	455,5
1000	6,907255071	488,7

Para los valores de precipitación máxima acumulada a 30 días correspondientes al día 20/02/2013, de 349,8 l/m², el periodo de retorno obtenido es de **55,1 años**.

3. PRECIPITACIONES MÁXIMAS ACUMULADAS A 120 DIAS

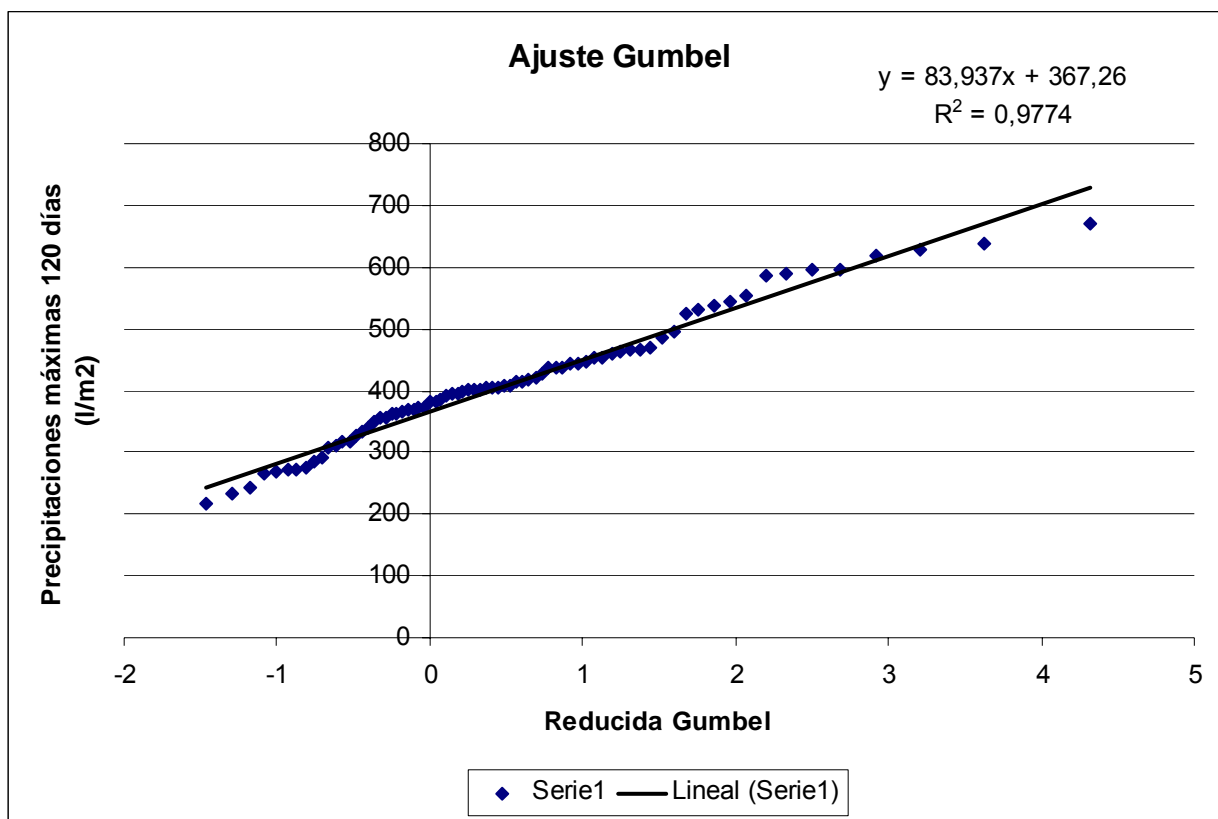
Datos de precipitaciones máximas acumuladas a 120 días:

FECHA	PRECIPITACION MÁXIMA 120 DIAS (mm)	PROBABILIDAD	GUMBEL
30/09/2005	218,2	0,0132	-1,46573689
30/09/2012	231,8	0,0263	-1,291320319
30/09/1949	242,2	0,0395	-1,173138594
30/09/1948	266,9	0,0526	-1,0799183
30/09/2002	267,9	0,0658	-1,001108027
30/09/1943	272,5	0,0789	-0,931760012
30/09/1953	272,7	0,0921	-0,869124988
30/09/2006	276,1	0,1053	-0,811504184
30/09/2011	284,8	0,1184	-0,757767931
30/09/1958	292	0,1316	-0,707123183
30/09/1955	307	0,1447	-0,658989424
30/09/1933	309,6	0,1579	-0,612927248
30/09/1956	316	0,1711	-0,568594775
30/09/1945	317,2	0,1842	-0,52571976
30/09/1991	326,5	0,1974	-0,484081038
30/09/1954	333,3	0,2105	-0,443495766
30/09/2004	340,5	0,2237	-0,403810404
30/09/1970	350,5	0,2368	-0,364894181
30/09/1952	355,7	0,2500	-0,32663426
30/09/1932	356,6	0,2632	-0,288932091
30/09/1950	361,5	0,2763	-0,251700611
30/09/1992	362,2	0,2895	-0,214862064

FECHA	PRECIPITACION MÁXIMA 120 DIAS (mm)	PROBABILIDAD	GUMBEL
30/09/1946	366,2	0,3026	-0,178346269
30/09/1995	369,4	0,3158	-0,142089241
30/09/1964	370,5	0,3289	-0,106032054
30/09/1957	373,5	0,3421	-0,070119918
30/09/1973	373,5	0,3553	-0,034301397
30/09/1942	381,7	0,3684	0,001472253
30/09/2010	381,9	0,3816	0,03724765
30/09/1972	384	0,3947	0,073069787
30/09/2008	391,9	0,4079	0,108982472
30/09/1987	395,3	0,4211	0,145028734
30/09/1962	396	0,4342	0,181251195
30/09/2009	397,1	0,4474	0,217692416
30/09/1963	401	0,4605	0,254395239
30/09/1997	401,3	0,4737	0,291403118
30/09/1998	401,3	0,4868	0,32876045
30/09/1969	404	0,5000	0,366512921
30/09/1989	406	0,5132	0,404707854
30/09/1984	406,4	0,5263	0,443394593
30/09/1940	408,5	0,5395	0,482624906
30/09/1941	409,6	0,5526	0,522453429
30/09/1994	415,1	0,5658	0,562938158
30/09/1968	415,5	0,5789	0,604141
30/09/1976	419	0,5921	0,646128393
30/09/1974	420	0,6053	0,688972021
30/09/2007	429	0,6184	0,73274963

FECHA	PRECIPITACION MÁXIMA 120 DIAS (mm)	PROBABILIDAD	GUMBEL
30/09/1951	436,1	0,6316	0,777545982
30/09/1966	436,5	0,6447	0,823453967
30/09/1983	436,5	0,6579	0,870575923
30/09/1935	442,4	0,6711	0,919025198
30/09/1975	444	0,6842	0,96892803
30/09/1980	447,3	0,6974	1,020425813
30/09/1967	452	0,7105	1,07367787
30/09/1971	455	0,7237	1,128864852
30/09/1985	459,7	0,7368	1,186192975
30/09/1996	462,6	0,7500	1,245899324
30/09/1977	465	0,7632	1,308258602
30/09/1947	467	0,7763	1,373591796
30/09/1986	468,5	0,7895	1,442277465
30/09/1965	486	0,8026	1,514766682
30/09/1993	495,5	0,8158	1,591603126
30/09/1930	524	0,8289	1,673450631
30/09/1960	532,5	0,8421	1,761131781
30/09/1961	536,1	0,8553	1,855683329
30/09/2001	543,5	0,8684	1,958438109
30/09/2003	552,8	0,8816	2,071150243
30/09/1982	585,5	0,8947	2,196194392
30/09/1978	589	0,9079	2,336898774
30/09/1988	596	0,9211	2,498136602
30/09/1979	596,5	0,9342	2,687461659
30/09/1931	619,2	0,9474	2,917527168

FECHA	PRECIPITACION MÁXIMA 120 DIAS (mm)	PROBABILIDAD	GUMBEL
30/09/1959	627,6	0,9605	3,212051684
30/09/1981	638,5	0,9737	3,624281669
20/02/2013	668,9	0,9868	4,324118037



PERIODO DE RETORNO, T (años)	VALOR GUMBEL	PRECIPITACIÓN (mm)
2	0,367	398,02
3	0,903	443,03
5	1,500	493,16
10	2,250	556,15
25	3,199	635,74
50	3,902	694,78
100	4,600	753,38
200	5,296	811,77
500	6,214	888,81
1000	6,907	947,03

Para los valores de precipitación máxima acumulada a 120 días correspondientes al día 20/02/2013, de 668,9 l/m², el periodo de retorno obtenido es de **36,9 años**.