UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA

ESCUELA POLITÉCNICA

UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA

Escuela Politécnica

Grado en Ingeniería Civil, especialidad de Transportes y servicios urbanos.

Trabajo Fin de Grado

Aplicación de las técnicas GPR a firmes de carreteras

UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA

ESCUELA POLITÉCNICA

UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA

Escuela Politécnica

Grado en Ingeniería Civil, especialidad de Transportes y servicios urbanos.

Trabajo Fin de Grado

Aplicación de las técnicas GPR a firmes de carreteras

Autor: Darío Collado Mariscal

Tutora: Montaña Jiménez Espada

Co-tutor: Luis Mariano Del Río Pérez

AGRADECIMIENTOS.

En primer lugar, quiero agradecer a Montaña Jiménez Espada y Luis Mariano del Río Pérez, mis tutores del proyecto, por darme la oportunidad de realizar este proyecto, por su interés en ayudarme en todo lo posible e introducirme en el mundo de georádar.

También a todos los ingenieros y técnicos que colaboraron activamente en el desarrollo del proyecto: Rafael González Escobar (en la realización de croquis y documentación gráfica en campo), Juan Román Pavón (jefe de sección de carreteras en la provincia de Cáceres), Juan Luis Picado Núñez (jefe COEX de la UTE), José Luis Pérez Macías (jefe de operaciones de la UTE) y Florentino Rodríguez de Sande (encargado General de la zona de Coria), así como a todo el personal que colaboró en los ensayos realizados en la autovía EX–A1.

También dar las gracias al personal del laboratorio del Departamento de Física Aplicada, en especial a José Luis Sánchez Sánchez, así como al propio departamento de Física Aplicada de la Escuela Politécnica por poner sus medios materiales y humanos a disposición del Trabajo Final de Grado (TFG).

Quiero reseñar también la colaboración de Mar Martín, por su ayuda en el desarrollo de la parte referida a la puesta a punto del equipo y las pruebas en el “Test-site”.

Dar las gracias por último a mi familia, por respaldarme, ayudarme y guiarme en todo momento.

A todos vosotros,

¡Gracias!

PRÓLOGO.

El trabajo fin de Grado concluye una etapa que lleva detrás un esfuerzo y una dedicación considerable. Así pues, la correcta elección de la temática es un punto en el que hay que reflexionar detenidamente, y así hice.

Empecé pensando en la realización de un proyecto clásico (una urbanización, una variante de carretera,…) continué pensando sobre ello, hasta que decidí hacer una urbanización.

En ese punto, estaba bastante seguro de que quería hacer dicho proyecto, hasta que se me propuso hacer el presente proyecto, lo cual me sorprendió y cautivó mi atención.

Pocas veces había escuchado hablar del georádar terrestre, y únicamente conocía su aplicación en el ámbito de la geotecnia, nunca para su aplicación en carreteras y mucho menos en el estudio del estado de los firmes. Así pues, fui decantándome poco a poco por el actual proyecto.

Un tema desconocido pero a la vez muy relevante en la actualidad y que puede suponer un cambio trascendental en el estudio de los firmes. Al mismo tiempo es un tema inusual, peculiar, capaz de despertar la curiosidad del tribunal y de cualquier lector interesado en la ingeniería civil.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN 15

2. OBJETIVOS 17

3. ESTADO DEL CONOCIMIENTO 18

3.1. INTRODUCCIÓN A LA CONSERVACIÓN DE FIRMES. 18

3.1.A. 6.3-IC “REHABILITACIÓN DE FIRMES” 19

3.1.B. PARÁMETROS FUNCIONALES. 19

3.1.C. PARÁMETROS ESTRUCTURALES. 22

3.1.D. AGENTES DE DETERIORO..... 23

3.1.E. DETERIORO EN FIRMES BITUMINOSOS. 24

3.1.F. FALLAS SUPERFICIALES..... 24

3.1.G. FISURACIÓN PIE DE COCODRILO. 25

3.1.H. FISURACIÓN EN BLOQUE. 26

3.1.I. FISURACIÓN LONGITUDINAL..... 26

3.1.J. FISURACIÓN TRANSVERSAL. 27

3.1.K. HUNDIMIENTO DE LA SUPERFICIE.SURCOS..... 27

3.1.L. FALLAS POR CORTANTES. 28

3.1.M. CONSOLIDACIÓN DEL TERRENO DE CIMENTACIÓN. 28

3.1.N. FALLAS POR PRESENCIA DE AGUA EN EL FIRME..... 28

3.1.O. CONSERVACIÓN Y REHABILITACIÓN DE FIRMES. 29

3.1.P. RECICLADO EN FRÍO IN SITU. 30

3.1.Q. RECICLADO EN CALIENTE IN SITU. 33

3.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL GEORADAR. 34

3.2.A. INTRODUCCIÓN E HISTORIA DEL GEORADAR 34

3.2.B. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO..... 35

3.2.C. COMPONENTES DEL GEORÁDAR. 37

3.3. APLICACIONES DEL GEORÁDAR. 39

3.3.A. ESPESOR DE PAVIMENTO DE HORMIGÓN. 39
3.3.B. ESPESOR DE CAPAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE. 42
3.3.C. LOCALIZACIÓN DE ARMADURAS. 42
3.3.D. LOCALIZACIÓN DE HUECOS EN LOSAS DE HORMIGÓN. 43
3.3.E. DETECCIÓN DE SERVICIOS ENTERRADOS. 43
4. MATERIALES Y MÉTODO 44
4.1. OBJETIVOS. 44
4.2. FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS. 44
4.2.A. FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD DE CONTROL. 44
4.2.B. FUNCIONAMIENTO DEL MONITOR. 45
4.3. CORRECCIÓN DEL NIVEL CERO. 46
4.4. CONFIGURACIÓN DE LAS ANTENAS Y PARÁMETROS PARA LA REALIZACIÓN DE MEDIDAS. 46
4.5. ANTENA DE 500 MHz. 47
4.6. ANTENA HF DE 1200 MHz. 48
4.7. PARÁMETROS DEL MENÚ HERRAMIENTAS. 48
4.8. INVENTARIO DEL MATERIAL ASOCIADO AL GPR. 48
4.9. CUADERNO DE CAMPO DEL “TEST-SITE”. 48
4.10. ENSAYOS DESARROLLADOS EN EL “TEST-SITE”. 49
4.10.A. INTRODUCCIÓN. 49
4.10.B. OBJETIVOS. 49
4.10.C. INFORMACIÓN DE PARTIDA. 49
4.10.D. ESQUEMAS “TEST-SITE”. 52
4.10.E. PROYECTO 2D. 54
4.10.F. PROYECTO 3D. 63
4.11. PRUEBA PREVIA. MEDIANA DEL CAMPUS. 70
4.11.A. INTRODUCCIÓN. 70

4.11.B. OBJETIVOS. 70
4.11.C. TRABAJOS PREVIOS. 70
4.11.D. INFORMACIÓN DE PARTIDA. 71
4.11.E. PROYECTO 2D. 73
4.12. APLICACIÓN DE LA TÉCNICAS GPR EN LA EX–A1. 79
4.12.A. INTRODUCCIÓN. 79
4.12.B. OBJETIVOS. 79
4.12.C. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. 80
4.12.D. INFORMACIÓN DE PARTIDA. 81
4.12.E. PROYECTO 2D. 84
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN. 91
5.1. INTRODUCCIÓN. 91
5.2. TEST-SITE. 91
5.3. PRUEBA REALIZADA EN LA MEDIANA DEL CAMPUS. 100
5.4. AUTOVÍA EX-A1. 106
6. CONCLUSIONES 115
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. 117
ANEXOS 120

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Clasificación de los reciclados de áridos en frío. Fuente (Alarcón, 2009). 31
TABLA 2. Campo de aplicación del georádar. Fuente (elaboración propia). 35
TABLA 3. Velocidades y diferentes características de los materiales relativas a las investigaciones con georádar. (Gómez, 2008) y (Fundamentos georádar, 25/08/2017). 37
TABLA 4. Diferentes antenas con sus diferentes usos típicos. Fuente (Pellicer, 2012). 38
TABLA 5. Recopilación de los diferentes estudios relacionados con el georádar. Fuente (Infraense, 2006). (1)..... 40
TABLA 6. Recopilación de los diferentes estudios relacionados con el georádar. Fuente (Infraense, 2006)(2)..... 41
TABLA 7. Resumen de las medidas realizadas en el “Test-site” (antena; sentido; archivo: longitud; resolución), (1)..... 56
TABLA 8. Resumen de las medidas realizadas en el “Test-site” (antena; sentido; archivo: longitud; resolución), (2)..... 57
TABLA 9. Procesamiento de un radargrama mediante Reflexw. (Elaboración propia), (1)..... 58
TABLA 10. Procesamiento de un radargrama mediante Reflexw. (Elaboración propia), (2)..... 59
TABLA 11. Cuadro de trabajo del cubo 3D. Fuente (elaboración propia)..... 66
TABLA 12. Datos de la tubería. Fuente (elaboración propia)..... 72
Tabla 13. Resumen de las medidas realizadas en la mediana del campus (antena: archivo: longitud; resolución). 77
Tabla 14. Resumen de las medidas realizadas en la mediana del campus(sentido; objetivo; observaciones)..... 78
TABLA 15. Coordenadas de las arquetas de paso del tubo dren..... 83
TABLA 16. Profundidades del tubo dren. 84
TABLA 17. Ensayos realizados y datos referentes a ellos (tramo: archivo; longitud; resolución)..... 88
TABLA 18. Ensayos y datos referentes a ellos (antena; sentido; objetivo; observaciones)-1-. 89

TABLA 19. . Ensayos y datos referentes a ellos (antena; sentido; objetivo; observaciones)-2-. 90

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Grieta longitudinal en el eje. EX–A1, PK 79+700 MD. 15
FIGURA 2. Calzada con perfil irregular (pequeños badenes consecutivos) y grietas en mediana revestida y levantamiento de paños. 15
FIGURA 3. Diagrama conceptual que compone un SGF. Fuente (Seoane, 2007)... 18
FIGURA 4. Incidencia de las características superficiales sobre las cualidades funcionales del firme según textura y longitud de onda. Fuente (Cirera, 2010). 20
FIGURA 5. Ejemplo de deflectograma. Fuente (Instrucción de carreteras, 2003).... 22
FIGURA 6. Fisuración pie de cocodrilo. Fuente (Alarcón, 2009). 25
FIGURA 7. Fisuración en bloque. Fuente (Alarcón, 2009). 26
FIGURA 8. Fisuración longitudinal. Fuente (Alarcón, 2009). 27
FIGURA 9. Fisuración transversal. Fuente (Alarcón, 2009). 27
FIGURA 10. Hundimiento de la superficie. Fuente (Alarcón, 2009). 28
FIGURA 11. Recicladora en frío. Fuente (De La Llave, curso 2016-2017.)..... 31
FIGURA 12. Proceso y máquinas relativas al proceso de reciclado frío in situ. Fuente (De la Llave, curso 2016-2017). 32
FIGURA 13. Tren de reciclado in situ en caliente. Fuente (Alarcón, 2009). 33
FIGURA 14. Esquema de una onda EM viajando a través de un medio. Fuente (Pellicer, 2012). 35
FIGURA 15. Ecuación 1 Reflexión y refracción. Fuente (Pellicer, 2012). 36
FIGURA 16. Lectura de un radargrama en un firme de una carretera. Fuente (Tavira, 2013). 42
FIGURA 17. Ejemplo de radargramas para diferentes aplicaciones. Fuente (TRX consulting). 43
FIGURA 18 Configuración del monitor con la antena de 500 MHz. 47
FIGURA 19. Configuración del monitor con la antena de1200 MHz. 48
FIGURA 20. Ubicación Test-Site. 50
FIGURA 21. Figura del plano del “Test-site” llevado a cabo para el presente proyecto (Elaboración propia)..... 52
FIGURA 22. Esquema simplificado del “Test-site” realizado para su construcción en 2004 (Del Río, 2004) 53
FIGURA 23. Mediciones longitudinales en TEST-SITE. 55
FIGURA 24. Mediciones transversales en TEST-SITE. 55

FIGURA 25. Imagen radargrama sin tratar..... 60
FIGURA 26. Imagen radargrama tratado con Reflexw, gama Gray 1..... 60
FIGURA 27. Imagen radargrama tratado con Reflexw, gama Rainbow 1. 61
FIGURA 28. Imagen radargrama tratado con Reflexw, gama Rainbow 2. 61
FIGURA 29. Imagen radargrama tratado con Reflexw, gama Gray 3..... 62
FIGURA 30. Imagen radargrama tratado con Reflexw, gama Blue-gray-red. 62
FIGURA 31. Imagen radargrama tratado con Reflexw, gama Gray 2..... 62
FIGURA 32. Longitudinal nº 1. 67
FIGURA 33. Cubo completo 3D. 67
FIGURA 34. Corte transversal anterior al punto. 68
FIGURA 35. Corte transversal en el punto. 68
FIGURA 36. Superposición de cortes en el punto. 69
FIGURA 37. Corte transversal con 3º longitudinal. 69
FIGURA 38. Unidad de control correctamente colocada en la mochila..... 70
FIGURA 39. Prueba campus. Situación. Fuente (elaboración propia, Qgis). 71
FIGURA 40. Darío Collado manejando el monitor. 73
FIGURA 41. Montaña, Mariano y Darío llevando a cabo sus respectivas tareas en la mediana del campus. 74
FIGURA 42. Banderolas que sitúan el inicio y el final de cada medición., tramo 1-2. 75
FIGURA 43. Pozo de registro por donde pasa el tramo 3-4. 76
FIGURA 44. Situación de la zona de trabajo en la EX-A1. Elaboración propia mediante un programa de SIG..... 82
FIGURA 45. Estado del terreno donde se realizan las medidas. 85
FIGURA 46. Banderola referenciando el punto 10 del mallado..... 85
FIGURA 47. Realización del ensayo 1, tramo 1-2. 86
FIGURA 48. Realización del tramo 1-7. 86
FIGURA 49. Realización de las medidas sobre el firme en sentido longitudinal..... 87
FIGURA 50. Antena 500 MHz, 2 longitudinal. Radargrama nº 0183 93
FIGURA 51. Radargrama nº 0183, 2º longitudinal, antena 500 MHz. 93
FIGURA 52. Radargrama nº 0235, 2º longitudinal, antena 1200 MHz. 93
FIGURA 53. Antena 500 MHz, 3º longitudinal. Radargrama nº 0183. 95
FIGURA 54. Radargrama nº 0184, 3º longitudinal, antena 500 MHz. 95
FIGURA 55. Radargrama nº 0184, 3º longitudinal, antena 1200 MHz. 95

FIGURA 56. Antena 500 MHz, 5º longitudinal. Radargrama nº 0186. 97
FIGURA 57. Radargrama nº 0186, 5 longitudinal, antena 500 MHz. 97
FIGURA 58. Radargrama nº 0238, 5 longitudinal, antena 500 MHz. 97
FIGURA 59. Antena 500 MHz, 3º transversal. Radargrama nº 0257. 98
FIGURA 60. Radargrama nº 0257, 3º trasversal, antena de 500 MHz. 98
FIGURA 61. Radargrama nº 0273, 6º trasversal, antena de 1200 MHz. 98
FIGURA 62. Antena 1200 MHz, tramo 3-4. 101
FIGURA 63. Radargrama nº 590, tramo 3-4. 101
FIGURA 64. Antena 1200 MHz, tramo 11-7. 102
FIGURA 65. Radargrama nº 598, tramo 11-7. 102
FIGURA 66. Antena 1200 MHz, tramo 7-8. 103
FIGURA 67. Radargrama nº 599, tramo 7-8. 103
FIGURA 68. Antena 1200 MHz, tramo 9-10. 104
FIGURA 69. Radargrama nº 601, tramo 9-10. 104
FIGURA 70. Tramo 1-2, en la arqueta nº1. 107
FIGURA 71. Radargrama nº 0630, tramo 1-2. 107
FIGURA 72. Tramo 29-30, en la arqueta nº4. 108
FIGURA 73. Radargrama 0645, tramo 29-30. 108
FIGURA 74. Tramo 1-7, en la arqueta nº1. 109
FIGURA 75. Radargrama 0634, tramo 1-7. 110
FIGURA 76. Tramo 9-12, en la arqueta nº1. 110
FIGURA 77. Radargrama 0635, tramo 9-12. 111
FIGURA 78. Ensayo realizado entre el punto 23-24, en la bajante. 112
FIGURA 79. Radargrama 0642, tramo 23-24. 112
FIGURA 80. Sección tipo con los diferentes espesores de firme de la autovía EX–A1. 113
FIGURA 81. Radargrama 0650, tramo realizado por el arcén. 113

RESUMEN

La calidad de la red de carreteras y la necesidad de ofrecer al usuario un trayecto con un elevado nivel de servicio y en condiciones de seguridad y comodidad constituyen unos factores cada vez más importantes en la sociedad actual.

La herramienta que se utiliza para alcanzar este objetivo son los indicadores de calidad, los cuales permiten conocer el estado de la carretera y permiten actuar en ella en el momento justo, disminuyendo los costes de rehabilitación. Es mediante la auscultación de los mismos cuando se evalúa el estado del firme, desde un punto de vista funcional y estructural.

El presente trabajo se centra en el análisis de un tramo de carretera (concretamente de la autovía autonómica EX-A1 en la provincia de Cáceres y situado en las proximidades del municipio de Coria), en el que se tiene constancia de diversos problemas (nula circulación de agua en diversos tramos que se traduce en grietas, badenes, levantamiento de paños alternos, etc.). Para intentar encontrar el origen de los mismos se utilizará el georádar y se comprobará si la estructura del firme es realmente la que figura en la sección de proyecto, a la vez que se identifican arquetas y demás elementos de la vía.

En la actualidad, el estado estructural de un firme se mide conjuntamente con otros parámetros, calculando las deflexiones. Ahora bien, esta metodología de auscultación presenta diversos puntos débiles: el tiempo de ensayo, los cortes de tráfico que se requieren, el elevado coste económico,…es por este motivo que se estudia la posibilidad de realizar dicha auscultación mediante el georádar terrestre (GPR).

El GPR se emplea habitualmente en los países anglosajones y en Norteamérica como metodología para medir el espesor de las diferentes capas del pavimento y de esta forma, junto con el deflectómetro de impacto, poder elaborar un estudio completo del estado del pavimento.

Al objeto de desarrollar el análisis del tramo de carretera, se ha llevado a cabo un minucioso trabajo de campo con el fin de llegar a manejar el georádar de manera adecuada a las necesidades del estudio, saber interpretar los resultados y llegar a conclusiones satisfactorias.

En ese sentido, se realizó inicialmente un “test-site” en el banco de pruebas con georádar de la Escuela Politécnica, así como varios ensayos en la mediana del campus universitario de Cáceres antes de analizar las mediciones en el tramo anteriormente citado, que sirvieron para calibrar el GPR y permitir la correcta interpretación de los resultados al objeto de alcanzar unas conclusiones coherentes.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los aspectos más importantes del presente proyecto es llevar a cabo el análisis de un tramo de autovía, más concretamente de un tramo de la autovía EX - A1, entre los PK's 80+030 y 80+430 MD (tramo de obra El Batán – Coria). En la que se han detectado problemas en el firme-véase figura 1 y 2-como grietas, badenes, levantamientos de paños alternos, etc.

FIGURA 1. Grieta longitudinal en el eje. EX–A1, PK 79+700 MD.

FIGURA 2. Calzada con perfil irregular (pequeños badenes consecutivos) y grietas en mediana revestida y levantamiento de paños.

Al objeto de intentar encontrar la respuesta a los problemas anteriormente citados se ha realizado un estudio completo del tramo: pavimento, espesores de firme, cunetas, arquetas, estructuras inherentes a ellas, etc.

Para desarrollar dicha tarea de una manera profesional y eficiente, además de conseguir llegar a unos resultados coherentes, es necesario emprender un largo camino para adquirir los conocimientos necesarios, fundamentalmente en el manejo de los equipos e interpretación de los datos proporcionados por el georádar. En ese sentido antes de llegar a realizar tal análisis se tienen planificadas una serie de tareas previas:

- Elaboración de un inventario con todos los componentes y equipos a disposición, para conocer su funcionamiento y sus características.
- Puesta a punto y en práctica en un terreno controlado para comprobar las funcionalidades del aparato, así como la realización de un mallado simple e interpretación de dichos resultados y comparación con el artículo llevado a cabo por (Del Río, 2004).
- También cabe destacar que los resultados obtenidos en campo en casi todas las ocasiones no han proporcionado la suficiente información y ha habido que tratarlos, ya sea mejorando el contraste, corrección del inicio, ganancia, etc. Esto ha ayudado y facilitado la interpretación de los resultados.
- Trabajo de investigación y estudio previo de toda la información relativa al lugar de estudio: cotas, planos, localización de arquetas, tipologías de tubería, longitudes, etc.
- Se ha llevado a cabo una prueba en la mediana del campus universitario de Cáceres al objeto de la puesta en práctica del equipo de medición en una situación análoga a la de la autovía, que sirva de preparación para el estudio final.

Una vez realizado todo este trabajo se está en condiciones de realizar el estudio que pondrá en valor la aplicación del georádar a firmes de carreteras.

2. OBJETIVOS

El objeto principal del presente estudio es la puesta a punto de un equipo GPR (georádar terrestre), con el fin de utilizarlo en aplicaciones relacionadas con la Ingeniería Civil, más concretamente en infraestructuras viarias.

Para ello se necesita conocer y aprender adecuadamente el manejo de todos los dispositivos que componen el GPR: unidad central, monitor y antenas; así como las herramientas de software necesarias para la captación, gestión y procesado de los radargramas (gráfico que muestra secciones verticales continuas obtenidas mediante GPR) obtenidos.

Estudiar el funcionamiento del GPR y su potencial para poder realizar un trabajo de campo completo con el aparato de medición, así como la interpretación de los radargramas y su comparación con los resultados teóricos o esperados es uno de los propósitos de este estudio.

De esta manera, se plantea establecer en este trabajo fin de grado el uso del georádar terrestre como ensayo básico de partida que permita facilitar el conocimiento del estado de un firme y su estructura, así como el estudio de otros problemas añadidos que presentase una carretera como pudiera ser el drenaje. Adicionalmente se pretende explorar la correlación entre obra ejecutada y proyecto constructivo en un tramo de vía con la ayuda de las interpretaciones de los datos proporcionados por el georádar.

A este respecto, se comprueba inicialmente su correcto funcionamiento en entornos controlados (laboratorio y test-site) para posteriormente abordar el trabajo de campo (mediciones en la mediana del campus universitario de Cáceres y la autovía autonómica EX-A1).

3. ESTADO DEL CONOCIMIENTO

3.1. INTRODUCCIÓN A LA CONSERVACIÓN DE FIRMES.

Hoy en día cada vez se destina más dinero a la conservación en infraestructuras viarias en detrimento de la construcción, es decir, cada año las inversiones en conservación de carreteras son más elevadas. Esta realidad lleva a incorporar herramientas que optimicen esta tarea, un ejemplo de ello son los llamados Sistemas de Gestión de Firmes (SGF), cuya misión consiste en asistir a los técnicos que tienen la responsabilidad de tomar decisiones en cuanto a encontrar estrategias que permitan conservar los firmes en un estado óptimo de funcionamiento(Seoane, 2007).-véase figura 3-.

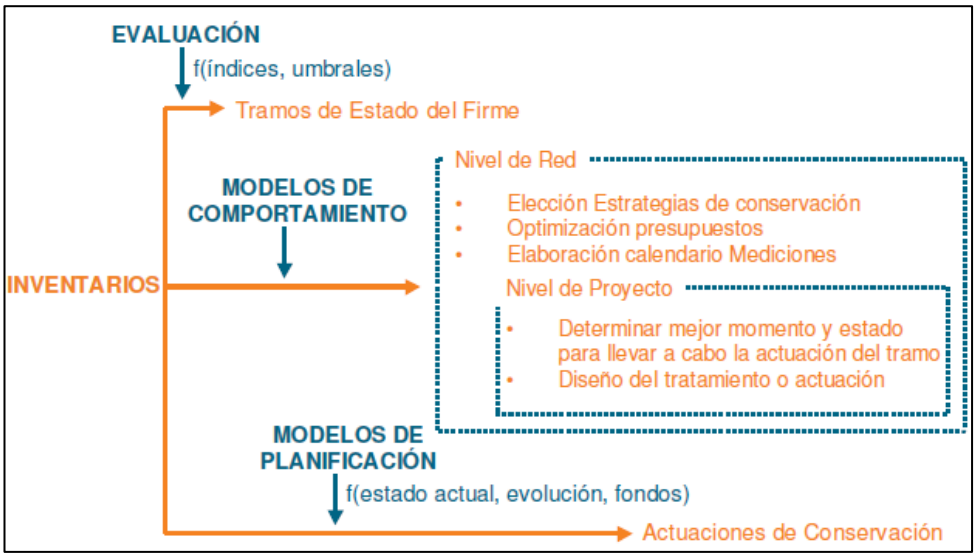


FIGURA 3. Diagrama conceptual que compone un SGF. Fuente (Seoane, 2007).

En la actualidad los métodos no destructivos, como el georádar, están tomando bastante importancia en el control de calidad de los firmes de carretera.

Los métodos de ensayo no destructivos, como' Ground Penetration Radar' (GPR) tienen una serie de ventajas con respecto a los sistemas tradicionales que se utilizaban en el control de carreteras:

- Como su nombre indica, no produce ningún tipo de daño en la carretera.
- Son métodos, generalmente, de bajo coste.
- Se pueden realizar desde un coche en movimiento, reduciendo así el riesgo de seguridad para el personal encargado de la conservación de las carreteras.

La técnica GPR también proporciona datos de forma continua y en tiempo real, ya que a medida que se va realizando la medida, se puede visualizar la información obtenida (de una forma limitada, eso sí) ya que como veremos posteriormente, la información que aporta el programa en forma de radargramas debe ser procesada y tratada de forma que se consiga la mayor información y el mayor grado de certeza de la misma.

3.1.A. 6.3-IC "REHABILITACIÓN DE FIRMES"

Los objetivos primordiales de la inspección y auscultación de las carreteras de la Red de nuestro país son:

- Conocer el estado de la Red de Carreteras del Estado (RCE).
- Establecer los puntos donde es necesaria la ejecución de actuaciones de rehabilitación.
- Reconocer los puntos donde se encuentran elementos en mal estado que dificultan la circulación de los vehículos y que pueden provocar incidentes.
- Alargar la vida útil de las carreteras existentes.

Como parámetros funcionales más significativos destacan la regularidad superficial y el rozamiento transversal. En cuanto a los parámetros estructurales, se pueden resumir en: deflexiones y degradaciones superficiales. Fuente (Instrucción de carreteras, 2003) y (Ministerio de fomento, 2002).

3.1.B. PARÁMETROS FUNCIONALES.

Las características funcionales de los pavimentos dependen de la naturaleza y del acabado de la capa de rodadura y determinan las condiciones de seguridad y de comodidad de los usuarios, como también repercuten en el aspecto económico y en la protección del firme (aumento de la durabilidad, impermeabilidad, uniformidad, aspecto, etc.).

Las características o cualidades funcionales residen en la superficie del pavimento. A modo de resumen se puede detallar un conjunto de aspectos importantes:

- Adherencia neumático-pavimento.
- Desgaste de los neumáticos.
- Ruido en el exterior y en el interior del vehículo.

- Comodidad y estabilidad en marcha, cargas dinámicas del tráfico.
- Resistencia a la rodadura (consumo de carburante).
- Deterioro de los vehículos.
- Reflexión luminosa.
- Evacuación de agua superficial.

Estos aspectos funcionales se asocian a una textura y regularidad superficial del pavimento-véase tabla 1-. Fuente (Cirera, 2010).

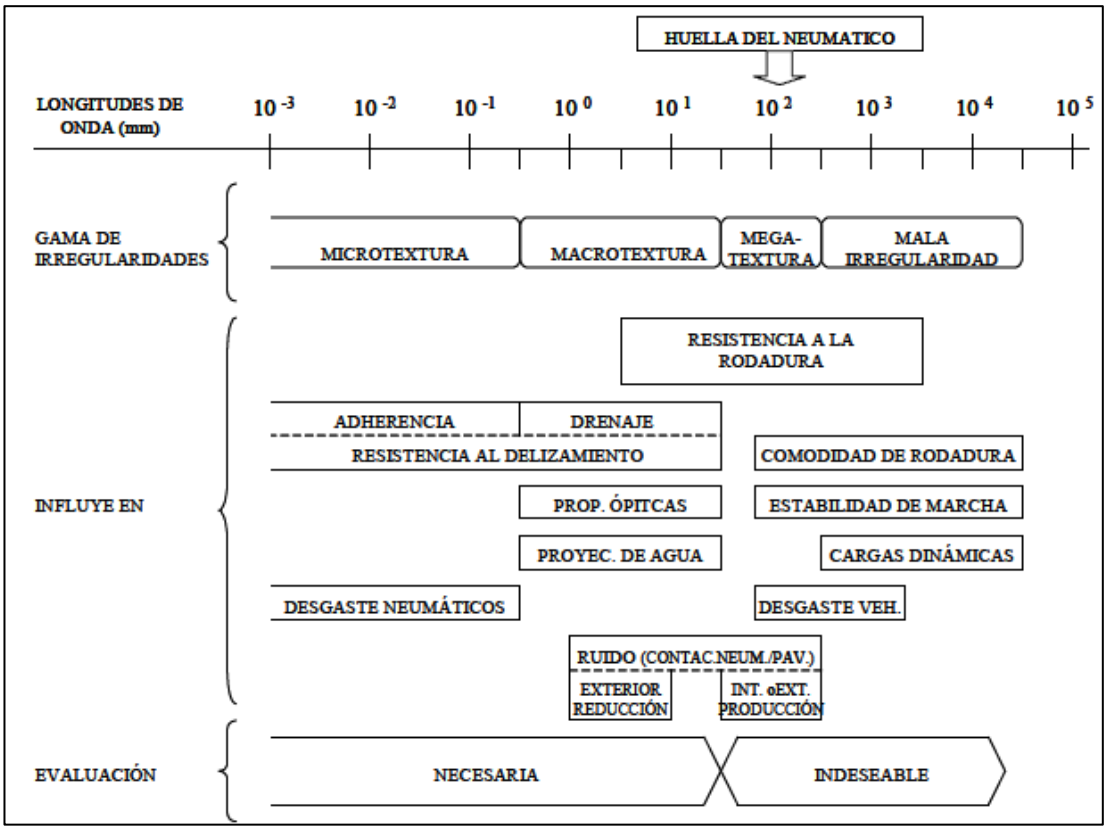


FIGURA 4. Incidencia de las características superficiales sobre las cualidades funcionales del firme según textura y longitud de onda. Fuente (Cirera, 2010).

En la tabla anterior se muestra la incidencia de dichas características sobre las cualidades funcionales del firme. En ella se establece una gama de irregularidades en función de las longitudes de onda (microtextura, macrotextura, mega-textura y mala irregularidad) y su influencia en adherencia, drenaje, comodidad de rodadura…etc.

De esta forma se establece una clasificación con 4 grupos de textura:

- Macrotextura: La macrotextura de un pavimento es la desviación que presenta su superficie con respecto a una superficie plana de dimensiones

características en sentido longitudinal comprendidas entre 0,5 y 50 mm (correspondiente a la longitud de onda de textura obtenida con bandas de un tercio de octava entre 0,5 y 50 mm). La amplitud entre picos de la macrotextura varía normalmente entre 0,01 y 20 mm. Este tipo de textura es la que presenta longitudes de onda del mismo orden que los dibujos de los neumáticos.

- Microtextura: La microtextura de un pavimento es la desviación que presenta su superficie con respecto a una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal inferiores a 0,5 mm (correspondiente a la longitud de onda de textura obtenida con bandas de un tercio de octava con ondas de no más de 0,4 mm). La amplitud entre picos suele variar entre 0,001 y 0,5 mm. Este tipo de textura es la que hace al pavimento más o menos áspero, pero normalmente es tan pequeña que no puede observarse a simple vista.
- Megatextura: La megatextura de un pavimento es la desviación que presenta su superficie con respecto a una superficie plana de dimensiones Características en sentido longitudinal entre 50 y 500 mm (correspondiente a la longitud de onda de textura obtenida con bandas de un tercio de octava con ondas entre 63 y 500 mm). La amplitud entre picos suele variar entre 0,1 y 50 mm. Este tipo de textura es la que presenta longitudes de onda del mismo orden que el neumático en el contacto con el pavimento (a menudo originadas por baches u ondulaciones).Fuente (Izquierdo, curso 2016-2017).
- Los defectos de la regularidad superficial se manifiestan mediante ondas de mayor longitud debidas a la puesta en obra (extensión, compactación, etc.), a deformaciones del firme bajo el tráfico o deformaciones de la explanada. Estas irregularidades afectan a la comodidad de la rodadura por las oscilaciones que producen, aumentan el consumo de combustible e influyen en la estabilidad de los vehículos.

3.1.C. PARÁMETROS ESTRUCTURALES.

Los parámetros estructurales nos permiten definir la capacidad portante y estructural de las diferentes capas que componen el firme, su estado interno. Se pueden resumir en deflexiones y degradaciones superficiales.

- Deflexión: Este parámetro mide la respuesta del firme ante las cargas de tráfico que soporta a lo largo del tiempo. Se mide con los deflectógrafos, con los curviámetros o con los deflectómetros de impacto; en España estos últimos son los más comunes, ya que con ellos se puede medir la deflexión máxima producida en el firme por carga o eje patrón de vehículo (13 toneladas en nuestro país). Se suele medir la deflexión con curviámetros o deflectómetros de impacto que ofrecen el valor puntual de la deflexión en comparación con la deflexión patrón (viga Benkelman) (Sitecal, 19/06/2017). Como resultado obtenemos un deflectograma-véase figura 5-.

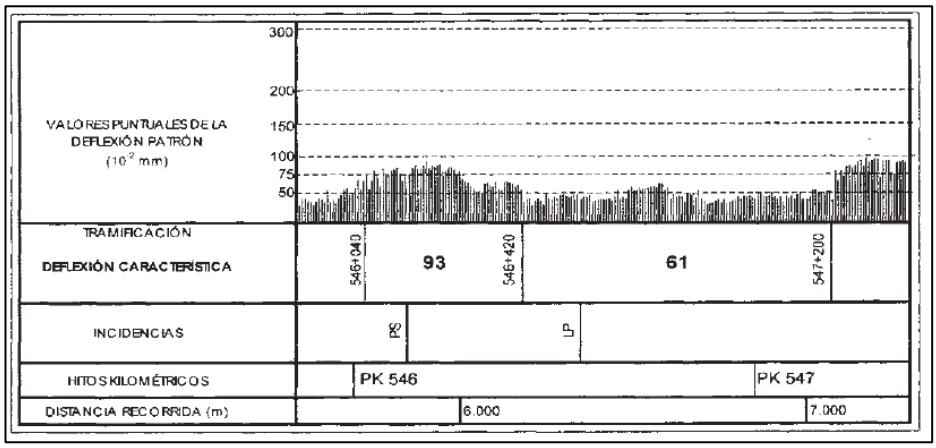


FIGURA 5. Ejemplo de deflectograma. Fuente (Instrucción de carreteras, 2003)

- Los espesores de capa: El conocimiento de estos y de los tipos de capas que forman el firme, es uno de los aspectos más importantes a la hora de estimar la capacidad portante de un pavimento. Hoy en día se utiliza el georádar como método más utilizado.

La pérdida de capacidad portante puede asociarse tanto a las capas de mezcla bituminosa como a las granulares. La interacción de los efectos de la fisuración con la lluvia puede acelerar el proceso de forma importante. Cuando la fisuración se hace visible en la superficie de la carretera, una gran parte de la capacidad portante de la

capa superficial se puede haber perdido. Dicho de otra manera, cuando la fisura aparece, el daño ya está hecho y gran parte de la capacidad portante se ha perdido.

¿Cómo se puede evitar que esto suceda? Realizando auscultaciones y determinando, por ejemplo, las deflexiones.

3.1.D. AGENTES DE DETERIORO

Las características de una carretera se van degradando según el paso del tiempo, siendo varios los factores que influyen en este proceso, pudiendo dividirse en dos tipos: aquellos que están relacionados con las características propias del firme (como pueden ser los materiales utilizados y los espesores), estos son los factores pasivos del proceso; siendo los factores activos los principales causantes del deterioro (el tráfico y los factores ambientales).

Estos últimos son complejos de definir, ya que dependen de múltiples factores, por ejemplo el tráfico está relacionado con el número de ejes, la carga por cada uno de ellos, la velocidad, etc. La carga por eje transmite al pavimento presiones horizontales y verticales que se traducen en los siguientes tipos de fallo:

- Fisuración por fatiga.
- Desprendimientos de gravillas o pulimento de los áridos.
- Deformaciones permanentes.
- Hundimiento de gravillas.
- Baches y peladuras.

Además de esto, no se puede obviar la importancia de los factores ambientales, que contribuyen de manera negativa a la capacidad portante del firme (como pueden ser las variaciones diarias y estacionales de temperatura, las heladas, la lluvia, el aire, combustible, aceite, etc.).

Estos factores no siempre son tomados en cuenta en el dimensionamiento y conservación de los firmes, pero ayudan a provocar:

- La desenvuelta de las mezclas.
- La fisuración por esfuerzos térmicos.
- La fisuración y degradación superficial por el efecto del hielo.

- La pérdida de capacidad portante de la explanada en épocas de deshielo o lluvia.
- Los posibles deterioros en invierno por acción de fundentes químicos, etc. Fuente (Alarcón, 2009).

3.1.E. DETERIORO EN FIRMES BITUMINOSOS.

Para obtener más información se puede consultar (Alarcón, 2009) y (Escaceda, 2011). De forma general, puede decirse que un firme flexible sometido al paso repetido de vehículos pesados, sufre una serie de deformaciones en las capas de mezcla bituminosa que se transforman es esfuerzos de tracción. La acumulación de estos esfuerzos en dichas capas, da origen a la formación de microfisuras que con el tiempo fracturan todo el espesor del pavimento, debilitando su estructura y permitiendo el acceso del agua a las capas inferiores, lo que afecta su capacidad de soporte y permite la aparición de deformaciones permanentes en estas capas. Como consecuencia de todo lo anterior el firme deja de cumplir adecuadamente con su función.

Esta es una descripción resumida del proceso de deterioro general que presentan los firmes flexibles, sin embargo, existen una gran cantidad de fallos que se pueden presentar a lo largo de su vida de servicio. En primer lugar podemos mencionar los fallos superficiales que afectan principalmente las características funcionales de los firmes y que normalmente no disminuyen su capacidad de soporte.

3.1.F. FALLAS SUPERFICIALES.

En los pavimentos ejecutados con mezclas bituminosas se pueden producir unas fallas que se encuentran en la superficie, de tal forma que se vean afectadas las características iniciales de la carrera, en cuanto a drenaje, regularidad superficial, contacto de la rueda con el terreno, de tal forma que el servicio prestado a los usuarios es peor.

3.1.G. FISURACIÓN PIE DE COCODRILO.

Es un agrietamiento que se produce en toda la superficie de rodadura, de tal forma que se llega al resultado que observamos-véase figura 6-.

FIGURA 6. Fisuración pie de cocodrilo. Fuente (Alarcón, 2009).

En un principio este tipo de fisuración es originada por la fatiga, es típico en firmes formados sobre bases no muy fuertes o insuficientemente compactadas.

El fenómeno puede terminar en destrucción de algunas zonas del pavimento, cuyo origen tiene lugar en desprendimientos de la capa superficial del firme. Cuando se llega a este punto, se sabe con un grado de certeza alto que es debido a deficiencias estructurales de la base. Debemos tener en cuenta la rapidez con la que evoluciona el problema, es decir, procesos como este que evolucionan de manera lenta son debidos a la fatiga y al envejecimiento del firme, y si por el contrario evolucionan de una forma más rápida, es posible que sea debido a deficiencias en del drenaje o en la estructura de dicho firme.

3.1.H. FISURACIÓN EN BLOQUE.

Este tipo de fisura es parecida a la anterior, pero se produce de manera más amplia-véase figura 7-, sus casusas pueden ser el mal dimensionamiento del firme, por no haber previsto bien el tráfico que pasa por dicho tramo de carretera o puede deberse a que las capas no se han pegado de manera correcta, en especial la de mezcla bituminosa con la granular, en este último caso las capas no trabajan de manera conjunta y aunque en general el firme trabaje de manera correcta, la fatiga llega antes para la capa que está aislada del resto.

FIGURA 7. Fisuración en bloque. Fuente (Alarcón, 2009).

3.1.I. FISURACIÓN LONGITUDINAL.

Este tipo de fisura toma forma de manera longitudinal-véase figura 8-, se debe principalmente a movimientos de las capas de firme en dirección horizontal, ya sea en la base, sub-base o explanada. Son consecuencia de cambios en el volumen de agua, ya sea por congelamientos y deshielo, también pueden producirse grietas longitudinales consecuencia de importantes asientos en un terreno cercano a la carretera. Otro motivo puede ser la falta de capacidad portante y que ésta fisura sea el inicio de una fisuración pie de cocodrilo, la falla principal comienza a ramificarse formando el tipo de falla anteriormente citado.

FIGURA 8. Fisuración longitudinal. Fuente (Alarcón, 2009).

3.1.J. FISURACIÓN TRANSVERSAL.

Las fisuras transversales pueden ser ocasionadas por el paso del tráfico o por otro tipo de causas, principalmente por asientos de terraplenes, por fisuración térmica, por el reflejo de fisuras de capas profundas cementadas, por defectos de extendido, etc.-véase figura 9-.

FIGURA 9. Fisuración transversal. Fuente (Alarcón, 2009).

3.1.K. HUNDIMIENTO DE LA SUPERFICIE.SURCOS.

Es debida a cargas excesivas, a cargas repetidas, a la rotura de partículas o la consolidación de la explanadas, el ancho del surco suele ser mayor al del neumático-véase figura 10- tiende a ser más profundo cuanto más profundo se localiza el problema que lo genera. En general lo que provoca en sí, el hundimiento es el aumento de la compacidad debido a los hechos relatados al inicio del párrafo.

FIGURA 10. Hundimiento de la superficie. Fuente (Alarcón, 2009).

3.1.L. FALLAS POR CORTANTES.

Como su propio nombre indica, son producidas por esfuerzos cortantes en la explanada, en la sub-base o en la base, que es lo más común. En este caso el problema se manifiesta en forma de surcos de la misma dimensión que un neumático.

3.1.M. CONSOLIDACIÓN DEL TERRENO DE CIMENTACIÓN.

Dejando de lado los espesores y el comportamiento estructural del firme, la consolidación de terrenos de cimentación puede producir la distorsión del firme.

Las deformaciones de la sección transversal pueden llegar a producir grietas en sentido longitudinal. Se pueden producir agrietamientos en forma circular, marcando lo que podría ser la cabeza de la falla.

3.1.N. FALLAS POR PRESENCIA DE AGUA EN EL FIRME.

Éste fenómeno suele producirse en aquellas zonas de temperaturas bajas en las cuales tiene lugar una acumulación de nieve durante el invierno, ya que en el momento que llega el deshielo de esa acumulación de nieve lleva consigo unos grandes depósitos de agua a ambos márgenes de la carretera, también puede producirse en zonas muy lluviosas o en carreteras con un drenaje insuficiente.

Debido al exceso de agua, se produce una degradación de la capa de rodadura, originada por la pérdida de cohesión de las capas de mezclas bituminosas que es consecuencia de los movimientos excesivos del pavimento que tienen lugar al producirse una debilitación de las capas de firme.

Hemos descritos numerosos tipos de fallas que pueden producirse en una carretera y cómo afectan estas a los usuarios de la misma, no cabe duda que es totalmente necesario desarrollar una política eficiente de conservación de carreteras, el siguiente punto trata precisamente de esto, de cómo de importante es la conservación de carreteras, la importancia de gestionar de la manera más eficiente posible los recursos, relatando también las técnicas de conservación utilizadas en España.

3.1.O. CONSERVACIÓN Y REHABILITACIÓN DE FIRMES.

Una vez creada la infraestructura, hay que realizar una serie de actividades de conservación que cumplan dos objetivos generales. El primero de ellos se dirige a asegurar una circulación segura, fluida y cómoda, de manera que los costes globales de transporte sean lo menores posible, y el segundo trata de la preservación del valor patrimonial de las carreteras, que forman parte de la riqueza de un país.

Según (Alarcón, 2009) las actuaciones de conservación y rehabilitación de los firmes y pavimentos se dirigen a tres objetivos particulares:

- Mantener una adecuada resistencia al deslizamiento de la superficie del pavimento que proporcione una seguridad suficiente a los vehículos.
- Conservar una regularidad superficial acorde con el trazado de la vía y con las velocidades normales de recorrido, de manera que la rodadura sea cómoda para el usuario.
- Asegurar una resistencia estructural suficiente para el tráfico que ha de soportar la carretera.

Esas tareas de conservación se pueden dividir en: i) *tareas de conservación propiamente dichas*, en las cuales las modificaciones que se hagan no modificarán de manera importante la misma, en este tipo de clasificación se incluyen las actuaciones que se realizan de manera periódica y que tienen como objetivo evitar la aparición de deterioros, se conoce como conservación preventiva; ii) las que se realizan lo más rápido posible una vez que los deterioros se han producido, es la llamada *conservación curativa*, esta a su vez se puede dividir en operaciones localizadas, en deterioros puntuales y en operaciones generales, de mayor longitud. Las actuaciones ordinarias de conservación que se dan con más frecuencia son: bacheos, sellado de grietas y juntas, fresados localizados, eliminación de exudaciones, etc.

No se deben olvidar las *rehabilitaciones*, son actuaciones de carácter extraordinario, su objetivo no es otro que restaurar las condiciones iniciales del estado de un firme, pueden ser superficiales o estructurales, éstas últimas se llevan a cabo mediante un refuerzo del firme, esto consiste en extender sobre el firme antiguo varias capas de firme nuevo para aumentar la capacidad portante del mismo.

En ocasiones los deterioros de las capas antiguas son tan grandes que conviene eliminarlos, por esa razón resulta conveniente fresar una o varias capas de firme.

Los materiales que sean fresados, en principio deben ser llevados a vertederos, pero tienen el problema que traen consigo numerosos problemas ambientales, es por esto que surge el reciclado de firmes, cuyo objetivo no es otro que el aprovechamiento de los materiales y conseguir realizar una rehabilitación de la manera más eficiente posible. El reciclado es una técnica de rehabilitación que consiste en la reutilización de los materiales procedentes de los firmes que ya han sido usados, se puede llevar a cabo in situ o en central, en frío o en caliente, los más usados son los explicados a continuación.

3.1.P. RECICLADO EN FRÍO IN SITU.

En el caso del reciclado en frío in situ debemos realizar operaciones tales como:

- Fresado de las capas superiores del firme, quizás se realice una pequeña aportación de áridos.
- Se añade a los materiales fresados, de conglomerantes y emulsiones bituminosas.
- Mezcla de los materiales anteriormente citados, de forma que obtengamos una mezcla con un alto grado de cohesión.

A medida que disminuimos la dosificación aumente el espesor reciclado y que en el caso del cemento se consigue el mayor espesor reciclado-véase tabla 1-. Con estos reciclados se reducen al mínimo el ruido y la contaminación atmosférica, pues los tres primeros procesos tienen lugar en las cámaras de fresado y de mezcla.

Ligante o conglomerante	Emulsión Bituminosa			Cemento
Clase	I	II	III	IV
Dosificación	4-7%	3-5%	2-4%	3-6%
Firme que se recicla	Pavimento bituminoso (< 5 cm) + base granular	Pavimento bituminoso (< 10 cm) + base tratada o no	Mezclas bituminosas	Firmes degradados
Espesor reciclado	8-15 cm	8-15 cm	5-15 cm	20-35 cm
Objetivos	Estabilización y regularización del firme		Regeneración del ligante	Formación *in situ* de una base tratada

TABLA 1. Clasificación de los reciclados de áridos en frío. Fuente (Alarcón, 2009).

FIGURA 11. Recicladora en frío. Fuente (De La Llave, curso 2016-2017.)

Se trata de unas máquinas fresadoras, mezcladoras, extendedoras-véase figura 11-, que requieren de una potencia elevada, pero que permiten reciclar unos espesores importantes con grandes rendimientos y con una buena regularidad superficial. El proceso es el siguiente (De La Llave, curso 2016-2017) -véase figura 12-.

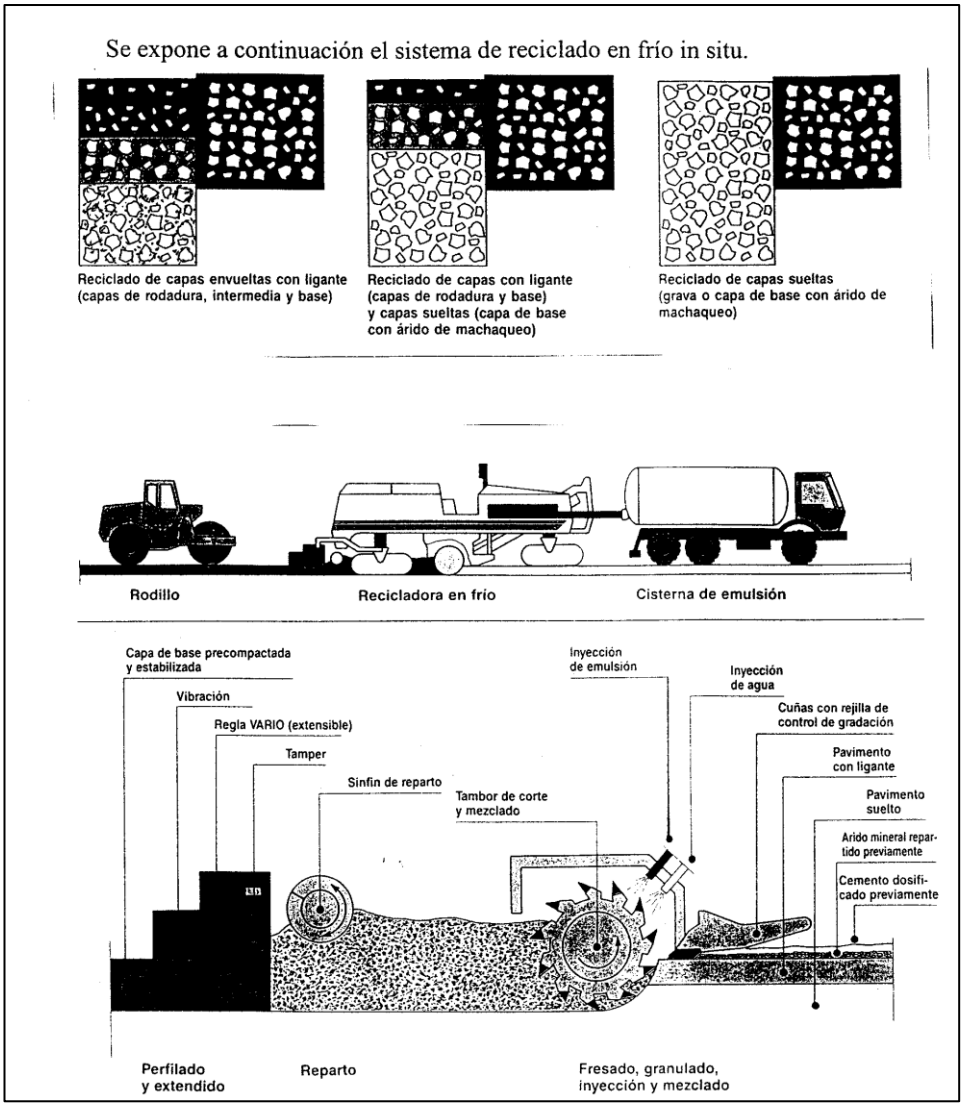


FIGURA 12. Proceso y máquinas relativas al proceso de reciclado frío in situ. Fuente (De la Llave, curso 2016-2017).

3.1.Q. RECICLADO EN CALIENTE IN SITU.

En este tipo de reciclado destacan los procesos de:

- Termorreperfilado (sin materiales de aportación).
- Termorregeneración (con una cierta cantidad de materiales de aportación).
- Remezclado (con aportación de mezcla bituminosa nueva que se mezcla con el preexistente).(Alarcón,2009)

Para renovaciones superficiales se utilizan el termorreperfilado y la termorregeneración, el remezclado es únicamente utilizado en rehabilitaciones estructurales. Para realizar estas operaciones se utilizan grandes máquinas-véase figura 13-.Esta máquina realiza de una sola vez todas las operaciones: calienta el pavimento, lo levanta, separa el material si fuese necesario, aporta el material nuevo, incluso una mezcla homogénea de los nuevos materiales, así como una extensión y precompactación (Alarcón, 2009).

FIGURA 13. Tren de reciclado in situ en caliente. Fuente (Alarcón, 2009).

3.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL GEORADAR.

3.2.A. INTRODUCCIÓN E HISTORIA DEL GEORADAR

Este apartado está fundamentado de manera general en (Conyers and Goodman, 1997) y (Daniels, 1996) entre otros de carácter más específico. El georádar es un método de investigación geofísica, las técnicas geofísicas son usadas ampliamente para conocer la estructura del terreno y sus propiedades, cada una de ellas se basa en el diferente comportamiento de las ondas mecánicas y los campos eléctricos o magnéticos en función de las características del subsuelo (Del Río and Serrano, 2014).

El georádar está basado en la emisión de impulsos electromagnéticos de muy corta duración (entre 1 ns y 10 ns) en la banda de frecuencias de UHF-VHF (normalmente entre 8 MHz y 2,6 GHz). La técnica de georádar se basa en el principio de reflexión de ondas electromagnéticas que se propagan en un medio. Fuente (Pellicer, 2012).

Parece una definición muy complicada y abstracta, pero el funcionamiento no es tan difícil de comprender. Se dispone de dos antenas (una emisora y otra receptora) en principio están separadas a una distancia fija, de tal forma que una emite ondas y otra las recibe, de forma que dependiendo de la velocidad de la onda y de las discontinuidades que encuentre, nos dará un tipo de información u otro, que se reflejará en el radargrama correspondiente, esto es la forma en que el georádar vuelca la información de lo que se está observando. Debemos tener en cuenta la profundidad a la que trabajamos y que nivel de precisión necesitamos en nuestro estudio ya que dependiendo de ello elegiremos una antena u otra.

La técnica GPR es una técnica no destructiva, de edad corta, pues hasta la década de los 70 no se obtiene un desarrollo completo del método. Al principio se utilizó principalmente para geología y la glaciología, pero rápidamente se incorporó al ámbito de la construcción.

El campo de aplicación del georádar es muy amplio-véase tabla 2-, ya que es utilizada por multitud de empresas en varios campos de aplicación (empresas constructoras, de telefonía, compañías eléctricas, etc.). Esto unido a que es un ensayo no destructivo, es decir que no ocasiona daño alguno, con toma rápida de datos y alta resolución lo convierten en una herramienta muy útil y potente.

Las aplicaciones más usuales son:

Campo de aplicación	Uso
Ingeniería civil	**Localización de canalizaciones y tuberías**, cavidades, estructuras metálicas, definición de estructura de hormigón armado, **espesores de firme**, etc.
Medio-ambiente	Localización de depósitos enterrados, fugas, contaminantes, acuíferos ,etc.
Arqueología	Localización de objetos, restos y asentamientos urbanos, etc.
Geología y geotecnia.	Caracterización y localización de fallas superficiales y estratigrafía glaciar.

TABLA 2. Campo de aplicación del georádar. Fuente (elaboración propia).

3.2.B. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

La radiación electromagnética (EMR) sólo puede ser observada cuando interactúa con la materia y está afectada por las propiedades eléctricas .y magnéticas de los materiales con los que entra en contacto.-véase figura 14-

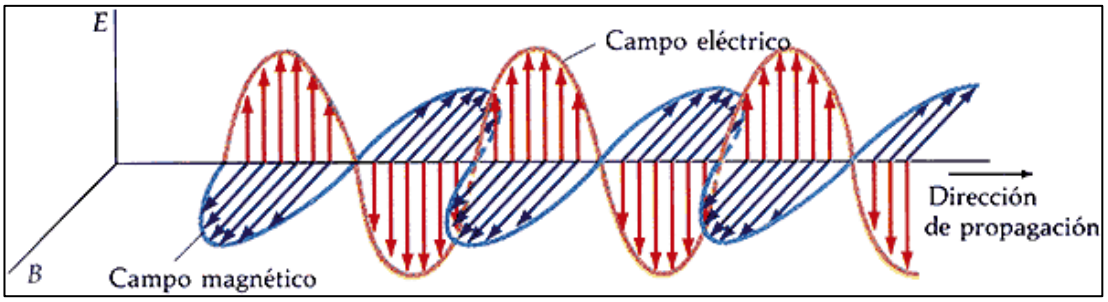


FIGURA 14. Esquema de una onda EM viajando a través de un medio. Fuente (Pellicer, 2012).

Citando a (Pellicer, 2012) los parámetros electromagnéticos (conductividad, permitividad dieléctrica y permeabilidad magnética) son los que definen un medio al paso de una onda electromagnética. También cabe destacar los fenómenos que se llevan a cabo en la propagación de las ondas electromagnéticas:

– Reflexión y refracción:

Este fenómeno tiene lugar cuando la energía electromagnética alcanza una discontinuidad en el medio. Cuando se utiliza el georádar, el ángulo de reflexión es muy pequeño, además si se trabaja en un medio no magnético, la expresión con la que podemos trabajar es-véase figura 15-.

$$R = \frac{\sqrt{\varepsilon_{r1}} - \sqrt{\varepsilon_{r2}}}{\sqrt{\varepsilon_{r1}} + \sqrt{\varepsilon_{r2}}}$$

FIGURA 15. Ecuación 1 Reflexión y refracción. Fuente (Pellicer, 2012).

Dónde:

R, (coeficiente de reflexión), porcentaje de energía reflejada respecto de la energía incidente.

De esta expresión se puede deducir que cuanto más diferencia haya entre las constantes dieléctricas de ambos medios, mayor será el coeficiente de reflexión y por tanto habrá más contraste entre los medios, lo que lleva a un percepción más clara y por tanto, un trabajo mucho mejor

– Fenómenos asociados a la propagación de la onda en medios materiales:

Dentro de los parámetros que influyen en la propagación de la onda en el medio: permitividad dieléctrica, conductividad y permeabilidad magnética, se le añade uno nuevo, la frecuencia de emisión que, a diferencia de los anteriores, depende del aparato utilizado.

También se debe tener en cuenta que en la propagación de esa onda, se producen pérdidas de energía, esta pérdida puede ser consecuencia de varios factores, como por ejemplo la pérdida producida en la reflexión y la refracción.

Como se ha comentado anteriormente la velocidad de la onda cambia de unos materiales a otros, en ese sentido se incorpora la siguiente tabla que recoge un amplio listado de las velocidades y otras características importantes de los materiales relativas a las investigaciones mediante georádar -véase tabla nº 3-.

Material	Constante dieléctrica	Conductividad(S/m)	Velocidad (m/ns)	Atenuación (dB/m)
Aire	1	0	0.3	0
Agua destilada	80	0.01	0.033	0.002
Agua natural	80	0.5	0.033	0.1
Agua del mar	80	30,000	0.01	1,000
Arena seca	3-5	0.01	0.15	0.01
Agua mojada	20-30	0.1-1.0	0.06	0.03-0.3
Tierra caliza	4-8	0.5-2	0.12	0.4-1
Pizarra	5-15	1-100	0.09	1-100
Cieno	5-30	1-100	0.07	1-100
Arcilla	4-40	2-1,000	0.06	1-300
Granito	4-6	0.01-1	0.13	0.01-1
Sal (seca)	5-6	0.01-1	0.13	0.01-1
Hielo	3-4	0.01	0.16	0.01
Hormigón	6-30	1-10	2.2-11.2	-
Asfalto	3-8	0.1-1	13.4-17.3	-

TABLA 3. Velocidades y diferentes características de los materiales relativas a las investigaciones con georádar. (Gómez, 2008) y (Fundamentos georádar, 25/08/2017).

3.2.C. COMPONENTES DEL GEORÁDAR.

Un GPR está compuesto de tres grupos esenciales: las antenas que son las encargadas de emitir y recibir las ondas electromagnéticas, la unidad central encargada de controlar estas emisiones y recepciones de las antenas y un ordenador encargado de registrar, almacenar y procesar la información recibida por las antenas y gestionadas por la unidad de control.

– Las antenas:

Su misión no es otra que emitir y recibir la energía que nos dará la información necesaria, hay diferentes tipos de antenas, según la direccionalidad pueden ser:

- Isotrópicas: La energía se transmite en todas las direcciones del espacio, sin tener una dirección que prevalezca. Son las antenas llamadas ideales.
- Direccionales: Tienen una dirección que prevalece.

Otra forma de clasificar las antenas es por la frecuencia de emisión. La longitud de onda del pulso emitido depende de esta frecuencia y de la velocidad de onda en el medio a través de la expresión:

$$\lambda = \frac{V}{f}$$

Dónde:

λ es la longitud de onda.

v es la velocidad de la onda

f es la frecuencia.

Cabe destacar que cuanto mayor es la frecuencia de emisión, mayor es su atenuación en su propagación. También hay que tener en cuenta que dependiendo de esa frecuencia, tendrán unas aplicaciones u otras-véase tabla 4-. (Pellicer, 2012).

Centro de frecuencia	Profundidad de penetración	Aplicaciones típicas
2600 MHz	a 0.4 m	Evaluación hormigón
2000 MHz Palm	a 0.4 m	Evaluación hormigón
1600 MHz	a 0.5 m	Evaluación hormigón
1000 MHz	a 0.6 m	Evaluación hormigón
900 MHz	0-1 m	Evaluación hormigón, Detección huecos, Arqueología
400 MHz	0-4 m	Detección huecos, Arqueología, Ingeniería, Medioambiente.
270 MHz	0-6 m	Ingeniería, Geotécnica
200 MHz	0-9 m	Geotécnica, Ingeniería, Medioambiente
100 MHz	2-15 m	Geotecnia, Ingeniería, Minería
16-80 MHz	0-50 m	Geotécnica
2.0 GHz	0-.75 m	Espesor de pavimento y evaluación estado de carreteras
1.0 GHz	0-.9 m	Carreteras y evaluación de puentes

TABLA 4. Diferentes antenas con sus diferentes usos típicos. Fuente (Pellicer, 2012).

También se pueden diferenciar entre: Monoestáticas (en la cual existe solo una antena, que hace tanto de emisora como de receptora) y Biestática (en la que existen dos antenas, una receptora y otra emisora). Dentro de los dos grupos comentados anteriormente se pueden dividir en dos tipos distintos: Apantalladas (que están envueltas con un escudo que no permite el paso de ondas residuales) y sin apantallar.

– Unidad central:

Es en la unidad central donde se realiza el control y la coordinación de las antenas, también se puede realizar un pequeño tratamiento de la señal y lleva implementado un programa que informático que puede realizar el procesado de los radargramas, tratamiento de la imagen, contraste, inversión en caso de haberse equivocado en el sentido, realizar un 3D, etc. La unidad central está conectada al monitor donde hay varias opciones para variar la forma en que se visualizan los datos, traza, colores o tonos de gris, etc.

– Accesorios:

Dentro de este apartado incluiremos los complementos para la visualización (impresoras, pantallas, programas, etc.), almacenamiento y accesorios para situar los perfiles (marcadores: que sirven para marcar el inicio y el fin del perfil y odómetros: que casi siempre van conectados a las antenas, marcando con más precisión la distancia del perfil. (Pellicer, 2012).

3.3. APLICACIONES DEL GEORÁDAR.

El GPR es utilizado de distintas formas en la evaluación y análisis del estado de una carretera, los más usuales son: determinación de espesores de capas del firme flexible, localización de tuberías de drenaje, determinación de zonas a reforzar el pavimento, etc.

3.3.A. ESPESOR DE PAVIMENTO DE HORMIGÓN.

Los firmes de hormigón se pueden determinar a partir de tomas de testigos, cada 300 metros aproximadamente, pero tiene los inconvenientes de que hay que efectuar agujeros y es un método lento. No hace falta mencionar la importancia que tiene esta medida para estimar la capacidad portante del pavimento. El GPR se ha utilizado en multitud de proyectos para determinar el espesor del citado firme, la mayor dificultad reside en el insuficiente contraste entre el hormigón y el material de la base. (Aguilera, 2013).

Agencia	Fecha del estudio	Objetivo de medición	Aplicación	Tipo de pavimento	Conclusiones
TexDOT	1992-1993	Medición de capas Humedad de la capa base	Evaluación del pavimento	Flexible	GPR mide el espesor con un 5% de error.
TexDOT	2000-2002	Contenido de huevos	Calidad	Flexible	GPR proporciona información sobre alto contenido huecos
Kansas DOT	1991	Espesor de capas	Evaluación del pavimento	Flexible	GPR mide el espesor con un 5-10% de error
Florida DOT	1991-1997	Espesor de capas Tipo de material de base	Gestión de firmes	Flexible	GPR puede ser usado para determinar espesor de firme y diferentes tipos de material que forman la capa base
Wyoming DOT	1994	General	Evaluación del pavimento	Flexible	El proyecto no consiguió los objetivos
Georgia DOT	2005	General	Evaluación del pavimento	Flexible	Detección de posibles áreas deterioradas
Idaho IDT	1996	-	Evaluación del pavimento	Flexible y rígido	El proyecto no consiguió los objetivos
Mn/ROAD	1994	Espesor de capas	Caracterización de la carretera	Flexible y rígido	GPR mide el espesor con un 2-5% de error
SHRP	1993	Deterioro del pavimento	Evaluación del pavimento	Flexible	El proyecto no consiguió los objetivos

TABLA 5. Recopilación de los diferentes estudios relacionados con el georádar. Fuente (Infraense, 2006). (1).

Agencia	Fecha del estudio	Objetivo de medición	Aplicación	Tipo de pavimento	Conclusiones
SHRP	1992	Espesor de capas	LTTP	Flexible	GPR mide el espesor con un 5-10% de error
Air Force	1992	Espesor de capas	Evaluación del contenido de aire	Flexible y Rígido	-
FHWA	1992	Espesor de capas	Gestión del pavimento	Flexible y Rígido	GPR mide el espesor con un 7.5% de error
FHWA	1992	Espesor de capas	Calidad de seguridad	Flexible	-
FHWA	2003	Espesor de capas	LTPP	Flexible	Gestión de datos
Missouri DOT	1991	Espesor de capas	Calidad de seguridad	Flexible y Rígido	GPR mide el espesor con un 2-5% de error
Arkansas HTD	2000	Espesor de capas	General	Flexible y Rígido	GPR mide el espesor con un 5-10% de error
Alabama DOT	1999	Espesor de capas	Gestión del pavimento	Flexible	GPR mide el espesor
North Dakota DOT	2003,2004,2005	Espesor de capas	Evaluación del pavimento	Flexible	En proceso
Virginia DOT	2004	Espesor de capas	General	Flexible	La precisión de medición del GPR disminuye cuanto mayor es la edad del pavimento
Kentucky DOT	2002	Espesor de capas	Calidad de seguridad	Flexible y Rígido	Aproximación del espesor con un erro de 0.25"
CalTrans	2002	Espesor de capas	Calidad de seguridad	Flexible	Aproximación del espesor con un erro de 0.10"
TRL (UK)	1994	Espesor de capas	General	Flexible	GPR mide el espesor con un 10% de error

TABLA 6. Recopilación de los diferentes estudios relacionados con el georádar. Fuente (Infraense, 2006)(2).

3.3.B. ESPESOR DE CAPAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE.

La determinación de los espesores de cada una de las capas de un pavimento flexible es una información muy valiosa para la evaluación del estado del firme, de hecho la mayoría de las empresas que han elaborado estudios relacionados con el georádar han tratado de determinar los espesores del firme-véase tabla 5 y 6-.

El georádar a medida que se desplaza por la superficie, registra los tiempos de reflexión de cada una de las capas que componen el firme flexible-véase figura 16-.

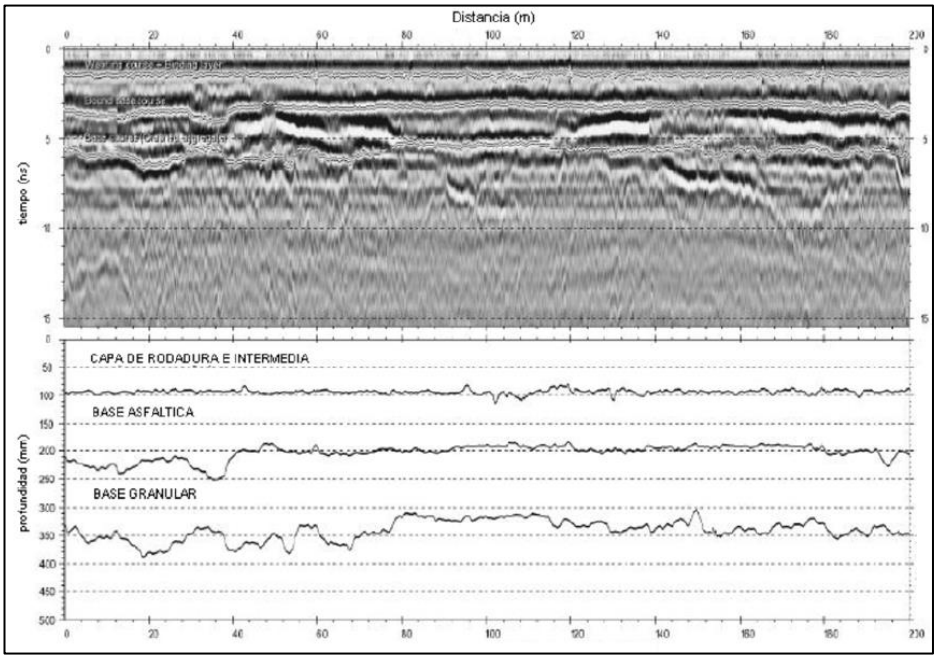


FIGURA 16. Lectura de un radargrama en un firme de una carretera. Fuente (Tavira, 2013).

3.3.C. LOCALIZACIÓN DE ARMADURAS.

El principio del GPR en la localización de armaduras es el hecho de que el acero es conductor y refleja casi toda la energía incidente. Conocer la situación y profundidad de las armaduras es de vital importancia para el correcto funcionamiento de la estructura, así sabiendo su posición podemos evitar su corrosión y deterioro. (Aguilera, 2013)

3.3.D. LOCALIZACIÓN DE HUECOS EN LOSAS DE HORMIGÓN.

El georádar ha sido utilizado como herramienta para determinar la pérdida de apoyo de las losas, antes de que el deterioro se eleva hasta un nivel avanzado, esta pérdida de apoyo es producida por el deterioro sufrido por estos firmes en las uniones de las losas. (Aguilera, 2013).

3.3.E. DETECCIÓN DE SERVICIOS ENTERRADOS.

El uso del GPR para detectar tuberías enterradas se basa en las diferencias entre las propiedades dieléctricas de la tubería y el suelo que le rodea. Esto significa que el acero o tubos de hierro fundido pueden ser fácilmente detectados. Sin embargo, si el tubo está hecho de un material que tiene propiedades dieléctricas cercanas a la de la tierra su detección puede ser difícil. (Aguilera, 2013)

Para comprender lo que nos dice el georádar, debemos tener en cuenta la forma en la que nos muestra los datos y qué nos quiere decir con ellos-véase figura 17-.

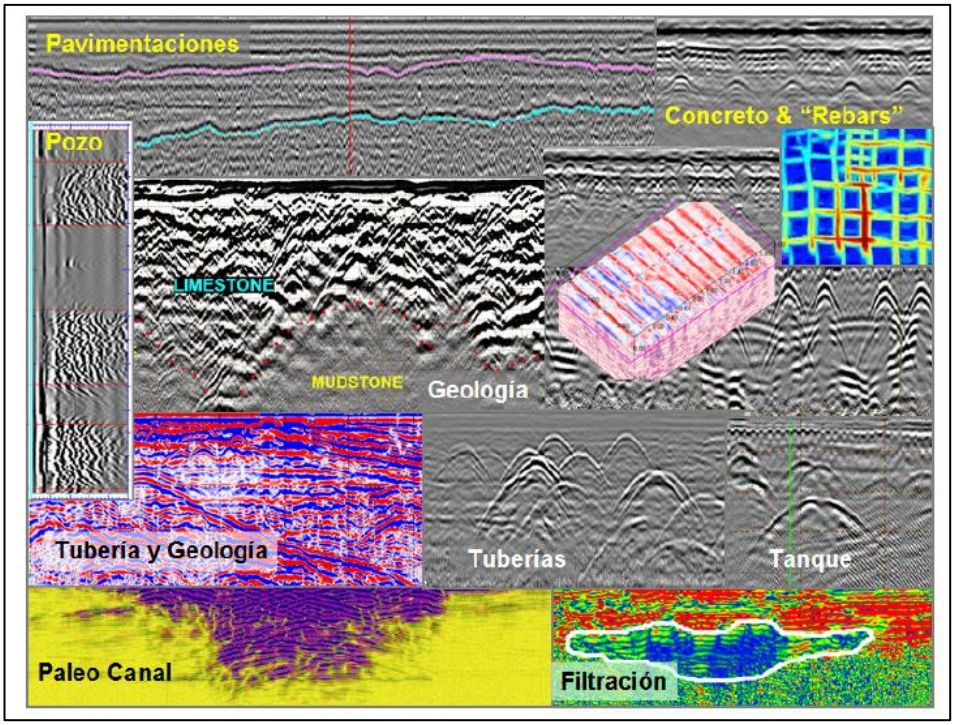


FIGURA 17. Ejemplo de radargramas para diferentes aplicaciones. Fuente (TRX consulting).

4. MATERIALES Y MÉTODO

4.1. OBJETIVOS.

- Conocer todos y cada uno de los componentes de los que consta el GPR, su funcionamiento, los elementos auxiliares que se utilizan durante el proceso de medición, los modos de conexión de cada uno de los componentes al aparato, el funcionamiento de la Unidad de Control ProEx, la configuración de las antenas, el control del Monitor XV; así como controlar los parámetros de medición que se deben emplear al realizar las medidas, etc.
- Elaborar un inventario al objeto de poseer un registro de todos los equipos que se encuentran a disposición de esta investigación, así como confeccionar un cuaderno de campo para facilitar la toma de datos.

Todo lo anteriormente expuesto: equipos, funcionamiento, etc., va a repercutir de manera importante en el método seguido para realizar las mediciones en el "TEST-SITE", en la prueba realizada en el campus y en el tramo de autovía en Coria.

4.2. FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS.

4.2.A. FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD DE CONTROL.

Este apartado está fundamentado en (Manual monitor, versión 1.5) y (Manual Control Unit, versión 2.0), así como la experiencia en campo. El ProEx originalmente tiene dos ranuras de módulo A y B, donde se pueden conectar tres tipos diferentes de módulos de antena (Óptica, Coaxial y HF).

Estos módulos se pueden combinar de diferentes maneras para los tipos de antenas que se vayan a ejecutar simultáneamente, cada antena con sus ajustes de configuración individuales.

Las conexiones en el módulo óptico se realizan a través de una manguera de cables de fibra óptica diferenciando las conexiones del T (Transmisor), el R (Receptor) y el D (Datos).

Este módulo tiene unos LED que al parpadear nos indica que a través de los conectores R y T las señales están saliendo del módulo. El que está en el conector D indica que el módulo, al parpadear, recibe datos.

Antenas compatibles: 100-800MHz en antenas apantalladas y 25-200MHz en no apantalladas.

El módulo de alta frecuencia (HF) se utiliza para las antenas de alta resolución, incluyendo las antenas HF con la opción EM.

Antenas compatibles: 1,2 GHz, 1,2 GHz + EM, 1,6 GHz, 1,6 GHz + EM y 2,3 GHz.

En cuanto a estos módulos, también tienen LED conectados a señales internas. Dado que los datos grabados se digitalizan dentro de la unidad, ningún LED nos indica los datos entrantes pero sí los R y T, que al parpadear nos indican que las señales están saliendo del módulo de la de 1,2 GHz.

4.2.B. FUNCIONAMIENTO DEL MONITOR.

Una vez encendido el monitor XV con el botón de encendido/apagado (On/Off) se usa el botón Turn-push de doble función (abajo a la derecha en el monitor) para controlar las mediciones, es como una especie de pequeña rueda que permite acceder a todas las opciones que nos permite realizar el georádar. Girando hacia la derecha o izquierda, se puede resaltar una selección dentro de cada menú y pulsando el botón se activa la selección. Se conecta a la Unidad ProEx.

Hay diferentes tipos de opciones diferentes dentro del monitor:

- "Proyect 2D": Se pueden crear perfiles (radargramas). Pueden ser marcados con Posiciones GPS, las coordenadas se muestran debajo del radargrama y se almacenan en un archivo con extensión .cor. Puede crear marcadores de superficie (para pozos de inspección, cables, árboles…) y de objeto (para objetos subterráneos), estos datos se almacenan bajo al extensión .mrk. Para elegir tanto las configuraciones de las antenas como el resto de parámetros de medición seleccionar y pulsar el botón ajustes de medición. Para comenzar con la lectura de cada radargrama se selecciona nuevo (New) y se presiona el botón "Turn-push", a medida que se completa cada perfil, presionar" Stop" para detener la medición y guardar los datos. Es importante tomar nota de los archivos en los que se guardan los datos. Estos archivos tienen una extensión de .rd3. Para apagar la unidad una vez que el trabajo haya terminado, pulsar

el botón salir (Quit) y después el de encendido/apagado (On/Off) del monitor.

- "3D Grid Project": Se miden áreas rectangulares limitadas para crear la exhibición 3D. Los datos pueden ser estudiados después por 2 Vistas: Vista superior y lateral. Cualquiera de las secciones X o Y se pueden seleccionar para el lado La vista y la vista superior muestran el corte Z en cualquier profundidad.
- "Objeto Mapper Project" consta de varios perfiles 2D que están posicionados por GPS.
- "Tomography Project " este tipo de medición es normalmente usada en las investigaciones de pozos.
- "Positioning Info" es el modo en el que se pueden medir distancias con la rueda y trabajar con GPS.
- "Work with Files" para copiar, borrar y guardar archivos previamente medidos en un pendrive.

4.3. CORRECCIÓN DEL NIVEL CERO.

También es importante establecer el nivel cero (que se expresa en nanosegundos) como la ubicación de la superficie del terreno, es decir, desde donde se inicia la escala de profundidad. Para obtener una escala de profundidad correcta, éste tiene que situarse en el principio de la representación del perfil de onda situado a la derecha del radargrama.

La ruta de corrección del nivel cero es la siguiente: botón ajustes de medición – parámetros de señal (Signal Parameters) – búsqueda de señal (Signal Search).

4.4. CONFIGURACIÓN DE LAS ANTENAS Y PARÁMETROS PARA LA REALIZACIÓN DE MEDIDAS.

- Ranura para indicar el módulo utilizado (Slot A o Slot B).
- Canal activa el modo de canal cruzado.
- Meas (en Yes cuando se usan los módulos).
- Antena para indicar el tipo de antena utilizada.

- Ventana de tiempo que define el total de la duración de la transmisión de la onda electromagnética.
- Velocidad que es la velocidad de movimiento de la onda electromagnética en el suelo.
- Modo de adquisición y la rueda se cambia dependiendo de cómo las mediciones deben ser recogidas, por tiempo o por distancia.
- Fuente da la opción donde se conectará la rueda del codificador que puede ser tanto al conector maestro (en el Unidad ProEx) o a la rueda integrada en una antena, que es conectada a una de las ranuras eligiendo la ranura correcta (Slot A o Slot B).
- La tabla da información cuando la unidad de control ProEx, trabaja con varias antenas, es decir, con varios módulos, en esta tabla se muestran todos los canales y ranuras diferentes que están activos.

4.5. ANTENA DE 500 MHz.

Para la configuración de las antenas se tiene que tener en cuenta que hay algunos parámetros que son ajustables, como la velocidad, pero hay otros que deben estar de una determinada manera para realizar la medida de forma correcta, esta es la que se utilizó el primer día de estudio en el "TEST-SITE" es la siguiente siguiendo el esquema del Monitor XV-véase figura 18-.

<table>
<tr><td>Slot: A</td><td>Channel: 1</td><td>Meas: Yes</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Antena: 500 MHz shielded</td><td>MATRIZ CON A Y B</td><td rowspan="7">OPTO-MODULE</td></tr>
<tr><td colspan="3">Time Window: 88,6 ns (4,52 m; 560 smp)</td></tr>
<tr><td colspan="3">Velocity: 100 m/us</td></tr>
<tr><td colspan="3">Acquisition Mode: Wheel</td></tr>
<tr><td colspan="3">Wheel type: Meas. Wheel 250-800</td></tr>
<tr><td>Point interval: 0,05 m</td><td colspan="2">Source: Master</td></tr>
</table>

FIGURA 18 Configuración del monitor con la antena de 500 MHz.

4.6. ANTENA HF DE 1200 MHz.

De forma análoga al anterior se presenta la configuración adecuada para la realización de medidas pero esta vez con la antena de 1200 MHz-véase figura 19-.

<table>
<tr><td>Slot: B</td><td>Channel: 1</td><td>Meas: Yes</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Antena: 1,2 GHz shielded</td><td>MATRIZ CON B SÓLO</td><td rowspan="6">HF-MODULE</td></tr>
<tr><td colspan="3">Time Window: 59,6 ns ; 8,02 m; 1008 smp)</td></tr>
<tr><td colspan="3">Velocity: 100 m/us</td></tr>
<tr><td colspan="3">Acquisition Mode: Wheel</td></tr>
<tr><td colspan="3">Wheel type: Meas. HF RTC minicart</td></tr>
<tr><td>Point interval: 0,01 m</td><td colspan="2">Source: Slot B</td></tr>
</table>

FIGURA 19. Configuración del monitor con la antena de1200 MHz.

4.7. PARÁMETROS DEL MENÚ HERRAMIENTAS.

Se utilizaron los que vienen por defecto.

4.8. INVENTARIO DEL MATERIAL ASOCIADO AL GPR.

Como se ha comentado anteriormente se realizó un inventario de todos los componentes que se tuvo a nuestra disposición durante la realización del trabajo de campo, este inventario se adjunta en el anexo nº 1 del presente documento.

4.9. CUADERNO DE CAMPO DEL "TEST-SITE".

Para la toma de datos en el "TEST-SITE" se realizó un cuaderno de campo con el objetivo de facilitar dicha toma de datos, se adjunta en el anexo nº 1 del presente documento.

4.10. ENSAYOS DESARROLLADOS EN EL "TEST-SITE".

4.10.A. INTRODUCCIÓN.

Se ha realizado un estudio en el banco de pruebas para el análisis del subsuelo GPR situado en la Escuela Politécnica de Cáceres, tomando como información base de partida la investigación presente en (Del Río, 2004).

4.10.B. OBJETIVOS.

Los objetivos son:

- Llevar a cabo una ampliación del estudio realizado en el lugar de ensayo por diferentes profesionales del Departamento de Física de la Escuela Politécnica de la Universidad de Extremadura, incluyendo una prospección en dicho lugar de ensayo y realizando un proyecto 2D y 3D con los perfiles obtenidos con su consiguiente procesamiento y el análisis de los radargramas conseguidos con el georádar, así como un levantamiento del "TEST-SITE" con el programa AutoCAD (versión 2012).
- Realizar unas mediciones en un lugar controlado, que nos sirvan como pruebas para comprobar la capacidad del aparato, evitar retrasos posteriores debido a la instalación y manejo del equipo y aprender a interpretar los radargramas y la forma en la que nos representa los diferentes objetos.

4.10.C. INFORMACIÓN DE PARTIDA.

La zona en la que se realizó la prospección con un Georádar MALA es el "TEST-SITE" de la Escuela Politécnica de la Universidad de Extremadura en Cáceres. Su sentido longitudinal es paralelo al sentido longitudinal del edificio de Servicios Comunes y con la orientación que se muestra en la Figura 20.

FIGURA 20. Ubicación Test-Site.

Según obra en la publicación (Del Río, 2004), se describe el diseño y construcción de un sitio de prueba de GPR, dicho lugar de ensayo tiene un área de 135 m^2 y unas dimensiones de 15 x 9 m, está relleno con capas de tres suelos de diferentes propiedades dieléctricas y en estas capas fueron alojados distintos objetos de diversos materiales y tamaños para la enseñanza e investigación con el georádar.

Tiene una profundidad máxima de 3 m y fue rellenado con capas de 1 m de espesor con diferentes características: arena, pizarra y granito. Durante la excavación y el llenado con los distintos suelos se introdujeron objetos de diferentes tamaños y propiedades dieléctricas a distintas profundidades para probar la capacidad del dispositivo GPR para detectarlos:

Se distinguen tres zonas:

– La zona 1 corresponde a una capa de arena de 15 x 9 x 1 m de espesor, en dicha capa se dispusieron los siguientes objetos colocados en el sentido longitudinal del "Test-Site" de derecha a izquierda y en el lado más próximo al edificio de servicios comunes:

  - Un tubo de acero de 10 cm de diámetro.
  - Una pared de granito de 60 cm de alto y 30 cm de espesor.
  - Un cable eléctrico de 1,5 cm de diámetro.

- Un tubo de PVC de 10 cm de diámetro.
- Un contenedor metálico de 52 cm de diámetro.

Los objetos tienen aproximadamente 2,5 m de longitud y se separaron del borde del sitio de prueba y entre sí, una distancia de 2,5 m para que no hubiese interferencias entre las diferentes hipérbolas en los radargramas.

– La zona 2 corresponde a una capa de pizarra de 15 x 6 x 1 m de espesor y se encuentra situada debajo de la zona 1 a 2 m de profundidad. En dicha capa se dispusieron los siguientes objetos colocados en sentido longitudinal (de derecha a izquierda) y en el medio del lugar de ensayo:
  - Un contenedor metálico de 52 cm de diámetro.
  - Un punto de basura (ladrillos, platicos y madera) de 3 m de longitud, 2 m de ancho y 0,5 m de espesor.
  - Un tubo de PVC de 31,5 cm de diámetro y 2,5 m de longitud.
– La zona 3 (situada debajo de las zonas 1 y 2) y a 3 m de profundidad corresponde a una capa de granito de 15 x 3x 1 m de espesor. En dicha capa se dispusieron los siguientes objetos colocados en sentido longitudinal (de derecha a izquierda) y en la parte más próxima a la carretera:
  - Un conducto de hormigón de 40 cm de diámetro y 2,5 m de longitud.
  - Un contenedor metálico de 52 cm de diámetro.

A continuación se muestran, tanto un croquis más de detalle elaborado para el presente TFG-véase figura 21-,como el esquema simple del “Test-site” realizado para su construcción en 2004 (Del Río, 2004)-véase figura 22- para más información consulte el anexo nº 2 del presente documento donde se muestra el plano completo.

4.10.D. ESQUEMAS “TEST-SITE”.

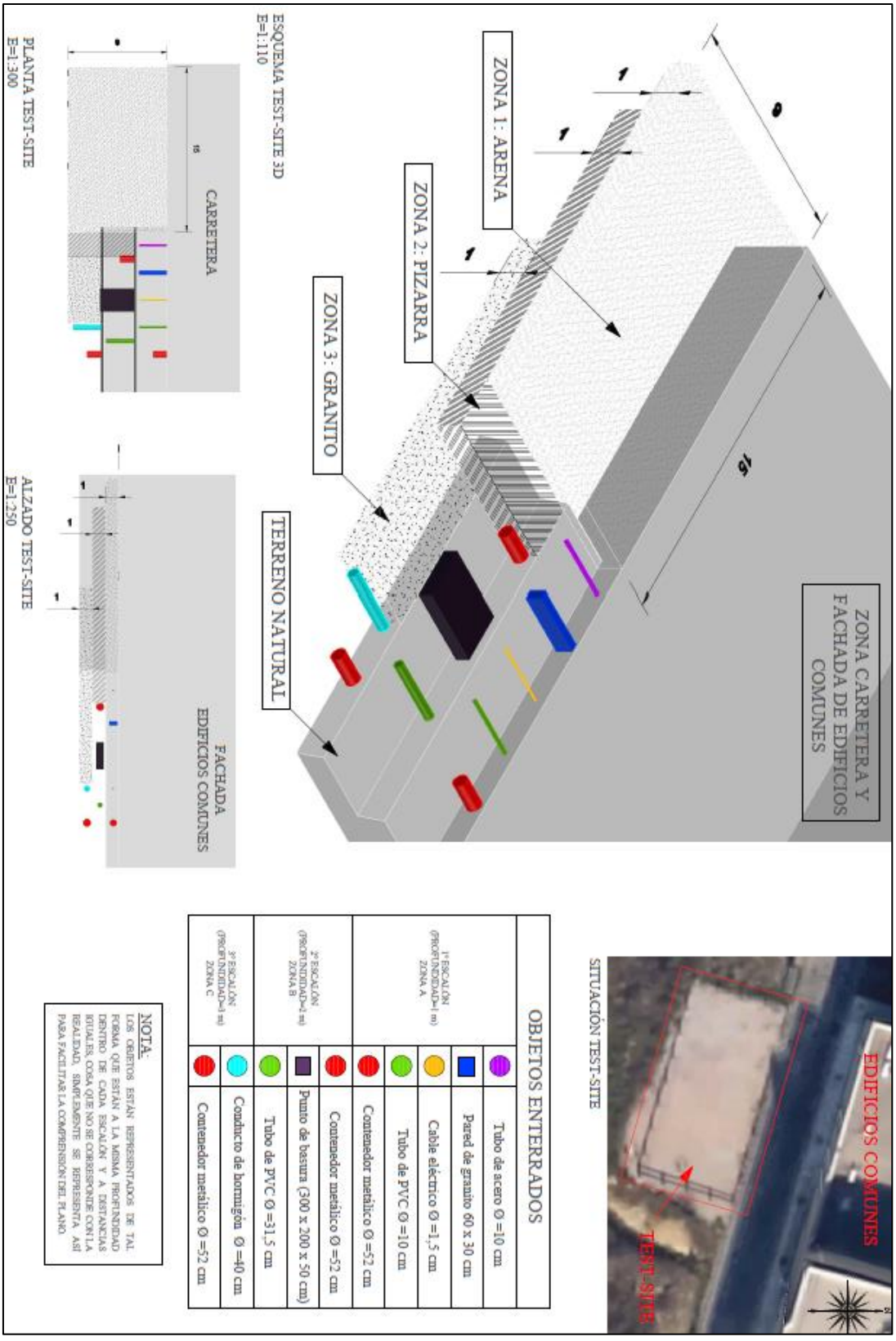
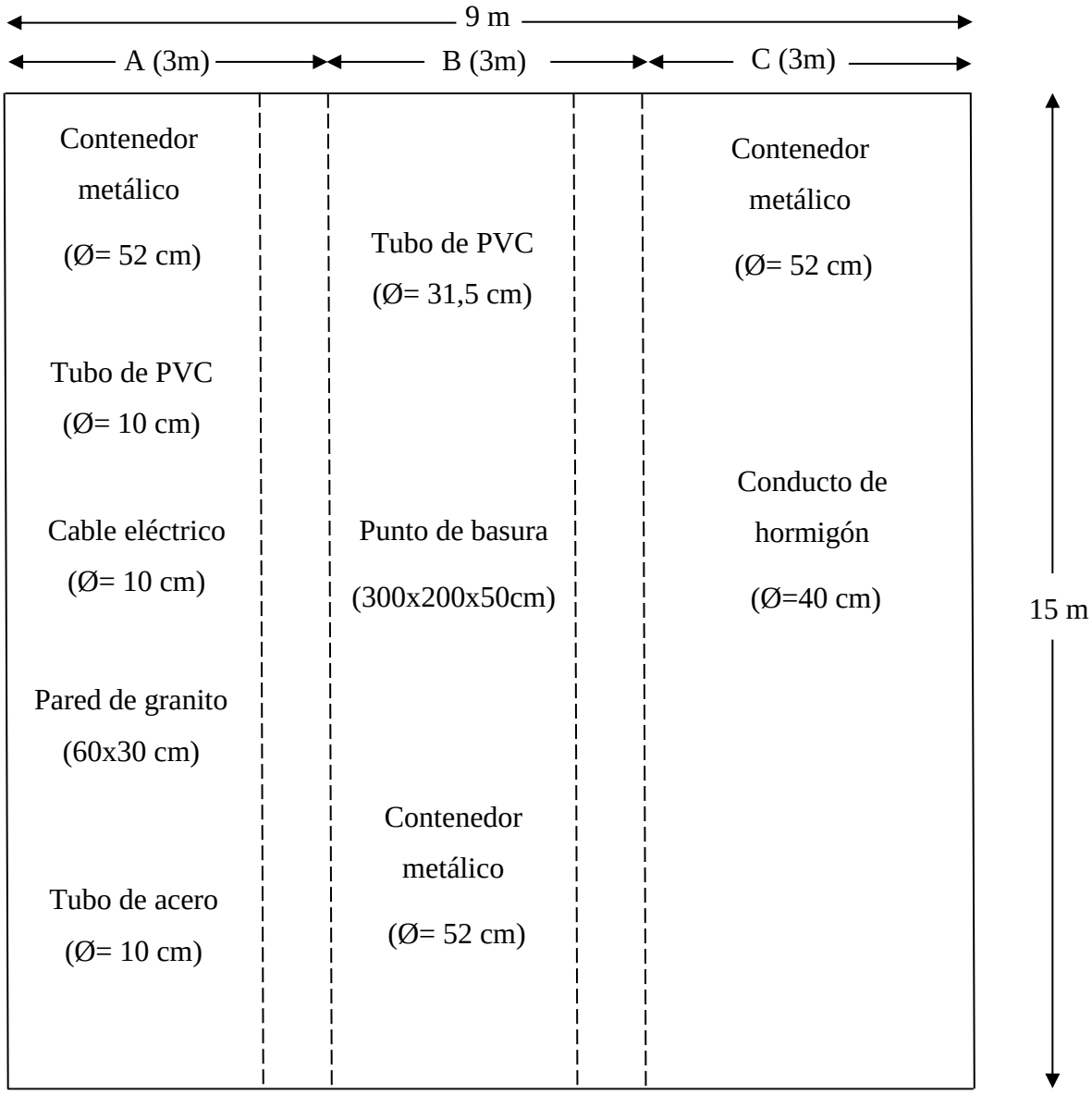
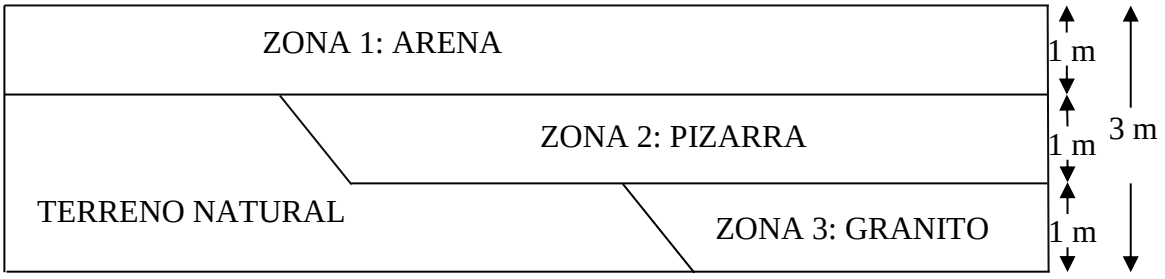


FIGURA 21. Figura del plano del “Test-site” llevado a cabo para el presente proyecto (Elaboración propia).



Planta "Test-site".



Sección transversal "Test-site".

FIGURA 22. Esquema simplificado del "Test-site" realizado para su construcción en 2004 (Del Río, 2004)

4.10.E. PROYECTO 2D.

En esta primera toma de datos para la obtención del proyecto 2D, se realizaron ocho perfiles en el sentido longitudinal del TEST-SITE de derecha a izquierda y situados a distancias de 1 m entre sí, utilizando primero la antena 500 MHz para después realizar el mismo número de perfiles y en el mismo sentido con la antena de alta resolución de 1200 MHz-véase figura 23-. Esta toma de datos tenía como objetivo realizar una comparación entre los radargramas obtenidos con cada una de las antenas y los radargramas contenidos en el artículo 'TEST-SITE para el análisis del subsuelo propagación de señal GPR'.

La primera obtención de datos con el georádar y usando la antena de 500 MHz se hizo realizando perfiles largos (longitudinales) de unos 14,40 m aproximadamente con Noroeste- Sureste, paralelos a la fachada del edificio de Servicios Comunes.

Se utilizó la configuración explicada anteriormente.

En la segunda obtención de datos con el georádar se usó la antena de alta frecuencia de 1200 MHz realizando el mismo número de perfiles largos (longitudinales) de la misma longitud aproximadamente, en el mismo sentido que el realizado anteriormente (Noroeste-Sureste) y con la configuración explicada anteriormente.

Hubo problemas durante esta toma de datos con la configuración de la antena de alta frecuencia de 1200 MHz, dando un error de medición, se observó que para que funcionase correctamente era necesario desmontar el módulo A y reiniciar el Monitor. El problema consistía en que no se fue capaz de conseguir que apareciera la matriz de la forma correcta, de tal forma que daba el error de medición.

El siguiente sondeo con georádar se realizó en una segunda visita al "Test Site" efectuando perfiles de derecha a izquierda en sentido transversal del lugar de ensayo y situados a distancias de 2 m entre sí, utilizando primero la antena 500 MHz para después realizar el mismo número de perfiles y en el mismo sentido con la antena de alta resolución de 1200 MHz. Cabe destacar que a modo de completar el estudio se hicieron 8 transversales con la antena de 500 MHz y 16 transversales con la de 1200 MHz, ya que al tener más resolución y menos campo de aplicación se creyó oportuno doblar el número de transversales y hacerlos cada 1 metro-véase figura 24-.

FIGURA 23. Mediciones longitudinales en TEST-SITE.

FIGURA 24. Mediciones transversales en TEST-SITE.

Una vez están explicados de un modo general el número de perfiles a realizar y sus características, a modo resumen se incorporan la tabla nº 7 y 8 con los aspectos más importantes citados anteriormente.

PERFIL	ANTENA (MHz)	Nº ARCHIVO	SENTIDO	LONGITUD (m)	RESOLUCIÓN (m)
1º LONG.	500	0182	LONGITUDINAL	14,2	4
2º LONG.	500	0183	LONGITUDINAL	14,2	4
3º LONG.	500	0184	LONGITUDINAL	14,2	4
4º LONG.	500	0185	LONGITUDINAL	14,2	4
5º LONG.	500	0186	LONGITUDINAL	14,2	4
6º LONG.	500	0187	LONGITUDINAL	14,2	4
7º LONG.	500	0188	LONGITUDINAL	14,2	4
8º LONG.	500	0189	LONGITUDINAL	14,2	4
1º TRANS.	500	0255	TRANSVERSAL	6,8	4
2º TRANS.	500	0256	TRANSVERSAL	6,8	4
3º TRANS.	500	0257	TRANSVERSAL	6,8	4
4º TRANS.	500	0258	TRANSVERSAL	6,8	4
5º TRANS.	500	0259	TRANSVERSAL	6,8	4
6º TRANS.	500	0260	TRANSVERSAL	6,8	4
7º TRANS.	500	0261	TRANSVERSAL	6,8	4
8º TRANS.	500	0262	TRANSVERSAL	6,8	4
1º LONG.	1200	0234	LONGITUDINAL	13,6	2,4
2º LONG.	1200	0235	LONGITUDINAL	13,6	2,4
3º LONG.	1200	0236	LONGITUDINAL	13,6	2,4
4º LONG.	1200	0237	LONGITUDINAL	13,6	2,4

TABLA 7. Resumen de las medidas realizadas en el "Test-site" (antena; sentido; archivo: longitud; resolución), (1).

PERFIL	ANTENA (MHz)	Nº ARCHIVO	SENTIDO	LONGITUD (m)	RESOLUCIÓN (m)
5º LONG.	1200	0238	LONGITUDINAL	13,6	2,4
6º LONG.	1200	0239	LONGITUDINAL	13,6	2,4
7º LONG.	1200	0240	LONGITUDINAL	13,6	2,4
8º LONG.	1200	0241	LONGITUDINAL	13,6	2,4
1º TRANS.	1200	0268	TRANSVERSAL	6,8	2,4
2º TRANS.	1200	0269	TRANSVERSAL	6,8	2,4
3º TRANS.	1200	0270	TRANSVERSAL	6,8	2,4
4º TRANS.	1200	0271	TRANSVERSAL	6,8	2,4
5º TRANS.	1200	0272	TRANSVERSAL	6,8	2,4
6º TRANS.	1200	0273	TRANSVERSAL	6,8	2,4
7º TRANS.	1200	0274	TRANSVERSAL	6,8	2,4
8º TRANS.	1200	0275	TRANSVERSAL	6,8	2,4
9º TRANS.	1200	0276	TRANSVERSAL	6,8	2,4
10º TRANS.	1200	0277	TRANSVERSAL	6,8	2,4
11º TRANS.	1200	0278	TRANSVERSAL	6,8	2,4
12º TRANS.	1200	0279	TRANSVERSAL	6,8	2,4
13º TRANS.	1200	0280	TRANSVERSAL	6,8	2,4
14º TRANS.	1200	0281	TRANSVERSAL	6,8	2,4
15º TRANS.	1200	0282	TRANSVERSAL	6,8	2,4
16º TRANS.	1200	0283	TRANSVERSAL	6,8	2,4

TABLA 8. Resumen de las medidas realizadas en el "Test-site" (antena; sentido; archivo: longitud; resolución), (2).

- Calibrado de los equipos.

Se debe realizar una calibración del equipo para asegurarnos que el equipo está bien configurado y que no tenemos errores groseros que puedan ocasionarnos dificultades en la interpretación, para ello nos metemos en "calibración", dentro de calibración, en "editar", previamente medimos la distancia que vamos a utilizar para la citada

calibración, medimos y nos fijamos en los pulsos por metros que han cambiado, guardamos y probamos otra vez para comprobar que todo está correcto.

- Filtrado y procesamiento de los radargramas.

Una vez obtenidos los radargramas en campo, con el fin de mejorar la visualización y la determinación de los objetos y zonas buscadas, se realiza un procesamiento básico de los radargramas con el programa Reflexw **(**Sandmejer, 2011). A continuación se muestra una tabla con los procedimientos y resultados obtenidos mediante la consecución de dicho procesamiento -véase tabla 9 y 10-.

PROCEDIMIENTOS
Primero, se debe importar el nombre del dato del formato Reflexw usando la opción file/import.
Dentro del menú de data import, se debe especificar el tipo de dato, la geometría y el formato de entrada y de salida.
También se puede especificar las opciones de trazado, las cuales están guardadas con el archivo importado.
Ahora estamos en condiciones de comenzar con el primer paso del procesamiento, abrimos el menú "Processing".
Seleccionamos el filtro dewow, este elimina la baja frecuencia. El parámetro del filtro de la ventana de tiempo controla la fuerza del filtro.
Pasamos a otra opción del procesamiento, la ventana "wiggle", la elección interactiva de la ventana wiggle puede ser utilizada para mejorar las determinaciones buscadas
Lo siguiente es la llamada "static correction", la seleccionamos y le decimos que lo haga de manera automática.
Aplicamos ganancia, jugamos con las dos opciones que tenemos de forma que tengamos una mayor información de lo que se nos muestra en el radargrama.
Con la opción "background removal" podemos eliminar las rayas horizontales con el objetivo de simplificar y focalizar el radargrama.

TABLA 9. Procesamiento de un radargrama mediante Reflexw. (Elaboración propia), (1).

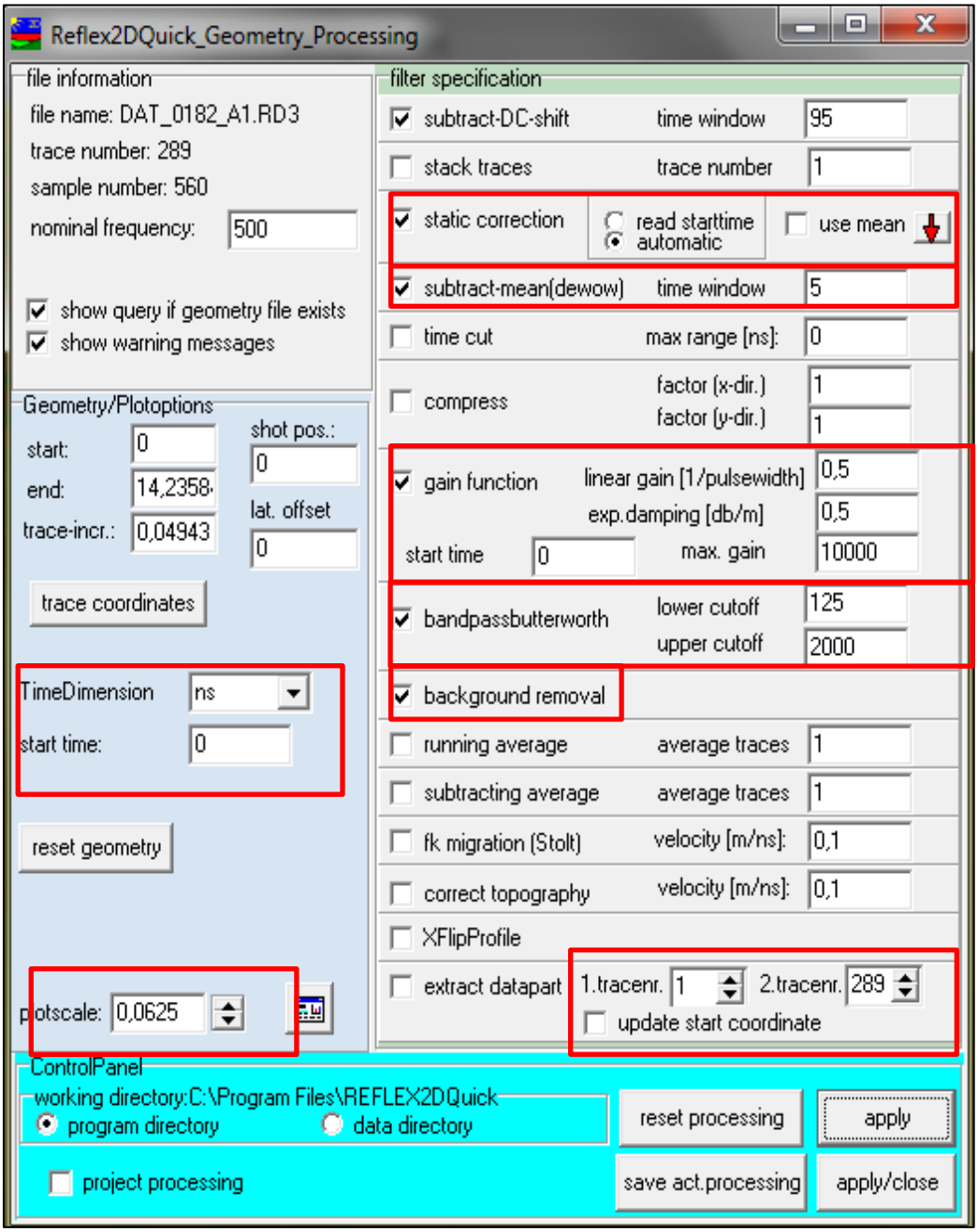
Podemos cambiar la escala de grises por diferentes gamas de colores, se utilizará una u otra en función de cual nos resulte más fácil a la hora de visualizar un determinado objeto o una determinada zona.
También podemos aumentar el contraste.
Por último también podemos hacer zoom en la zona que queramos.


TABLA 10. Procesamiento de un radargrama mediante Reflexw. (Elaboración propia), (2).

Ahora, para observar de verdad los cambios que se producen en dichos radargramas muestro una foto del antes y el después de dicho procedimiento, y de las diferentes posibilidades y aspectos del radargrama al final del tratamiento. Cabe destacar que se trata de la primera pasada longitudinal que se realizó en el "TEST-SITE" con la antena de 500 MHz, el nombre del archivo es "DAT_0182_A1.rd3"-véase figuras 25,26, 27, 28, 29, 30 y 31-.

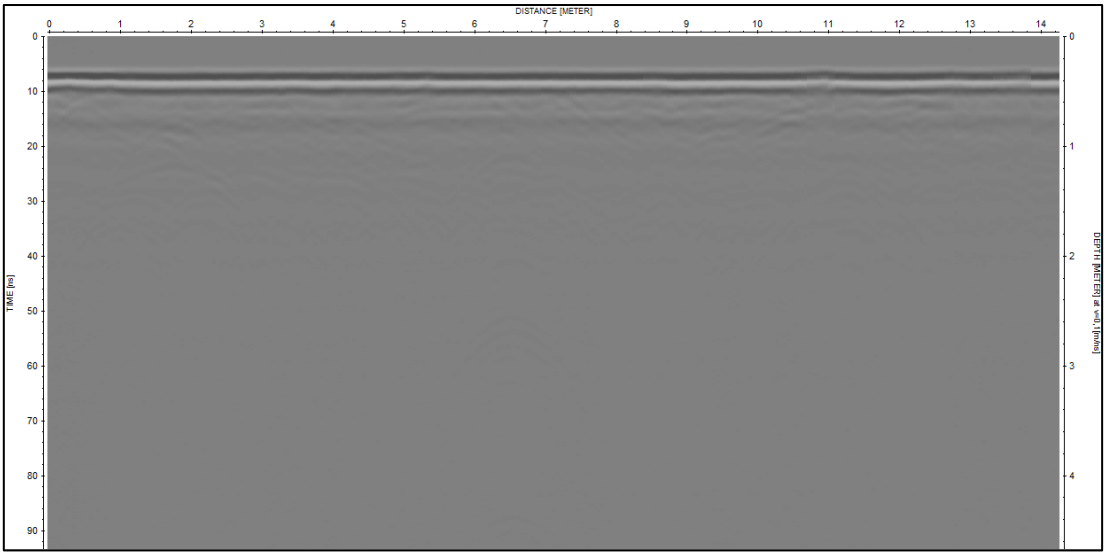


FIGURA 25. Imagen radargrama sin tratar.

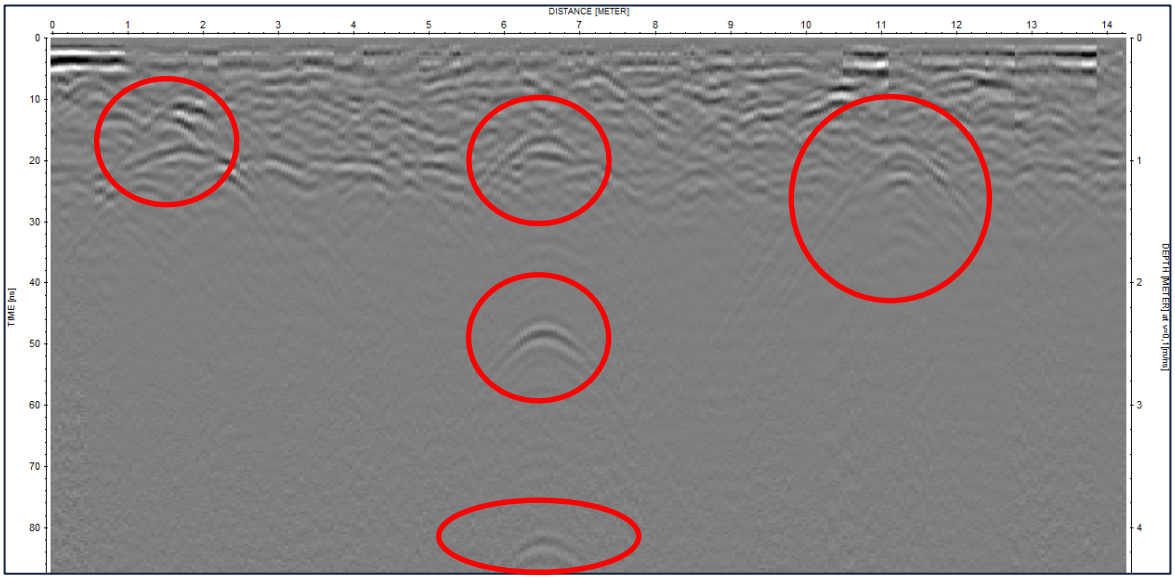


FIGURA 26. Imagen radargrama tratado con Reflexw, gama Gray 1.

Se observa la diferencia y vemos como aparecen las parábolas deseadas en el caso de tubos o similares, de esta forma hemos focalizado el radargrama sobre lo que queremos obtener llegando a una visión mucho más clara y concisa de los objetos, a continuación se muestra diferentes gamas de colores y de esta forma observaremos como va disminuyendo o aumentando la apreciación de estos objetos según la gama utilizada.

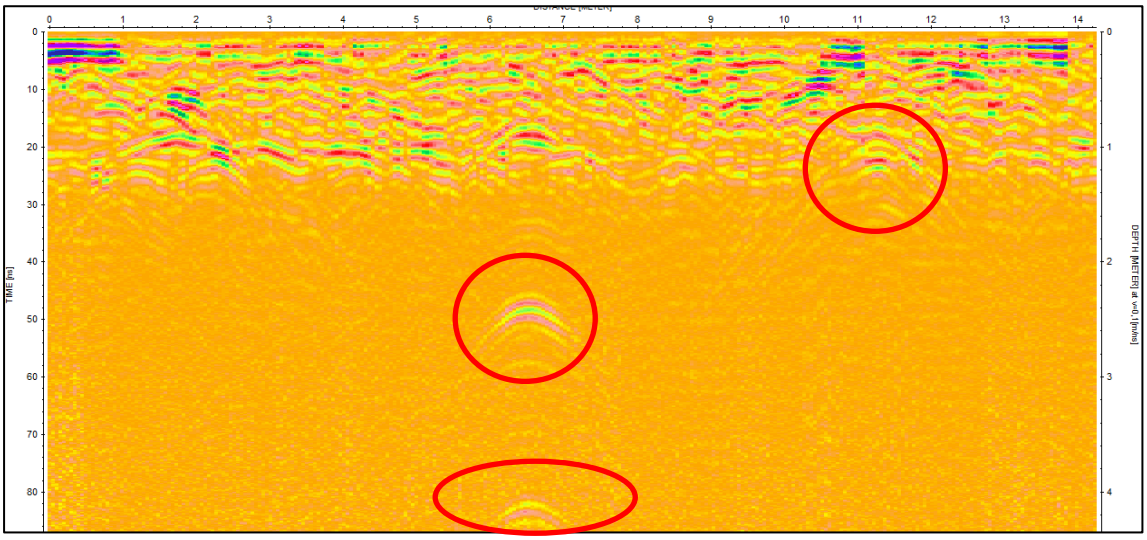


FIGURA 27. Imagen radargrama tratado con Reflexw, gama Rainbow 1.

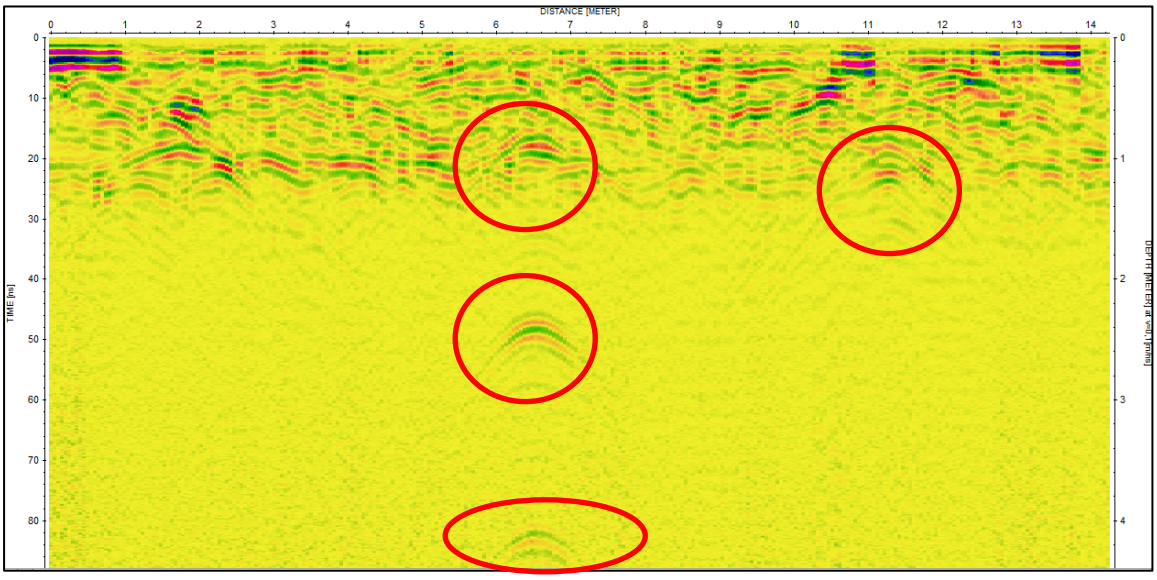


FIGURA 28. Imagen radargrama tratado con Reflexw, gama Rainbow 2.

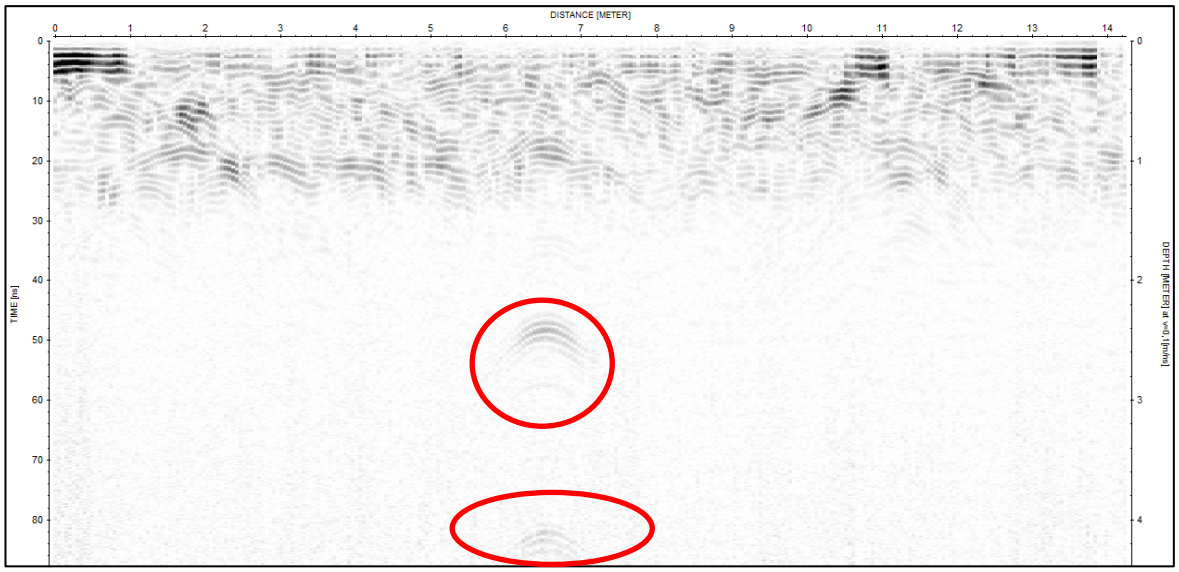


FIGURA 31. Imagen radargrama tratado con Reflexw, gama Gray 2.

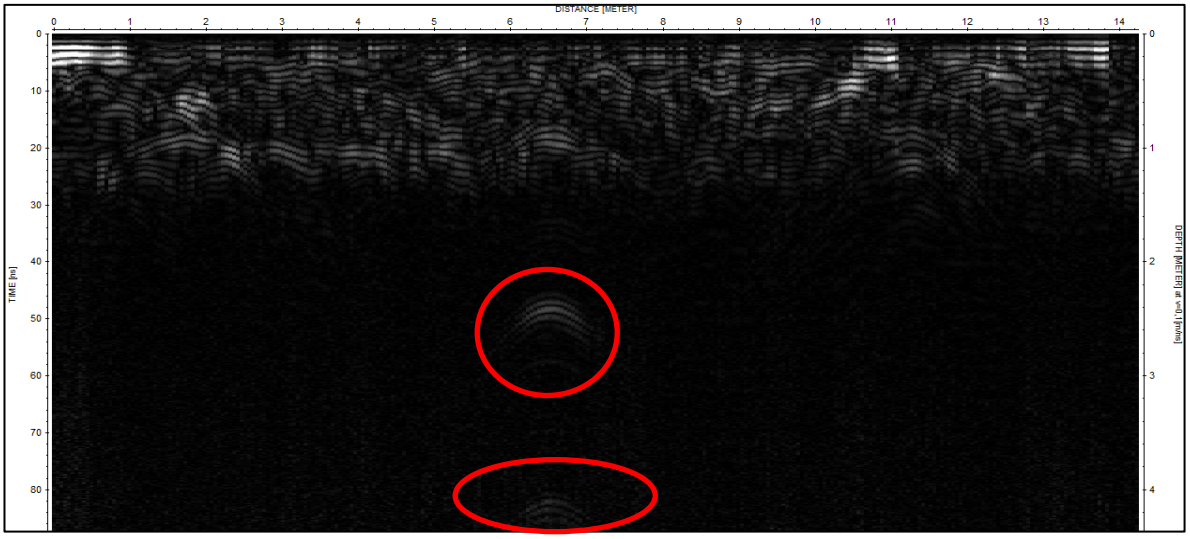


FIGURA 29. Imagen radargrama tratado con Reflexw, gama Gray 3.

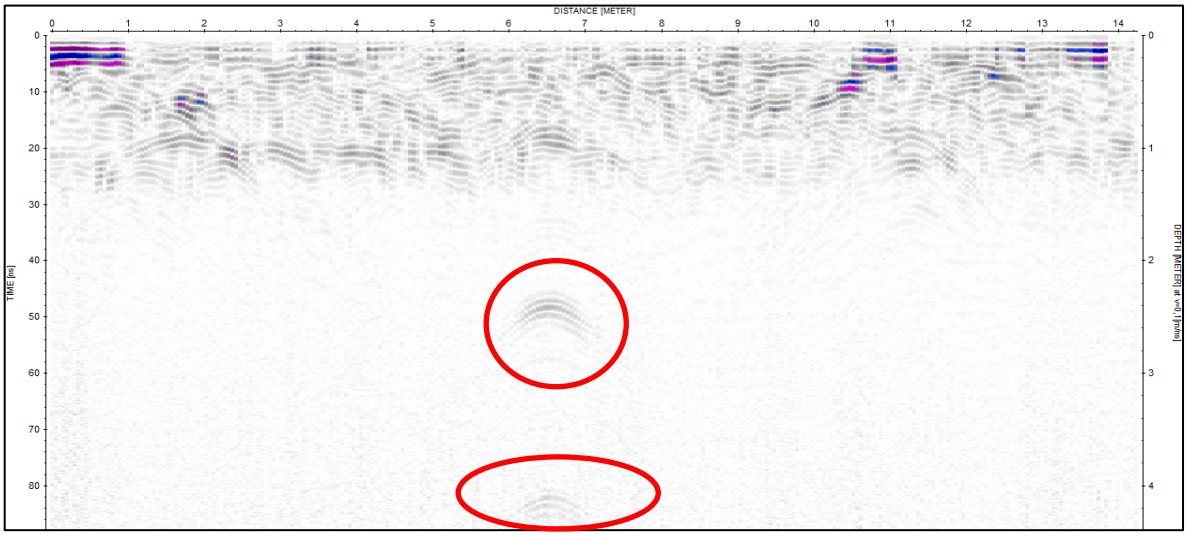


FIGURA 30. Imagen radargrama tratado con Reflexw, gama Blue-gray-red.

4.10.F. PROYECTO 3D.

Tras el proyecto realizado en 2D, a partir de esos datos, se pretende realizar un 3D, para ello se siguió dentro del manual de Reflexw, el apartado 0.9 “Introducción a la interpretación de datos 3D dentro de Reflexw”. (Sandmeier, 2011)

Dentro de esta parte del manual, hay diversas opciones para realizar el 3D, dependiendo de la forma en la que hayas realizado las mediciones, en ese sentido se eligió realizar un 3D sin interpolación (aunque se verá posteriormente que el programa realiza una especie de interpolación) a partir de líneas 2D paralelas, almacenadas como archivos separados, se debían cumplir las siguientes condiciones:

- Líneas 2D paralelas con un aumento de perfil fijo (incremento entre las diferentes líneas 2D) e idéntica coordenada de inicio.
- Traza fija.
- Cronometraje fijo.
- El mismo número de puntos por traza (idéntica diferencia de tiempo).
- El mismo número de trazas por línea 2D (ancho idéntico).

Una vez se tiene esto, se está en condiciones de comenzar a realizar el procedimiento descrito, con el programa 2D de Reflexw, donde se siguieron los siguientes pasos dentro del manual de Reflexw:

- Entrar en el módulo 2D-análisis de datos.
- Activar el archivo de opciones / importar.
- Elija las siguientes opciones dentro del menú de importación:
    - Tipo de datos: const. Offset (versión 2) o 3D-const.offset (desde la versión 3)
    - Profile Direction: dirección de las líneas 2D originales (introduzca x o y)
    - Profile Constant: dirección de coordenadas constante de las líneas 2D originales (introduzca y o x dependiendo de La dirección del perfil elegido).
    - X start: coordenada de inicio en dirección x.

- Y start: coordenada de inicio en la dirección y.
- X end, y end, z start, z end: no es necesario ingresar.
- Output format: Entero de 16 bits (por ejemplo, para datos GPR) o punto flotante de 32 bits para una mayor cantidad de datos (Por ejemplo, para datos sísmicos).
- Nombre de archivo: entrada manual.
- File name: cualquier nombre (por ejemplo, line_3d).
- Time Dimension: ns (datos GPR) o ms (sísmica datos).
- Secuencia de conversión: combinar líneas / disparos.
- Alinear: ingrese la distancia entre el Líneas paralelas 2D individuales.

– Active la opción Convertir a Reflexw: Los tiros deseados deben ser elegidos y Combinado automáticamente en un único archivo de datos que contiene todas las tomas.

Lo siguiente es, generar el archivo 3D a partir de las líneas paralelas formadas por Reflexw, nuevamente tenemos que satisfacer algunas condiciones:

– Líneas 2D paralelas con un incremento de perfil equidistante.

– Incremento equidistante de trazas.

– Incremento de tiempo equidistante.

– El mismo número de puntos por traza.

– Mismo número de trazas por línea 2D.

Una vez se satisfagan estas condiciones, se puede realizar un 3D siguiendo los siguientes pasos:

– Entrar en el módulo 3D-datainterpretation.

– Activar el archivo de opciones / Generar archivo 3D de archivos 2D.

– Elija las siguientes opciones dentro del menú Generar archivo 3D desde el menú de líneas 2D:

- 3D-filename: introduce cualquier nombre para el archivo de datos 3D

- Tipo de interpolación: líneas 2D equidistantes paralelas sin interpolación:
    - Elija ordenar por nombres de archivo u ordenar por coordenadas.
    - Line-increment: introduce el incremento entre las diferentes líneas 2D.

– Elija el camino de fichero deseado y active la opción load 2D-files.

Una vez hecho esto, se procede a la visualización del cubo en 3D. A continuación se muestra un ejemplo del cubo en 3D realizado a partir de los radargramas longitudinales, donde se muestra también los procedimientos y posibilidades que ofrece esta opción para la interpretación de los resultados.

Una vez se está en la opción 3D-cube del módulo 3D de Reflexw, para garantizar una adecuada presentación del cubo, se debe prestar atención a diversos comandos que aparecen en la parte izquierda de la zona de trabajo –véase tabla 11-.

Lo siguiente que se va a realizar una vez mostrado las capacidades que tiene esta opción es ponerlas en práctica, en este caso con las medidas realizadas longitudinalmente con la antena de 500 MHz, más concretamente se trata del radargrama número 0182, utilizado también para el ejemplo de tratamiento de los radargramas con el Reflexw.

El motivo de la elección de este radargrama es simple, además de que ya se ha utilizado, por tanto nos resulta más familiar, de ese modo es más fácil la compresión del mismo. También tiene que ver el motivo de que tenemos una reflexión del cable eléctrico que se encuentra aislada del resto, es decir que se identifica fácilmente, facilitando también la compresión del procedimiento mostrado.

Se mostrará el cubo por cortes individuales, que son los 8 longitudinales que se realizaron, el cubo completo con esa especie de interpolación de realiza el programa y lo utilizaremos para la identificación de la reflexión del objeto citado anteriormente.

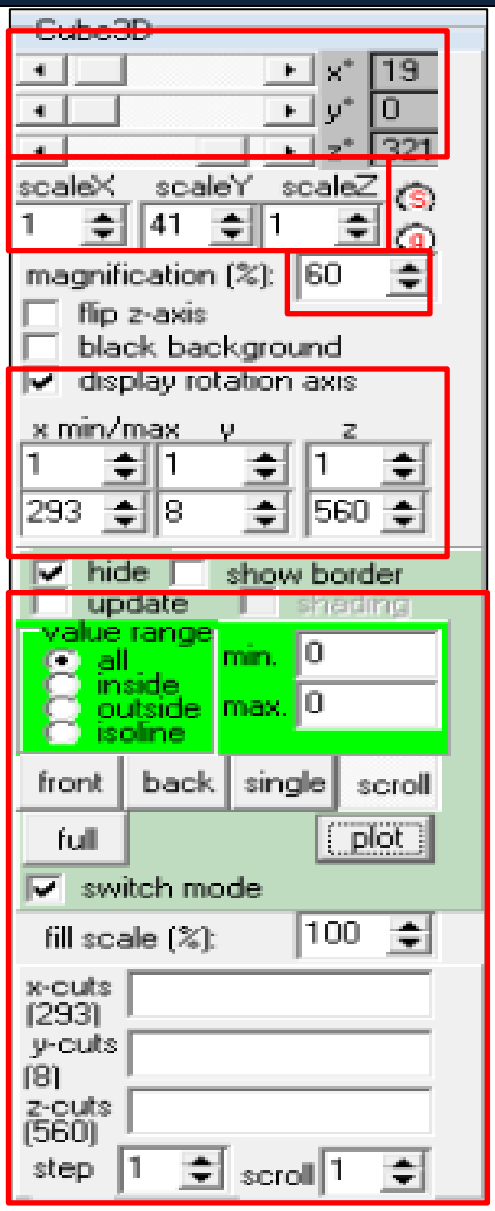
PROCEDIMIENTOS	
• Opciones para cambiar la vista del cubo, si se quiere ver desde distintas posiciones para ver un determinado objeto. • Se puede modificar la escala de cada eje, este caso se ha modificado la escala Y para una mejor presentación del cubo. • También se puede realizar una magnificación del cubo, por el mismo motivo, para mejorar la presentación del mismo. • Se muestran las trazas de cada eje, están correctas ya que vemos que en el Y salen 8, que son los 8 longitudinales que hemos metido. • Los comando que aparecen en último lugar corresponden a las diferentes formas de presentar los resultados, realizar cortes, presentar el cubo entero, buscar un determinado corte, seleccionarlo, etc.	

TABLA 11. Cuadro de trabajo del cubo 3D. Fuente (elaboración propia).

Ahora se muestra el cubo representado por los cortes, en este caso se muestra sólo el corte número 1 donde aparece la reflexión utilizada en el trabajo posterior-véase figura 32-.

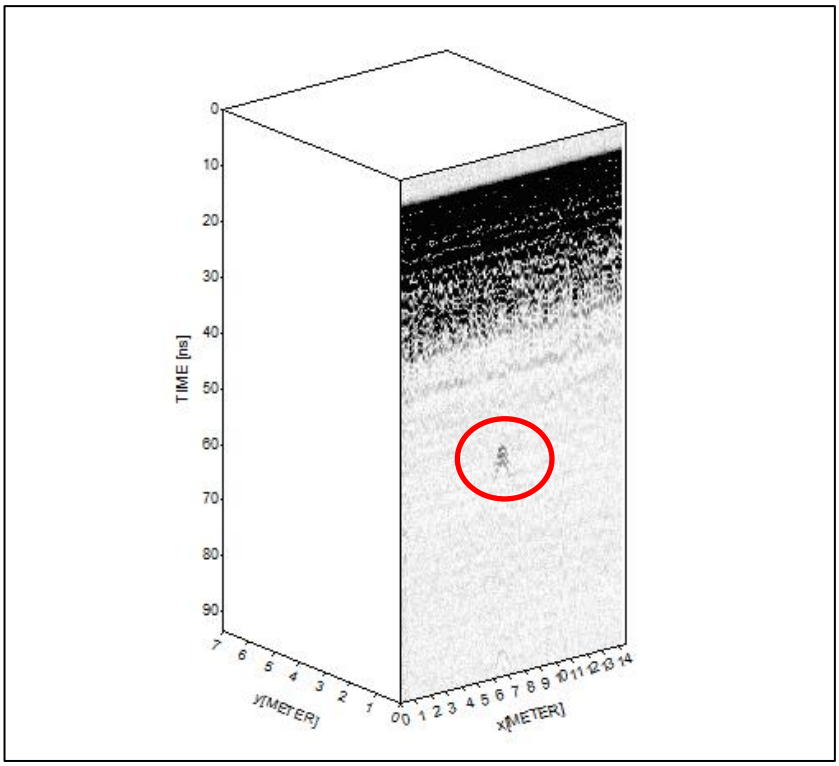


FIGURA 32. Longitudinal nº 1.

A continuación se muestra el cubo completo, el programa realiza una especia de interpolación, que en total da una 289 trazas-véase figura 33-.

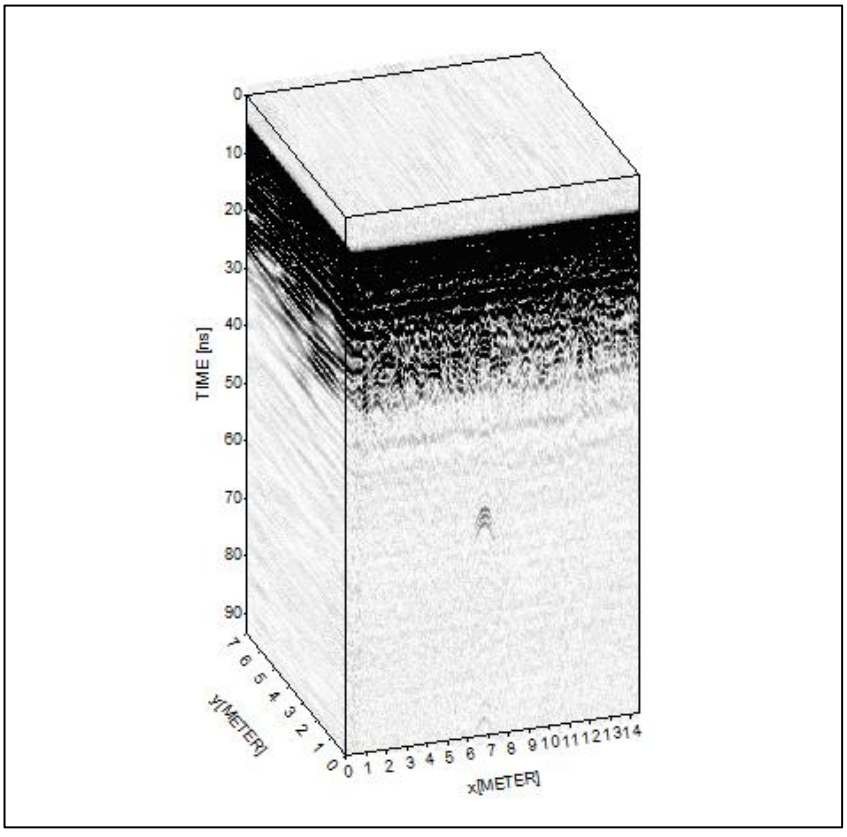


FIGURA 33. Cubo completo 3D.

Ahora se va a realizar un procedimiento para la identificación de objetos mediante el 3D, se supone que no se tiene constancia de la reflexión anteriormente citada, el programa permite ir pasando corte por corte hasta encontrar el objeto que se está buscando, seleccionarlo y saber exactamente que corte y posición está.

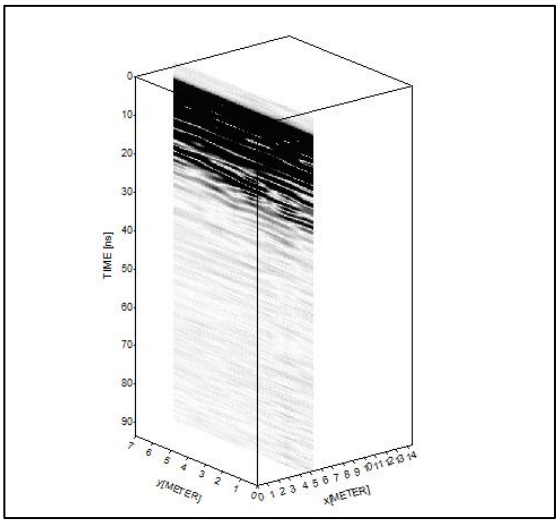


FIGURA 34. Corte transversal anterior al punto.

Primero se van pasando continuamente los cortes, como se ve en la figura 34, de momento no aparece ningún rastro del objeto que se quiere determinar. Se trata de ir pasando los cortes hasta percibir la señal del objeto que queremos determinar.

Se van pasando automáticamente los cortes hasta que se consigue percibir perfectamente la señal-véase figura 35- en el corte transversal 133, que se traduce en unos 6 metros aproximadamente.

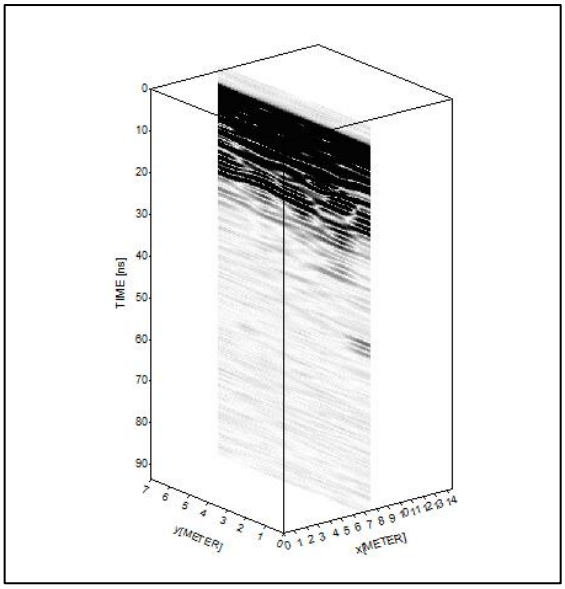


FIGURA 35. Corte transversal en el punto.

Ya se tiene la posición exacta del objeto, obviamente si se siguen pasando los cortes la señal desaparece. Otra opción que se puede realizar es comprobar si los cortes transversales se corresponden con los longitudinales y si de verdad se tiene ese objeto a esa distancia y profundidad, es decir que si los perfiles coinciden. Para ello se superpusieron ambos cortes y se ve claramente como los perfiles coinciden perfectamente-véase figura 36-.

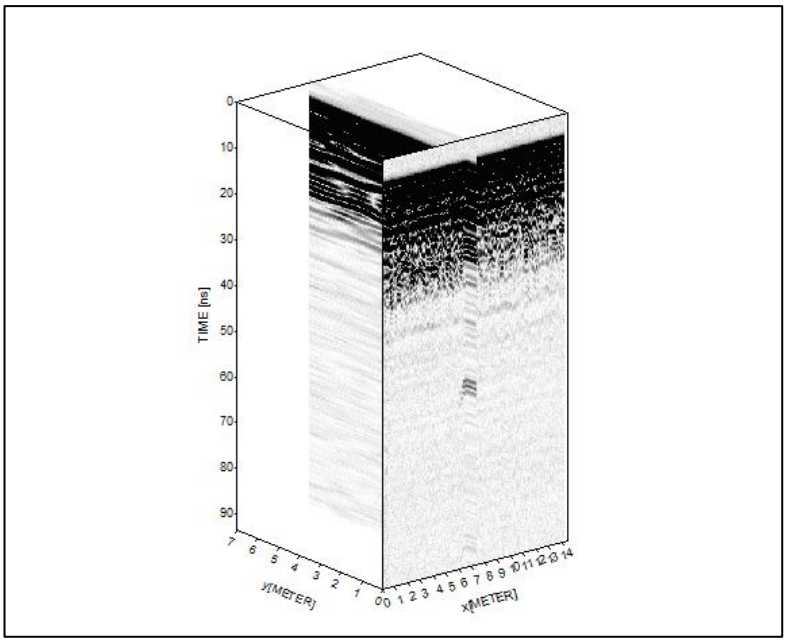


FIGURA 36. Superposición de cortes en el punto.

Se ve perfectamente como los perfiles coinciden y si mostráramos otro longitudinal se vería como la señal en el longitudinal desaparece-véase figura 37-. En esta ocasión se mueve hacia otro longitudinal donde ya no se pasa por el sitio exacto donde se detecta el objeto y por tanto la señal deja de coincidir.

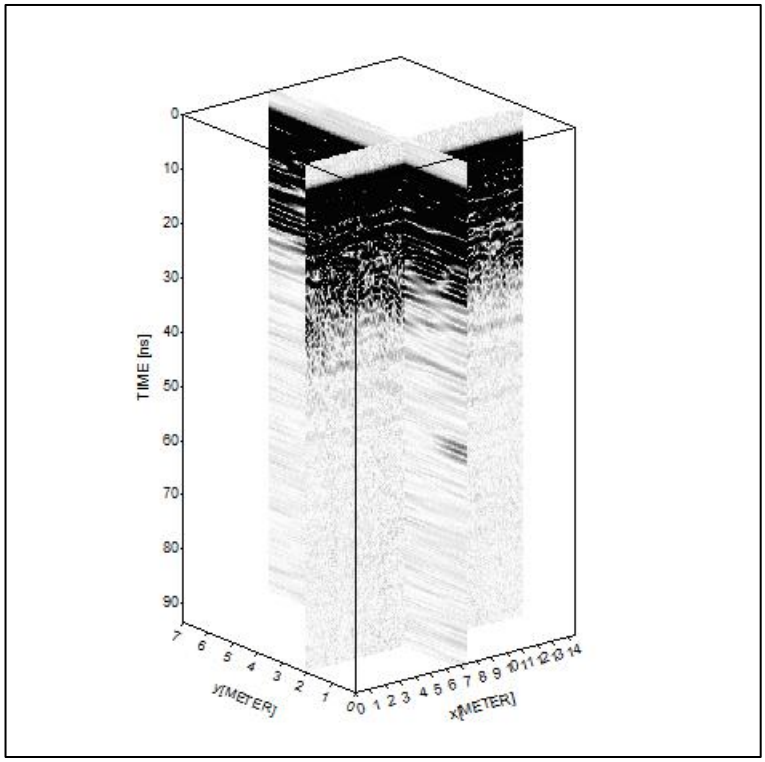


FIGURA 37. Corte transversal con 3º longitudinal.

4.11. PRUEBA PREVIA. MEDIANA DEL CAMPUS.

4.11.A. INTRODUCCIÓN.

Antes de realizar el análisis del Tramo de la autovía EX–A1, se creyó conveniente realizar una prueba en la mediana del campus para tener una referencia previa más o menos similar del trabajo que a realizar en el tramo de autovía.

4.11.B. OBJETIVOS.

Los objetivos de esta prueban eran por una parte, efectuar una prueba en un entorno más convencional, de manera que nos sirviera para saber cómo organizar el trabajo, quién sería la persona encargada de la toma de datos, quien realizaría los perfiles, quien manejaría el georádar, quienes darían apoyo técnico, etc.

Y por otra, saber con certeza la composición de los equipos que harían falta en campo, sin olvidarse de que al tratarse de una tubería, como una de las partes del análisis del tramo de la autovía de Coria, habría que detectar que tipo de problemas se podrían encontrar y de las dificultades que habría que afrontar en la parte de ese análisis.

4.11.C. TRABAJOS PREVIOS.

Antes de efectuar las mediciones en cuestión y de salir a realizar la medición en campo, se formalizó la recogida de los equipos que necesitaríamos en campo, una organización de los mismos para realizar las medidas de la forma más satisfactoria y cómoda posible-véase figura 38-. También se realizó la calibración de los citados equipos para asegurar los menores errores posibles.

FIGURA 38. Unidad de control correctamente colocada en la mochila.

4.11.D. INFORMACIÓN DE PARTIDA.

La zona donde se llevó a cabo dicha prueba fue en la mediana del campus de la Universidad de Extremadura, frente a la Escuela Politécnica, por donde se tenía constancia que pasaba una tubería-véase figura 39-, que es la parte del análisis de la EX-A1 objeto de ensayo, además de otros aspectos como se ha citado anteriormente.

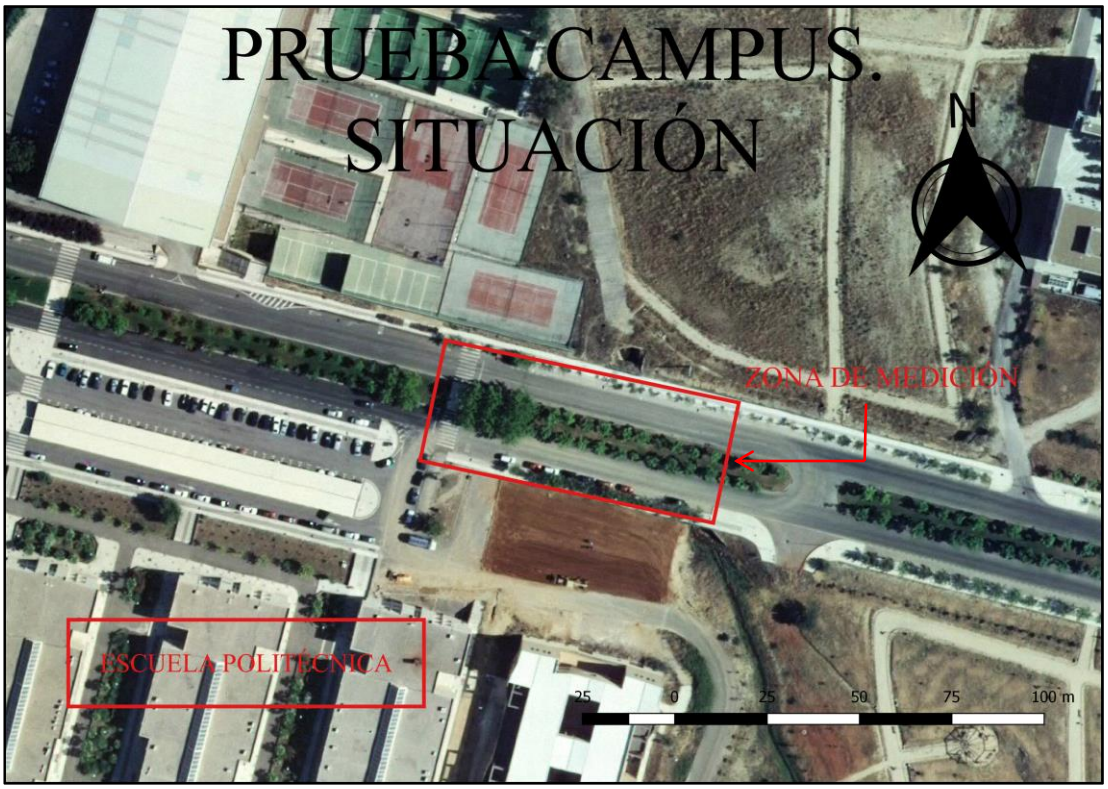


FIGURA 39. Prueba campus. Situación. Fuente (elaboración propia, Qgis).

En la zona de medición que se muestra en la figura anterior es por donde se encontraba la tubería que se ha intentado identificar, junto con los elementos adyacentes a ella.

También es necesario información sobre lo que se pretende obtener, en este caso información sobre la tubería, esto ayudará a la comprensión de los radargramas, ya que sin unos datos básicos de lo que deberíamos encontrar es muy difícil su posterior interpretación, ya que daría lugar a muchas especulaciones sobre lo que nos está diciendo el georádar, ya que no sólo habrá una forma de interpretarlo, sin embargo con esos datos lo que se consigue es reducir las opciones, para conseguir tener una certeza de lo que visualizamos en el georádar es realmente lo que hay en el terreno.

Para ello se saca toda la información que se pueda, en este caso se sacó del SIG (Sistema de Información Geográfica) de Cáceres-véase tabla 12-.

DATOS DE LA TUBERÍA		
SITUACIÓN DEL ELEMENTO	MUNICIPIO	CÁCERES
	DIRECCIÓN	CAMPUS UNIVERSITARIO
TUBO GRAVEDAD	MATERIAL	PVC LISO
	DIÁMETRO	315 mm
	FORMA TUBO	CIRCULAR
	REF.REGISTRO	JUNTA709
	TIPO AGUA	RESIDUAL
	PRESIÓN	1
	RUGOSIDAD	1
	COTA TUBO ENTRADA	362
	COTA TUBO SALIDA	364,037
ADMINISTRACIÓN	PROPIETARIO y ADMINISTRADOR	ACCIONA

TABLA 12. Datos de la tubería. Fuente (elaboración propia).

Una vez hecho el trabajo de recogida de información del objeto que al que se le va realizar la medición queda un poco más claro lo que se debe determinar: se trata de un tubo situado en la mediana del Campus de la Universidad, frente a la Escuela Politécnica, es un tubo de PVC liso de 315 mm de diámetro, circular, por el cual circula agua residual, con una pendiente aproximada de 5,72 %, cuyo propietario y administrador es Acciona.

De todos estos datos que se han obtenido, el más perjudicial es el tipo de material que se ha usado para su construcción, ya que la diferencia entre las constante dieléctricas del PVC (k=3,3) y la de tierra seca (2,8) es muy pequeña, lo cual hará que haya menos contraste y por tanto, dificultará la interpretación de los resultados.

4.11.E. PROYECTO 2D.

Una vez definido lo que se pretende buscar y se tiene todo lo necesario para realizar la medición se sale a campo, lo siguiente que se debe hacer es organizar el trabajo de forma que se realizara de la manera más eficiente y cómoda posible, en este caso el equipo constaba de 4 personas, cada uno con una función claramente definida:

- Darío Collado Mariscal: Se ha encargado del control del monitor y del georádar, además de llevar la unidad de control, su misión no es otra que garantizar que se tomen las medidas correctamente y de la interpretación de los radargramas en campo, colaborando en la toma de decisiones de las medidas a realizar-véase figura 40-.

FIGURA 40. Darío Collado manejando el monitor.

- Luis Mariano del Río: Él se ha encargado del manejo de las antenas, parte muy importante para garantizar unos radargramas claros y bien ejecutados, también tendría una importante misión en relación a la toma de decisiones de donde realizar las medidas, de qué manera, el sentido de ellas, en la interpretación de los radargramas, etc.
- Montaña Jiménez Espada: Ella se ha encargado de la toma de datos y de la elaboración de la ficha correspondiente al trabajo de campo y de la elaboración de croquis que facilitaran la comprensión del trabajo realizado. También ayudaría en la forma de realizar el mallado de la zona y daría apoyo técnico y colaboración en las decisiones de carácter operativo.
- Rafael González Escobar: Colaboró con Mariano en el manejo de las antenas, la organización del equipo y en la dirección del trabajo, además de dar apoyo

técnico con las cuestiones ambiguas sobre las interpretaciones de los radargramas.

Con el resumen realizado previamente, queda totalmente definida la forma de trabajo que se ha llevado a cabo, análoga a la empleada en el tramo de la EX–A1, ya que no se debe olvidar que se trata de una prueba para preparar las mediciones a desarrollar en la autovía de Coria—véase figura 41-.

FIGURA 41. Montaña, Mariano y Darío llevando a cabo sus respectivas tareas en la mediana del campus.

Una vez se tiene definida la organización del trabajo se procede a la realización de las medidas, todas se realizaron con la antena de 1200 MHz, cabe destacar que las medidas no se realizan de manera aleatoria, todas tienen un sentido y un objetivo predeterminado, cada radargrama fue marcado con banderolas, que marcaban el inicio y el fin de cada radargrama, numeradas para facilitarla toma de datos y la posterior documentación del trabajo, además de hacer más fácil la relación entre la identificación de los radargramas en campo y el nombre que le da el programa.-véase figura 42-.

FIGURA 42. Banderolas que sitúan el inicio y el final de cada medición., tramo 1-2.

A continuación de describen de manera cronológica todas las medidas realizadas y su propósito, para facilitar la comprensión de lo descrito a continuación véase el anexo nº 2 del presente documento, donde se muestra un plano con un croquis de las mediciones, acotaciones y anotaciones relacionadas con el trabajo en cuestión.

- Tramo 1-2: Este fue el inicio del trabajo, es una medida en sentido transversal a la tubería se decidió empezar de esta manera para intentar saber la distancia a la que se encontraba la tubería de los bordes de la mediana y si esta se correspondía con los planos, de longitud 8 metros aproximadamente y de sentido de 1 hacia 2, con una resolución de 2,5 metros, cabe destacar que se hizo muy complicado trabajar sobre césped, ya que las ruedas de la antena de 1200 MHz no aportaba tracción suficiente, distorsionando el algunas ocasiones los radargramas.
- Tramo 3-4: Como en el césped la información aportada era confusa, además los cortes producidos a consecuencia de la mala tracción de las ruedas, por tanto se intentó buscar una zona donde se tenía una constancia absoluta de que la tubería iba por ahí, además de que el terreno por donde debemos

pasar la antena es mucho más acorde a sus ruedas, también es de sentido transversal a la tubería, de 3 a 4, de 7,90 metros de longitud y con una resolución de 2,5 metros, cabe destacar que este este tramo pasaba por el mismo pozo de registro, para ver qué aspecto debería tener la tubería, la profundidad a la que decía el georádar que estaba-véase figura 43-.

FIGURA 43. Pozo de registro por donde pasa el tramo 3-4.

- Tramo 5-6: Cuando realizamos el tramo 3-4 si encontramos signos que nos indicaban la situación de la tubería, así como los elementos que podían estar a su alrededor, tierra compactada, etc. Para saber si de verdad lo que estábamos percibiendo con el georádar era lo que estábamos interpretando, es decir la tubería, las mismas señales se deberían repetir en mayor o menor medida si repetíamos esa medida, pero desplazándola un poco, más concretamente 1,16 metros, ese es el motivo de este tramo. Es de 7,90 metros de longitud, sentido de 5 a 6 y cabe destacar que este tramo se hizo dos veces, una vez con ella resolución de 2,5 metros y otra con la de 1, 5 metros, dado que las señales que interesaba interpretar estaban a menos de 1,5 metros.

- Tramo 7-8: Una vez que se tiene localizado por donde va el tubo, lo interesante es intentar conseguir un patrón común en sentido longitudinal de la situación del tubo, por esto se hizo este tramo, es de sentido longitudinal, de 7 a 8, de 10, 57 metros de longitud, con una resolución de 1,5 metros también, cabe destacar que hubo también dificultades para deslizar la antena por el césped, en la interpretación del radargrama también hubo problemas ya que las raíces de los árboles aledaños dificultaban esta tarea. Este tramo se repitió con la resolución de 1 metro.

- Tramo 9-10: Este tramo es homólogo al 7-8 en todo, con la salvedad que discurre por la zona de la mediana donde sabemos que no circula el tubo, gracias a este podremos comparar la señales percibidas de un tramo donde hay tubo con otro donde no lo hay. También se repitió con la resolución de 1 metro.
- Tramo 11-7: Es de sentido longitudinal, con la resolución de 1 metro, desde el inicio de la acera hasta el punto donde comenzamos el tramo 7-8, de 9,10 metros de longitud, el motivo de este tramo es cerrar la pasada longitudinal por donde hay tubo, además de ver la transición de la acera al césped y así poder saber las distorsiones causadas por la hierba y demás.
- Tramo 12-9: Es un tramo homólogo el tramo 12-9, con la salvedad de que es por el sitio donde no hay tubo, enlazando con el tramo 9-10.

Una vez están explicados los tramos, a modo resumen se incorporan la tabla 13 y 14 con los aspectos más importantes citados anteriormente.

TRAMO	ANTENA(MHz)	ARCHIVO	LONGITUD (m)	RESOLUCIÓN (m)
1-2	1200	589	8	2,5
3-4	1200	590	7,9	2,5
5-6	1200	592	7,9	2,5
5-6	1200	594	7,9	1,5
7-8	1200	596	10,57	1,5
9-10	1200	597	10,57	1,5
11-7	1200	598	9,1	1
7-8	1200	599	10,57	1
12-9	1200	560	9,1	1
9-10	1200	561	10,57	1

Tabla 13. Resumen de las medidas realizadas en la mediana del campus (antena: archivo: longitud; resolución).

TRAMO	SENTIDO(con la tubería)	OBJETIVO	OBSERVACIONES
1-2	TRANSVERSAL	LOCALIZAR TUBERÍA	EN EL CÉSPED
3-4	TRANSVERSAL	LOCALIZAR TUBERÍA	JUNTO AL POZO
5-6	TRANSVERSAL	PATRÓN TRASVERSAL	CERCA DEL POZO
5-6	TRASVERSAL	MÁS PRECISIÓN	REPETICIÓN
7-8	LONGITUDINAL	PATRÓN LONGITUDINAL	LONGITUDINAL EN CESPED
9-10	LONGITUDINAL	PATRÓN LONGITUDINAL	LONGITUDINAL EN CESPED
11-7	LONGITUDINAL	TRANSICIÓN ACERA-CÉSPED	EN ACERA Y CÉSPED
7-8	LONGITUDINAL	MÁS PRECISIÓN	REPETICIÓN
12-9	LONGITUDINAL	TRANSICIÓN ACERA-CÉSPED	EN ACERA Y CÉSPED
9-10	LONGITUDINAL	MÁS PRECISIÓN	REPETICIÓN

Tabla 14. Resumen de las medidas realizadas en la mediana del campus(sentido; objetivo; observaciones).

Con esto se daría por terminado el trabajo de campo de la prueba realizada en la mediana del campus, lo siguiente sería realizar el trabajo de procesado y tratamiento de la imagen, paso absolutamente necesario para el posterior análisis de los resultados obtenidos, de los cuales se tratará más adelante.

4.12. APLICACIÓN DE LA TÉCNICAS GPR EN LA EX–A1.

4.12.A. INTRODUCCIÓN.

Se trata de un análisis de un tramo de la autovía EX–A1, en donde se pretende hacer un análisis lo más completo posible de todas las características de dicho tramo, espesores de firme, elementos de drenaje y en especial se estudiarán una serie de problemas relacionados con la deficiencia del drenaje en dicho tramo, en ese sentido se intentará atisbar el problema, y si no es así, estrechar el cerco de esos posibles problemas.

Para ello se pondrá en práctica en un entorno menos controlado todos los conocimientos adquiridos hasta ahora:

- El manejo de los equipos.
- Organización de los mismos.
- Capacidad para usar ambas antenas.
- Capacidad para realizar medidas de manera correcta.
- Capacidad para interpretar los radargramas en campo.
- Capacidad para tomar decisiones relativas a los datos proporcionados por el programa.
- Conocimiento específico de todos los equipos descritos en el inventario y su utilidad (banderolas, tizas, etc.).
- Rapidez en el desarrollo de la actividad.
- Tratamiento y procesado de los radargramas.
- Interpretación de los datos obtenidos.

4.12.B. OBJETIVOS.

El objetivo principal no es otro que poner en práctica en un trabajo real las competencias adquiridas en la realización de estudios mediante el georádar.

La dificultad de este trabajo frente a los anteriores es que se está en un entorno menos controlado, es un trabajo pues en donde hay muchos aspectos inciertos y que dificultarán la interpretación de los resultados y por tanto, el estudio en sí mismo.

4.12.C. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Como se ha dicho anteriormente además del estudio del firme de la carretera y de los demás aspectos relacionados con la misma, se va a tratar de realizar un estudio de diversos problemas que afectan a diversos tramos de la carretera.

Se trata de un tramo donde se han encontrado anomalías en la autovía EX–A1 entre los PK's 79+400 y 81+400 MD y MI (tramo de obra El Batán – Coria).

Según el informe facilitado por la Junta de Extremadura, el SERVICIO DE EXPLOTACIÓN Y VIGILACIA de la misma informa sobre las siguientes anomalías:

- Tramo comprendido entre PK 79+650 a 79+900 ambas márgenes:
  - EX–A1 PK 79+700 MD: grieta longitudinal en eje.
  - EX–A1 PK 79+650 a 79+750 MD: grieta longitudinal junto a AEC, localizada entre arcén y carril lento. Se mantiene la diferencia de cota entre el arcén y el carril lento de 1 cm. (asentamiento del carril).
  - EX–A1 PK 79+900 MI: badén en calzada de margen izquierda: Hundimiento de 2 cm a lo largo de 20 m.
  - EX–A1 PK 79+800 MI: grieta longitudinal en el eje.
- Tramo comprendido entre los PK 80+050 a 81+100 ambas márgenes.
  - EX–A1 PK 80+050 a 80+250 ambas márgenes: calzada con perfil irregular (pequeños badenes consecutivos).
  - EX–A1 80+050 y 81+100 ambas márgenes: estado actual arquetas y salidas de drenaje profundo: Se ha procedido a la comprobación del funcionamiento de los drenes profundos mediante la aportación de agua con colorante, para observar la circulación de agua entre las arquetas de registro de dichos drenes. Cabe destacar que En la margen derecha de la autovía EX–A1 entre la arqueta nº 1 (PK 80+030 MD) hasta la arqueta nº 5 (PK 80+430 MD) **no existe circulación de agua**; y desde la arqueta nº 5 (PK 80+430 MD) hasta la salida del dren en cuneta (PK 81+100 MD) **existe una circulación de agua que se estima insuficiente** (drenes funcionando parcialmente). En la margen izquierda de la autovía EX–A1 entre la arqueta nº 1 (PK 80+030 MI)

hasta la arqueta nº 2 (PK 80+130 MI) no existe circulación de agua; y desde la arqueta nº 2 (PK 80+130 MI) hasta la arqueta nº 10 (PK 81+100 MI) existe circulación de agua aparentemente con fluidez.

– Tramo comprendido entre los PK 81+200 a 81+400 ambas márgenes.

  - EX–A1 PK 81+200 al 81+275 MD: Grieta longitudinal en eje.
  - EX–A1 PK 81+325 ambas márgenes: badén (se aprecia más en MD carril izquierdo).
  - EX–A1 PK 81+400 Cuneta de mediana revestida: levantamiento de paños alternos.

Estos son los problemas encontrados en dicha carretera, el presente estudio se va a ocupar de los problemas ocurridos entre el PK 80+030 y el PK 81+430, más concretamente los problemas de la nula circulación de agua que se produce entre la arqueta nº 1 y la arqueta nº 5, en la margen derecha.

Por tanto, para completar el estudio y darle un grado de profesionalidad equivalente al de cualquier caso real, se estudiará el problema de drenaje anteriormente comentado, junto con el análisis del firme.

Para más información relativa a este apartado véase el anexo nº 3 del presente documento donde se muestra el informe integro de la Junta de Extremadura sobre dichos problemas, donde contienen además de toda la información necesaria, fotos y planos de lo comentado anteriormente.

4.12.D. INFORMACIÓN DE PARTIDA.

Como hemos explicado anteriormente se trata de un tramo de la autovía EX–A1 entre los PK's 80+030 y 80+430 MD (tramo de obra El Batán – Coria)-véase figura 44-. La distancia que se debe cubrir en el estudio como se ve es bastante amplia, por tanto es totalmente necesario tener claro en qué puntos se debe medir y en que sitios realizar el mallado correspondiente, parece claro que debemos empezar a trabajar en los alrededores de las arquetas, pues es donde se tiene constancia del tubo.

FIGURA 44. Situación de la zona de trabajo en la EX-A1. Elaboración propia mediante un programa de SIG.

Al igual que la prueba realizada en la mediana del campus, es imprescindible tener la máxima información posible, ya sean espesores de firme, elementos de drenaje, materiales utilizados, secciones constructivas, diámetro del tubo, etc.

Para ello se realizó una importante recogida de información por parte del equipo de trabajo, de los planos del proyecto original de dicha carretera, de forma muy resumida se muestran a continuación los datos más importantes relativos al presente estudio:

– Firme: El paquete de firme está compuesto por:

- 0,03 metros de Mezcla Bituminosa en caliente tipo M-10.
- 0,05 metros de Mezcla Bituminosa en caliente tipo S-20.
- 0,07 metros de Mezcla Bituminosa en caliente tipo S-20.
- 0,024 metros de suelo estabilizado cemento.
- 0,3 metros de suelo estabilizado tipo 3.

- 0,5 metros de suelo adecuado según cuadro de formación de explanada.

– Canalizaciones: Junto a la berma exterior de la carretera se encuentra un área de arena relleno compactado con una cama de arena o de suelo seleccionado donde se alojan las canalizaciones:

  - Canalizaciones de fibra óptica, telecomunicaciones (tritubo de 40 milímetros de diámetro y tubo de 90 milímetros de diámetro).

  - Canalización para 3 tubos de P.V.C. de 110 milímetros de diámetro.

– Arqueta de registro del dren: Situada en la cuneta se encuentra la arqueta, a 1 metro del punto medio que posee en la parte superior una tapa de hormigón de 0,8 por 0,8 metros. La arqueta tiene unas dimensiones de 0,8 metros de ancho por 1,25 metros de altura.

– Dren profundo: Tubo dren de PVC, en nuestro caso de 200 milímetros de diámetro, ya que el diámetro de este va variando en función de las necesidades del drenaje. También se obtuvo la tabla de las coordenadas de las arquetas de paso del tubo dren-véase tabla 15-.

CARRETERA	Nº ARQUETA	PK	MARGEN	COORDENADAS lon-lat ETRS89		COORDENADAS UTM ETRS89	
				LATITUD	LONGITUD	X (m)	Y (m)
EX-A1	1	80+030	D	39,988288	-6,474268	715644,85	4429512,85
EX-A1	2	80+130	D	39,988061	-6,475410	715548,05	4429484,89
EX-A1	3	80+230	D	39,987792	-6,476545	715451,98	4429452,28
EX-A1	4	80+330	D	39,987496	-6,477660	715357,70	4429416,73
EX-A1	5	80+430	D	39,987163	-6,478742	715266,36	4429377,15
EX-A1	6	80+530	D	39,986826	-6,479844	715173,32	4429337,08
EX-A1	1	80+030	I	39,987932	-6,474159	715655,28	4429473,60
EX-A1	2	80+130	I	39,987721	-6,475290	715559,37	4429447,44
EX-A1	3	80+230	I	39,987452	-6,476389	715466,37	4429414,92
EX-A1	4	80+330	I	39,987159	-6,477504	715372,08	4429379,80
EX-A1	5	80+430	I	39,986828	-6,478581	715281,16	4429340,35
EX-A1	6	80+530	I	39,986490	-6,479655	715190,51	4429300,23

TABLA 15. Coordenadas de las arquetas de paso del tubo dren.

También se consiguieron la tabla de profundidades del tubo dren-véase tabla 16-.

CARRETERA	Nº ARQUETA	PK	MARGEN	PROFUNDIDAD TUBO DREN DESDE COTA 0,0 (m)	
				ENTRADA	SALIDA
EX-A1	1	80+030	D	1,79	1,76
EX-A1	2	80+130	D	1,74	1,61
EX-A1	3	80+230	D	1,55	1,48
EX-A1	4	80+330	D	1,33	1,3
EX-A1	5	80+430	D	1,26	1,18
EX-A1	6	80+530	D	1,36	1,15
EX-A1	1	80+030	I	1,82	1,81
EX-A1	2	80+130	I	1,36	1,29
EX-A1	3	80+230	I	1,46	1,45
EX-A1	4	80+330	I	1,55	1,55
EX-A1	5	80+430	I	1,53	1,51
EX-A1	6	80+530	I	1,49	1,34

TABLA 16. Profundidades del tubo dren.

- Cunetas: se trata de cunetas de 6 metros de ancho, de taludes 4:1 en exterior y 6:1 en interior cuyo punto más bajo se encuentra a 4 metros del arcén aproximadamente.

Véase anexo nº 3 para consultar esta información de manera más clara en los planos correspondientes, así como para consultar otros datos referentes al mismo.

4.12.E. PROYECTO 2D.

Al igual que en la prueba realizada en el campus, una vez tenemos toda la información necesaria para el correcto análisis del tramo de autovía, se procede a la realización de las mismas.

De manera análoga a la prueba realizada en la mediana se realiza la organización de los equipos de la forma más eficiente y cómoda posible, tras realizar esta tarea y una vez en el lugar de medida, se procede a la colocación y conexión de los equipos para llevar a cabo dichas medidas, la división del trabajo será la misma que en la prueba realizada en el campus, dados los satisfactorios resultados que proporcionó.

Una vez realizado el trabajo anterior, se realizan las medidas, se utilizaron las dos antenas, tanto la de 1200 MHz como la de 500 MHz, si es cierto que con la de 1200 MHz se tuvieron problemas de tracción debido a la forma y tamaño de sus ruedas y a la orografía del terreno-véase figura 45-, que se tradujeron en pequeños errores de medición de distancias.

FIGURA 45. Estado del terreno donde se realizan las medidas.

Como en el caso del Campus de la Universidad, las medidas no están realizadas de manera aleatoria, todos los perfiles trazados tienen un sentido y un objetivo, además quedarán perfectamente definidos mediante la realización de un mallado donde se identificaran los perfiles mediante números puestos en las banderolas, y éstas clavadas en el terreno-véase figura 46-.

FIGURA 46. Banderola referenciando el punto 10 del mallado.

Se realizaron 30 medidas donde se midió en multitud de situaciones: en sentido trasversal a la tubería, longitudinal a esta, por el arcén, por la cuneta, un tramo del carril y el arcén, etc. Cabe destacar que se empezó a trabajar con la antena de 500 MHz, pero los resultados no eran todo lo claros que se esperaban, por esta razón la mayoría de las medidas están hechas con la antena de 1200 MHz, salvo algunas que se tomaron sobre el firme con las dos para realizar una comparación entre ellas.

El trabajo se realizó de manera sistemática en diversas zonas, por ejemplo en la zona de la arqueta nº 1:

FIGURA 47. Realización del ensayo 1, tramo 1-2.

- Tramo 1-2: Se realizó este tramo con las dos antenas, lo primero que se buscaba era reconocer la arqueta y los elementos colindantes a ella, para ello se realizaba una primera medida sobre ella en sentido transversal -véase figura 47-. Una de las dificultades en este tipo de medidas sobre la arqueta, fue manejar las antenas de manera que el salto producido al pasar a la superficie de la arqueta produjese las menores distorsiones posibles en el radargrama, además el terreno dificultaba más si cabe la realización de la medición.

- Tramo 3-4: Este tramo tenía el objetivo de localizar la tubería o al menos intentar apreciar la señal por donde se suponía que debía pasar la tubería. Esta medida se realizó a 10 metros de la arqueta.

- Tramo 5-6 y 7-8: Estos tramos se realizaron con el objetivo de intentar encontrar un patrón común en sentido transversal en el punto donde se suponía que se debía situar el tubo, estas medidas se realizaron a 20 y 30 metros respectivamente de la arqueta nº 1.

- Tramo 1-7 y 9-12: Estos tramos tenían la misión de buscar un patrón también, pero esta vez en sentido longitudinal, para eso se hizo uno por donde no había (1-7) tubo-véase figura 48- y otro por donde sí debería haberlo (9-12).

FIGURA 48. Realización del tramo 1-7.

Este mallado en la arqueta nº1 fue repetido con la antena de 1200 MHz, de ahí en adelante se trabajó con ella, llevando a cabo un mallado muy parecido en la arqueta

nº 4 y en la nº 6, además de unos longitudinales completos y otros trasversales añadidos en lugares concretos.

Una parte importante de este estudio aparte del drenaje fue el estudio del paquete de firme, para ello se realizaron diversas medidas en sentido longitudinal y transversal con las dos antenas-véase figura 49-.

FIGURA 49. Realización de las medidas sobre el firme en sentido longitudinal.

A continuación se describen de manera cronológica-véase tabla 17, 18 y 19 - todos los ensayos realizados en la autovía EX–A1, debido a la cantidad de medidas en este caso se ha procedido a ir analizando ensayo por ensayo en vez de tramo por tramo, para facilitar la compresión del trabajo por parte del lector, para facilitar la comprensión de lo descrito a continuación véase el anexo nº 2 del presente documento, donde se muestra un plano con un croquis de las mediciones, acotaciones y anotaciones relacionadas con el trabajo en cuestión.

ENSAYO	TRAMO	ARCHIVO	DISTANCIA (m)	RESOLUCIÓN (m)
1	1-2	616	4,70	4,50
2	1-2	618	4,70	4,50
3	3-4	620	5,85	4,50
4	5-6	621	5,85	4,50
5	7-8	622	5,90	4,50
6	1-2	629	4,70	3,50
7	1-2	630	4,70	3,50
8	3-4	631	5,85	3,50
9	5-6	632	5,85	3,50
10	7-8	633	5,90	3,50
11	1-7	634	30	3,50
12	9-12	635	30	3,50
13	13-14	636	3,90	3,50
14	15-16	637	3,40	3,50
15	15-16	638	4,20	3,50
16	17-18	639	4,20	3,50
17	19-20	640	4,20	3,50
18	21-22	641	4,20	3,50
19	23-24	642	5,00	3,50
20	25-26	643	69,8	3,50
21	27-28	644	5,40	3,50
22	29-30	645	5,40	3,50
23	31-32	646	5,80	3,50
24	33-31(PM)	647	20,6	3,50
25	27-31	648	20,6	3,50
26	PK 80+550-PK 80+600	650	50	3,50
27	-	651	2,4	3,50
28	PK 80+550-PK 80+600	653	50	4,50
29	-	657	3,5	4,50
30	-	658	4	4,50

TABLA 17. Ensayos realizados y datos referentes a ellos (tramo: archivo; longitud; resolución).

N	ANTENA (MHz)	SENTIDO	OBJETIVO	OBSERVACIONES
1	500	TRANSVERSAL	VISUALIZAR TUBERÍA Y ARQUETA	PASA POR ENCIMA DE LA ARQUETA Nº 1
2	500	TRANSVERSAL	REPETICIÓN ANTERIOR	PASA POR ENCIMA DE LA ARQUETA Nº 1
3	500	TRANSVERSAL	LOCALIZAR TUBO	A 10 METROS DE LA ARQUETA Nº1
4	500	TRANSVERSAL	PATRÓN TRANSVERSAL	A 20 METROS DE LA ARQUETA Nº1
5	500	TRANSVERSAL	PATRÓN TRANSVERSAL	A 30 METROS DE LA ARQUETA Nº1
6	1200	TRANSVERSAL	VISUALIZAR TUBERÍA Y ARQUETA	PASA POR ENCIMA DE LA ARQUETA Nº 1
7	1200	TRANSVERSAL	REPETICIÓN ANTERIOR	PASA POR ENCIMA DE LA ARQUETA Nº 1
8	1200	TRANSVERSAL	LOCALIZAR TUBO	A 10 METROS DE LA ARQUETA Nº1
9	1200	TRANSVERSAL	PATRÓN TRANSVERSAL	A 20 METROS DE LA ARQUETA Nº1
10	1200	TRANSVERSAL	PATRÓN TRANSVERSAL	A 30 METROS DE LA ARQUETA Nº1
11	1200	LONGITUDINAL	COMPARACIÓN	PASA POR DONDE NO HAY TUBO
12	1200	LONGITUDINAL	COMPARACIÓN	PASA POR DONDE HAY TUBO
13	1200	TRANSVERSAL	LOCALIZAR TUBO	A 12, 40 METROS DE LA ARQUETA Nº4
14	1200	TRANSVERSAL	PATRÓN TRANSVERSAL	A 2,4 METROS DE LA ARQUETA Nº 4
15	1200	TRANSVERSAL	REPETICIÓN ANTERIOR	A 2,4 METROS DE LA ARQUETA Nº 4
16	1200	TRANSVERSAL	VISUALIZAR TUBERÍA Y ARQUETA	PASA POR ENCIMA DE LA ARQUETA Nº 4

TABLA 18. Ensayos y datos referentes a ellos (antena; sentido; objetivo; observaciones)-1-.

17	1200	TRANSVERSAL	LOCALIZAR TUBO	A 10 METROS DE LA ARQUETA Nº 4
18	1200	TRANSVERSAL	PATRÓN TRANSVERSAL	A 20 METROS DE LA ARQUETA Nº 4
19	1200	TRANSVERSAL	PATRÓN TRANSVERSAL	A 55 METROS DE LA ARQUETA Nº 4
20	1200	LONGITUDINAL	PATRÓN LONGITUDINAL	PASA POR DONDE HAY TUBO Y ARQUETA
21	1200	TRANSVERSAL	DIFERENCIAS CON ANTERIORES ARQUETAS	A 1,6 METROS DE LA SALIDA DEL TUBO
22	1200	TRANSVERSAL	LOCALIZAR TUBO	A 11,60 METROS DE LA ARQUETA Nº 6
23	1200	TRANSVERSAL	PATRÓN TRANSVERSAL	A 21,60 METROS DE LA ARQUETA Nº 6
24	1200	LONGITUDINAL	PATRÓN LONGITUDINAL	PASA POR DONDE HAY TUBO Y ARQUETA
25	1200	LONGITUDINAL	PATRÓN LONGITUDINAL	PASA POR DONDE NO HAY TUBO
26	1200	LONGITUDINAL	CAPAS DE FIRME Y COMPACTACIÓN	PASA POR EL ARCÉN
27	1200	TRANSVERSAL	CAPAS DE FIRME Y COMPACTACIÓN	ARCÉN Y CARRIL
28	500	LONGITUDINAL	CAPAS DE FIRME Y COMPACTACIÓN	PASA POR EL ARCÉN
29	500	TRANSVERSAL	CAPAS DE FIRME Y COMPACTACIÓN	ARCÉN Y CARRIL
30	500	TRANSVERSAL	CAPAS DE FIRME Y COMPACTACIÓN	ARCÉN Y CARRIL

TABLA 19. . Ensayos y datos referentes a ellos (antena; sentido; objetivo; observaciones)-2-.

Una vez realizadas todas las medidas, se pasa al trabajo de gabinete de tratamiento e interpretación de los radargramas, tema que se tratará en el siguiente capítulo.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

5.1. INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos en cada una de las localizaciones estudiadas: "Test-site" (banco de pruebas), Campus de Cáceres y Autovía EX-A1. Con este fin se ha procedido a un exhaustivo análisis de los radargramas obtenidos, a fin de darles una adecuada interpretación. El proceso de trabajo seguido para ello ha sido el siguiente:

- Visualización y análisis previo de cada uno de los radragramas.
- Tratamiento y procesado de aquellos en los que fuera necesario, a fin de mejorar o clarificar su visualización y posterior interpretación. En cada caso, se ha analizado si el radargrama requiere un tratamiento bien completo o sólo mediante algunas herramientas o filtros, según el objetivo perseguido en cada caso: visualización de una tubería, capas de firme, estructuras enterradas, etc.
- Selección de los radargramas más representativos para su posterior análisis detallado.
- Interpretación de cada radargrama, a fin de extraer toda la información que nos pueda proporcionar sobre el subsuelo estudiado.

En el presente capítulo sólo se muestran los radargramas que hemos considerado más representativos del trabajo realizado. No obstante, en el Anexo Nº 4 del presente documento se incluyen todos y cada uno de los radargramas colectados junto con los datos identificativos de los mismos.

5.2. TEST-SITE.

En este apartado se analizan los radargramas realizados en el denominado "Test-site" existente en la Escuela Politécnica, el cual se describió ampliamente en el apartado 4.10. Inicialmente se procedió al tratamiento completo de un total de 16 radargramas -8 transversales y 8 longitudinales-, realizados con la antena de 500 MHz. En esta localización también se colectaron otros tantos radargramas con la antena de 1200 MHz.

Dado que con los primeros pudimos extraer la información básica requerida en este banco de pruebas, se incluyen aquí también los correspondientes realizados con la antena de 1200 MHz sobre los mismos transectos, pues así podemos verificar la

coherencia de las señales obtenidas y nos pueden aportar alguna información adicional de detalle del banco de pruebas, dada su mayor resolución espacial aunque con menor penetración en profundidad (sólo hasta 1,5-2,0 m aproximadamente).

Por tanto, se ha procedido a seleccionar cuatro de los radargramas procesados completamente y que fueron colectados con la antena de 500 MHz y otros cuatro sobre los mismos transectos con la de 1200 MHz (en este caso sin procesar). Concretamente, se presenta en este apartado la interpretación de, en cada caso, tres radargramas longitudinales, uno de cada zona del "Test-site" en los que mejor se ven los objetos enterrados en dicha zona, y otro transversal que se ha considerado como el más representativo.

Cabe destacar que en el año 2004, recién construido el banco de pruebas, se realizó un estudio, que básicamente permitió la calibración de los equipos GPR disponibles entonces y la comprobación de que el banco de pruebas se había construido adecuadamente (Del Río, 2004). Hemos intentado en este apartado ampliar y mejorar dicho estudio, calibrando los nuevos equipos GPR disponibles y verificando a la vez el estado actual del "Test-site".

Un parámetro importante que se debe tener en cuenta es la resolución con la que se trabaja en cada uno de los trabajos, para ello se utiliza la ecuación vista en el apartado 7.2.C. Para este caso se tiene, estimando un valor medio de velocidad de propagación de la onda en los suelos del banco de pruebas de 0,13 m/ns y con la frecuencia de 500 MHz:

$0{,}13\ {}^{m}/_{ns} = \lambda * 500(MHz);\ \lambda = 26\ cm$. Como la resolución esta entre $\frac{\lambda}{2} - \frac{\lambda}{4}$, en este caso se tiene una resolución entre 13 y 6,5 cm.

Realizando la misma operación para la antena de 1200 MHz obtenemos una resolución de entre 5,42 y 2,71 cm.

A continuación se procede a la interpretación de los radargramas más representativos del "Test-site"-véase figuras 51, 52, 54, 55, 57, 58, 60 y 61- junto con los croquis correspondientes de cada transecto-véase figuras 50, 53, 56 y 59-.

El radargrama que se muestra se trata del segundo longitudinal realizado con la antena de 500 MHz—véase figura 50.

FIGURA 50. Antena 500 MHz, 2 longitudinal. Radargrama nº 0183

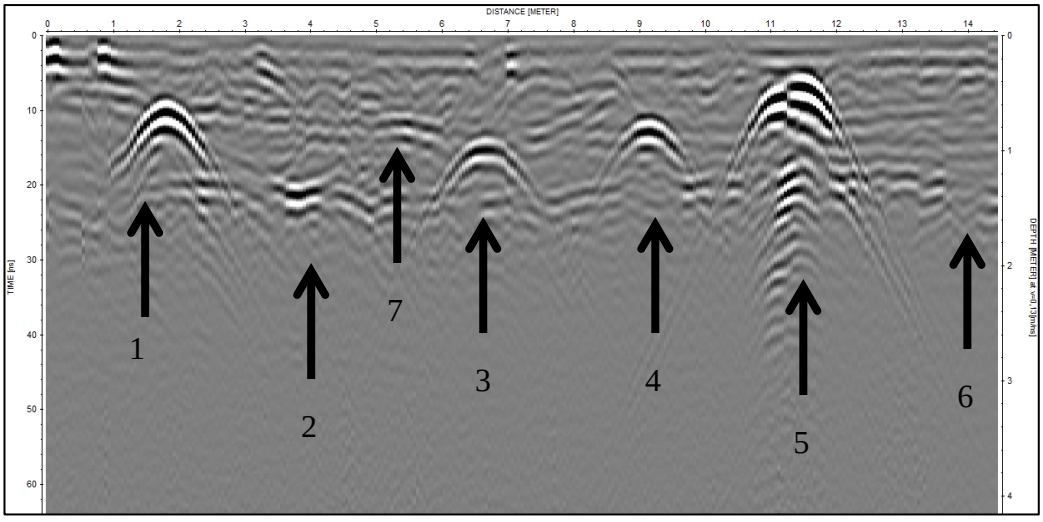


FIGURA 51. Radargrama nº 0183, 2º longitudinal, antena 500 MHz.

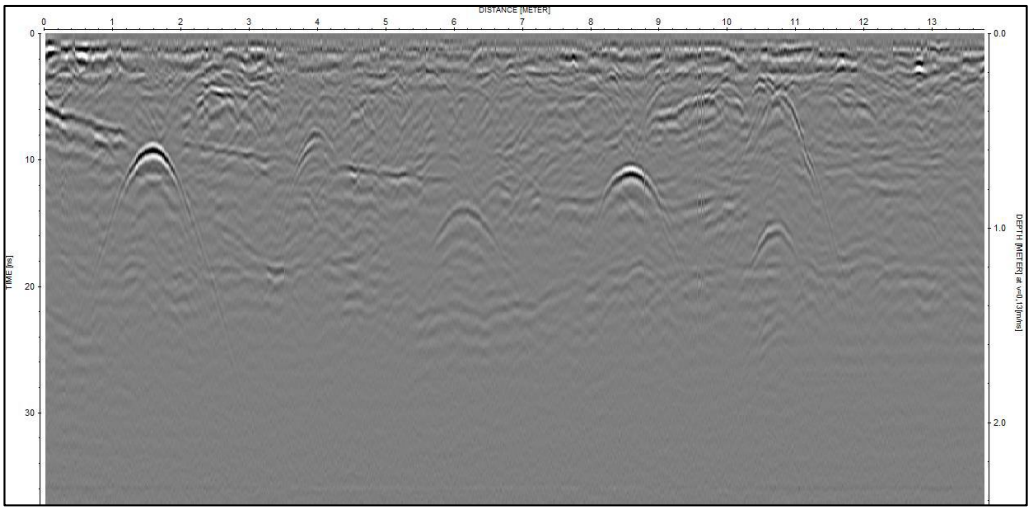


FIGURA 52. Radargrama nº 0235, 2º longitudinal, antena 1200 MHz.

Se observan perfectamente las diferentes anomalías producidas debido a la interacción de las ondas electromagnéticas del GPR con cada uno de los objetos enterrados en la zona número 1. Concretamente, el tubo de acero de 10 cm de diámetro (1), la pared de granito de 60 x 30 cm (2), el cable eléctrico de 1,5 cm de diámetro (3), el tubo de PVC de 10 cm de diámetro (4) y el contenedor metálico de 52 cm (5). Como puede verse, todas ellas salvo la (2) responden a una función hiperbólica, característica de la reflexión de las ondas sobre un objeto puntual aparente, como serían las secciones de los tubos y cables enterrados. No ocurre así en el caso del muro de granito al tener una geometría diferente, destacando también la amplitud e intensidad de la señal (5) al tratarse de un objeto metálico enterrado de gran tamaño y estar situado muy cerca de la superficie.

Por su parte, a lo largo de todo el radargrama podemos observar también de manera clara la primera división de zonas en profundidad (6), entre la zona de arena y pizarra, situada aproximadamente a 20 ns. También cabe destacar como a 10 ns se observan otra discontinuidad que baja y posteriormente sube (7), correspondiente a las tongadas realizadas en el caso de la arena para facilitar el hecho de que los objetos no se movieran. También se puede comprobar como los resultados coinciden al mostrar el mismo radargrama, esta vez con la antena de 1200 MHz, estableciéndose una coherencia en los resultados mostrados.

A continuación, presentamos el radargrama correspondiente al transecto Nº 3 longitudinal, que se situaría a continuación del anterior-véase figura 53-. Podemos verificar ahora que parte de los objetos que podían visualizarse en el primero de los radargramas analizados dejan de ser visibles en éste. Así, tal como se aprecia en la figura 54, seguimos obteniendo señales hiperbólicas para el tubo de acero de 10 cm de diámetro (1), el cable eléctrico de 1,5 cm de diámetro (3) y el tubo de PVC de 10 cm de diámetro (3). Obviamente, el motivo es que tanto la pared de granito como el contenedor metálico se extienden sólo sobre una parte de los primeros tres metros de anchura del banco de pruebas (zona A en la figura 22), dadas sus dimensiones en longitud (52 y 60 cm), en tanto que los tubos y cable continuarían sobre los citados primeros tres metros de ancho. Nuevamente se registran resultados muy parecidos con la antena de 1200 MHz, tal y como se muestra en la figura 55.

FIGURA 53. Antena 500 MHz, 3º longitudinal. Radargrama nº 0183.

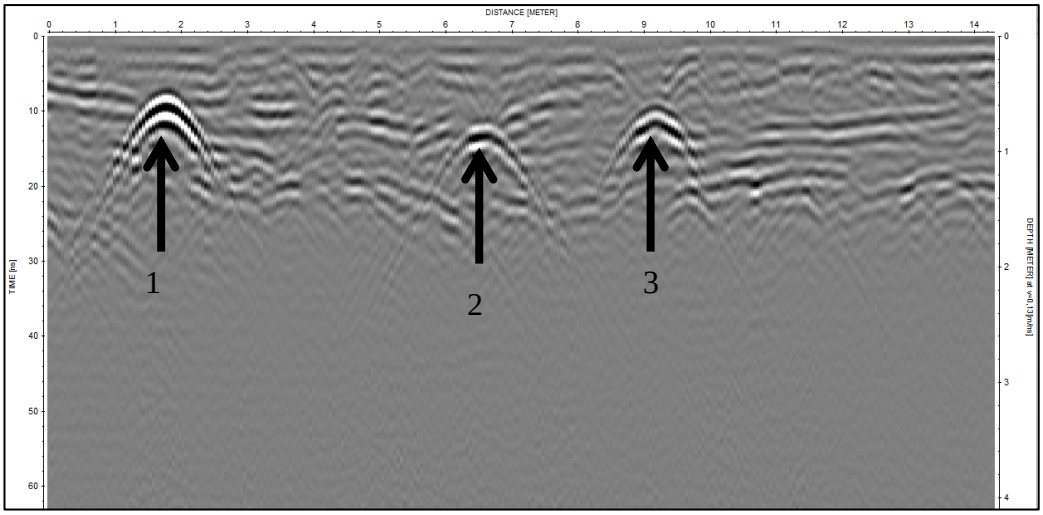


FIGURA 54. Radargrama nº 0184, 3º longitudinal, antena 500 MHz.

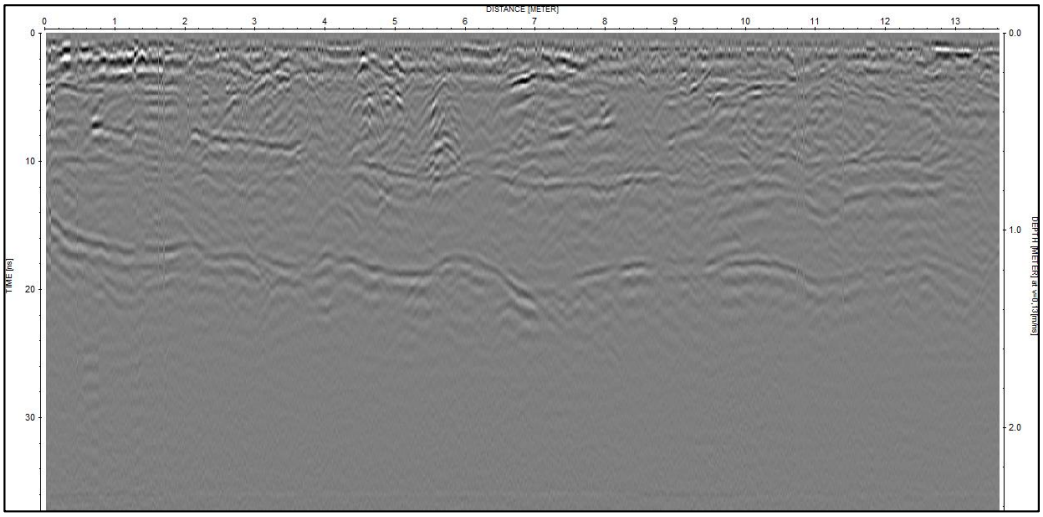


FIGURA 55. Radargrama nº 0184, 3º longitudinal, antena 1200 MHz.

El siguiente radargrama analizado se corresponde con el transecto Nº 5 longitudinal, situado al inicio de la zona C –véase figura 56-. Tal como se puede observar en la figura 57, en este radargrama es en el que mejor se aprecia la división entre los distintos tipos de suelo –arena vs pizarra- (3), pero en el que dejan de visualizarse casi por completo los objetos enterrados. El motivo es que en esta zona únicamente habría objetos enterrados en suelo granítico, por debajo del de pizarra, debiendo la onda viajar por dos medios de diferentes propiedades dieléctricas, por lo que se produce una mayor atenuación de la señal y por tanto menos claridad de los resultados. Según (Gómez, 2008) en la página 26 se describe una tabla donde se indica que mientras la arena posee una atenuación de 0,01 (dB/m), el suelo pizarroso tiene una atenuación de 100 (dB/m), y ello repercute en la intensidad y nitidez de las señales obtenidas. Otra vez se comprueba que los resultados son coherentes al presentar resultados muy parecidos al realizar de nuevo el mismo transecto, esta vez con la antena de 1200 MHz-véase figura 58-.

A pesar de todo se sigue obtenido señal del contenedor metálico (1) y aunque muy distorsionado, también lo que podría ser señales del tubo de PVC de 31,5 mm (2), situado en la zona B en plena zona de suelo de pizarra. Tal como puede verse en los radargramas del Anexo Nº 4, una vez entrados en la zona tres se pierde todo tipo de señal, debida a la atenuación de la onda producida por los diferentes tipos de suelo, ya que la pizarra y el granito producen una atenuación de la onda muy superior a la de la arena.

FIGURA 56. Antena 500 MHz, 5º longitudinal. Radargrama nº 0186.

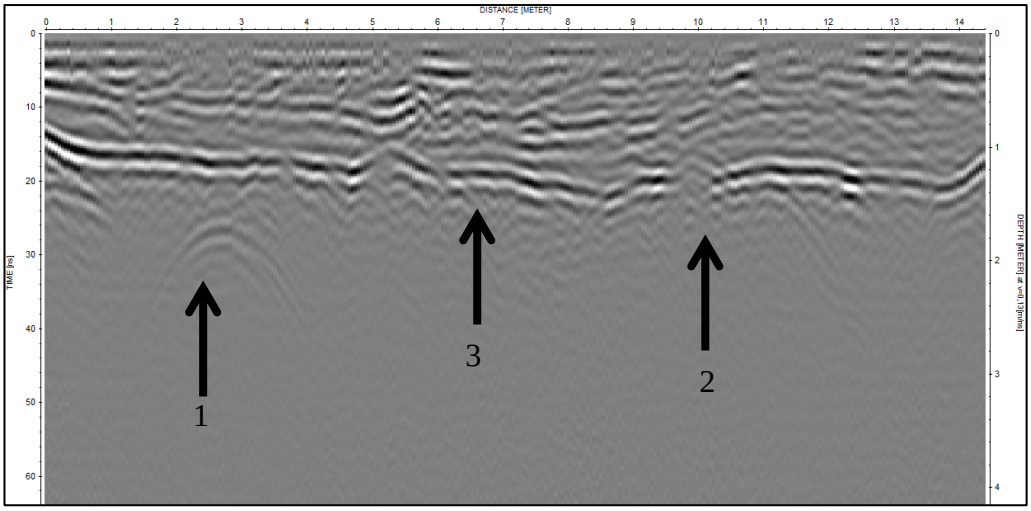


FIGURA 57. Radargrama nº 0186, 5 longitudinal, antena 500 MHz.

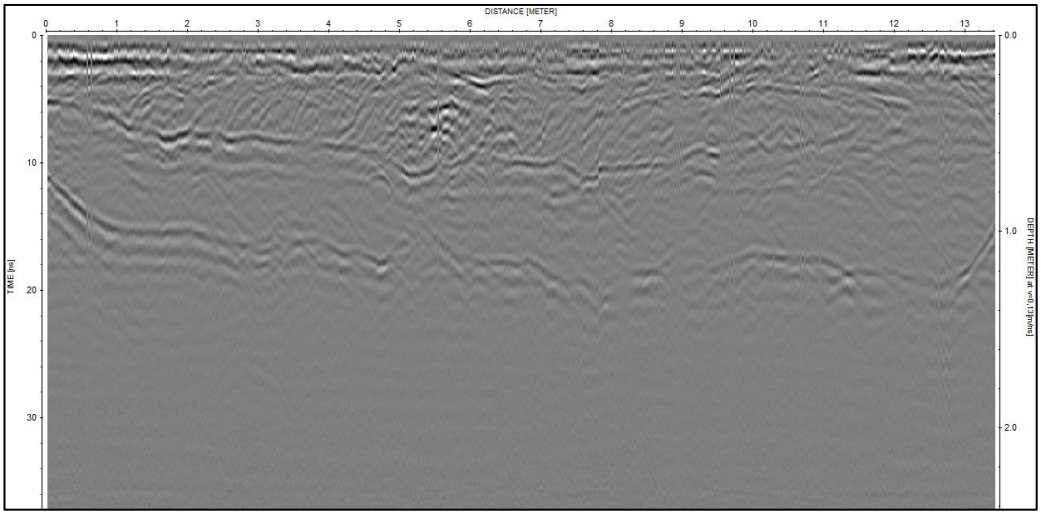


FIGURA 58. Radargrama nº 0238, 5 longitudinal, antena 500 MHz.

FIGURA 59. Antena 500 MHz, 3º transversal. Radargrama nº 0257.

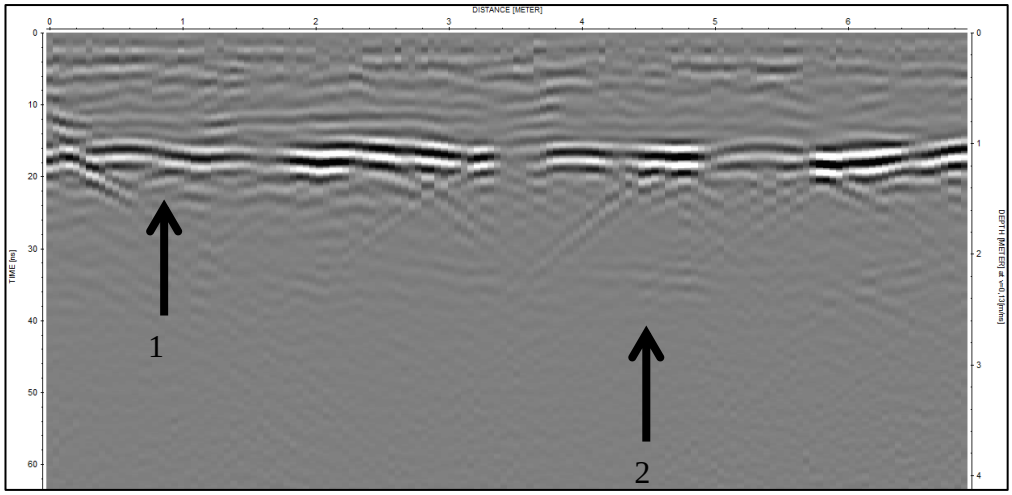


FIGURA 60. Radargrama nº 0257, 3º trasversal, antena de 500 MHz.

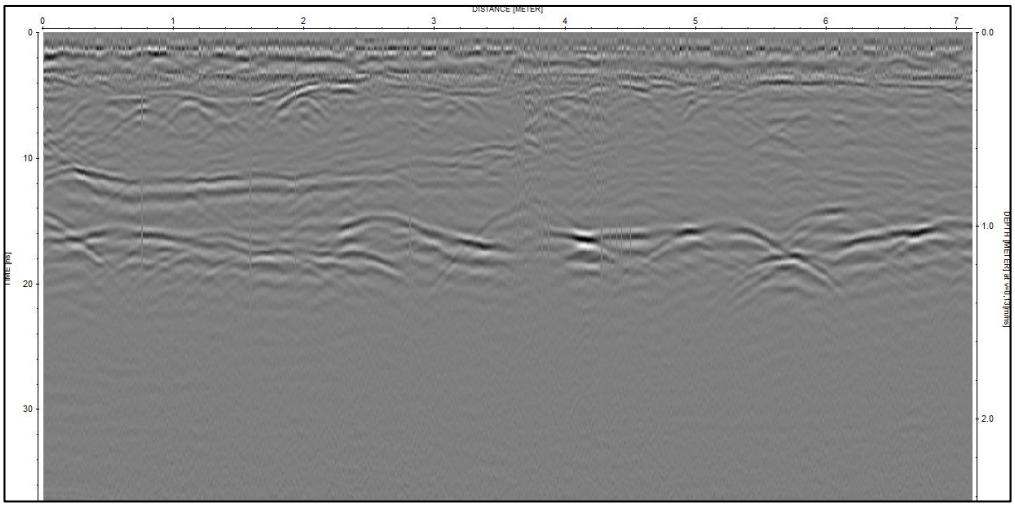


FIGURA 61. Radargrama nº 0273, 6º trasversal, antena de 1200 MHz.

Por último, se presenta el radargrama obtenido según un transecto transversal –véase figura 59- en el que entendemos mejor se visualizan las distintas capas de suelos: arenoso, pizarroso y granítico –véase figura 60-.

Aproximadamente a unos 15-20 ns que correspondería a 1 metro de profundidad, según la velocidad de referencia utilizada de 0,13 m/ns, podemos observar una señal intensa que se extiende a lo largo del radragrama, que interpretamos como la interfase entre las capas de arena y pizarra (1). Con menor nitidez, debido a la antes mencionada gran atenuación de los suelos pizarrosos, también puede apreciarse una segunda interfase entre las capas de suelos pizarrosos y graníticos (2). Adicionalmente, también se aprecian algunas señales hiperbólicas débiles y superpuestas que serían fruto de la interacción de las ondas con parte de los distintos objetos enterrados, aunque en este caso se hace más difícil su interpretación sin ambigüedad. Finalmente se vuelve a mencionar que los resultado obtenido al realizar nuevamente el mismo transecto con la antena de 1200 MHz, son muy parecidos y que demuestran que los resultado son coherentes y que tienen un alto grado de certeza-véase figura 61-.

Los resultados de las medidas llevadas a cabo en el "Test-site" son claramente satisfactorios, pues nos han permitido interpretar adecuadamente la estructura y objetos del subsuelo. Además ha supuesto una actualización y mejora del estudio previo realizado en el "Test-site" por (Del Río, 2004) poniendo a punto y calibrándose los nuevos equipos GPR disponibles y verificando a la vez el estado actual del banco de pruebas.

5.3. PRUEBA REALIZADA EN LA MEDIANA DEL CAMPUS.

En una segunda fase del estudio, se planteó la necesidad de realizar una prueba de los equipos en un entorno realista con respecto a los trabajos que pudieran llevarse a cabo en el campo de la Ingeniería Civil. Esta prueba, que fue realizada sobre una zona urbanizada del Campus de Cáceres frente a la Escuela Politécnica, serviría además como toma de contacto previa a los ensayos que con posterioridad se llevarían a cabo en la EX–A1. Para ello, se realizaron 10 transectos, tanto en sentido trasversal o longitudinal según la dirección de la doble calzada de esa zona, véase plano 2 del Anexo Nº 2.

En este caso, aunque puntualmente se captaron algunos radargramas con la antena de 500 MHz, se trabajó fundamentalmente con la antena de 1200 MHz, ya que posee una mejor resolución, configurando el tiempo de muestreo a fin de obtener diferentes profundidades máximas, según los casos.

Por ello y, únicamente sobre los radargramas de 1200 MHz, se realizó su procesado completo y utilizando ahora la paleta de colores que permitía una mejor interpretación y visualización de los resultados.

Para obtener la resolución espacial aproximada en los radargramas obtenidos, hemos supuesto un valor medio de velocidad de propagación de la onda de 0,15 m/ns (entre los 0,134 y 0,173 de la velocidad en asfalto y compatible con un valores típicos de los suelos) con la frecuencia de 1200 MHz:

$0{,}15\ {}^{m}/_{ns} = \lambda * 1200(MHz);\ \lambda = 12{,}5\ cm$. Como la resolución esta entre $\frac{\lambda}{2} - \frac{\lambda}{4}$, en este caso se tiene una resolución entre 6,25 y 3,125 cm.

A continuación, se presentan los radargramas más representativos del estudio realizado en la mediana del campus, con su posterior interpretación -véase figura 63, 65, 67 y 69-, junto con sus correspondientes croquis –véase figura, 62, 64, 66 y 68-.

En primer lugar, abordamos la identificación del pozo de saneamiento situado en la mediana de la vía de doble calzada del Campus, señalado como 11 en el croquis de la figura 62.

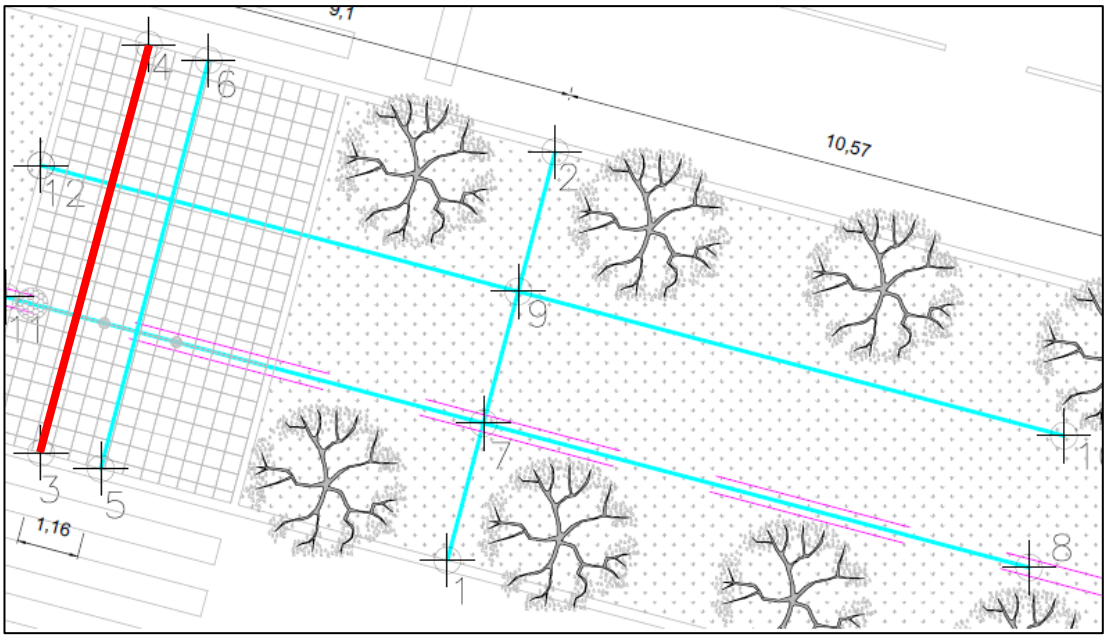


FIGURA 62. Antena 1200 MHz, tramo 3-4.

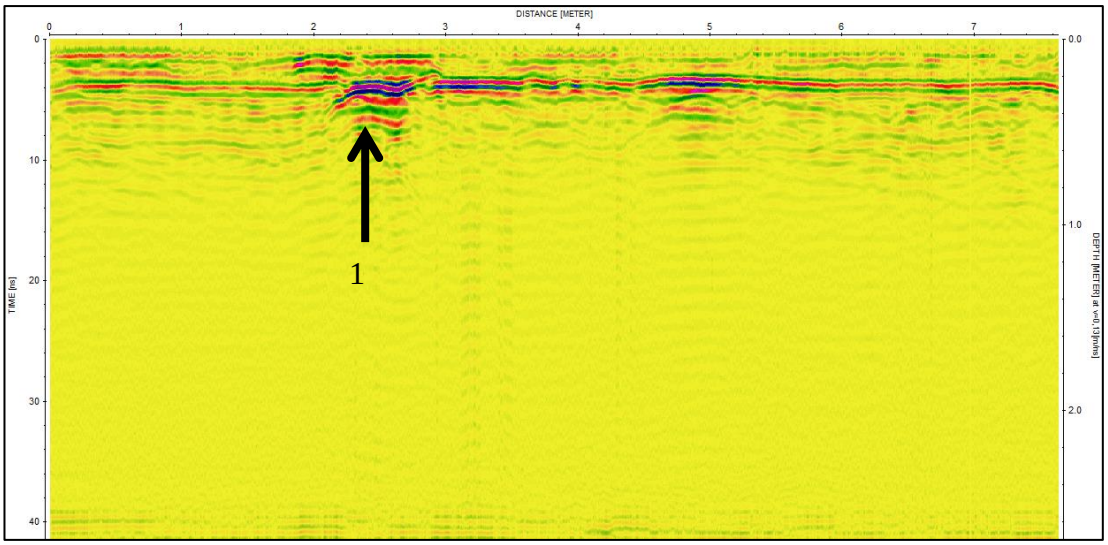


FIGURA 63. Radargrama nº 590, tramo 3-4.

El radargrama de la figura 63 muestra el resultado obtenido en el tramo 3-4, que pasa prácticamente por encima del pozo transversalmente. Como se puede apreciar entre los 2 y 3 m desde el comienzo del perfil y prácticamente en superficie se identifican anomalías claras que interpretamos como el paso del GPR por encima del pozo (1). Así mismo, se identifican en los primeros 20 cm desde la superficie una primera capa que interpretamos como de las baldosas de la acera existente en esa zona y otra algo más profunda que podría ser de la interfase cemento-suelo de la mediana.

El siguiente radargrama sometido a interpretación es el colectado según el transecto que va desde los puntos 11 a 7 indicados en el croquis de la figura 64, y que va desde el mismo pozo anterior hasta un punto situado dentro ya del césped de la mediana.

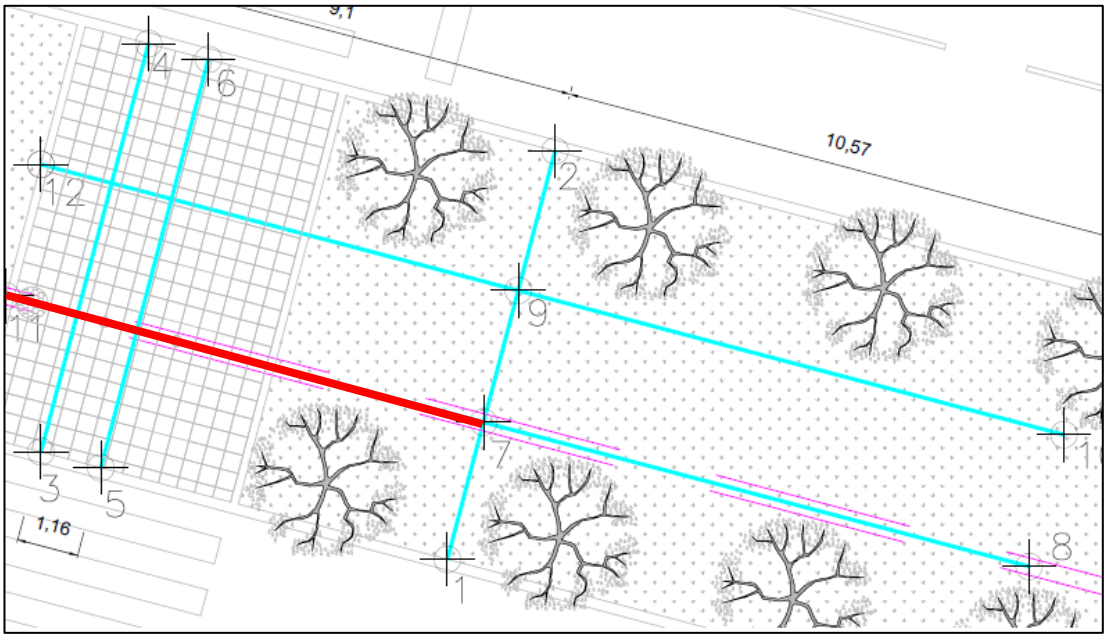


FIGURA 64. Antena 1200 MHz, tramo 11-7.

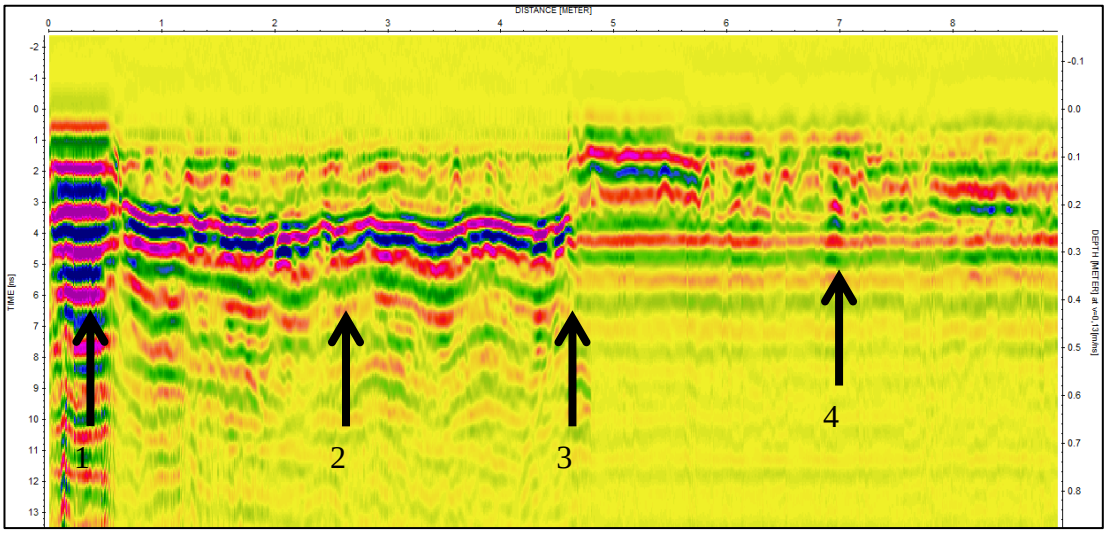


FIGURA 65. Radargrama nº 598, tramo 11-7.

En la figura 65 podemos identificar de nuevo y de manera clara el pozo de saneamiento con una extensión de unos 40-50 cm desde el inicio del perfil (1), seguido por una zona que correspondería la acerado (2) que llegaría hasta los 4,5 m desde el inicio, donde se produce el cambio de material (3), que en este caso se identifica con el paso de acerado a césped (4). Es interesante señalar que en esta última zona se aprecia claramente la capa más superficial de unos 25 cm, bastante

irregular debido probablemente al terreno removido y a las raíces de las plantas de césped –y/o de algún árbol cercano-, y una capa más profunda prácticamente lisa correspondiente a suelo compactado a partir de esos 25 cm de profundidad.

El siguiente radargrama que se presenta corresponde transecto situado entre los puntos 7 y 8, tal como se indica en el croquis de la figura 66. A priori se trataría de un recorrido justo por encima del tubo. Tal como puede verse en la figura 67, no existen señales anómalas que pudieran indicar la presencia del tubo en el recorrido, aunque sí parecen observarse distorsiones asociadas con posibles raíces de los árboles próximos.

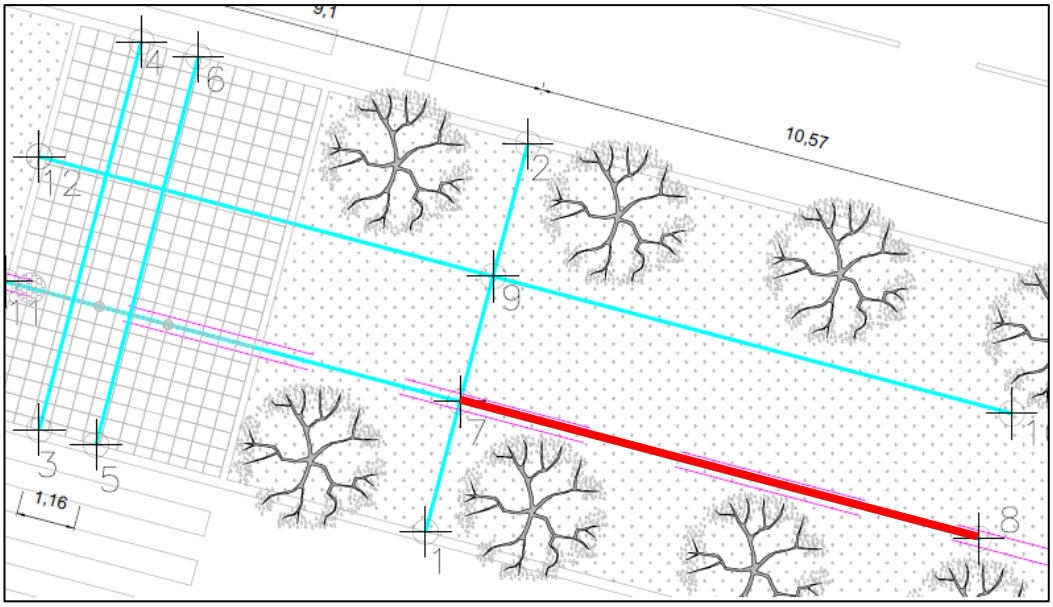


FIGURA 66. Antena 1200 MHz, tramo 7-8.

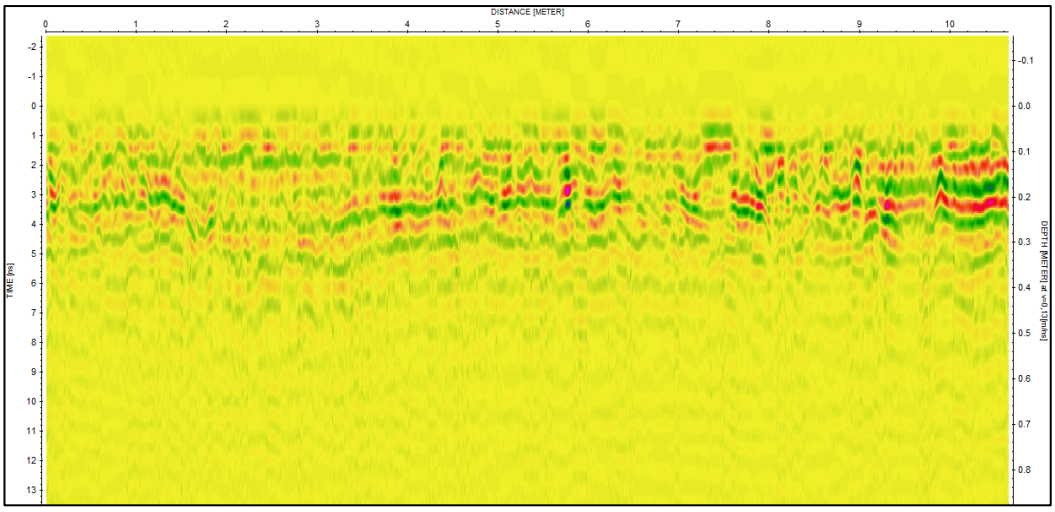


FIGURA 67. Radargrama nº 599, tramo 7-8.

El siguiente radargrama que se presenta corresponde al transecto entre los puntos 9 y 10 del croquis de la figura 68. En este caso y también según la documentación disponible, nos situaríamos en una zona donde no debe haber tubería alguna.

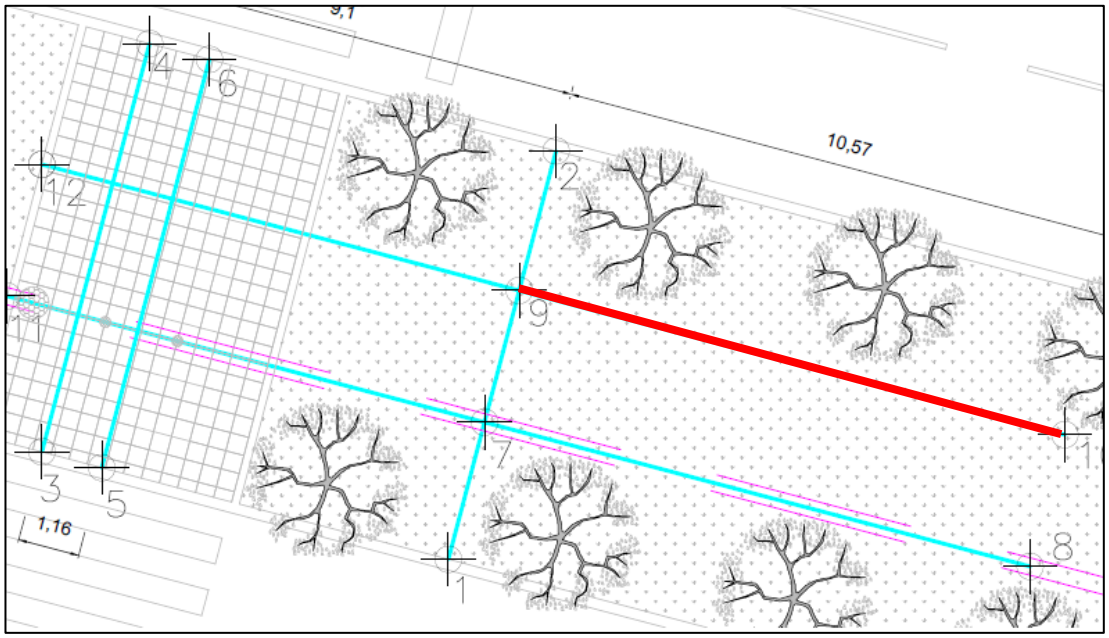


FIGURA 68. Antena 1200 MHz, tramo 9-10.

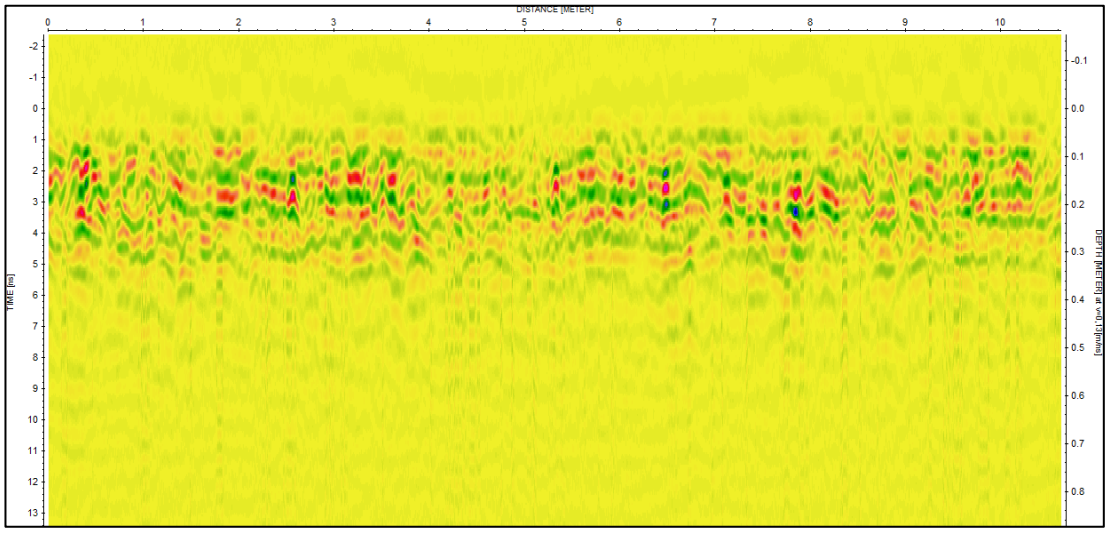


FIGURA 69. Radargrama nº 601, tramo 9-10.

De hecho, en la figura 69 podemos ver el radargrama colectado y tampoco en este caso se aprecian anomalías en la señal que pudieran indicar objetos enterrados, más allá de posibles distorsiones que pudieran asociarse a la presencia de las raíces de los árboles próximos.

Si hacemos el ejercicio de comparar los radargramas de las figuras 67 (con tubería) y 69 (sin tubería) vemos que son prácticamente intercambiables.

Los resultados obtenidos en la prueba de la mediana del Campus de Cáceres denotan que el georádar es capaz de identificar la presencia de arquetas, plantas, cambios de terreno, haciendo posible determinar dimensiones y espesores de distintas capas de material.

Sin embargo, también hemos podido comprobar las dificultades que entraña la potencial identificación de una tubería de riego, probablemente en este caso por sus reducidas dimensiones (ϕ=315 mm) y/o por el tipo de material de su fabricación (PVC LISO) el cual posee una permitividad dieléctrica relativa no muy diferente a la del terreno en el que está enterrada. Ello da lugar a que no se produzcan en este caso y de manera significativa fenómenos de reflexión y/o refracción, tal como se explicó en el apartado 3.2.B de esta documentación.

5.4. AUTOVÍA EX-A1.

Como última parte del TFG se presenta en este apartado los trabajos realizados en un tramo de la autovía EX–A1, a fin de analizar espesores de firme, comprobación de arquetas y elementos de drenaje, etc.

Este trabajo ha sido desarrollado gracias a la colaboración de la Sección de Carreteras de la Junta de Extremadura, cuyos responsables nos permitieron realizar una serie de pruebas con nuestros equipos en el citado tramo de autovía.

Inicialmente, el objetivo era intentar delimitar el alcance y origen de una serie de problemas surgidos en el firme, posiblemente motivados por fallos en el drenaje de la vía.

Esta tarea se llevó a cabo con el GPR empleando las dos antenas -500 y 1200 MHz-, aunque mayoritariamente la antena utilizada fue ésta última de 1200 MHz, pues en un primer análisis 'in situ' de los radargramas colectados nos mostraron la dificultad de interpretación de los radargramas con la de 500 MHz, dada su menor resolución espacial.

Se realizaron en total 30 transectos, que pueden verse en el Anexo Nº 4, junto con la información donde aparece la ubicación de los perfiles, características y objetivos iniciales de cada uno, tal como se recoge en los planos Nº 3.1, 3.2 y 3.3 del Anexo Nº 2.

De todos ellos, como en ocasiones anteriores únicamente se realizó su tratamiento para aquellos radargramas que consideramos de mayor interés 'a priori' y que mejoraban el original significativamente. En estos casos, se ha empleado una nueva paleta de colores para facilitar la interpretación de cada radargrama.

Tal como ya determinamos anteriormente, ahora consideramos como resoluciones espaciales aproximadas, entre 6,25 y 3,125 cm para la antena de 1200 MHz y entre 30 y 15 cm para la de 500 MHz.

A continuación, se presentan los radargramas más representativos del estudio realizado en la EX–A1, con su posterior interpretación -véase figura 71, 73, 75, 77 ,79 y 81-. En cada caso, se acompañan los croquis correspondientes en las figuras 70, 72, 74, 76, 78 y 80.

Conviene indicar que se encontraron discrepancias significativas de las longitudes de los radargramas captadas directamente por las ruedas-podómetros que las antenas llevan incorporadas y las medidas que aparecían en los planos de la documentación disponible. El motivo podría ser doble. De una parte, la dificultad de desplazamiento de las ruedas por algunas partes del terreno que hacía que ésta se deslizase en vez de rodar. Por otra, en el caso de los transectos transversales sobre todo, al tener la cuneta cierta inclinación en forma de uve, el recorrido real por el firme podría ser diferente que la medida lineal de la distancia.

El primer radargrama que se presenta corresponde al primer transecto transversal que se realizó entre los puntos 1 y 2 en cuya trayectoria se identifica la arqueta Nº 1, señalada como 9 en la figura 70.

FIGURA 70. Tramo 1-2, en la arqueta nº1.

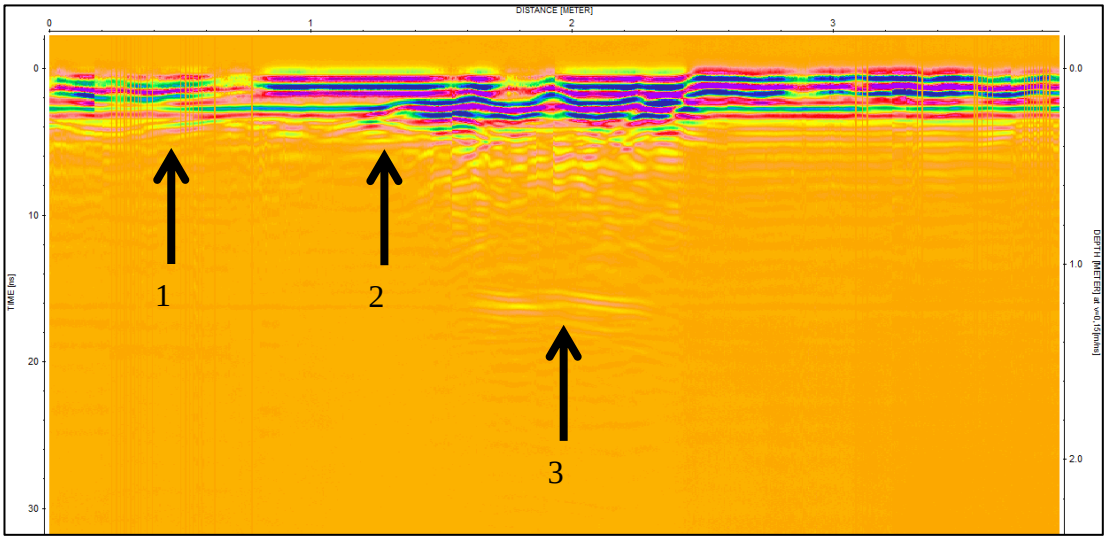


FIGURA 71. Radargrama nº 0630, tramo 1-2.

En este radargrama se puede apreciar claramente la diferencia de terrenos por los que el equipo se desplazó, primero un tramo de tierra (1), continúa después sobre un tramo de terreno revestido de hormigón (2), y finaliza con zona la cuneta que incluye la antes citada arqueta, identificándose a una profundidad de 1,20 m aproximadamente el muro de hormigón del fondo de la arqueta (3).

En el siguiente radargrama se quiere poner de manifiesto una distinción que se produce alrededor de la arqueta nº 4-véase figura nº 72-con respecto a la zona de la arqueta nº 1, en la cuneta, los resultados muestran un hundimiento mayor del terreno por debajo de ella, que no se muestra con tanta claridad en los alrededores de la arqueta nº 1.

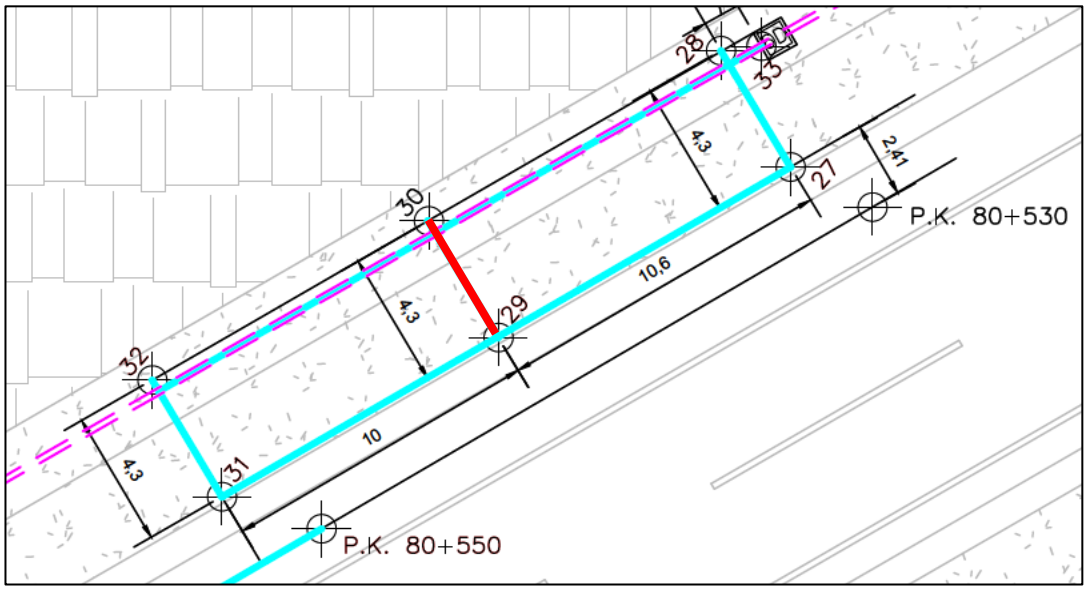


FIGURA 72. Tramo 29-30, en la arqueta nº4.

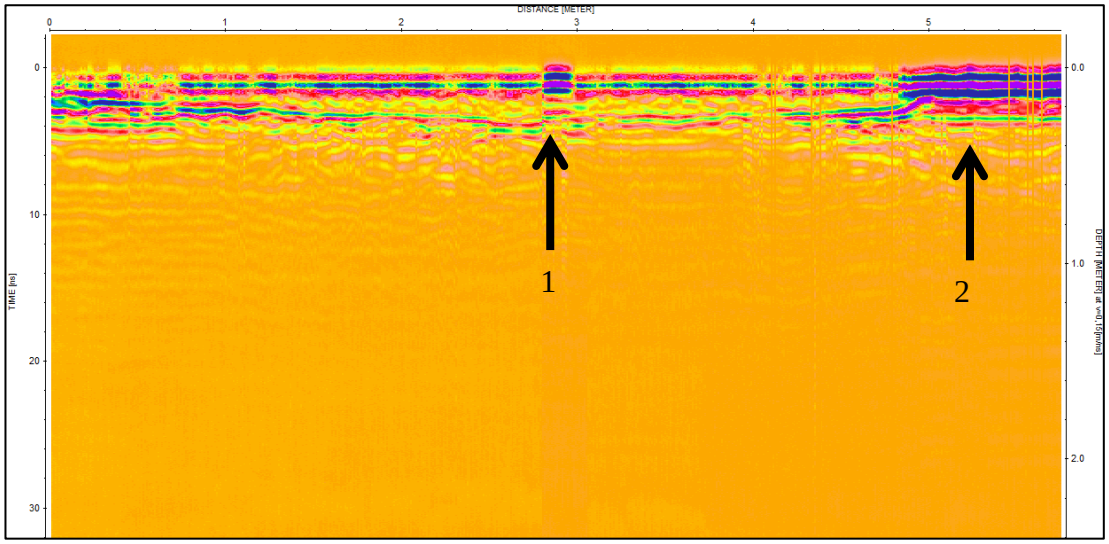


FIGURA 73. Radargrama 0645, tramo 29-30.

El radargrama correspondiente a la figura 73 corresponde a un transversal, con las mismas características que los anteriores, pero en este se atisba una anomalía con respecto a los anteriores, al iniciar la medición por la cuneta, se puede apreciar como en una capa inferior, el terreno va descendiendo desde una forma homóloga al talud de la cuneta hacia el punto bajo de la misma, como sucede normalmente(1), volviendo a subir hasta que encontramos el terreno natural (2), pero en este caso presenta un hundimiento mayor al que sucede a los transectos homólogos realizados en los alrededores de la arqueta nº 1.

No se tiene un grado de certeza muy elevado, ya que es una apreciación muy sutil, subjetiva y que da lugar a muchas interpretaciones pero se puede decir, ya que en este tramo el agua conseguía circular, que hay una pequeña diferencia con los anteriores y que podría ser un indicio de algo que no funciona correctamente.

A continuación, se va a proceder a la interpretación de dos radargramas realizados sobre transectos longitudinales, uno siguiendo lo que sería la trayectoria del tubo de desagüe y otro en una zona donde no debería existir tubería alguna, todo según los planos recogidos en la documentación disponible sobre ese tramo de autovía.

La idea es comparar ambos radargramas e intentar establecer diferencias que puedan significar alguna anomalía bien en la propia tubería o en el terreno dónde ésta se encuentra.

En primer lugar, mostramos el radargrama colectado según el transecto 1-7, lugar que corresponde al tramo que circula más cerca del arcén-véase figura 74-. Inicialmente esta trayectoria estaría alejada de la seguida por la tubería de desagüe.

FIGURA 74. Tramo 1-7, en la arqueta nº1.

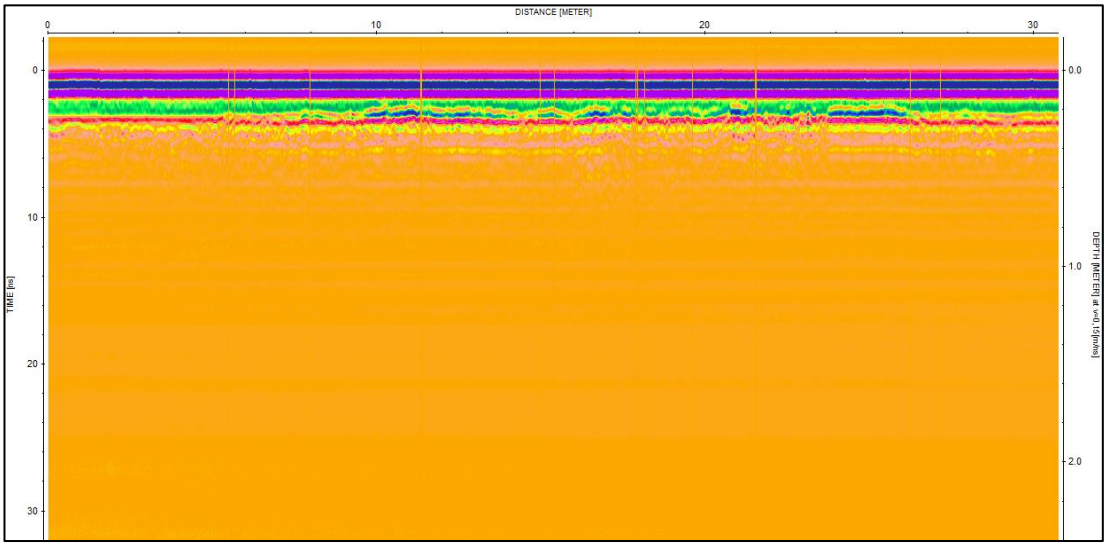


FIGURA 75. Radargrama 0634, tramo 1-7.

Aparentemente, no se observa ninguna anomalía en el terreno, más allá de la lógica distribución de capas del firme, que sobre todo se visualiza en los primeros 20-30 cm desde la superficie, véase figura 75.

A continuación, presentamos el radargrama colectado según el transecto 9-12, que se correspondería con la trayectoria del tubo de desagüe sobre la cuneta-véase figura 76-.

FIGURA 76. Tramo 9-12, en la arqueta nº1.

FIGURA 77. Radargrama 0635, tramo 9-12.

En este caso, a la vista de la figura 77, como diferencia con el anterior únicamente se aprecia con claridad el paso del equipo sobre la arqueta nº 1 y el muro hormigón del fondo de la misma, que se situaría a una profundidad aproximada de 1,30 m. De hecho, la posible presencia de la tubería debería identificarse como una franja reflexiva a lo largo de todo el radargrama y a prácticamente esa profundidad.

Por tanto, entre los dos resultados sólo podemos deducir pequeñas diferencias en el tipo de terreno que atraviesa el equipo en cada caso, identificar alguna estructura de tamaño apreciable (varias decenas de cm) y construida con un material como el cemento u hormigón que posibilita que se produzcan reflexiones intensas. En ningún caso hemos podido identificar una posible tubería de desagüe y posiblemente el motivo podría ser similar al indicado en la prueba del equipo hecha en el Campus de Cáceres: tipo de material y tamaño, aunque también podría influir que al ser una tubería menos consistente y con orificios pudiera haberse producido una colmatación con tierra que la haga menos identificable respecto al terreno donde está enterrada.

En la figura 78 se presenta el transecto entre los puntos 23 y 24, que corresponde al radargrama de la figura 79. Se trata de un tramo realizado en la zona de una bajante y que atravesaría transversalmente la zona donde se ubicaría la tubería de desagüe.

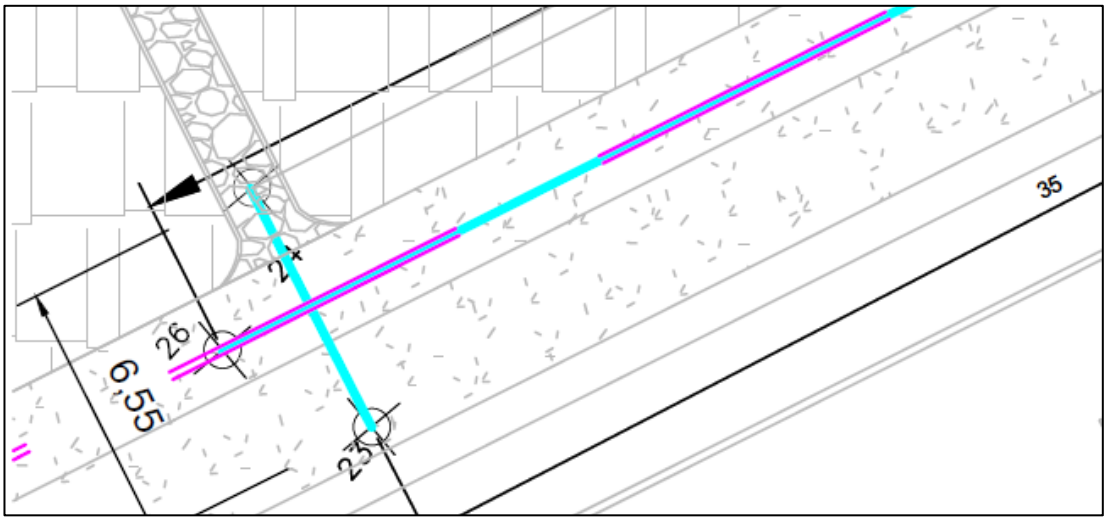


FIGURA 78. Ensayo realizado entre el punto 23-24, en la bajante.

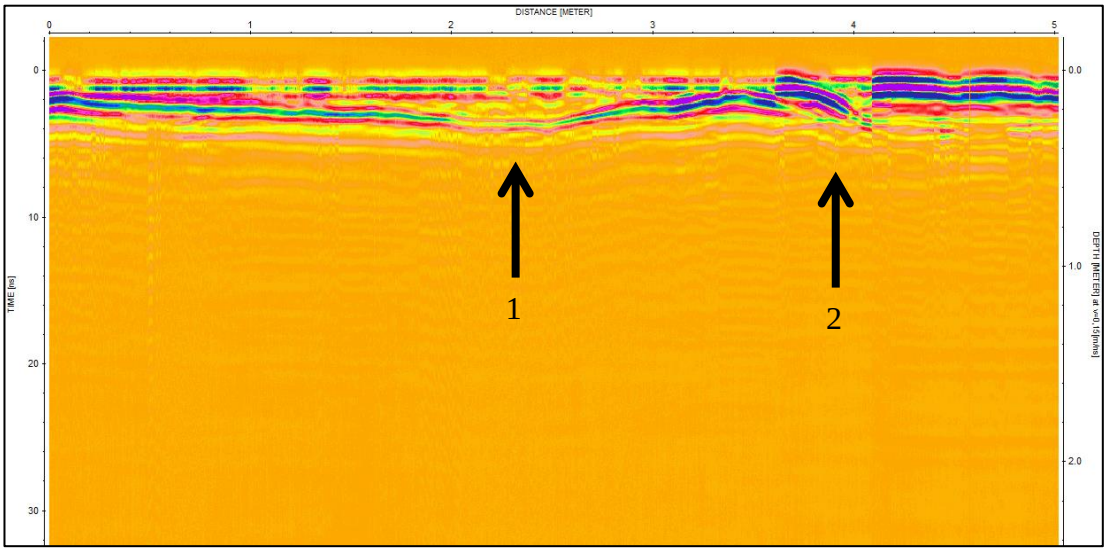


FIGURA 79. Radargrama 0642, tramo 23-24.

Como podemos ver este radargrama presenta algunas características similares a las detectadas en el radargrama 0645, figura 73. Así, podemos apreciar también un cierto hundimiento del terreno hacia la mitad del recorrido del radargrama (1), que podría coincidir aproximadamente con la ubicación de la tubería de desagüe. Así mismo, se puede observar un nuevo cambio de terreno, ya que este radargrama corresponde al ensayo en el que se avanzó por la bajante que ayudaba al drenaje del agua por el talud (2).

En la figura 80 mostramos un croquis de las diferentes capas de las que estaría compuesto el arcén de la autovía en el tramo estudiado.

El radargrama de la figura 81 corresponde a un tramo de unos 50 m recorrido con la antena de 1200 MHz, configurada para obtener la máxima resolución en profundidad y que cubra principalmente los primeros 1,5 m que son los de interés en este caso.

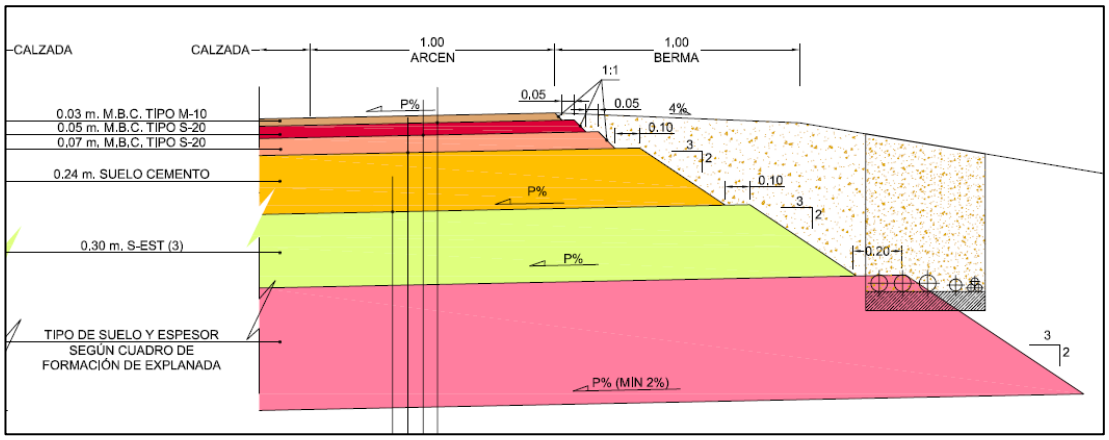


FIGURA 80. Sección tipo con los diferentes espesores de firme de la autovía EX–A1.

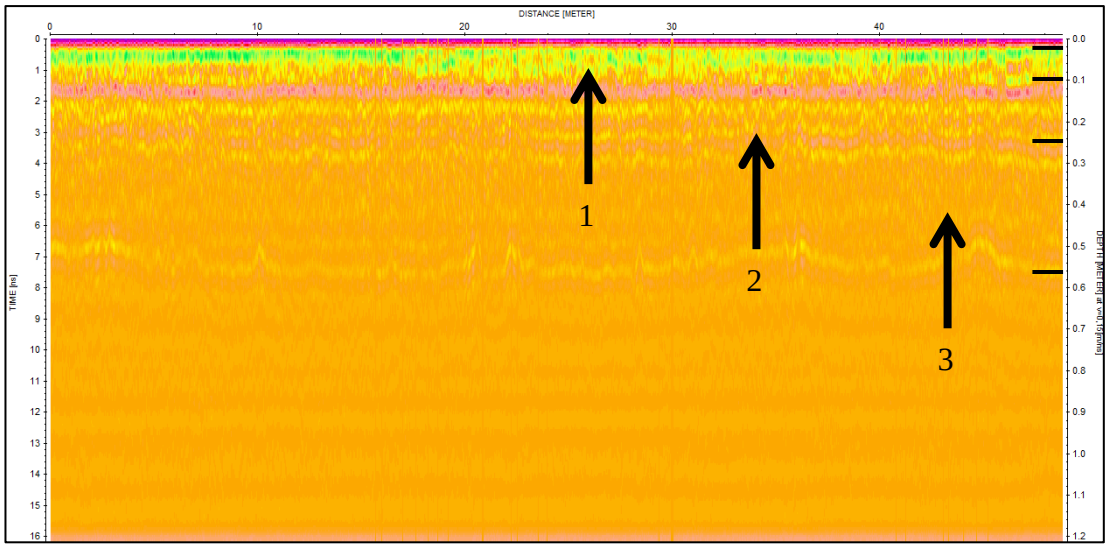


FIGURA 81. Radargrama 0650, tramo realizado por el arcén.

En el radargrama anterior se pueden apreciar perfectamente las diferentes capas del firme y sus espesores -véase anexo Nº 3, plano Nº 4.1-. Concretamente, identificamos cuatro capas claramente diferenciadas:

- Una primer formada por las dos capas de mezcla bituminosa en caliente (MBC) de aproximadamente 8 cm de espesor (1).

- Una segunda capa formada por suelo-cemento, de 16 cm de espesor aproximadamente (2).
- Le sigue la capa de suelo estabilizado con aproximadamente 30 cm de espesor (3).
- Por último tendríamos la capa de suelo adecuado.

En cada capa se aprecia una distribución en estratos más o menos horizontales lo cual se produciría a causa de las diferentes tongadas superpuestas con las que se van construyendo las distintas capas.

Los resultados obtenidos con el estudio realizado en la EX-A1 nos han permitido, al igual que en el ensayo realizado en la mediana del Campus de Cáceres, detectar con facilidad arquetas, muros de hormigón, diferencias de terreno, etc. Sin embargo, en ambos ensayos se ha puesto de manifiesto la dificultad de identificar tuberías de desagüe, al menos las que se instalaron en ambos tramos de carretera.

6. CONCLUSIONES

El objetivo del presente trabajo no era otro que la aplicación de las técnicas GPR a firmes de carreteras e implícito a esto, la puesta a punto del georádar y adquirir los conocimientos y competencias necesarios para el uso correcto de cualquiera de las técnicas puestas en práctica en los diferentes estudios que se han realizado en el TFG.

Como principales conclusiones del trabajo realizado podemos citar:

1.- Hemos realizado una revisión bibliográfica sobre las principales cuestiones que se plantean en el ámbito de la conservación de firmes, resumiendo los principales problemas a tener en cuenta para el adecuado mantenimiento de los mismos.

2.- Hemos estudiado los aspectos básicos del funcionamiento del georádar (GPR), al ser ésta la herramienta fundamental a utilizar en el TFG. Además, hemos revisado algunas de las principales aplicaciones del GPR, en particular, las que se referían al ámbito de la Ingeniería Civil.

3.- Hemos puesto a punto el equipo GPR disponible en el Departamento de Física Aplicada de la Escuela Politécnica de la UEx, incluyendo la elaboración de un inventario completo de sus componentes, el aprendizaje de las funciones básicas para su manejo y distintas tareas que permiten su correcto calibrado en el Laboratorio. También hemos aprendido diferentes opciones de procesado de radargramas (filtrado, ganancia, etc.), así como sobre la elaboración de modelos 2D y 3D a partir de ellos.

4.- Hemos aplicado las técnicas GPR al banco de pruebas (“Test-site”) disponible en la Escuela Politécnica, comparando los resultados interpretados ahora, con los que se obtuvieron –con equipos más limitados- en el año de su construcción (2004). Así, hemos podido detectar e identificar la mayoría de los objetos que fueron enterrados en el banco, así como la estructura de capas de suelos del mismo.

5.- Hemos aplicado las técnicas GPR a una zona del vial del Campus de Cáceres, con el fin de comprobar el funcionamiento de los equipos y técnicas puestas a punto en un entorno realista del campo de la Ingeniería Civil. Así, hemos podido detectar e identificar diferentes superficies de firme y sus dimensiones, así como otros objetos presentes en el subsuelo, como pueden ser las raíces de árboles. Sin embargo,

también se ha puesto de manifiesto la dificultad de identificar en este entorno realista otros posibles objetos de pequeño tamaño y fabricados con materiales que resultan poco reflectantes para las ondas de rádar, como pueden ser tuberías de PVC del sistema de riego de la mediana del Campus.

6.- Hemos aplicado las técnicas GPR a un tramo de la Autovía EX-A1 cercana a Coria, el cual presentaba algunos problemas en el firme, probablemente producidos por fallos en el sistema de drenaje. Al igual que sucedía en las pruebas realizadas en el Campus de Cáceres, hemos podido detectar e identificar distintas superficies y capas en el firme y sus dimensiones, pero también hemos comprobado la dificultad de identificar sin ambigüedad la presencia de tuberías de drenaje y su posible deterioro.

7.- Se plantea, en el caso del análisis del tramo de autovía, la necesidad de continuar avanzando en un futuro en la aplicación de éstas técnicas GPR, sometiendo a un estudio más en profundidad de la documentación y radargramas colectados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- (Aguilera, 2013). AGUILERA RÍO, C. (2013). *"Aproximación del GPR como ensayo para estimar la capacidad estructural de un firme".* Trabajo Fin de Grado. Escuela de Caminos Canales y Puertos de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña, España. Departamento de Infraestructura del transporte y territorio.
- (Alarcón, 2009) ALARCÓN IBARRA, J. (2009). *"Firmes asfálticos, composición, deterioro y rehabilitación".* Capítulo 2 páginas 2-36.
- (Cirera, 2010) CIRERA BERNAL, M. (2010). "*Indicadores de calidad en carreteras. Índice de Regularidad Internacional (I.R.I) y el análisis de su evolución en un grupo de carreteras de la red básica de Cataluña*" Trabajo final de carrera. Escuela de Caminos Canales y Puertos de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña, España. Departamento de Infraestructura del transporte y territorio.
- (Conyers and Goodman, 1997) CONYERS, L.B. AND GOODMAN, D. (1997) "*Ground-Penetrating Radar an Introduction for Archaeologists"*. Altamira Press.
- (Daniels, 1996) DANIELS, D.J., Surface Penetrating Radar (1996)*." The Institution of Electrical Engineers"*. IEE Radar, Sonar, Navigation and Avionics Series 6.
- (De la Llave, 2016-2017) LUIS JAVIER FERNÁNDEZ DE LA LLAVE (2016-2017). "*Tema 7, maquinaria específica de carreteras."* Documentación relativa a la asignatura de Maquinaria cursada en el presente grado, curso 2016-2017.
- (Del Río, 2004) DEL RÍO, RUFO Y PANIAGUA (2004). *"Test site for the analysis of subsoil GPR signal propagation"*. Artículo de investigación sobre el TEST-SITE.
- (Del Río and Serrano, 2014) DEL RÍO, L.M. and SERRANO E., (2014)*." Paisajes en Vías de Extinción: Los Glaciares en Picos de Europa y Pirineos".* Patrimonio Cultural Vinculado con el Agua. Paisaje, Urbanismo, Arte, Ingeniería y Turismo. Editora General de Extremadura.
- (Fundamentos georádar, 25/08/2017). ENMACOSA. *"Fundamentos teóricos del georádar"*. Blog referido al uso del georádar en carreteras, así como a

investigaciones relativas a dicho tema. Fecha de consulta [25/08/2017]. Disponible en < http://carreteras-laser-escaner.blogspot.com.es/2004/01/gpr-geo-radar-fundamentos-teoricos_12.html >.

- (Gómez, 2008) GÓMEZ LÓPEZ, R (2008). *"Aplicación del radar de penetración en tierra (georádar) a la exploración no destructiva de yacimientos arqueológicos".* Proyecto fin de carrera.
- (Infraense, 2010) INFRAENSE, INC (2006).*"Feasibility of Using Ground Penetrating Radar (GPR) for Pavements, Utilities, and Bridges*" South Dakota. Department of Transportation Office of Research.
- (Instrucción de Carreteras, 2003) Ministerio de Fomento (2003). "*Norma 6.3 I.C.*" Instrucción de carreteras, España.
- **(**Manual Control Unit, versión 2.0) MALÅ Geoscience. *"ProEx-Professional Explorer Control Unit"*. Operating manual, version 2.0.
- (Manual monitor, versión 1.5) MALÅ Geoscience. *"XV Monitor for ProEx and X3M with Ethernet communication"*. Operating manual, version 1.5.
- (Ministerio de fomento, 2002) MINISTERIO DE FOMENTO (2002). *"Circular 9/2002"*. Normativa rehabilitación de firmes, España.
- (Ministerio de Fomento, 2003) MINISTERIO DE FOMENTO (2003). *"Orden fom/3459/2003, de 28 de noviembre, por la que se aprueba la norma 6.3-IC de rehabilitación de firmes".*BOE de 12 de diciembre de 2003.
- (Pellicer, 2012) PELLICER LLOPIS, V (2012). *"Ensayos no destructivos en hormigón"*. Proyecto fin de Grado, Universidad Politécnica de Valencia.
- (Rodríguez, 2016-2017) PEDRO RODRÍGUEZ IZQUIERDO (2016-2017). *"Conservación y explotación de las carreteras".* Documentación relativa a la asignatura de Ingeniería de carreteras cursada en el presente grado, curso 2016-2017.
- (Sandmeier, 2011)Dr. K.J. SANDMEIER (2011). "*Windows™ XP/7/8/10-program for the processing of seismic, acoustic or electromagnetic reflection, refraction and transmission data".*Reflexw, versión 8.5.
- (Seoane, 2007) FERNÁNDEZ SEOANE, L; GÓMEZ FRÍAS, V.; GONZÁLEZ GONZÁLEZ, M.; MILLÁN SÁNCHEZ GRANDE, C; SÁNCHEZ MATA, M (2007). *"SIG para la gestión de firmes"*. GETINSA, Madrid.

- (Sitecal, 19/06/2017). SITECAL. "Medida de deflexiones". Viga Benkelman. Fecha de consulta [19/06/2017]. Disponible en < http://www.sitecal.com >.
- (Tavira, 2013) TAVIRA DÍAZ, J (2013). *" Cálculo mecánico de firmes a partir de ensayos no destructivos".* Universidad de Sevilla, Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Área de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes.
- (TRX, 2009) TRX CONSULTING (2009). *"GPR (Ground Penetration Radar)-Georádar".* Documento dedicado a la tecnología utilizada en investigación, más concretamente en ingeniería y ciencias de la tierra.

ANEXOS

ANEXO Nº 1. INVENTARIO MATERIAL GPR Y FICHA DE CAMPO.

INVENTARIO MATERIAL GPR.

UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA			
Escuela Politécnica	INVENTARIO MATERIAL GPR		
Título del Proyecto:			
Fecha de la visita:			
Dirección:			
Nombre colaboradores:			
ANTENAS APANTALLADAS			
Componentes		Unidades	
1.Unidad de Control ProEx MALA		1	
	1.1 Módulo de antena óptico	1	
	1.2 Módulo de antena HF	1	
2. Monitor XV		1	
3. Antena 500 MHz		1	
	3.1 Ud. Electrónica blindada	1	
	3.2 Manguera de cable de antena 500 MHz	1	
	3.3 Rueda de medición de distancia con cable de conexión	1	
	3.4 Asa de transporte de antena 500 MHz	1	
4. Antena HF 1200 MHz		1	
	4.1 Carro con ruedas	1	
	4.2 Cable de conexión	1	
	4.3 Mango de Extensión	1	
5. Cable de datos Ethenet de 3 m		2	
6. Cable de datos Ethenet de 1,2 m		2	
7. Cable de fibra óptica D-R		1	
8. Cable de fibra óptica T		1	
9. Tapones naranjas de protección de cables de fibra óptica		3	
10. Bolsa de batería con 4 salidas conectoras de baterías		1	
11. Cable de conexión del Monitor a la bolsa de batería		1	
12. Adaptadores de conexión de la bolsa de batería		4	
13. Batería de alimentación del Monitor MALA GeoSience		2	
14. Batería de alimentación de la Ud. de Control MALA GeoSience		2	
15. Batería de alimentación de la Antena 500MHz MALA GeoSience		1	
16. Cargador de baterías MALA para la alimentación del monitor y de la Ud, de Control		4	
17. Adaptador de cargador a batería de alimentación del Monitor		3	
18. Cable de conexión de batería a la red		5	
19. Cargador de baterías MALA para la alimentación de la antena 500 MHz		1	
20. Rueda de ajuste de la Ud. de Control		6	
21. Tapa de módulo con 2 tornillos		1	
22. Velcro de ajuste		3	
23. Destornillador de estrella		1	

Escuela Politécnica

UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA

INVENTARIO MATERIAL GPR

Título del Proyecto:				
Fecha de la visita:				
Dirección:				
Nombre colaboradores:				

ANTENAS APANTALLADAS

Componentes	Unidades	
24. Atril Monitor	1	
25. Mochila Ud. de Control	1	
26. Bolsa negra	1	
27. Maletín negro MALA	1	
28. Maletín azul MALA	1	
29. Pendrive MALA	3	
30. Instrucciones de montaje mochila para Ud. de Control	1	
31. CD GPR	1	
32. Manual Ud. de Control ProEx	1	
33. Manual Monitor XV	1	

Escuela Politécnica

UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA

INVENTARIO MATERIAL GPR

Título del Proyecto:	
Fecha de la visita:	
Dirección:	
Nombre colaboradores:	

ANTENAS SIN APANTALLAR

Componentes	Unidades	
34. Ud. ProEx Control MALA	1	
35. Antena 50 MHz con 4 barras desmontables	2	
36. Antena 200 MHz	2	
37. Placa conectora Receptora	1	
38. Placa conectora Transmisora	1	
39. Batería de alimentación MALA G. para antenas 50MHz, 200 MHz y placas conectoras R Y T	6	
40. Cargador de batería MALA GeoCience Type 9640 para Ud. de Control y placas conectoras R Y T	3	
41.Cargador de batería Type 9940 para Ud. de Control y placas conectoras R Y T	1	
42. Cable de conexión de batería a la red	1	
43. Cable de conexión a la Ud. de Control	2	
44. Cable de fibra óptica 2x2 de 5 m	2	
45. Cable de fibra óptica 2x2 de 4,40 m	2	
46. Cable de fibra óptica 1x1 de 4,40 m	2	
47. Tapones de protección de cables de fibra óptica	11	
48. Enganches metálicos de baterías de antenas y placas receptoras y transmisoras	3	
49. Enganche metálico de placa conectora receptora y transmisora	1	
50. Contador de hilo	1	
51. Bobina grande de hilo	1	
52. Bobina pequeña de hilo	1	
53. Pulsador de impulso	1	
54. Estructura de madera	1	
55. Soporte metálico monitor	1	
56. Accesorio de enganche a soporte metálico monitor	1	
57. Esquíes	2	
58. Cuerdas color rojo, blanco y azul	1	
59. Gancho rojo	1	
60. Clavos	158	
61. Tornillos grandes	2	
62. Tornillos medianos	8	
63. Tornillos negros con 2 tuercas	2	

UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA

Escuela Politécnica

INVENTARIO MATERIAL GPR

Título del Proyecto:	
Fecha de la visita:	
Dirección:	
Nombre colaboradores:	

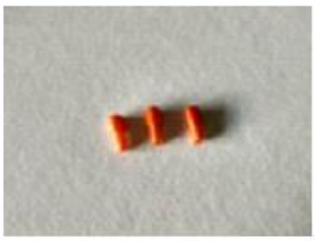
ANTENAS SIN APANTALLAR

Componentes	Unidades	
64. Tuercas de mariposa	19	
65. Arandelas	9	
66. Escuadras	4	
67. Caja de 10 fusibles	1	
68. Llave de 8-9	1	
69. Martillo	1	
70. Estuche con banderines	1	
71. Convertidor de corriente continua a alterna	1	
72. Cinta métrica de 50 m	1	
73. Rollo cinta americana 30 m	1	
74. Rollo de cinta aislante de 20 m	1	
75. Tijeras	1	
76. Paquete de tizas	2	
77. Lápices	3	
78. Gomas	2	
79. Maletín grande	1	
80. Maletín pequeño	1	
81. Software de recogida de datos	1	

ANTENAS APANTALLADAS		
COMPONENTES / DESCRPCIÓN	**Ud.**	**IMAGEN**
1. Ud. de Control ProEx MALA Es el administrador de la recopilación de datos (con dos módulos para la conexión con las antenas)	1	
1.1 Módulo de antena óptico Para conexión con antena 500 MHz Las conexiones en el módulo están marcadas con T (Transmisor), R (Receptor) y D (Datos).	1	
1.2 Módulo de antena HF Para conexión con antena 1200 MHz de alta resolución HF.	1	
2. Monitor XV MALA *Común a las antenas sin apantallar	1	

ANTENAS APANTALLADAS		
COMPONENTES / DESCRPCIÓN	**Ud.**	**IMAGEN**
3. Antena 500 MHz Estas antenas están conectadas a la unidad de control ProEx con módulo óptico. Para una profundidad de penetración media y buena resolución.	1	
3.1 Ud. Electrónica blindada Montada sobre el blindaje de antena. Contiene tanto el transmisor como el receptor electrónico.	1	
3.2 Manguera de cable de antena 500 MHz Para conexión al módulo óptico de la Ud. de Control ProEx	1	
3.3 Rueda de medición de distancia con cable de conexión Unida directamente al blindado de antena a través del cable	1	
3.4 Asa de Transporte de antena 500 MHz Para manipulación de la antena.	1	

ANTENAS APANTALLADAS		
COMPONENTES / DESCRPCIÓN	**Ud.**	**IMAGEN**
4. Antena HF 1200 MHz Para una penetración de 100 m aprox.	1	
4.1 Carro con ruedas Montado con la antena.	1	
4.2 Cable de conexión Para conexión al módulo coaxial de la Ud. de Control.	1	
4.3 Mango de extensión Para manipulación de la antena.	1	
5. Cable de datos Ethenet de 3 m Para conexión de Ud. de Control con Monitor o PC	2	

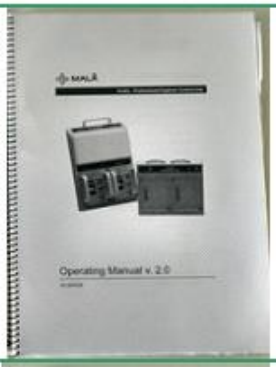
ANTENAS APANTALLADAS		
COMPONENTES / DESCRPCIÓN	**Ud.**	**IMAGEN**
6. Cable de datos Ethenet de 1,2 m Para conexión de Ud. de Control con Monitor o PC	2	
7. Cable de fibra óptica D-R (Datos Y Receptor)	1	
8. Cable de fibra óptica T (Transmisor)	1	
9. Tapones naranjas de protección de cables de fibra óptica	3	
10. Bolsa de batería con 4 salidas conectoras de baterías Con conectores en la parte exterior derecha para conexión el monitor y en el interior de la bolsa para conexión con	1	

ANTENAS APANTALLADAS		
COMPONENTES / DESCRPCIÓN	Ud.	IMAGEN
11. Cable de conexión del Monitor a la bolsa de batería	1	
12. Adaptadores de conexión de la bolsa de batería	4	
13. Batería de alimentación del Monitor MALA GeoSience Conectadas a través de la bolsa al Monitor. (Li-Ion 12 V)	2	
14. Batería de alimentación de la Ud. de Control MALA GeoSience Conectadas directamente a la Ud. de Control. (Li-Ion 12 V)	2	
15. Batería de alimentación de la Antena 500MHz MALA GeoSience Con 2 enganches metálicos. (Li-Ion 12 V) *Común a las baterías de las antenas sin apantallar	1	

ANTENAS APANTALLADAS		
COMPONENTES / DESCRPCIÓN	Ud.	IMAGEN
16. Cargador de baterías MALA para la alimentación del monitor y de la Ud. de Control	4	
17. Adaptador de cargador a batería de alimentación del Monitor	3	
18. Cable de conexión de batería a la red *Común a las baterías de las antenas sin apantallar	5	
19. Cargador de baterías MALA para la alimentación de la antena 500 MHz *Común a los cargadores de las antenas sin apantallar	1	
20. Rueda de ajuste de la Ud. de Control	6	

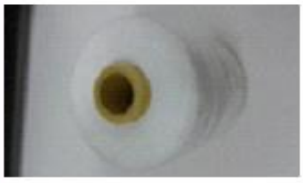
ANTENAS APANTALLADAS		
COMPONENTES / DESCRPCIÓN	Ud.	IMAGEN
21. Tapa de módulo con 2 tornillos	1	
22. Velcro de ajuste	3	
23. Destornillador de estrella	1	
24. Atril Monitor	1	
25. Mochila Ud. de Control	1	

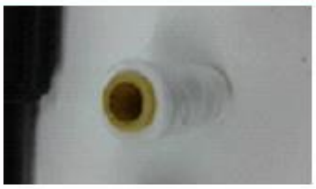
ANTENAS APANTALLADAS		
COMPONENTES / DESCRPCIÓN	Ud.	IMAGEN
26. Bolsa negra	1	
27. Maletín negro MALA	1	
28. Maletín azul MALA	1	
29. Pendrive MALA	3	
30. Instrucciones de montaje mochila para Ud. de Control	1	

ANTENAS APANTALLADAS		
COMPONENTES / DESCRPCIÓN	Ud.	IMAGEN
33. CD GPR	1	
34. Manual Ud. de Control ProEx	1	
35. Manual Monitor XV	1	

ANTENAS SIN APANTALLAR		
COMPONENTES / DESCRPCIÓN	Ud.	IMAGEN
34. Ud. ProEx Control MALA	1	
35. Antena 50 MHz con 4 barras desmontables Conectadas a las placas receptoras y transmisoras	2	
36. Antena 200 MHz Conectadas a las placas receptoras y transmisoras	2	
37. Placa conectora Receptora Con 2 enganches metálicos	1	
38. Placa conectora Transmisora Con 2 enganches metálicos	1	
39. Batería de alimentación MALA G. para antenas 50MHz, 200 MHz y placas conectoras R Y T Con 2 enganches metálicos. (Li-Ion 12 V) *Común a las baterías de las antenas apantalladas	6	

ANTENAS SIN APANTALLAR		
COMPONENTES / DESCRPCIÓN	Ud.	IMAGEN
40. Cargador de batería MALA GeoCience Type 9640 para Ud. de Control y placas conectoras R Y T *Común a los cargadores de las antenas apantalladas	3	
41. Cargador de batería Type 9940 para Ud. de Control y placas conectoras R Y T *Común a los cargadores de las antenas apantalladas	1	
42. Cable de conexión de batería a la red *Común a las baterías de las antenas sin apantallar	1	
43. Cable de conexión a la Ud. de Control	2	
44. Cable de fibra óptica 2x2 de 5 m	2	
45. Cable de fibra óptica 2x2 de 4,40 m	2	

ANTENAS SIN APANTALLAR		
COMPONENTES / DESCRPCIÓN	Ud.	IMAGEN
46. Cable de fibra óptica 1x1 de 4,40 m	2	
47. Tapones de protección de cables de fibra óptica	11	
48. Enganches metálicos de baterías de antenas y placas receptoras y transmisoras *Común a la baterías de la antena apantallada de 500 MHz	3	
49. Enganche metálico de placa conectora receptora y transmisora	1	
50. Contador de hilo	1	
51. Bobina grande de hilo	1	

ANTENAS SIN APANTALLAR		
COMPONENTES / DESCRPCIÓN	Ud.	IMAGEN
52. Bobina pequeña de hilo	1	
53. Pulsador de impulso	1	
54. Estructura de madera	1	
55. Soporte metálico monitor	1	
56. Accesorio de enganche a soporte metálico monitor	1	
57. Esquíes	2	
58. Cuerdas color rojo, blanco y azul	1	

+ANTENAS SIN APANTALLAR		
COMPONENTES / DESCRPCIÓN	Ud.	IMAGEN
59. Gancho rojo	1	
60. Clavos	158	
61. Tornillos grandes	2	
62. Tornillos medianos	18	
63. Tornillos negros con 2 tuercas	2	
64. Tuercas de mariposa	19	
65. Arandelas	9	
66. Escuadras	4	

ANTENAS SIN APANTALLAR		
COMPONENTES / DESCRPCIÓN	Ud.	IMAGEN
67. Caja de 10 fusibles	1	
68. Llave de 8-9	1	
69. Martillo	1	
70. Estuche con banderines	1	
71. Convertidor de corriente continua a alterna	1	
72. Cinta métrica de 50 m	1	
73. Rollo cinta americana 30 m	1	

ANTENAS SIN APANTALLAR		
COMPONENTES / DESCRPCIÓN	Ud.	IMAGEN
74. Rollo de cinta aislante de 20 m	1	
75. Tijeras	1	
76. Paquete de tizas	2	
77. Lápices	3	
78. Gomas	2	
79. Maletín grande	1	
80. Maletín pequeño	1	

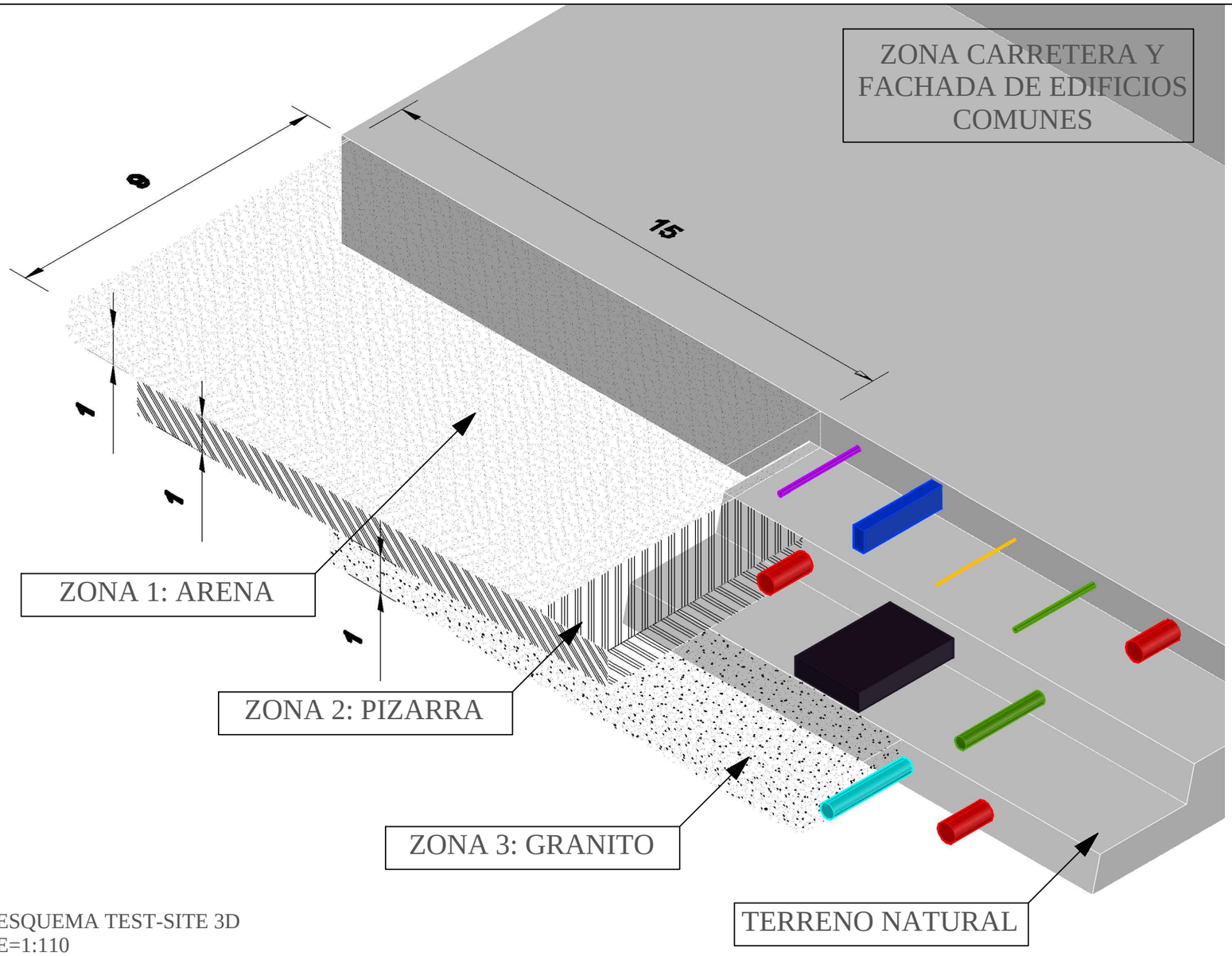
ANTENAS SIN APANTALLAR		
COMPONENTES / DESCRPCIÓN	Ud.	IMAGEN
81. Software de recogida de datos En el caso de conectar al PC	1	

FICHA DE CAMPO.

UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA			
Escuela Politécnica	TOMA DE DATOS GPR		
Título del Proyecto:			
Fecha de la visita:		Hora:	
Dirección:			
Nombre colaboradores:			
Coordenadas inicio:		Coordenadas fin:	
Antena 500 Hz			
Antena 1200 GHz			
2D Project			
3D Grid Project			
CROQUIS			
Largo (m):		Ancho (m):	Medidas cada:
Observaciones:			
Nombre Ficheros:			

ANEXO Nº 2. PLANOS.

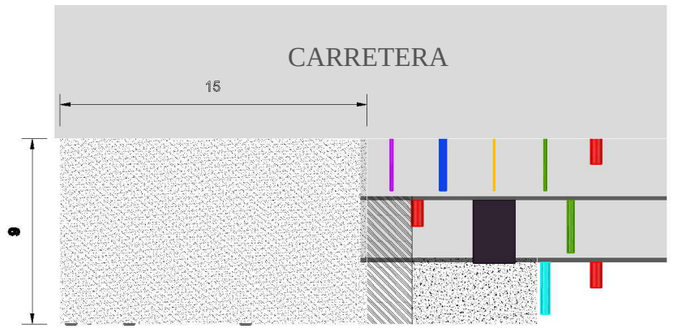
PRODUCIDO POR UN PRODUCTO EDUCATIVO DE AUTODESK



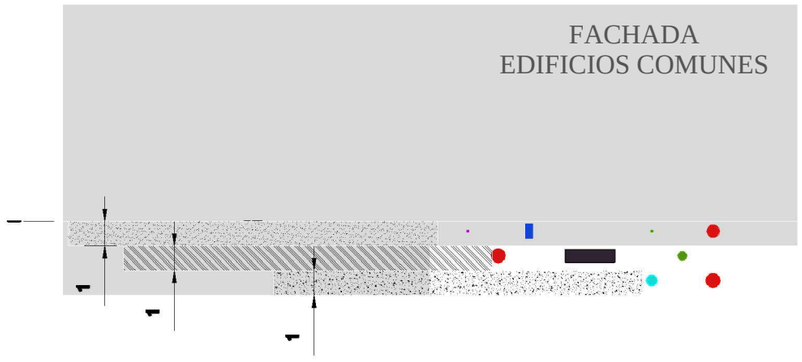
ESQUEMA TEST-SITE 3D
E=1:110

SITUACIÓN TEST-SITE

OBJETOS ENTERRADOS		
1º ESCALÓN (PROFUNDIDAD=1 m) ZONA A	●	Tubo de acero Ø =10 cm
	■	Pared de granito 60 x 30 cm
	●	Cable eléctrico Ø =1,5 cm
	●	Tubo de PVC Ø =10 cm
	●	Contenedor metálico Ø =52 cm
2º ESCALÓN (PROFUNDIDAD=2 m) ZONA B	●	Contenedor metálico Ø =52 cm
	■	Punto de basura (300 x 200 x 50 cm)
	●	Tubo de PVC Ø =31,5 cm
3º ESCALÓN (PROFUNDIDAD=3 m) ZONA C	●	Conducto de hormigón Ø =40 cm
	●	Contenedor metálico Ø =52 cm



PLANTA TEST-SITE
E=1:300



ALZADO TEST-SITE
E=1:250

NOTA:
LOS OBJETOS ESTÁN REPRESENTADOS DE TAL FORMA QUE ESTÁN A LA MISMA PROFUNDIDAD DENTRO DE CADA ESCALÓN Y A DISTANCIAS IGUALES, COSA QUE NO SE CORRESPONDE CON LA REALIDAD, SIMPLEMENTE SE REPRESENTA ASÍ PARA FACILITAR LA COMPRENSIÓN DEL PLANO.

UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA	ESCUELA POLITÉCNICA DE CÁCERES Grado en Ingeniería Civil- Transportes y servicios urbanos.	Autor del Proyecto: D. Darío Collado Mariscal	Tutora del Proyecto: D. Montaña Jiménez Espada	Co-tutor del Proyecto: D. Mariano del Río Pérez	Escala: Varias	Tíulo del proyecto: Aplicación de las técnicas GPR a firmes de carretera	Designación del plano: Levantamiento "Test-site"	Fecha: Septiembre 2017 Nº de plano: 1

PRODUCIDO POR UN PRODUCTO EDUCATIVO DE AUTODESK

PRODUCIDO POR UN PRODUCTO EDUCATIVO DE AUTODESK

ESQUEMA.MEDIANA CAMPUS.
E=1:75

SITUACIÓN. MEDIANA CAMPUS

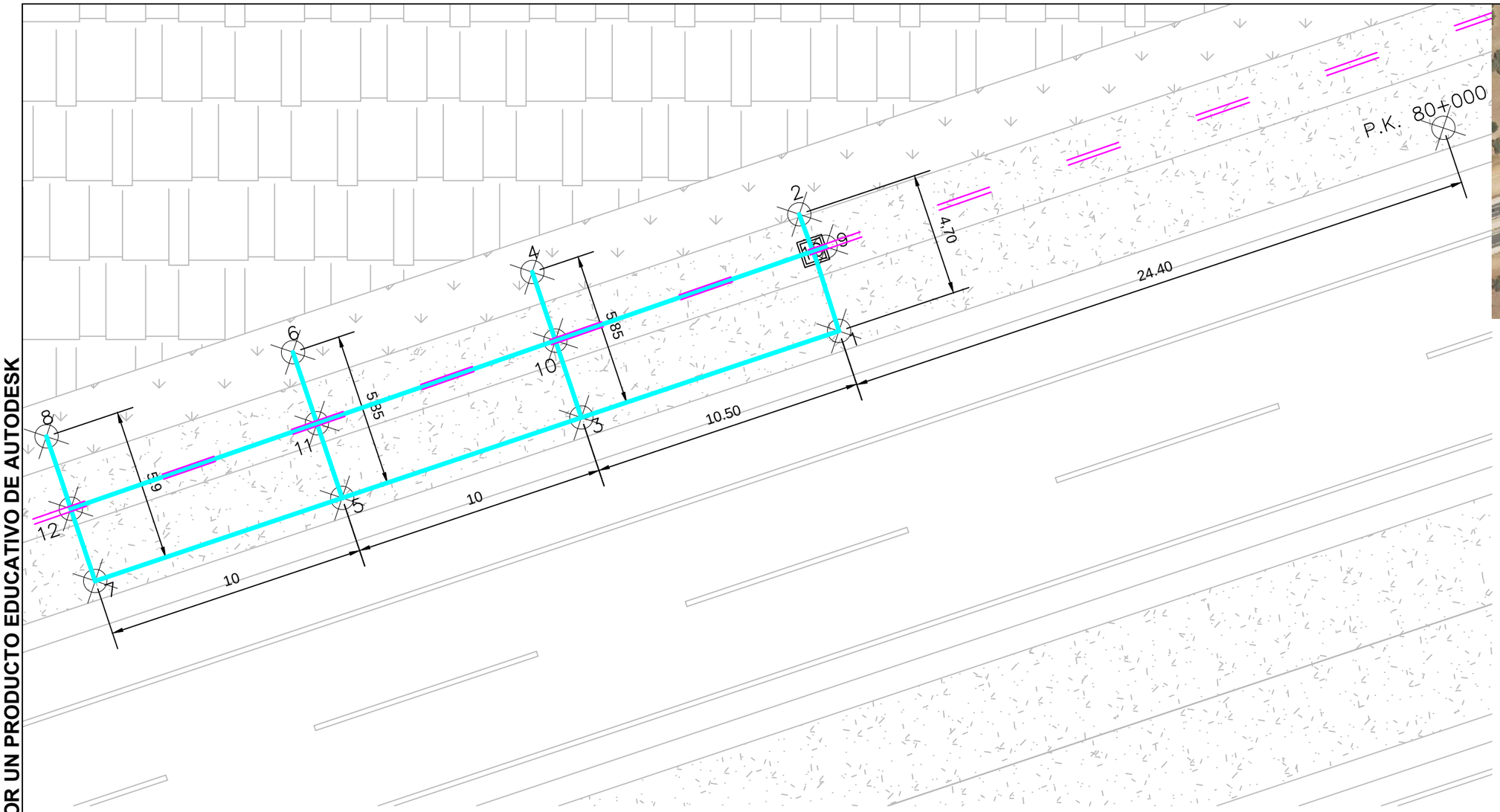
LEYENDA	
	ÁRBOL
	PERFILES
	TUBO SANEAMIENTO
	POZO DE SANEAMIENTO
	BARRA DEFENSA
	CÉSPED
	ACERA

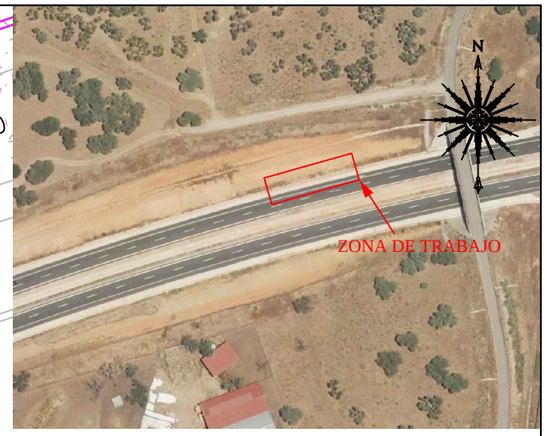
TRAMO	ANTENA (MHz)	ARCHIVO	DISTANCIA (m)	RESOLUCIÓN (m)	SENTIDO(con la tubería)	OBJETIVO	OBSERVACIONES
1-2	1200	589	7,90	2,50	TRANSVERSAL	LOCALIZAR TUBERÍA	EN EL CÉSPED
3-4	1200	590	7,90	2,50	TRANSVERSAL	LOCALIZAR TUBERÍA	JUNTO AL POZO
5-6	1200	592	7,90	2,50	TRANSVERSAL	PATRÓN TRASVERSAL	CERCA DEL POZO
5-6	1200	594	7,90	1,50	TRASVERSAL	MÁS PRECISIÓN	REPETICIÓN
7-8	1200	596	10,57	1,50	LONGITUDINAL	PATRÓN LONGITUDINAL	LONGITUDINAL EN CESPED
9-10	1200	597	10,57	1,50	LONGITUDINAL	PATRÓN LONGITUDINAL	LONGITUDINAL EN CESPED
11-7	1200	598	9,10	1,00	LONGITUDINAL	TRANSICIÓN ACERA-CÉSPED	EN ACERA Y CÉSPED
7-8	1200	599	10,57	1,00	LONGITUDINAL	MÁS PRECISIÓN	REPETICIÓN
12-9	1200	560	9,10	1,00	LONGITUDINAL	TRANSICIÓN ACERA-CÉSPED	EN ACERA Y CÉSPED
9-10	1200	561	10,57	1,00	LONGITUDINAL	MÁS PRECISIÓN	REPETICIÓN

UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA	ESCUELA POLITÉCNICA DE CÁCERES Grado en Ingeniería Civil- Transportes y servicios urbanos.	Autor del Proyecto: D. Darío Collado Mariscal	Tutora del Proyecto: D. Montaña Jiménez Espada	Co-tutor del Proyecto: D. Mariano del Río Pérez	Escala: 1:75	Título del proyecto: Aplicación de las técnicas GPR a firmes de carretera	Designación del plano: Prueba. Campus universidad	Fecha: Septiembre 2017 Nº de plano: 2

PRODUCIDO POR UN PRODUCTO EDUCATIVO DE AUTODESK

PRODUCIDO POR UN PRODUCTO EDUCATIVO DE AUTODESK





SITUACIÓN. ZONA DE TRABAJO
ARQUETA Nº1.MD.

LEYENDA
CUNETA
TUBO DREN
TALUD DESMONTE
VEGETACIÓN

NOTA:
LAS DISTANCIAS MOSTRADAS EN LA TABLA SON LAS REGISTRADAS POR EL APARATO, PUEDE QUE NO COINCIDAN CON LAS REALES DEBIDO A LAS PÉRDIDAS DE INFORMACIÓN PRODUCIDAS POR LA MALA ADHERENCIA DEL APARATO AL TERRENO.

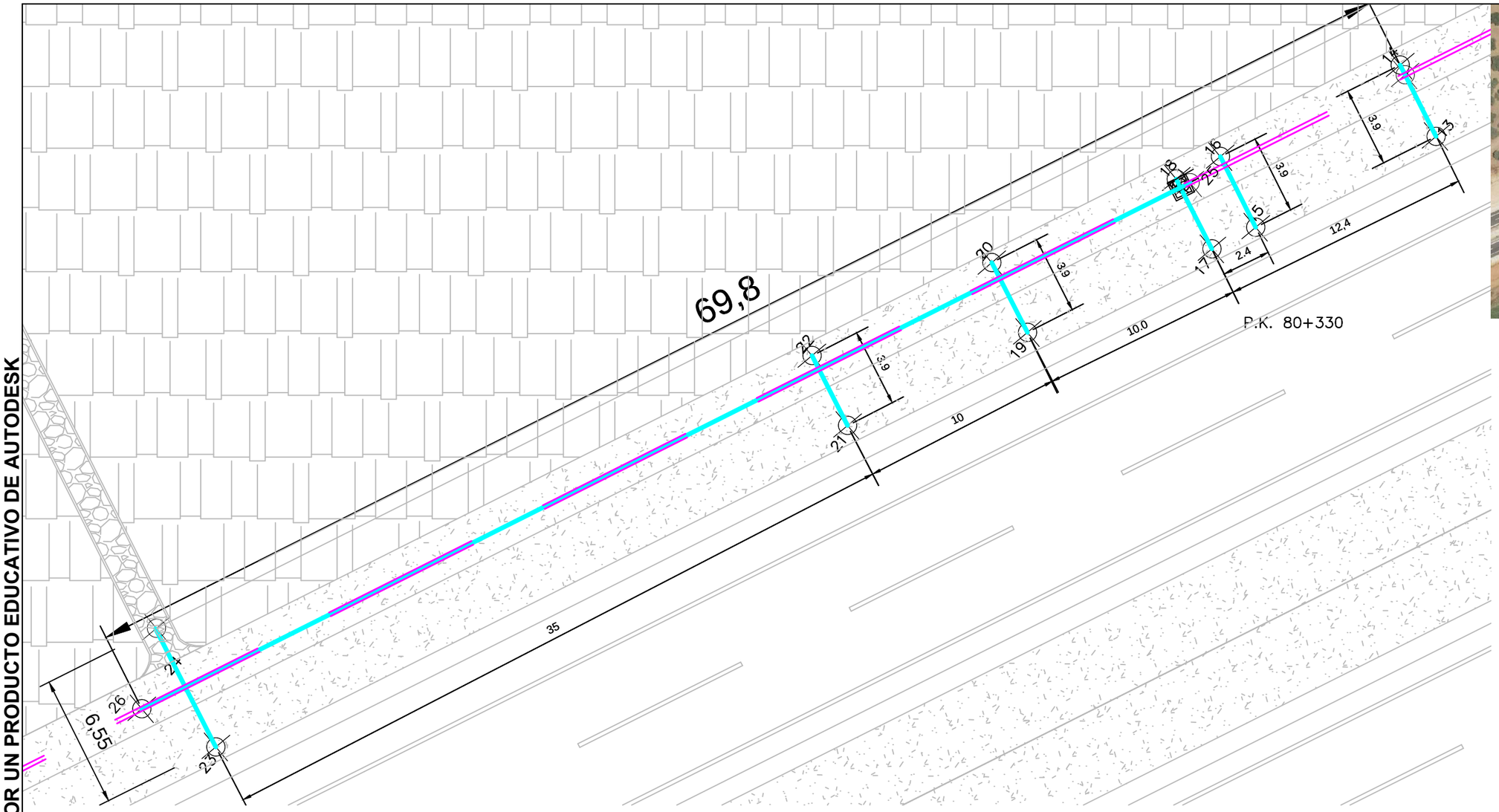
ESQUEMA ZONA DE TRABAJO
E=1:175

ENSAYO	TRAMO	ARCHIVO	DISTANCIA (m)	RESOLUCIÓN (m)	ANTENA(MHz)	SENTIDO(con la tubería)	OBJETIVO	OBSERVACIONES
1	1-2	616	4,70	3,50	500	TRANSVERSAL	VISUALIZAR TUBERÍA Y ARQUETA	PASA POR ENCIMA DE LA ARQUETA Nº 1
2	1-2	618	4,70	3,50	500	TRANSVERSAL	REPETICIÓN ANTERIOR	PASA POR ENCIMA DE LA ARQUETA Nº 1
3	3-4	620	5,85	3,50	500	TRANSVERSAL	LOCALIZAR TUBO	A 10 METROS DE LA ARQUETA Nº1
4	5-6	621	5,85	3,50	500	TRANSVERSAL	PATRÓN TRANSVERSAL	A 20 METROS DE LA ARQUETA Nº1
5	7-8	622	5,90	3,50	500	TRANSVERSAL	PATRÓN TRANSVERSAL	A 30 METROS DE LA ARQUETA Nº1
6	1-2	629	4,70	2,00	1200	TRANSVERSAL	VISUALIZAR TUBERÍA Y ARQUETA	PASA POR ENCIMA DE LA ARQUETA Nº 1
7	1-2	630	4,70	2,00	1200	TRANSVERSAL	REPETICIÓN ANTERIOR	PASA POR ENCIMA DE LA ARQUETA Nº 1
8	3-4	631	5,85	2,00	1200	TRANSVERSAL	LOCALIZAR TUBO	A 10 METROS DE LA ARQUETA Nº1
9	5-6	632	5,85	2,00	1200	TRANSVERSAL	PATRÓN TRANSVERSAL	A 20 METROS DE LA ARQUETA Nº1
10	7-8	633	5,90	2,00	1200	TRANSVERSAL	PATRÓN TRANSVERSAL	A 30 METROS DE LA ARQUETA Nº1
11	1-7	634	30	2,00	1200	LONGITUDINAL	COMPARACIÓN	PASA POR DONDE NO HAY TUBO
12	9-12	635	30	2,00	1200	LONGITUDINAL	COMPARACIÓN	PASA POR DONDE HAY TUBO

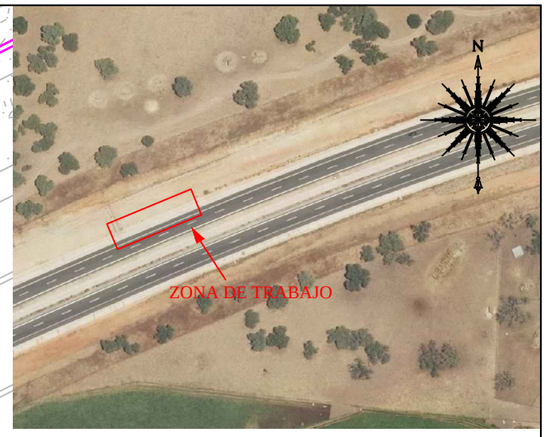
UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA	ESCUELA POLITÉCNICA	ESCUELA POLITÉCNICA DE CÁCERES Grado en Ingeniería Civil- Transportes y servicios urbanos.	Autor del Proyecto: D. Darío Collado Mariscal	Tutora del Proyecto: D. Montaña Jiménez Espada	Co-tutor del Proyecto: D. Mariano del Río Pérez	Escala: 1:175	Título del proyecto: Aplicación de las técnicas GPR a firmes de carretera	Designación del plano: EX-A1. Zona de Arqueta nº1. MD.	Fecha: Septiembre 2017 Nº de plano: 3.1

PRODUCIDO POR UN PRODUCTO EDUCATIVO DE AUTODESK

PRODUCIDO POR UN PRODUCTO EDUCATIVO DE AUTODESK



ESQUEMA ZONA DE TRABAJO
E=1:225



SITUACIÓN. ZONA DE TRABAJO
ARQUETA Nº4.MD.

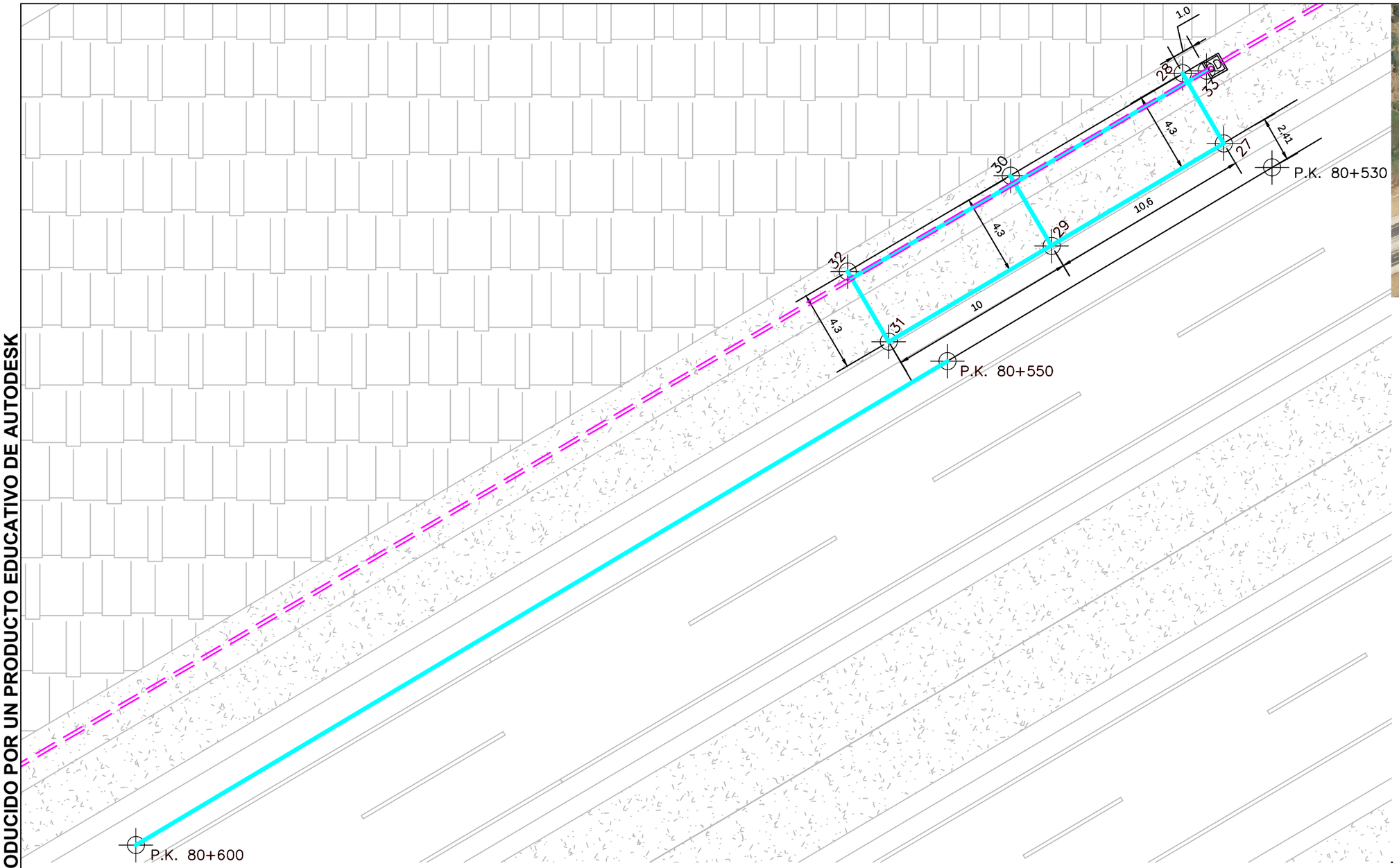
LEYENDA
CUNETA
TUBO DREN
TALUD DESMONTE
BAJANTE

NOTA:
LAS DISTANCIAS MOSTRADAS EN LA TABLA SON LAS REGISTRADAS POR EL APARATO, PUEDE QUE NO COINCIDAN CON LAS REALES DEBIDO A LAS PÉRDIDAS DE INFORMACIÓN PRODUCIDAS POR LA MALA ADHERENCIA DEL APARATO AL TERRENO.

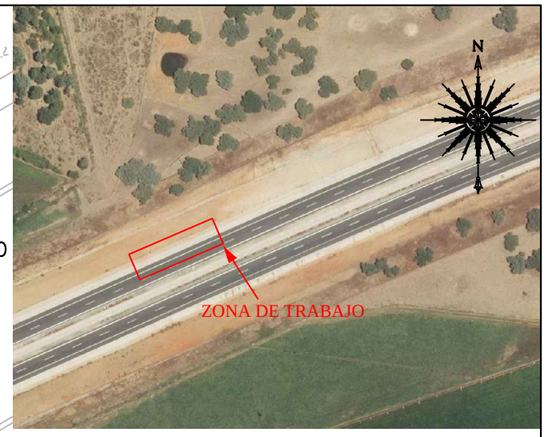
ENSAYO	TRAMO	ARCHIVO	DISTANCIA (m)	RESOLUCIÓN (m)	ANTENA(MHz)	SENTIDO(con la tubería)	OBJETIVO	OBSERVACIONES
13	13-14	636	3,9	2,00	1200	TRANSVERSAL	LOCALIZAR TUBO	A 12, 40 METROS DE LA ARQUETA Nº4
14	15-16	637	3,9	2,00	1200	TRANSVERSAL	PATRÓN TRANSVERSAL	A 2,4 METROS DE LA ARQUETA Nº 4
15	15-16	638	3,9	2,00	1200	TRANSVERSAL	REPETICIÓN ANTERIOR	A 2,4 METROS DE LA ARQUETA Nº 4
16	17-18	639	3,9	2,00	1200	TRANSVERSAL	VISUALIZAR TUBERÍA Y ARQUETA	PASA POR ENCIMA DE LA ARQUETA Nº 4
17	19-20	640	3,9	2,00	1200	TRANSVERSAL	LOCALIZAR TUBO	A 10 METROS DE LA ARQUETA Nº 4
18	21-22	641	3,9	2,00	1200	TRANSVERSAL	PATRÓN TRANSVERSAL	A 20 METROS DE LA ARQUETA Nº 4
19	23-24	642	6,55	2,00	1200	TRANSVERSAL	PATRÓN TRANSVERSAL	A 55 METROS DE LA ARQUETA Nº 4
20	25-26	643	69,8	2,00	1200	LONGITUDINAL	PATRÓN LONGITUDINAL	PASA POR DONDE HAY TUBO Y ARQUETA

UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA	ESCUELA POLITÉCNICA DE CÁCERES Grado en Ingeniería Civil- Transportes y servicios urbanos.	Autor del Proyecto: D. Darío Collado Mariscal	Tutora del Proyecto: D. Montaña Jiménez Espada	Co-tutor del Proyecto: D. Mariano del Río Pérez	Escala: 1:225	Título del proyecto: Aplicación de las técnicas GPR a firmes de carretera	Designación del plano: EX-A1. Zona de Arqueta nº4. MD.	Fecha: Septiembre 2017 Nº de plano: 3.2

PRODUCIDO POR UN PRODUCTO EDUCATIVO DE AUTODESK



ESQUEMA ZONA DE TRABAJO
E=1:225



SITUACIÓN. ZONA DE TRABAJO
ARQUETA Nº 6.MD.

LEYENDA
CUNETA
TUBO DREN
TALUD DESMONTE

NOTA:
LAS DISTANCIAS MOSTRADAS EN LA TABLA SON LAS REGISTRADAS POR EL APARATO, PUEDE QUE NO COINCIDAN CON LAS REALES DEBIDO A LAS PÉRDIDAS DE INFORMACIÓN PRODUCIDAS POR LA MALA ADHERENCIA DEL APARATO AL TERRENO.

NOTA:
EN EL PLANO FALTAN LAS POSICIONES DE LOS TRAMOS TRANSVERSALES REALIZADOS EN EL ARCÉN, YA QUE NO PUDIERON REPLANTEARSE EN CAMPO DEBIDO A LA FALTA DE TIEMPO PRODUCIDO POR EL TRÁFICO.

ENSAYO	TRAMO	ARCHIVO	DISTANCIA (m)	RESOLUCIÓN (m)	ANTENA(MHz)	SENTIDO(con la tubería)	OBJETIVO	OBSERVACIONES
21	27-28	644	3,6	2,00	1200	TRANSVERSAL	DIFERENCIAS CON ANTERIORES ARQUETAS	A 1 METRO DE LA ARQUETA Nº 6
22	29-30	645	4,3	2,00	1200	TRANSVERSAL	LOCALIZAR TUBO	A 11,60 METROS DE LA ARQUETA Nº 6
23	31-32	646	4,3	2,00	1200	TRANSVERSAL	PATRÓN TRANSVERSAL	A 21,60 METROS DE LA ARQUETA Nº 6
24	33-31(PM)	647	20,6	2,00	1200	LONGITUDINAL	PATRÓN LONGITUDINAL	PASA POR DONDE HAY TUBO Y ARQUETA
25	27-31	648	20,6	2,00	1200	LONGITUDINAL	PATRÓN LONGITUDINAL	PASA POR DONDE NO HAY TUBO
26	PK 80+550-PK 80+600	650	50	2,00	1200	LONGITUDINAL	CAPAS DE FIRME Y COMPACTACIÓN	PASA POR EL ARCÉN
27	-	2,4	2,4	2,00	1200	TRANSVERSAL	CAPAS DE FIRME Y COMPACTACIÓN	ARCÉN Y CARRIL
28	PK 80+550-PK 80+600	653	2,4	3,50	500	LONGITUDINAL	CAPAS DE FIRME Y COMPACTACIÓN	PASA POR EL ARCÉN
29	-	657	3,5	3,50	500	TRANSVERSAL	CAPAS DE FIRME Y COMPACTACIÓN	ARCÉN Y CARRIL
30	-	658	4	3,50	500	TRANSVERSAL	CAPAS DE FIRME Y COMPACTACIÓN	ARCÉN Y CARRIL

UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA	ESCUELA POLITÉCNICA DE CÁCERES Grado en Ingeniería Civil- Transportes y servicios urbanos.	Autor del Proyecto: D. Darío Collado Mariscal	Tutora del Proyecto: D. Montaña Jiménez Espada	Co-tutor del Proyecto: D. Mariano del Río Pérez	Escala: 1:225	Título del proyecto: Aplicación de las técnicas GPR a firmes de carretera	Designación del plano: EX-A1. Zona de Arqueta nº6. MD.	Fecha: Septiembre 2017 Nº de plano: 3.3

PRODUCIDO POR UN PRODUCTO EDUCATIVO DE AUTODESK

ANEXO Nº 3. INFORMACIÓN DE PARTIDA. EX-A1.

U.T.E. CACERES JUNTA

CENTRO DE CONSERVACION DE NAVALMORAL
Carretera N-V PK 185
Navalmoral de la Mata (10300)
Cáceres

Junta de Extremadura
Consejería de Economía e Infraestructuras
Dirección General de Infraestructuras
Servicio de Infraestructuras Viarias

A. /At: Jefe de Sección de Conservación y Explotación

Nº de informe: 89/2016 EX –A1 Fecha: 27/10/2016

ASUNTO:

Informe sobre estado actual calzada tras detectar anomalías en autovía EX–A1 entre los PK's 79+400 y 81+400 MD y MI (tramo de obra El Batán – Coria).

El SERVICIO de EXPLOTACION y VIGILANCIA de este sector informa para su conocimiento de lo siguiente:

Antecedentes:

Con fecha 06/11/15 se emite informe nº 74/2015 EX–A1 sobre anomalías en calzada autovía entre los PK´s 79+900 y 81+400 MD y MI (Tramo de obra El Batán- Coria).

Con fecha 26/05/16 se emite informe nº 43/2016 EX–A1 sobre estado actual calzada tras detectar anomalías en autovía EX–A1 entre los PK´s 79+400 y 81+400 (tramo de obra El Batán- Coria).

Informe:

Tras vigilancia efectuada en el lugar descrito en el asunto se ha procedido a realizar una nueva inspección visual de las anomalías detectadas en las calzadas de la autovía, que se describe a continuación:

1.- Tramo comprendido entre PK 79+650 a 79+900 ambas márgenes.-

1.1 EX–A1 PK 79+700 MD: grieta longitudinal en eje

Estado anterior (I) (06/11/15).
No se visualiza ninguna grieta.

Estado anterior (II) (17/05/16).
Se detecta una grieta longitudinal en el eje

Estado actual (25/10/16).
A día de hoy, se mantiene la grieta longitudinal entre el PK 79+725 y 79+775.

1.2 EX–A1 PK 79+650 a 79+750 MD: grieta longitudinal junto a AEC, localizada entre arcén y carril lento. Se mantiene la diferencia de cota entre el arcén y el carril lento de 1 cm. (asentamiento del carril).

Estado anterior (I) (06/11/15).
No se visualiza ninguna grieta ni asentamiento.

Estado anterior (II) (17/05/16).
Se detecta una grieta longitudinal con una diferencia de cota entre el arcén y el carril lento de 1 cm.

Estado actual (25/10/16).
A día de hoy, se mantiene la grieta longitudinal semejante, con una diferencia de cota entre el arcén y el carril lento de 1 cm.

1.3 EX–A1 PK 79+900 MI: badén en calzada de margen izquierda.

Estado anterior (I) (06/11/15).
La profundidad del hundimiento en este punto era de 1 cm. aproximadamente a lo largo de una longitud de 20 metros.

Estado anterior (II) (17/05/16).
La profundidad del hundimiento en este punto es de 2 cm. aproximadamente a lo largo de una longitud de 20 metros.

Estado actual (25/10/16).
Se observa que el hundimiento en este punto se mantiene con respecto a la vez anterior con una profundidad de 2 cm. aproximadamente a lo largo de una longitud de 20 metros.

1.4 EX–A1 PK 79+800 MI: grieta longitudinal en el eje

Estado anterior (I) (06/11/15).
Sólo se aprecia grieta longitudinal sellada con mástic por parte de este Servicio de Conservación tras inspección anterior.

Estado anterior (II) (17/05/16).
Se sigue apreciando la misma grieta sellada con escasa ampliación por el extremo este.

Estado actual (25/10/16).
Se aprecia un crecimiento de la grieta hacia el este (dirección Navalmoral) por fuera de la longitud previamente sellada.

2.- Tramo comprendido entre los PK 80+050 a 81+100 ambas márgenes.-

2.1 EX–A1 PK 80+050 a 80+250 ambas márgenes: calzada con perfil irregular (pequeños badenes consecutivos).

Estado anterior (I) (06/11/15).
La profundidad de los badenes aproximadamente era de 0,5 cm.
Se aprecian grietas en la cuneta revestida de mediana así como también solapes de juntas de trabajo.

Estado anterior (II) (17/05/16).
La profundidad de los badenes aproximadamente es de 1,5 cm.
Se siguen observando las mismas grietas en la cuneta revestida de mediana así como también solapes de juntas de trabajo.

Estado actual (25/10/16).
A día de hoy, se mantienen valores semejantes a los apreciados en la anterior ocasión. La profundidad de los badenes es aproximadamente de 1,5 cm.
Se siguen observando las mismas grietas en la cuneta revestida de mediana así como también solapes de juntas de trabajo.

2.2 EX–A1 80+050 y 81+100 ambas márgenes: estado actual arquetas y salidas de drenaje profundo.

Estado anterior (I) (06/11/15).
No se procede a la localización y visualización del estado de las arquetas.

Estado anterior (II) (17/05/16).
Se ha procedido a la limpieza de todas las arquetas de los drenes profundos que se han podido localizar a lo largo de todo el desmonte. Al hacerlo, se han detectado algunas con gran afluencia de agua, y otras colindantes secas, por lo que todo hace indicar que existen tramos intermedios en los que dichos drenes no están funcionando por motivos que se desconocen.

Estado actual (26/10/16).
Se ha procedido a la comprobación del funcionamiento de los drenes profundos mediante la aportación de agua con colorante, para observar la circulación de agua entre las arquetas de registro de dichos drenes, con los siguientes resultados apreciados:

-En la margen derecha de la autovía EX–A1 entre la arqueta nº 1 (PK 80+030 MD) hasta la arqueta nº 5 (PK 80+430 MD) no existe circulación de agua; y desde la arqueta nº 5 (PK 80+430 MD) hasta la salida del dren en cuneta (PK 81+100 MD) existe una circulación de agua que se estima insuficiente (drenes funcionando parcialmente).

-En la margen izquierda de la autovía EX–A1 entre la arqueta nº 1 (PK 80+030 MI) hasta la arqueta nº 2 (PK 80+130 MI) no existe circulación de agua; y desde la arqueta nº 2 (PK 80+130 MI) hasta la arqueta nº 10 (PK 81+100 MI) existe circulación de agua aparentemente con fluidez.

3.- Tramo comprendido entre los PK 81+200 a 81+400 ambas márgenes.-

3.1 EX–A1 PK 81+200 al 81+275 MD: Grieta longitudinal en eje.

Estado anterior (I) (06/11/15).
Se detectó una grieta longitudinal en el eje de la calzada.

Estado anterior (II) (17/05/16).
La grieta longitudinal en el eje de la calzada se hace cada vez más visible.

Estado actual (25/10/16).
A día de hoy, se observa que la grieta longitudinal del eje se comienza a desplazar en algunos puntos hacia la rodera del carril lento.

3.2 EX–A1 PK 81+325 ambas márgenes: badén (se aprecia más en MD carril izquierdo).

Estado anterior (I) (06/11/15).
La profundidad del badén aproximadamente era de 0,5 cm.

Estado anterior (II) (17/05/16).
La profundidad del badén aproximadamente es de 1,5 cm.

Estado actual (25/10/16).
Se observa que el hundimiento en este punto se mantiene con respecto a la anterior medición, con una profundidad de 1,5 cm. aproximadamente.

3.3 EX–A1 PK 81+400 Cuneta de mediana revestida: levantamiento de paños alternos.

Estado anterior (I) (06/11/15).
Se aprecian solapes de juntas de trabajo.

Estado anterior (II) (17/05/16).
Se siguen observando los mismos solapes de juntas de trabajo.

Estado actual (25/10/16).
Se siguen observando los mismos solapes de juntas de trabajo.

*Se adjunta anexo fotográfico, croquis situación de cada tramo, tabla coordenadas arquetas de paso tubo dren y tabla profundidades tubo dren.

ANEXO FOTOGRAFICO Y CROQUIS

1.1 EX–A1 PK 79+700 MD. Grieta longitudinal en eje.

1.2 EX–A1 PK 79+650 a 79+750 MD: grieta longitudinal junto a AEC, localizada entre arcén y carril lento.

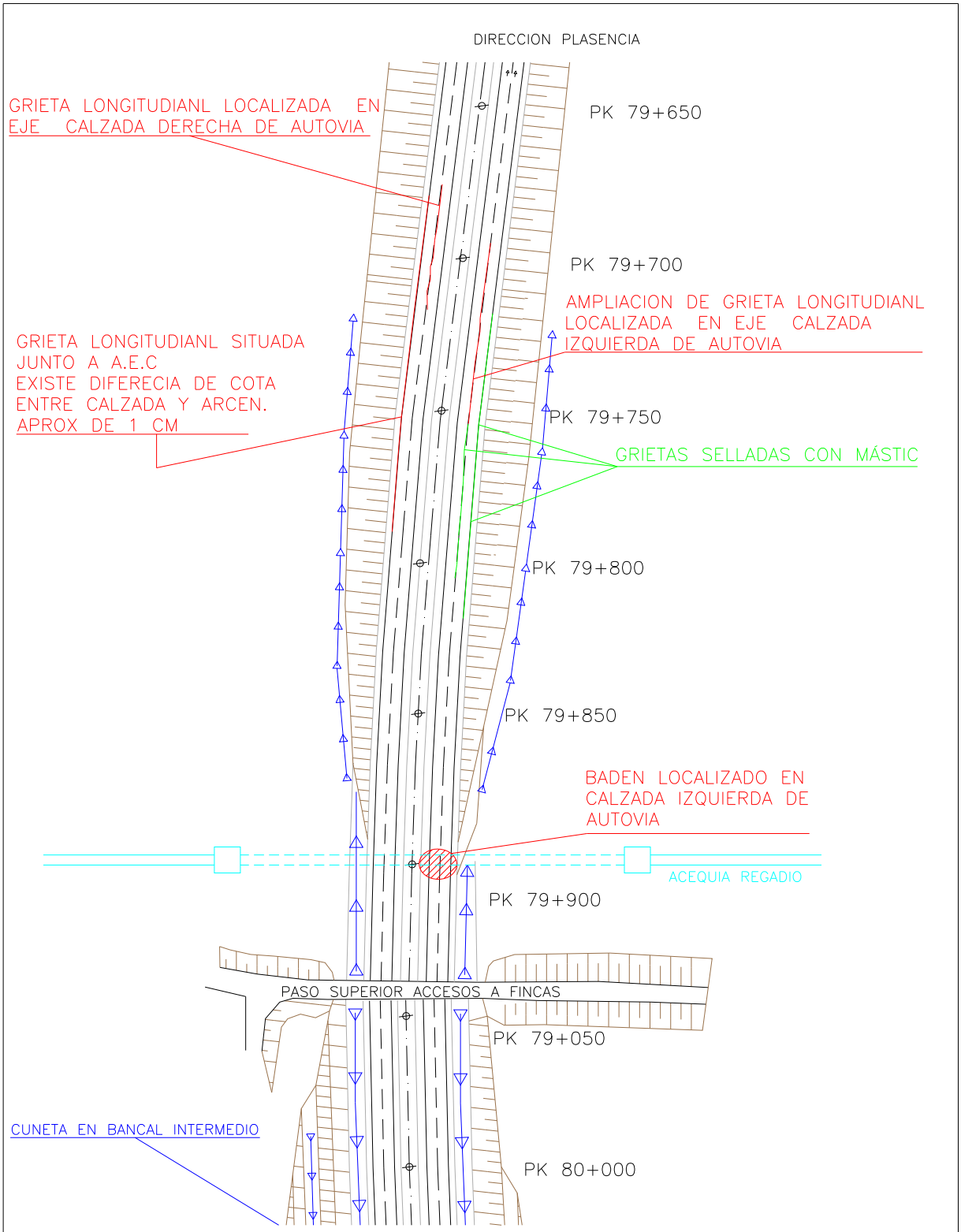
1.3 EX–A1 PK 79+900 MI badén en calzada de margen izquierda.

Estado actual (17/05/16).

La profundidad del hundimiento en este punto es de 2 cm. aproximadamente a lo largo de una longitud de 20 metros.

1.4 EX–A1 PK 79+800 MI: grieta longitudinal en el eje

U.T.E. CACERES JUNTA



CROQUIS SITUACION GRIETAS Y BADEN LOCALIZADO EN CALZADA	CARRETERA	P.K	MARGEN	CARRIL	ESCALA
	EX-A1	79+650 A79+900	AMBOS	AMBOS	SIN ESCALA
U.T.E. CACERES JUNTA	CENTRO DE CONSERVACION DE NAVALMORAL		VIGILANTE DE EXPLOTACION		
			Eduardo Garcìa Puerta		

2.1 EX–A1 PK 80+050 a 80+250 ambas márgenes, se observa calzada con perfil irregular (pequeños badenes consecutivos) y grietas en mediana revestida y levantamiento de paños

PK 80+100 MD

Profundidad medida en el punto más bajo del badén es de 1,5 cm.

PK 80+050 MI

Profundidad medida en el punto más bajo del badén es de 1,5 cm.

PK 80+100 MI

PK 80+175 Grietas en cuneta de mediana revestida

<u>PK 80+350</u> Levantamiento de paños de hormigón en cuneta de mediana revestida

2.2 EX–A1 80+000 a 81+100 ambas márgenes. Estado actual arquetas y salidas de drenaje profundo.

ARQUETA Nº 1 PK 80+030 MD

ARQUETA Nº 2 PK 80+130 MD

ARQUETA Nº 3 PK 80+230 MD

ARQUETA Nº 4 PK 80+330 MD

ARQUETA Nº 5 PK 80+430 MD

ARQUETA Nº 6 PK 80+530 MD

ARQUETA Nº 6 PK 80+530 MD, Estado actual tras comprobación de funcionamiento de dren profundo.

ARQUETA Nº 7 PK 80+630 MD

ARQUETA Nº 8 PK 80+760 MD

ARQUETA Nº 8 PK 80+760 MD, Estado actual tras comprobación de funcionamiento de dren profundo.

ARQUETA Nº 9 PK 80+900 MD

SALIDA DREN A CUNETA Nº 10 PK 81+100 MD

ARQUETA Nº 1 PK 80+030 MI.

ARQUETA Nº 2 PK 80+130 MI.

ARQUETA Nº 3 PK 80+230 MI.

ARQUETA Nº 3 PK 80+230 MI, Estado actual tras comprobación de funcionamiento de dren profundo.

ARQUETA Nº 4 PK 80+330 MI.

ARQUETA Nº 5 PK 80+430 MI.

ARQUETA Nº 6 PK 80+530 MI.

ARQUETA Nº 7 PK 80+630 MI.

ARQUETA Nº 7 PK 80+630 MI, Estado actual tras comprobación de funcionamiento de dren profundo.

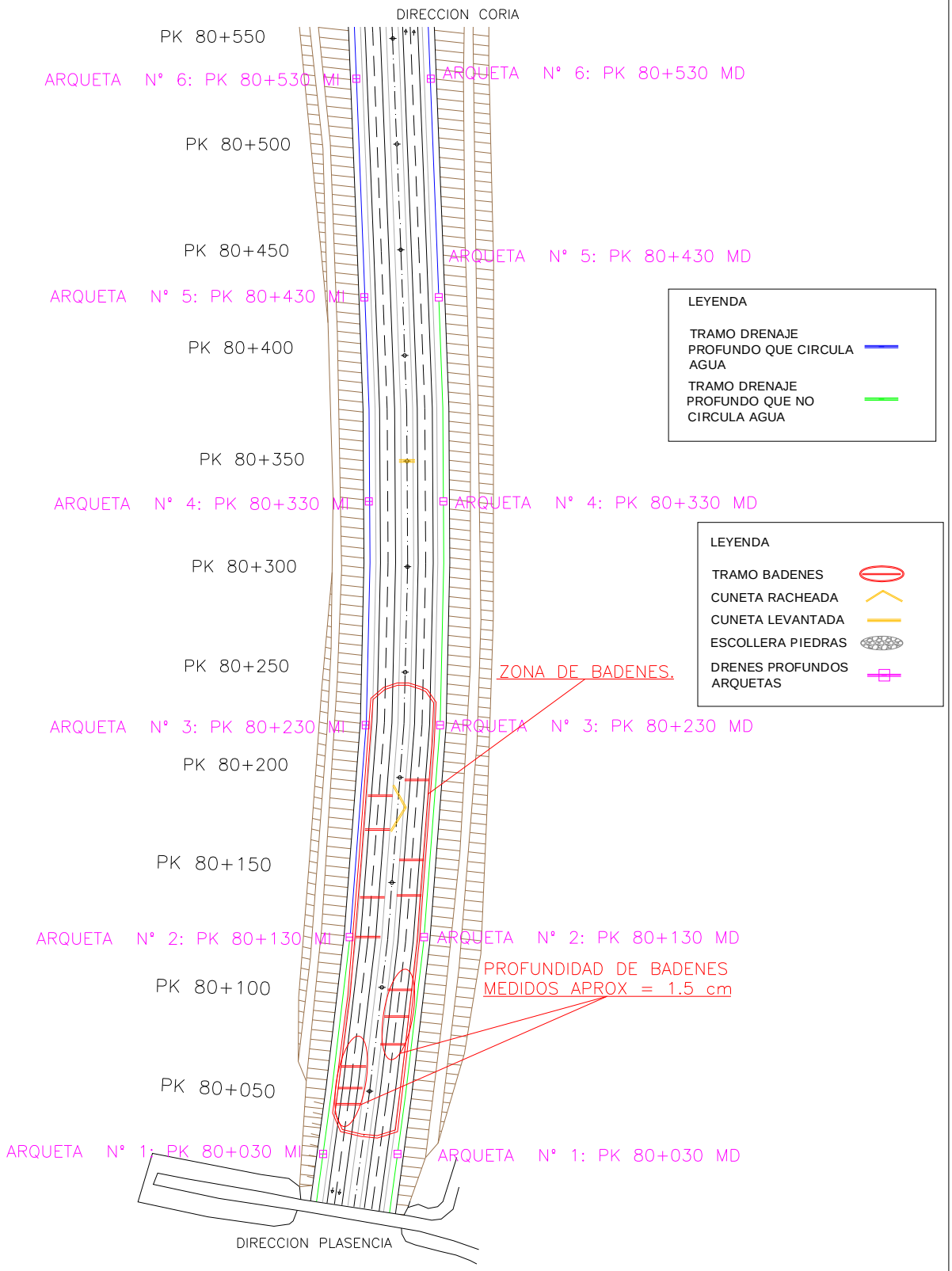
ARQUETA Nº 8 PK 80+760 MI.

ARQUETA Nº 9 PK 80+900 MI.

ARQUETA Nº 10 PK 81+100 MI. Esta arqueta comunica el dren de margen izquierda con mediana.

PK 81+100 Mediana.

U.T.E. CACERES JUNTA



CROQUIS SITUACION BADENES, GRIETAS Y FUNCIONAMIENTO DE DRENES PROFUNDOS	CARRETERA	P.K	MARGEN	CARRIL	ESCALA
	EX-A1	80+050-81+100	AMBOS	AMBOS	SIN ESCALA
U.T.E. CACERES JUNTA	CENTRO DE CONSERVACION DE NAVALMORAL		VIGILANTE DE EXPLOTACION		
			Eduardo Garcìa Puerta		

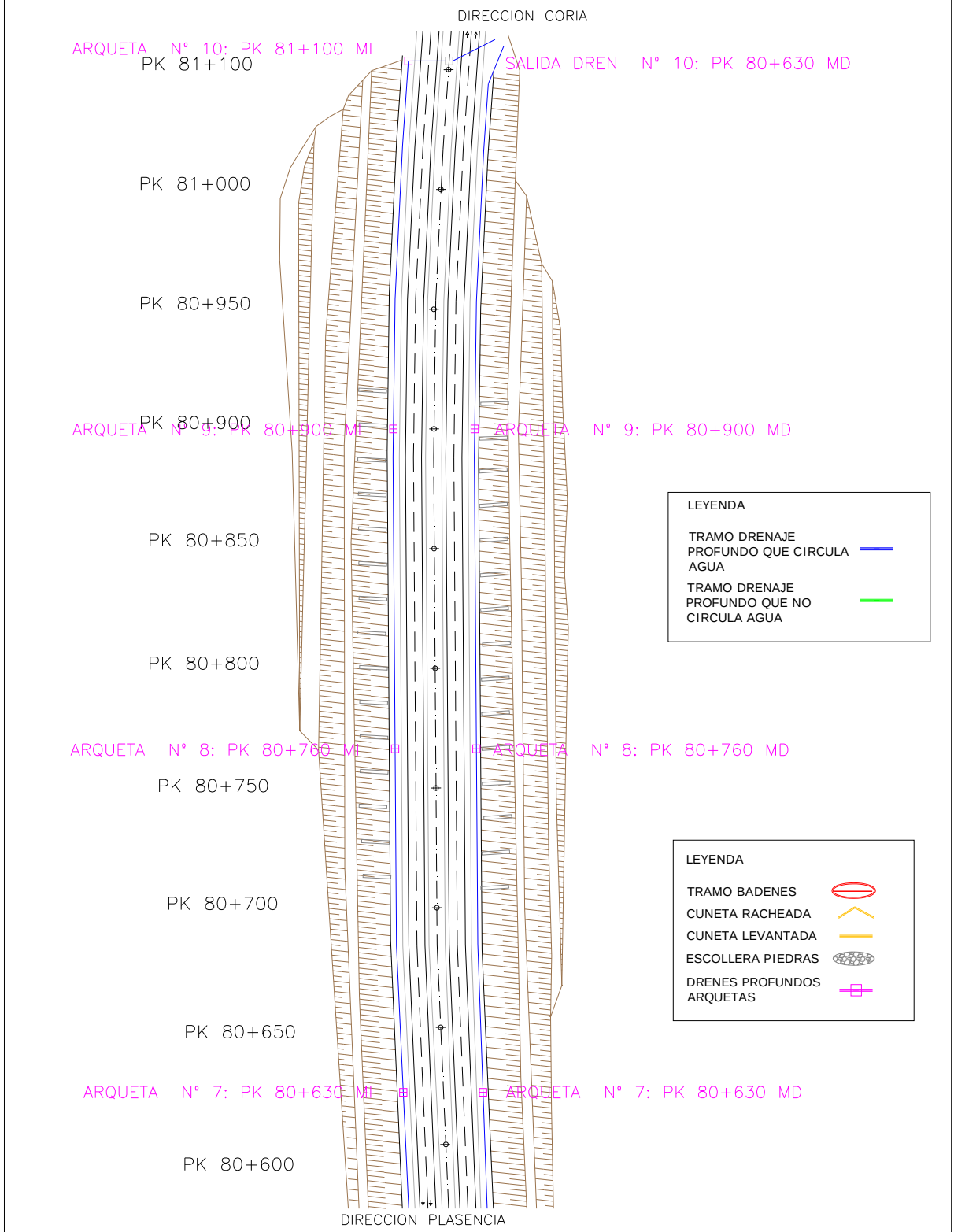
TABLA COORDENADAS ARQUETAS DE PASO TUBO DREN

CARRETERA	Nº ARQUETA	PK	MARGEN	COORDENADAS lon-lat ETRS89		COORDENADAS UTM ETRS89	
				LATITUD	LONGITUD	X (m)	Y (m)
EX-A1	1	80+030	D	39,988288	-6,474268	715644,85	4429512,85
EX-A1	2	80+130	D	39,988061	-6,475410	715548,05	4429484,89
EX-A1	3	80+230	D	39,987792	-6,476545	715451,98	4429452,28
EX-A1	4	80+330	D	39,987496	-6,477660	715357,70	4429416,73
EX-A1	5	80+430	D	39,987163	-6,478742	715266,36	4429377,15
EX-A1	6	80+530	D	39,986826	-6,479844	715173,32	4429337,08
EX-A1	1	80+030	I	39,987932	-6,474159	715655,28	4429473,60
EX-A1	2	80+130	I	39,987721	-6,475290	715559,37	4429447,44
EX-A1	3	80+230	I	39,987452	-6,476389	715466,37	4429414,92
EX-A1	4	80+330	I	39,987159	-6,477504	715372,08	4429379,80
EX-A1	5	80+430	I	39,986828	-6,478581	715281,16	4429340,35
EX-A1	6	80+530	I	39,986490	-6,479655	715190,51	4429300,23

TABLA PROFUNDIDADES TUBO DREN

CARRETERA	Nº ARQUETA	PK	MARGEN	PROFUNDIDAD TUBO DREN DESDE COTA 0,0 (m)	
				ENTRADA	SALIDA
EX-A1	1	80+030	D	1,79	1,76
EX-A1	2	80+130	D	1,74	1,61
EX-A1	3	80+230	D	1,55	1,48
EX-A1	4	80+330	D	1,33	1,3
EX-A1	5	80+430	D	1,26	1,18
EX-A1	6	80+530	D	1,36	1,15
EX-A1	1	80+030	I	1,82	1,81
EX-A1	2	80+130	I	1,36	1,29
EX-A1	3	80+230	I	1,46	1,45
EX-A1	4	80+330	I	1,55	1,55
EX-A1	5	80+430	I	1,53	1,51
EX-A1	6	80+530	I	1,49	1,34

U.T.E. CACERES JUNTA



CROQUIS SITUACION BADENES, GRIETAS Y FUNCIONAMIENTO DE DRENES PROFUNDOS	CARRETERA	P.K	MARGEN	CARRIL	ESCALA
	EX-A1	80+050-81+100	AMBOS	AMBOS	SIN ESCALA
U.T.E. CACERES JUNTA	CENTRO DE CONSERVACION DE NAVALMORAL		VIGILANTE DE EXPLOTACION		
			Eduardo Garcìa Puerta		

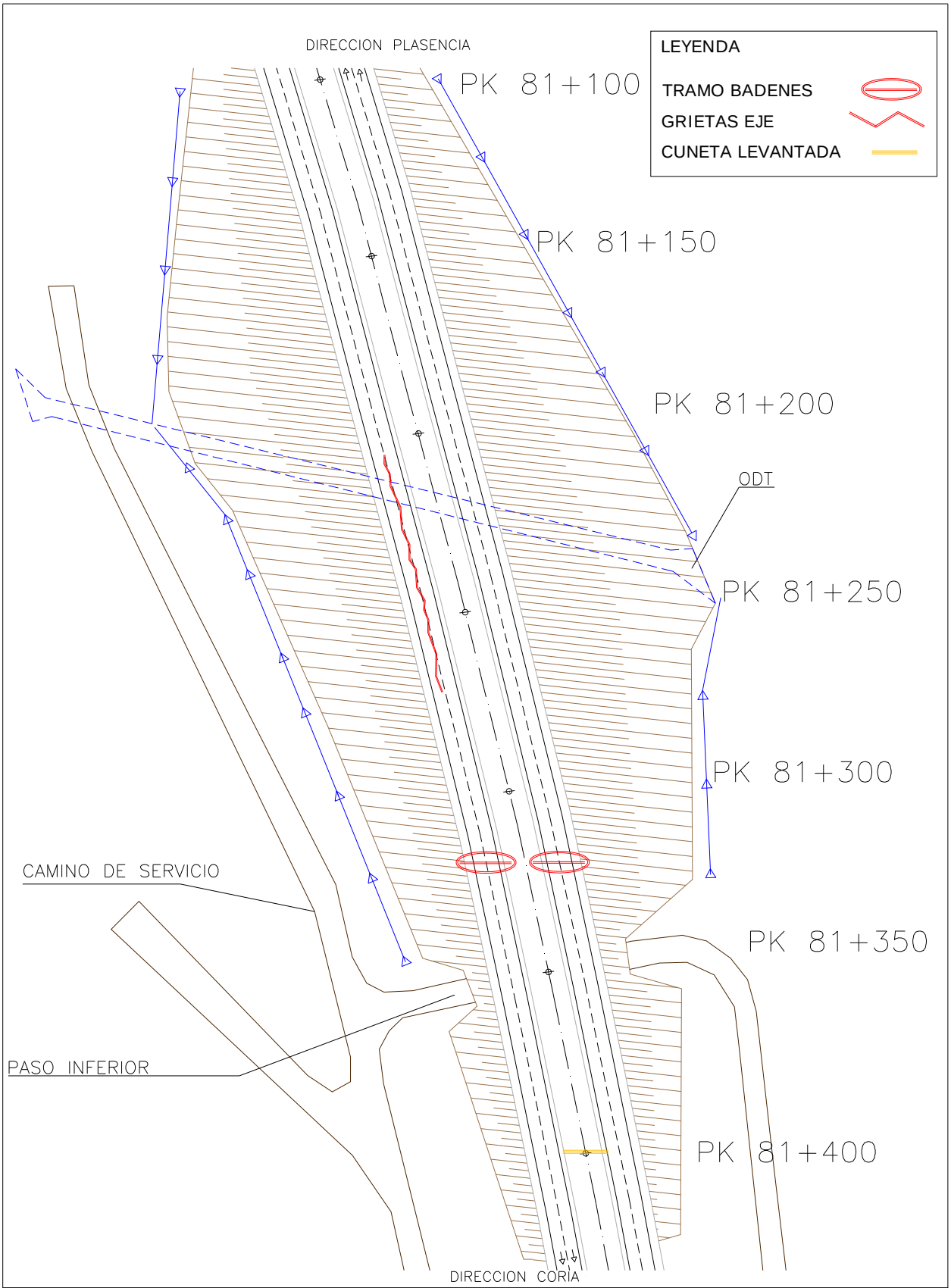
3 **EX–A1 PK 81+200 al 81+275 MD Grieta longitudinal en eje.**

4 **EX–A1 PK 81+325 ambas márgenes: badén (se aprecia más en MD carril izquierdo).**

Profundidad medida en el punto más bajo del badén es de 1,5 cm

5 **EX–A1 PK 81+400 Cuneta de mediana revestida, levantamiento de paños**

U.T.E. CACERES JUNTA



CROQUIS SITUACION ANOLAMIAS LOCALIZADAS: BADEN,GRIETA LONGITUDINAL Y SOLAPE CUNETA	CARRETERA	P.K	MARGEN	CARRIL	ESCALA
	EX-A1	81+200-81+400	AMBAS	AMBOS	SIN ESCALA
U.T.E. CACERES JUNTA	CENTRO DE CONSERVACION DE NAVALMORAL		VIGILANTE DE EXPLOTACION	Eduardo Garcìa Puerta	

U.T.E. CACERES JUNTA

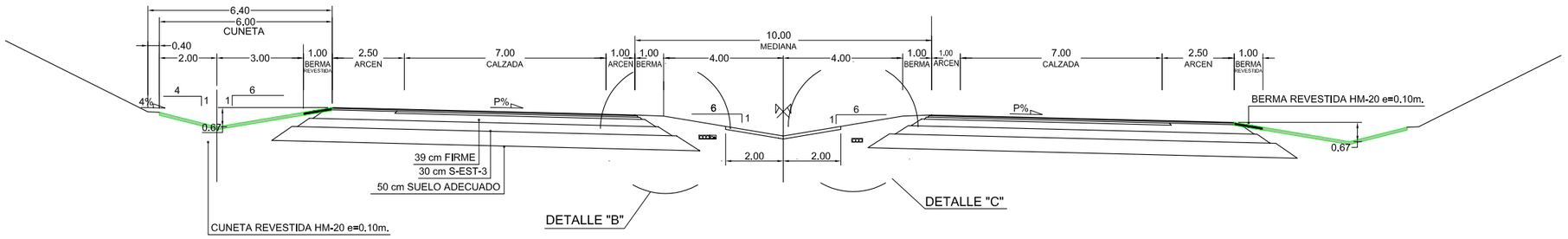
Sin más, aprovecho la ocasión para saludarle muy atentamente.

Navalmoral de la Mata, a 27 de Octubre de 2.016

Fdo.: Eduardo García Puerta
Vigilante de Explotación

Fdo.: Juan Luis Picado Núñez
Jefe COEX

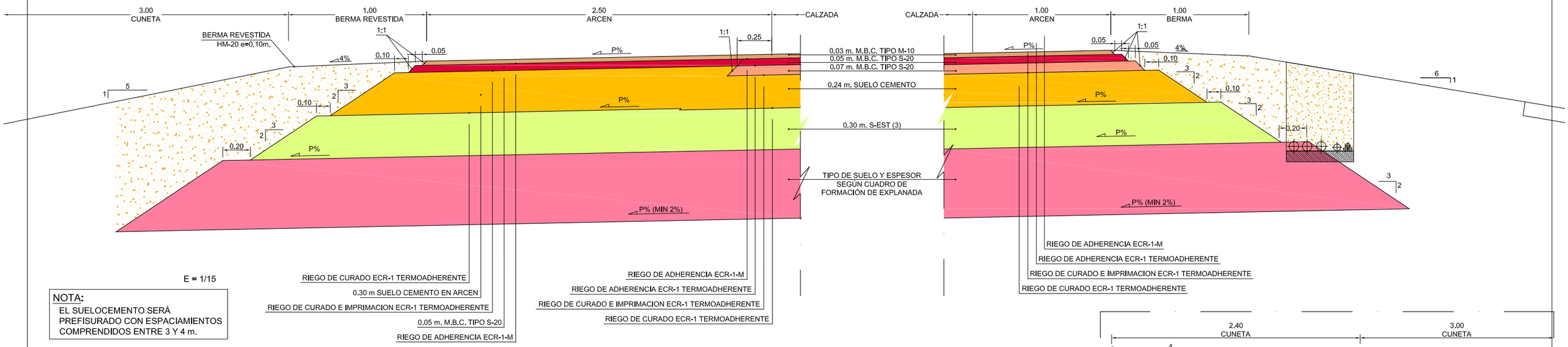
SECCIÓN TIPO EN CURVA TRONCO AUTOVIA
(T-1 y S-EST 3)



E = 1/100

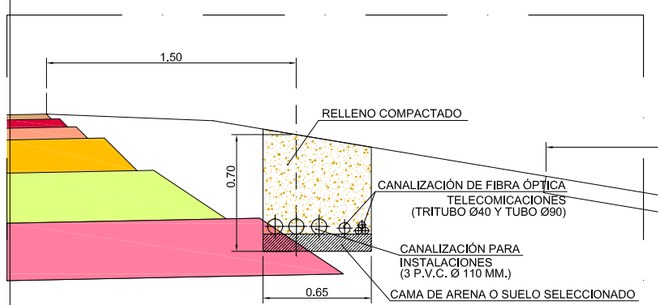
FORMACIÓN DE EXPLANADA TIPO E-3				
SI SUELO TOLERABLE (0)	S-EST (3)	30 cm	S-EST (3)	30 cm
	(1)	50 cm	(2)	30 cm
	(0)		(0)	
SI SUELO ADECUADO (1)	S-EST (3)	30 cm		
	(1)			
SI SUELO SELECCIONADO (2)	S-EST (3)	30 cm		
	(2)			
SI ROCA	HM-20			
	ROCA			

TIPO DE LIGANTE HIDROCARBONADO A EMPLEAR	
CAPA DE FIRME	LIGANTE
M.B.C. TIPO M-10	BM-3b
RESTO	B60/70

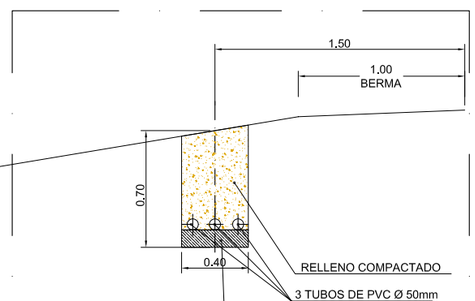


E = 1/15

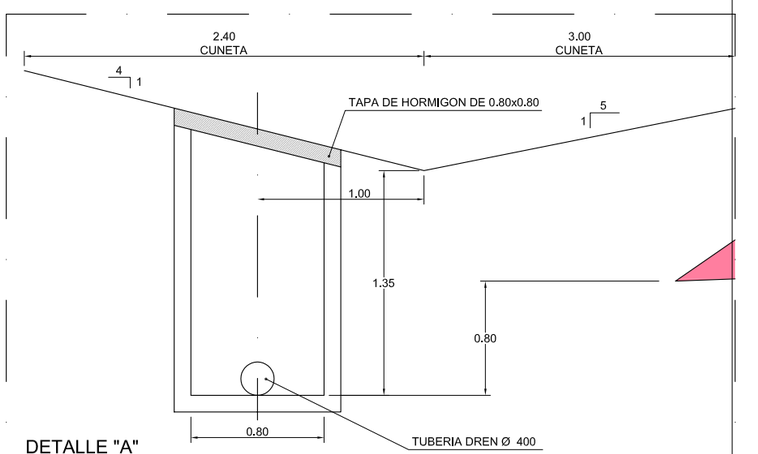
NOTA:
EL SUELOCEMENTO SERÁ PREFISURADO CON ESPACIAMIENTOS COMPRENDIDOS ENTRE 3 Y 4 m.



DETALLE "B"
SECCIÓN TIPO DE CANALIZACIONES
E = 1/20

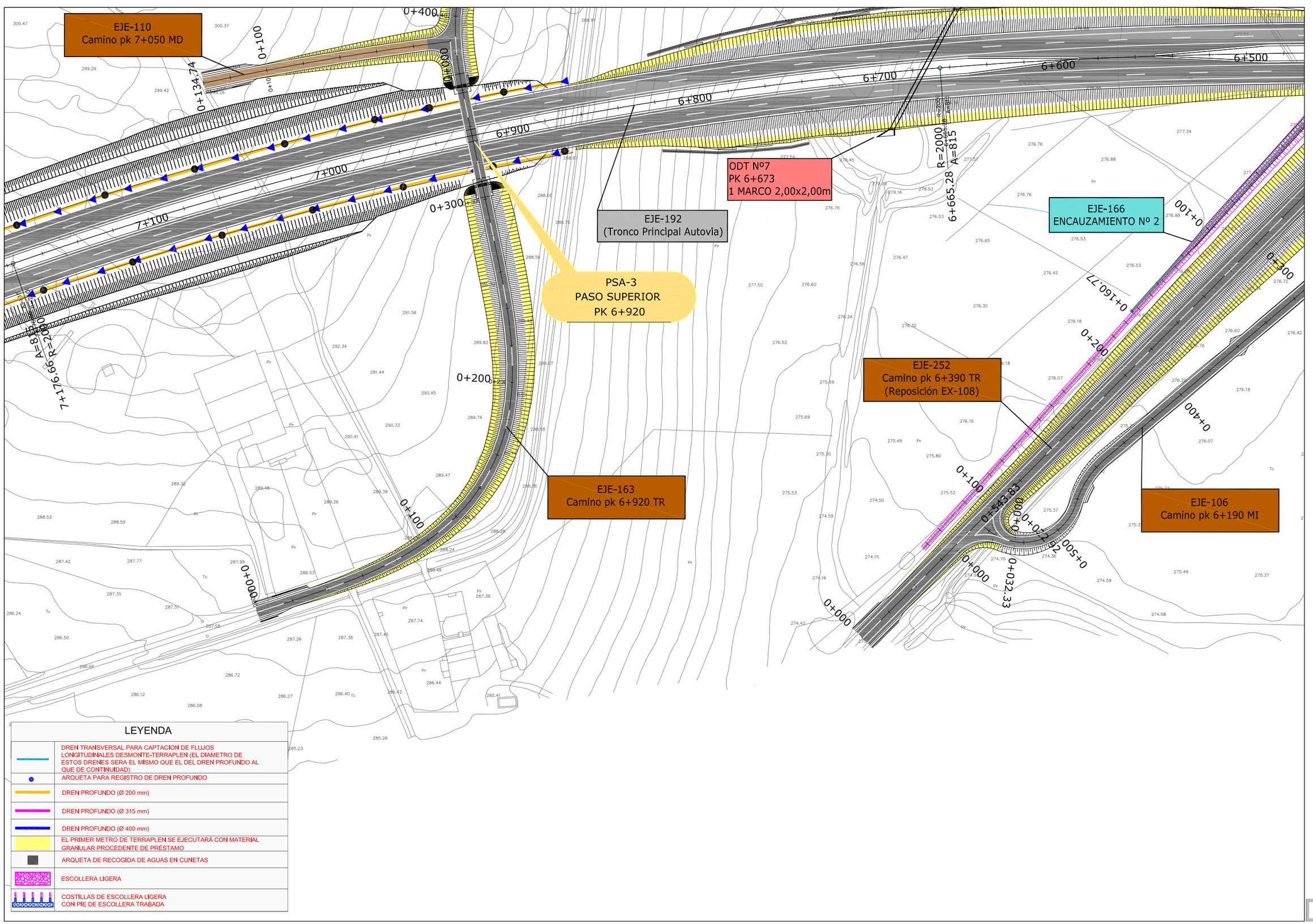


DETALLE "C"
SECCIÓN TIPO DE S.O.S.
E = 1/20



DETALLE "A"
ARQUETA DE REGISTRO DEL DREN
E = 1/20

GOBIERNO DE EXTREMADURA Consejería de Fomento, Vivienda, Ordenación del Territorio y Turismo	Dirección General de Carreteras y Obras Hidráulicas / Servicio de Infraestructuras Viarias	EMPRESA CONSULTORA: U.T.E.	EL I.C.C.P. AUTOR DEL PROYECTO: D. JOSÉ M. DELGADO SERRANO	EL I.C.C.P. DIRECTOR DEL PROYECTO: D. ANTONIO GÓMEZ GUTIÉRREZ	CONFORME EL CONTRATISTA: D. J.J. MARTÍN DE SAAVEDRA MEDIERO	EXAMINADO Y CONFORME EL I.C.C.P. JEFE DE SERVICIOS: D. PEDRO A. RODRÍGUEZ IZQUIERDO	ESCALA: VARIAS; UNE A1 ORIGINALES / GRAFICAS	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO MODIFICADO Nº 2 DE LA "AUTOVÍA EX-A1, DE NAVALMORAL DE LA MATA A PORTUGAL. TRAMO: EL BATÁN - CORIA"	Nº CLAVE: RP2006026	Nº DE PLANO: 4.1 / HOJA 1 DE 8	DESIGNACION DEL PLANO: SECCIONES TIPO	FECHA: Sept-2012 / Nº EDICION:



LEYENDA

	DREN TRANSVERSAL PARA CAPTACION DE FLUJOS LONGITUDINALES DESMONTE-TERRAPLEN (EL DIAMETRO DE ESTOS DRENES SERA EL MISMO QUE EL DEL DREN PROFUNDO AL QUE DE CONTINUIDAD)
	ARQUETA PARA REGISTRO DE DREN PROFUNDO
	DREN PROFUNDO (Ø 200 mm)
	DREN PROFUNDO (Ø 315 mm)
	DREN PROFUNDO (Ø 400 mm)
	EL PRIMER METRO DE TERRAPLEN SE EJECUTARÁ CON MATERIAL GRANULAR PROCEDENTE DE PRÉSTAMO
	ARQUETA DE RECOGIDA DE AGUAS EN CUNETAS
	ESCOLLERA LIGERA
	COSTILLAS DE ESCOLLERA LIGERA CON PIE DE ESCOLLERA TRABADA

14 12 15 13

GOBIERNO DE EXTREMADURA
Consejería de Fomento, Vivienda, Ordenación del Territorio y Turismo

Dirección General de Carreteras y Obras Hidráulicas
Servicio de Infraestructuras Viarias

EMPRESA CONSULTORA: U.T.E.

EL I.C.C.P. AUTOR DEL PROYECTO
D. JOSÉ M. DELGADO SERRANO

EL I.C.C.P. DIRECTOR DEL PROYECTO
D. ANTONIO GÓMEZ GUTIÉRREZ

CONFORME EL CONTRATISTA
D. J.J. MARTÍN DE SAAVEDRA MEDIERO

EXAMINADO Y CONFORME EL I.C.C.P. JEFE DE SERVICIOS
D. PEDRO A. RODRÍGUEZ IZQUIERDO

ESCALA: 1:1.000 (0 10 20 30m.)
UNE A1 ORIGINALES | GRAFICAS

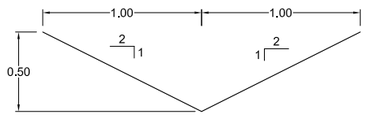
TITULO DEL PROYECTO:
PROYECTO MODIFICADO Nº 2 DE LA "AUTOVÍA EX-A1, DE NAVALMORAL DE LA MATA A PORTUGAL. TRAMO: EL BATÁN - CORIA"

Nº CLAVE: RP2006026

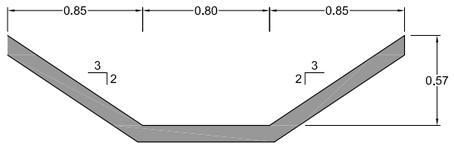
Nº DE PLANO: 5.1.2
HOJA 13 DE 21

DESIGNACION DEL PLANO:
PLANTA GENERAL
DRENAJE PROFUNDO

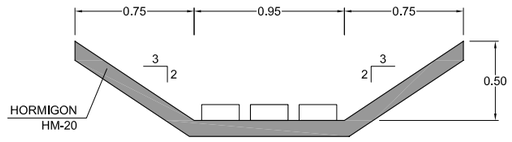
FECHA: Sept-2012
Nº EDICION:



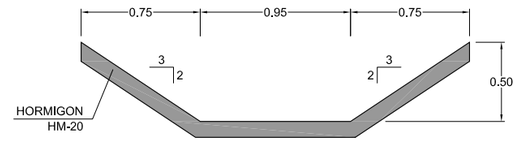
CUNETA EN DESMONTE EN CAMINOS Y
CUNETA DE PROTECCIÓN DE CAMINOS
ESCALA 1:20



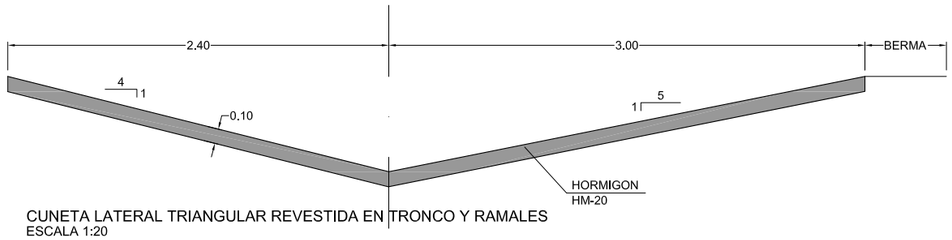
CUNETA DE GUARDA REVESTIDA TRAPEZOIDAL
TIPO CTR-3A
ESCALA 1:20



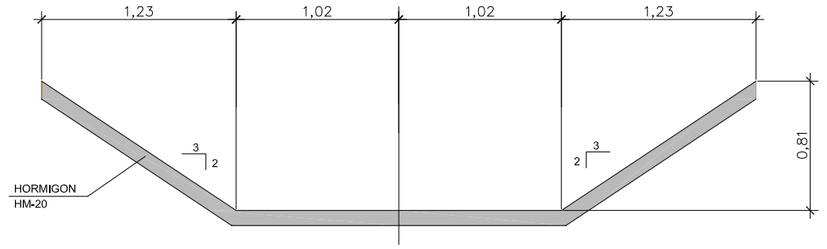
CUNETA DE GUARDA REVESTIDA
CON DISIPADORES TIPO CTR-3B
ESCALA 1:20



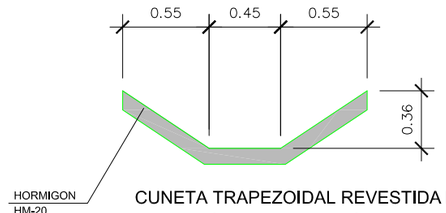
CUNETA TRAPEZOIDAL REVESTIDA DE
PROTECCION DE TERRAPLEN
TIPO CTR-4B
ESCALA 1:20



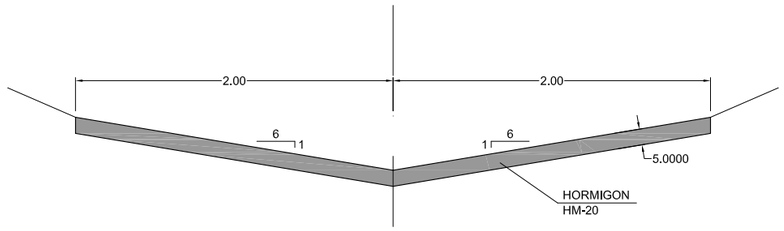
CUNETA LATERAL TRIANGULAR REVESTIDA EN TRONCO Y RAMALES
ESCALA 1:20



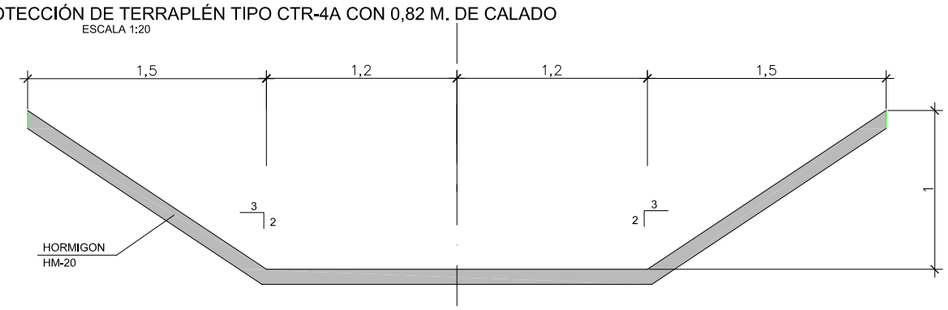
CUNETA TRAPEZOIDAL REVESTIDA DE PROTECCIÓN DE TERRAPLÉN TIPO CTR-4A CON 0,82 M. DE CALADO
ESCALA 1:20



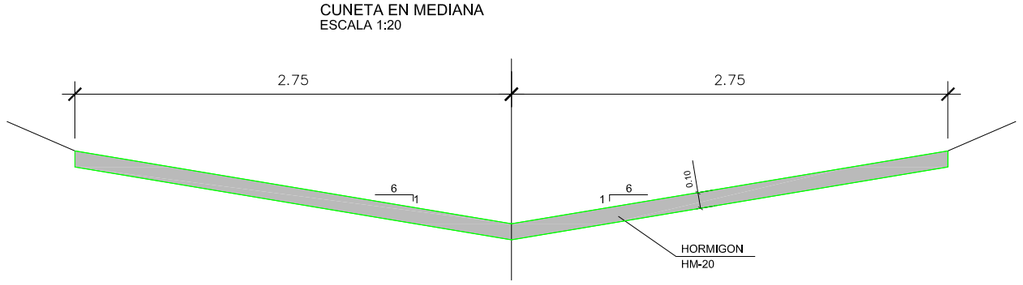
CUNETA TRAPEZOIDAL REVESTIDA DE
PROTECCIÓN DE TERRAPLÉN TIPO CTR-4C
ESCALA 1:20



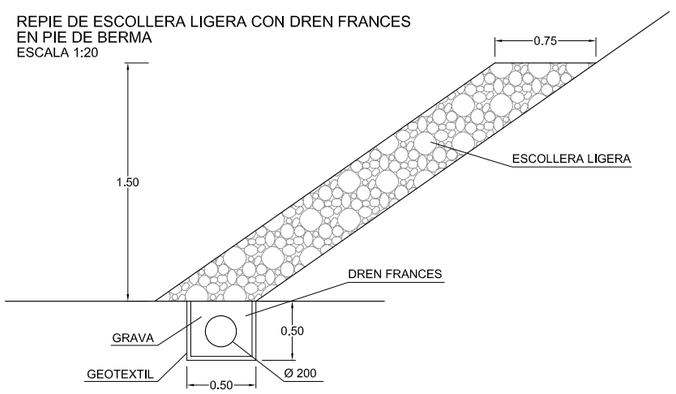
CUNETA EN MEDIANA
ESCALA 1:20



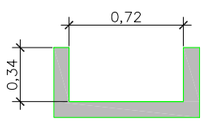
CUNETA TRAPEZOIDAL REVESTIDA DE PROTECCIÓN DE TERRAPLÉN TIPO CTR-4A CON 1,00 M. DE CALADO
P.K. 5+080 - P.K. 5+760 MARGEN DERECHA
ESCALA 1:20



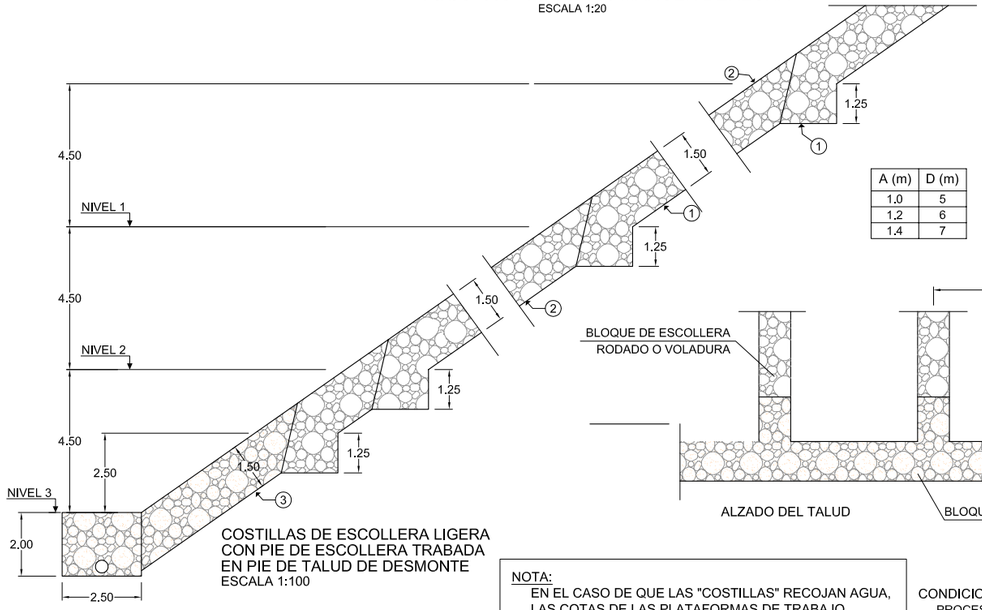
CUNETA EN MEDIANA
P.K. 5+400 - P.K. 5+775
ESCALA 1:20



REPIE DE ESCOLLERA LIGERA CON DREN FRANCES
EN PIE DE BERMA
ESCALA 1:20



CUNETA RECTANGULAR REVESTIDA EN P.B.A.
ESCALA 1:20



COSTILLAS DE ESCOLLERA LIGERA
CON PIE DE ESCOLLERA TRABADA
EN PIE DE TALUD DE DESMONTE
ESCALA 1:100

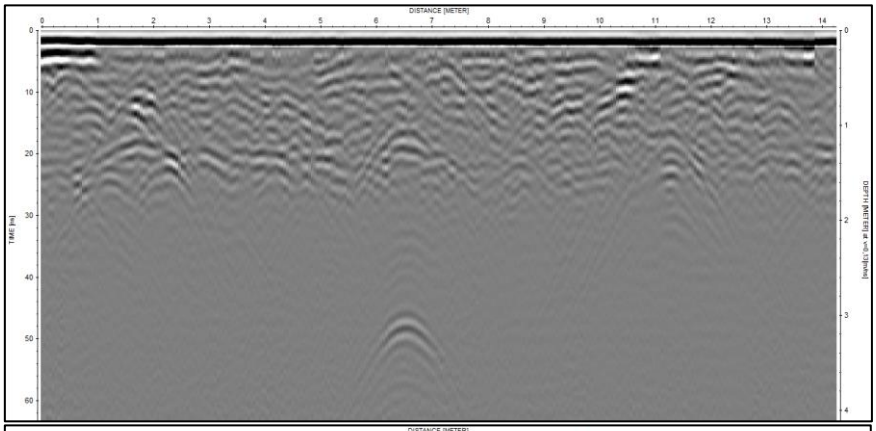
NOTA:
EN EL CASO DE QUE LAS "COSTILLAS" RECOJAN AGUA, LAS COTAS DE LAS PLATAFORMAS DE TRABAJO DEBERÁN HACERSE COINCIDIR CON LAS BASES DE LOS ESCALONES O ADOPTAR OTRAS MEDIDAS QUE EVITEN LA ACUMULACION TEMPORAL DE LAS AGUAS EN DICHOS ESCALONES

CONDICION $\alpha \leq 35^{\circ}$
PROCESO CONSTRUCTIVO DE "COSTILLAS"
DRENANTES EJECUTADAS EN SENTIDO DESCENDENTE A MEDIDA QUE PROGRESA LA EXCAVACION DEL TALUD

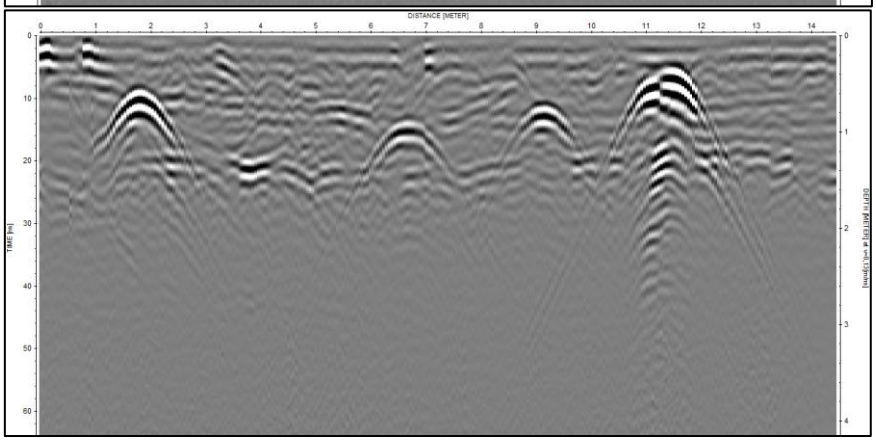
GOBIERNO DE EXTREMADURA Consejería de Fomento, Vivienda, Ordenación del Territorio y Turismo	Dirección General de Carreteras y Obras Hidráulicas Servicio de Infraestructuras Viarias	EMPRESA CONSULTORA: U.T.E.	EL I.C.C.P. AUTOR DEL PROYECTO D. JOSÉ M. DELGADO SERRANO	EL I.C.C.P. DIRECTOR DEL PROYECTO D. ANTONIO GÓMEZ GUTIÉRREZ	CONFORME EL CONTRATISTA D. J.J. MARTÍN DE SAAVEDRA MEDIERO	EXAMINADO Y CONFORME EL I.C.C.P. JEFE DE SERVICIOS D. PEDRO A. RODRÍGUEZ IZQUIERDO	ESCALA: VARIAS UNE. A1 ORIGINALES | GRAFICAS	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO MODIFICADO Nº 2 DE LA "AUTOVÍA EX-A1, DE NAVALMORAL DE LA MATA A PORTUGAL. TRAMO: EL BATÁN - CORIA"	Nº CLAVE: RP2006026	Nº DE PLANO: 5.4 HOJA 1 DE 32	DESIGNACION DEL PLANO: DETALLES DE DREANJE	FECHA: Sept-2012 Nº EDICION:

ANEXO Nº 4. RESULTADOS.

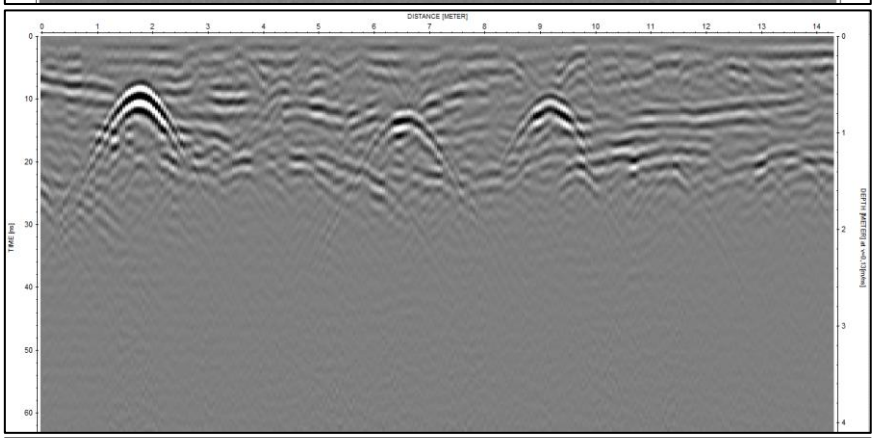
RESULTADOS TEST-SITE. Antena 500 MHz



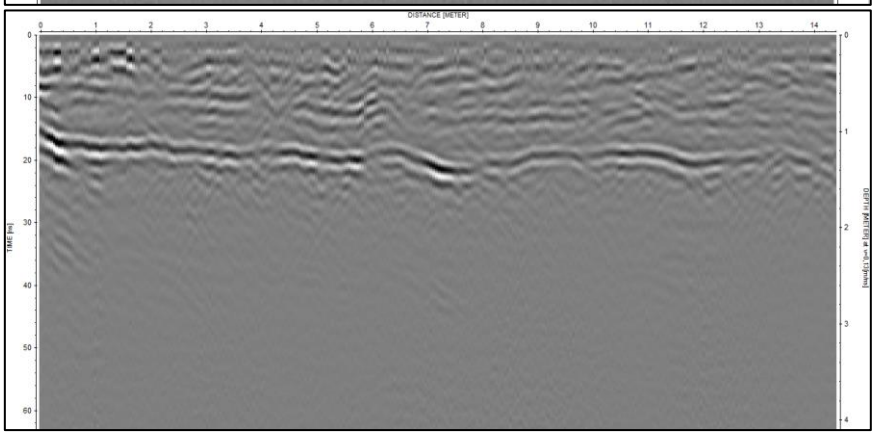
Radargrama nº 0182, 1º longitudinal.



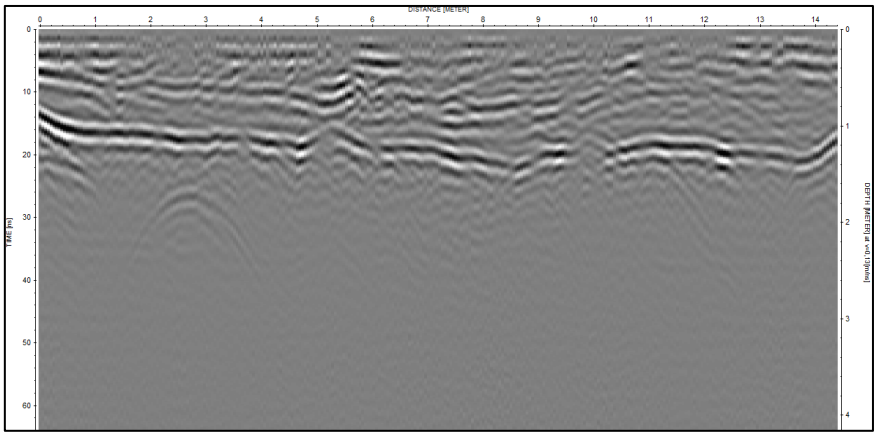
Radargrama nº 0183, 2º longitudinal.



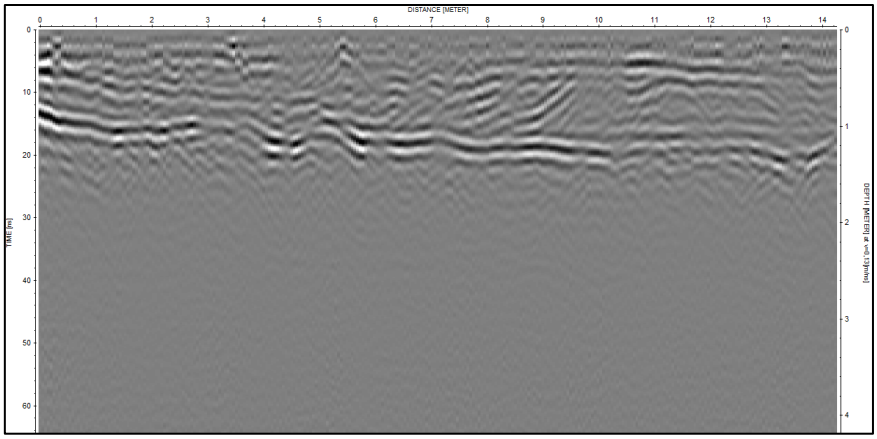
Radargrama nº 0184, 3º longitudinal.



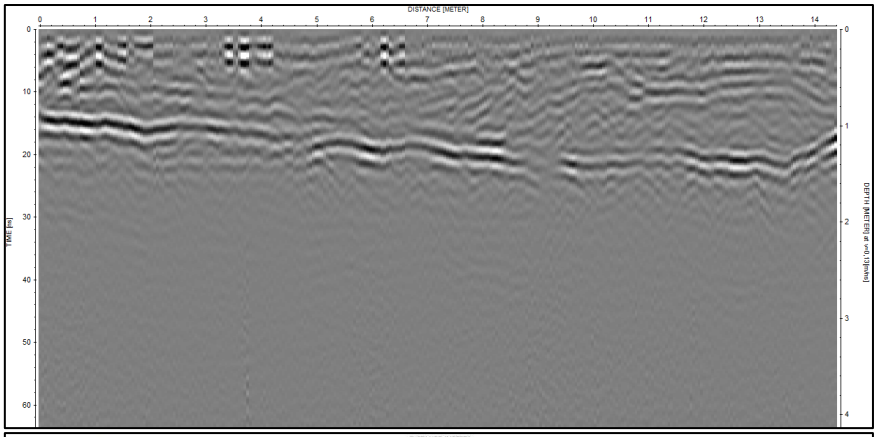
Radargrama nº 0185, 4º longitudinal.



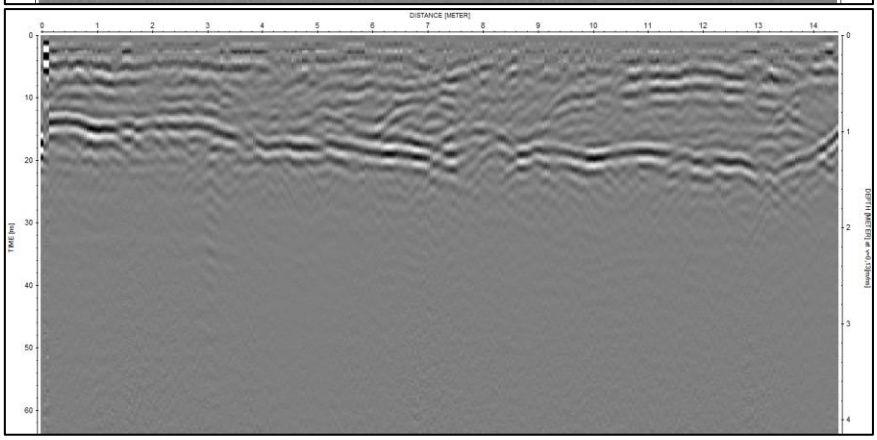
Radargrama nº 0186, 5º longitudinal.



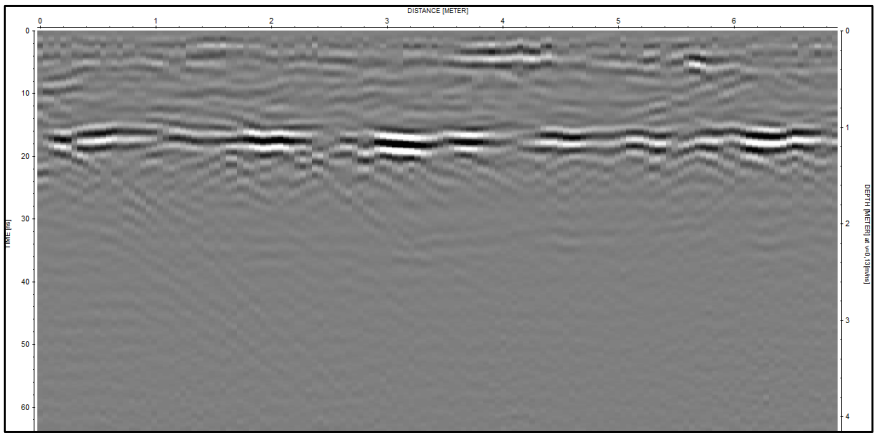
Radargrama nº 0187, 6º longitudinal.



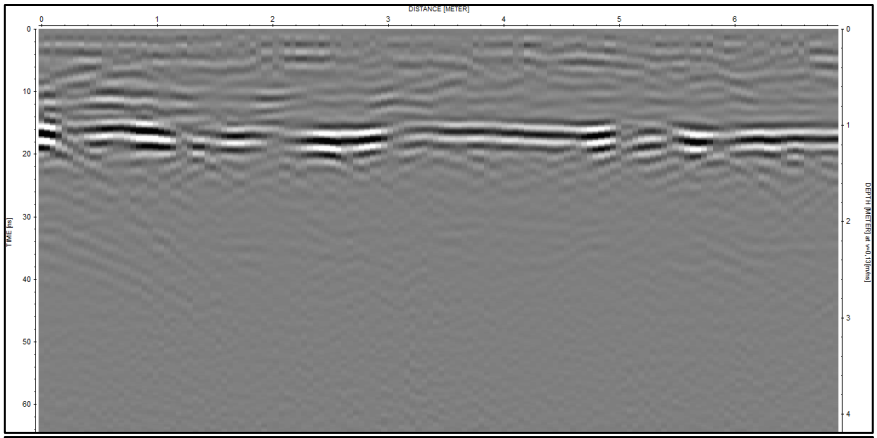
Radargrama nº 0188, 7º longitudinal.



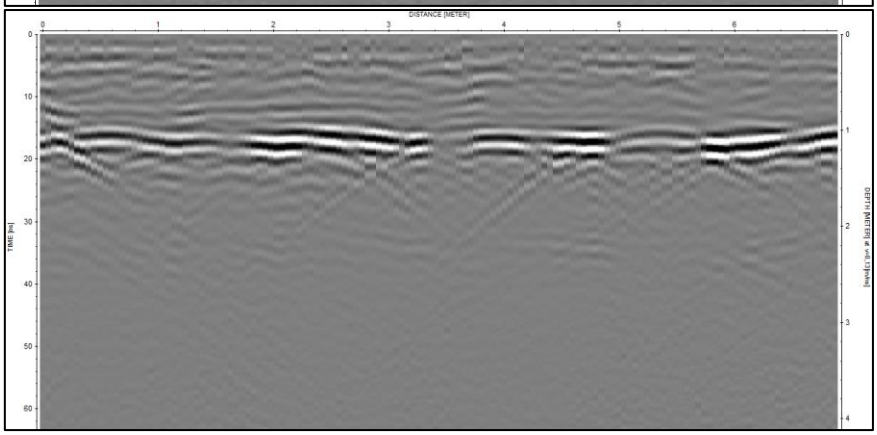
Radargrama nº 0189, 8º longitudinal.



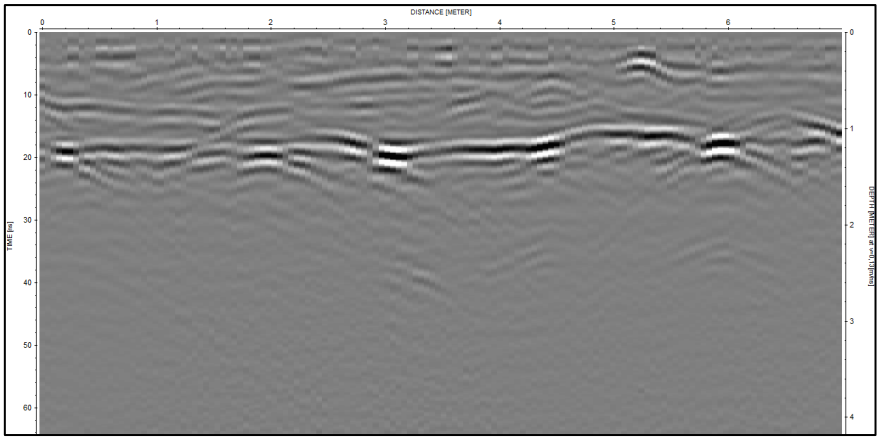
Radargrama nº 0255, 1º transversal.



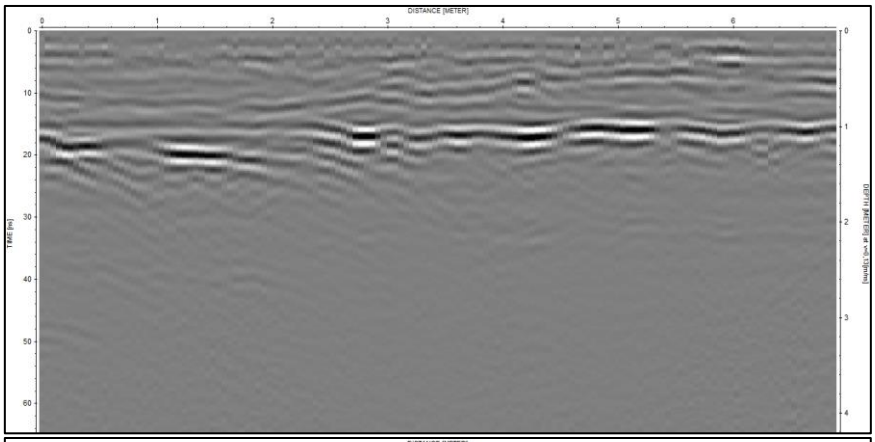
Radargrama nº 0256, 2º transversal.



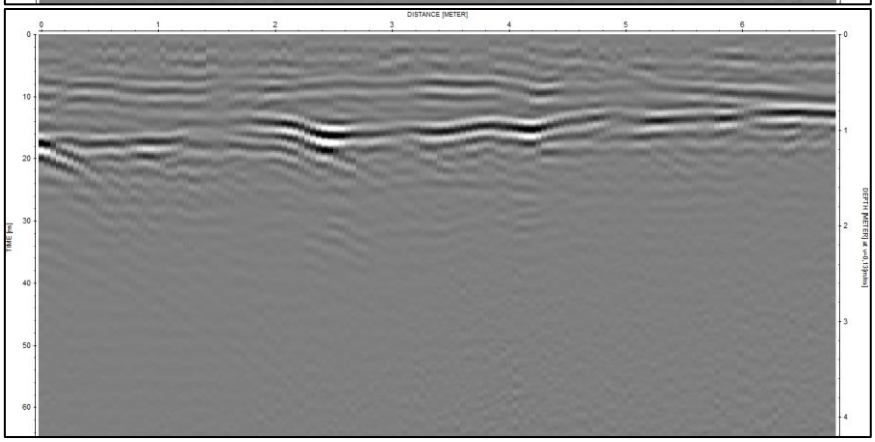
Radargrama nº 0257, 3º transversal.



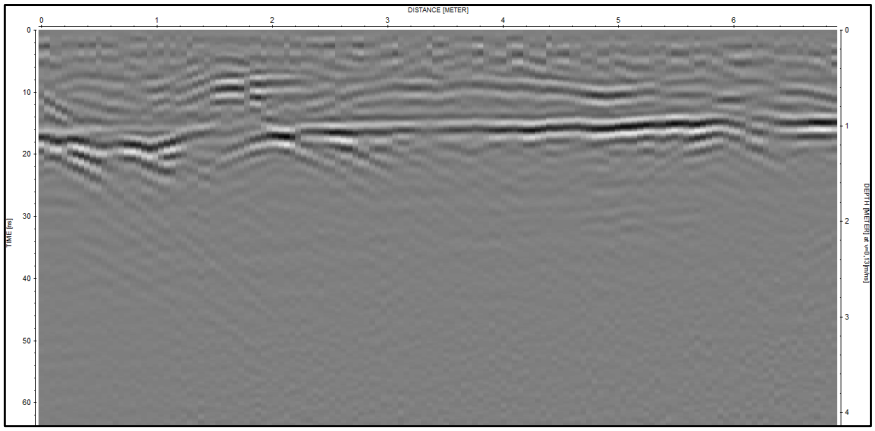
Radargrama nº 0258, 4º transversal.



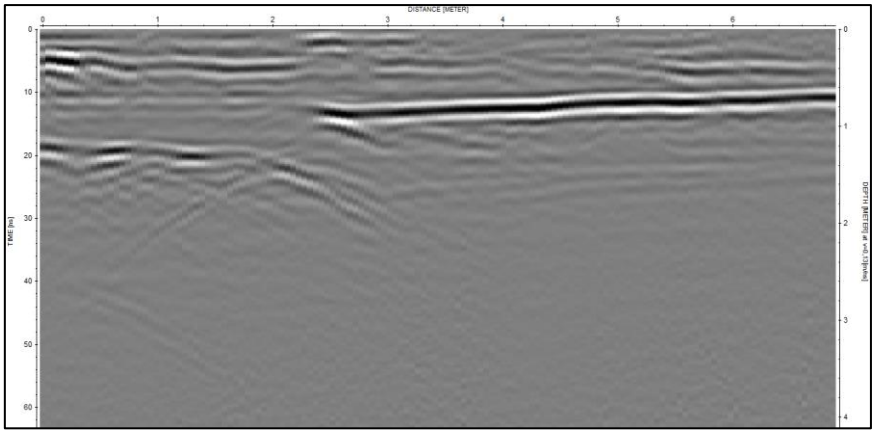
Radargrama nº 0259, 5º transversal.



Radargrama nº 0260, 6º transversal.

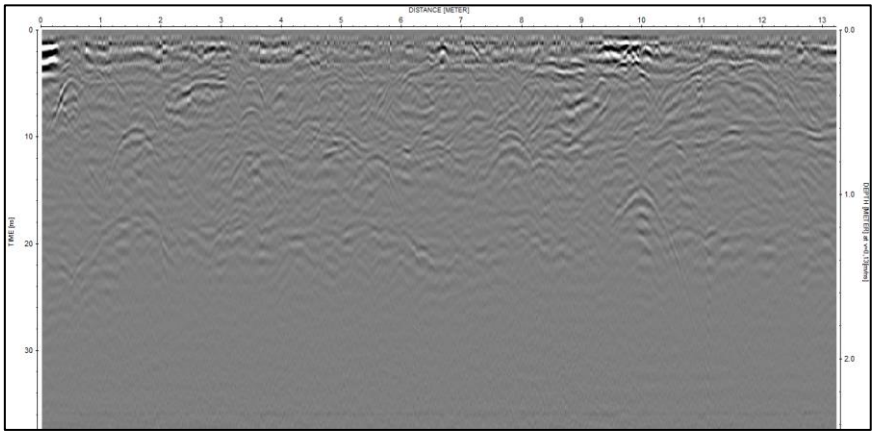


Radargrama nº 0261, 7º transversal.

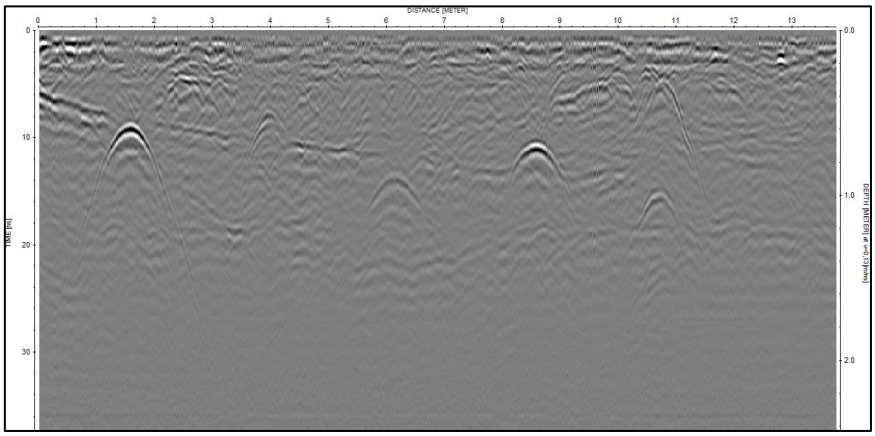


Radargrama nº 0262, 8º transversal.

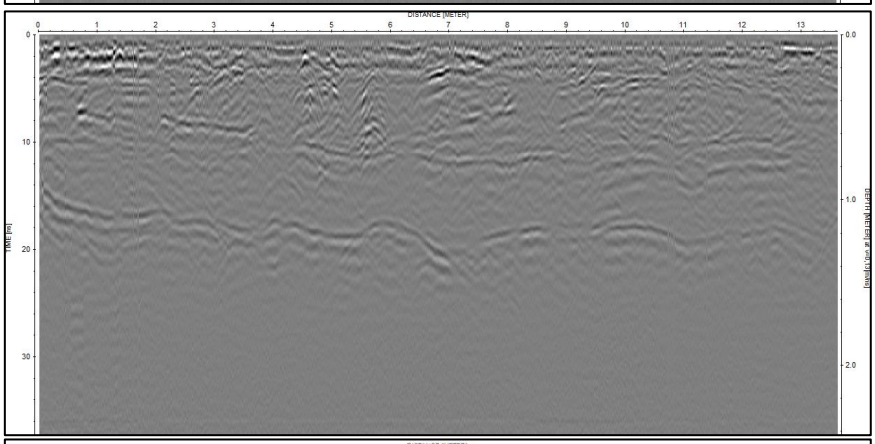
RESULTADOS TEST-SITE. Antena 1200 MHz.



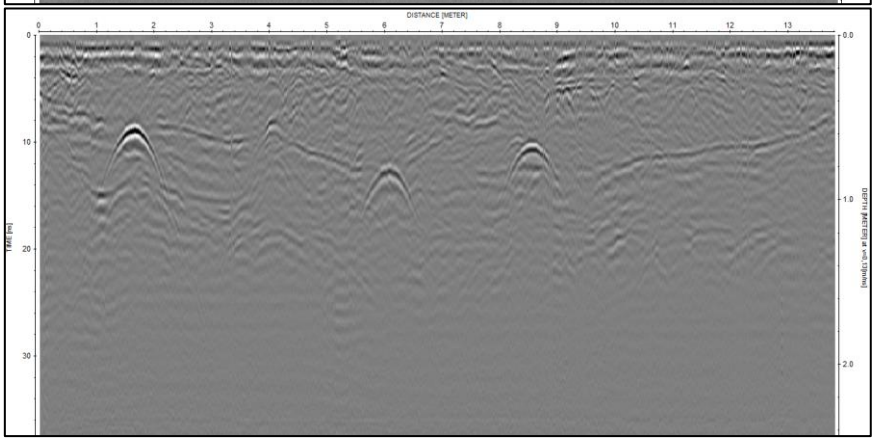
Radargrama nº 0234, 1º longitudinal.



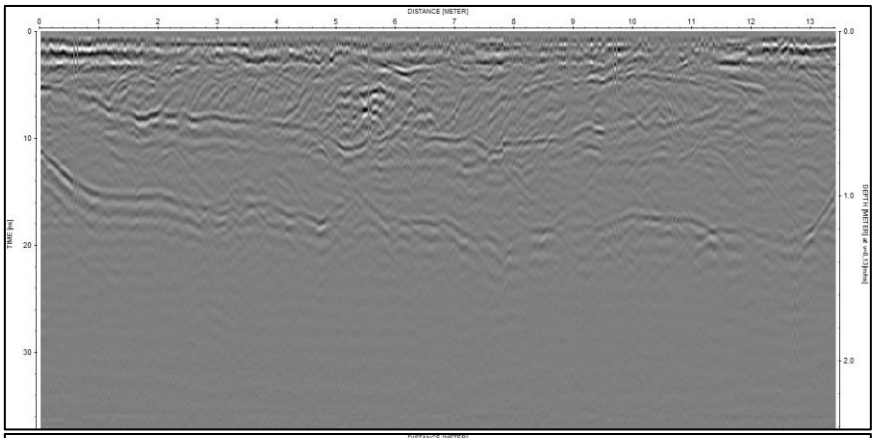
Radargrama nº 0235, 2º longitudinal.



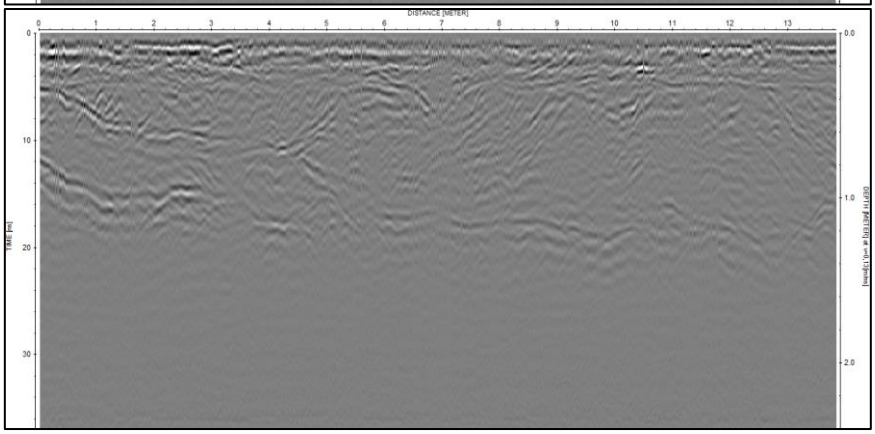
Radargrama nº 0236, 3º longitudinal.



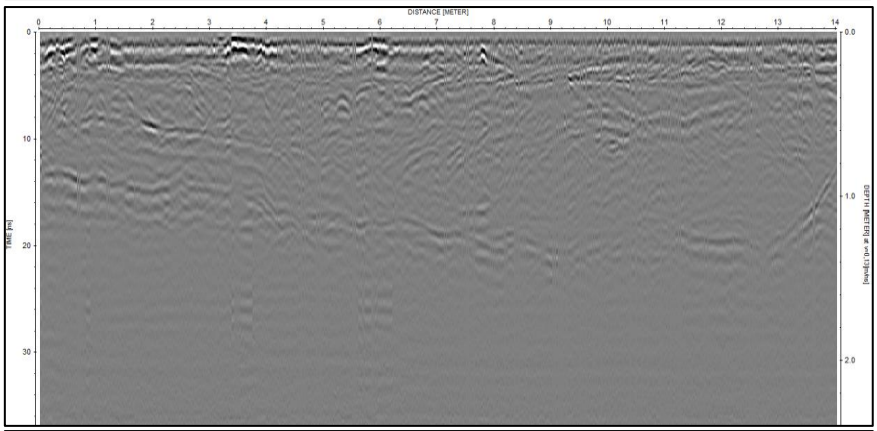
Radargrama nº 0237, 4º longitudinal.



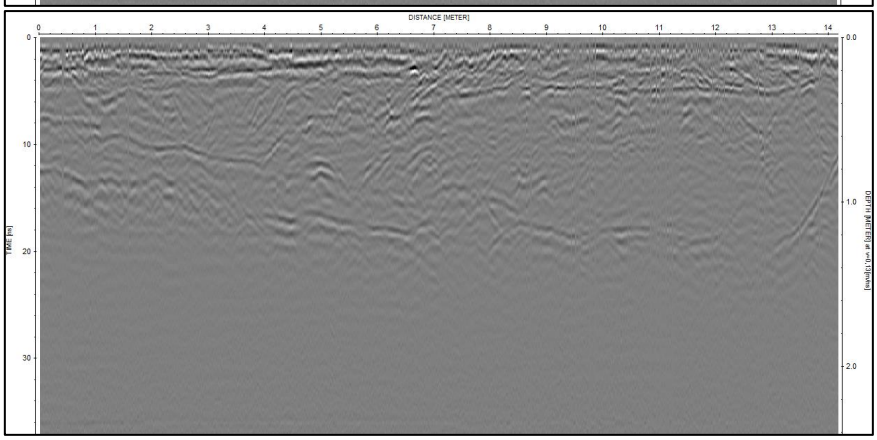
Radargrama nº 0238, 5º longitudinal.



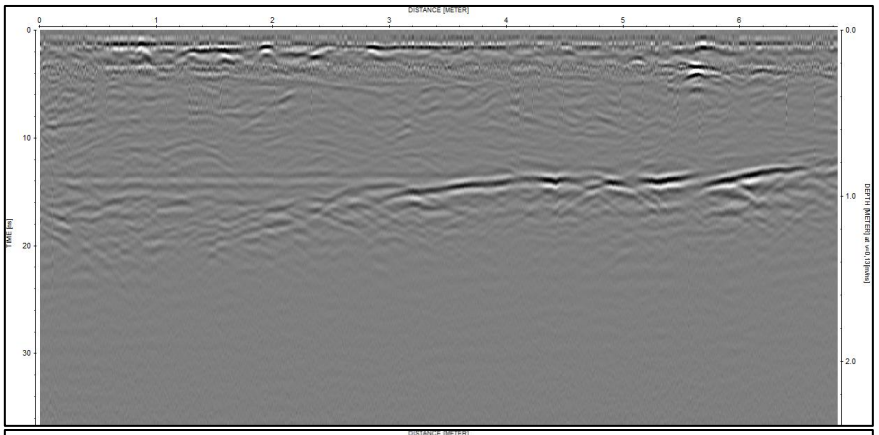
Radargrama nº 0239, 6º longitudinal.



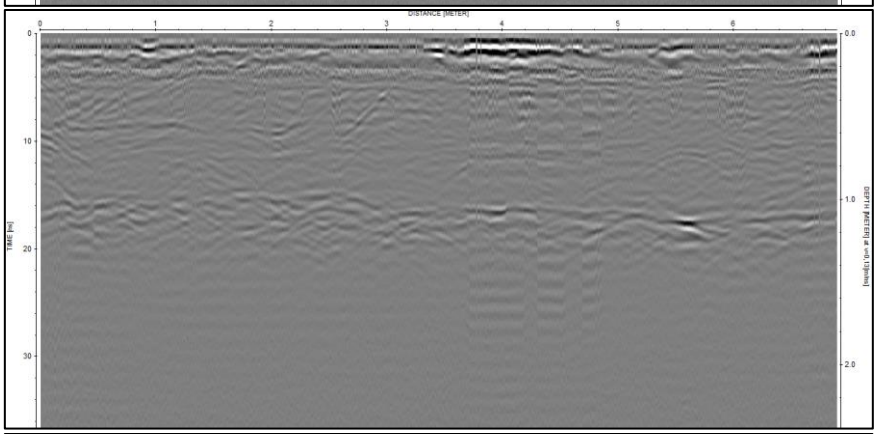
Radargrama nº 0240, 7º longitudinal.



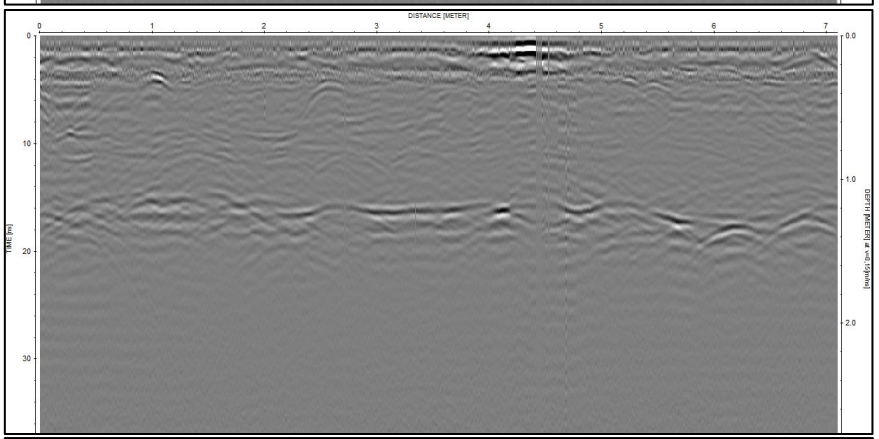
Radargrama nº 0241, 8º longitudinal.



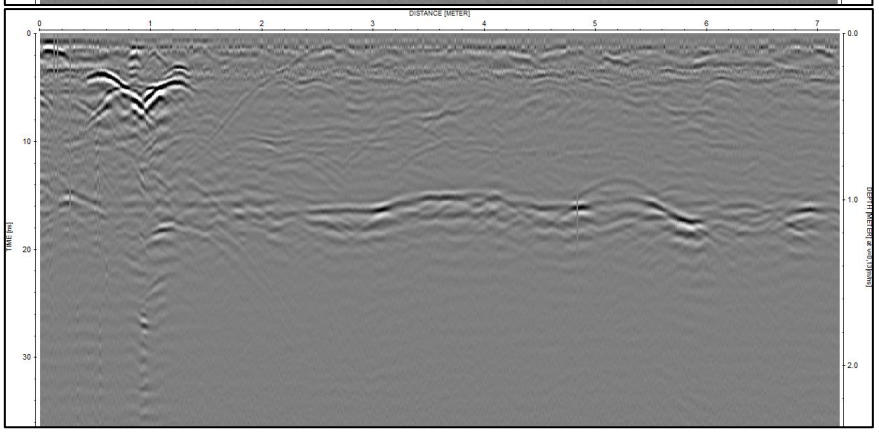
Radargrama nº 0268, 1º transversal.



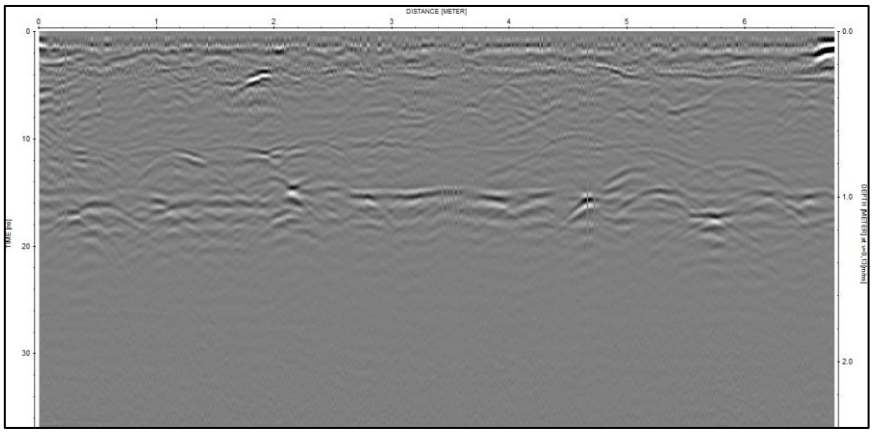
Radargrama nº 0269, 2º transversal.



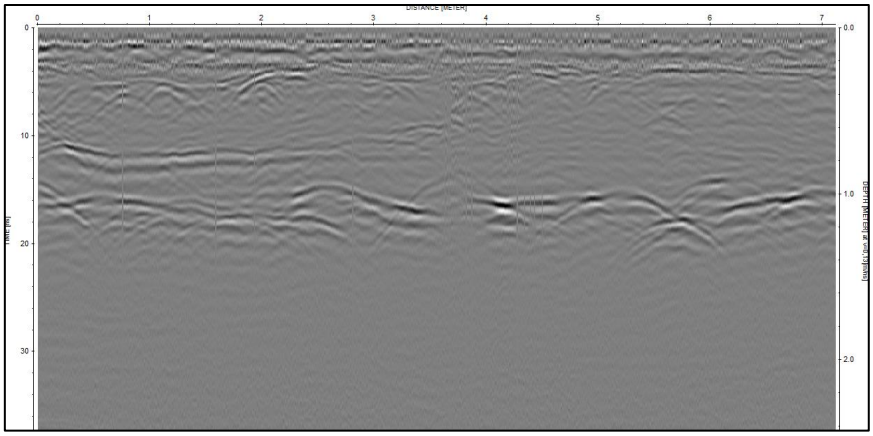
Radargrama nº 0270, 3º transversal.



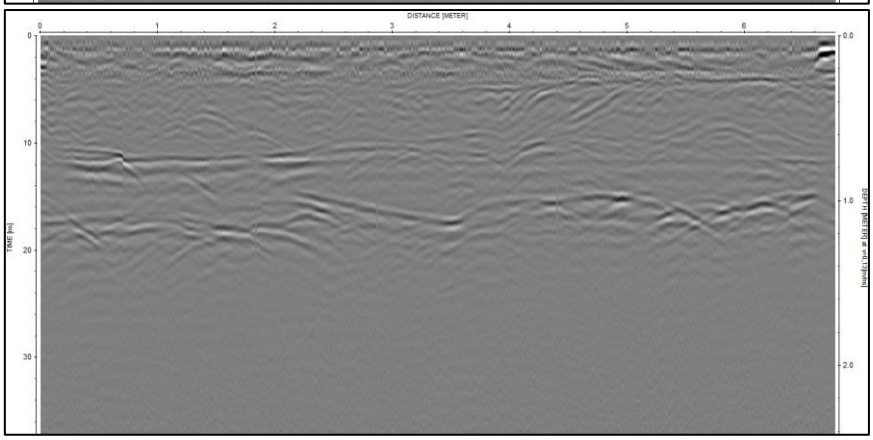
Radargrama nº 0271, 4º transversal.



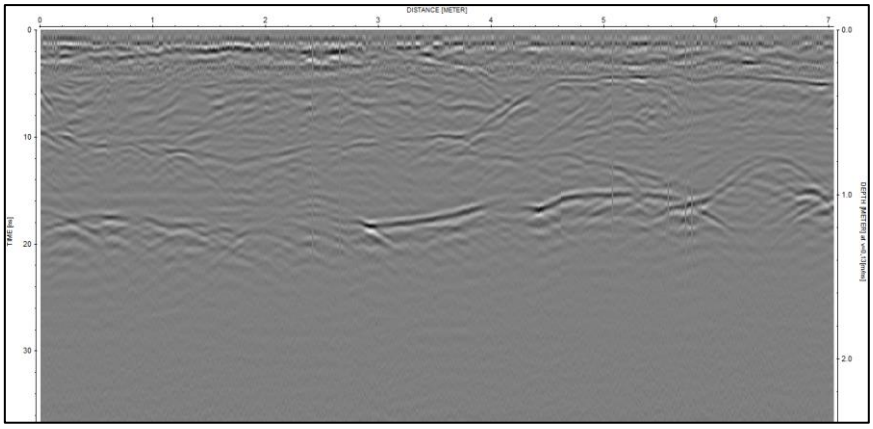
Radargrama nº 0272, 5º transversal.



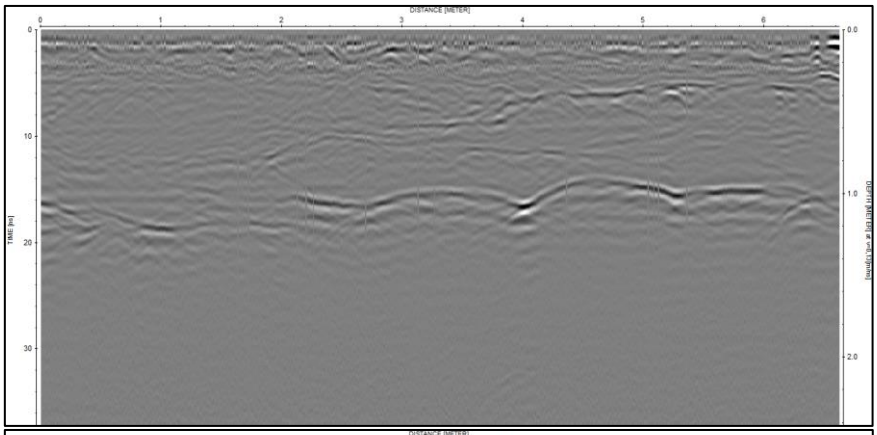
Radargrama nº 0273, 6º transversal.



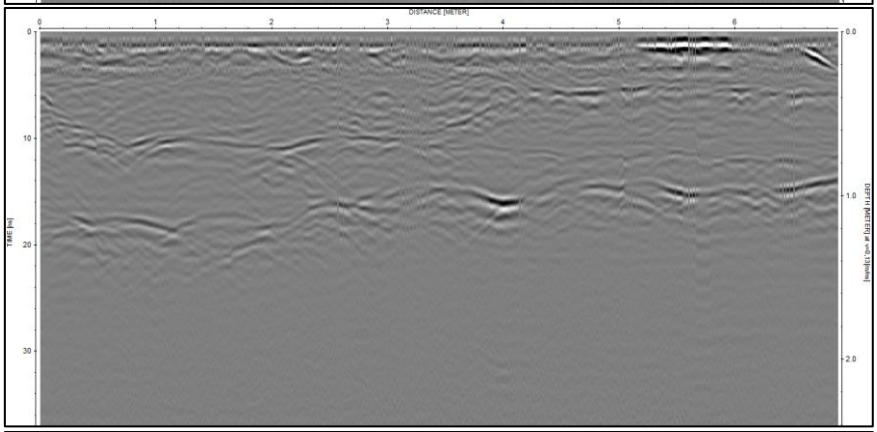
Radargrama nº 0274, 7º transversal.



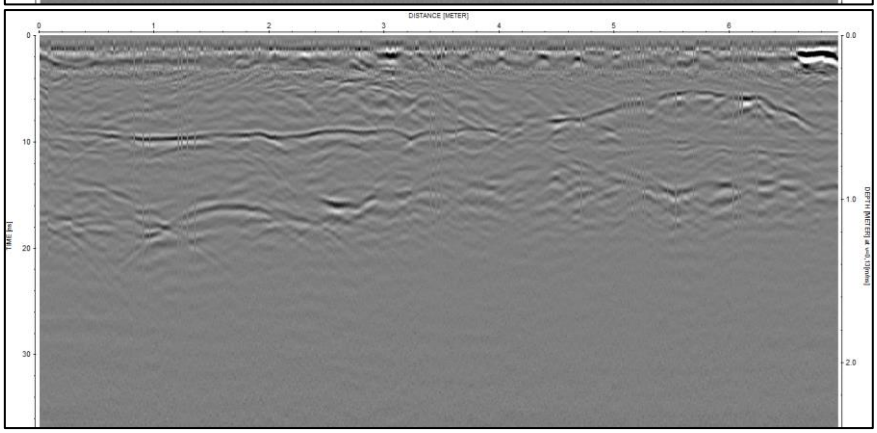
Radargrama nº 0275, 8º transversal.



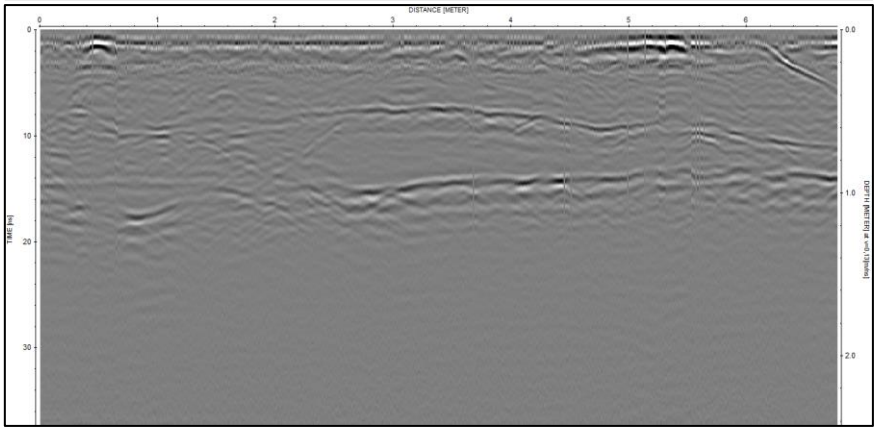
Radargrama nº 0276, 9º transversal.



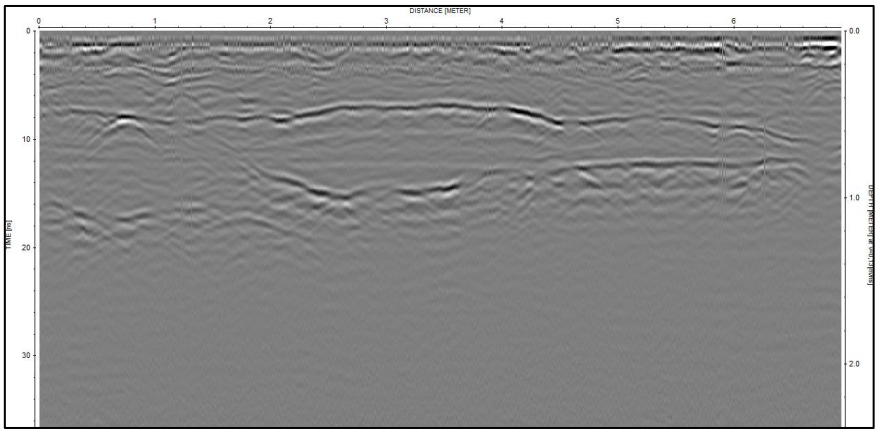
Radargrama nº 0277, 10º transversal.



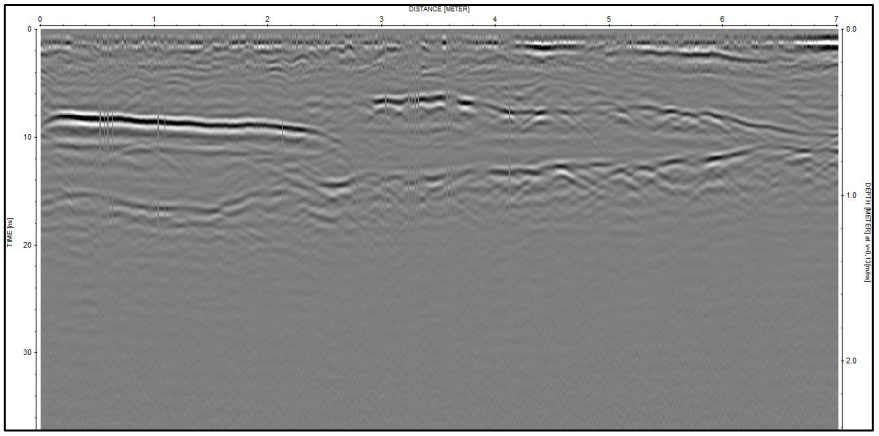
Radargrama nº 0278, 11º transversal.



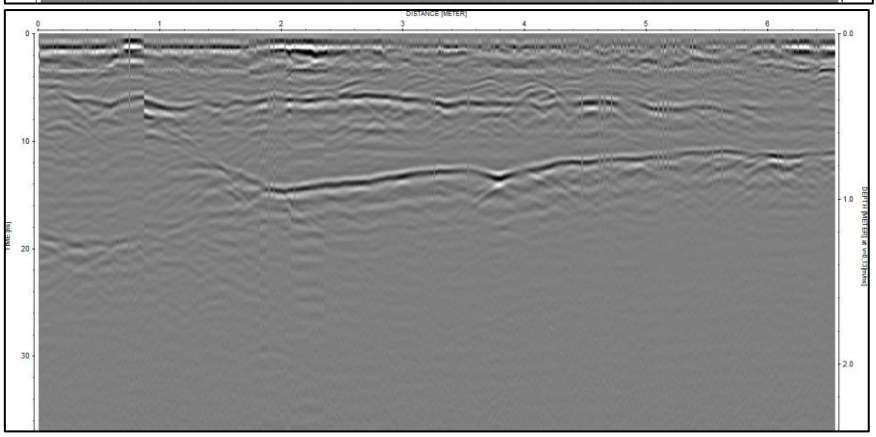
Radargrama nº 0279, 12º transversal.



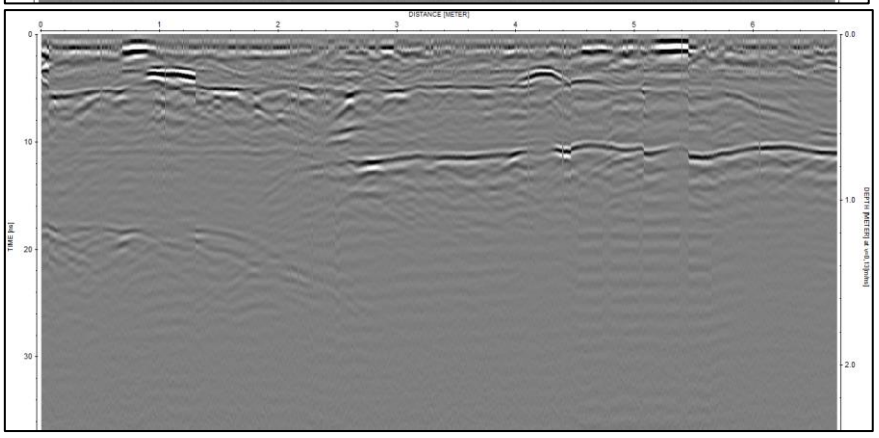
Radargrama nº 0280, 13º transversal.



Radargrama nº 0281, 14º transversal.

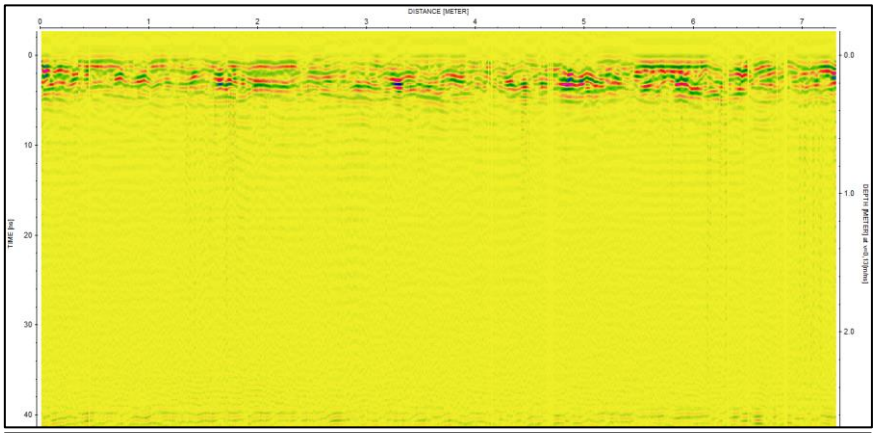


Radargrama nº 0282, 15º transversal.

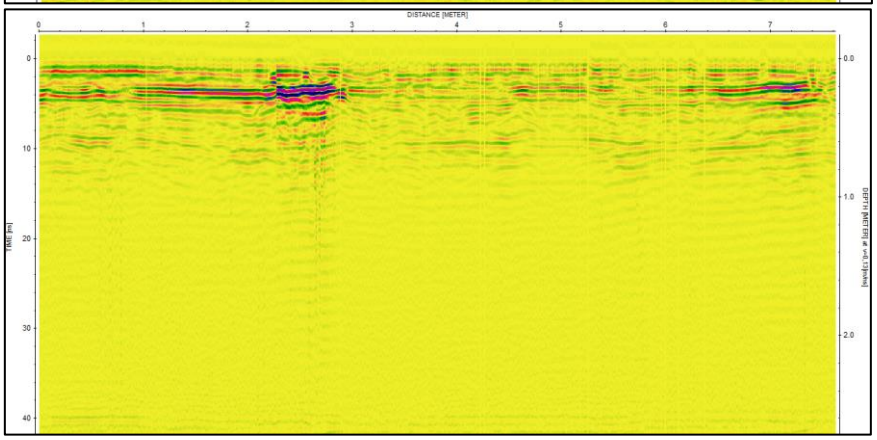


Radargrama nº 0283, 16º transversal.

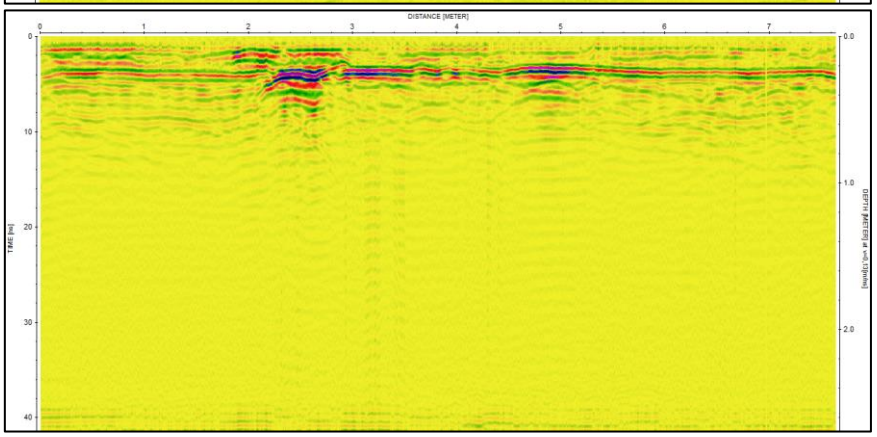
RESULTADOS PRUEBA MEDIANA CAMPUS.



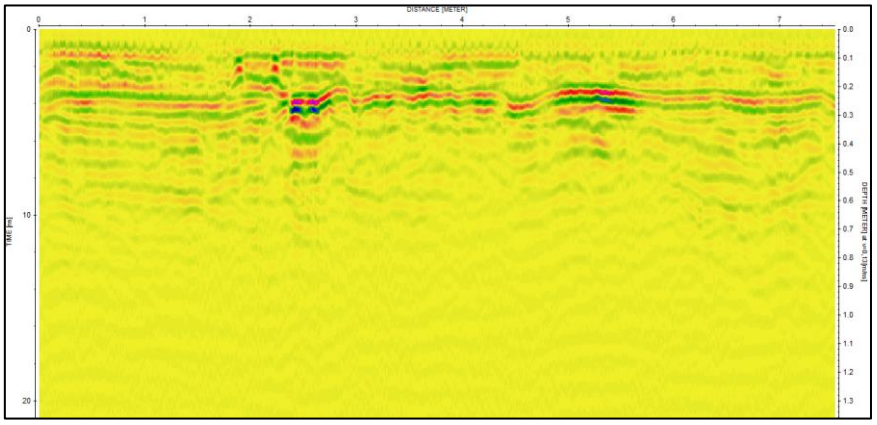
Radargrama nº 589.Tramo 1-2.



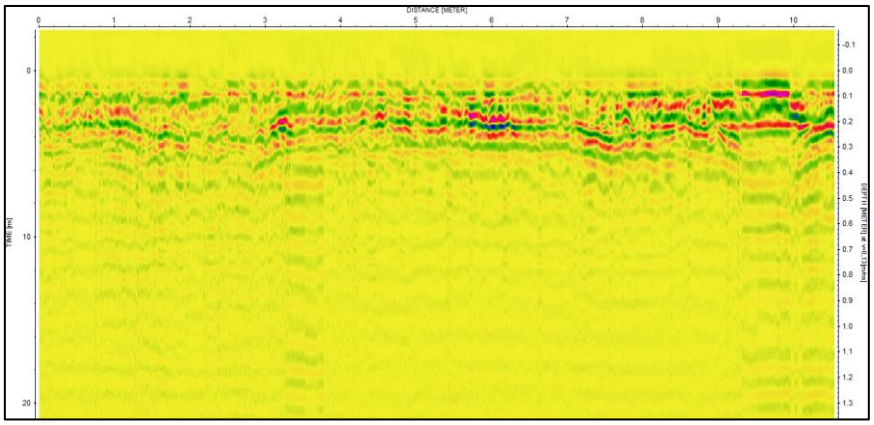
Radargrama nº 590.Tramo 3-4.



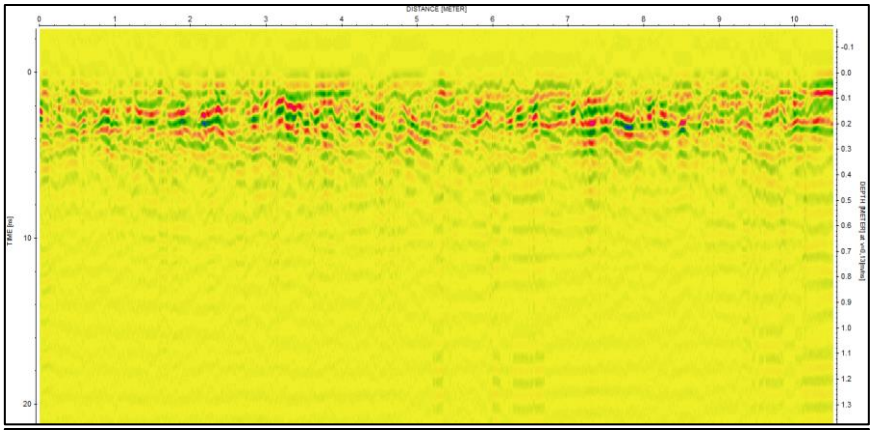
Radargrama nº 592.Tramo 5-6.



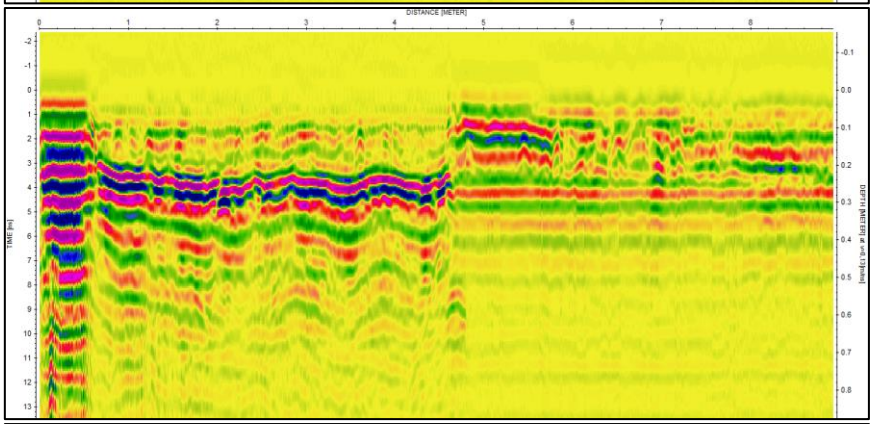
Radargrama nº 594.Tramo 5-6.



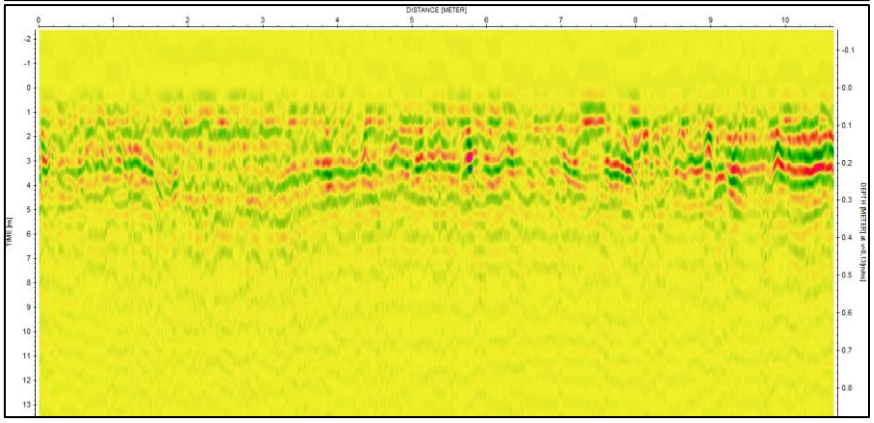
Radargrama nº 596.Tramo 7-8.



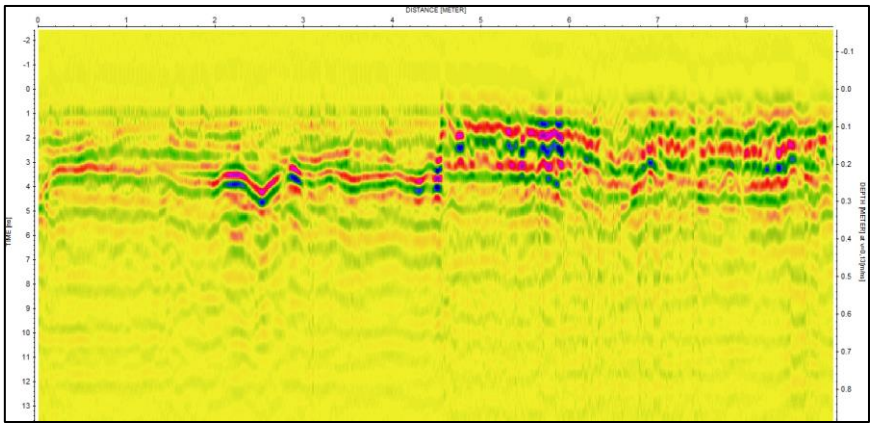
Radargrama nº597.Tramo 9-10.



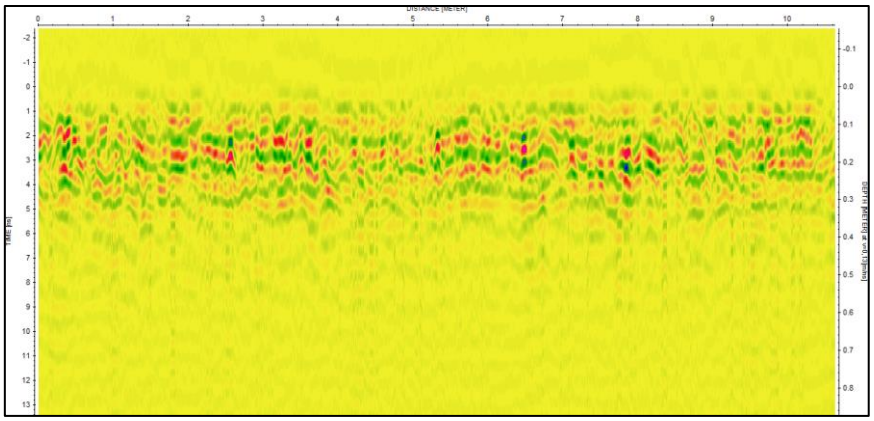
Radargrama nº598.Tramo 11-7.



Radargrama nº 599.Tramo 7-8.

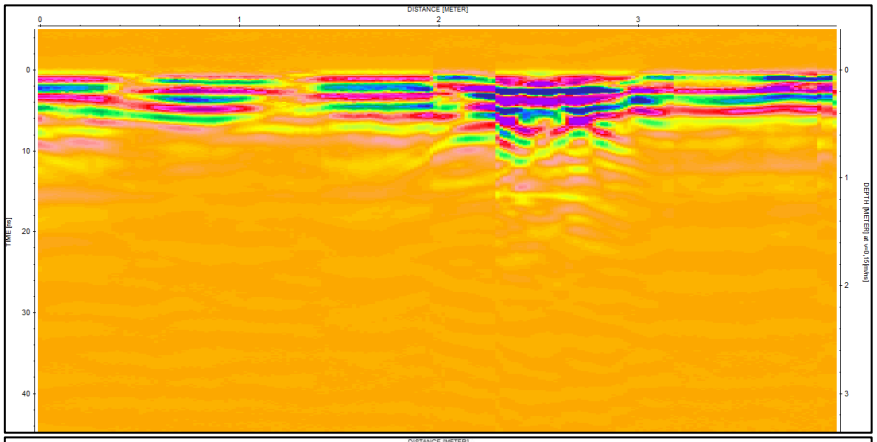


Radargrama nº600.Tramo 12-9.

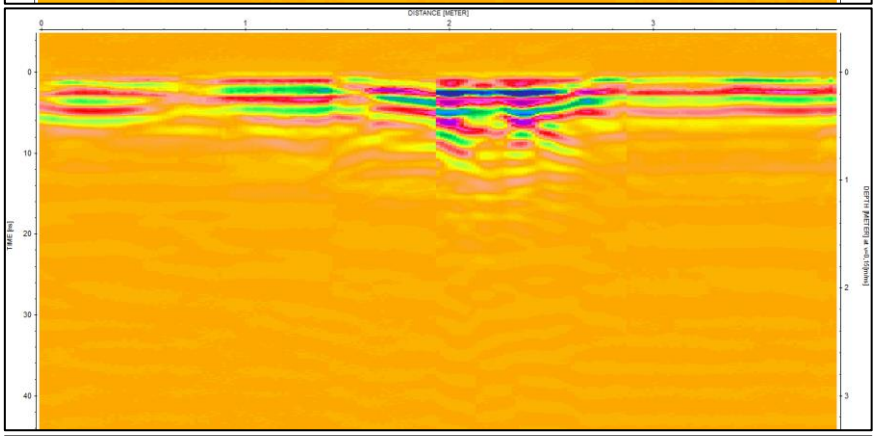


Radargrama nº601.Tramo 9-10.

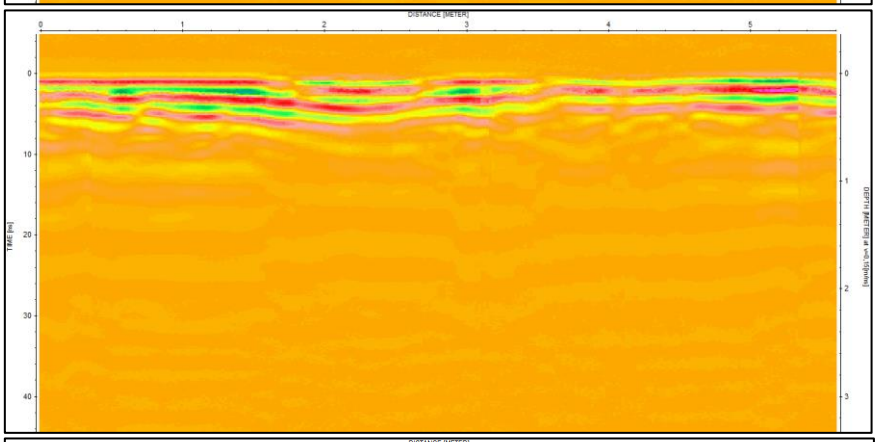
RESULTADOS EX–A1.



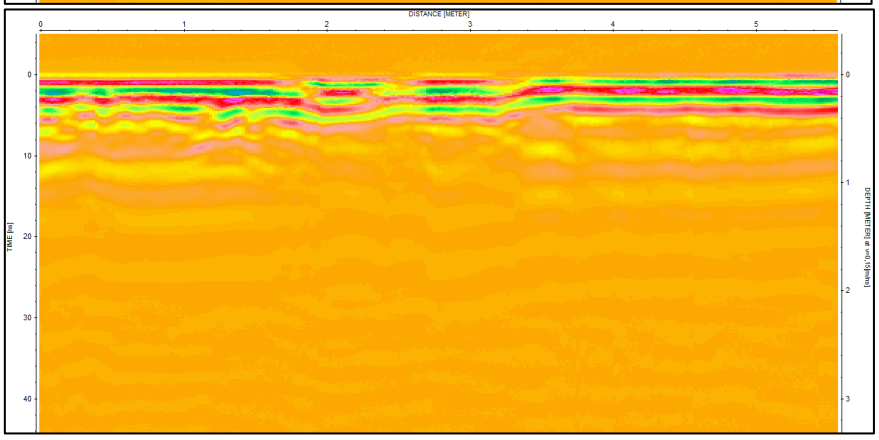
Ensayo nº 1; Radargrama nº 0616, tramo 1-2.



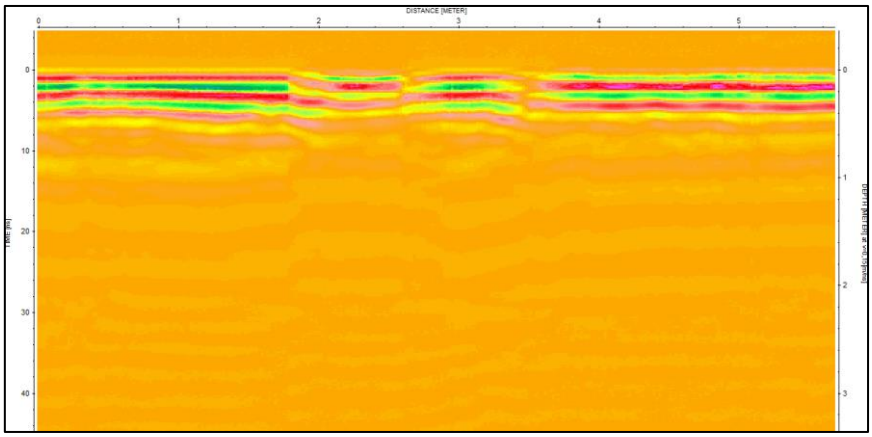
Ensayo nº 2; Radargrama nº 0618, tramo 1-2.



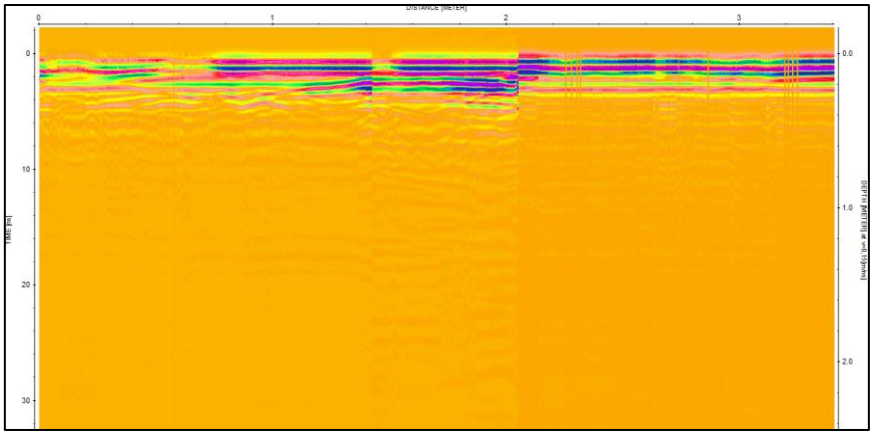
Ensayo nº 3; Radargrama nº 0620, tramo 3-4.



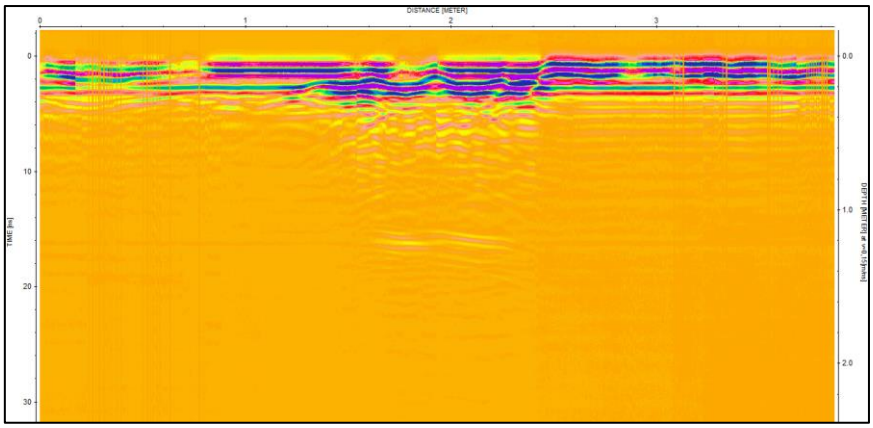
Ensayo nº 4; Radargrama nº 0621, tramo 5-6.



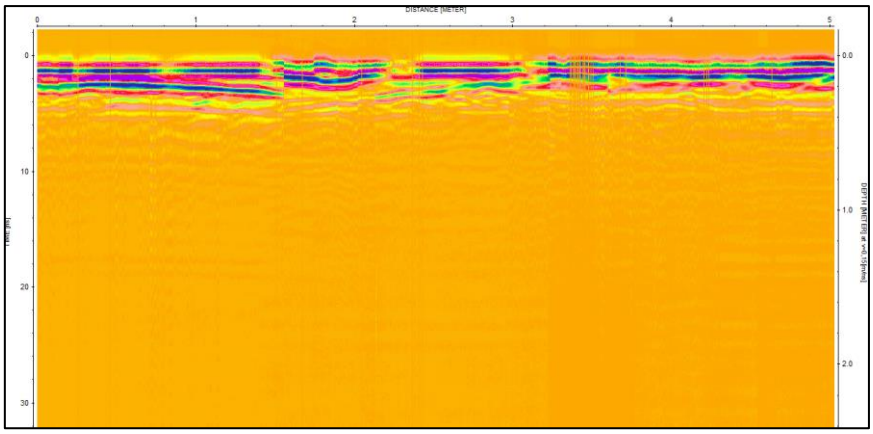
Ensayo nº 5; Radargrama nº 0622, tramo 7-8.



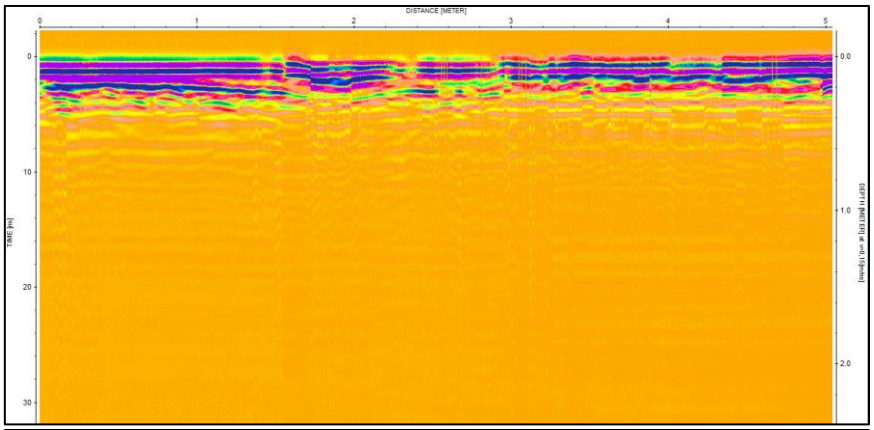
Ensayo nº 6; Radargrama nº 0629, tramo 1-2.



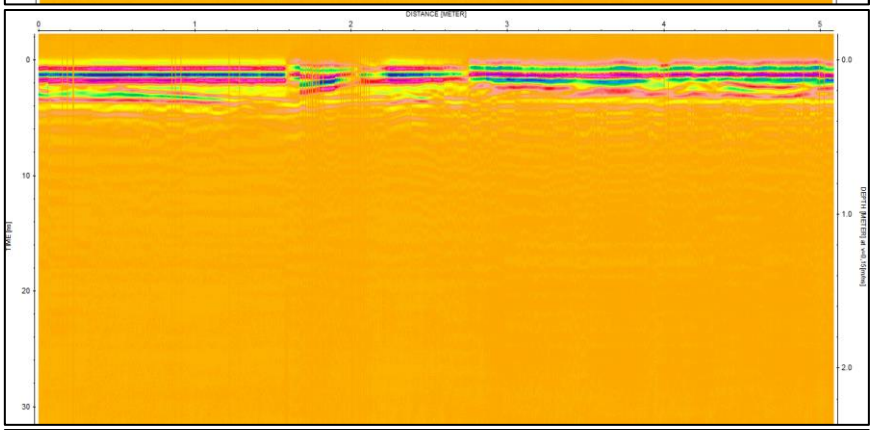
Ensayo nº 7; Radargrama nº 0630, tramo 1-2.



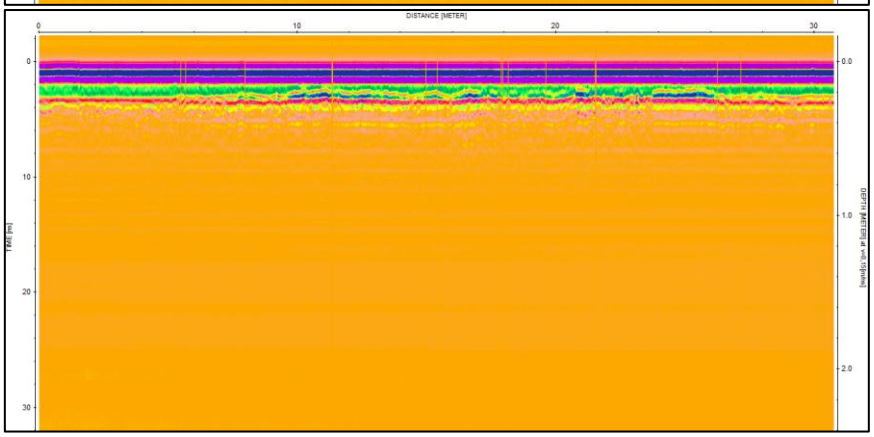
Ensayo nº 8; Radargrama nº 0631, tramo 3-4.



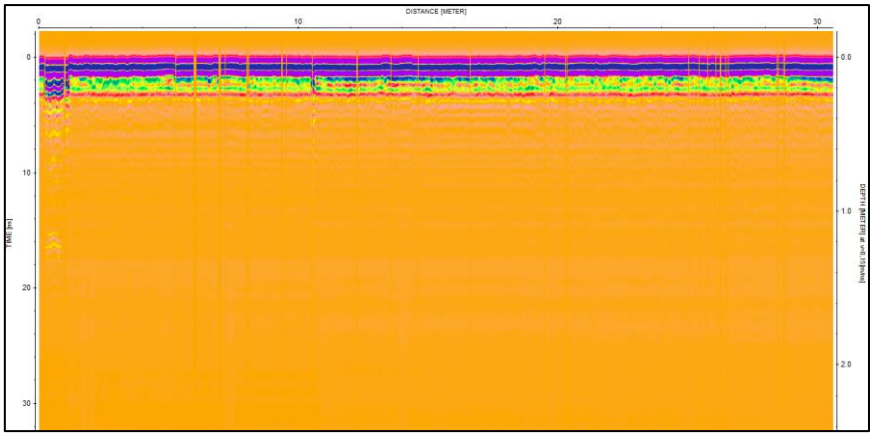
Ensayo nº 9; Radargrama nº 0632, tramo 5-6.



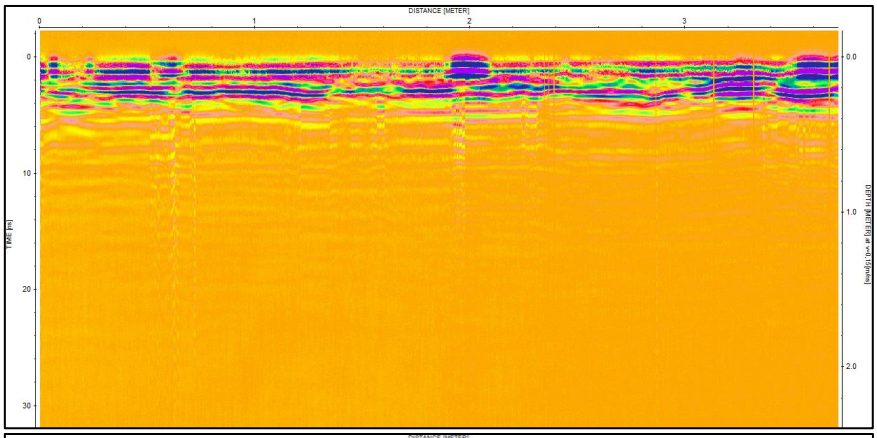
Ensayo nº 10; Radargrama nº 0633, tramo 7-8.



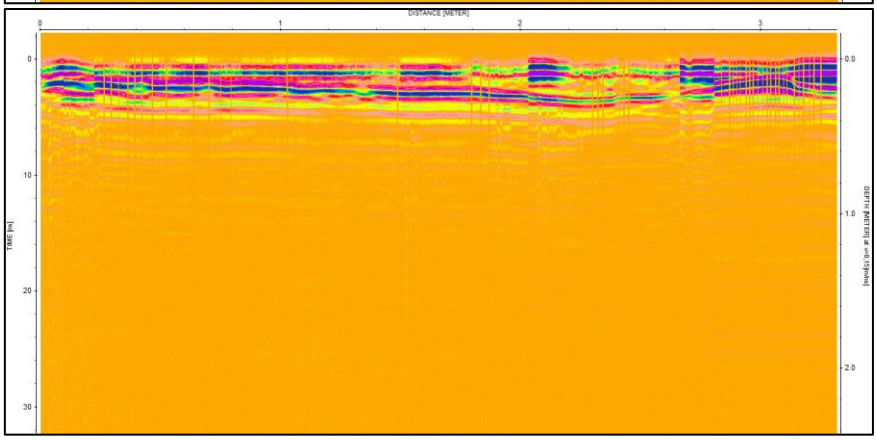
Ensayo nº 11; Radargrama nº 0634, tramo 1-7.



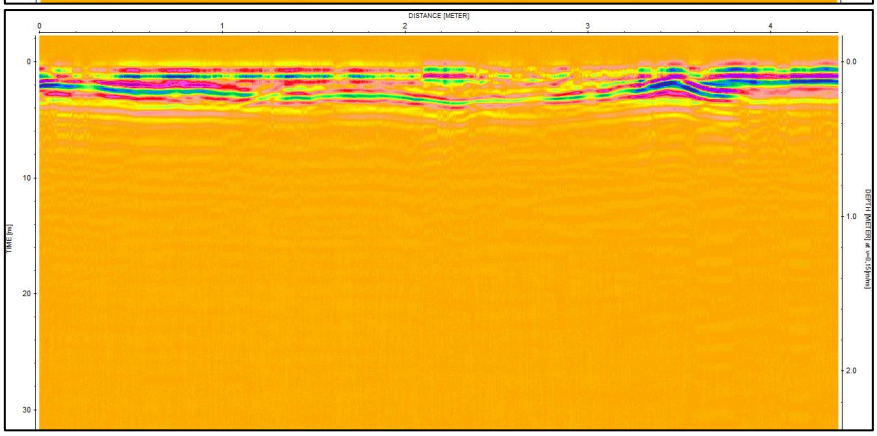
Ensayo nº 12; Radargrama nº 0635, tramo 9-12.



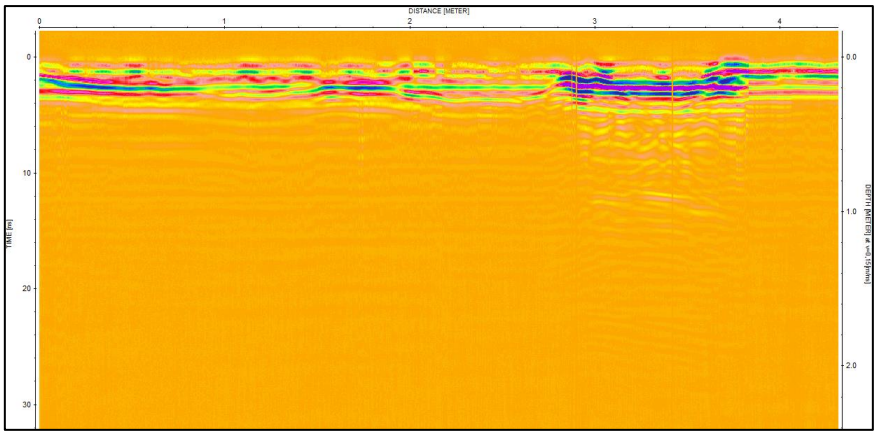
Ensayo nº 13; Radargrama nº 0636, tramo 13-14.



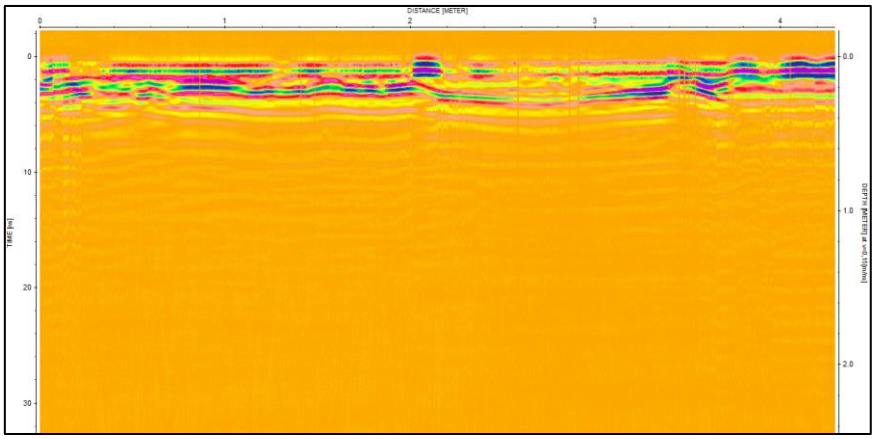
Ensayo nº 14; Radargrama nº 0637, tramo 15-16.



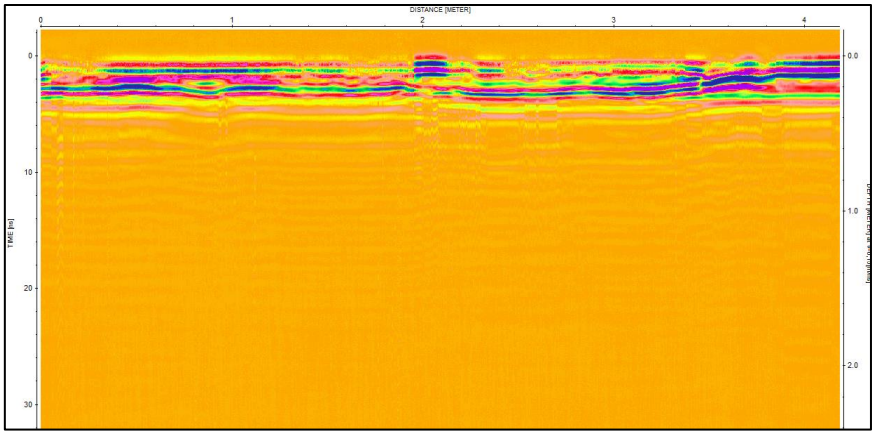
Ensayo nº 15; Radargrama nº 0638, tramo 15-16.



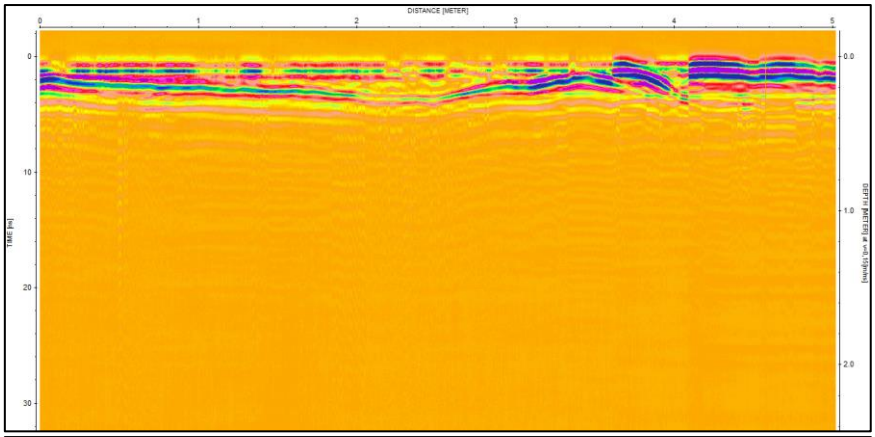
Ensayo nº 16; Radargrama nº 0639, tramo 17-18.



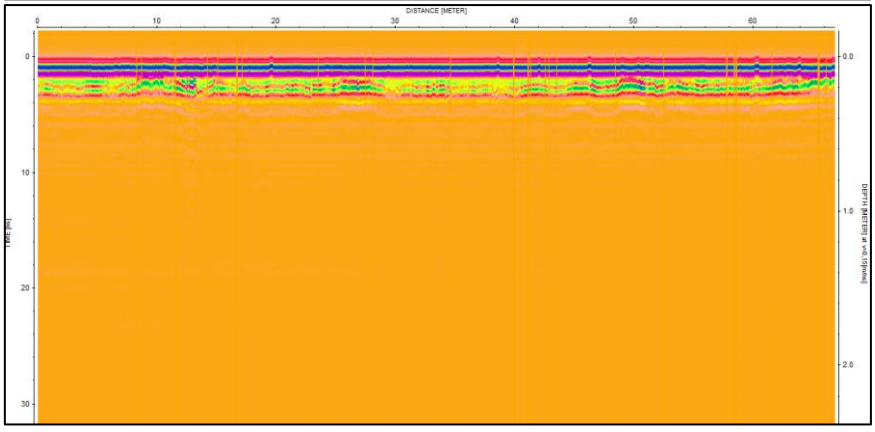
Ensayo nº 17; Radargrama nº 0640, tramo 19-20.



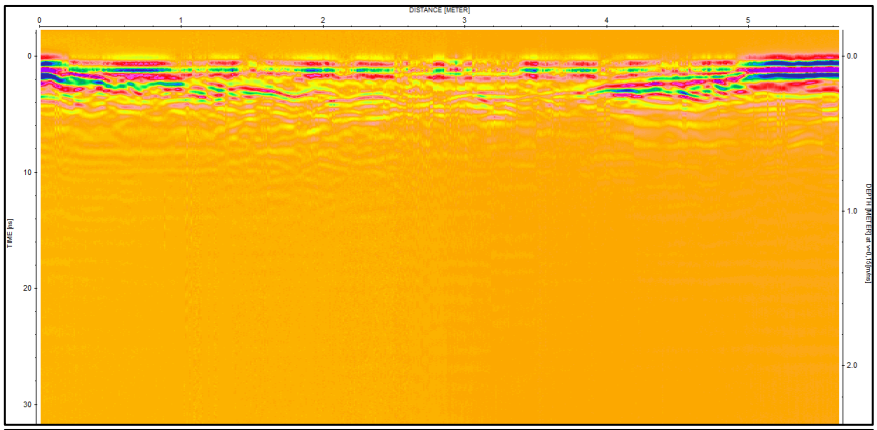
Ensayo nº 18; Radargrama nº 0641, tramo 21-22.



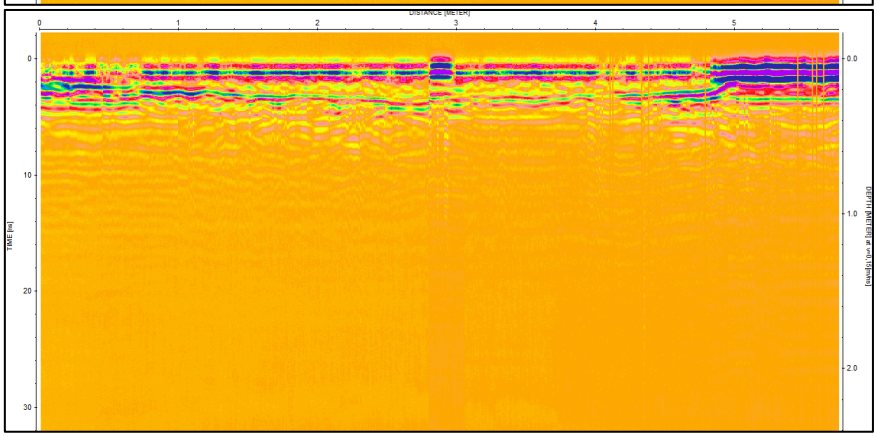
Ensayo nº 19; Radargrama nº 0642, tramo 23-24.



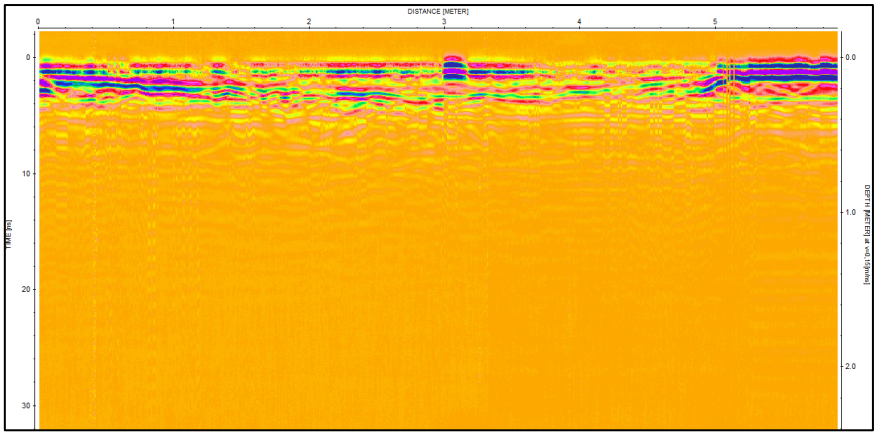
Ensayo nº 20; Radargrama nº 0643, tramo 25-26.



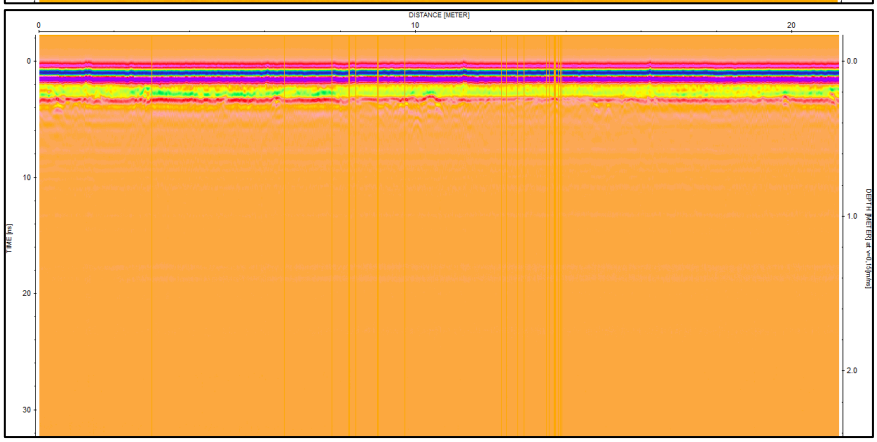
Ensayo nº 21; Radargrama nº 0644, tramo 27-28.



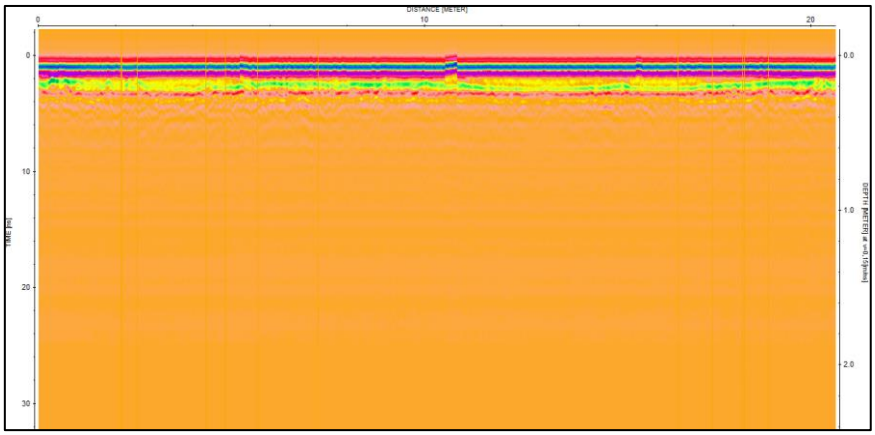
Ensayo nº 22; Radargrama nº 0645, tramo 29-30.



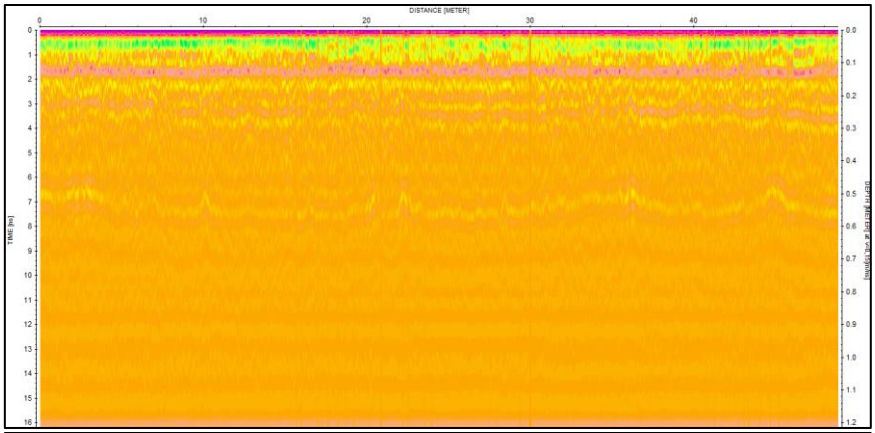
Ensayo nº 23; Radargrama nº 0646, tramo 31-32.



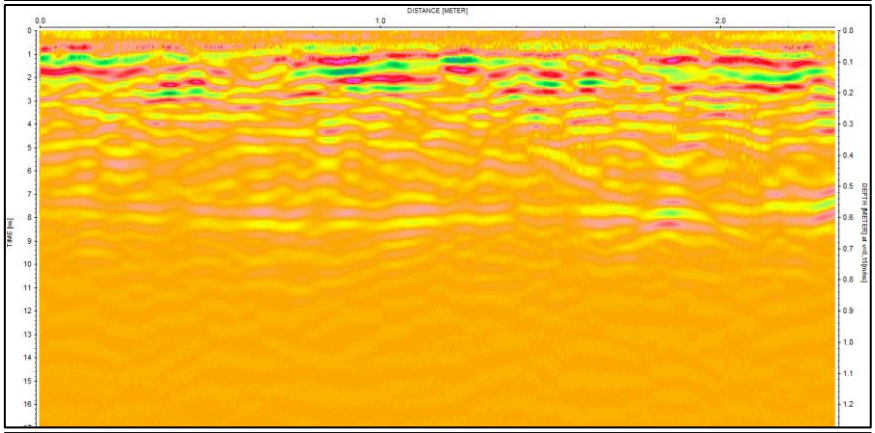
Ensayo nº 24; Radargrama nº 0647, tramo 33-31(PM).



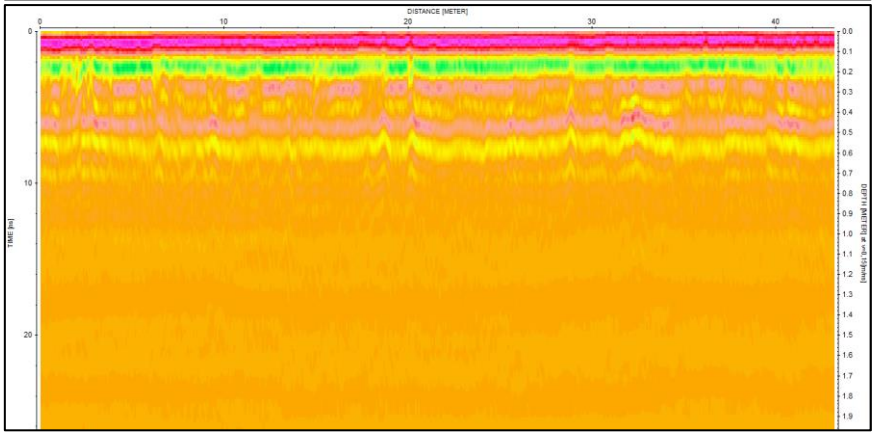
Ensayo nº 25; Radargrama nº 0648, tramo 27-31.



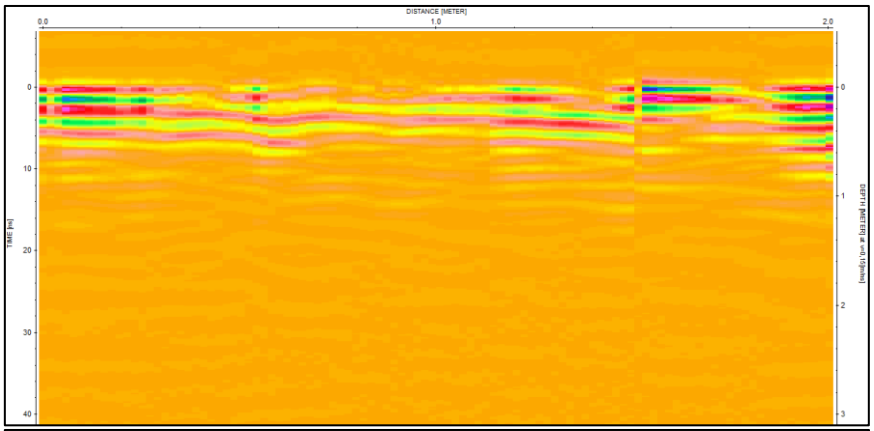
Ensayo nº 26; Radargrama nº 0650, tramo PK 80+550-PK 80+600.



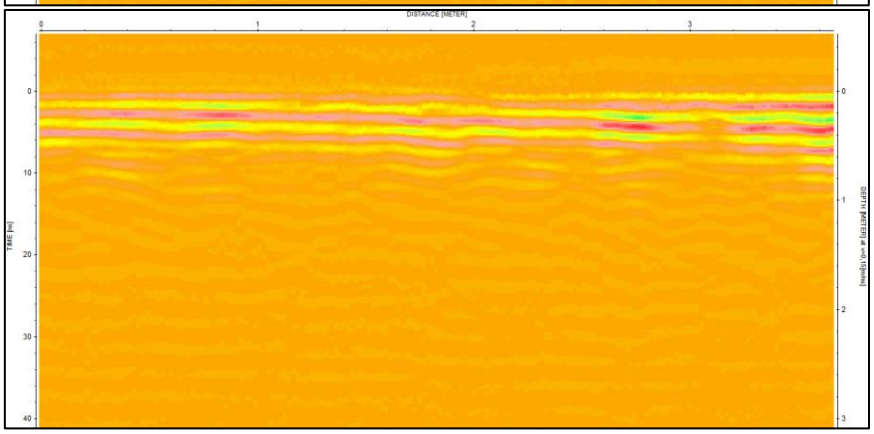
Ensayo nº 27; Radargrama nº 0651.



Ensayo nº 28; Radargrama nº 0653, tramo PK 80+550-PK 80+600.



Ensayo nº 29; Radargrama nº 0657.



Ensayo nº 30; Radargrama nº 0658.