



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Trabajo Fin de Grado

**EVALUACIÓN DE LA
POTENCIALIDAD ARQUEOLÓGICA
DEL SUBSUELO CIRCUNDANTE A
LA TORRE MUSSA (S. XI) EN
BENIFAIÓ, VALENCIA, MEDIANTE
GEORRADAR**

Alumno: Juan Pedro Carbonell Rivera

Tutor: Dr. Francisco García García

Valencia, Julio de 2014

Introducción

El objetivo de este Proyecto Final de Grado se enmarca en la restauración de la Torre Mussa de Benifaió. La torre Mussa se encontraba integrada en el sistema defensivo de la ciudad de Valencia, de construcción islámica construida en el siglo XI y reformada posteriormente en el siglo XIV, está situada a las afueras de Benifaió, fue construida con piedra y mortero de cal, siguiendo el método del tapial.

Nuestra labor será determinar la existencia de una alquería musulmana u otro asentamiento alrededor de la torre, formando parte de diferentes actuaciones que se están realizando en la torre por un equipo multidisciplinar formado por técnicos de la Diputación de Valencia y la Universidad Politécnica de Valencia para la restauración de una torre que actualmente se encuentra en estado casi ruinoso.

El presente estudio, se realizará mediante la técnica geofísica del georradar o GPR y servirá de base para la realización de catas en la búsqueda de restos arqueológicos alrededor de la torre. Los radargramas realizados serán filtrados y analizados en post-proceso para identificar las zonas con mayor probabilidad de éxito en los trabajos arqueológicos.

Una vez procesados los datos realizando un modelo 3D de los radargramas, identificaremos los puntos a excavar y los materializaremos en terreno. Por último, se realizará una correlación de las anomalías obtenidas con las catas arqueológicas realizadas.

Para finalizar, se realizará una conclusión sobre los datos obtenidos y las siguientes fases a realizar en la restauración de la torre.

Introducció

L'objectiu d'aquest Projecte Fi de Grau s'emmarca en la restauració de la Torre Mussa de Benifaió. La torre Mussa s'encontrava integrada en el sistema defensiu de la ciutat de València, de construcció islàmica construïda en el segle XI i reformada posteriorment en el segle XIV, està situada a les afores de Benifaió, va ser construïda amb pedra i morter de cal, seguint el mètode de la tàpia.

La nostra labor serà determinar l'existència d'una alqueria musulmana o un altre assentament al voltant de la torre, formant part de diferents actuacions que s'estan realitzant en al torre per un equip multidisciplinari format per tècnics de la Diputació de València i la Universitat Politècnica de València per a la restauració d'una torre que actualment està en estat quasi ruïnós.

El present estudi, se realitzarà utilitzant la tècnica geofísica del georradar o GPR, i servirà de base para la realització de cates en la busca de restes arqueològics al voltant de la torre. Els radargrames realitzats seran filtrats i analitzats en post-procés per a identificar les zones amb major probabilitat d'èxit en el treballs arqueològics.

Una vegada processades les dades realitzem un model 3D dels radargrames, identificant els punts a cavar i els materialitzarem al terreny. Per últim, es realitzarà una correlació de les anomalies obtingudes amb les cates arqueològiques realitzades.

Per acabar, es realitzarà una conclusió sobre les dades obtingudes i les següents fases a realitzar en la restauració de la torre.

Abstract

The objective of this Final Project Degree is part of the restoration of Tower Mussa of Benifaió. The Mussa tower was built as part of the defensive system of the city of Valencia, it was an Islamic building built in the eleventh century and later rebuilt in the fourteenth century, is located just outside of Benifaió, it was built with stone and lime mortar, following the method of rammed earth.

Our task is to determine the existence of a Muslim farmstead or other settlement around the tower as part of different actions that are taking place in the tower by a multidisciplinary team of experts from the Council of Valencia and the Polytechnic University of Valencia for restoration of a tower which is currently almost ruinous state.

The present study, performed by the GPR geophysical technique and provide the basis for conducting of trial excavations finding archaeological remains around the tower. Radargrames made will be filtered and analysed post-process to identify areas with the highest probability of success in the archaeological work.

Once the data by performing a 3D model radargrams, identify points to dig and processed field will materialize. Finally, we perform a correlation between anomalies obtained with tastings archaeological.

Finally, we perform a conclusion on the obtained data and the following steps to perform restoration on the tower.

Índice

INTRODUCCIÓN.....	1
INTRODUCCIÓ	2
ABSTRACT.....	3
BLOQUE I: EL GEORRADAR.....	7
1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. <i>Georradar: Origen y desarrollo</i>	7
1.2. <i>Aplicaciones</i>	8
2. TEORÍA DEL ELECTROMAGNETISMO	10
2.1. <i>La técnica de georradar</i>	10
2.2. <i>Teoría de propagación de ondas electromagnéticas</i>	10
2.3. <i>Parámetros electromagnéticos del medio</i>	13
2.3.1. <i>Conductividad</i>	13
2.3.2. <i>Permitividad dieléctrica</i>	16
2.3.3. <i>Permeabilidad magnética</i>	17
2.4. <i>Propagación de una onda electromagnética</i>	17
2.5. <i>Velocidad de propagación</i>	19
2.6. <i>Longitud de onda</i>	19
2.7. <i>Profundidad de penetración</i>	20
2.8. <i>Impedancia</i>	20
2.9. <i>Reflexión y refracción</i>	21
2.9.1. <i>Reflexión de una onda electromagnética</i>	21
2.9.2. <i>Refracción de una onda electromagnética</i>	21
2.10. <i>Coefficientes de reflexión y transmisión de Fresnel</i>	22
2.11. <i>Propagación de las ondas electromagnéticas en medios materiales</i>	23
2.11.1. <i>Pérdidas producidas en la reflexión y refracción en cada cambio de material que atraviese la onda</i>	24
2.11.2. <i>Dispersión geométrica del frente de ondas</i>	24
2.11.3. <i>Dispersión de la energía en elementos del orden de magnitud de la onda</i>	24
2.11.4. <i>Absorción de energía por parte del medio</i>	24
2.12. <i>Características del georradar</i>	24
2.12.1. <i>Rango del radar</i>	24
2.12.2. <i>Resolución vertical y horizontal</i>	25
3. EL GEORRADAR	26
3.1. <i>Componentes del georradar</i>	26
3.1.1. <i>Unidad central</i>	26
3.1.2. <i>Antenas</i>	27
3.2. <i>Adquisición de datos</i>	29
3.2.1. <i>Adquisiciones puntuales</i>	29
3.2.2. <i>Adquisición por perfiles</i>	30
3.2.3. <i>Modelo 3D</i>	30
3.3. <i>Tratamiento de datos</i>	31
3.3.1. <i>Ajuste del cero (Offset)</i>	31
3.3.2. <i>Ajuste de la escala horizontal y vertical</i>	32
3.3.3. <i>Filtrado</i>	33
3.3.4. <i>Transformada de Hilbert</i>	36

Evaluación de la potencialidad arqueológica del subsuelo circundante a la Torre
Mussa (s. XI) en Benifaió, Valencia, mediante georradar

3.3.5. Ganancias.....	36
3.3.4. Migración.....	37
3.3.5. Deconvolución.....	38
BLOQUE II: LA TORRE MUSSA DE BENIFAIÓ	39
1. DESCRIPCIÓN	39
2. LOCALIZACIÓN.....	40
3. MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN.....	42
4. ESTADO DE CONSERVACIÓN ACTUAL.....	44
5. ASOCIACIÓN 'AMICS DE LA TORRE DE MUSSA DE BENIFAIÓ'	44
6. LA PROTECCIÓN DEL TERRITORIO COMO MOTIVO DE CONSTRUCCIÓN	45
6.1. <i>Los ojos de Valencia</i>	45
7. TORRES CON ASENTAMIENTOS	46
7.1. <i>Alquería islámica de Bofilla</i>	46
8. TORRES EXENTAS.....	48
8.1. <i>Torre de la Plaza</i>	48
8.2. <i>Torre Espioca</i>	48
8.3. <i>Torre de la Ermita</i>	49
BLOQUE III: TOMA Y PROCESADO DE DATOS.....	51
1. TOMA DE DATOS	51
1.1. <i>Jornada I: Reconocimiento</i>	51
1.2. <i>Jornada II: Toma de datos</i>	52
1.3. <i>Jornada III: Toma de datos</i>	54
2. PROCESADO DE LOS DATOS	56
2.1. <i>Generación del modelo 3D</i>	56
2.2. <i>Ajuste del cero (Time Zero)</i>	58
2.3. <i>Filtro IRR</i>	60
2.4. <i>Migración</i>	60
2.5. <i>Máxima profundidad</i>	60
2.6. <i>Aplicación de ganancias</i>	61
2.7. <i>Deconvolución</i>	62
2.8. <i>Conclusiones</i>	64
3. RESULTADOS OBTENIDOS	64
3.1. <i>Realización de una cata arqueológica</i>	64
3.2. <i>Primer cuadrante</i>	65
3.3. <i>Segundo cuadrante</i>	69
3.4. <i>Tercer cuadrante</i>	73
3.5. <i>Cuarto cuadrante</i>	76
3.6. <i>Perfiles sueltos en el interior del vallado</i>	78
3.7. <i>Perfiles sueltos exteriores al vallado</i>	81
4. CATA ARQUEOLÓGICAS: CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA DE LOS RADARGRAMAS	82
BLOQUE IV: CONCLUSIONES	85
BIBLIOGRAFÍA	87
LIBROS	87
MANUALES.....	87

Evaluación de la potencialidad arqueológica del subsuelo circundante a la Torre
Mussa (s. XI) en Benifaió, Valencia, mediante georradar

TESIS.....	87
DIARIO OFICIAL.....	87
CONGRESOS.....	88
PÁGINAS WEB	88
AGRADECIMIENTOS	89
ANEXOS.....	90
Anexo 1: Localización de la Torre Mussa (Benifaió).....	90
Anexo 2: Consulta descriptiva y gráfica de la parcela municipal de la Torre Mussa.....	91
Anexo 3: Entorno de protección de la Torre Mussa	92
Anexo 4: Zonas de estudio.....	93
Anexo 5: Zonas de excavación.....	94
Anexo 6: Modelos en 3D de los cuatro cuadrantes	94
Anexo 7: Radargramas de los perfiles sueltos, exteriores e interiores al vallado	99

Bloque I: El Georradar

1. Introducción

1.1. Georradar: Origen y desarrollo

El georradar es una técnica de prospección geofísica, derivada de la aplicación de los conocimientos de la Geofísica Teórica.

El georradar nace a partir del uso de los radares aéreos desarrollados en la Segunda Guerra Mundial, aplicándolo a la medición sobre la Tierra. El radar, acrónimo de radio detection and ranging, es un sistema que permite la detección y referenciación de un objeto a partir de una emisión y recepción de ondas electromagnéticas.

La primera patente en el uso de radiación para la localización de objetos enterrados data de la Alemania de 1904, atribuida a Hülsmeier, no siendo hasta 1910 cuando Leimbach y Löwy realizaron la primera publicación sobre investigaciones utilizando ondas electromagnéticas.

En los años 40 del siglo XX comenzaron los primeros estudios en hielos polares por Petrovsky, su utilización pasó de su uso en el aire a la aplicación sobre glaciares, obteniendo muy buenos resultados, ya que la penetración en el hielo del georradar es muy alta debido a sus propiedades electromagnéticas. Posteriormente, en los años 50 se comenzó a utilizar en estudios terrestres de ingeniería e investigación.

No es hasta los años 60 del siglo XX cuando se produce un gran desarrollo del georradar gracias a los estudios realizados por John C. Cook sobre la obtención de señales de corta duración. Es a partir de aquí cuando se comienzan a comercializar los primeros georradares de pulsos de corta duración, llamados en inglés Ground-Penetrating Radar (GPR).

El desarrollo de la informática ha producido un gran desarrollo en el uso del georradar pasándose a utilizar en estudios de firme de carreteras, muros o puentes. En 1994 Brewster y Annen fueron los pioneros en visualizar los radargramas en tres dimensiones.

Actualmente el georradar la mejor técnica en la detección de espesores de materiales en el sector de la construcción, existiendo diferentes soluciones por parte de varias compañías para la realización de un proyecto según el tipo de trabajo y presupuesto.

Algunos ejemplos son: Geophysical Survey Systems, Inc. (GSSI), MALÅ, Penetration Corporation, Radarteam o Geoscanners.

1.2. Aplicaciones

La aplicación del georradar es muy extensa, debido a la amplia banda de frecuencias que se pueden utilizar en campos muy diferentes. Algunas de las aplicaciones más relevantes son¹:

Arqueología

- Localización de estructuras enterradas (muros, tumbas, criptas, hornos,...) y vestigios relacionados.
- Cartografiados 2D y 3D.
- Correlaciones estratigráficas.
- Análisis de zonas potenciales en yacimientos.

Estudios forenses

- Bienes enterrados, como armas.
- Enterramientos (tumbas, fosas).

Geología y geotecnia

- Realización de mapas de estructuras geológicas.
- Geomorfología.
- Indicio de fracturas y análisis de linealidades.
- Localización de oquedades y estructuras cársticas.
- Estudio de fallas.
- Estudios de minería y minerales.
- Riesgos geológicos.
- Recursos de agua subterránea.
- Investigación de la estratigrafía del subsuelo.
- Estudios de profundidades de sustratos rocosos.

Obra Civil

- Localización de servicios enterrados (metálicos y no metálicos).
- Evaluación de estructuras de hormigón.
- Control del pavimento en firmes de carreteras.
- Patologías en la construcción.

¹ Clasificación extraída del título "Geofísica" de Francisco García García.

Cartografía

- Batimetrías en agua dulce y espesor de la capa de sedimentos depositados.
- Cartografiado de glaciares.

Arquitectura y Patrimonio

- Inspección de fachadas.
- Localización de humedades o zonas afectadas por grietas.
- Estudio de cimentaciones y muros.
- Estudio de patologías constructivas.

Aplicaciones medioambientales

- Detección de contaminantes
- Exploración de acuíferos, de la profundidad de la superficie del agua subterránea y del nivel freático.
- Análisis de emplazamientos.
- Valoración de riesgo de situación de vertederos.
- Medida del grosor de una capa de nieve o hielo.
- Trazado de vertederos enterrados.
- Localización de bidones enterrados.

2. Teoría del electromagnetismo

2.1. La técnica de georradar

La técnica del georradar se fundamenta en la emisión y recepción de pulsos electromagnéticos de muy corta duración en la banda de frecuencias UHF-VHF, entre 8MHz y 2,5 GHz. Por tanto, es un método de prospección geofísica no invasivo.

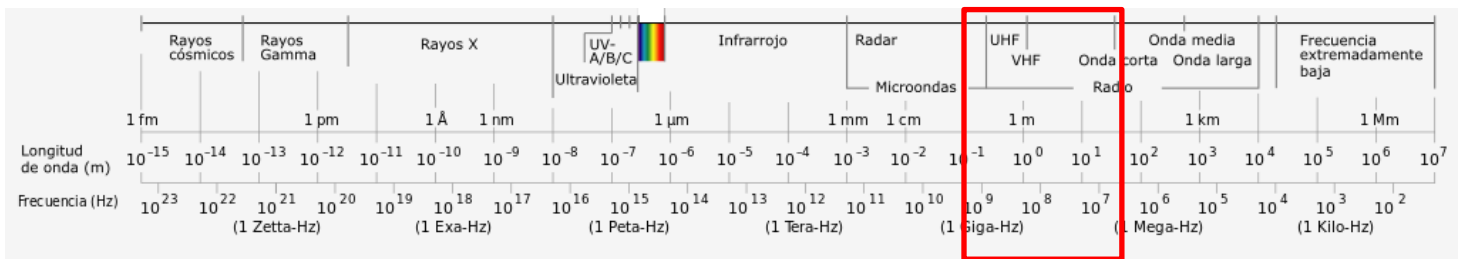


Figura 1. Espectro electromagnético, encuadrado el espectro utilizado por el GPR.

El proceso que utiliza el georradar es la emisión y detección de ondas electromagnéticas, por lo que en primer lugar, la antena emisora del georradar genera un impulso en una dirección. Al encontrarse el pulso electromagnético con algún cambio en el terreno provoca fenómenos de reflexión, refracción y difracción. Estos cambios pueden ser detectados por la antena receptora.

La permitividad dieléctrica, la conductividad y la permeabilidad magnética son las propiedades determinantes del georradar, produciéndose las diferentes reflexiones a los contrastes de estas propiedades en el medio.

2.2. Teoría de propagación de ondas electromagnéticas

El georradar tiene sus bases teóricas en las cuatro ecuaciones de Maxwell que describen por completo los fenómenos electromagnéticos. Estas cuatro ecuaciones se formulan como:

- Ley de Gauss, $\nabla \vec{D} = \rho_f$

La Ley de Gauss explica la relación entre el flujo del campo eléctrico y una superficie cerrada.

\vec{D} , utilizada en casos generales, es la densidad de flujo eléctrico expresándose en columbios por metro cuadrado, C/m². ρ_f la densidad de carga en el medio interior a la superficie cerrada, expresándose en columbios por metros metro cúbico, C/m³.

- Ley de Gauss para el campo magnético, $\nabla \cdot \vec{B} = 0$

La Ley de Gauss para el campo magnético expresa que al encerrar un dipolo en una superficie cerrada, no sale ni entra flujo magnético por lo tanto, el campo magnético no diverge, no sale de la superficie. Entonces la divergencia es cero.

\vec{B} es la densidad de flujo magnético, o inducción magnética. Su unidad son los Tesla o Wb/m².

- Ley de Faraday-Lenz, $\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} + \vec{M}$

La Ley de Faraday-Lenz establece que el voltaje inducido en un circuito cerrado es directamente proporcional a la rapidez con que cambia en el tiempo el flujo magnético que atraviesa una superficie cualquiera con el circuito como borde.

\vec{E} es la intensidad del campo eléctrico, medido en voltios por metro, V/m. \vec{M} es la imanación, medida en amperios por metro, A/m. Por último, \vec{B} es la densidad de flujo magnético, como hemos apuntado anteriormente.

- Ley de Ampère generalizada, $\nabla \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{J}$

La Ley de Ampère generalizada explica, que la circulación de la intensidad del campo magnético en un contorno cerrado es igual a la corriente que lo recorre en ese contorno.

\vec{H} es la intensidad del campo magnético, medida en amperios por metro, A/m. \vec{J} es la densidad de corriente, medida en amperios por metro cuadrado, A/m². Y por último \vec{D} es la densidad de flujo eléctrico, como hemos apuntado anteriormente.



Figura 2. James Clerk Maxwell²

Para medios homogéneos e isotrópicos las ecuaciones de Maxwell se complementan con las siguientes expresiones:

$$\vec{D} = \epsilon \cdot \vec{E}$$

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu}$$

$$\vec{J} = \sigma \cdot \vec{E}$$

Definiendo las siguientes magnitudes permitividad dieléctrica (ϵ) F/m, la conductividad (σ) Siemens/m y la permeabilidad magnética (μ) H/m del material.

Por último, suponiendo la no existencia de cargas libres en el espacio de estudio, las ecuaciones de Maxwell quedan de la siguiente forma:

$$\nabla \times \vec{E} = -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \vec{H} = \epsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \sigma \vec{E}$$

$$\nabla \cdot \vec{E} = 0$$

$$\nabla \cdot \vec{H} = 0$$

² Imagen digitalizada de un grabado de G. J. Stodart de una fotografía de Fergus of Greenock. Dominio Público.

2.3. Parámetros electromagnéticos del medio

Como hemos remarcado anteriormente, la conductividad, permitividad eléctrica y permeabilidad magnética producen las diferentes reflexiones que capta el georradar, y son las propiedades que definen una onda electromagnética.

En el terreno estas propiedades están producidas por la densidad del medio, las propiedades químicas, su estado físico, su porosidad o el contenido de agua en el terreno.

2.3.1. Conductividad

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad de un material para circular por él corriente eléctrica. La conductividad depende de la estructura atómica y molecular del material, así como de factores físicos del material y la temperatura.

Según la ley de Ohm, $\vec{J}_f = \sigma \vec{E}$, la densidad de corriente es igual a la conductividad por el valor del campo eléctrico. Por tanto, la conductividad de un material se mide en siemens por metro, S/m. Los materiales se clasifican como conductores ($\sigma > 10^5$ S/m), aislantes ($\sigma < 10^{-8}$ S/m) o semiconductores (10^5 S/m $< \sigma < 10^{-8}$ S/m).

La conductividad de un medio es la inversa de su resistividad, $\sigma = \frac{1}{\rho}$ medida en ohmios por metro, $\Omega \cdot m$.

La conductividad difiere entre los tres estados de la materia. En los medios sólidos, los átomos no son libres de moverse y la conductividad se debe únicamente a los electrones, existiendo electrones cuasi-libres que se mueven por todo el volumen en los metales.

Aun así, en la mayor parte de los materiales, éstos pueden ser considerados como aislante. En estos medios, la conducción eléctrica se debe básicamente a la existencia de fluido (con iones disueltos) en poros y fisuras. Es decir, cuanto mayor la porosidad del medio, mayor será el contenido en agua e iones y, en consecuencia, mayor será su conductividad.

Además, la temperatura afecta a la movilidad de los iones, afectando a la conductividad, aun así podemos realizar una tabla de valores frecuentes.

Material	σ (S/m) a 20 °C	Material	σ (S/m) a 20 °C
Plata	6.30×10^7	Grafito	2×10^5 a 3×10^5
Cobre	5.96×10^7	Diamante	$\sim 10^{-13}$
Oro	4.10×10^7	Germanio	2.17
Aluminio	3.5×10^7	Agua de mar	4.8
Calcio	2.98×10^7	Agua potable	5×10^{-4} a 5×10^{-2}
Tungsteno	1.79×10^7	Silicio	1.56×10^{-3}
Zinc	1.69×10^7	Madera mojada	10^{-4} a 10^{-3}
Niquel	1.43×10^7	Agua desionizada	5.5×10^{-6}
Litio	1.08×10^7	Cristal	10^{-11} a 10^{-15}
Hierro	1.00×10^7	Madera secada	10^{-16} a 10^{-14}
Platino	9.43×10^6	Sulfuro	10^{-16}
Titanio	2.38×10^6	Aire	3×10^{-15} a 8×10^{-15}
Mercurio	1.02×10^6	Teflón	10^{-25} a 10^{-23}

Figura 3. Valores de conductividad en diferentes minerales.

Pasamos a ver los valores de conductividad de diferentes materiales del subsuelo:

Rocas sedimentarias	Conductividad (S/m)
Limos	0.01 – 0.05
Arcillas	0.01 – 0.1667
Argilita	5×10^{-3} – 0.2
Pizarras arcillosas	0.002 – 0.02
Areniscas	1×10^{-3} – 1/30
Conglomerados	1×10^{-3} – 0.01
Margas	1×10^{-3} – 0.01
Calizas	1×10^{-6} – 0.01
Dolomías	1×10^{-6} – 0.01
Yesos	5×10^{-6} – 2×10^{-4}
Anhidrita	1×10^{-6} – 1×10^{-3}

Figura 4. Valores de conductividad en diferentes materiales.

Para las rocas intrusivas y efusivas:

Rocas intrusivas y efusivas	Conductividad (S/m)
Granito Fanerozoico	$1 \times 10^{-4} - 3.334 \times 10^{-4}$
Granodiorita	$1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-3}$
Diorita	$1.43 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-4}$
Gabro	$5 \times 10^{-6} - 5 \times 10^{-5}$
Peridotita	$1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-5}$
Sienita	$5 \times 10^{-6} - 5 \times 10^{-4}$
Porfirita	$3.33 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-4}$
Andesita	$1 \times 10^{-4} - 2 \times 10^{-3}$
Basalto	$5 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-3}$

Figura 5. Valores de conductividad para rocas intrusivas y efusivas.

Y por último, para las rocas metamórficas:

Rocas metamórficas	Conductividad (S/m)
Cuarcita	$1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-3}$
Esquisto micáceo	$1 \times 10^{-5} - 1/500$
Mármol	$1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-5}$
Gneis	$5 \times 10^{-5} - 5 \times 10^{-4}$

Figura 6. Valores de conductividad para rocas metamórficas.

Observando el rango de valores vemos como la conductividad varía en gran medida, variando principalmente el contenido en agua, y por tanto la humedad, el contenido de sales disueltas y la temperatura.

2.3.2. Permitividad dieléctrica

La permitividad dieléctrica es una constante física que describe cómo un campo eléctrico interactúa con el medio. La permitividad dieléctrica es una constante entre la intensidad del campo eléctrico aplicado y el campo de desplazamiento eléctrico \vec{D} :

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}$$

Siendo la permitividad un escalar en un medio isótropo, siendo no dependiente de su dirección u orientación de sus ejes.

La permitividad en el vacío se calcula a partir de la inversa del producto de la velocidad de la luz al cuadrado y la permeabilidad magnética del vacío, estando estas dos constantes ya definidas podemos calcular la permitividad del vacío:

$$\epsilon_0 = \frac{1}{c^2 \cdot \mu_0}$$

Siendo ésta aproximadamente $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$. La permitividad de un material se da en relación con la del vacío, pudiendo obtener la permitividad dieléctrica relativa o la absoluta.

La permitividad relativa es una constante adimensional que expresa la polarización de un material en presencia de un campo eléctrico, se obtiene a partir del cociente entre la permitividad del medio y la permitividad del vacío:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

Por tanto, la permitividad relativa del vacío es 1. Siendo la permitividad absoluta el producto de la permitividad relativa del medio por la permitividad dieléctrica del vacío:

$$\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0$$

En el subsuelo, la gran mayoría de materiales que nos podemos encontrar varían su permitividad relativa entre 1 y 81, siendo ésta última la del agua a 20°C de temperatura.

La constante dieléctrica se representa en forma compleja como una expresión en la que la componente real produce una corriente en fase respecto al campo eléctrico externo, mientras que la componente imaginaria provoca una corriente en desfase respecto dicho campo eléctrico, indicando el factor de pérdidas dieléctricas, siendo:

$$\epsilon = \epsilon' - i\epsilon''$$

2.3.3. Permeabilidad magnética

La permeabilidad magnética es la capacidad que presenta un material para atraer o hacer pasar a través suyo un campo magnético. Este parámetro viene dado por el producto de la inducción magnética existente, \vec{B} , y la intensidad del campo magnético, \vec{H} , siendo:

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

La permeabilidad magnética del vacío, μ_0 , tiene un valor de $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m y está relacionada con la permitividad dieléctrica, explicada anteriormente mediante:

$$\epsilon_0 \cdot \mu_0 = \frac{1}{c^2}$$

Siendo c la velocidad de la luz en el vacío. Al igual que la permitividad dieléctrica se puede describir de forma absoluta y relativa. La permeabilidad absoluta se define como el producto de la permeabilidad magnética del vacío y la permeabilidad relativa del material:

$$\mu = \mu_0 \mu_r$$

En el terreno se cumple que la permeabilidad magnética es próxima a 1, siendo independiente de la frecuencia del campo magnético.

2.4. Propagación de una onda electromagnética

Una onda electromagnética es un tipo de campo electromagnético variable, siendo una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes que se propagan a través del espacio transportando energía. Ésta únicamente puede ser observada por su interacción con la materia.

La siguiente figura ilustra una onda electromagnética viajando a través del espacio. Los componentes eléctricos y magnéticos están en fase siempre perpendiculares entre sí a la vez que perpendiculares a la dirección de propagación.

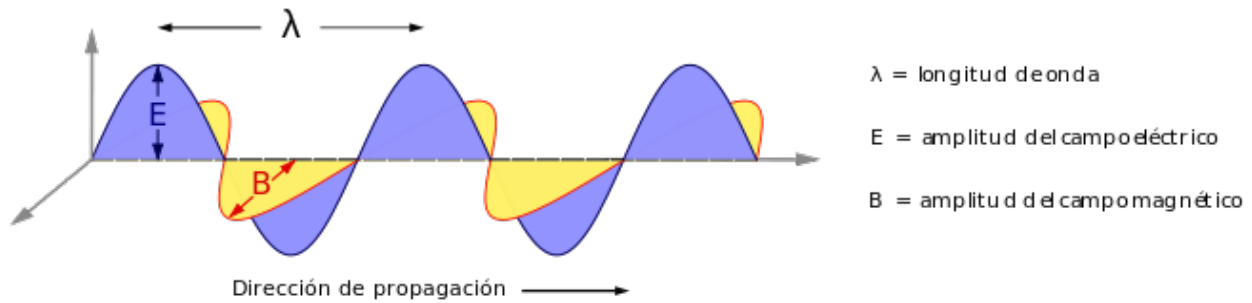


Figura 7. Representación esquemática de una onda electromagnética³.

La distancia horizontal entre picos de la onda es denominada longitud de onda, siendo su inversa, o distancia vertical entre picos la frecuencia de la onda. Debido a que la longitud de onda es medida en unidades de distancia, metros en el sistema internacional, la frecuencia es medida por su inversa, m^{-1} , o por el hertzio, número de ciclos por segundo.

La orientación de la onda es referida como la polarización. Las ondas pueden ser fácilmente polarizadas utilizando únicamente filtros, los cuales provoquen que la onda sólo penetre por ellos en una o varias direcciones.

A partir de las ecuaciones podemos obtener la propagación de una onda plana, linealmente polarizada, en un medio:

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E}_0 e^{(i\omega t - \gamma \cdot \vec{r})}$$

$$\vec{H}(\vec{r}, t) = \vec{H}_0 e^{(i\omega t - \gamma \cdot \vec{r})}$$

El primer término define la propagación de la onda con el tiempo, mientras que el segundo muestra la disminución de la amplitud de la onda con la distancia recorrida.

El término γ es la constante de propagación, el cual es expresado mediante una parte real y otra imaginaria:

$$\gamma = \alpha + i\beta$$

α es el factor de atenuación, siendo la componente real de la constante de propagación y se calcula como:

$$\alpha = \omega \left\{ \frac{\mu \cdot \varepsilon}{2} \cdot \left[\left(1 + \frac{\sigma^2}{\varepsilon^2 \cdot \omega^2} \right)^{\frac{1}{2}} + 1 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

³ Representación creada por [Jfmelero](#). Licencia Creative Commons.

β es la constante de fase, la parte imaginaria de la constante de propagación y se calcula como:

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} = \omega \cdot \left\{ \frac{\mu \cdot \varepsilon}{2} \cdot \left[\left(1 + \frac{\sigma^2}{\varepsilon^2 \cdot \omega^2} \right)^{\frac{1}{2}} + 1 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

A partir de estas constantes podremos definir algunos de los siguientes parámetros.

2.5. Velocidad de propagación

La velocidad de propagación de la onda se calcula como el cociente entre la frecuencia angular y la constante de fase. Gracias a ésta podremos calcular la posición de un objeto mediante el georradar, ya que conociendo el tiempo que ha tardado el retorno del objeto podremos identificar su posición. Su formulación es la siguiente:

$$v = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\mu \cdot \varepsilon}{2} \cdot \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega \cdot \varepsilon} \right)^2} + 1 \right]}}$$

Este término se puede simplificar, considerando que la parte imaginaria de la permitividad eléctrica es mucho mejor que la real, debido a los medios en los que nos encontramos en una prospección mediante georradar, por lo que la formulación quedaría de la siguiente forma:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \varepsilon_r \mu_0}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}}$$

2.6. Longitud de onda

Como hemos visto anteriormente la longitud de onda dependerá de la velocidad de la onda en el medio y de la frecuencia emitida.

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

La longitud de onda la podemos relacionar con la constante de fase obteniendo la siguiente formulación:

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} = \frac{2\pi}{\omega \cdot \sqrt{\frac{\mu \cdot \varepsilon}{2} \cdot \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega \cdot \varepsilon} \right)^2} + 1 \right]}} = \frac{c}{f \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon_r}{2} \cdot \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega \cdot \varepsilon} \right)^2} + 1 \right)}}$$

La longitud de onda determina la resolución vertical del georradar, y depende de la frecuencia de emisión de la antena y de la constante dieléctrica efectiva del equipo.

2.7. Profundidad de penetración

La profundidad de penetración viene afectada por el denominado efecto pelicular, este fenómeno hace que la resistencia efectiva o de corriente alterna sea mayor que la resistencia óhmica, es decir que la mayoría de corriente en un conductor fluye entre la superficie y la profundidad de la piel, dependiendo únicamente de la frecuencia de la corriente y de las propiedades eléctricas y magnéticas del conductor. Su formulación es la siguiente:

$$\delta = \frac{1}{\alpha} = \left(\frac{2}{\mu_0 \cdot \rho \cdot \omega} \right)^{\frac{1}{2}}$$

En el caso de los dieléctricos la formulación se puede simplificar, obteniendo:

$$\delta = \frac{1}{\alpha} = \left(\frac{2}{\sigma} \right) \left(\frac{\varepsilon}{\mu_0} \right)^{\frac{1}{2}}$$

2.8. Impedancia

La impedancia es la oposición que presenta un circuito a una corriente cuando se aplica un voltaje. En el caso de un dieléctrico la impedancia se calcula como:

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon_0}}$$

2.9. Reflexión y refracción

Los fenómenos de reflexión y refracción se dan cuando una onda electromagnética cambia el medio en el que se encontraba por otro medio con unas velocidades de propagación distintas.

2.9.1. Reflexión de una onda electromagnética

La reflexión ocurre cuando los rayos de luz que inciden en una superficie chocan en ella, se desvían y regresan al medio que salieron formando un ángulo igual al de la luz incidente.

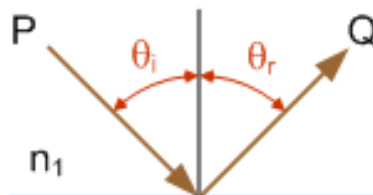


Figura 8. Reflexión de una onda electromagnética.

2.9.2. Refracción de una onda electromagnética

La refracción es el cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio con una velocidad de propagación de la onda a otro con otra velocidad distinta. Solo se produce si la onda incide oblicuamente sobre la superficie de separación de los dos medios y si los diferentes materiales tienen índices de refracción distintos.

La ley de Snell relaciona los ángulos de incidencia, reflexión y refracción con las velocidades de propagación de las ondas en los dos medios que están en contacto.

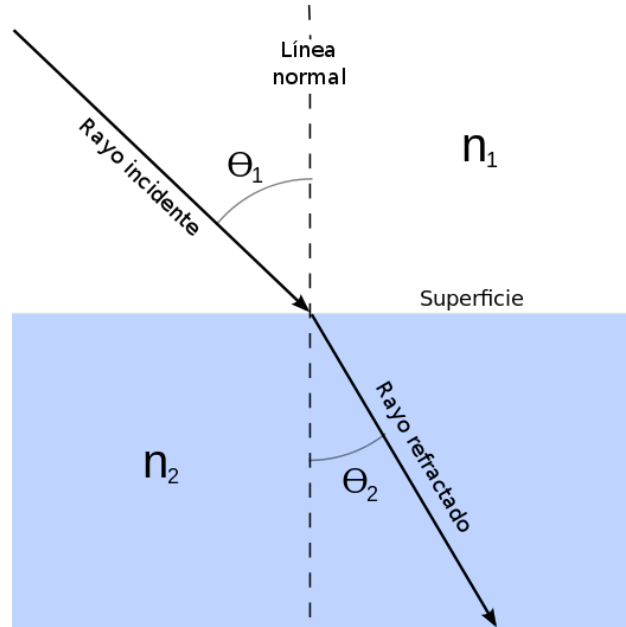


Figura 9. Diagrama de refracción⁴.

La formulación es la siguiente:

$$n_1 \cdot \text{sen}(\theta_1) = n_2 \cdot \text{sen}(\theta_2)$$

Siendo n el índice de refracción, que es el cociente entre la velocidad de la luz y la velocidad de la onda en el medio.

2.10. Coeficientes de reflexión y transmisión de Fresnel

Los coeficientes de Fresnel son unos parámetros que permiten medir la relación entre los campos eléctricos transmitido y reflejado cuando una onda experimenta un cambio en las propiedades del medio por el que se propaga. Estos coeficientes los podemos obtener a partir de la formulación de la impedancia, descrita anteriormente.

El coeficiente de reflexión es el cociente entre el campo incidente y el campo reflejado, es el porcentaje de energía reflejada respecto de la energía incidente:

$$R = \frac{\bar{E}_r}{\bar{E}_i} = \frac{\eta_2 \cos(at) - \eta_1 \cos(ai)}{\eta_1 \cos(ai) - \eta_2 \cos(at)}$$

⁴ Representación creada por [Josell7](#). Licencia Creative Commons.

El coeficiente de transmisión es el cociente entre el campo incidente y el campo refractado, es el porcentaje de energía transmitida al segundo medio respecto de la energía incidente:

$$T = \frac{\vec{E}_t}{\vec{E}_i} = \frac{2\eta_2 \cos(at)}{\eta_1 \cos(ai) - \eta_2 \cos(at)}$$

Siendo \vec{E}_i el campo incidente, \vec{E}_r el campo reflejado y \vec{E}_t el campo o transmitido.

En el caso del georradar, el sistema trabaja con una reflexión con un ángulo muy pequeño, trabajando casi con incidencia normal, por lo que podemos simplificar las expresiones anteriores, obteniendo:

$$R = \frac{\eta_1 - \eta_2}{\eta_1 + \eta_2} = \frac{\sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r2}}}{\sqrt{\epsilon_{r1}} + \sqrt{\epsilon_{r2}}}$$
$$T = \frac{2\eta_2}{\eta_1 + \eta_2} = \frac{2\sqrt{\epsilon_{r2}}}{\sqrt{\epsilon_{r1}} + \sqrt{\epsilon_{r2}}}$$

Las conclusiones que obtenemos es que cuanto mayor sea la diferencia entre los dos medios que traspasa la onda electromagnética, mayor será el porcentaje de energía incidente reflejado, y menor será la energía transmitida al medio inferior. Aplicando esta conclusión al georradar podemos discernir que la onda será más fácilmente registrada y con mayor energía, a costa de perder resolución en las ondas de la capa inferior.

2.11. Propagación de las ondas electromagnéticas en medios materiales

Como ya hemos apuntado anteriormente (pg. 8) los parámetros que influyen en la velocidad de la onda son la permitividad dieléctrica relativa del medio, la conductividad, la permeabilidad magnética y la frecuencia de la onda. Siendo las tres primeras causas relativas al medio, y la cuarta debida al equipo.

Además de estos parámetros, durante el camino que realiza la onda electromagnética se producen pérdidas de energía, o amplitud de onda, debido a diferentes causas. Así, como una mala relación señal/ruido, problemas con el equipo o un tratamiento incorrecto aumentará la pérdida de energía en todo el proceso.

Podemos identificar cuatro puntos que son los causantes de la disminución de la energía:

2.11.1. Pérdidas producidas en la reflexión y refracción en cada cambio de material que atraviese la onda.

En cada cambio de material que atraviesa la onda estamos sufriendo una pérdida de energía.

2.11.2. Dispersión geométrica del frente de ondas.

Se produce debido al camino recorrido por el frente de ondas. Conociendo que la antena del radar emite la mayor parte de su energía en un haz cuyo ángulo en la dirección de desplazamiento de la antena es de unos 90°, y considerando un medio homogéneo y no absorbente, la reducción de energía es proporcional al cuadrado de la distancia recorrida.

Para casos en los que no se cumplan estas condiciones se deberá calcular la integral de la atenuación en cada punto de la trayectoria de la onda.

2.11.3. Dispersión de la energía en elementos del orden de magnitud de la onda.

Se produce cuando la energía electromagnética se encuentra con objetos del orden de su longitud de onda o inferiores. El resultado es la disminución de la energía de la onda y la generación de ruido. Este efecto se acentúa en antenas con más alta frecuencia, ya que estamos trabajando con un orden centimétrico.

2.11.4. Absorción de energía por parte del medio

La absorción se produce cuando parte de la energía electromagnética se transforma en calor. Su parámetro característico es la atenuación explicada anteriormente (pg. 16) La absorción de energía es producida por la polarización de las moléculas de agua, por lo que la existencia de agua en los poros de un material aumenta la capacidad de polarización del medio, por lo que las pérdidas de energía por esta causa serán mayores que en el caso de un medio seco.

2.12. Características del georradar

2.12.1. Rango del radar

El rango del radar es la distancia a la que la energía ha disminuido en un factor de $1/e$, o lo que es lo mismo, es la máxima penetración que el georradar puede alcanzar. Los factores que pueden producir pérdidas con los siguientes:

- Pérdidas producidas en la antena.
- Pérdidas durante la transmisión de la energía entre el aire y el medio.
- Pérdidas ocasionadas por la dispersión geométrica del frente de ondas.
- Atenuación en el interior del medio debido a las propiedades electromagnéticas del material.
- Atenuación por dispersión y difracción en pequeños elementos e heterogeneidades del medio.
- Atenuación por reflexión de parte de la energía en discontinuidades de tamaño grande.

2.12.2. Resolución vertical y horizontal

La resolución es la distancia mínima a la que dos objetos tienen que situarse para que el instrumental pueda detectarlos. Se puede discernir entre espesor, o resolución vertical, y tamaño horizontal, o resolución horizontal.

Resolución vertical

La resolución vertical es la capacidad de distinguir dos señales cercanas en el tiempo, depende de la frecuencia y duración del pulso. Al disminuir la duración del pulso, el ancho de banda aumenta, ya que son proporcionales:

$$\Delta t = \frac{1}{\Delta f}$$

Los georradars están diseñados para conseguir unos términos medios entre duración del pulso, Δt , y el ancho de banda, Δf debido a que se ha de conseguir un equilibrio entre la profundidad de penetración y la resolución.

La resolución expresar también se puede expresar como el producto de la velocidad por 2 veces el periodo de la señal, partido por 2:

$$r_v = \frac{v \cdot \Delta t}{2}$$

Cuando la distancia vertical entre dos eventos es igual o mayor que el valor obtenido para r_v , entonces se detectan como dos reflectores separados, puesto que no se produce solape entre la energía procedente de las dos reflexiones.

Cuando hablamos de un material metálico es posible distinguir señales superpuestas, ya que la intensidad de la segunda reflexión es mucho mayor que la primera.

Resolución horizontal

La resolución horizontal se define como la capacidad de una antena para detectar y resolver un reflector y su geometría. Depende de la velocidad de desplazamiento de la antena, del número de pulsos emitidos por segundo, de la geometría del haz y de la profundidad del reflector.

Un elemento queda totalmente definido cuando el número de trazas que lo alcanzan es suficiente. Para determinar el número de trazas se utiliza la siguiente formulación:

$$n_t = (tr / s) \cdot \frac{2z}{v_a}$$

Donde n_t es el número de trazas que alcanzan el reflector, z es la distancia entre la antena y el reflector, v_a es la velocidad de desplazamiento de la antena, y por último, tr / s es el número de trazas por segundo registrado. Algunos autores indican que el número mínimo para resolver un objeto es de 20 trazas.

3. El georradar

3.1. Componentes del georradar

El georradar está compuesto por una antena emisora, una antena receptora (pudiendo ser la misma que la antena emisora), un sistema de control de la radiación y una unidad de almacenamiento de registros.

3.1.1. Unidad central

La unidad central se encarga de coordinar y controlar las antenas, así como los accesorios extras que puede tener el equipo, y controla la señal emitida. Así mismo, se

encarga del almacenamiento de la información en algún soporte informático, y en algunos casos, realiza un tratamiento básico de la señal.

Para poder visualizar los datos que se están captando la unidad central lleva conectada un monitor, de forma que se puede seleccionar la forma de visualización, así como realizar un tratamiento básico para mejorar la calidad de la imagen. En algunos equipos la unidad central viene incorporada con estas características y con el monitor integrado, en otros la unidad central es un ordenador portátil con un software que permite controlar el procesamiento del georradar.



Figura 10. Unidad central del SIR-3000

En la unidad central utilizada en este proyecto, la SIR-3000 de GSSI, vemos como posee un monitor integrado de 8.4 pulgadas en la propia unidad. Ésta permite cambiar las tablas de color de la visualización, aplicar filtros, ajustar el offset, modificar las ganancias o cambiar la constante dieléctrica. El guardado de la información se puede realizar mediante la memoria interna de 2GB, una tarjeta externa Compact Flash o mediante un pen usb.

La SIR-3000 permite aplicar diferentes filtros en campo, verticales (Paso-bajo, paso-alto, IRR y FIR), y horizontales (Superposición de trazas y eliminación del ruido de fondo).

Además permite definir varios parámetros como el rango, los puntos por traza, la velocidad de transmisión y velocidad de registro o las trazas por unidad de longitud.

3.1.2. Antenas

Las antenas son las encargadas de emitir y recibir el pulso electromagnético. Cada antena se caracteriza por su frecuencia central, o frecuencia de resonancia, que es la

frecuencia a la que recibe una mayor energía, ya que toda antena posee un rango de frecuencias en las que la antena es capaz de funcionar con una eficiencia aceptable. Además, son caracterizadas por la duración del pulso emitido.

La frecuencia central determina la penetración de la señal en los diferentes materiales del terreno. Las bajas frecuencias alcanzan mayores profundidades, reduciendo su resolución, las altas frecuencias tienen unas propiedades inversas a las bajas. La antena utilizada en el proyecto ha sido una antena de 400Mhz, concretamente el modelo 5103 de GSSI, que posee una duración del pulso de 2.5 ns, y permite una profundidad de penetración de 0 a 5 metros, dependiendo de la permitividad dieléctrica.

Otra de las características a tener en cuenta es el ancho de banda, este es la longitud, medida en Hz, del rango de frecuencias en el que se concentra la mayor parte de la potencia de la señal. Un ancho de banda elevado provoca una pérdida por dispersión, de forma que, para una misma frecuencia central, la atenuación de la señal aumenta cuando la banda de frecuencias es más ancha.

Existen dos clasificaciones entre antenas, la primera depende de su apantallamiento, y la segunda dependiendo del número de antenas del equipo.

Antenas apantalladas

Estas antenas son denominadas direccionales, ya que están totalmente apantalladas, exceptuando la superficie en la que se emite y recibe la señal. En estudios de prospecciones es fundamental que la mayor parte de la energía la haga sólo en una única dirección, para mejorar el ratio señal/ruido, y con ello poder aumentar la nitidez de los resultados a mayores profundidades.

La disminución del ruido se produce al evitarse las reflexiones en objetos externos a los estudiados, por lo que es muy frecuente el uso de este tipo de antenas.

Antenas no apantalladas

Las antenas no apantalladas trabajan con bajas frecuencias y se utilizan únicamente para aumentar la profundidad de la penetración, reduciendo las precisiones. Como hemos comentado antes el apantallamiento provoca que los objetos externos no aparezcan en nuestro estudio, por lo que al no existir este apantallamiento todos los objetos de la superficie pueden reflejarse, por lo que no se aconseja su uso en zonas urbanas.

Antenas monoestáticas

Las antenas monoestáticas reciben y emiten al mismo tiempo el haz de ondas. Estas antenas realizan la emisión de un pulso de corta duración, una vez han dejado de emitir el pulso pasan inmediatamente a recibir la señal emitida. Tras un período de tiempo vuelven a realizar el mismo proceso. Estas antenas son utilizadas cuando se necesita un número elevado de perfiles.

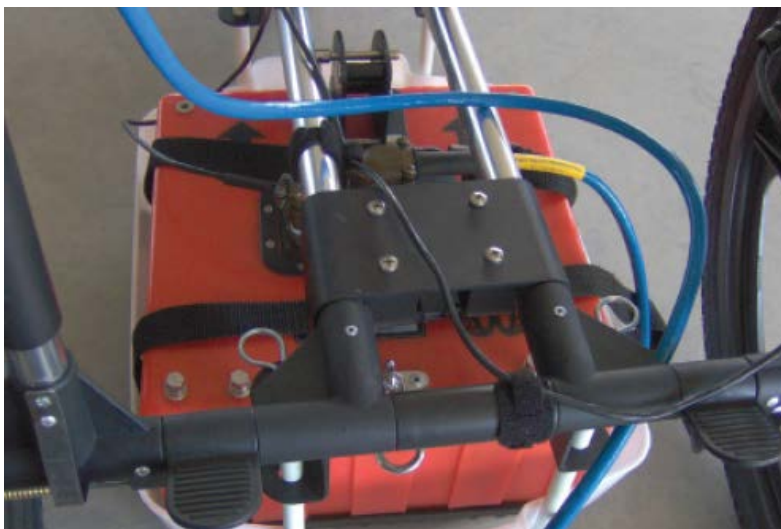


Figura 11. Antena monoestática apantallada, modelo 5103 de GSSI, utilizada en este proyecto

Antenas biestáticas

Las antenas biestáticas se componen de dos antenas, una receptora y otra emisora. La característica principal de estas antenas es que se puede variar la distancia entre ellas, pudiendo calcular velocidades aparentes de propagación de onda.

3.2. Adquisición de datos

Los métodos más comunes de adquisición de datos para antenas monoestáticas son la adquisición puntual o la adquisición por perfiles o la creación de un modelo 3D a partir de los perfiles obtenidos.

3.2.1. Adquisiciones puntuales

Las adquisiciones puntuales se realizan situando la antena en un punto dado y realizando la toma y captura de datos sin realizar ningún movimiento de la antena. De esta forma obtenemos un escaneado del subsuelo en ese único punto.

Este tipo de adquisición se realiza cuando el terreno impide realizar una adquisición por perfiles.

3.2.2. Adquisición por perfiles

Para efectuar un perfil se realiza un desplazamiento de la antena a lo largo de una línea, marcada y georreferenciada, ya sea mediante el uso de topografía clásica, o con un GPS integrado en el propio georradar, teniendo en cuenta las dificultades que nos podemos encontrar en campo si no tenemos visualización directa de los satélites, además de la precisión que queremos obtener.

Durante el desplazamiento se emite un elevado número de pulsos por segundo, lo cual permite que la adquisición de datos, aunque en realidad sea puntual, se pueda considerar continua por la cantidad de trazas que se tienen en todo el perfil, dependiendo siempre de la velocidad de desplazamiento de la antena. Este desplazamiento debe realizarse a una velocidad lo más constante posible.

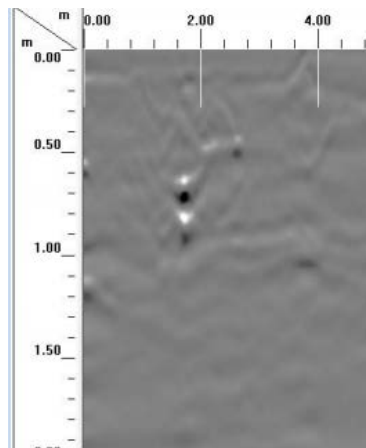


Figura 12. Visualización de un perfil utilizando el software Radan 7

3.2.3. Modelo 3D

En este método se utilizan los diferentes perfiles para obtener un modelo 3D del terreno. Utilizando este método podemos conseguir una visualización de los objetos reflejados más cómoda, así como nos añade otra fuente de información a los perfiles creados.

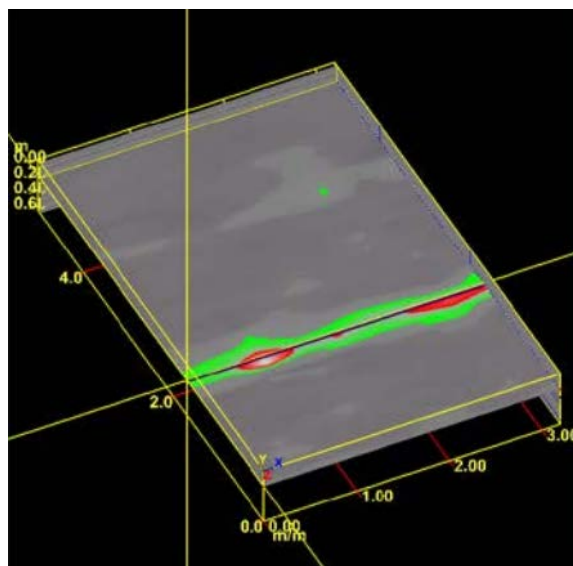


Figura 13. Visualización de modelo tridimensional utilizando el software Radan 7.

Como vemos en la imagen, el modelo tridimensional permite la fácil interpretación y detección de servicios.

3.3. Tratamiento de datos

A continuación veremos diferentes ajustes y técnicas de procesado que se realizan en el post-proceso de los datos de georradar:

3.3.1. Ajuste del cero (Offset)

Este paso se realiza para eliminar la parte de señal que se encuentra entre la antena y el terreno, ocupado por aire. La corrección consiste en sincronizar el contacto de la señal en el subsuelo con el comienzo del conteo del tiempo.

El SIR-3000 permite corregirlo tanto en campo como en post-proceso.

Evaluación de la potencialidad arqueológica del subsuelo circundante a la Torre Mussa (s. XI) en Benifaió, Valencia, mediante georradar

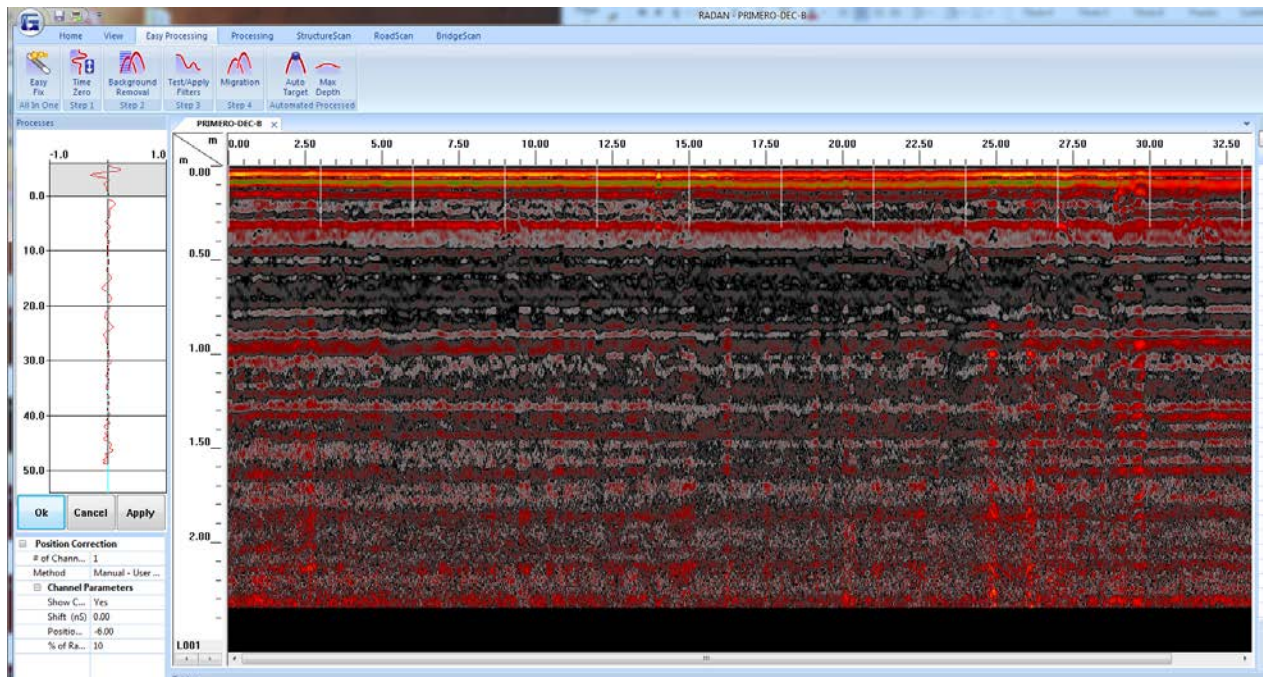
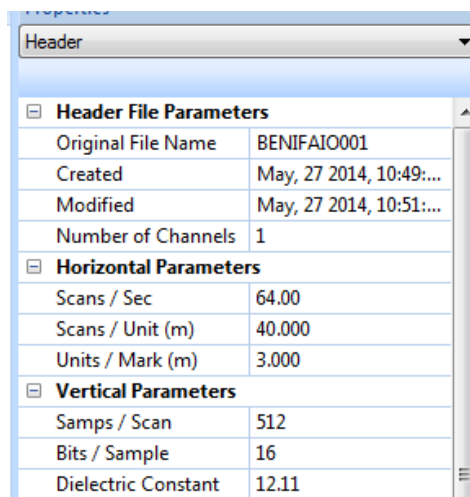


Figura 14. Ventana de corrección del Time Zero utilizando el software Radan 7.

3.3.2. Ajuste de la escala horizontal y vertical

Este proceso se realiza para normalizar la escala horizontal y eliminar los posibles efectos del mal desplazamiento de la antena a velocidad constante. En terrenos accidentados es fundamental tomar medidas intermedias de distancias para conseguir una buena representación de la escala horizontal.



The screenshot shows the Header File Parameters window in Radan 7. The window displays a table of parameters for the GPR profile.

Header File Parameters	
Original File Name	BENIFAI0001
Created	May, 27 2014, 10:49:...
Modified	May, 27 2014, 10:51:...
Number of Channels	1
Horizontal Parameters	
Scans / Sec	64.00
Scans / Unit (m)	40.000
Units / Mark (m)	3.000
Vertical Parameters	
Samps / Scan	512
Bits / Sample	16
Dielectric Constant	12.11

Figura 15. Ajuste de la escala horizontal y vertical desde Radan 7.

Igualmente podemos realizar un ajuste de la escala vertical, conociendo la constante dieléctrica del terreno.

3.3.3. Filtrado

El filtrado se aplica para la reducción o eliminación de ruido, teniendo en cuenta que un filtrado conlleva siempre una pérdida de información, por lo que tendremos que prestar especial atención a la hora de no eliminar información útil.

Filtros horizontales

Este tipo de filtros se aplica horizontalmente a las diferentes trazas del registro con el objetivo de eliminar el ruido de fondo de las señales. Este tipo de ruido puede localizarse en una única zona del registro, pudiéndolo eliminar de forma local, o aparecer en todo el registro y estar creados por reflexiones de la propia antena o por algún otro elemento externo.

Filtros verticales

Este tipo de filtros se aplican en la dirección vertical del registro, correspondiente con la escala de tiempo. Con este tipo de filtro se atenúa la señal en cada traza. Para seleccionar la frecuencia de corte se aplica la transformada de Fourier, obteniéndose así un registro de frecuencias. De este modo se analizan las frecuencias que introducen ruido en el registro y se filtran.

Filtros de paso-bajo

Los filtros de paso bajo atenúan las frecuencias por encima de la frecuencia de corte, o frecuencia límite, manteniendo las bajas frecuencias. A continuación vemos el esquema de funcionamiento de un filtro de paso-bajo:

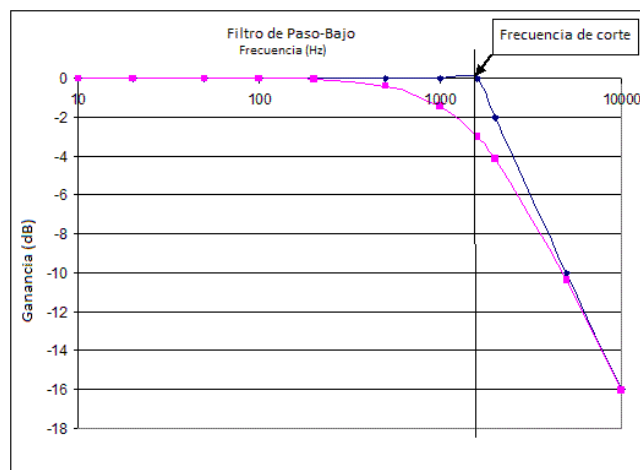


Figura 16. Gráfico de un filtro de Paso-Bajo.

Filtros de paso-alto

Los filtros de paso-alto realizan el trabajo inverso a los de paso-bajo, atenúan las bajas frecuencias, manteniendo las altas frecuencias. Vemos el esquema de funcionamiento de un filtro de paso-alto:

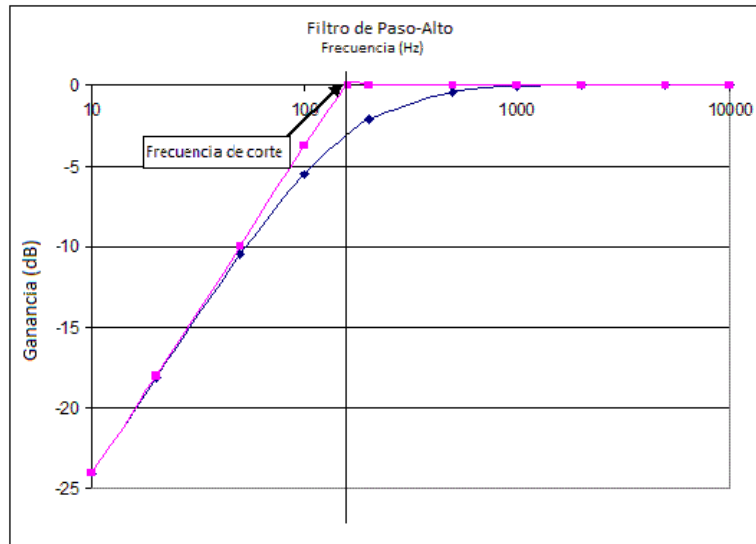


Figura 17. Gráfico de un filtro de Paso-Alto.

Filtro paso banda

En este filtro se atenúan un determinado rango de frecuencias, atenuando el resto

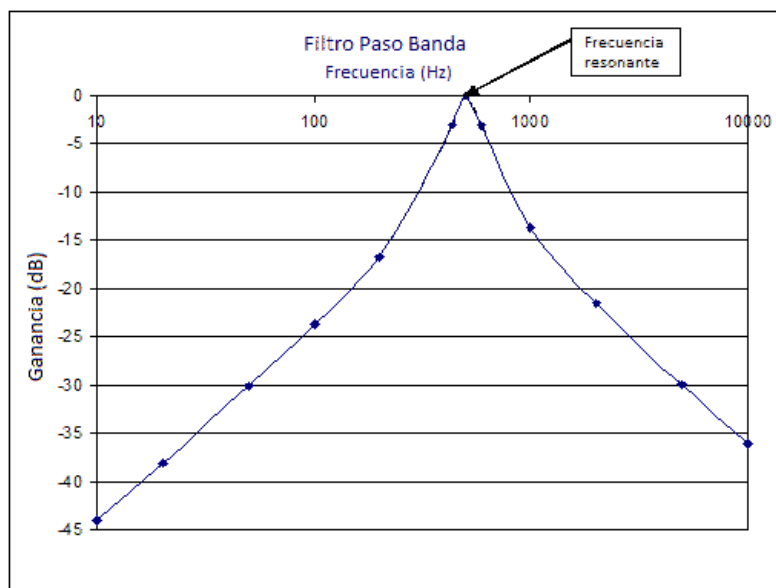
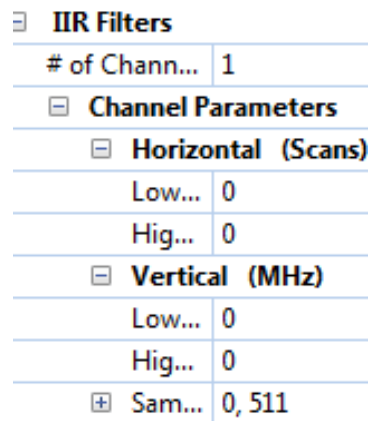


Figura 18. Gráfico de un filtro de Paso Banda.

Filtros de respuesta infinita

Los filtros de respuesta infinita o IIR producen una reducción exponencial de la onda de salida a cero, sin llegar nunca a ella. Estos filtros no son necesariamente simétricos, produciendo una óptima respuesta en la amplitud, por el contrario modifican la fase de forma no lineal, por lo que pueden causar cambios leves en la fase de los datos. Este filtro se aplica a toda la onda.

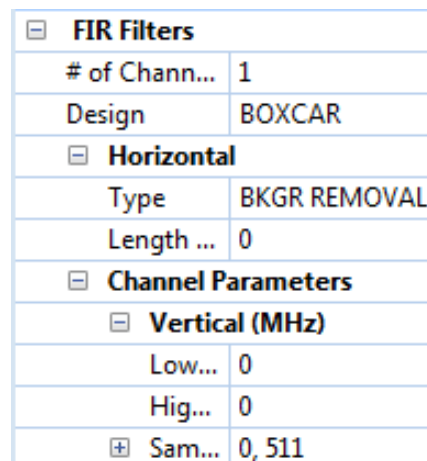


<input type="checkbox"/> IIR Filters	
# of Chann...	1
<input type="checkbox"/> Channel Parameters	
<input type="checkbox"/> Horizontal (Scans)	
Low...	0
Hig...	0
<input type="checkbox"/> Vertical (MHz)	
Low...	0
Hig...	0
<input checked="" type="checkbox"/> Sam...	0,511

Figura 19. Menú de opciones del filtro IIR en Radan 7.

Filtros de respuesta finita

Los filtros de respuesta finita o FIR tienen la característica de sí ser simétricos, lo que producen es un filtrado finito de la zona a filtrar, de manera que en este caso la fase es lineal por lo que no es afectada. En el software Radan podemos aplicar un filtro de respuesta finita en forma de caja, triángulo o selección libre, por lo que no tendremos que aplicarlo a todo el proyecto, como en los filtros IIR.



<input type="checkbox"/> FIR Filters	
# of Chann...	1
Design	BOXCAR
<input type="checkbox"/> Horizontal	
Type	BKGR REMOVAL
Length ...	0
<input type="checkbox"/> Channel Parameters	
<input type="checkbox"/> Vertical (MHz)	
Low...	0
Hig...	0
<input checked="" type="checkbox"/> Sam...	0,511

Figura 20. Menú de opciones del filtro FIR en Radan 7.

3.3.4. Transformada de Hilbert

La transformada de Hilbert es una función que determina la amplitud de los registros, fase y frecuencia instantánea de la señal recibida.

Esta transformación lo que realiza es un cambio de la señal del georradar en magnitud, fase o frecuencia. La fase es la más sensible a cambios en el terreno, por lo que es utilizada para visualizar cambios sutiles en el terreno.

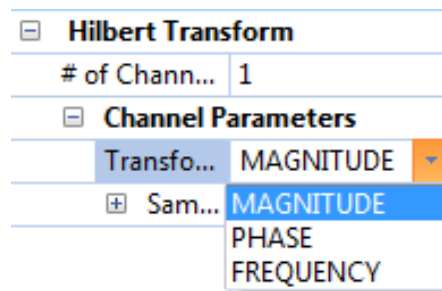


Figura 21. Menú de opciones de la transformada de Hilbert en Radan 7.

3.3.5. Ganancias

Las ganancias son necesarias para compensar los cambios de amplitud de las señales. Debido a la dispersión y atenuación de la señal, las primeras señales poseen mucha más amplitud que las posteriores, por lo que se suelen aplicar ganancias a la señal para mantener el equilibrio de la señal.

Un paso importante a tener en cuenta en el procesado de ganancias es el efecto de "clipping", sucede cuando la amplitud de una reflexión es mayor del máximo valor que se puede registrar. En este caso, el sistema no toma en consideración el verdadero valor de la reflexión, registrando el máximo valor que puede.

El procesado de ganancias se ha de realizar para todo el radargrama. Este proceso se realiza en Radan 7 mediante la opción Range Gain, permitiendo la recuperación de la amplitud de la señal electromagnética en el radargrama, realizándose con precaución, puesto que al recuperar gran cantidad de la información perdida se aumenta en gran medida el ruido de la señal, empeorando en muchos casos la calidad de los datos.

3.3.4. Migración

La migración es un procedimiento para transformar los registros del georradar en datos con las heterogeneidades del subsuelo localizadas en su posición correcta. También se emplea para colapsar las hipérbolas de las reflexiones, obteniendo así datos en el radargrama por debajo del objeto que produce la hipérbola.

Cuando un objeto se encuentra enterrado delante de la vertical del georradar, la señal tarda más tiempo en volver a la antena que si estuviese en la vertical del mismo. A medida que la señal se aleja el georradar, este tiempo de viaje vuelve a aumentar. Debido a esto, en el radargrama los objetos aparecen representados por hipérbolas. Si la antena emitiera el haz de una forma vertical no se daría este efecto, pero al emitir de una forma cónica aparecen las características hipérbolas. Debido a esto los objetos más profundos pueden oscurecerse como consecuencia de la reflexión que inciden los diferentes materiales del terreno. También las superficies fuertemente inclinadas pueden causar reflexiones de energía del radar. Esta energía difractada puede enmascarar otras reflexiones de interés y causar una mala interpretación del tamaño y la geometría de los objetos del subsuelo.

Existen dos métodos disponibles en el Radan 7 para realizar la migración, Kirchhoff e Hiperbólico. Utilizamos el método de Kirchhoff ya que es más preciso, aun siendo más lento en grandes procesamientos, aunque con la potencia del hardware actual no tendremos problemas en realizar la migración utilizando este método, aún en grandes procesamientos.

Los parámetros que influyen en la migración son la velocidad, el dieléctrico, tiempo, ancho o ganancia aplicada a la zona.

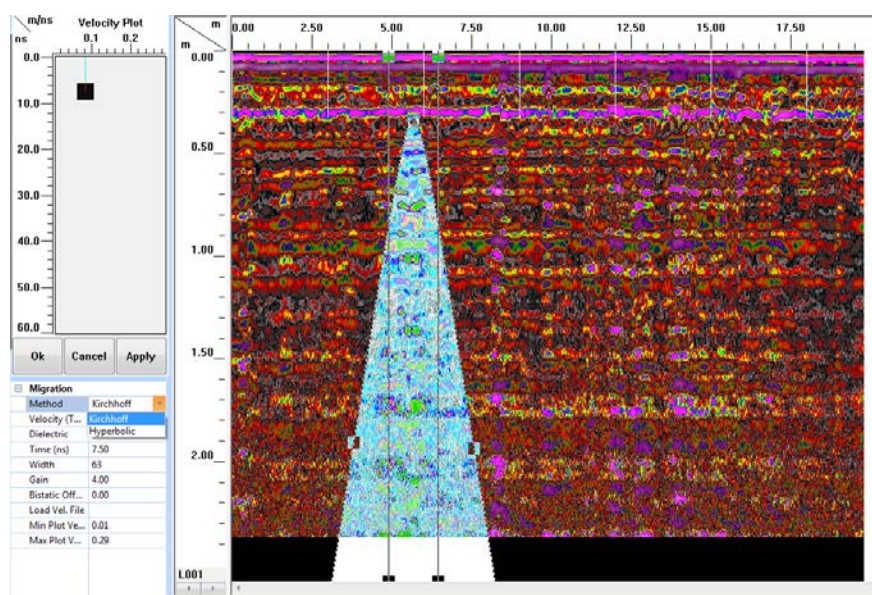


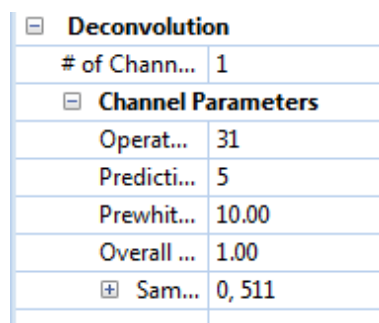
Figura 22. Aplicación de una migración en Radan 7.

3.3.5. Deconvolución

La deconvolución es un proceso que invierte los efectos de la convolución de los datos registrados, siendo ésta un operador matemático que transforma dos funciones f y g en una tercera función que en cierto sentido representa la magnitud en la que se superponen f y una versión trasladada e invertida de g . La señal que registramos no es exactamente como la que se emite debido a que la Tierra actúa como un filtro de convolución, suprimiendo la información relativa a las frecuencias más altas de los datos. De este modo, la deconvolución restaura la forma de la onda antes de dicho filtrado, restaurando las altas frecuencias.

Este método está diseñado para atenuar las respuestas múltiples, con lo que se mejora el reconocimiento y resolución de las reflexiones. Se emplea cuando encontramos múltiples reflexiones superpuestas, pues se encarga de limpiar el registro dejando sólo las reflexiones primarias.

Los parámetros que podemos elegir son la longitud del operador, es decir, el número de trazas, la predicción del retardo, preblanqueo, y por último, se le puede añadir una ganancia, ya que estamos aplicando un filtro.



Deconvolution	
# of Chann...	1
Channel Parameters	
Operat...	31
Predicti...	5
Prewhit...	10.00
Overall ...	1.00
⊕ Sam...	0, 511

Figura 23. Opciones de deconvolución en Radan 7.

Bloque II: La Torre Mussa de Benifaió

1. Descripción

La Torre Mussa es una torre vigía y defensa de la época árabe, construida en el siglo XI, formaba parte del cinturón defensivo de la ciudad de Valencia, así como se utilizó para guarnecer a la población de las incursiones berberiscas y como almacén de granos. Su ubicación permite dominar la población de Benifaió, así como una gran extensión de terreno.

Su nomenclatura procede del árabe, Musà (Moisés), haciendo referencia al personaje bíblico.

Es de base cuadrada y volumen troncopiramidal, de unos 10.20m de lado, construida con el sistema de "tapial de piedra" con un espesor de muros de 1.20m. La puerta de acceso se encuentra a unos dos metros del suelo y por encima de ella se encuentra la única ventana de la primera planta. Por encima se abren cuatro tragaluces o arpilleras por cara, conservando todavía hoy algunas almenas, de estilo bereber, en la cubierta.

El interior, relleno hasta la altura de acceso, se encuentra partido por un arco ojival que sostiene la primera planta. Sus cuatro paredes interiores se encuentran perforadas por numerosos orificios, algunos con restos de estacas, por lo que pudieron utilizarse para subir a la cima, ya que no existe ningún resto de escaleras⁵, otras fuentes opinan que estas oquedades fueron realizadas a posteriori, dándole un uso de palomar^{6,7}. La conclusión final es que las oquedades fueron realizadas junto con la torre como medio ascender a la cima de la torre, usándose posteriormente como palomar. La torre ha tenido más usos durante siglos, como almacén y también como prisión, conservando todavía los graffitis hechos por los prisioneros en las paredes interiores en forma de calendario.⁸

La torre es el más antiguo vestigio arquitectónico conservado en la localidad de Benifaió. El 10 de junio de 1376 el Rey Pedro IV encargó al Maestre de Montesa que realizara las obras de reparación de las torres de Benifaió, Silla y otras, debido a su mal

⁵ RODRÍGUEZ PEDRAZA, Dolores. "Torres vigía de la Valencia musulmana". En: Construcción con tierra. Tecnología y Arquitectura. Congresos de arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2010/2011. [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2011. P. 113-120. [Disponible en internet](#) (pg. 117)

⁶ LÓPEZ MATEU, Vicente, et. al. "Estudios previos para la restauración de la torre muza de Benifaio (Valencia): Un planteamiento multidisciplinar en el ámbito universitario". En: Construcción con tierra. Patrimonio y Vivienda. X CIATTI. Congreso de arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2013. [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2013. P. 177-186. [Disponible en internet](#) (pg. 177)

⁷ Beltran i López, Francesc. "La torre de Benifaió". Ajuntament de Benifaió. Benifaió. 2000

⁸ Ficha BIC de la Torre Mussa, [GVA](#).

estado por las incursiones que habían sufrido durante las guerras⁹. La leyenda la supone comunicada con la del núcleo urbano de la población a 1.500 metros de distancia aproximadamente, lo que nos encargaremos de desvelar en este proyecto.

En la actualidad forma parte de una parcela de propiedad municipal, y se ha iniciado un proyecto de puesta en valor de la torre, motivo de este proyecto.

2. Localización

La Torre Mussa se encuentra a las afueras de Benifaió, población situada al este de España, en el centro de la Comunidad Valenciana y al sur del municipio de Valencia, pudiéndose acceder desde la autovía A-7 y posteriormente tomando la carretera autonómica CV-520. La torre tiene por coordenadas:

Datum	Longitud	Latitud	Huso	X _{UTM} (m)	Y _{UTM} (m)
ETRS89	0° 25' 54.67" W	39° 17' 21.7" N	30	721.487	4.352.032

En el anexo 1 (Localización de la Torre Mussa) vemos la parcela en la que se encuentra la torre sombreada sobre el WMS del PNOA de máxima actualidad, esta parcela es la 299 del polígono 4 de la localidad, en el anexo 2 vemos la consulta descriptiva y gráfica de la parcela obtenido desde la Sede Electrónica del Catastro.

Vemos como la parcela está dividida en tres subparcelas:

- a) La subparcela 'a' es la situada al sur, con sombreado verde, esta parcela posee una extensión de 0.2138 ha, y su calificación es de "labor o labradío regadío". En la ortofotografía se observa como el terreno está compactado y libre de maleza, debido a que es usado para la doma de caballos.
- b) La subparcela 'b' es la que sobre se sitúa la Torre Mussa, sombreado en amarillo, su superficie es de 0.0143ha, y su uso es "improductivo". Superponiendo la ortofotografía del PNOA al catastro vemos como el tamaño y localización de esta subparcela no es el correcto, pero entraría dentro del 10% de error métrico que permite el catastro español.
- c) La subparcela 'c' tiene una calificación de "pastos" y una extensión de 0.1641 ha, sombreado en rojo. En esta zona nos encontramos con una zona arbolada, y una pequeña superficie de huerta al este de la subparcela. En esta parcela se tiene conocimiento de un antiguo manantial de agua, lo que podría explicar la gran zona arbolada de esta subparcela, además, el paraje en el que se encuentra esta

⁹ Ficha BIC de la Torre Mussa, [GVA](#).

parcela es denominada "Font de Mussa". Normalmente las torres se situaban en los sitios más ricos, con pozos y zonas de regadío.

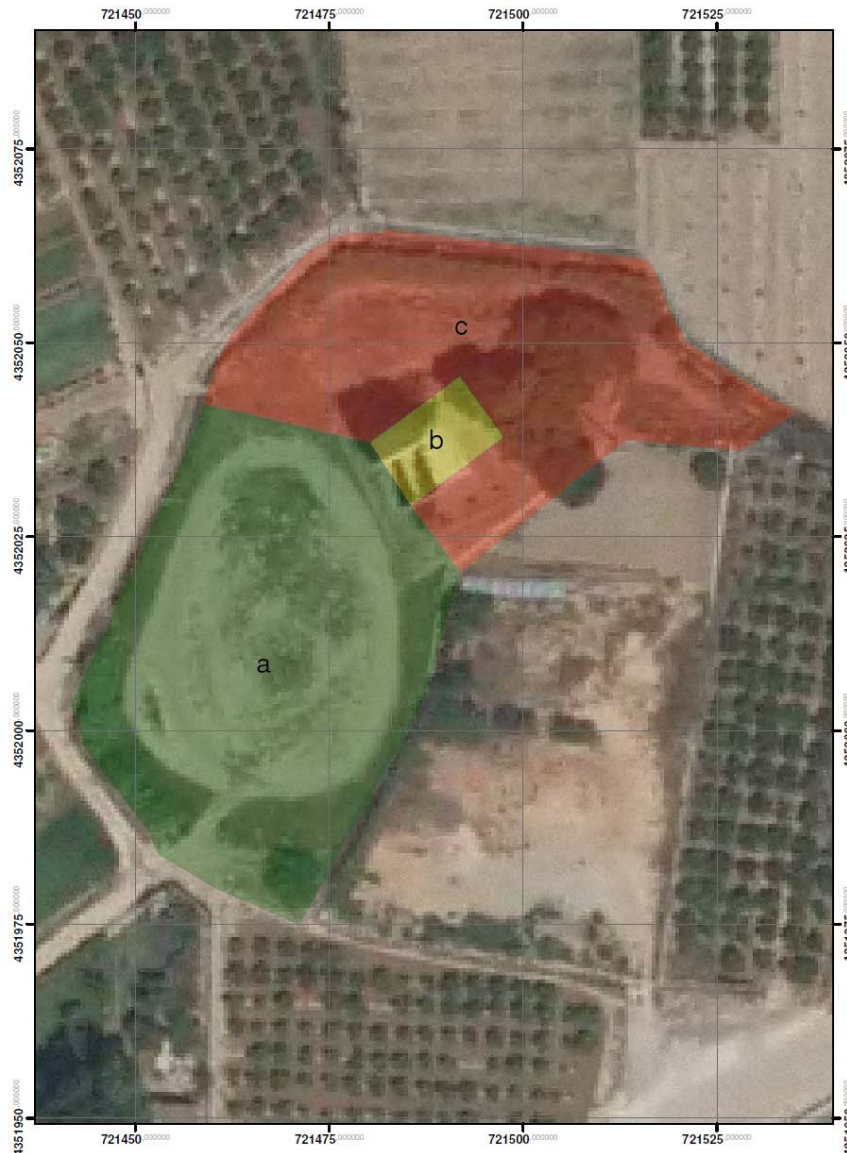


Figura 24. Ortofotografía donde se muestran las subparcelas que conforman el área estudiada de la Torre, propiedad del ayuntamiento de Benifaió.

El Boletín Oficial del Estado a 12 de enero de 2000 establece un primer entorno y normativa de protección de la Torre Mussa, que es modificado en el BOE a 16 de marzo de 2006. La torre está calificada como Bien de Interés Cultural de la Generalitat Valenciana, según la Ley de Patrimonio Cultural Valenciano de 1998.

En este se define el entorno de protección de la torre (Anexo3) en el que se muestra el entorno de protección sobre la ortofotografía del PNOA. Y establece la siguiente normativa de protección del monumento y su entorno:

1. Primer artículo, se establece la categoría de monumento.
2. Segundo artículo, los usos permitidos serán aquellos compatibles con la puesta en valor y disfrute patrimonial del bien

En lo referente al entorno de protección:

3. Tercer artículo, se establecen los usos de agrícola y recreativo.
4. Cuarto artículo, las actuaciones arqueológicas han de ser autorizadas por la Consejería de Cultura, Educación y Ciencia.
5. Quinto artículo, se deberá eliminar la torre metálica y el tendido eléctrico aéreo existente.
6. Sexto artículo, no se permitirán las instalaciones o elementos emergentes que perturben el carácter rústico del ámbito protegido.
7. Séptimo artículo, no se permitirán los vallados opacos o que desvirtúen la continuidad paisajística del entorno.

El entorno de protección está compuesto por las siguientes parcelas del polígono 4 de rústica de la localidad de Benifaió: 00038, 00039, 00040, 00041, 00184,00185, 00186, 00187, 00188, 00189, 00190, 00296, 00298, 00299, 00300, 00301, 00302, 00303, 00304, 00306, 00307, 00308, 00309, 00310, 00311, 00312, 00313, 00314, 00384, 00386, 00387, 00388, 00389, 00501, 00504, 00505, 00547. Y los siguientes descuentos: 09083, 09086, 09088, 09089, 09090, 09092, 09093, 09094, 09096, 09120, 09124, 09125, 09126, 09158, 09159,09160. Por lo que el entorno de protección está compuesto por 54 parcelas.

3. Método de construcción

La construcción de la Torre Mussa data del siglo XI fue construida en tapial, al igual que gran parte de las torres vigía del cinturón de defensa de Valencia. Fue el tipo de fábrica más antiguo empleado en la construcción de muros. Su empleo se remonta a los imperios asirio y egipcio. El sistema se extendió por el mundo antiguo, arraigando especialmente en el Norte de África, por el que entró a la península ibérica gracias a los árabes.

El tapial es una técnica tradicional de ejecución de fábricas de tierra, ésta se apisona dentro de un modelo hecho con tablas de madera, apoyadas sobre el muro que se está ejecutando, y sirve como soporte del montaje del encofrado, modelo,

desencofrado y traslado de este molde hacia la siguiente posición de construcción. Vemos el método de construcción en la siguiente imagen:

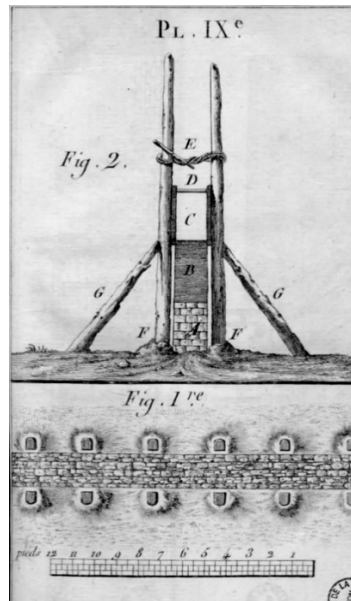


Figura 25. Recreación de la construcción en tapial¹⁰.

Queda abierta la parte superior del encofrado, que es por la que se vierte el mortero en tongadas sucesivas. La composición de la Torre Mussa es de piedra y mortero de cal. Las tierras del tapial deben ser arcillosas, grasas y húmedas, como certificó la salida a campo que realizamos el día 18 de junio de 2014 por la mañana, en el que la noche anterior había caído sobre la localidad una débil tormenta, y aun así se apreciaba en el terreno numerosos charcos lo que nos indica que nos encontramos sobre terreno arcilloso. Por último se utilizan agujas que sujetan la obra, cortándose una vez se termina la hilera para evitar las posibles escaladas sobre la torre.

El remate de la edificación se hacía formando un plano inclinado, para protegerlo de la erosión de la lluvia. En el caso de los muros bereberes, las almenas acaban en pirámide invertida de pendiente poco pronunciada¹¹:

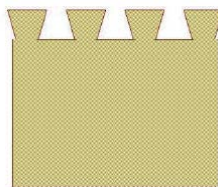


Figura 26. Remate bereber¹²

¹⁰ Grabado de François Ecole. Dominio público.

¹¹ Juan Eslava Gala. "Materiales y técnicas constructivas en la fortificación bajomedieval". Universidad de Granada. 1984.

¹² Imagen procedente de RODRÍGUEZ PEDRAZA, Dolores. "Torres vigía de la Valencia musulmana". En: Construcción con tierra. Tecnología y Arquitectura. Congresos de arquitectura

4. Estado de conservación actual

El estado actual de conservación de la estructura es próximo a la ruina, produciéndose continuos desprendimientos de cascotes del remate de la torre. Es la cara norte donde en peor estado se encuentra la torre, existiendo números desperfectos en el exterior de la torre, además en esta crece una enredadera que podría afectar al estado de la torre. En la imagen vemos la cara norte de la torre, en el que se observa un profundo agujero y la enredadera.



Figura 27. Imagen de la Torre Mussa.

En el exterior existían algunas palmeras, muy próximas a la torre, y que podrían dañar su estabilidad. Durante la realización de este proyecto fueron arrancadas.

Por tanto, el estado actual de la torre hace necesario una restauración inminente de toda la estructura.

5. Asociación 'Amics de la Torre de Mussa de Benifaió'

El estado casi ruinoso de la Torre Mussa y los continuos desprendimientos que afectan a la parte de las almenas de la torre provocó la creación de una asociación en favor del monumento más representativo de la localidad de Benifaió. Esta asociación tiene como único objetivo colaborar con las instituciones en la restauración de la Torre Mussa, provocando un gran movimiento social en la localidad e induciendo a que el ayuntamiento de la localidad haya comenzado, en colaboración con la Diputación de Valencia, con los trabajos de restauración del monumento.

6. La protección del territorio como motivo de construcción

En época islámica las tierras de la Huerta de Valencia eran las más densamente pobladas del territorio. Fueron precisamente los musulmanes quienes crearon la infraestructura necesaria para explotar la riqueza agrícola de la comarca, creando el sistema de acequias tal y como lo conocemos. Por ello dotaron las huertas con alquerías, y construyeron fortificaciones y torres de vigilancia para controlar todas las zonas de explotación agrícola.

En el terreno llano que nos encontramos, la vigilancia exigía la creación de torres de vigía, dependientes de un castillo principal, que controlaba los puntos más alejados y servía de vínculo de unión. Además de las funciones de vigilancia, las torres buscaban asegurar el control y el dominio de las fronteras naturales entre los distintos castillos, asegurando además las vías de comunicación.

Las torres vigía presentan, en general, las mismas características. Son edificaciones con el objetivo de vigilar, torres de espera y defensa, de tipología arquitectónica presente en muchas poblaciones de esta zona durante la época de dominación árabe. Además, servían de refugio, reunificando y protegiendo a la población que cultivaba las tierras.

En esta época Córdoba había dejado de ser la capital administrativa del imperio musulmán, y Valencia ocupó su función, teniendo una gran presencia de agua, gracias a la Albufera de Valencia, una buena defensa natural, debido a su llanura, y unas tierras buenas para su cultivo. Por lo que Valencia era una pieza fundamental en la supervivencia de Al-Ándalus.

Valencia está estratégicamente flanqueada por este tipo de torres, de los cuales existen dos variantes, una en la que existe un asentamiento alrededor de la torre, y otra en la que únicamente existía una torre exenta. Conocer si la Torre Mussa es una torre exenta o existen edificaciones a su alrededor es el principal objetivo del proyecto.

6.1. Los ojos de Valencia

A las torres vigía se les denominaba los ojos de Valencia debido a que estaban distribuidas alrededor de ésta, a distancias que podrían alcanzar varias decenas de kilómetros.

En la actualidad existen torres, o restos de ellas, en las localidades de¹³: Albal, Llombai, Almussafes, Benifaió, Bétera, Chiva, Picassent, Serra, Silla, Torrent, y Vedat de Torrent. Y

¹³ Vicente Coscolla Sanz. "La Valencia Musulmana". Carena Editors. 2003. (pg. 107)

existieron torres en las localidades de: Alboraiá, Alboraiç, Alcàsser, Sollana, Aldaia, Quart de Poblet, Moncada, Museros, Puçol, Pinedo, La Torre, Mislata y Massanassa.

7. Torres con asentamientos

7.1. Alquería islámica de Bofilla

La Torre Bofilla de Bétera es el claro ejemplo de una torre vigía en la que a su alrededor se encuentra un asentamiento. Esta torre data el siglo XI, periodo de esplendor de la taifa de Valencia, y se encuentra a 3.5km de la población de Bétera. Según las excavaciones realizadas, el asentamiento estaría dividido en dos grandes bloques, uno defensivo y otro de hábitat. En el bloque defensivo encuentran la torre, que hacía las funciones tanto de protección de la alquería, como de torre vigía y alerta para la ciudad de Valencia, y la muralla defensiva; y en el grupo de hábitat se encontraban las casas, calles, plazas, etc.

La torre vigía alcanza casi los 17 metros de altura, con una base cuadrada que va tomando una forma piramidal conforme que se va ascendiendo.



Figura 28. Vista de la Torre Bofilla¹⁴

¹⁴[Ayuntamiento de Bétera](#). "Torre Bofilla". Área de Turismo y Patrimonio.



En esta imagen a vista de pájaro vemos el asentamiento, en el que se puede observar una isla de casas en la parte superior, existiendo otras seis en el asentamiento. En la parte inferior de la imagen se observan los baños. Y nos da una imagen de la extensión de la alquería, que podría llegar incluso a los 25 km².

Figura 29. Imagen a vista de pájaro del yacimiento

En la siguiente imagen vemos una recreación del asentamiento amurallado, que fue abandonado a mediados del siglo XIV, trasladándose sus pobladores a la localidad de Bétera.

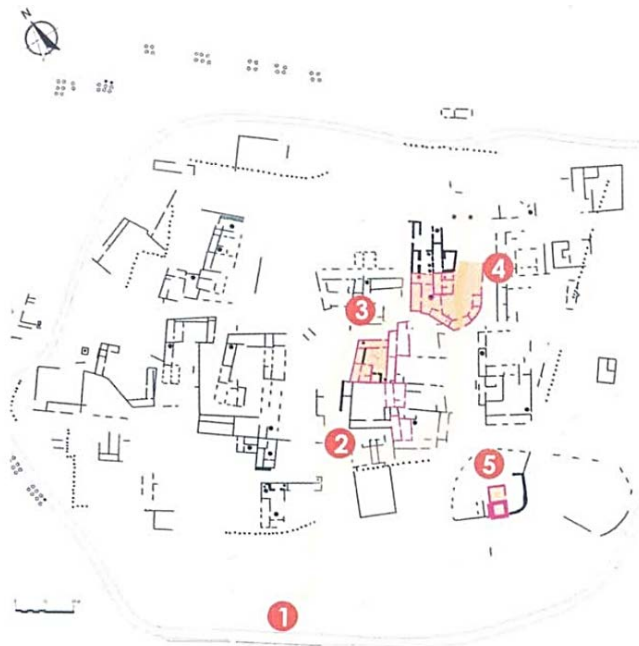


Figura 30. Recreación del asentamiento. Muralla, parte habitada, casa, baños, y Torre Bofilla, respectivamente.¹⁵

¹⁵ [Ayuntamiento de Bétera](#). "Jaciment arqueològic: Alqueria i Torre de Bofilla".

8. Torres exentas

8.1. Torre de la Plaza

La Torre de la Plaza de Benifaió fue construida en el siglo XI. Fue construida con la técnica del tapial, teniendo una anchura de muros de 1.30 metros. La anchura de la torre en la parte inferior es de unos 11 metros, teniendo una altura de 23 metros, dividida en cuatro plantas.

La tradición popular cuenta que fue construida para refugiar a los vecinos de la localidad cuando la Torre Mussa se quedó pequeña.

Esta torre, perfectamente conservada, y restaurada en los años 90 formó parte del antiguo ayuntamiento de la localidad y ahora únicamente se encuentra unida a la casa-palacio de los falcó, barones de Benifaió.

Curiosamente, debajo de la plaza Mayor se encuentran unos subterráneos medievales, que podrían tratarse de silos para abastecer a la población, datando su construcción en los siglos XV y XVI.



Figura 31. Imagen de la Torre de la Plaza de Benifaió, teniendo a la izquierda el antiguo Ayuntamiento y a la derecha el palacio de los Falcó¹⁶

8.2. Torre Espioca

La Torre Espioca es el ejemplo de una torre exenta, situada en el municipio de Picassent. Fue construida en el siglo XI, y únicamente formaba parte de la red de torres de defensa

¹⁶ Imagen tomada por [Pelayo2](#). Licencia Creative Commons.

de la ciudad de Valencia. La torre es de planta rectangular y tiene unas medidas de 4.95x5.60m, distribuida en cuatro pisos.



Figura 32. Imagen de la Torre Espioca¹⁷

8.3. Torre de la Ermita

La Torre de la Ermita, o Torreta del Calvario, es una torre vigía exenta localizada en el municipio de Serra. Perteneció al sistema de alerta de la zona comprendida entre los municipios de Olocau y Gátova, además de formar parte de la vigilancia del castillo de Serra, junto a las torres Ría y Satareña. Actualmente se encuentra en ruinas y sólo conserva su forma cuadrangular.

La historia de esta torre se encuentra bien documentada, y es un ejemplo de la continua ocupación y desocupación de las fortificaciones por parte de moros y cristianos, y el posterior abandono provocado por la expulsión morisca. Abandono que en la mayoría de torres dura hasta nuestros días.

En el siglo VIII, los mozárabes de Toledo impusieron a Al-Qádir como rey. Después de muchos incidentes en 1085 entregaron la ciudad a Alfonso VI de Castilla, con la condición de que Al-Qádir fuera ayudado a apoderarse de Valencia donde reinaría. Al-Qádir acompañado de tropas castellanas dirigidas por Alvar Fañez, primo del Cid, fueron a Valencia y acamparon en Serra, lugar desde el que se domina la huerta valenciana.

En los documentos de los años anteriores a la Reconquista, en la Historia Roderici, conservada en un códice del siglo XII o principios del XIII; según referencia tomada de Menéndez Pidal en su obra "La España del Cid", se dice textualmente: "Después de haber obtenido así este triunfo, Rodrigo tomó el castillo que se llama de Olocau, en el cual encontró un gran tesoro que fue del rey Alkadir, el cual repartió con los suyos de

¹⁷ Imagen tomada por [Julietdepica](#). Licencia Creative Commons.

buena fe. Entonces tomó también otra fortaleza que se llama Serra". Muerto el Cid, sigue un periodo de dominación de los almorávides.

Al llegar el año 1232, Jaime I comienza la conquista del reino de Valencia. La Crónica de Jaime I de Ramón Montaner habla de que después de la conquista de dicha ciudad en septiembre de 1238: "Encara pres Serra, Alocau, Torres Torres, Castellnou y la ciutat de Segorb".

En el reparto hecho por Don Jaime I de Aragón, de las tierras tomadas a los moros dona la villa de Serra a Gutiérrez Román o Gauterio Romano en el año 1240.

En el Archivo General de la Corona de Aragón de Barcelona hay un documento en el que aparece que, en 31 de agosto de 1257, se dio licencia a la villa de Murviedro para adquirir por compra los castillos de Serra y Torres Torres. En el mismo archivo anterior otro documento en el cual consta la promesa dada por el rey a Gualtero Romano o Romaní, en 7 de julio de 1264, de no ponerle dificultades en los castillos de Torres Torres y Serra hasta haberse cobrado con réditos lo que el rey le debía.

A partir de esta fecha se van sucediendo diversos Señores, siendo Serra de gran importancia, citada como "Castrum et Vila".

Después de la conquista cristiana, Serra se mantuvo poblada por moriscos, que trabajan los campos bajo el dominio feudal. En Serra había tres poblados, Serra, Ría y Armell con población morisca que en el principio de la revuelta de las germanías (1521) fueron saqueados por los agermanados de Campanar.

La expulsión de los moriscos, el día 26 de noviembre de 1609 se otorgó Carta Puebla a "En Josep Folch i Cardona, cavaller de l'ordre i milícia d'Alcántara, senyor de les baronies i llocs de Serra, Ría, Soneja y Azuebar, a favor de 29 cristians vells (20 per Serra i 9 per Ría), per a que repoblaren dits llocs que havien segut abandonats pels morics, se fixaven les condicions en que dit senyor consentia l'ocupació pels nous pobladors de les cases i terres de Serra i Ría".¹⁸



Figura 31. Torre de la ermita de Serra¹⁹

¹⁸ Direcció General de Patrimoni Artístic. Conselleria d'educació, cultura i esport. [Torre de la Ermita \(Serra\)](#)

¹⁹ Imagen tomada por [Toni](#). Responsable del blog "[Castillos Españoles](#)".

Bloque III: Toma y procesado de datos

1. Toma de datos

La toma de datos se dividió en tres jornadas de trabajo. En la primera se realizó una toma de reconocimiento, procediendo a realizar un plano con la indicación de las pasadas a realizar, y en las jornadas segunda y tercera se procedió a la toma de datos.

1.1. Jornada I: Reconocimiento

En la primera jornada realizada a mediados del mes de mayo se realiza una primera toma de contacto con la Torre Mussa, en el que vemos como la torre se encuentra en un estado de conservación casi ruinoso, viendo como las almenas originales casi no se conservan debido a la erosión de la lluvia. Viendo algunas noticias vemos como en los últimos años se han producido varios desprendimientos²⁰ o se han incendiado los rastrojos que existían alrededor de la torre²¹, por lo que lo primero que realizamos es colocarnos un chaleco reflectante y un casco de obra.



Figura 32. Imagen tomada el día de reconocimiento, en la que se aprecian los daños de la torre.

²⁰ [Las Provincias](#). "Els merlets de la torre Mussa àrab de Benifaió cauen a trossos". 25-06-2006.

²¹ [Levante-EMV](#). "Un incendio ennegrece la torre árabe de Benifaió tras calcinar los árboles próximos".

Conociendo las alquerías que se han encontrado alrededor de torres como la Bofilla de Bétera, las construcciones, de existir, deben encontrarse muy próximas a la torre, ya que en caso de ataque su única salvación era entrar rápidamente en ella.

Para corroborarlo se realizan algunas pasadas con el georradar, detectando algunas zonas de interés, todas ellas en los alrededores de la torre, por lo que procedemos a realizar un esquema de las zonas en las que realizaremos la prospección. El resultado final se puede observar en el Anexo4, en él se observa como hemos dividido la zona en cuatro cuadrantes, y una última en la que se realizarán perfiles sueltos debido a su reducido tamaño. Estos cuadrantes se han realizado considerando la geometría alrededor de la parcela en la que se encuentra la torre, la cual se encuentra rodeada de acequias, por lo que éstas delimitarán la zona de estudio.

1.2. Jornada II: Toma de datos

La segunda jornada se realizó el día 27 de mayo de 2014, con tiempo soleado y con una temperatura rondando los 20°C se dispuso a montar el georradar, estando compuesto por una unidad central SIR-3000, una antena modelo 5103 de 400Mhz y un cable apantallado para comunicar la unidad central y la antena, de la marca GSSI. Todo el equipo estaba montado sobre su carro con odómetro.

Al haber realizado el plano con la localización y longitud de las pasadas, se procede a materializar las líneas en el terreno utilizando una cuerda y dos cintas métricas con las que haremos un cuadrilátero, ya que la georreferenciación de la prospección se ha realizado mediante la valla que rodea la Torre Mussa.



Figura 33. Imagen de la Torre Mussa.

En la imagen anterior vemos la valla que se ha utilizado para georreferenciar todo el proyecto. A partir de ella, se realizaron los diferentes encuadres, y se realizaron pasadas con el georradar, con una separación entre ellas de 1 metro, formando una malla para la creación del modelo 3D.

En el primer cuadrante se crearon 48 perfiles, creando 43 en el segundo cuadrante, todo ello para crear un paso de malla de 1 metro en los diferentes cuadrantes.

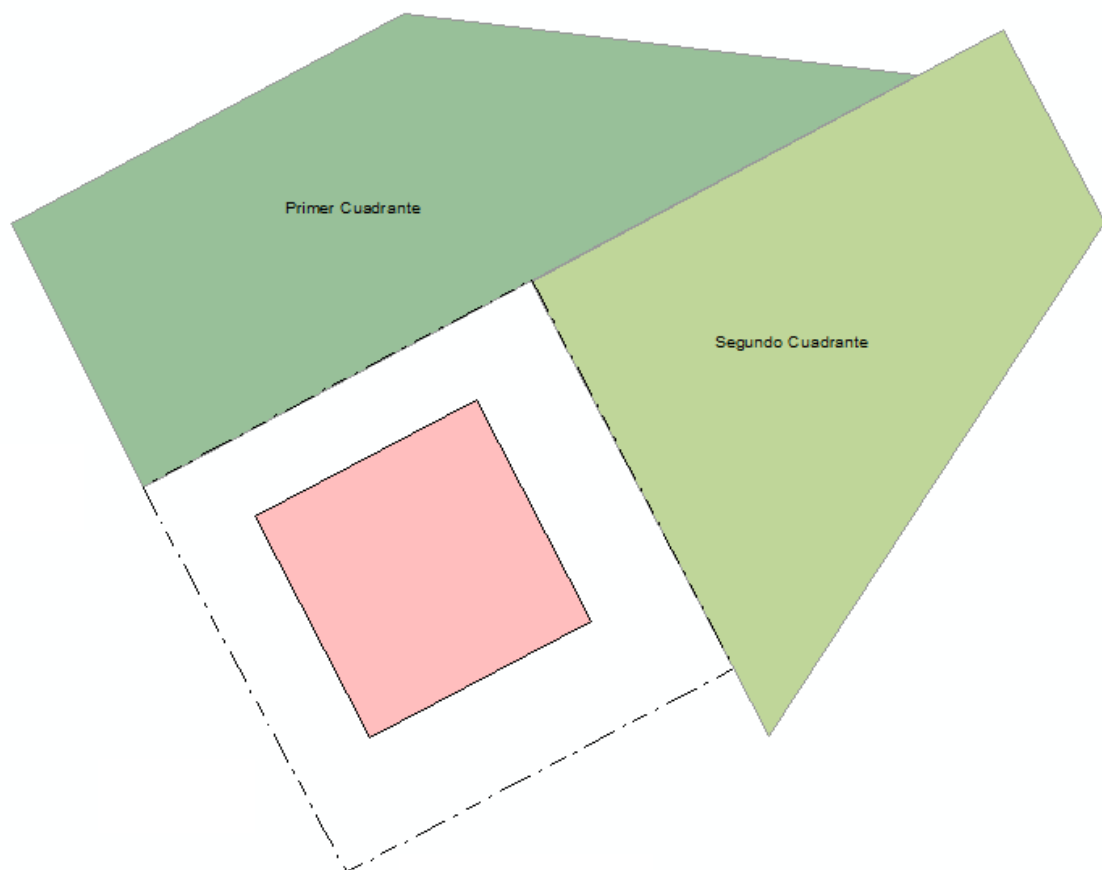


Figura 34. Representación de los cuadrantes.

Para la creación de estos perfiles se realizaron pasadas tanto horizontales como verticales, con una distancia de 1 metro, por lo que obtuvimos un modelo con un paso de malla de 1 metro.

En esta otra imagen vemos el proceso de colocación de las cintas métricas sobre el primer cuadrante:



Figura 35. Colocación de las cintas métricas.

1.3. Jornada III: Toma de datos

La tercera jornada de trabajo, y segunda de toma de datos, se realizó el día 1 de junio de 2014, con condiciones meteorológicas muy parecidas a las del primer día de toma de datos. En este día utilizando la misma metodología se realizaron 48 perfiles para cubrir el tercer cuadrante y 31 perfiles para el cuarto cuadrante, realizando pasadas al igual que en la anterior jornada, con una separación de 1 metro entre perfiles, realizando las secciones cada metro a estos perfiles para obtener el modelo 3D con un paso de malla de 1 metro.

Visualizamos los cuadrantes tercero y cuarto, situándose al noroeste y oeste de la Torre Mussa, respectivamente.

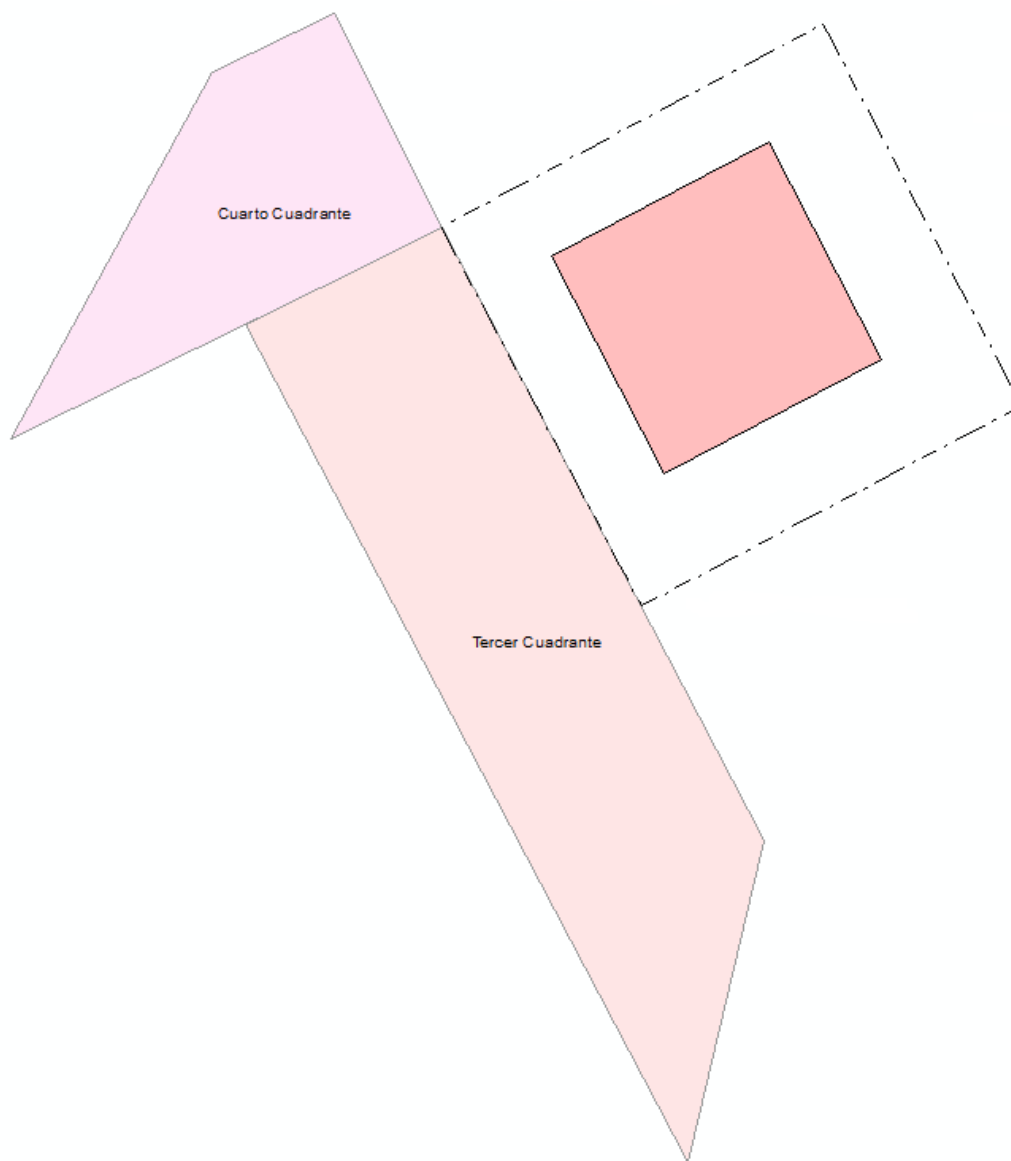


Figura 36. Representación de los cuadrantes.

Además de los cuadrantes, se realizaron algunas pasadas sueltas como se visualizan en el Anexo5, en la zona sur de la torre y en el interior del cercado de la torre, ya que debido al pequeño espacio se decidió no realizar un modelo 3D.

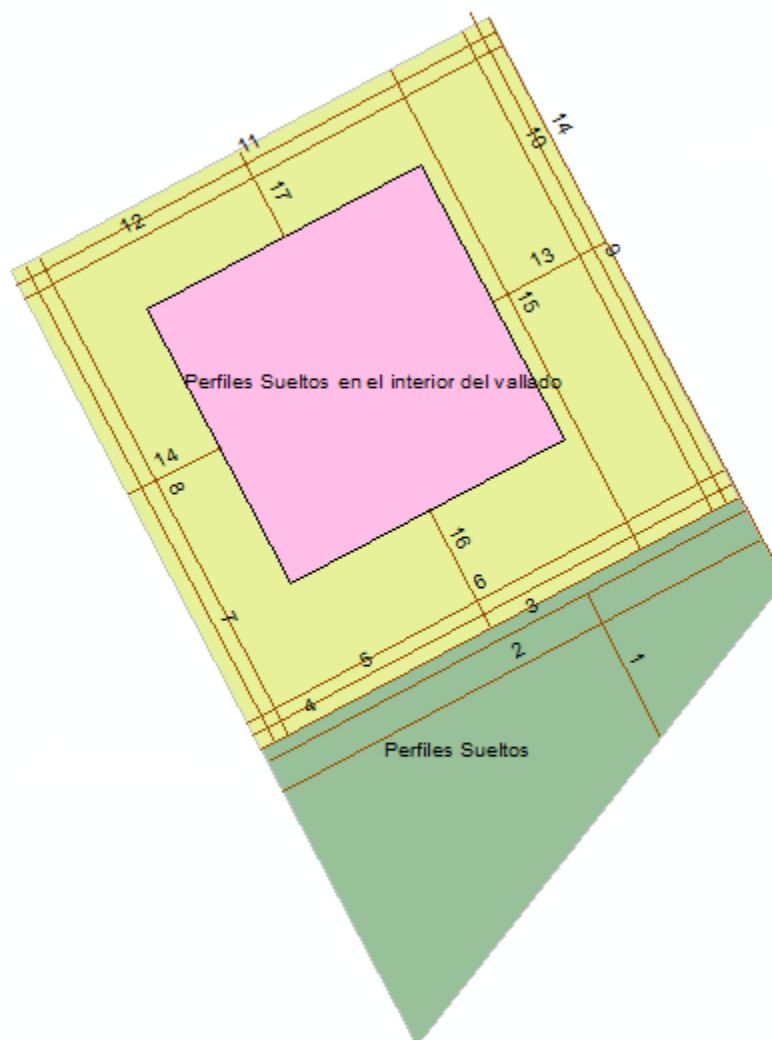


Figura 37. Perfiles interiores y exteriores al vallado de protección de la Torre Mussa

2. Procesado de los datos

2.1. Generación del modelo 3D

Una vez finalizó la toma de datos en campo se procedió al procesado de los datos. Comenzamos formando los modelos 3D de los cuadrantes, a partir de los perfiles con formato .dzt volcados desde una tarjeta de memoria con los datos brutos del georradar.

Visualizamos los ficheros .b3d creados con el software Radan 7 con el que se hará todo el procesado de datos, los ficheros se han visualizado con la siguiente tabla de color:



Figura 38. Tabla de color.

Con la siguiente forma:



Figura 39. Forma de la tabla de color.

Y visualizamos el resultado:

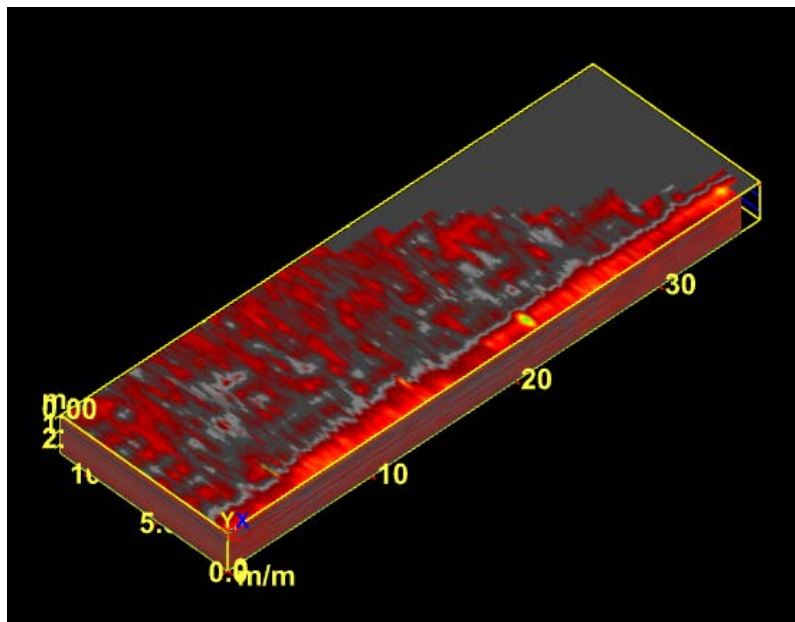


Figura 40. Visualización 3D del primer cuadrante

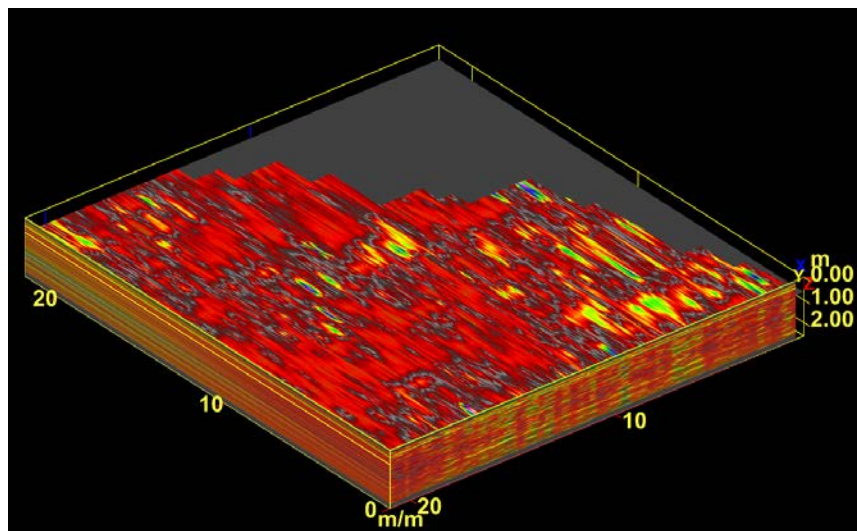


Figura 41. Visualización 3D del segundo cuadrante

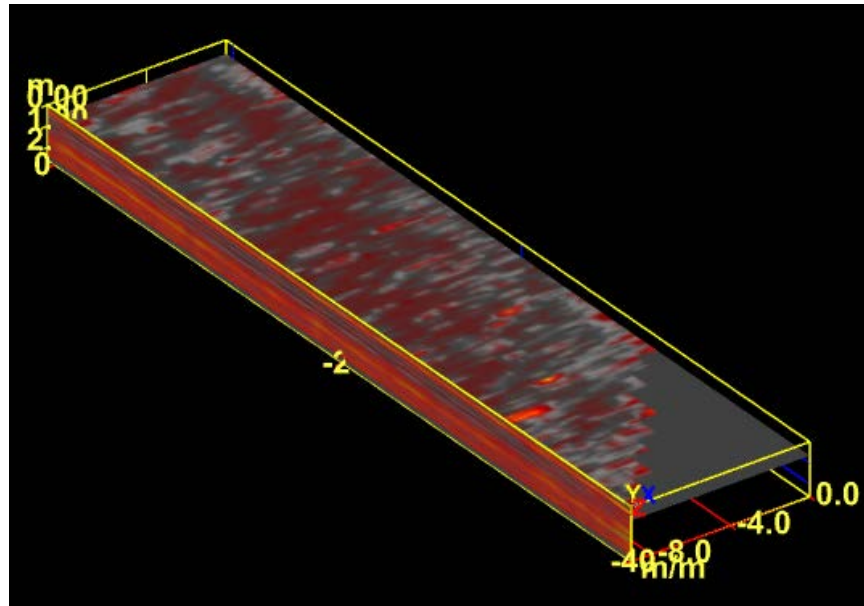


Figura 42. Visualización 3D del tercer cuadrante

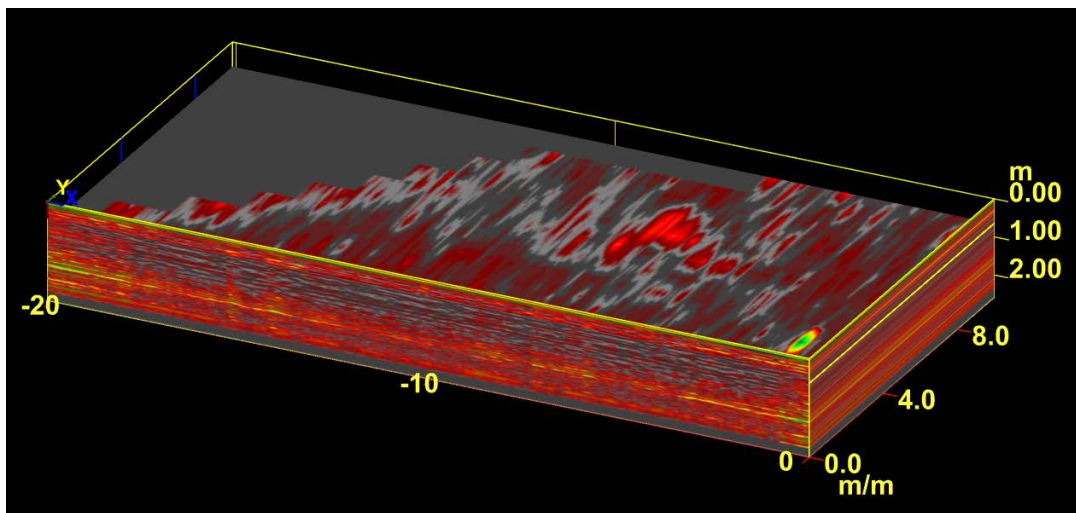


Figura 43. Visualización 3D del cuarto cuadrante

2.2. Ajuste del cero (Time Zero)

El siguiente paso en el procesado ha sido eliminar el espacio de datos comprendidos entre la emisión de la señal y el contacto de ésta con el terreno.

Para ello ejemplificamos con el modelo del primer cuadrante, y escogiendo la opción "Time Zero" del Radan 7 vemos la siguiente imagen:

Evaluación de la potencialidad arqueológica del subsuelo circundante a la Torre Mussa (s. XI) en Benifaió, Valencia, mediante georradar

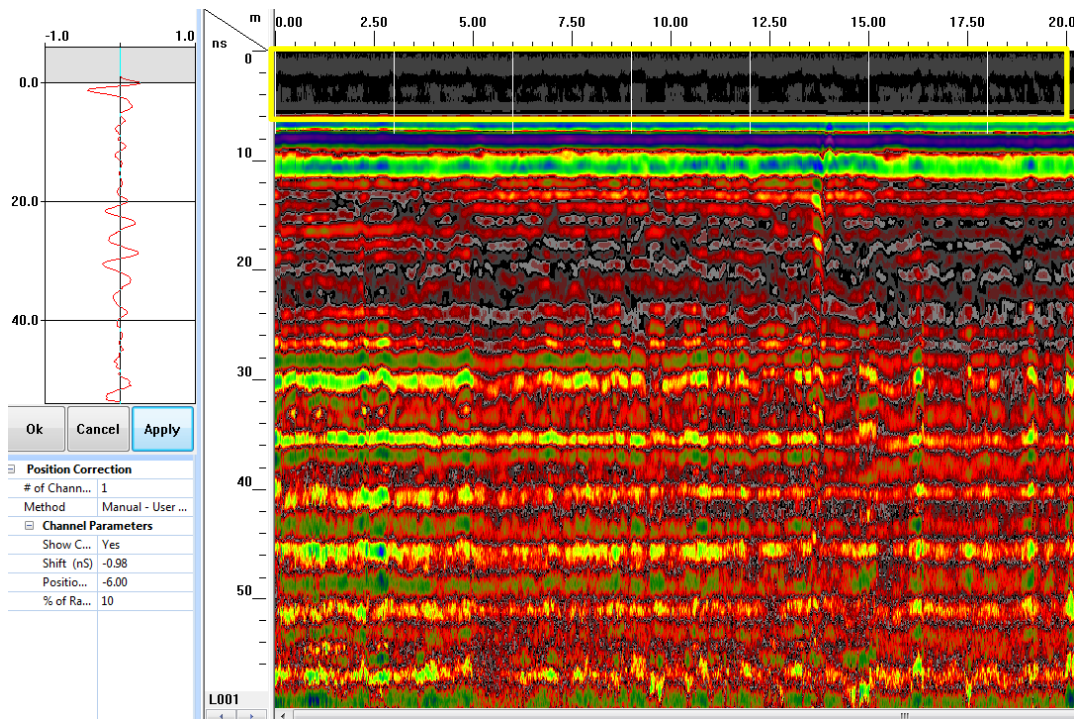


Figura 44. Radargrama del primer perfil del primer cuadrante. Enmarcada la zona a eliminar.

Para ajustar el cero lo único que tendremos que hacer es mover la gráfica hasta el primer pico positivo, como se indica en la imagen anterior. Aplicando el resultado:

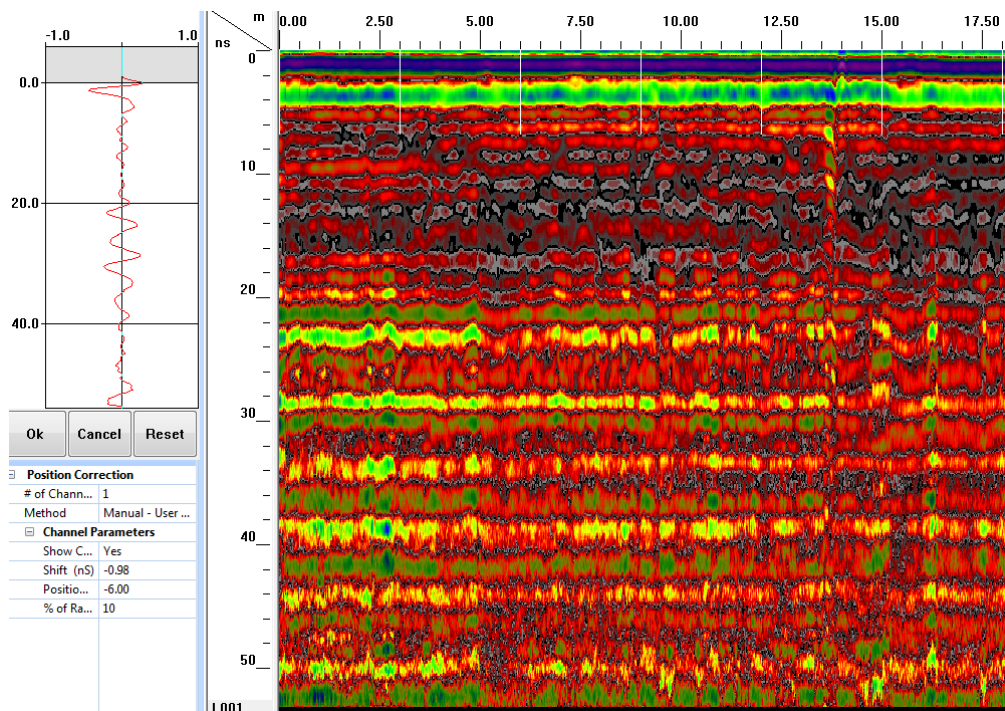


Figura 45. Radargrama una vez corregido el cero.

Observamos cómo hemos conseguido nuestro objetivo. Para los perfiles restantes se ha realizado el mismo proceso.

2.3. Filtro IRR

El siguiente paso ha sido aplicar un filtro IRR vertical a los perfiles, observando que es el que mejor resultados muestra, sin eliminar las zonas con mayores respuestas y que creemos que podrían contener algún tipo de irregularidad.

Los parámetros que introducimos son para paso-bajo 800MHz para eliminar el ruido en las altas frecuencias, introduciendo para paso-alto 100MHz para eliminar ruido en bajas frecuencias.

<input type="checkbox"/> IIR Filters	
# of Chann...	1
<input type="checkbox"/> Channel Parameters	
<input type="checkbox"/> Horizontal (Scans)	
Low...	0
Hig...	0
<input type="checkbox"/> Vertical (MHz)	
Low...	800
Hig...	100
<input checked="" type="checkbox"/> Sam...	0, 511

Figura 46. Cuadro de parámetros para la realización de un filtro IRR

Al aplicar el filtro vemos como el ruido que existía se ha eliminado, por lo que no aplicaremos otro tipo de filtro como el "Background Removal" que utilizaríamos si existiera alguna banda con ringing.

2.4. Migración

No se ha creído conveniente utilizar la migración en el procesado de los datos debido a que no conviene utilizarlo en terrenos con reflexiones poco contrastadas. Además, al aplicar la migración, la señal se atenúa.

2.5. Máxima profundidad

El siguiente paso ha sido aplicar el "Max depth" que estimará la profundidad máxima a la que es válida el modelo.

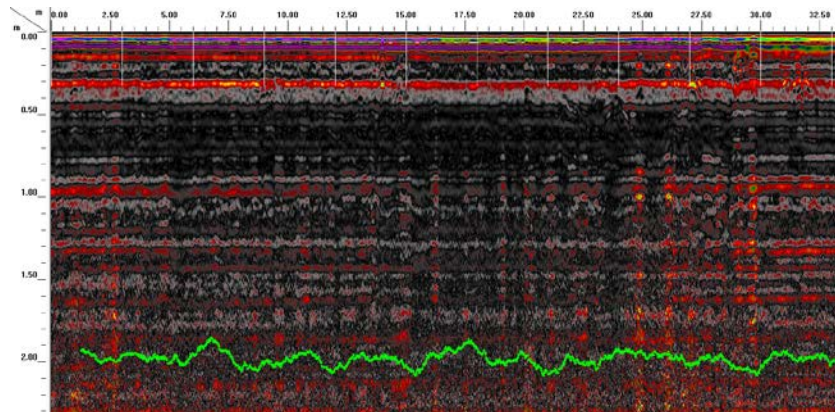


Figura 47. Visualización del primer perfil del primer cuadrante, una vez se ha aplicado el "Max Depth". La línea verde nos indica el final de validez del modelo.

2.6. Aplicación de ganancias

Para optimizar las amplitudes de las reflexiones aplicaremos una ganancia exponencial, en la que se han utilizado 4 puntos de ganancia, el primer punto se le ha aplicado una ganancia negativa de -20, al segundo punto se le ha aplicado una ganancia de 34, al tercer punto una ganancia de 46, y al último una ganancia de 55.

Esta elección es debido a que la amplitud de la señal es cada vez menor mientras la reflexión es más profunda. Para solventar esto hemos decidido aplicar una ganancia exponencial, en la que mientras más profundidad tenga la señal, mayor será la ganancia a aplicar.

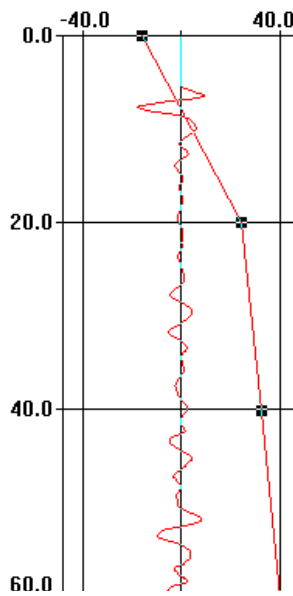


Figura 48. Gráfico de ganancias aplicado.

A continuación vemos los parámetros aplicados, en este punto hemos utilizado diferentes ganancias para los diferentes cuadrantes, ejemplificando:

Range Gain	
# of Chann...	1
Gain Type	Exponential
Channel Parameters	
# Of Po...	4
Gain 1	-20.00
Gain 2	34.00
Gain 3	46.00
Gain 4	55.00
Sam...	0, 511

Figura 49. Parámetros aplicados en el proceso de ganancia.

2.7. Deconvolución

Por último se ha aplicado el proceso de deconvolución, como se ha explicado anteriormente, la señal que registramos no es exactamente como la que se emite debido a que la Tierra actúa como un filtro, suprimiendo la información relativa a las frecuencias más altas de los datos. De este modo, la deconvolución restaura la forma de la onda antes de dicho filtrado.

Para la deconvolución hemos aplicado los siguientes parámetros:

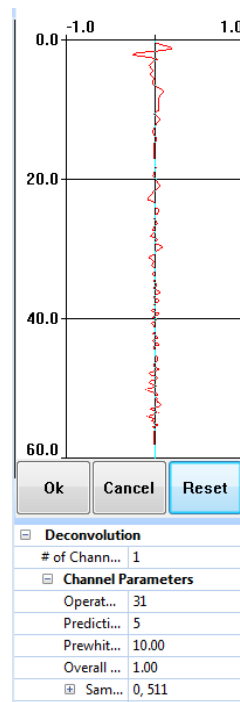


Figura 50. Parámetros aplicados en el proceso de deconvolución.

A continuación vemos el resultado de aplicar todos los procesos al primer perfil de la primera cuadrícula:

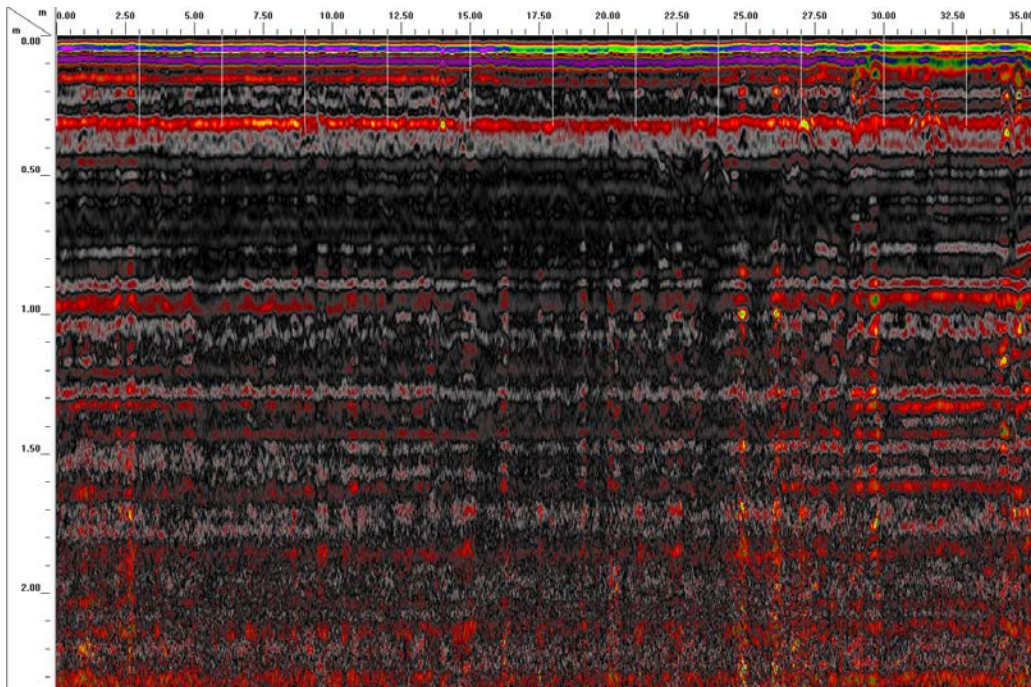


Figura 51. Radargrama una vez se ha aplicado el proceso de deconvolución.

Y comparamos con el perfil en bruto, extraído directamente del georradar:

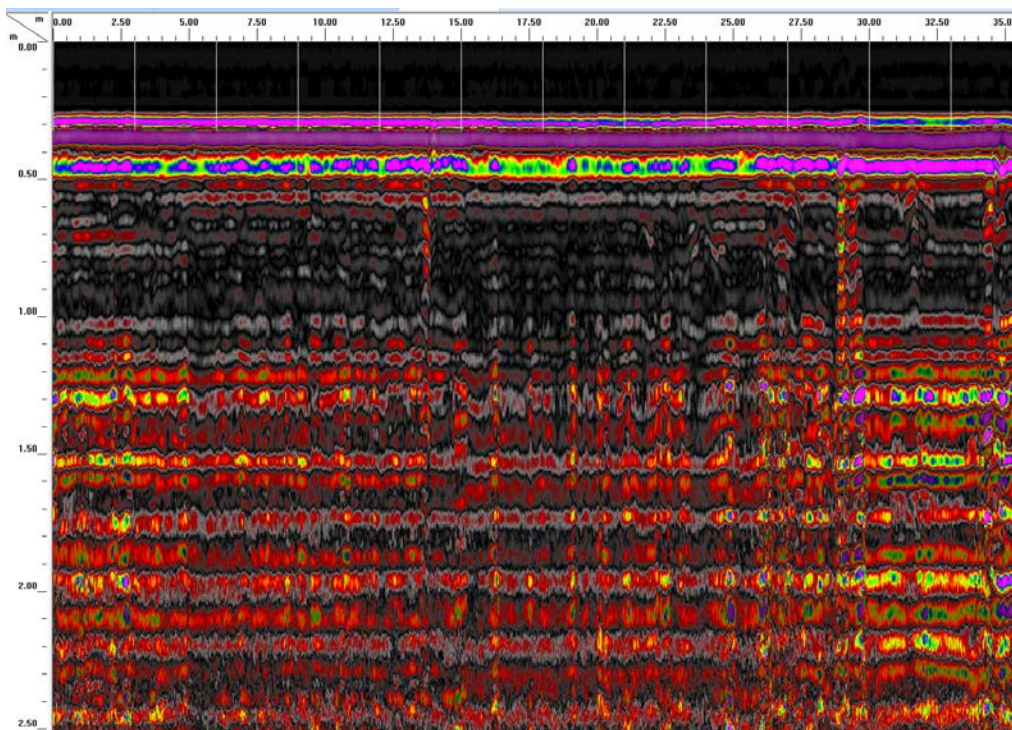


Figura 52. Radargrama obtenido en campo.

2.8. Conclusiones

El procesado llevado a cabo como ejemplificación se ha realizado igualmente para los cuadrantes segundo, tercero y cuarto, variando únicamente algunos parámetros muy puntuales, ya que estando los perfiles tan cercanos espacialmente el procesado se ha realizado como un área común.

Visualizando el resultado obtenido en el procesado con el perfil bruto vemos como se ha reducido notablemente el ruido, dejando ver una capa de material a unos 30 centímetros que estudiaremos a continuación.

Nuestros principales objetivos de disminuir el ruido de la señal, a la vez que resaltar los puntos a estudiar en el estudio arqueológico se han cumplido, por lo que pasaremos al análisis de los resultados obtenidos.

3. Resultados obtenidos

3.1. Realización de una cata arqueológica

En los días posteriores a la toma de datos y con motivo de la primera eliminación de una palmera en la parcela de la Torre Mussa pudimos utilizar dicha excavación para correlacionar los datos obtenidos por el georradar. Esta excavación se encontraba en la división entre el primer y segundo cuadrante, a escasos centímetros de la valla que cerca toda la Torre Mussa.



Figura 69. Excavación realizada para la eliminación de raíces de una palmera. A la derecha se observa los ladrillos de hormigón que sustentan la valla de protección de la torre.

Gracias a esta primera excavación pudimos medir como a 40 centímetros de profundidad se encuentra el corte de terreno natural, existiendo un cambio litológico, extendiéndose éste hasta el punto más bajo de la cata realizada, la cual tenía 90 centímetros de profundidad.

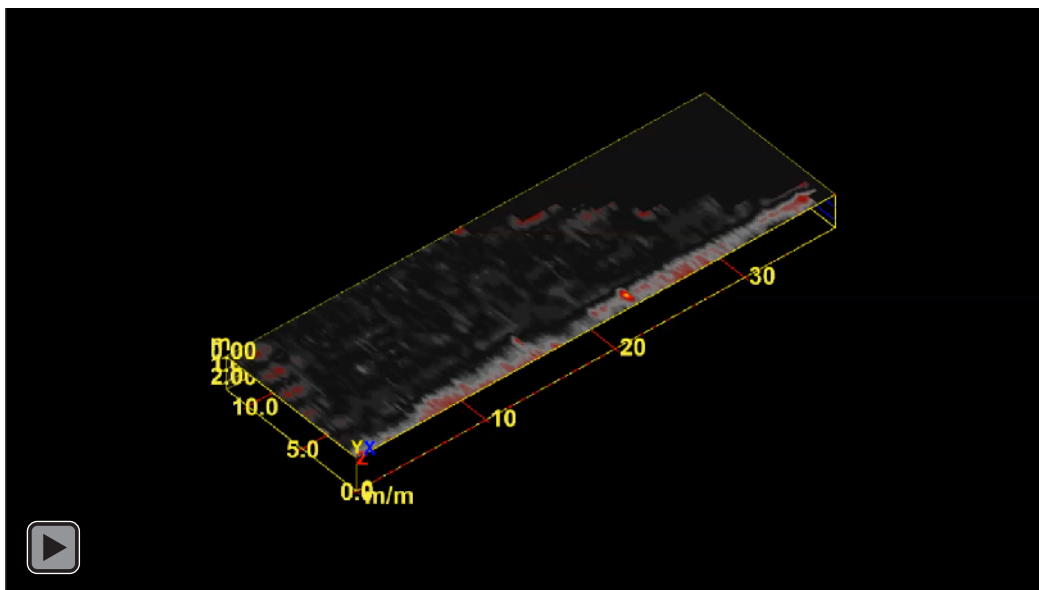


Figura 70. Medición con flexómetro

Esta cata nos servirá para correlacionar los datos que encontremos en los diferentes radargramas.

3.2. Primer cuadrante

A continuación vemos una animación en tres dimensiones de los perfiles realizados al primer cuadrante:



En el primer cuadrante observamos una capa de material a unos 30 centímetros de profundidad, que recorre todo el radargrama, por lo que estamos hablando del cambio litológico que encontramos en la cata arqueológica con total seguridad. Vemos como esta capa, de unos 4 centímetros, es común para todos los modelos realizados coincidiendo en profundidad y espesor, por lo que es un tipo de compactación que recorre todo el subsuelo de la zona de estudio.

Posteriormente vemos otra capa que se origina inmediatamente después de esta zona de cambio, a unos 30 centímetros de profundidad y llega hasta los 90 centímetros, límite de la cata arqueológica, donde aparece otro cambio litológico en el terreno llegando hasta el final del modelo.

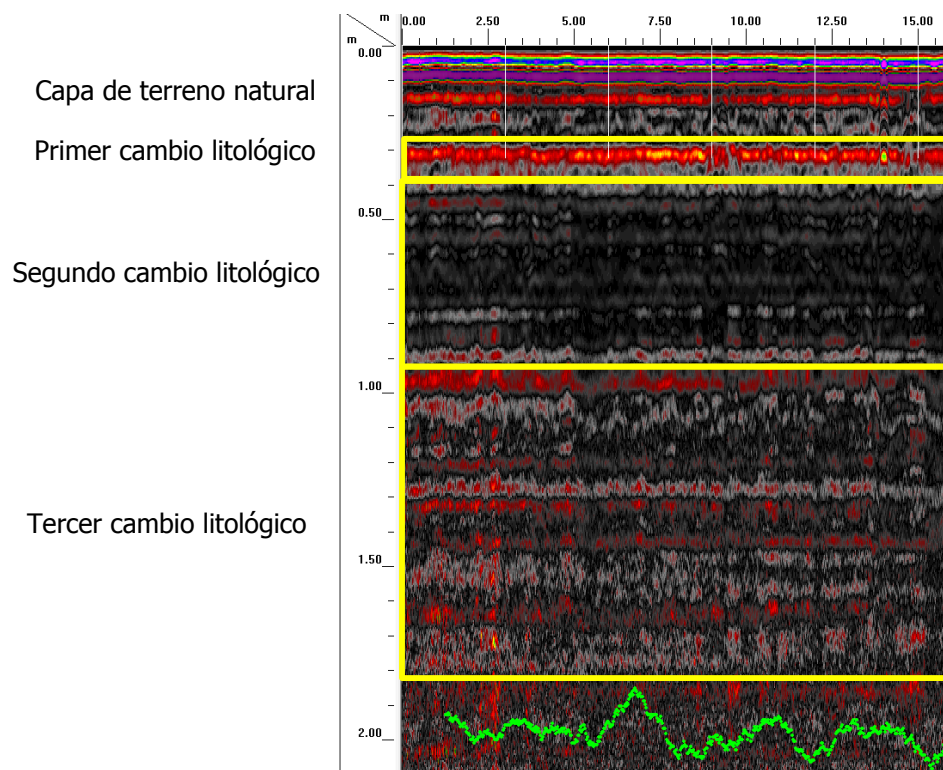


Figura 53. Apreciamos en el radargrama el cambio litológico existente.

Estas características se recrean en toda el área de estudio, por lo que pasaremos a los puntos en los que se debería proceder a excavar.

En el primer cuadrante únicamente encontramos otro cambio litológico a partir del metro y medio de profundidad, siendo más relevante una zona de anomalías que tiene lugar en las coordenadas locales en metros Punto1(0.8; 7; 0.9)

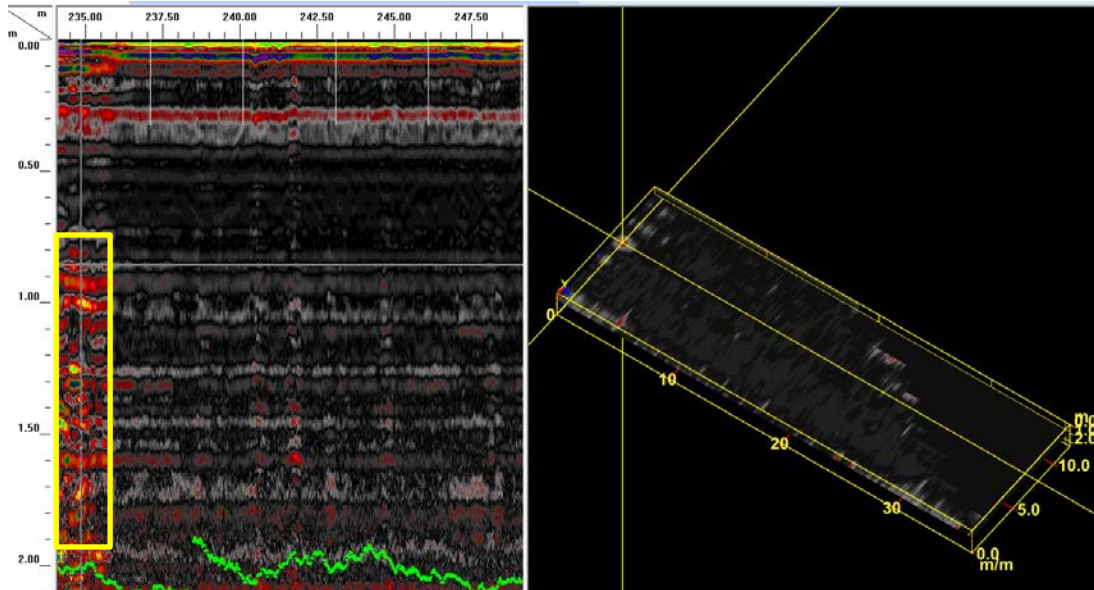


Figura 54. Visualización de la anomalía Punto1 en el primer cuadrante.

Esta anomalía está rodeada por otras casi puntuales con coordenadas Punto2(0.5m; 5m; 0.9m), Punto3(1.3m; 9m; 1m), Punto4(1.4m; 11m; 1m).

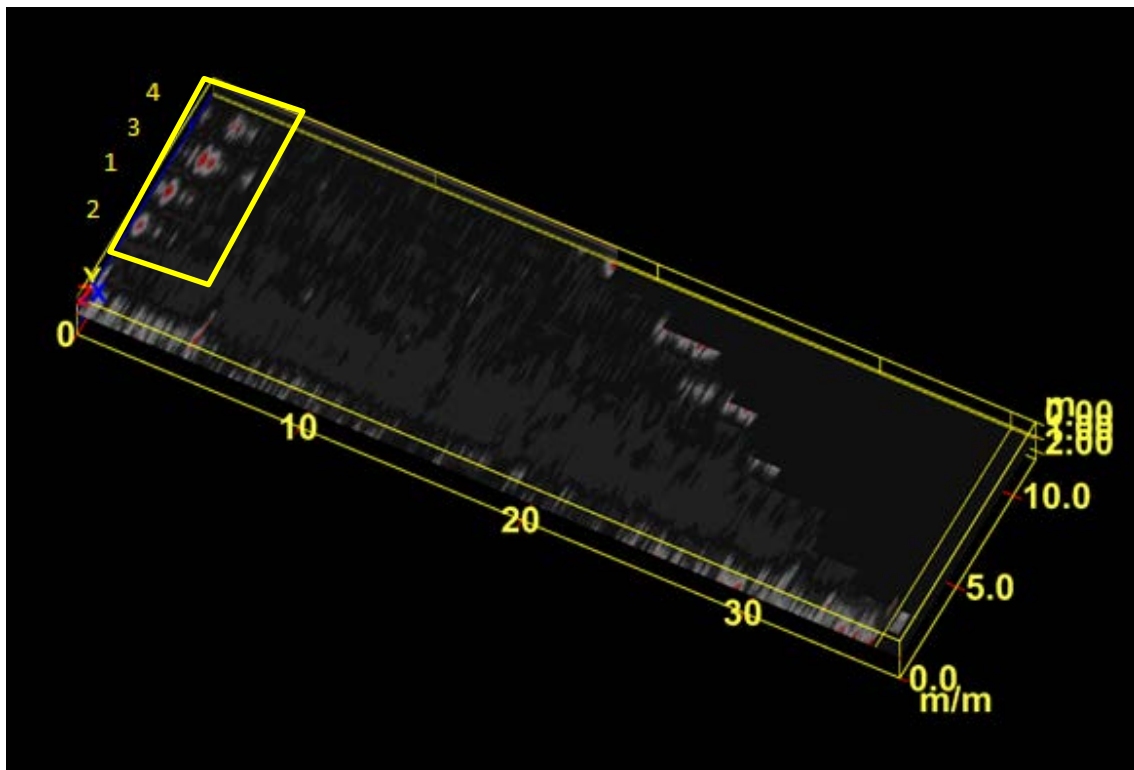


Figura 55. Visualización de los puntos anómalos del primer cuadrante.

En este caso se decide realizar una excavación de forma rectangular con coordenadas locales en metros creando un rectángulo que visualizamos a continuación:

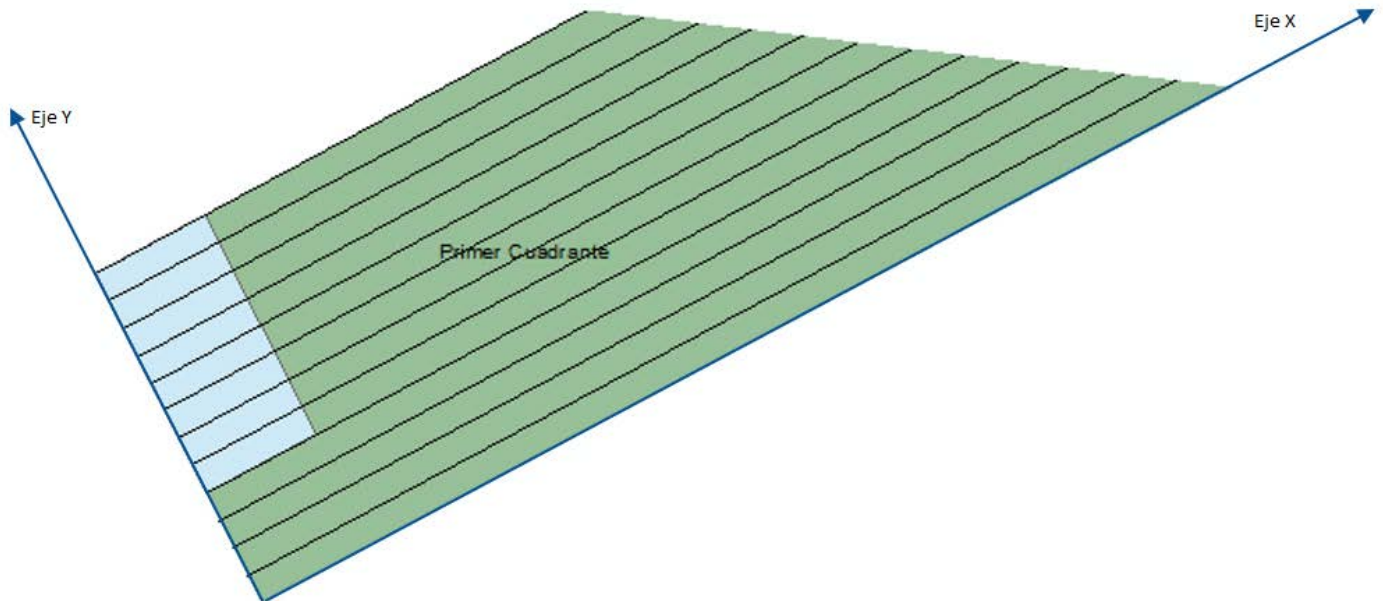


Figura 56. La zona de excavación corresponde con la zona azul con los perfiles longitudinales realizados con 1 metro de separación, no representándose los transversales.

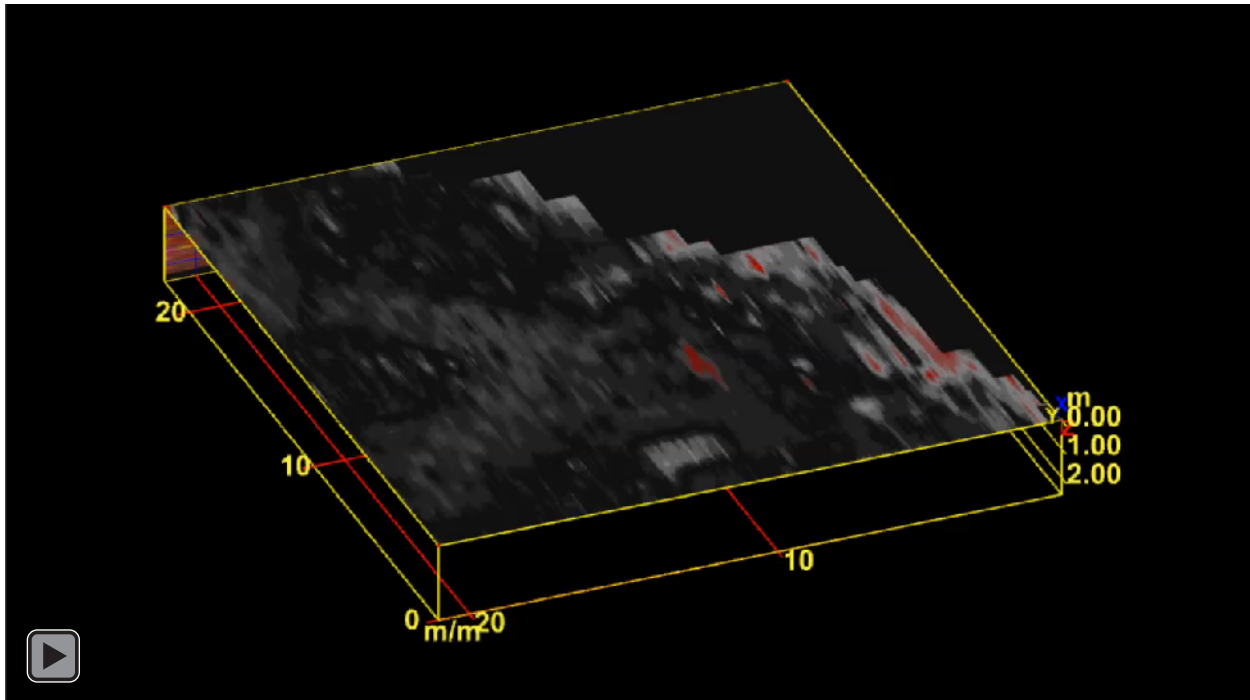
Con las siguientes coordenadas:

	X (metros)	Y (metros)
1	0	4
2	4	4
3	0	12
4	4	12

3.3. Segundo cuadrante

El segundo cuadrante es el situado en la zona noreste de la Torre Mussa.

Vemos una animación en tres dimensiones de los perfiles realizados al segundo cuadrante:



En el segundo cuadrante vemos como existe un cuadrilátero de anomalías, apareciendo la primera en las siguientes coordenadas locales (8; 5.9; 0.6), continuando con otra situada al este con coordenadas (11; 7.7; 1.3), y un grupo de anomalías en las coordenadas (13; 10.8; 1.3), y por último otro punto con coordenadas (12; 15.2; 0.6).

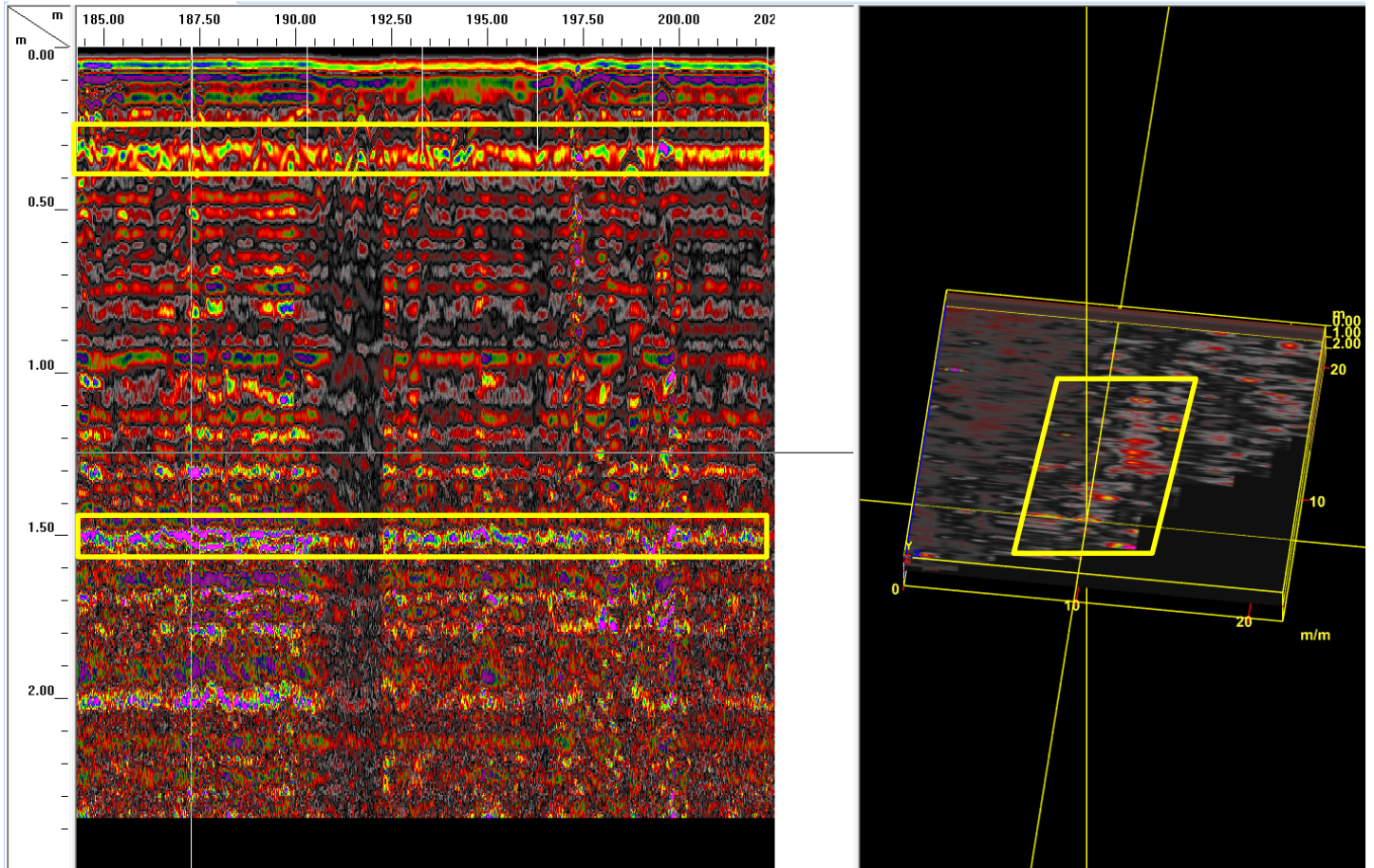


Figura 57. A la izquierda se visualiza un radargrama en el que se encuadran los puntos anómalos que se visualizan en el 3D. A la derecha se pueden observar todos los puntos anómalos del segundo cuadrante.

En primer lugar, a unos 30 centímetros de profundidad vemos el cambio litológico detectado en la cata arqueológica, existiendo en este cuadrante lo que creemos que es un fuerte cambio litológico a metro y medio de profundidad. Debido a la profundidad a la que se encuentra este cambio y a que, como vemos en el radargrama, es común para toda la zona lo descartamos como una zona de posibles restos arqueológicos.

Aun así, este cuadrante es el que se más encuentra más cercano a un manantial, por lo que podría ser alguna capa de material en la que exista agua.

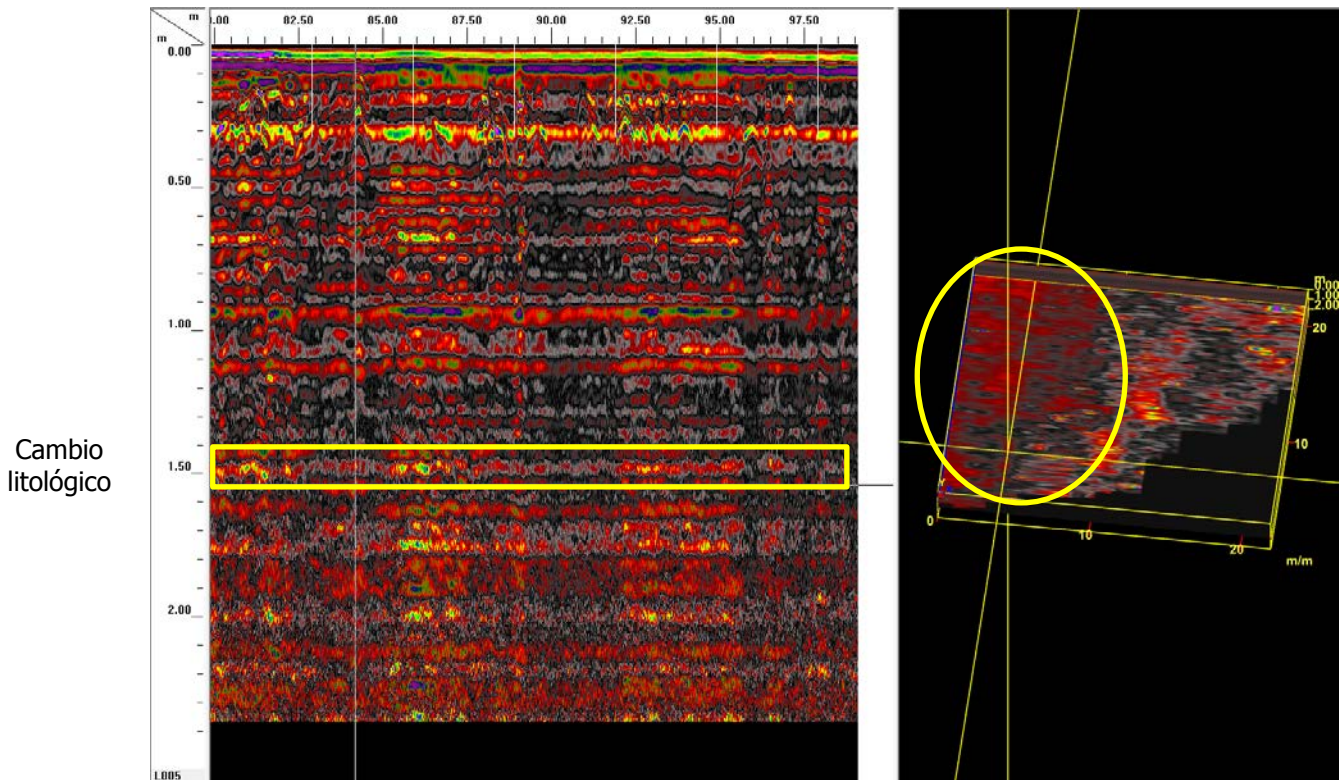


Figura 57. La zona remarcada en el radargrama se corresponde con el perfil visualizado en el modelo 3D.

Comparando esta figura con la anterior vemos como en el sector interior al óvalo existe una gran respuesta por parte del radargrama.

A continuación se muestran las coordenadas de la zona a excavar:

	X (metros)	Y (metros)
1	8	8
2	8	14
3	13	8
4	13	14

Por tanto, únicamente hemos remarcado los puntos anómalos en los que es posible encontrar restos arqueológicos, dejando de lado el cambio litológico encontrado anteriormente.

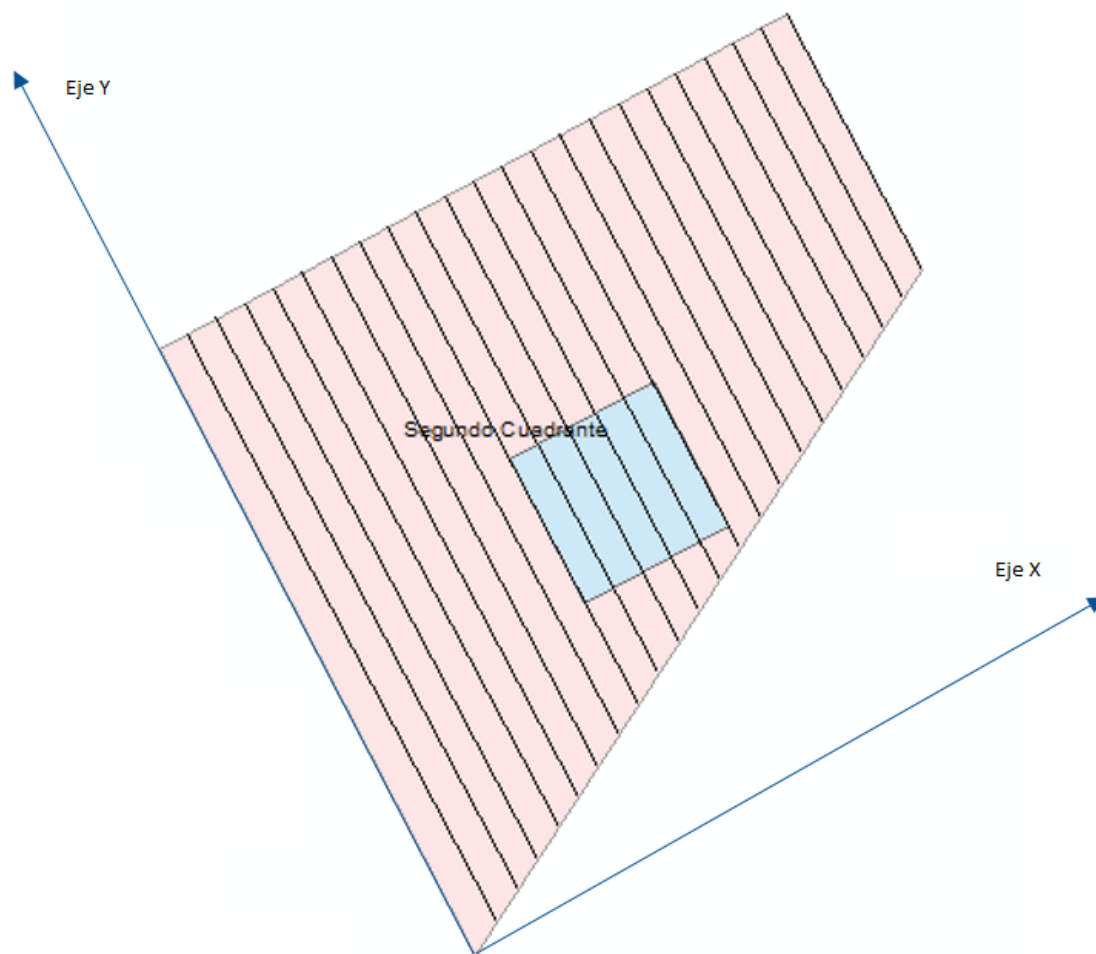
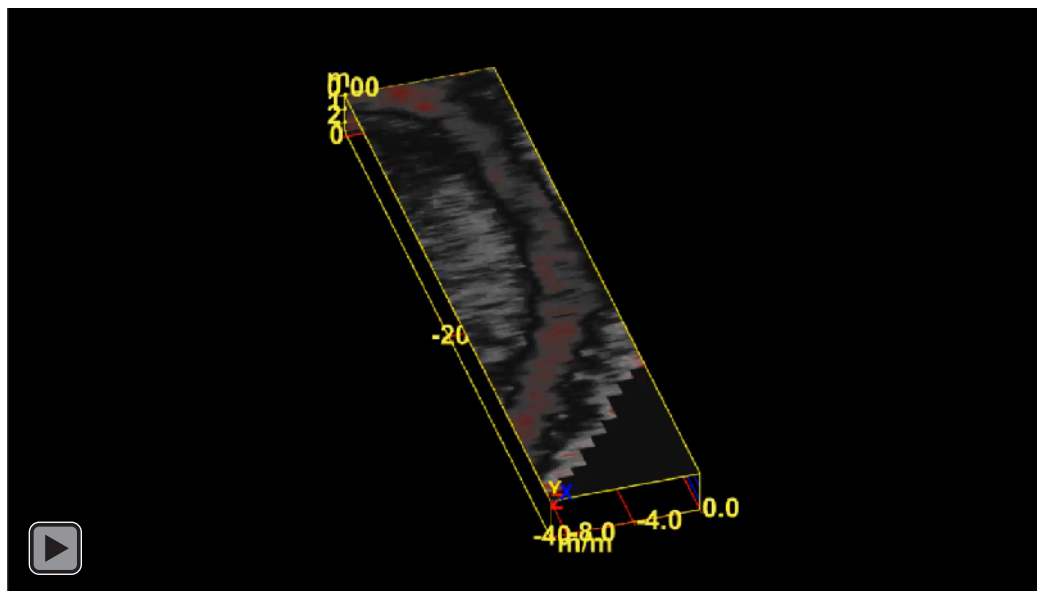


Figura 58. La zona de excavación del segundo cuadrante corresponde con la zona azul con los perfiles transversales realizados con 1 metro de separación, no representándose los longitudinales.

3.4. Tercer cuadrante

Vemos una animación en tres dimensiones de los perfiles realizados al tercer cuadrante:



En el tercer cuadrante observamos como nada más comenzar, a una profundidad de cero, el modelo nos muestra exactamente la zona de doma de caballos, visualizando perfectamente a cota cero el terreno más compactado por el paso de los equinos.

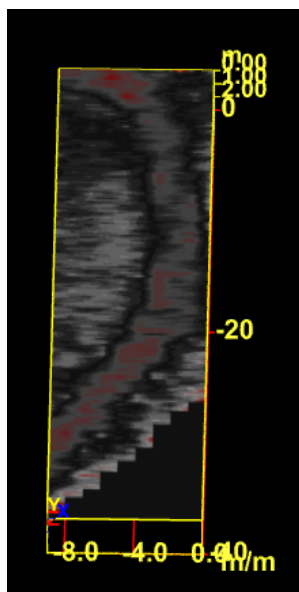


Figura 59. Zona superficial compactada en el tercer cuadrante. Remarcada en color rojizo.

En este cuadrante únicamente aparece una zona anómala, situada al sur del modelo, ésta aparece a una profundidad de 1.70, visualizamos a continuación el séptimo perfil en función de la x creado, resaltándose la zona con anomalías:

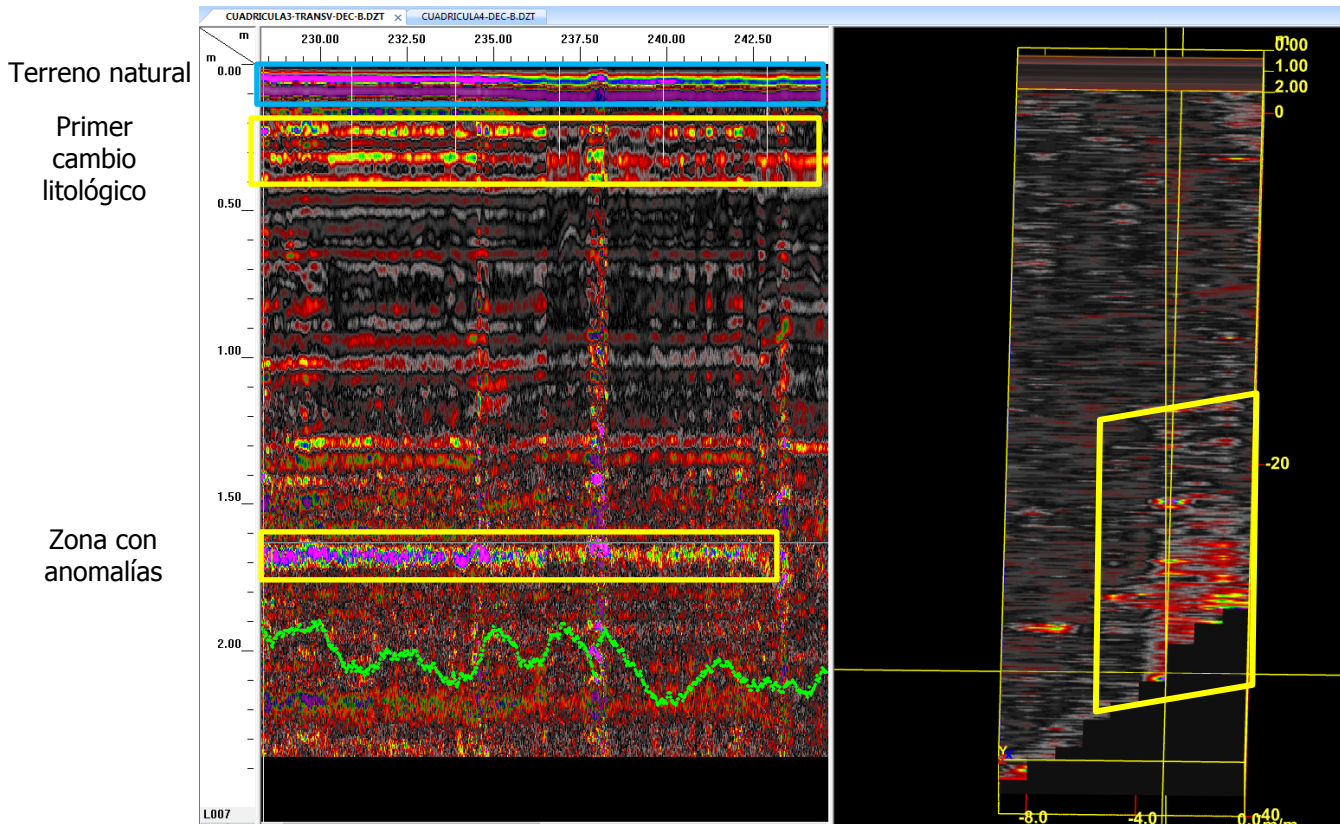


Figura 60. Anomalías del tercer cuadrante.

En la figura 60 vemos como en los primeros centímetros del radargrama, encuadrado en color azul, aparecen grandes anomalías en el radargrama. Estas anomalías son debidas a las palmeras existentes en este cuadrante, ya que son raíces. Estas raíces se sitúan en el terreno natural, fértil, y terminan cuando empieza el cambio litológico a 30 centímetros de profundidad existente en toda la zona estudiada.

A continuación mostramos las coordenadas de la zona a excavar del tercer cuadrante:

	X (metros)	Y (metros)
1	0	23
2	0	28
3	3	23
4	3	32

Y la zona de excavación sobre el plano creado:

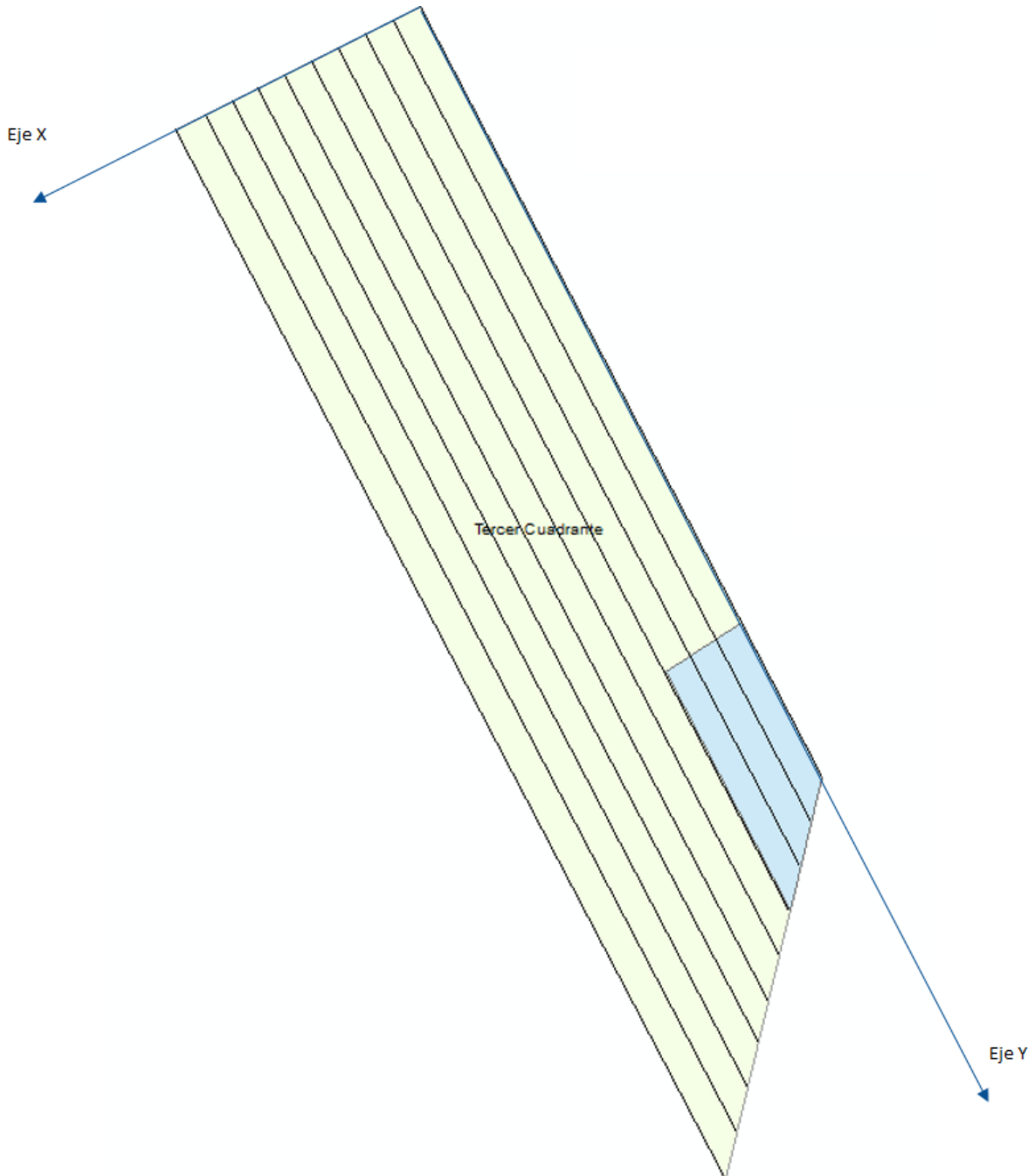
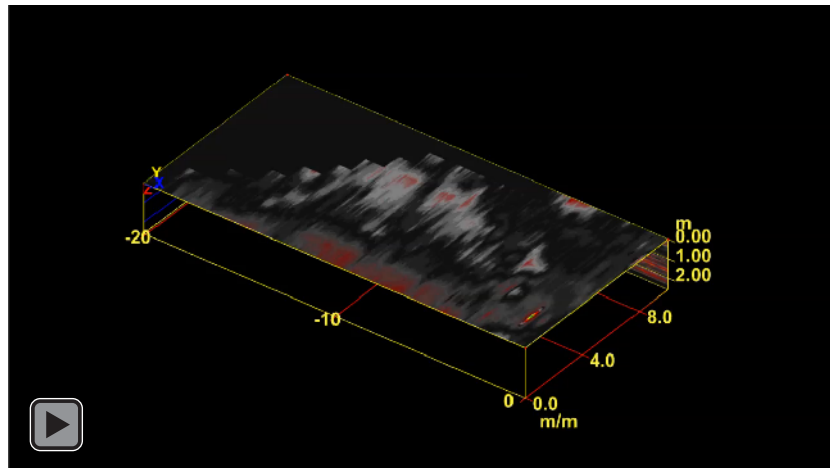


Figura 61. La zona de excavación del tercer cuadrante corresponde con la zona azul con los perfiles transversales realizados con 1 metro de separación, no representándose los longitudinales.

3.5. Cuarto cuadrante

Vemos una animación en tres dimensiones de los perfiles realizados al cuarto cuadrante:



En el cuarto cuadrante vemos dos anomalías, la primera de ellas de forma puntual aparece desde la superficie, y aunque podría ser un reflector superficial que ha provocado toda la línea de anomalías, probablemente algún objeto metálico en la superficie, se procederá a su excavación, debido a que se encuentra muy próximo a una palmera, la cual va a ser cortada y arrancada, por lo que debido a que se extraerán parte de sus raíces, verificaremos que no sea un resto arqueológico.

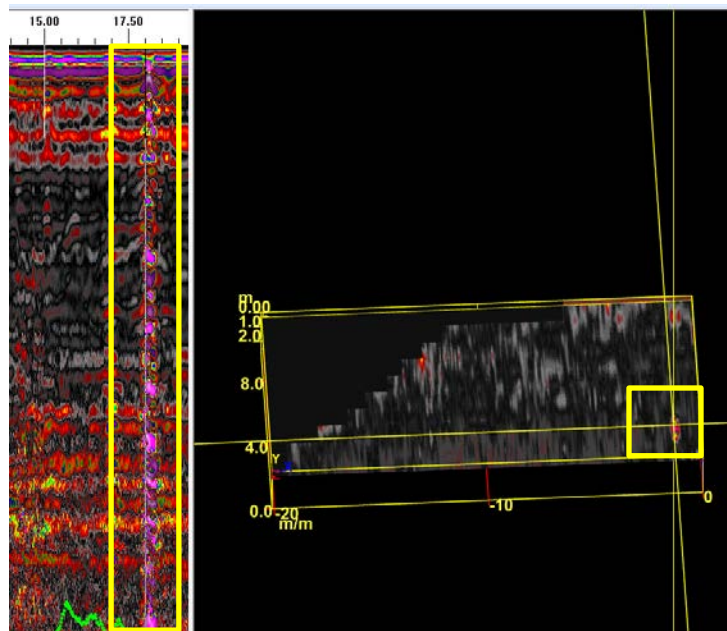


Figura 62. Visualización del punto anómalo.

Una vez detectado el punto anómalo pasamos al grupo de anomalías que nos aparecen en mitad del cuarto cuadrante, teniendo una profundidad de 70 cm, por lo que es una profundidad idónea para la existencia de restos arqueológicos.

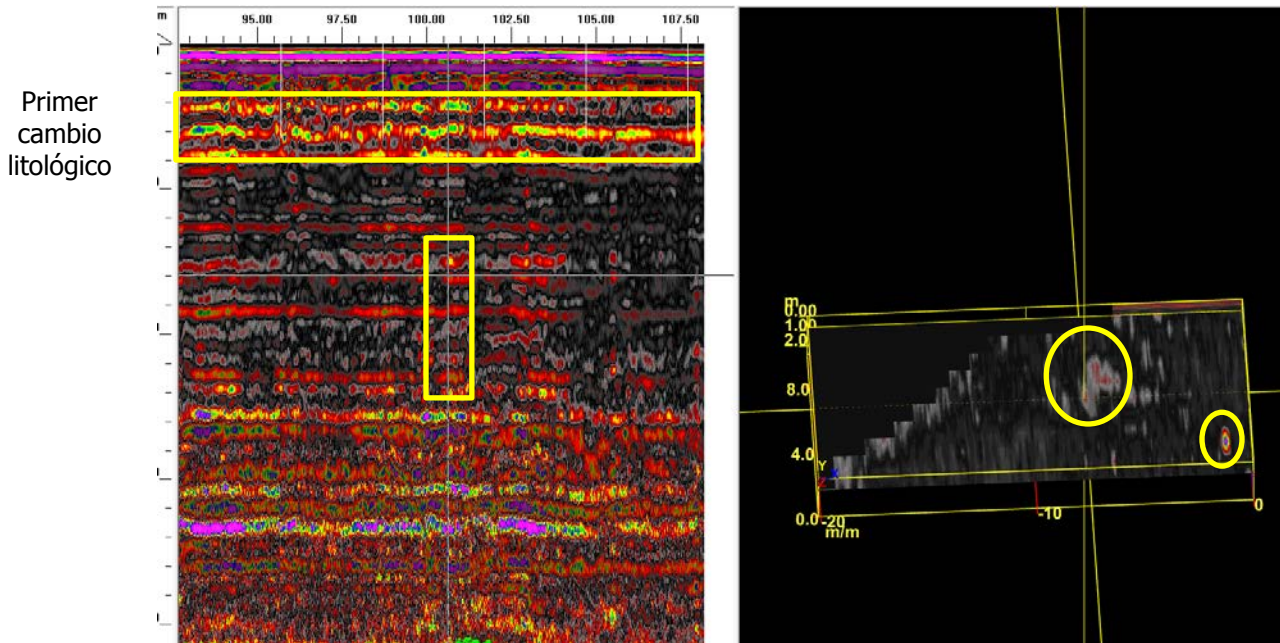


Figura 63. Anomalías del cuarto cuadrante. Visualizamos a la izquierda el rastro creado por la anomalía que se encuentra más a la izquierda en el modelo 3D. En la esquina inferior derecha visualizamos la anomalía puntual.

En la figura 63 vemos como el cambio litológico existente a 30 centímetros de profundidad es común también para esta zona.

Pasamos a visualizar las coordenadas UTM de la zona a excavar:

	X (metros)	Y (metros)
1	5	5
2	5	7
3	8	5
4	8	7

Junto con la anomalía puntual:

	X (metros)	Y (metros)
1	2	0,8

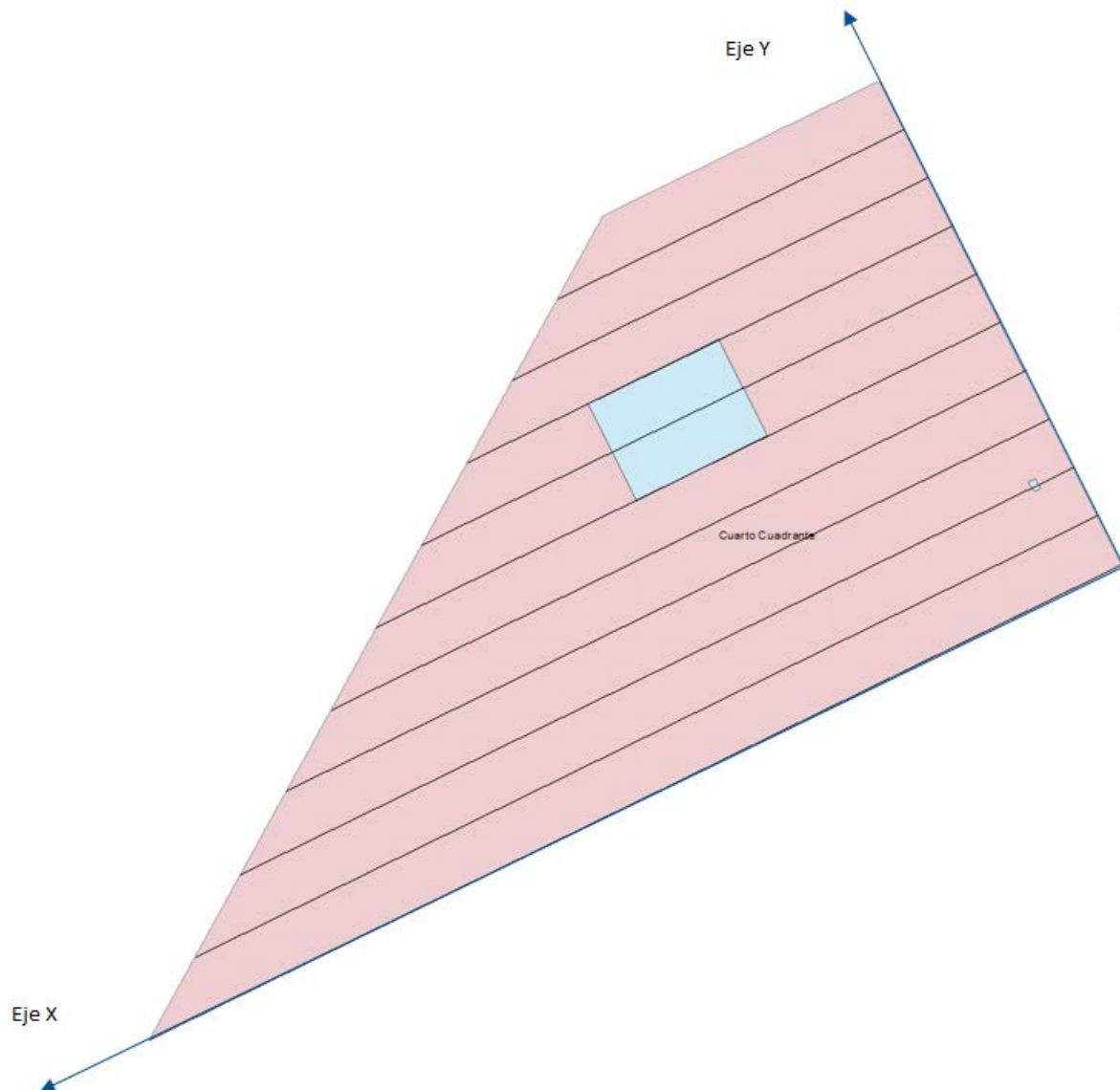


Figura 64. Zonas de excavación del cuarto cuadrante con los perfiles longitudinales realizados con 1 metro de separación, no representándose los transversales.

3.6. Perfiles sueltos en el interior del vallado

Por último al analizar los perfiles sueltos vimos como en la gran mayoría de ellos no había nada reseñable, exceptuando la capa de material que se encuentra a unos 30 centímetros que se vislumbraba en los anteriores cuadrantes, y la existencia de muchas raíces en los primeros centímetros de terreno debido a que la zona de interior al vallado de la torre contenía una gran cantidad de palmeras.

En la figura 37 se han representado los diferentes perfiles realizados en el interior del vallado. A continuación pasamos a ver algunos perfiles.

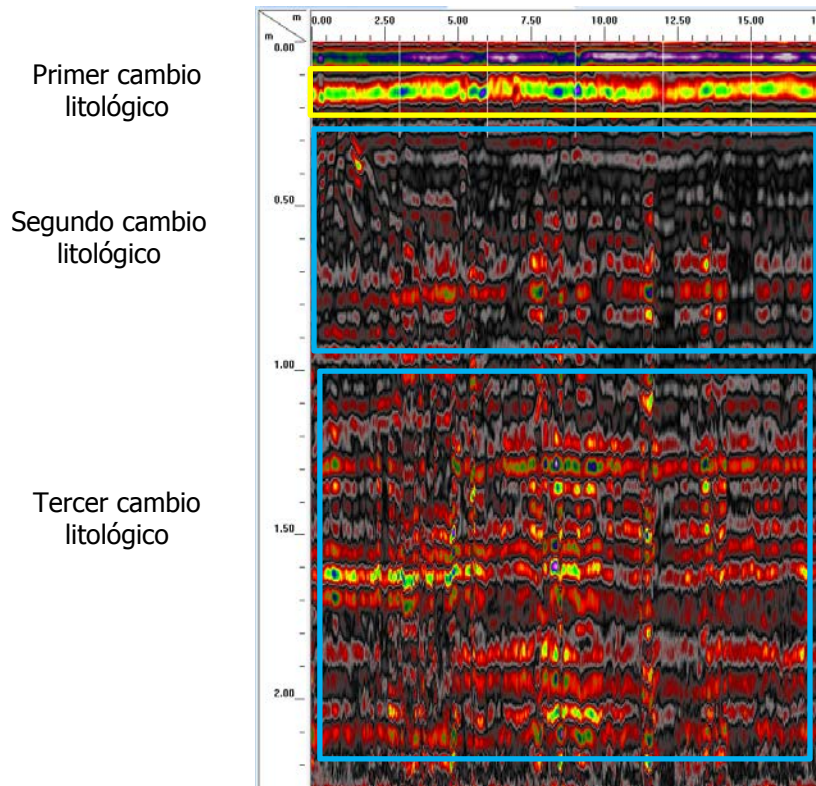


Figura 65. Perfil número 8.

En la figura 65 vemos claramente una copa de material más compactado a unos 15 centímetros de profundidad, lo que nos indica que, el cambio litológico detectado en la cata arqueológica, se encuentra más alto en las zonas más próximas a la torre. Aumentando la profundidad únicamente se observan cambios litológicos naturales.

En la figura anterior podemos ver como existen debajo de este afloramiento dos capas más, la primera encuadrada en azul que termina a metro y medio de profundidad y la segunda que llega hasta el final del modelo.

A continuación vemos otro perfil:

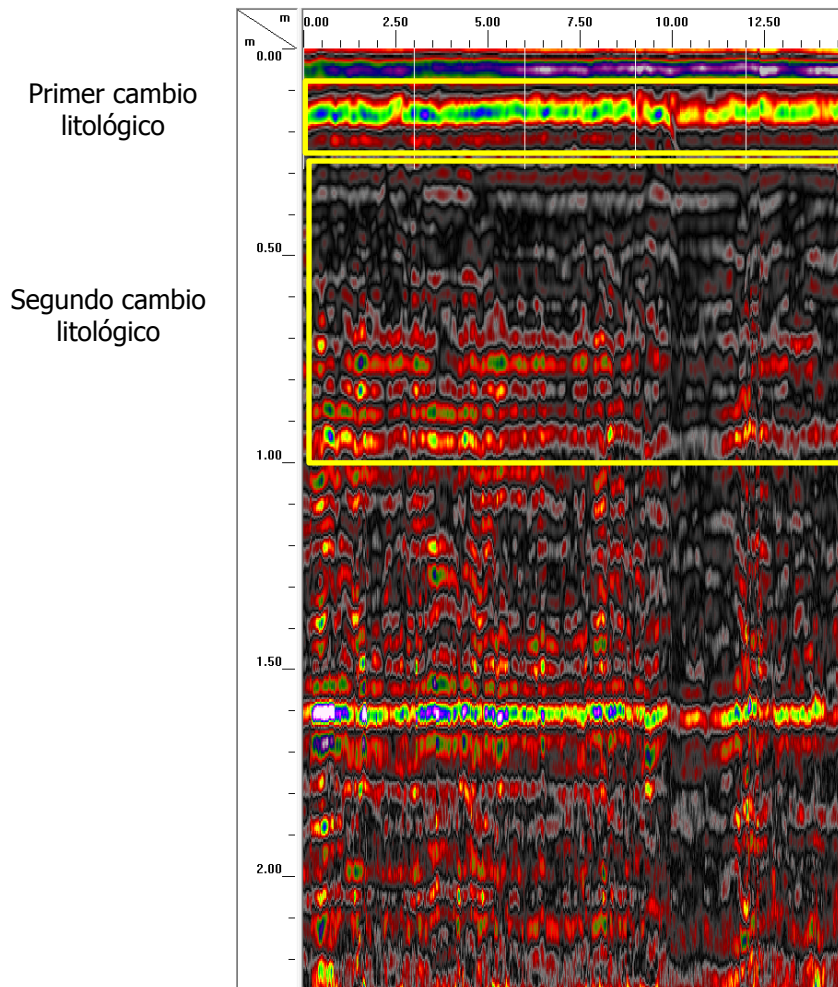


Figura 66. Perfil número 5.

En este perfil correspondiente al número 5, interior al vallado, vemos como se repite la capa litológica a unos 15 centímetros, confirmando que esta capa a medida que nos acercamos a la torre es cada vez más superficial.

Vemos como en este perfil se establecen claramente los cambios litológicos comunes a toda la zona, teniendo la zona más compactada a unos 15 centímetros, teniendo otro cambio litológico hasta los sesenta centímetros terminando alrededor del metro de profundidad, donde comienza un cambio litológico que termina alrededor del metro y sesenta centímetros de profundidad.

3.7. Perfiles sueltos exteriores al vallado

Por último se realizaron 3 perfiles sueltos exteriores al vallado, en la zona sur de la torre. Debido al escaso tamaño que existía entre la valla y una zona de arbustos no se pudieron realizar más perfiles.

El único perfil que es de resaltar es el número 2 debido a que se encuentran dos anomalías que podrían corresponder con alguna construcción debido a la profundidad a la que se encuentran.

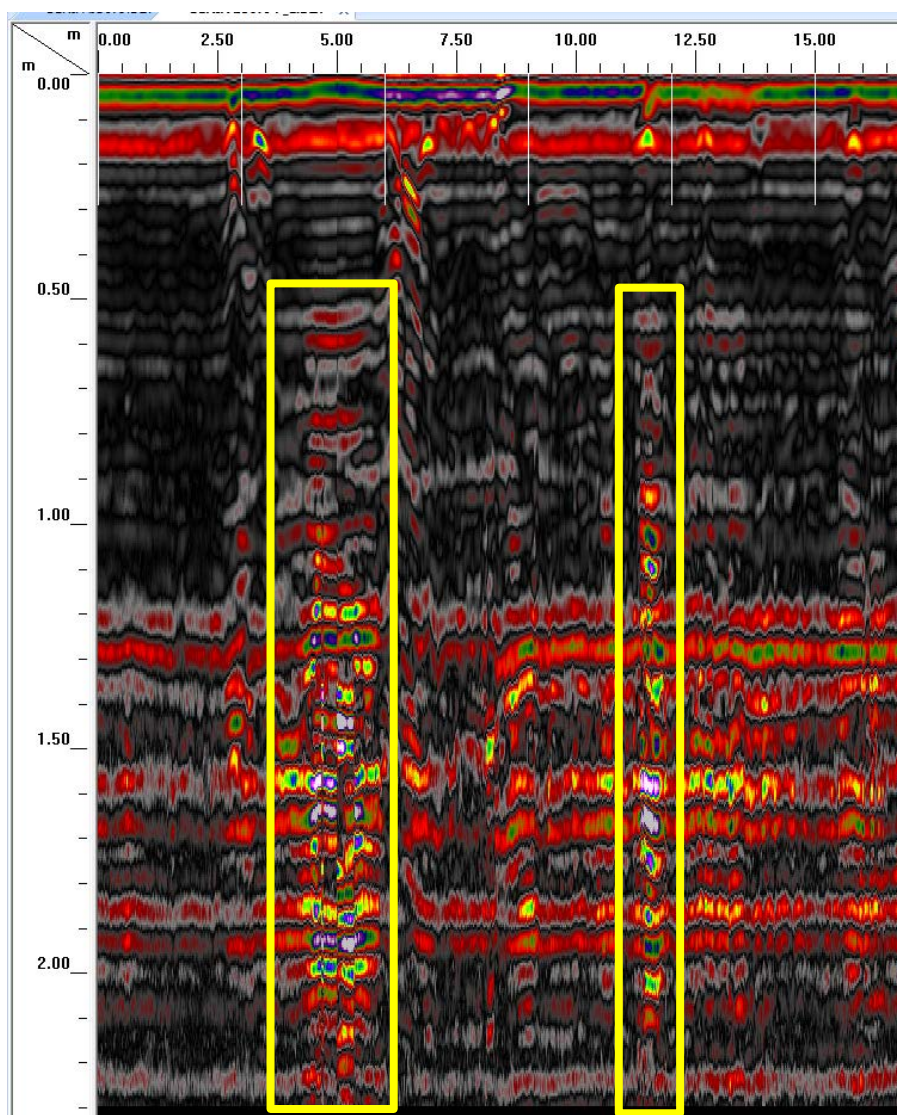


Figura 67. Perfil número 2 de los perfiles sueltos, exterior al vallado de la torre.

Por lo que la zona a excavar será la siguiente:

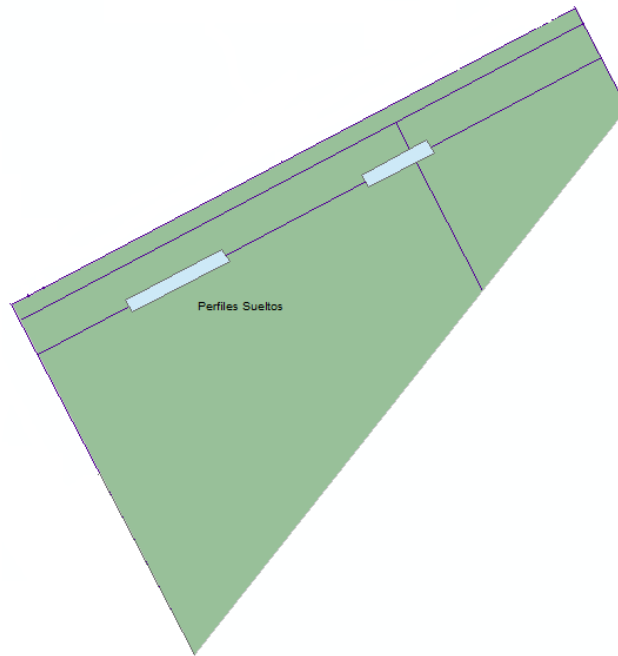


Figura 68. Zona a excavar en la zona de los perfiles sueltos.

4. Catas arqueológicas: Correlación estratigráfica de los radargramas

Por último el 19 de junio de 2014 se realizó una visita a campo para materializar las zonas a excavar, coincidiendo con el comienzo de las obras de rehabilitación del entorno de la Torre Mussa.

Las primeras excavaciones comenzaron a realizarse para la eliminación de algunas palmeras que al estar muy cerca de la torre, y debido a sus dimensiones, podrían afectar a los cimientos de la torre, al igual que se realizó en el lugar en el que se hizo la primera cata arqueológica.

Mientras avanzaba la jornada se fueron materializando las diferentes zonas de excavación utilizando el mismo método que se utilizó para las pasadas del georradar, generando una malla mediante cintas métricas y delimitando las zonas mediante estacas de hierro. En la siguiente imagen vemos la colocación de la estaca sobre el

punto anómalo que se encontraba aislado del cuarto cuadrante. Se puede observar la malla realizada con las cintas métricas:



Figura 71. En la imagen vemos al arquitecto del proyecto a la izquierda, al arqueólogo a la derecha y al fondo a Francisco García. En la circunferencia se observa la estaca colocada.

Por último al final de la jornada al excavar para extraer las raíces de otra palmera se encontró una zona en la que el terreno está mucho más compactado. Esta zona se excavó durante una franja de unos 2 metros de longitud obteniendo el siguiente resultado:



Figura 72. Proceso de limpieza de la zona.

Esta zona se encuentra exactamente a 30 centímetros de profundidad, coincidiendo con la zona que nos había aparecido en todos los radargramas y en el que existía un cambio litológico visto en la primera cata realizada:

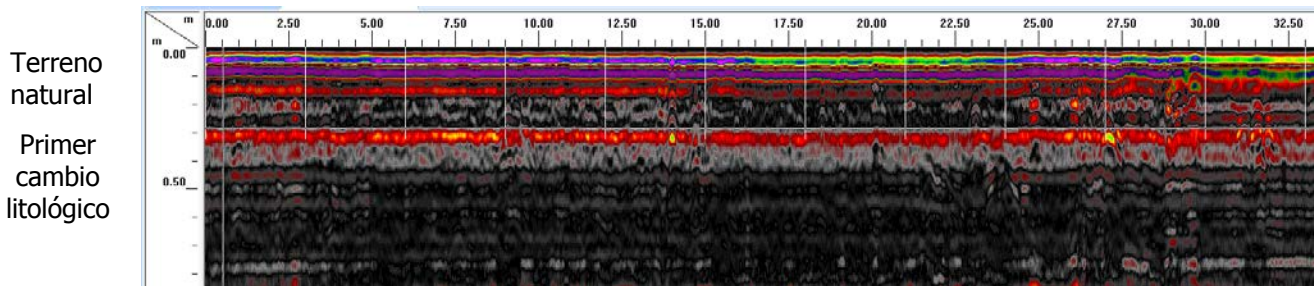


Figura 73. Primer perfil del primer cuadrante.

Una vez se observó la zanja que había realizado la maquinaria se pudo comprobar que a unos 30 centímetros de profundidad sobresale una costra de caliza margosa, muy compactada, y que hablando con los técnicos concluimos que la Torre Mussa se encuentra cimentada sobre esta caliza margosa, la cual fue elegida porque sobresalía del terreno creando una zona ideal para colocar la torre, además de usarla como cimentación natural.

Esta zona de calizas margosas se hunde hasta el metro y medio de profundidad, donde ya se observa un cambio litológico, aun así en los radargramas se observa más claramente la zona más compactada de unos 5 cm. de grosor.

Para más inri esta costra de caliza margosa se sobreeleva en la zona donde se encuentra situada la Torre Mussa, por lo que sería el punto más elevado de todos los alrededores de la zona.

Bloque IV: Conclusiones

Este Proyecto Final de Grado ha supuesto un gran reto en la finalización del Grado en Geomática y Topografía, teniendo que compaginar las diferentes asignaturas con el gran esfuerzo que supone enfrentarse a un Proyecto Final de Grado. Durante la realización de este proyecto he conseguido mi objetivo principal que era el de conocer más a fondo una herramienta tan versátil como es el georradar, herramienta que utilizamos durante la formación pero que siendo una herramienta tan potente y solicitada actualmente se necesita de más tiempo para profundizar en su manejo y, sobre todo, interpretación.

Durante la realización de este proyecto, la evaluación de la potencialidad arqueológica del subsuelo circundante a la Torre Mussa, se ha podido comprobar cómo tanto técnicos como arqueólogos tomaban muy en consideración el trabajo que realizaba el georradar, consiguiendo los siguientes resultados:

1. En la puesta en campo de nuestros resultados hemos comprobado como las anomalías detectadas en gabinete se correlacionaban en campo con cambios litológicos en el terreno, como el cambio en la compactación de la caliza margosa sobre la que está cimentada la Torre Mussa, y que llega hasta el metro y medio de profundidad, teniendo un espesor de hasta 1.20 metros en las zonas más próximas a la Torre Mussa.
2. Gracias a los radargramas hemos podido comprobar como esta caliza margosa se elevaba en las inmediaciones de la Torre Mussa, lo que a los constructores les dejaba un emplazamiento ideal, siendo la zona más alta de las inmediaciones y con un material resistente sobre el que cimentar la base de la torre.
3. Al realizar las catas arqueológicas se pudo determinar que algunos puntos anómalos como los localizados en el cuarto cuadrante se correspondían a vasijas o macetas enterradas por la actividad agraria del hombre sin valor arqueológico. En las catas realizadas no se obtuvo ningún resto arqueológico.
4. Se ha eliminado un gran porcentaje de terreno a valorar. La zona de estudio tenía una superficie de 1540 m² y la zona de excavación 90 m², lo que supone que se ha eliminado un 94% de terreno en el que no existía ningún tipo de restos arqueológicos.

5. Al centrarse únicamente en las zonas con anomalías detectadas por el georradar el coste de la excavación se ve reducido drásticamente, pudiendo dedicar tiempo y recursos a otros apartados del proyecto.

Finalmente concluimos que la Torre Mussa es una torre exenta, no existiendo restos arqueológicos en el subsuelo circundante, permitiendo que el plan de puesta en valor de la Torre Mussa, construyendo una zona dotacional sobre la parcela de terreno municipal, se pueda llevar a cabo.

Bibliografía

Libros

- Francesc Almela i Vives. "Valencia y su reino". Ayuntamiento de Valencia. 2004 (1969).
- Francesc Beltrán i López. "La torre de Benifaió". Ajuntament de Benifaió. Benifaió. 2000.
- Francisco G. Seijo Alonso. "Torres de vigía y defensa contra los piratas berberiscos en la costa del Reino de Valencia". Seijo. 1978.
- Francisco García García. "Geofísica".
- Juan Eslava Gala. "Materiales y técnicas constructivas en la fortificación bajomedieval". Universidad de Granada. 1984.
- Vicente Coscolla Sanz. "La Valencia Musulmana". Carena Editors. 2003.

Manuales

- Geophysical Survey Systems, Inc. "User's Manual RADAN 6.5". 2003.
- Geophysical Survey Systems, Inc. "User's Manual RADAN 7". 2012.

Tesis

- Vicente Pellicer Llopis. "Ensayos no destructivos en hormigón. Georradar y ultrasonidos". 2014.

Diario oficial

BOE-A-2000-3995. Orden de 31 de mayo de 2005, de la Consejería de Cultura, Educación y Deporte, por la que se delimita el entorno de protección de la Torre Muza de Benifaió (Valencia) y se establece la normativa de protección.

Documento BOE-A-2006-4874. RESOLUCIÓN de 12 de enero de 2000, de la Dirección General de Promoción Cultural y Patrimonio Artístico de la Consejería de Cultura, Educación y Ciencia, por la que se acuerda tener por incoado expediente de

delimitación del entorno de protección y de determinación de la normativa de protección de la torre Muza, en Benifaió (Valencia).

Congresos

LÓPEZ MATEU, Vicente, et. al. "Estudios previos para la restauración de la torre muza de Benifaio (Valencia): Un planteamiento multidisciplinar en el ámbito universitario". En: Construcción con tierra. Patrimonio y Vivienda. X CIATTI. Congreso de arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2013. [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2013. P. 177-186. Disponible en internet: <http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2014/177-186-lopez.pdf>

RODRÍGUEZ PEDRAZA, Dolores. "Torres vigía de la Valencia musulmana". En: Construcción con tierra. Tecnología y Arquitectura. Congresos de arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2010/2011. [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2011. P. 113-120. Disponible en internet: http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2011/2011_9788469481073_p_113-120_rodriguez.pdf

Páginas web

<http://www.betera.es/ciudad/turismo-y-patrimonio/torre-bofilla/>

<http://www.castilloscomunidadvalenciana.com/>

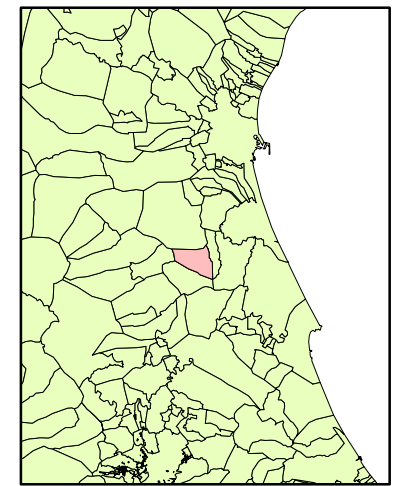
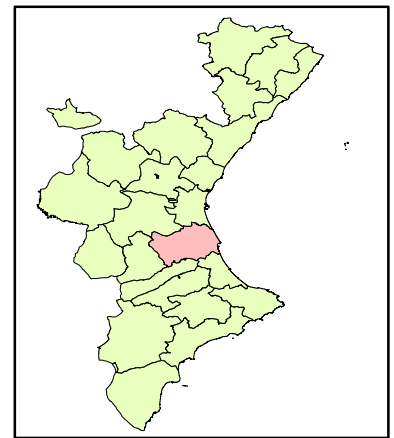
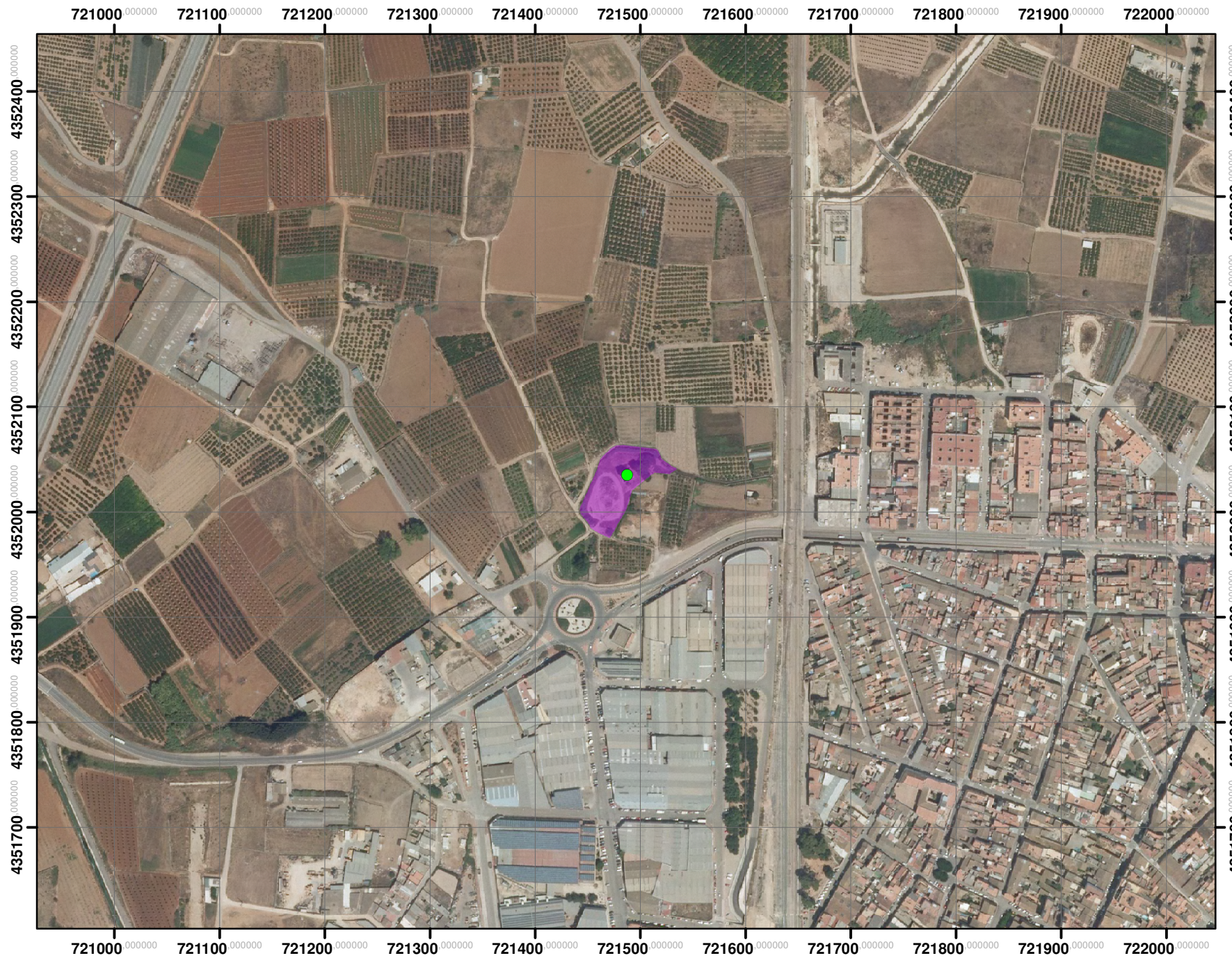
http://www.cult.gva.es/dgpa/arquitectonico_c.html

Agradecimientos


En primer lugar quiero agradecerle al profesor Dr. Francisco García García todo el apoyo prestado y su dedicación absoluta durante la realización de este proyecto, así como a todos los profesores que han tenido la puerta de su despacho abierta a todas las dudas que he tenido en la realización de este Trabajo Fin de Grado.

En definitiva, agradecer a todo el personal docente e investigador que durante todos estos años me ha formado hasta llegar a este punto, la finalización de una carrera en la cual llego jadeando a la meta, pero con el orgullo de haber logrado mi objetivo final.

Además quiero agradecer el apoyo prestado por mi familia, además de por Irene y todos mis amigos que me han aguantado durante todos estos meses de agobios y nerviosismo.



- Leyenda**
- Torre
 - Parcela catastral

	Localización de la Torre Mussa (Benifaió)		Autor	Juan Pedro Carbonell Rivera		Sistema de Referencia	ETRS 1989		Firma	Anexo N ^º 01
	Proyecto Final de Grado (Grado en Ingeniería en Geomática y Topografía)			Fecha	07/07/2014	Escala	1/5000	Proyección		

CONSULTA DESCRIPTIVA Y GRÁFICA DE DATOS CATASTRALES
BIENES INMUEBLES DE NATURALEZA RÚSTICA

Municipio de BENIFAIO Provincia de VALENCIA

REFERENCIA CATASTRAL DEL INMUEBLE
46060A004002990000TE

DATOS DEL INMUEBLE

LOCALIZACIÓN

Polígono 4 Parcela 299

FONT DE MUSSA. BENIFAIO [VALENCIA]

USO LOCAL PRINCIPAL

Agrario

AÑO CONSTRUCCIÓN

--

COEFICIENTE DE PARTICIPACIÓN

100,00000

SUPERFICIE CONSTRUIDA [m²]

--

DATOS DE LA FINCA A LA QUE PERTENECE EL INMUEBLE

SITUACIÓN

Polígono 4 Parcela 299

FONT DE MUSSA. BENIFAIO [VALENCIA]

SUPERFICIE CONSTRUIDA [m²]

--

SUPERFICIE SUELO [m²]

3.922

TIPO DE FINCA

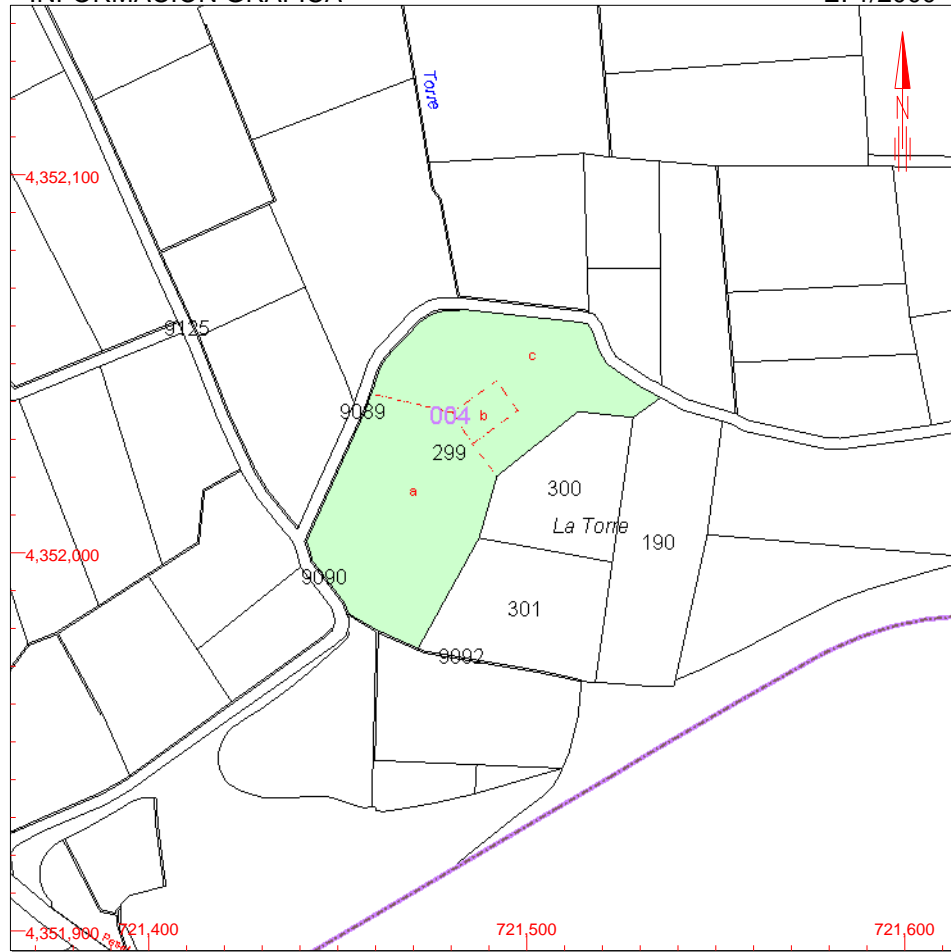
--

SUBPARCELAS

Subparcela	CC	Cultivo	IP	Superficie [Ha]
a	CR	Labor o labradío regadío	02	0,2138
b	I-	Improductivo	00	0,0143
c	E-	Pastos	00	0,1641

INFORMACIÓN GRÁFICA

E: 1/2000

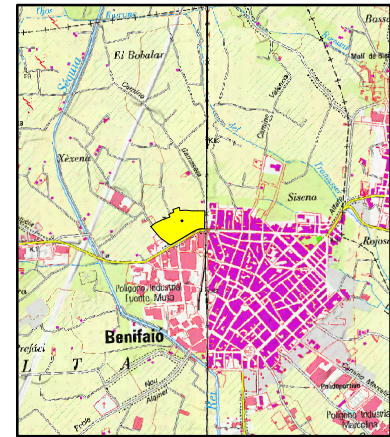
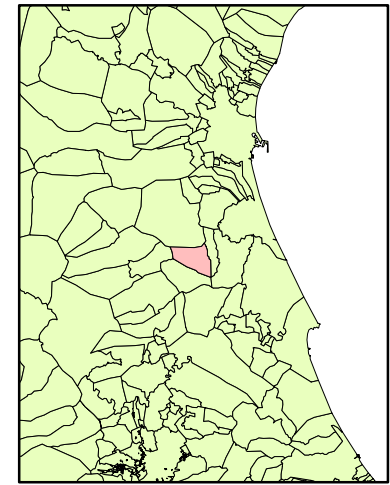
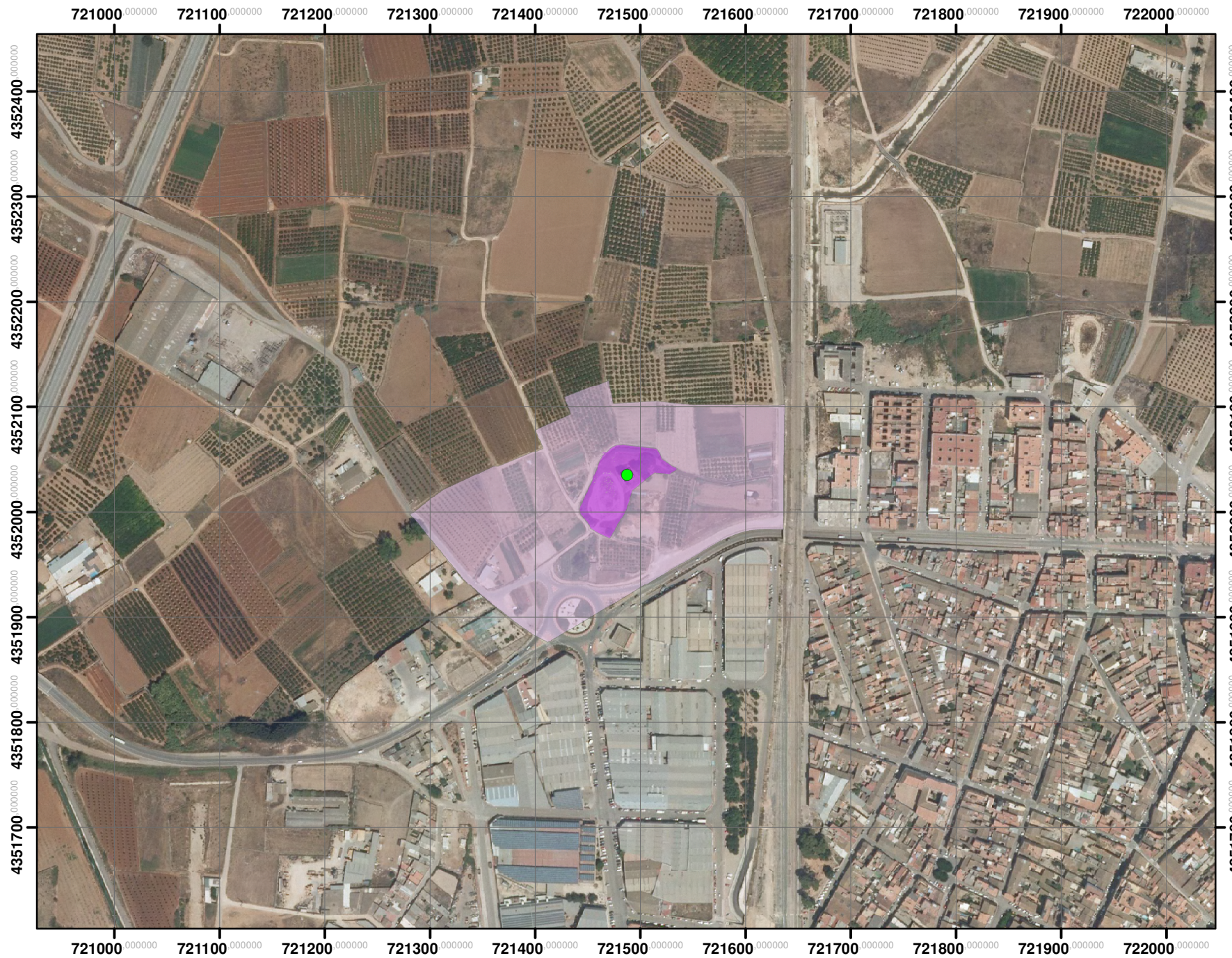


Este documento no es una certificación catastral, pero sus datos pueden ser verificados a través del 'Acceso a datos catastrales no protegidos' de la SEC.

721,600 Coordenadas U.T.M. Huso 30 ETRS89


- Límite de Manzana
- Límite de Parcela
- Límite de Construcciones
- Mobiliario y aceras
- Límite zona verde
- Hidrografía

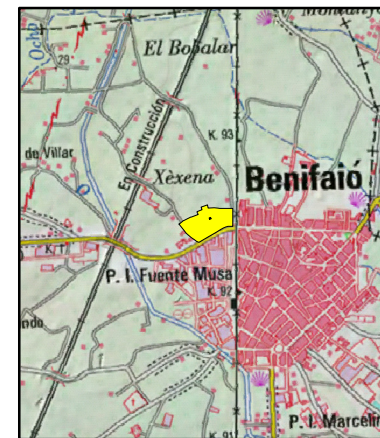
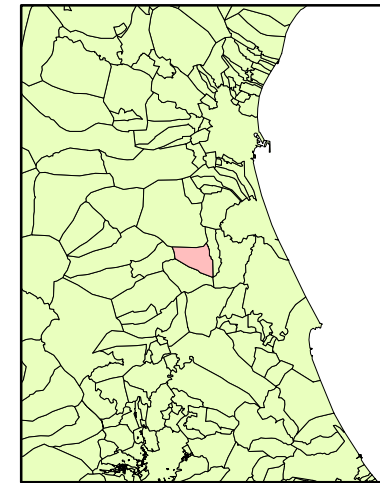
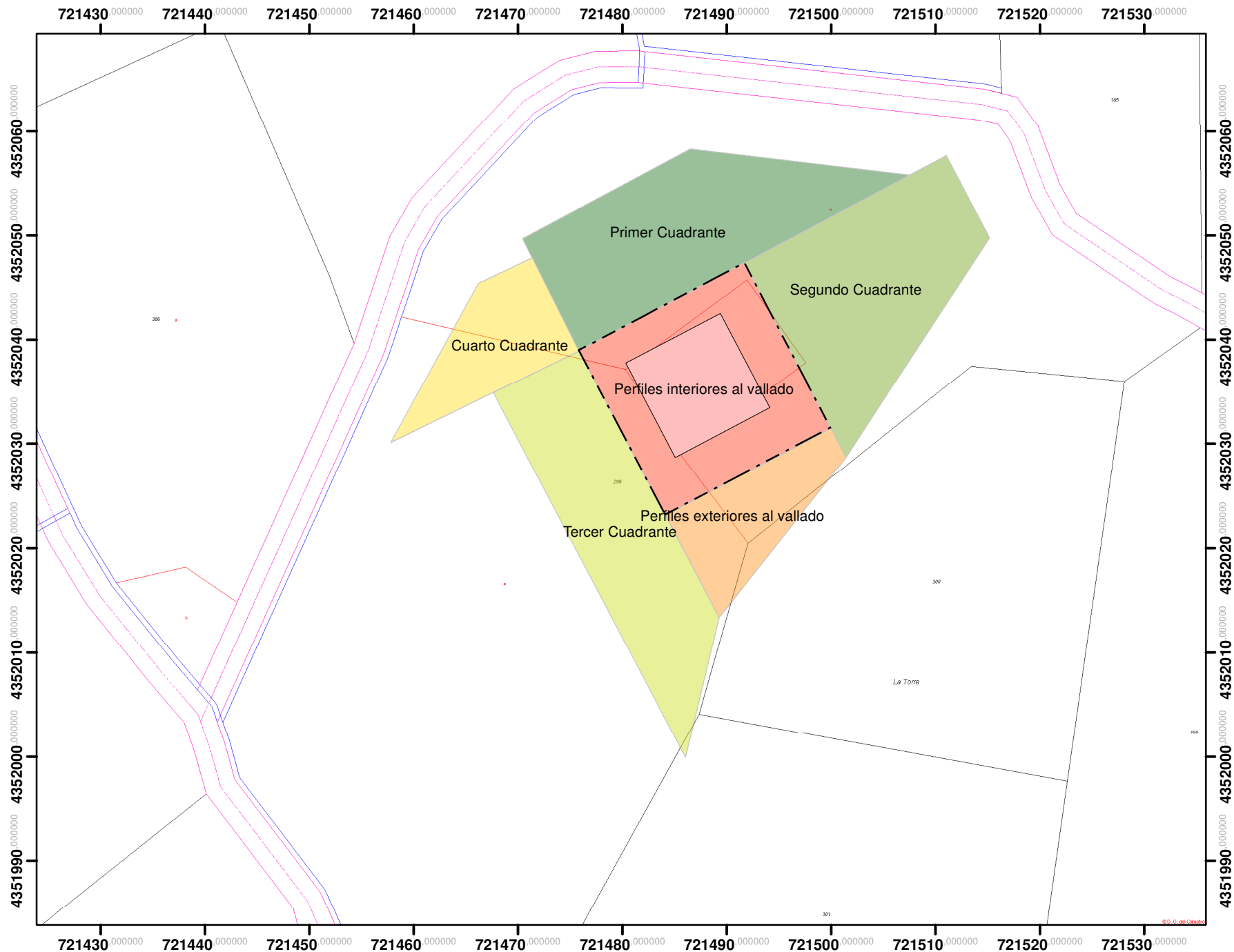
Domingo , 22 de Junio de 2014



Leyenda

- Torre
- Parcela catastral
- Entorno de protección

	Entorno de protección de la Torre Mussa		Autor	Juan Pedro Carbonell Rivera	Sistema de Referencia	ETRS 1989	Firma	Anexo Nº 03
	Proyecto Final de Grado (Grado en Ingeniería en Geomática y Topografía)		Fecha	07/07/2014	Escala	1/5000		



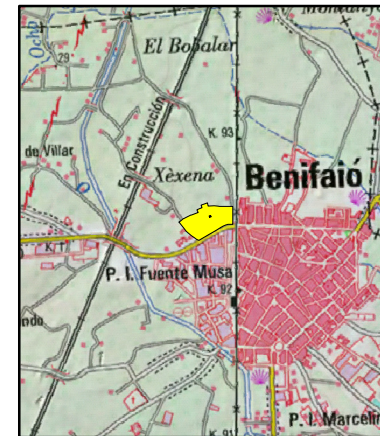
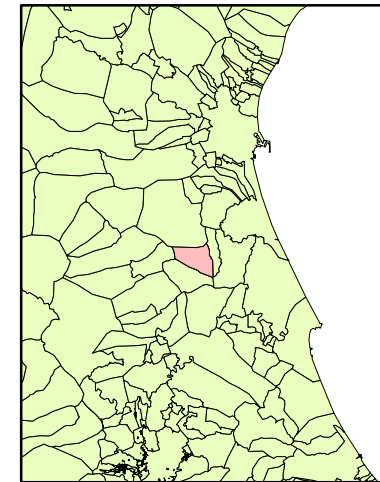
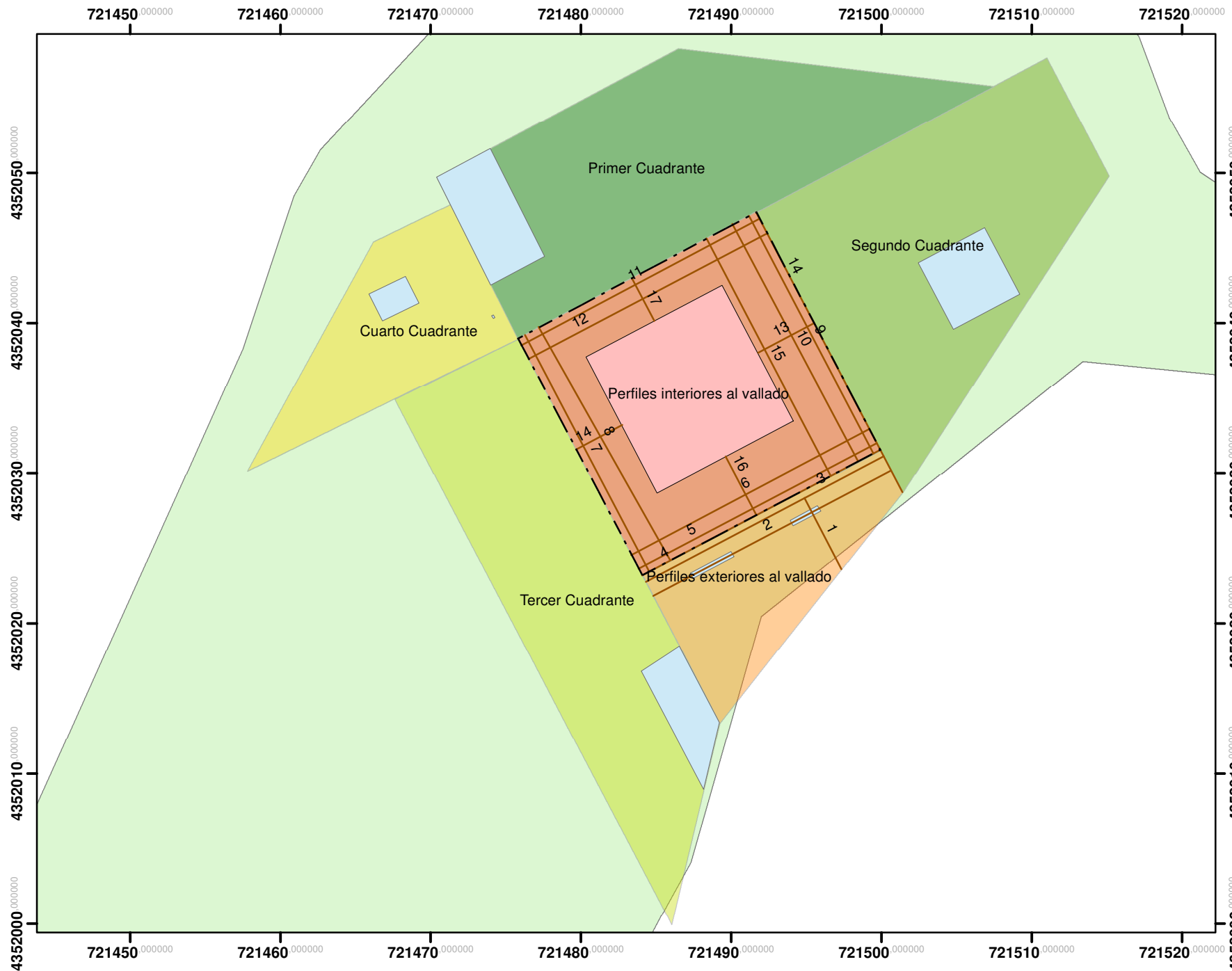
Leyenda

- - - Vallado
- TorreMussa

Radargramas

- Primer Cuadrante (1x1 m)
- Segundo Cuadrante (1x1 m)
- Tercer Cuadrante (1x1 m)
- Cuarto Cuadrante (1x1 m)
- Perfiles exteriores al vallado
- Perfiles interiores al vallado

	Zonas de estudio		Autor Juan Pedro Carbonell Rivera		Sistema de Referencia ETRS 1989		Firma		Anexo Nº	
	Proyecto Final de Grado (Grado en Ingeniería en Geomática y Topografía)		Fecha 07/07/2014	Escala 1/500	Proyección UTM - Huso 30				04	

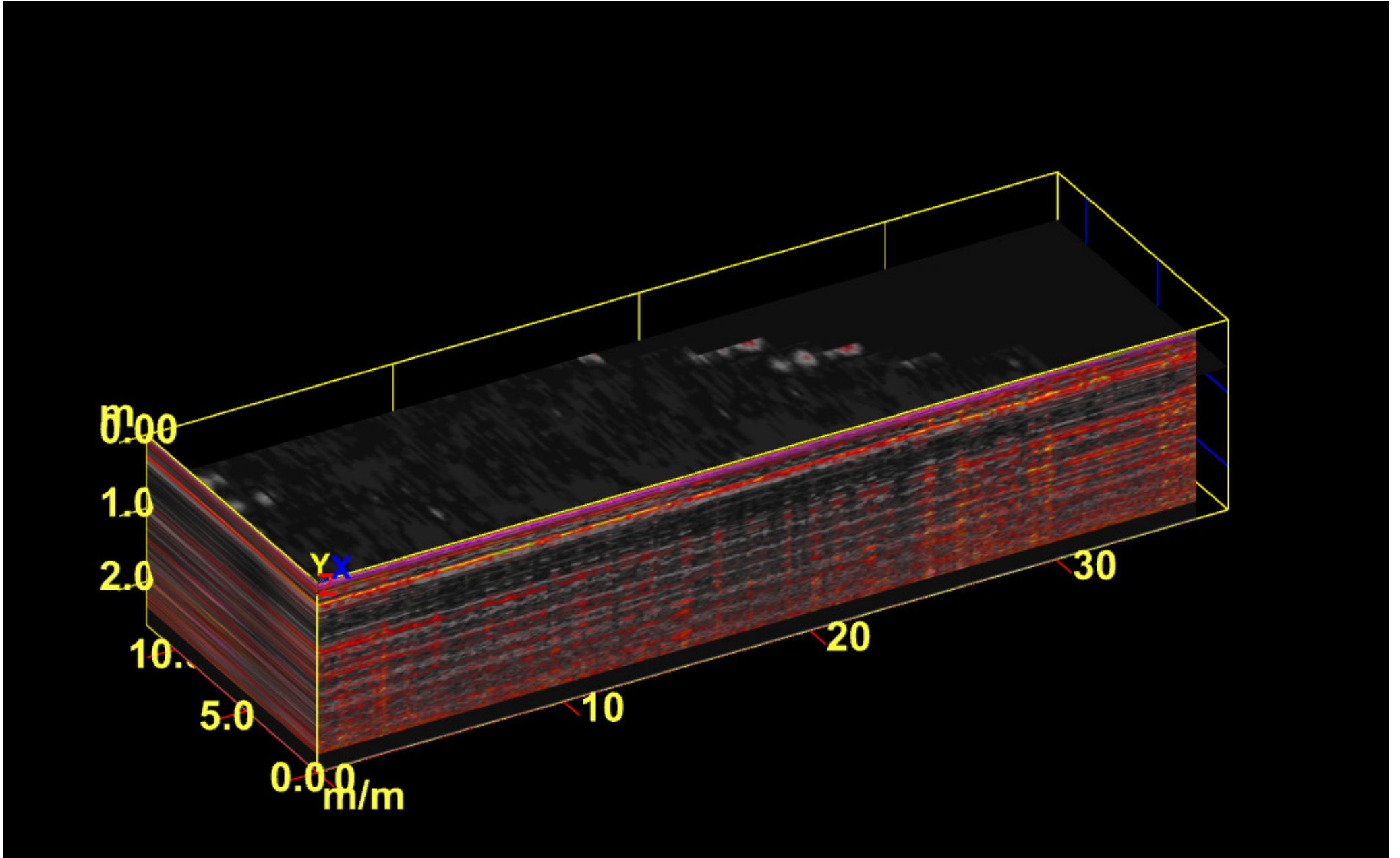


Leyenda

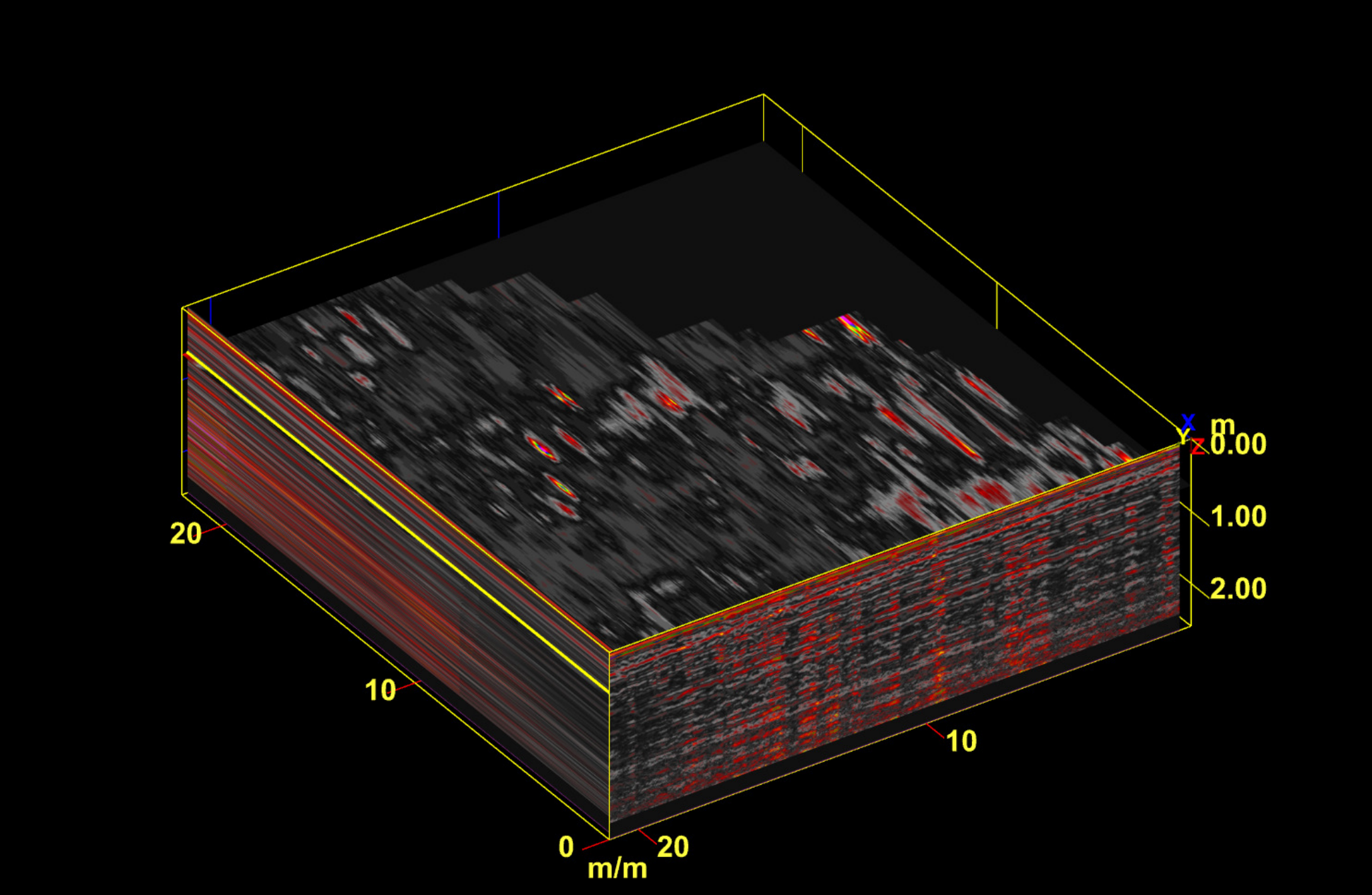
- - Vallado
 - Perfiles
 - TorreMussa
 - Zonas de excavación
 - Parcela catastral
- Radargramas**
- Primer Cuadrante (1x1 m)
 - Segundo Cuadrante (1x1 m)
 - Tercer Cuadrante (1x1 m)
 - Cuarto Cuadrante (1x1 m)
 - Perfiles exteriores al vallado
 - Perfiles interiores al vallado

	Zonas de excavación		Autor Juan Pedro Carbonell Rivera		Sistema de Referencia ETRS 1989		Firma		Anexo N ^o	
	Proyecto Final de Grado (Grado en Ingeniería en Geomática y Topografía)		Fecha 07/07/2014	Escala 1/350	Proyección UTM - Huso 30				05	

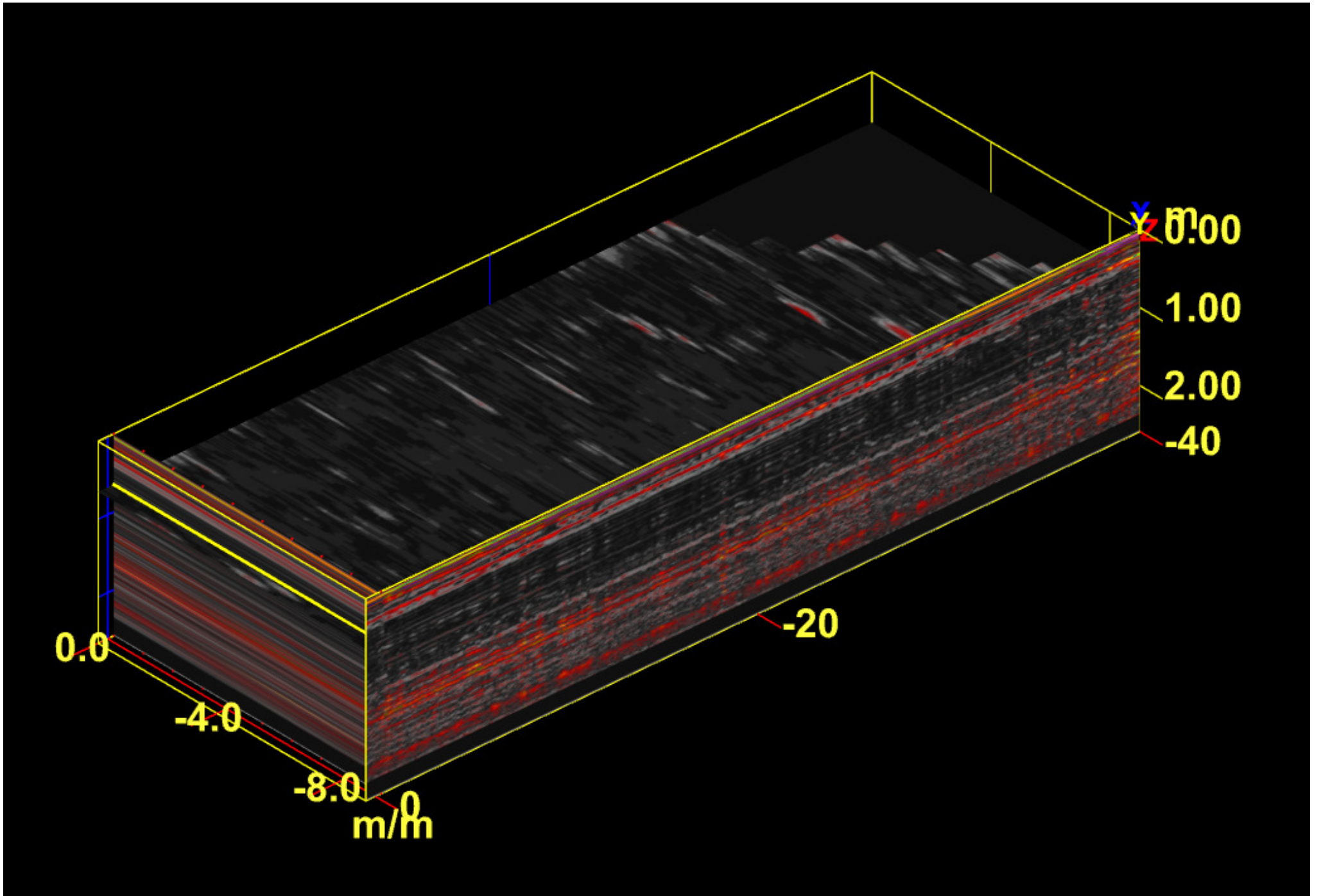
Modelo 3D del Primer Cuadrante



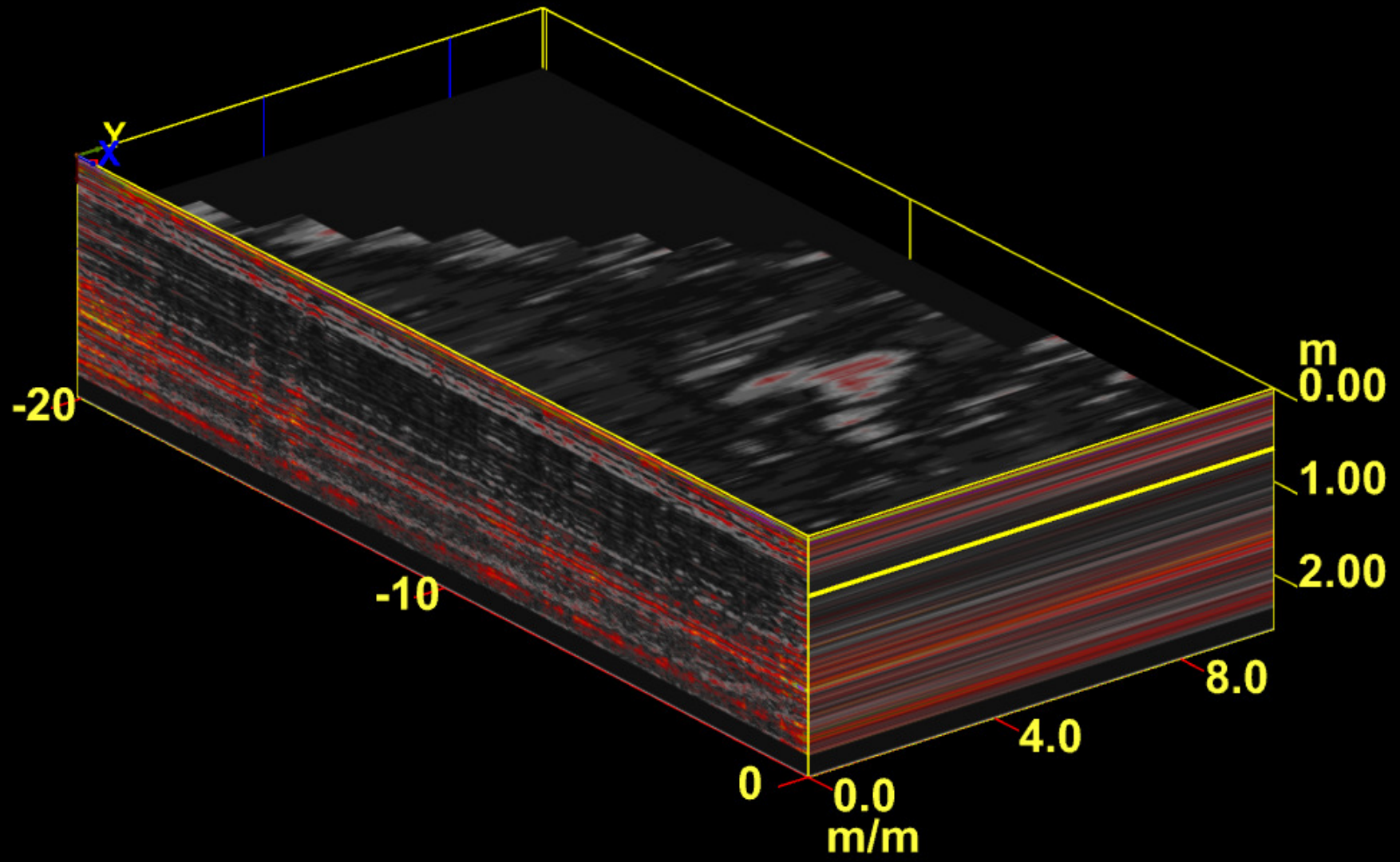
Modelo 3D del Segundo Cuadrante



Modelo 3D del Tercer Cuadrante



Modelo 3D del Cuarto Cuadrante



Header File Parameters

Original File Name	BENIFAIO001
Created	Jun, 01 2014, 11:08:08
Modified	Jul, 03 2014, 20:56:40
Number of Channels	1

Horizontal Parameters

Scans / Sec	64
Scans / Unit (m)	40
Units / Mark (m)	3

Vertical Parameters

Samps / Scan	512
Bits / Sample	16
Dielectric Constant	12,11

Channel Information

Channel	1
Antenna Type	400MHz
Antenna Serial #	0
Position (ns)	-6
Range (ns)	60
Top Surface (m)	-0,258625
Depth (m)	2,58625

Processing History**Range Gain**

# Of Points	4
Gain 1	-20
Gain 2	22
Gain 3	47
Gain 4	47

Position Correction

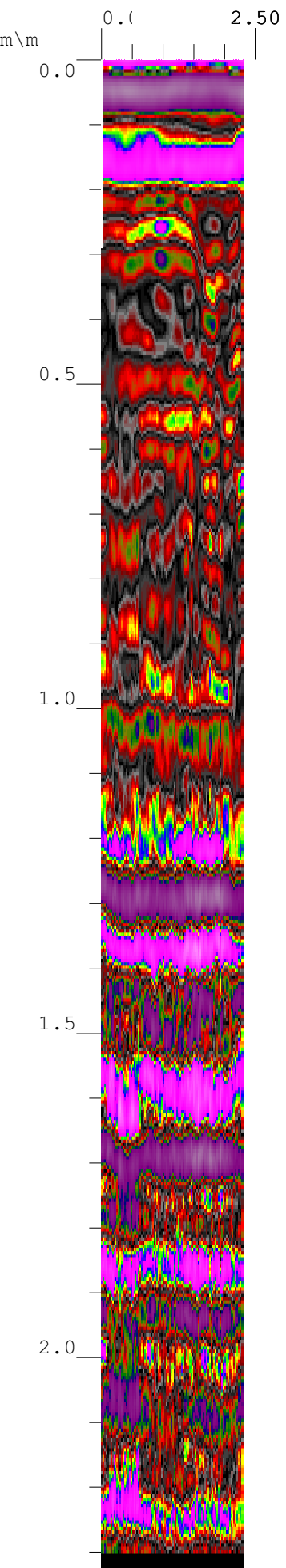
Shift (nS)	-1,025
------------	--------

IIR Filters**Vertical (MHz)**

Low Pass	800
High Pass	100

Position Correction

Shift (nS)	-0,703125
------------	-----------



Header File Parameters

Original File Name	BENIFAIO002
Created	Jun, 01 2014, 11:05:22
Modified	Jul, 03 2014, 20:51:50
Number of Channels	1

Horizontal Parameters

Scans / Sec	64
Scans / Unit	40
Units / Mark	3

Vertical Parameters

Samps / Scan	512
Bits / Sample	16
Dielectric Constant	12,11

Channel Information

Channel	1
Antenna Type	400MHz
Antenna Serial #	0
Position (ns)	-6
Range (ns)	60
Top Surface	-0,258625
Depth	2,58625

Processing History**Range Gain**

# Of Points	4
Gain 1	-20
Gain 2	22
Gain 3	47
Gain 4	47

Position Correction

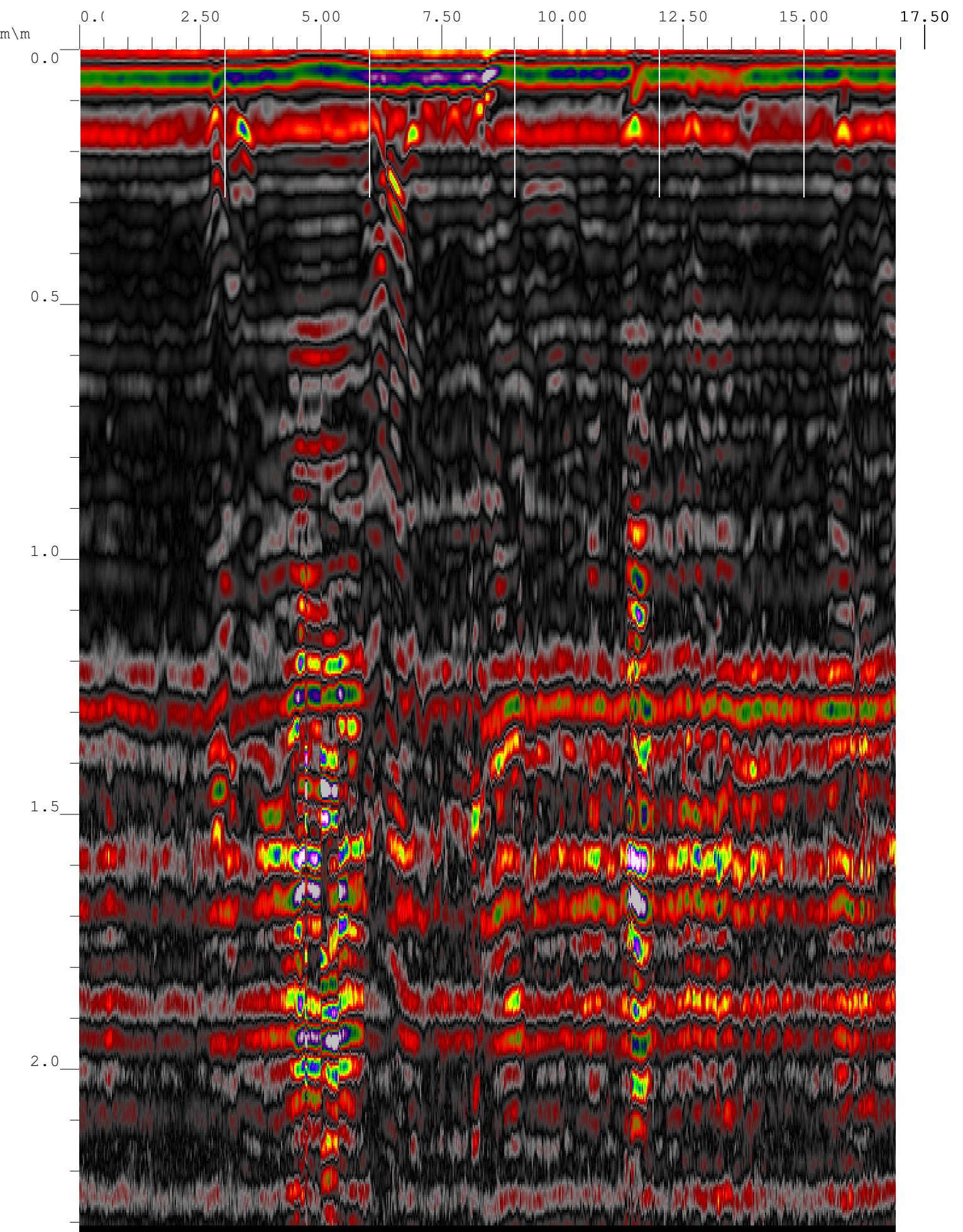
Shift (nS)	-1,025
------------	--------

IIR Filters**Vertical (MHz)**

Low Pass	800
High Pass	100

Position Correction

Shift (nS)	-0,5859375
------------	------------



Header File Parameters

Original File Name	BENIFAIO003
Created	Jun, 01 2014, 11:03:06
Modified	Jul, 03 2014, 21:01:32
Number of Channels	1

Horizontal Parameters

Scans / Sec	64
Scans / Unit	40
Units / Mark	3

Vertical Parameters

Samps / Scan	512
Bits / Sample	16
Dielectric Constant	12,11

Channel Information

Channel	1
Antenna Type	400MHz
Antenna Serial #	0
Position (ns)	-6
Range (ns)	60
Top Surface	-0,258625
Depth	2,58625

Processing History**Range Gain**

# Of Points	4
Gain 1	-20
Gain 2	22
Gain 3	47
Gain 4	47

Position Correction

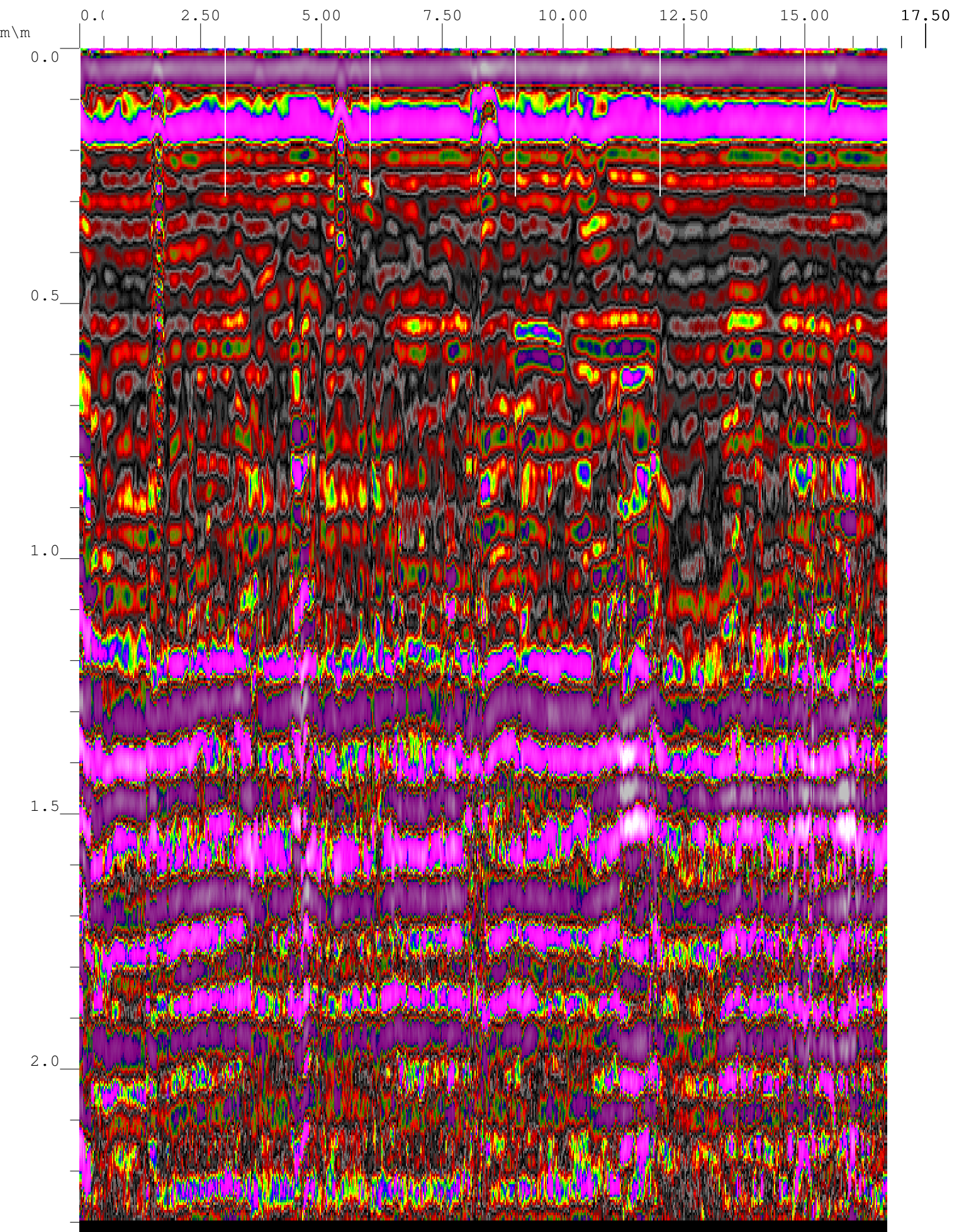
Shift (nS)	-1,025
------------	--------

IIR Filters**Vertical (MHz)**

Low Pass	800
High Pass	100

Position Correction

Shift (nS)	-0,8203125
------------	------------



Header File Parameters

Original File Name	BENIFAIO004
Created	Jun, 01 2014, 13:49:56
Modified	Jul, 03 2014, 21:05:24
Number of Channels	1

Horizontal Parameters

Scans / Sec	64
Scans / Unit (m)	40
Units / Mark (m)	3

Vertical Parameters

Samps / Scan	512
Bits / Sample	16
Dielectric Constant	12,11

Channel Information

Channel	1
Antenna Type	400MHz
Antenna Serial #	0
Position (ns)	-6
Range (ns)	60
Top Surface (m)	-0,258625
Depth (m)	2,58625

Processing History**Range Gain**

# Of Points	4
Gain 1	-20
Gain 2	32
Gain 3	45
Gain 4	52

Position Correction

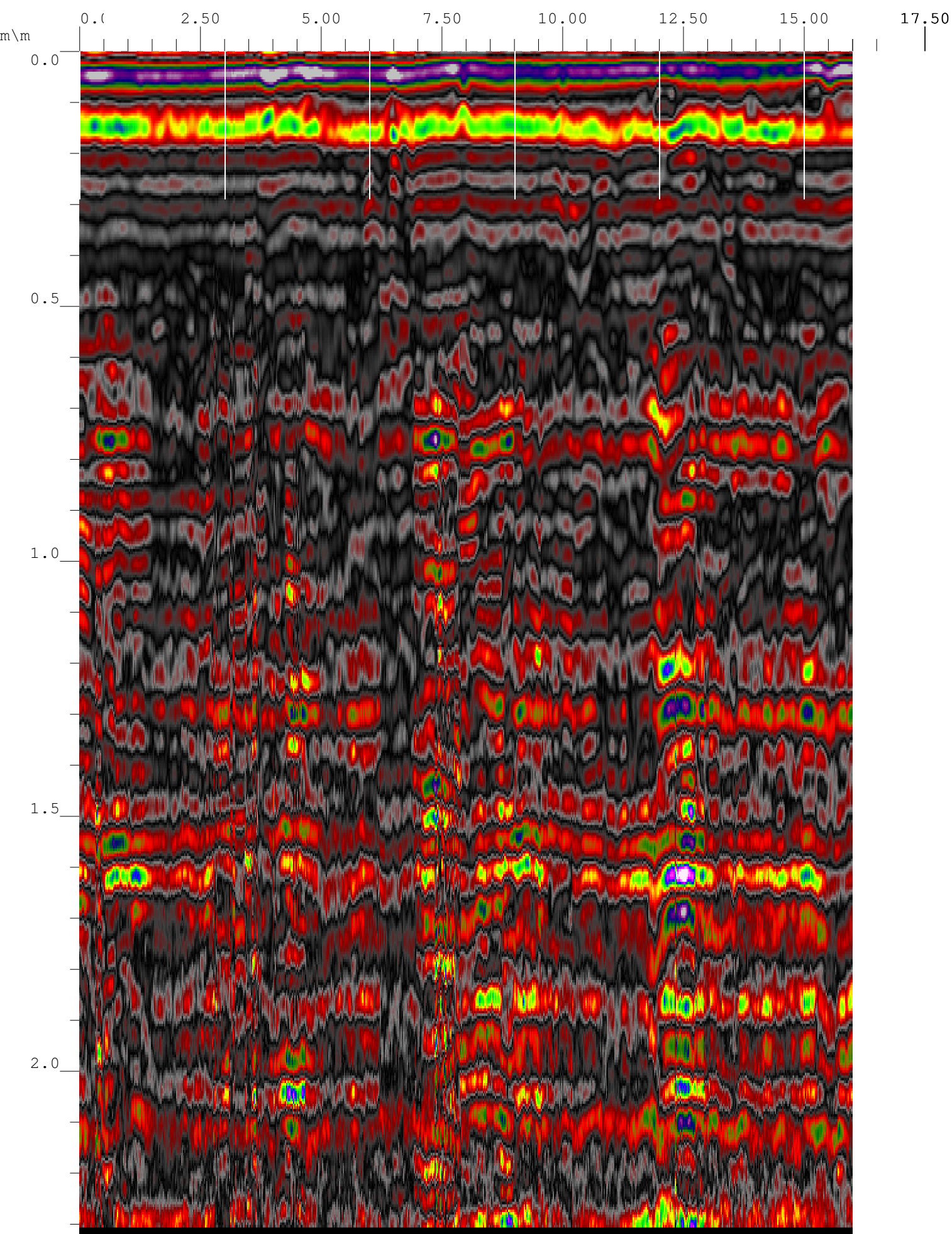
Shift (nS)	-0,9000001
------------	------------

IIR Filters**Vertical (MHz)**

Low Pass	800
High Pass	100

Position Correction

Shift (nS)	-0,5859375
------------	------------



Header File Parameters

Original File Name	BENIFAIO005
Created	Jun, 01 2014, 13:50:50
Modified	Jul, 03 2014, 21:06:02
Number of Channels	1

Horizontal Parameters

Scans / Sec	64
Scans / Unit	40
Units / Mark	3

Vertical Parameters

Samps / Scan	512
Bits / Sample	16
Dielectric Constant	12,11

Channel Information

Channel	1
Antenna Type	400MHz
Antenna Serial #	0
Position (ns)	-6
Range (ns)	60
Top Surface	-0,258625
Depth	2,58625

Processing History**Range Gain**

# Of Points	4
Gain 1	-20
Gain 2	32
Gain 3	45
Gain 4	52

Position Correction

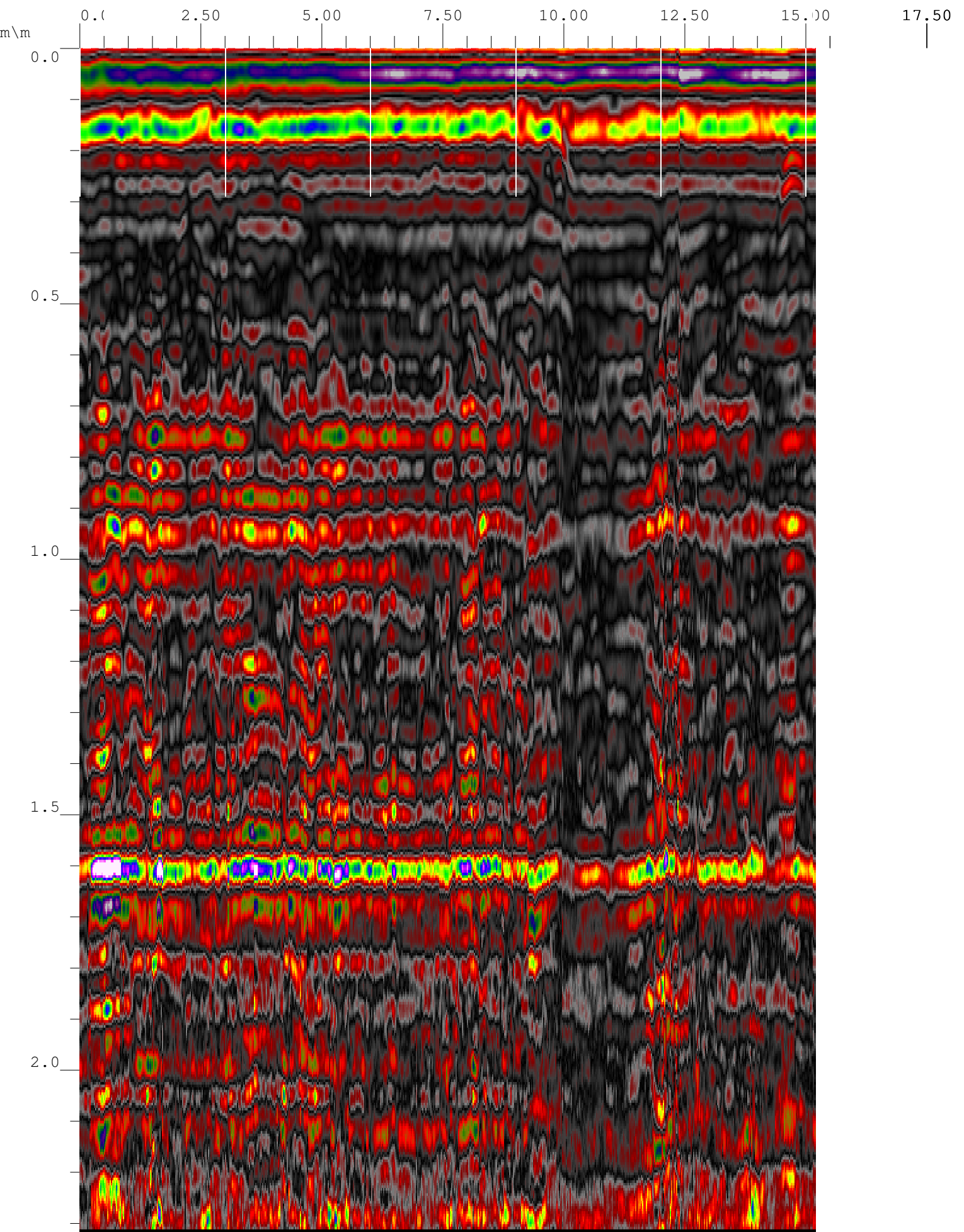
Shift (nS)	-0,9000001
------------	------------

IIR Filters**Vertical (MHz)**

Low Pass	800
High Pass	100

Position Correction

Shift (nS)	-0,46875
------------	----------



Header File Parameters

Original File Name	BENIFAIO006
Created	Jun, 01 2014, 13:51:48
Modified	Jul, 03 2014, 21:06:48
Number of Channels	1

Horizontal Parameters

Scans / Sec	64
Scans / Unit	40
Units / Mark	3

Vertical Parameters

Samps / Scan	512
Bits / Sample	16
Dielectric Constant	12,11

Channel Information

Channel	1
Antenna Type	400MHz
Antenna Serial #	0
Position (ns)	-6
Range (ns)	60
Top Surface	-0,258625
Depth	2,58625

Processing History**Range Gain**

# Of Points	4
Gain 1	-20
Gain 2	32
Gain 3	45
Gain 4	52

Position Correction

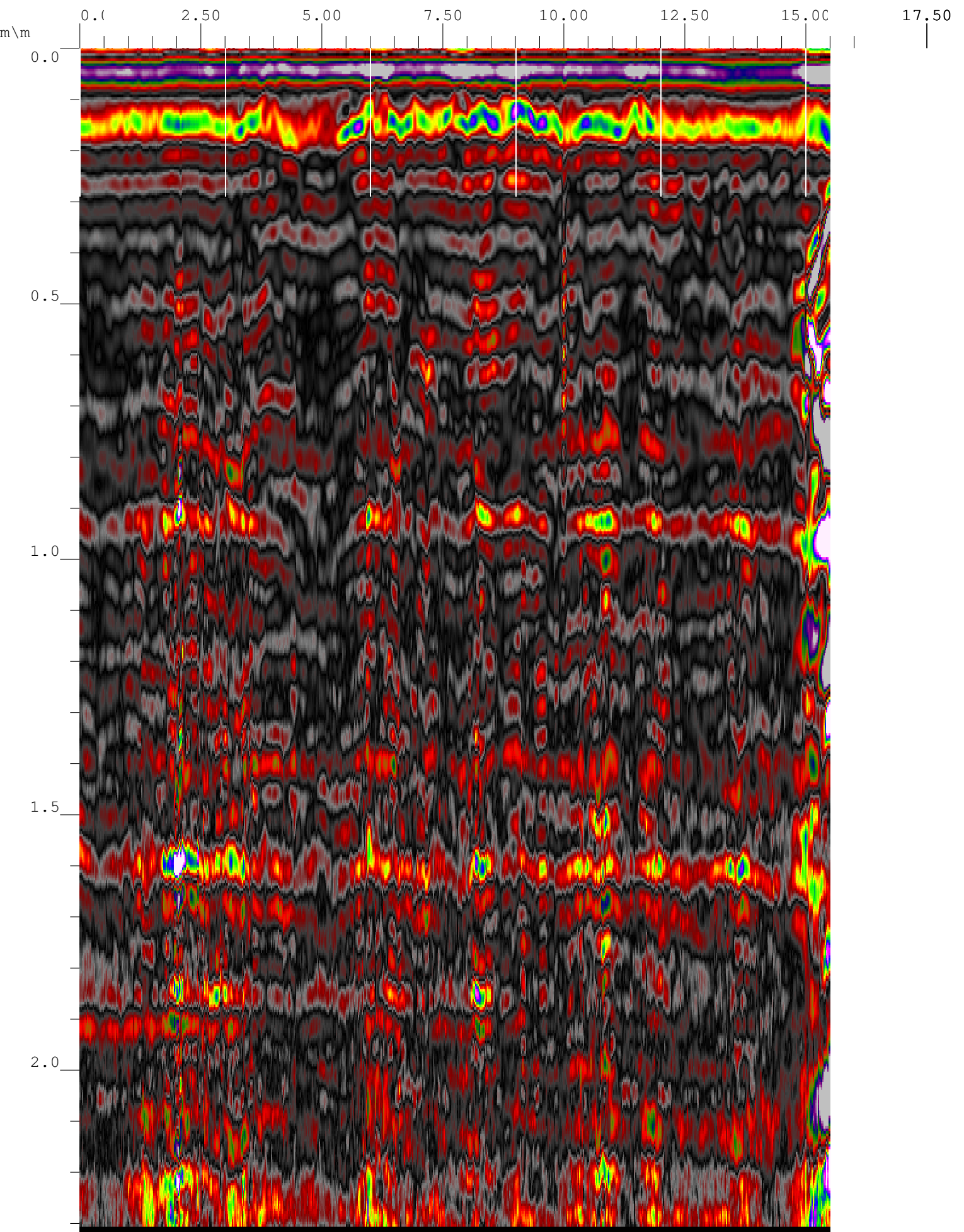
Shift (nS)	-0,9000001
------------	------------

IIR Filters**Vertical (MHz)**

Low Pass	800
High Pass	100

Position Correction

Shift (nS)	-0,5859375
------------	------------



Header File Parameters

Original File Name	BENIFAIO007
Created	Jun, 01 2014, 13:48:00
Modified	Jul, 03 2014, 21:08:12
Number of Channels	1

Horizontal Parameters

Scans / Sec	64
Scans / Unit	40
Units / Mark	3

Vertical Parameters

Samps / Scan	512
Bits / Sample	16
Dielectric Constant	12,11

Channel Information

Channel	1
Antenna Type	400MHz
Antenna Serial #	0
Position (ns)	-6
Range (ns)	60
Top Surface	-0,258625
Depth	2,58625

Processing History**Range Gain**

# Of Points	4
Gain 1	-20
Gain 2	32
Gain 3	45
Gain 4	52

Position Correction

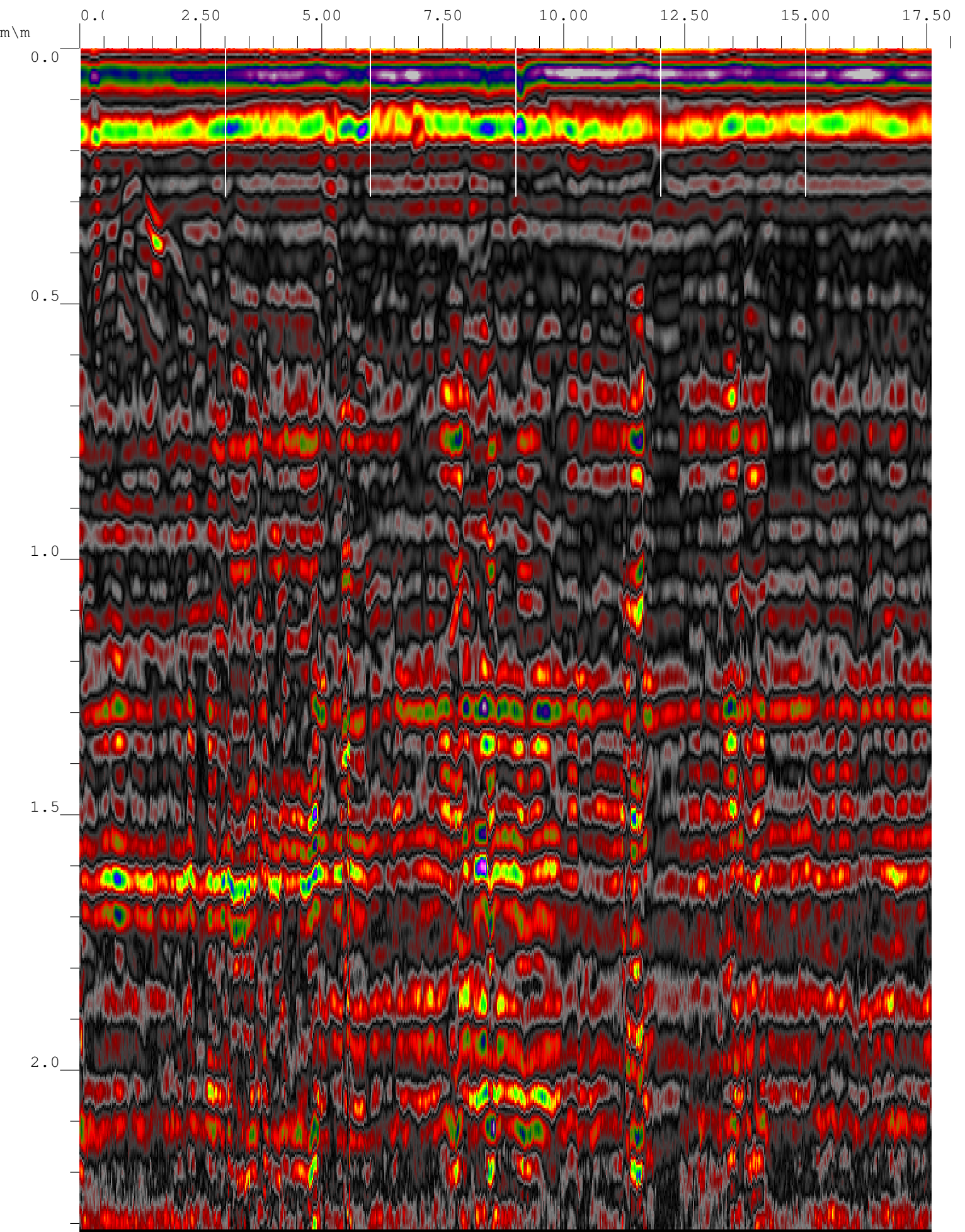
Shift (nS)	-0,9000001
------------	------------

IIR Filters**Vertical (MHz)**

Low Pass	800
High Pass	100

Position Correction

Shift (nS)	-0,46875
------------	----------



Header File Parameters

Original File Name	BENIFAIO008
Created	Jun, 01 2014, 13:45:02
Modified	Jul, 03 2014, 21:09:06
Number of Channels	1

Horizontal Parameters

Scans / Sec	64
Scans / Unit	40
Units / Mark	3

Vertical Parameters

Samps / Scan	512
Bits / Sample	16
Dielectric Constant	12,11

Channel Information

Channel	1
Antenna Type	400MHz
Antenna Serial #	0
Position (ns)	-6
Range (ns)	60
Top Surface	-0,258625
Depth	2,58625

Processing History**Range Gain**

# Of Points	4
Gain 1	-20
Gain 2	32
Gain 3	45
Gain 4	52

Position Correction

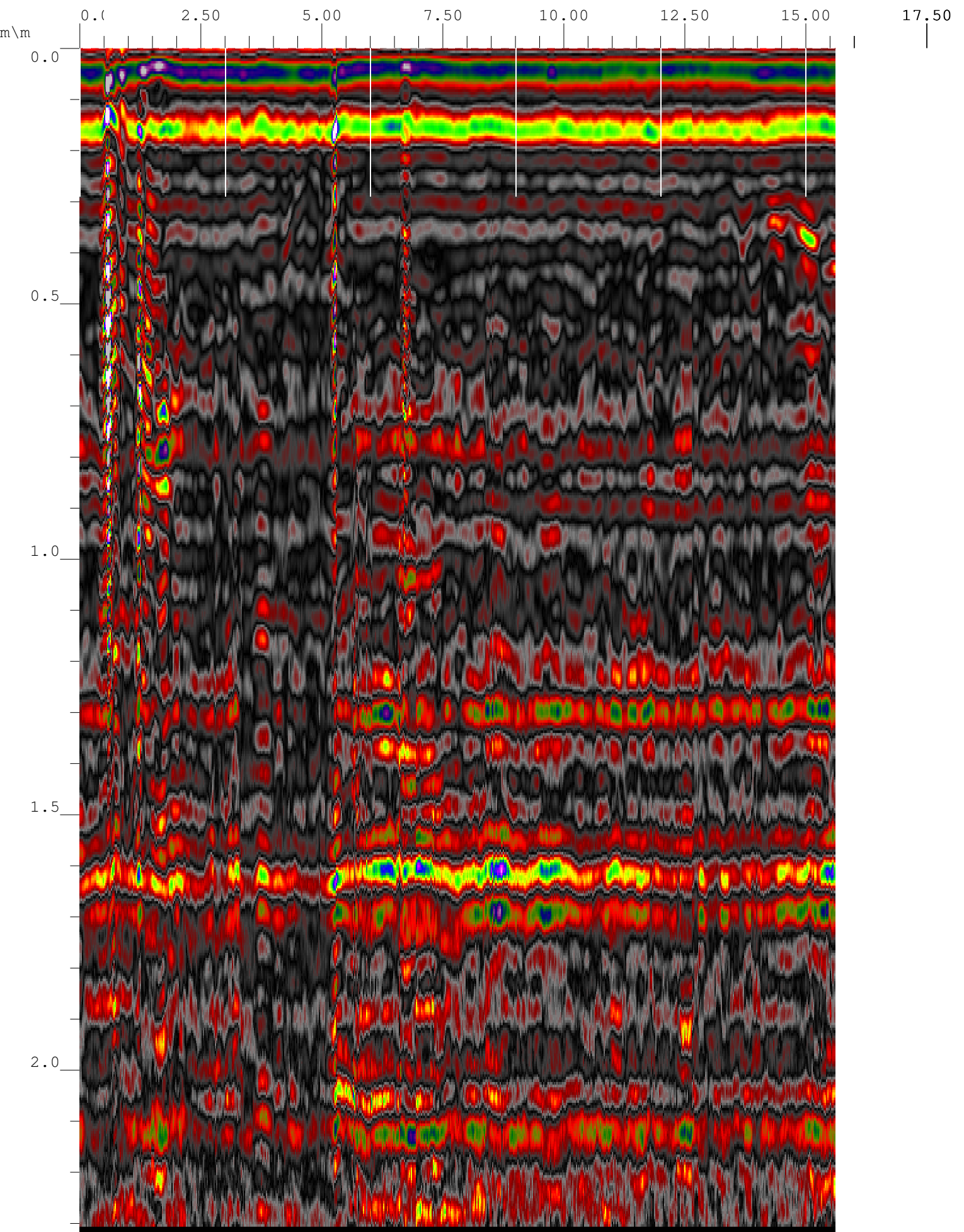
Shift (nS)	-0,9000001
------------	------------

IIR Filters**Vertical (MHz)**

Low Pass	800
High Pass	100

Position Correction

Shift (nS)	-0,5859375
------------	------------



Header File Parameters

Original File Name	BENIFAIO009
Created	Jun, 01 2014, 13:38:46
Modified	Jul, 03 2014, 21:10:08
Number of Channels	1

Horizontal Parameters

Scans / Sec	64
Scans / Unit	40
Units / Mark	3

Vertical Parameters

Samps / Scan	512
Bits / Sample	16
Dielectric Constant	12,11

Channel Information

Channel	1
Antenna Type	400MHz
Antenna Serial #	0
Position (ns)	-6
Range (ns)	60
Top Surface	-0,258625
Depth	2,58625

Processing History**Range Gain**

# Of Points	4
Gain 1	-20
Gain 2	32
Gain 3	45
Gain 4	52

Position Correction

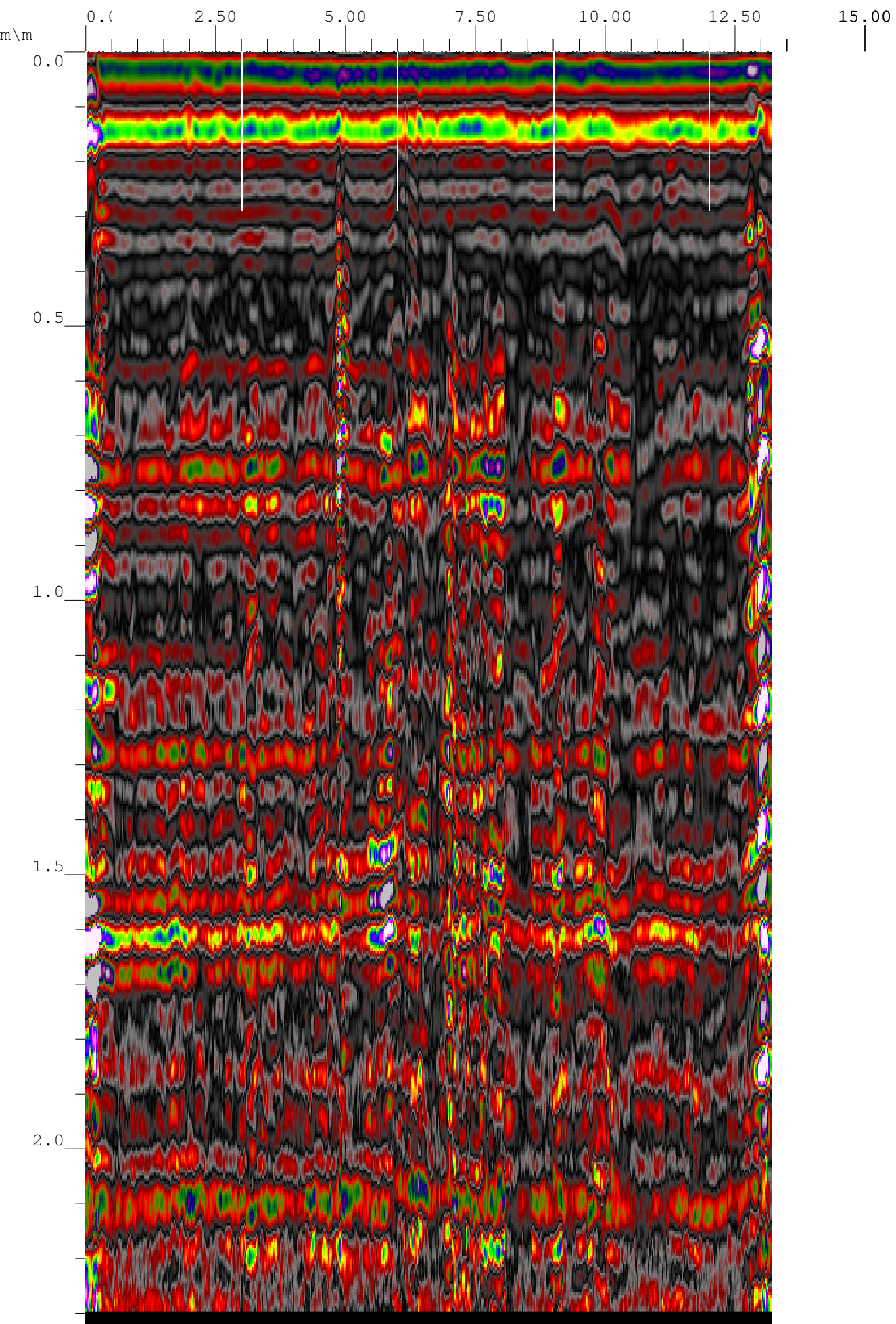
Shift (nS)	-0,9000001
------------	------------

IIR Filters**Vertical (MHz)**

Low Pass	800
High Pass	100

Position Correction

Shift (nS)	-0,8203125
------------	------------



Header File Parameters

Original File Name	BENIFAIO010
Created	Jun, 01 2014, 13:40:00
Modified	Jul, 03 2014, 21:10:56
Number of Channels	1

Horizontal Parameters

Scans / Sec	64
Scans / Unit (m)	40
Units / Mark (m)	3

Vertical Parameters

Samps / Scan	512
Bits / Sample	16
Dielectric Constant	12,11

Channel Information

Channel	1
Antenna Type	400MHz
Antenna Serial #	0
Position (ns)	-6
Range (ns)	60
Top Surface (m)	-0,258625
Depth (m)	2,58625

Processing History**Range Gain**

# Of Points	4
Gain 1	-20
Gain 2	32
Gain 3	45
Gain 4	52

Position Correction

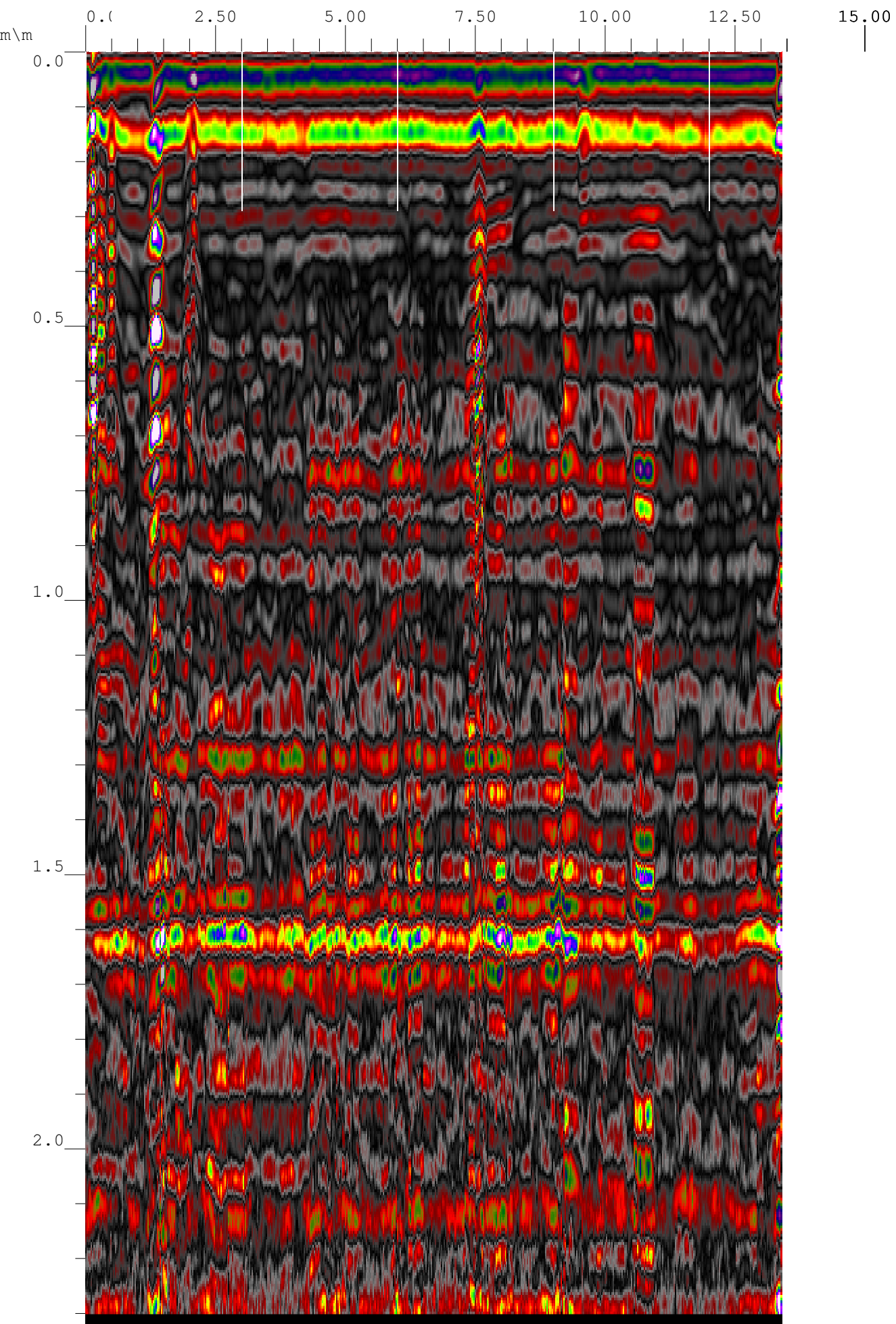
Shift (nS)	-0,9000001
------------	------------

IIR Filters**Vertical (MHz)**

Low Pass	800
High Pass	100

Position Correction

Shift (nS)	-0,703125
------------	-----------



Header File Parameters

Original File Name	BENIFAIO011
Created	Jun, 01 2014, 13:46:30
Modified	Jul, 03 2014, 21:12:16
Number of Channels	1

Horizontal Parameters

Scans / Sec	64
Scans / Unit (m)	40
Units / Mark (m)	3

Vertical Parameters

Samps / Scan	512
Bits / Sample	16
Dielectric Constant	12,11

Channel Information

Channel	1
Antenna Type	400MHz
Antenna Serial #	0
Position (ns)	-6
Range (ns)	60
Top Surface (m)	-0,258625
Depth (m)	2,58625

Processing History**Range Gain**

# Of Points	4
Gain 1	-20
Gain 2	32
Gain 3	45
Gain 4	52

Position Correction

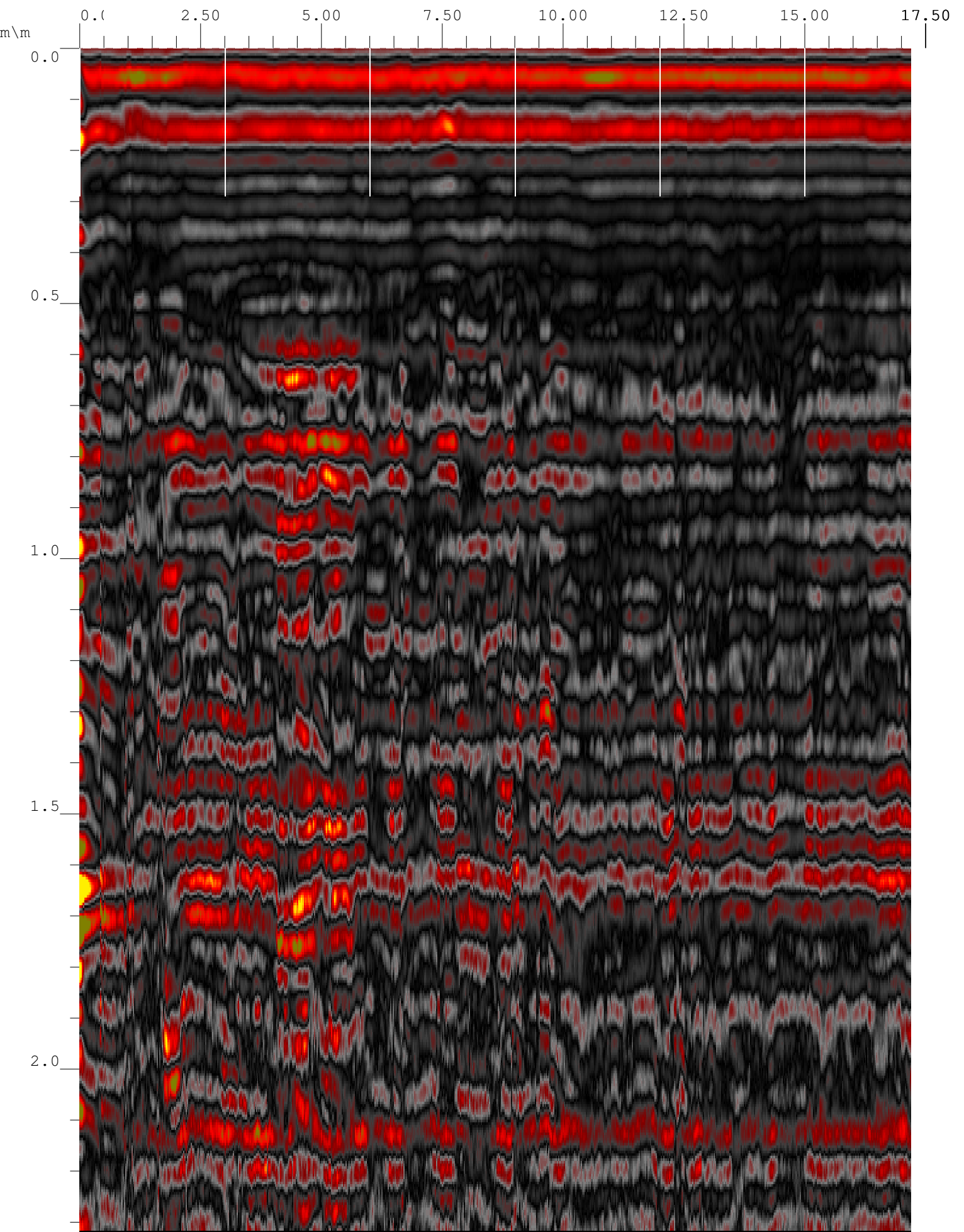
Shift (nS)	-0,9000001
------------	------------

IIR Filters**Vertical (MHz)**

Low Pass	800
High Pass	100

Position Correction

Shift (nS)	-0,3515625
------------	------------



Header File Parameters

Original File Name	BENIFAIO012
Created	Jun, 01 2014, 13:43:56
Modified	Jul, 03 2014, 21:12:54
Number of Channels	1

Horizontal Parameters

Scans / Sec	64
Scans / Unit (m)	40
Units / Mark (m)	3

Vertical Parameters

Samps / Scan	512
Bits / Sample	16
Dielectric Constant	12,11

Channel Information

Channel	1
Antenna Type	400MHz
Antenna Serial #	0
Position (ns)	-6
Range (ns)	60
Top Surface (m)	-0,258625
Depth (m)	2,58625

Processing History**Range Gain**

# Of Points	4
Gain 1	-20
Gain 2	32
Gain 3	45
Gain 4	52

Position Correction

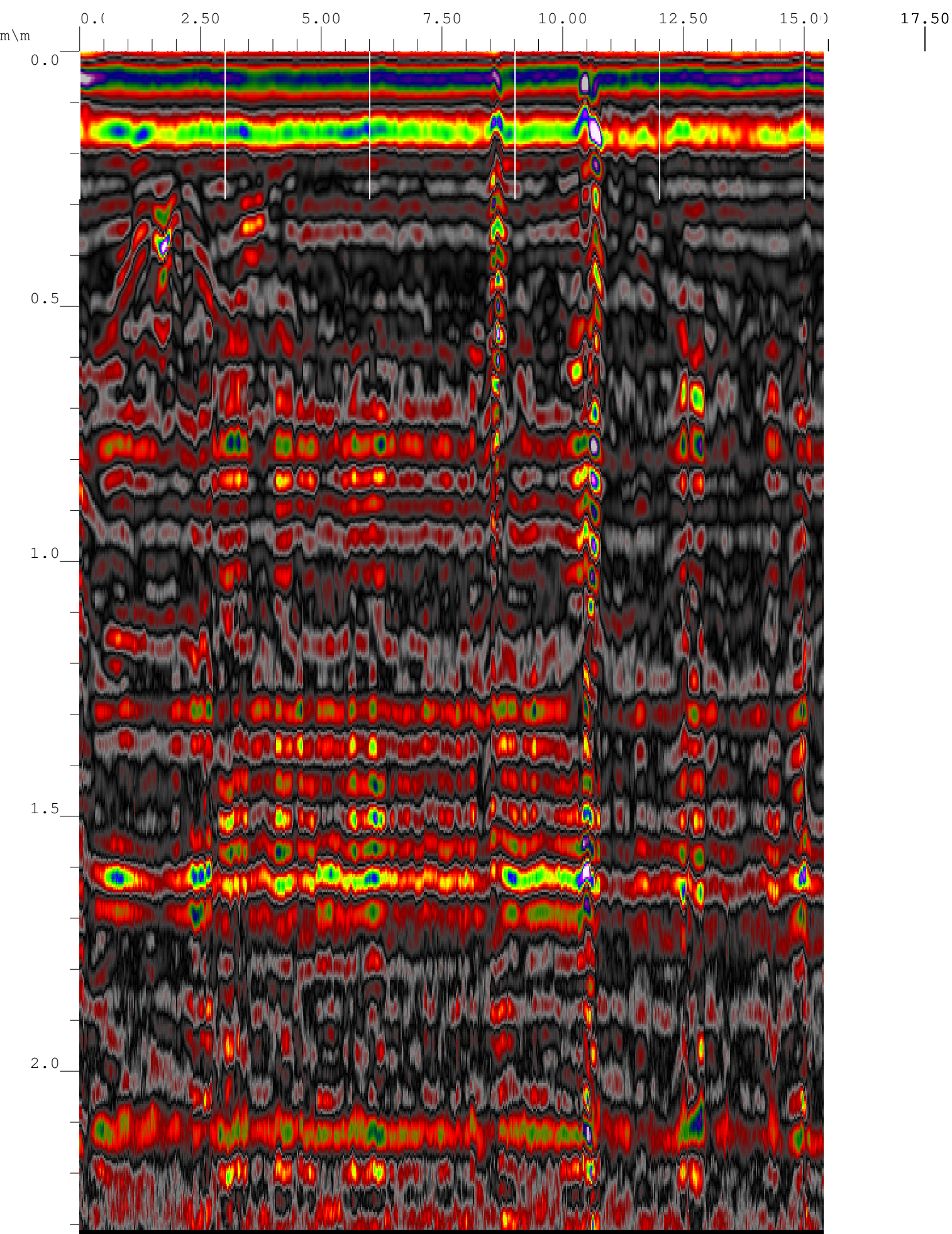
Shift (nS)	-0,9000001
------------	------------

IIR Filters**Vertical (MHz)**

Low Pass	800
High Pass	100

Position Correction

Shift (nS)	-0,46875
------------	----------



Header File Parameters

Original File Name	BENIFAIO013
Created	Jun, 01 2014, 13:41:34
Modified	Jul, 03 2014, 21:13:34
Number of Channels	1

Horizontal Parameters

Scans / Sec	64
Scans / Unit (m)	40
Units / Mark (m)	3

Vertical Parameters

Samps / Scan	512
Bits / Sample	16
Dielectric Constant	12,11

Channel Information

Channel	1
Antenna Type	400MHz
Antenna Serial #	0
Position (ns)	-6
Range (ns)	60
Top Surface (m)	-0,258625
Depth (m)	2,58625

Processing History**Range Gain**

# Of Points	4
Gain 1	-20
Gain 2	32
Gain 3	45
Gain 4	52

Position Correction

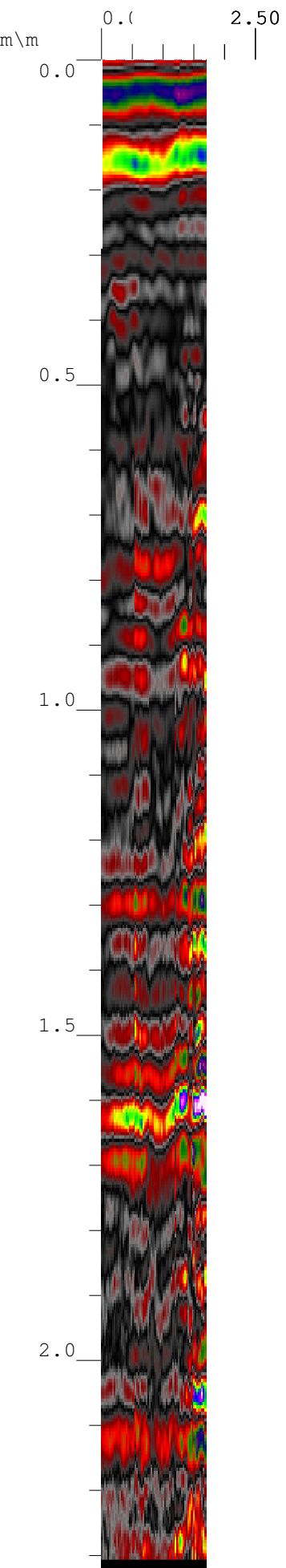
Shift (nS)	-0,9000001
------------	------------

IIR Filters**Vertical (MHz)**

Low Pass	800
High Pass	100

Position Correction

Shift (nS)	-0,5859375
------------	------------



Header File Parameters

Original File Name	BENIFAIO014
Created	Jun, 01 2014, 13:54:28
Modified	Jul, 03 2014, 21:14:06
Number of Channels	1

Horizontal Parameters

Scans / Sec	64
Scans / Unit (m)	40
Units / Mark (m)	3

Vertical Parameters

Samps / Scan	512
Bits / Sample	16
Dielectric Constant	12,11

Channel Information

Channel	1
Antenna Type	400MHz
Antenna Serial #	0
Position (ns)	-6
Range (ns)	60
Top Surface (m)	-0,258625
Depth (m)	2,58625

Processing History**Range Gain**

# Of Points	4
Gain 1	-20
Gain 2	32
Gain 3	45
Gain 4	52

Position Correction

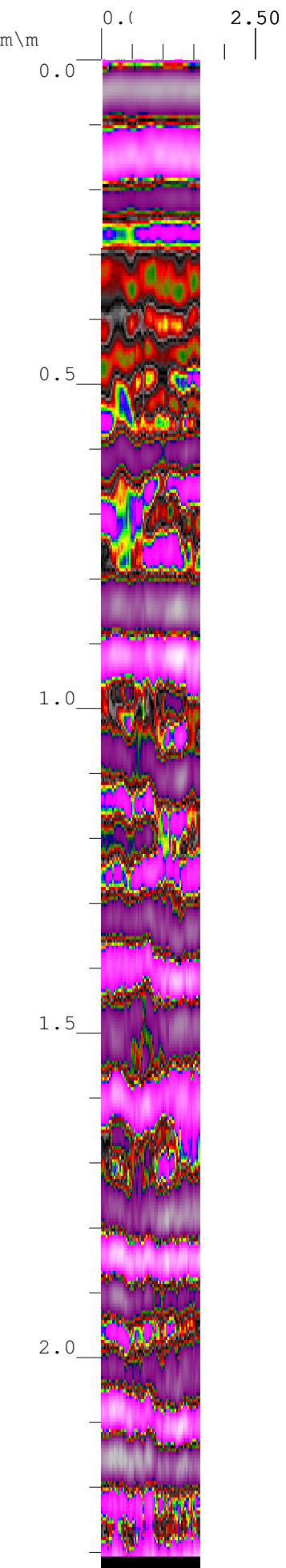
Shift (nS)	-0,9000001
------------	------------

IIR Filters**Vertical (MHz)**

Low Pass	800
High Pass	100

Position Correction

Shift (nS)	-0,5859375
------------	------------



Header File Parameters

Original File Name	BENIFAIO015
Created	Jun, 01 2014, 13:40:46
Modified	Jul, 03 2014, 21:11:34
Number of Channels	1

Horizontal Parameters

Scans / Sec	64
Scans / Unit (m)	40
Units / Mark (m)	3

Vertical Parameters

Samps / Scan	512
Bits / Sample	16
Dielectric Constant	12,11

Channel Information

Channel	1
Antenna Type	400MHz
Antenna Serial #	0
Position (ns)	-6
Range (ns)	60
Top Surface (m)	-0,258625
Depth (m)	2,58625

Processing History**Range Gain**

# Of Points	4
Gain 1	-20
Gain 2	32
Gain 3	45
Gain 4	52

Position Correction

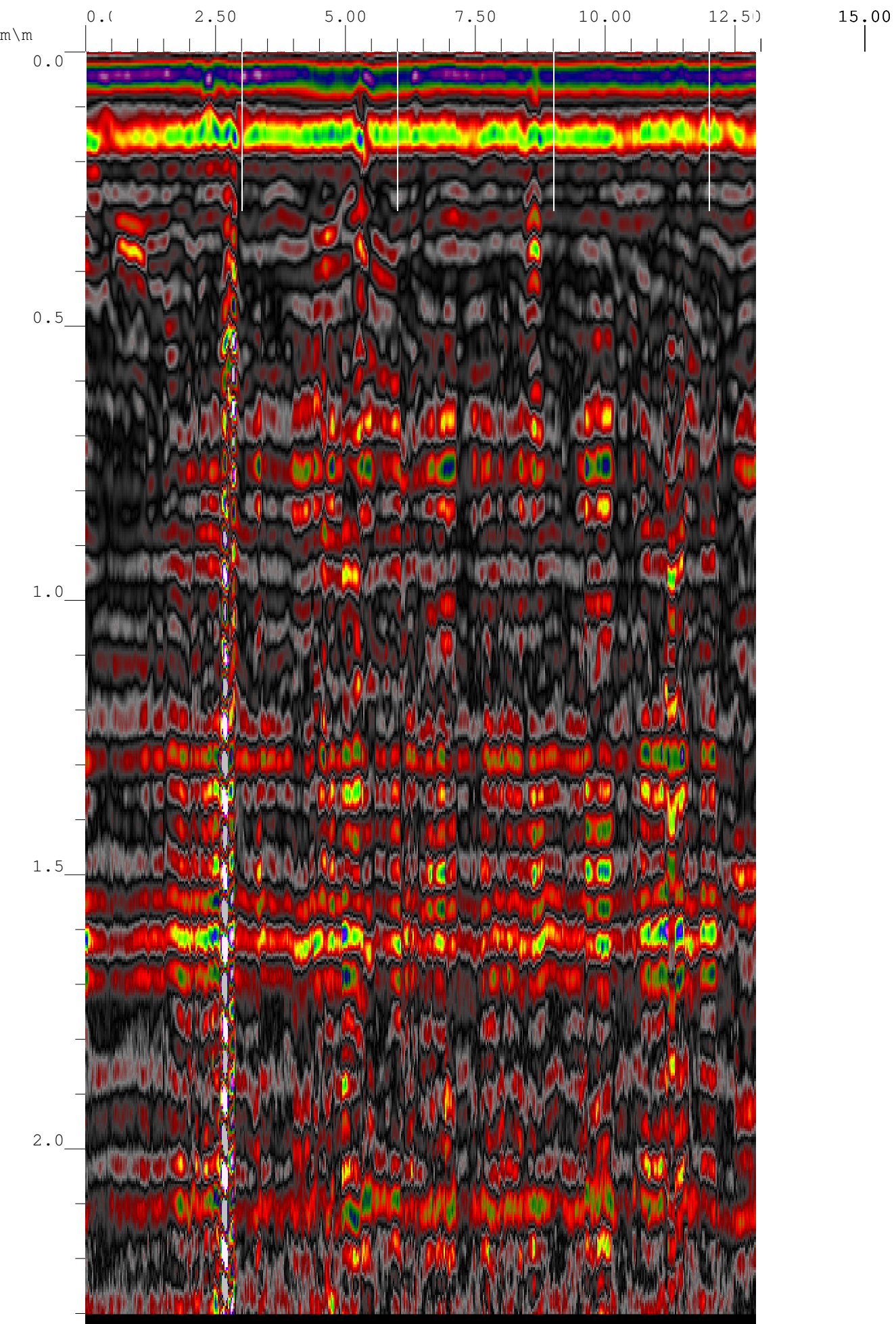
Shift (nS)	-0,9000001
------------	------------

IIR Filters**Vertical (MHz)**

Low Pass	800
High Pass	100

Position Correction

Shift (nS)	-0,703125
------------	-----------



Header File Parameters

Original File Name	BENIFAIO016
Created	Jun, 01 2014, 13:53:48
Modified	Jul, 03 2014, 21:07:20
Number of Channels	1

Horizontal Parameters

Scans / Sec	64
Scans / Unit	40
Units / Mark	3

Vertical Parameters

Samps / Scan	512
Bits / Sample	16
Dielectric Constant	12,11

Channel Information

Channel	1
Antenna Type	400MHz
Antenna Serial #	0
Position (ns)	-6
Range (ns)	60
Top Surface	-0,258625
Depth	2,58625

Processing History**Range Gain**

# Of Points	4
Gain 1	-20
Gain 2	32
Gain 3	45
Gain 4	52

Position Correction

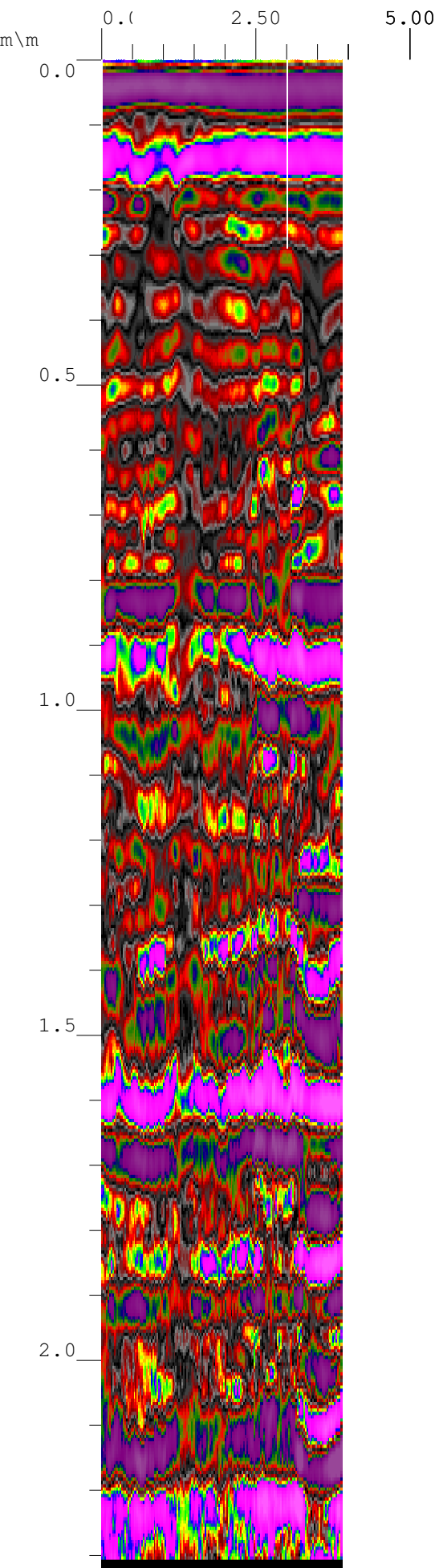
Shift (nS)	-0,9000001
------------	------------

IIR Filters**Vertical (MHz)**

Low Pass	800
High Pass	100

Position Correction

Shift (nS)	-0,5859375
------------	------------



Header File Parameters

Original File Name	BENIFAIO017
Created	Jun, 01 2014, 13:55:00
Modified	Jul, 03 2014, 21:14:38
Number of Channels	1

Horizontal Parameters

Scans / Sec	64
Scans / Unit (m)	40
Units / Mark (m)	3

Vertical Parameters

Samps / Scan	512
Bits / Sample	16
Dielectric Constant	12,11

Channel Information

Channel	1
Antenna Type	400MHz
Antenna Serial #	0
Position (ns)	-6
Range (ns)	60
Top Surface (m)	-0,258625
Depth (m)	2,58625

Processing History**Range Gain**

# Of Points	4
Gain 1	-20
Gain 2	32
Gain 3	45
Gain 4	52

Position Correction

Shift (nS)	-0,9000001
------------	------------

IIR Filters**Vertical (MHz)**

Low Pass	800
High Pass	100

Position Correction

Shift (nS)	-0,703125
------------	-----------

