



## **ESTUDIO GEOFISICO NUEVO VIAL DE ACCESO A CARMONA**



PROYECTO DE REVITALIZACIÓN Y MOVILIDAD SOSTENIBLE  
DEL CONJUNTO HISTÓRICO DE CARMONA  
Financiado en un 70% por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional

**ESTUDIO GEOFÍSICO COMBINADO,  
MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA,  
TOMOGRAFÍA SÍSMICA Y SÍSMICA PASIVA  
REMI, PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN  
DEL NUEVO ACCESO A CARMONA Y  
APARCAMIENTO EN EL BARRANCO DEL  
ARGOLLÓN, CARMONA (SEVILLA)**



**AYUNTAMIENTO DE CARMONA**

**Madrid, 16 de septiembre de 2009**

	Preparado	Revisado	Aprobado
Firma			
Nombre	S. Sandoval	M. Rodríguez	C. M. Calvo
Fecha	16/09/09	16/09/09	16/09/09

## ÍNDICE

<b>I. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
<b>II. LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES.....</b>	<b>3</b>
<b>III. METODOLOGÍA.....</b>	<b>4</b>
<b>III.1. Tomografía Eléctrica.....</b>	<b>5</b>
<b>III.2. Tomografía Sísmica.....</b>	<b>7</b>
<b>III.3. Sísmica Pasiva REMI.....</b>	<b>9</b>
<b>IV. TRABAJOS REALIZADOS.....</b>	<b>12</b>
<b>IV.1. Trabajos de campo.....</b>	<b>12</b>
Tomografía Eléctrica.....	12
Tomografía Sísmica.....	12
Sísmica Pasiva REMI.....	14
<b>IV.2. Trabajo de gabinete.....</b>	<b>14</b>
Tomografía Eléctrica.....	14
Tomografía Sísmica.....	15
Sísmica Pasiva REMI.....	15
<b>V. RESULTADOS.....</b>	<b>16</b>
<b>V.1. Tomografía Eléctrica.....</b>	<b>16</b>
<b>V.2. Tomografía sísmica.....</b>	<b>18</b>
<b>V.3. Sísmica Pasiva REMI.....</b>	<b>19</b>
<b>VI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>21</b>

**ANEXO A: PLANO DE LOCALIZACIÓN**

**ANEXO B: MODELOS DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DEL TERRENO**

**ANEXO C: MODELOS DE VELOCIDAD SÍSMICA  $V_p$  DEL TERRENO**

**ANEXO D: MODELOS DE VELOCIDAD SÍSMICA  $V_s$  DEL TERRENO**

**ANEXO E: FOTOGRAFÍAS**

## I. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

Según el pedido del **AYUNTAMIENTO DE CARMONA**, **GEOFÍSICA CONSULTORES** ha realizado este “**Estudio Geofísico combinado, mediante Tomografía Eléctrica, Tomografía Sísmica y Sísmica Pasiva REMI, para el proyecto de construcción del nuevo acceso a Carmona y aparcamiento en el Barranco del Argollón, Carmona (Sevilla)**”.

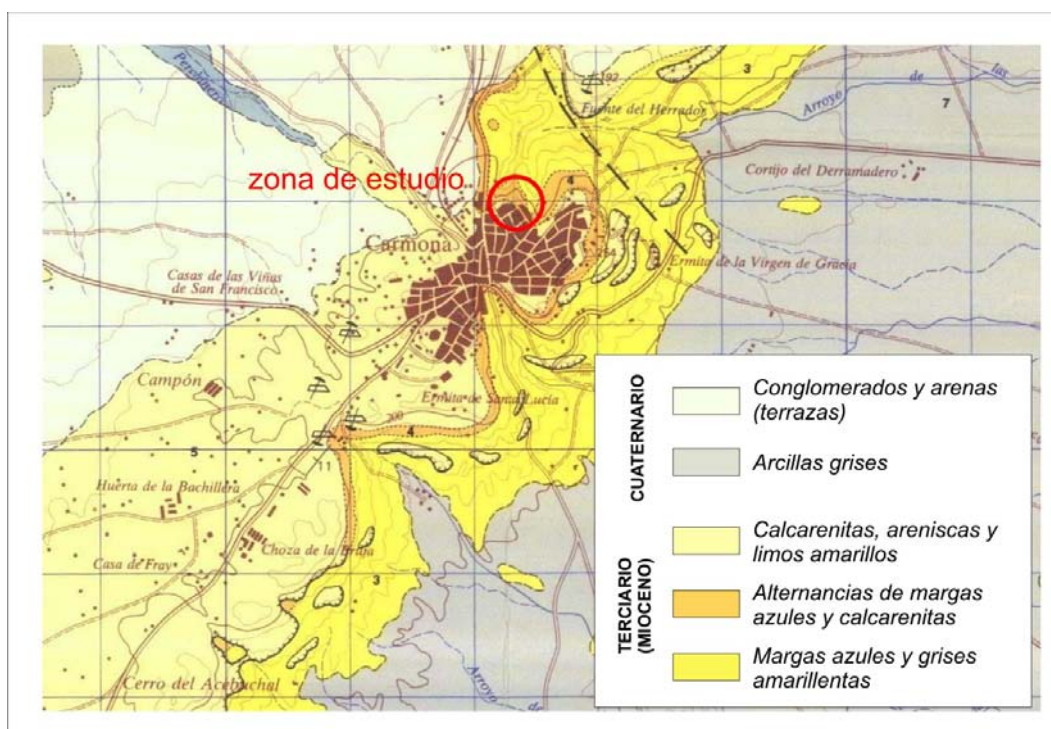
El objetivo de este estudio geofísico es caracterizar la estructura interna del terreno bajo el trazado del vial proyectado así como del área ocupada por la plataforma del aparcamiento.

El presente informe describe los resultados de los trabajos de campo realizados entre los días 3 y 7 de agosto de 2009. Además de los datos registrados, se dispone de varios Informes Geotécnicos y Geofísicos del Barranco del Argollón (I-DGE-0375/06, I-DGE-0671/06, I-DGE-0318/07 e I-DGE-0517 elaborados por **VORSEVI** y GAC-80246 elaborado por **GEOFISICA APLICADA CONSULTORES**). Basado en estos trabajos, y la información geológica-geotécnica proporcionada, se presenta este informe geofísico.

## II. LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES

La zona de estudio se encuentra en el extremo norte de la localidad de Carmona, que a su vez se encuentra situada dentro de la zona geográfica conocida como Los Alcores. Los Alcores deben su nombre a la Unidad Geológica que se extiende según una franja alargada en dirección NE-SW de unos 30 km de longitud, y que está representada por afloramientos neógenos que dividen la Depresión del Guadalquivir en dos unidades diferenciadas: una al NW, constituida por el aluvial del Guadalquivir y otra al SE, representada por materiales margosos en la denominada zona deprimida de la Vega de Carmona (**Figura 1**).





**Figura 1.** Detalle del Mapa geológico de España 1:50.000 (MAGNA). Hoja 985 (Carmona) publicado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Localización de la zona objeto de estudio.

La unidad geológica de Los Alcores, sobre la que se asienta Carmona, destaca orográficamente por la presencia de importantes escarpes con elevadas pendientes y trazados lineales. Los escarpes se pueden configurar a modo de ladera con cantil o talud vertical según el comportamiento mecánico del contacto resultante entre los materiales arcillosos de su base y las calcarenitas más compactas que lo coronan. No obstante estos escarpes también presentan otros tipos de modelados tales como laderas con depósitos coluviales, coincidiendo con tramos en los que el escarpe apoya sobre facies más arenosas y poco cementadas; o laderas complejas, con frecuentes rupturas de pendiente a favor de bancos calcareníticos de mayor cohesión (areniscas calcáreas) o lóbulos de solifluxión y deslizamientos rotacionales.

La localidad de Carmona se encuentra sobre un promontorio de calcarenita que, en la zona de estudio, está limitado al Este y Sureste por un escarpe vertical de aproximadamente trece metros, conocido como Barranco del Argollón (**Figura 2**). Al Noreste, Norte y Noroeste el promontorio tiene taludes muy inclinados formados por materiales esencialmente limosos y arcillosos.

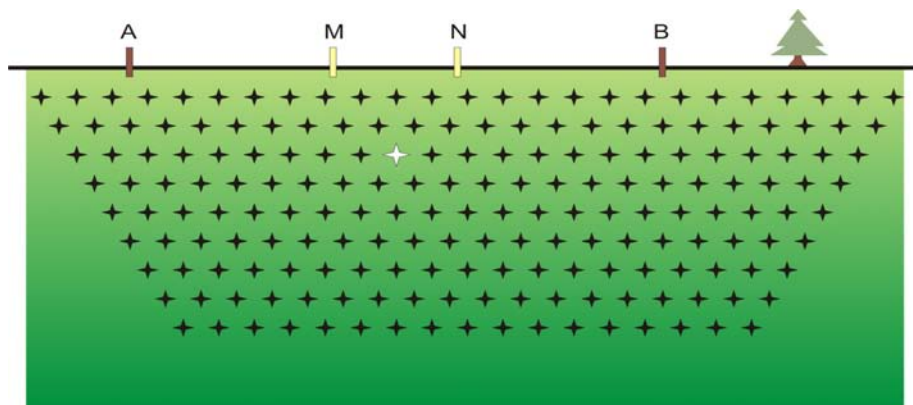


**Figura 2.** Fotografía aérea de la zona de estudio

### III. METODOLOGÍA

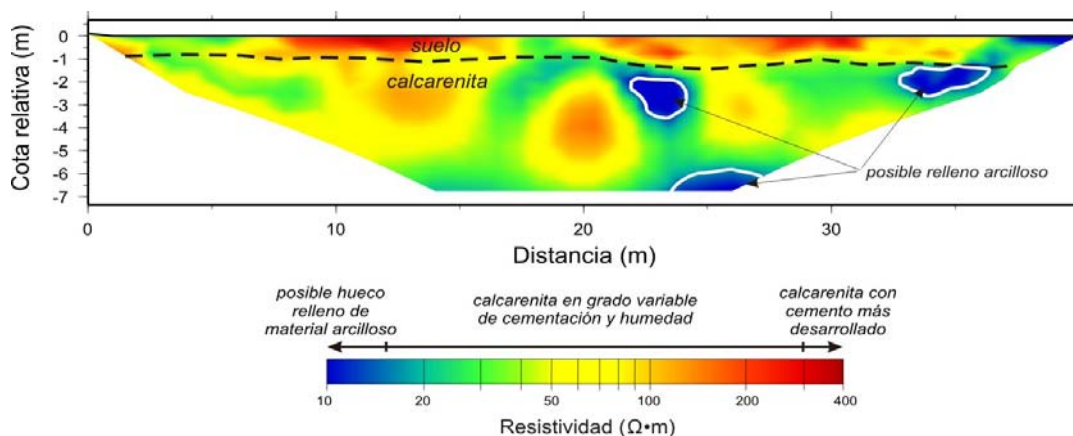
#### III.1 Tomografía Eléctrica

El método de la tomografía eléctrica consiste en la introducción en el terreno de una corriente eléctrica continua, por medio de dos electrodos denominados A y B, conectados a una fuente de energía de intensidad conocida. Mediante otros dos electrodos (M y N) se mide la diferencia de potencial (**Figura 3**). Con estas dos medidas (intensidad y diferencia de potencial) se obtiene la resistividad aparente del material afectado por la corriente eléctrica en varios puntos del subsuelo.



**Figura 3.** Esquema de dispositivo de medición utilizando una configuración electródica Wenner – Schlumberger, en donde se muestra el punto de medida (punto blanco) para las posiciones mostradas de los electrodos del cuadripolo y los puntos de medida que se obtendrían desplazando y variando la distancia entre electrodos (puntos negros).

Para optimizar la adquisición de los datos se colocan numerosos electrodos en la superficie del terreno. En cada punto de medida se seleccionan cuatro electrodos que forman las diferentes combinaciones AB-MN. De este modo se obtiene un pseudo-perfil con resistividades aparentes del terreno que tras un proceso de inversión y detallado análisis e interpretación permite identificar el modelo de subsuelo (capas con resistividad y espesor individualizados) generando un perfil interpretable de zonas semejantes eléctricamente (**Figura 4**).



**Figura 4.** Modelo de resistividad del subsuelo (perfil) generado a partir de las lecturas de resistividad aparente obtenidas en una implantación de tomografía eléctrica.

El contraste de resistividades obtenido permite caracterizar el terreno, pudiendo llegar a diferenciar litologías en función de sus valores de resistividad. Este método permite discriminar zonas de mayor porosidad y/o menor contenido en finos (valores de resistividad relativamente altos), de valores de mayor humedad y/o mayor contenido en finos (valores más bajos de resistividad).

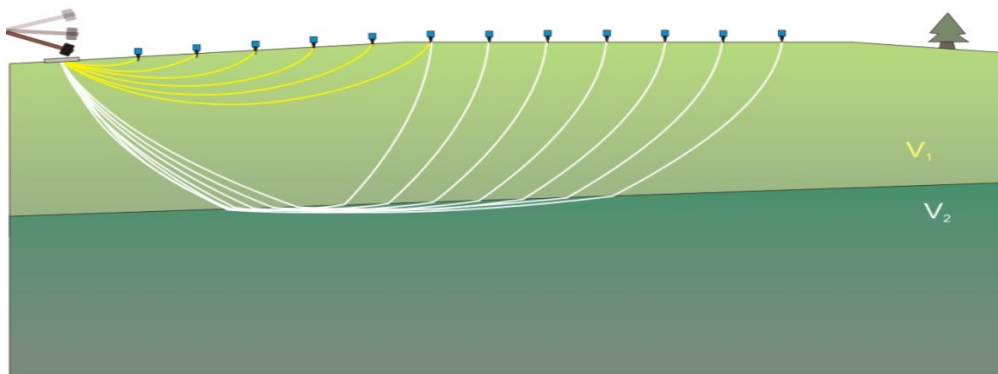


Hay que destacar que existen varios factores que influyen en los valores de resistividad del terreno como son el grado de humedad y la porosidad. Un incremento de la humedad conlleva una disminución de la resistividad de los materiales, lo que permite determinar la profundidad del nivel freático en determinados contextos. Por el contrario, un porcentaje elevado de porosidad conlleva un aumento de los valores de resistividad, siempre y cuando la porosidad no esté rellena de agua.

Por este motivo dentro de los niveles de arenas arcillosas, las zonas con más contenido de arenas y con bajo contenido en finos, tendrán mayor porosidad, y se caracterizarían por valores relativamente altos de resistividad, mientras que las zonas más arcillosas y con mayor contenido en humedad se caracterizarán por valores más bajos de resistividad.

### III.2 Tomografía Sísmica

La tomografía sísmica se considera como una evolución a la sísmica de refracción tradicional y se basa en generar una perturbación mecánica en el terreno (por lo general mediante una maza) y determinar el tiempo que las ondas P (generadas en el punto de impacto) tardan en recorrer el trayecto que separa la fuente y una serie de sensores (geófonos) situados a lo largo de una línea de adquisición (**Figura 5**). Conociendo la distancia recorrida por las ondas sísmicas y el tiempo empleado se puede determinar la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en el subsuelo.



**Figura 5.** Implantación sísmica de geófonos típica de un ensayo de tomografía sísmica. Se golpea una placa metálica situada sobre el terreno con una maza, y la energía producida se propaga a través de las distintas unidades litológicas que componen el subsuelo.

La principal ventaja de este método reside en el mayor grado de detalle de los modelos obtenidos y en que la presencia de capas de baja velocidad, fuertes gradientes laterales o elevados buzamientos no son grandes limitaciones tal y como ocurre en la sísmica de refracción.

Uno de los aspectos más importantes de la tomografía sísmica es que se trata de un método basado en la inversión de “residuos”. Se denomina “residuo” a la diferencia entre los tiempos de recorrido de las ondas P observados y los tiempos de recorrido teóricos. Por ello es muy importante emplear una herramienta de procesamiento que sea capaz de reproducir de manera precisa los tiempos de recorrido de las ondas P en un medio complejo. Una de las formas más precisas que existen es resolver la ecuación Eikonal mediante un proceso de diferencias finitas. Esta ecuación describe el tiempo de propagación de un frente de ondas en un medio isótropo mediante la expresión:

$$(\nabla \tau)^2 = p^2(x, y, z)$$

Donde:

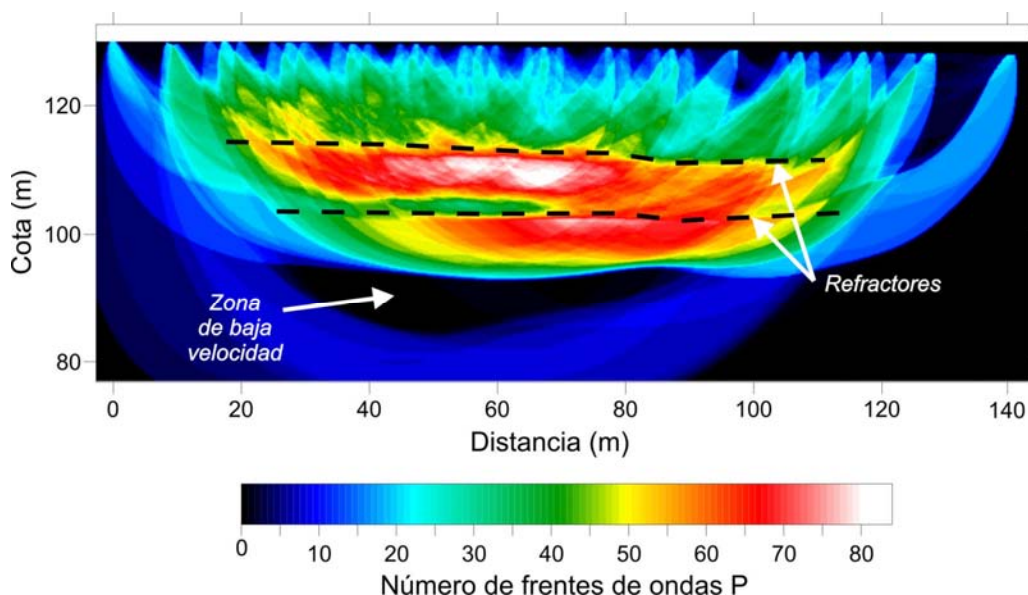
$\tau(x,y,z)$  es el tiempo de recorrido desde la fuente hasta el punto de coordenadas  $(x,y,z)$ ,  
 $p$  es la lentitud (inversa del vector velocidad) en el punto  $(x,y,z)$ ,

De esta forma es posible reproducir de manera muy precisa el trayecto recorrido por la onda P desde la fuente hasta el receptor. El proceso de inversión que dará lugar al modelo final es un proceso iterativo, en el que el modelo inicial se va actualizando en cada iteración hasta dar lugar al modelo final.

En tomografía sísmica el modelo inicial de velocidades se obtiene definiendo un modelo 1D en el que la velocidad depende únicamente de la profundidad ( $v(z)$ ). Este modelo se determina automáticamente a partir de los tiempos de recorrido de las ondas P observados empleando el método Delta-t-v. Este método consiste en obtener una curva  $v(z)$  bajo cada sensor (geófono). Una vez calculadas las curvas  $v(z)$  bajo cada estación se calcula el valor promedio y se genera un modelo 2D a partir de este valor promedio que se extiende lateralmente en toda la longitud del modelo. Este método maximiza las probabilidades de que el proceso iterativo parta desde un punto lo suficientemente próximo a la solución correcta.

Una vez definido el modelo inicial se resuelve la ecuación Eikonal anteriormente descrita y se obtienen los residuos de la primera iteración. El modelo inicial se actualiza y se crea un segundo modelo de velocidades a través del que se vuelven a calcular los tiempos teóricos de recorrido y se obtienen nuevos residuos. El proceso continua hasta que la suma de los residuos (la *Penalty function*,  $\Psi$ ) alcanza el mínimo.

Otra ventaja de la tomografía sísmica es que permite determinar, tanto de manera cuantitativa (valor del mínimo de los residuos) como de manera cualitativa (a través de la distribución espacial de los frentes de onda dentro del modelo, **Figura 6**), el grado de certeza de las soluciones alcanzadas, lo cual es muy útil a la hora de realizar la interpretación del modelo.



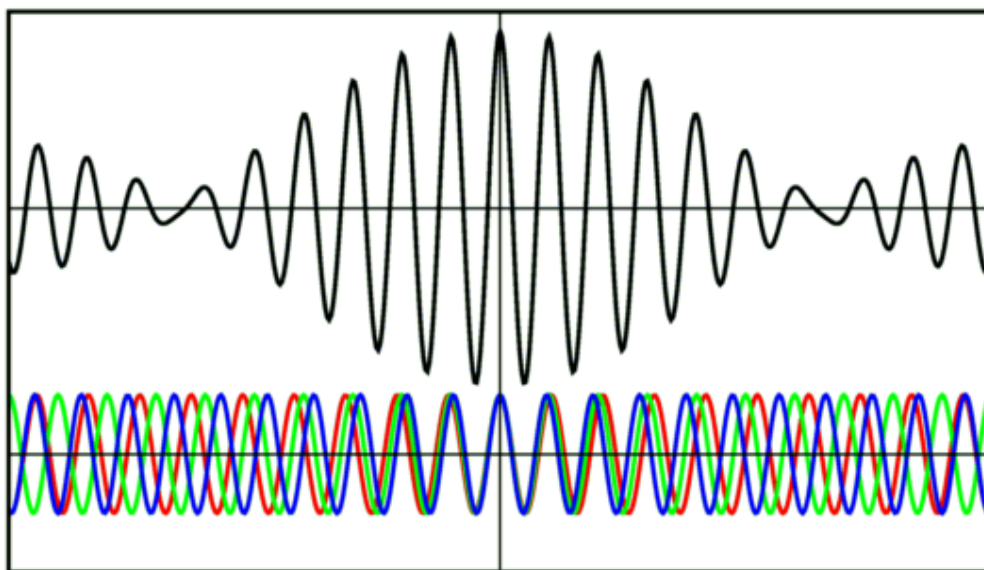
**Figura 6.** Identificación de refractores y zonas de baja velocidad a partir de la imagen de cobertura de frentes de ondas P del modelo de tomografía sísmica. Los tonos cálidos indican las áreas con más densidad de muestreo en el modelo (zonas con mayor resolución) mientras que los tonos fríos indican las zonas de menor resolución. Estos diagramas se emplean como indicador cualitativo a la hora de interpretar los modelos de velocidad obtenidos mediante tomografía sísmica.

Es importante destacar que, gracias a los gráficos de cobertura de las trayectorias de ondas P (**Figura 6**), además de definir con precisión las zonas cubiertas por los frentes de ondas sísmicas (de alta fiabilidad) permiten identificar “refractores” y zonas de “sombra” (áreas, dentro de la zona de cobertura, por donde las ondas sísmicas P tienden a no viajar). Estos datos proporcionan información adicional para la interpretación de los modelos de velocidad; como por ejemplo la existencia de zonas de baja velocidad sísmica relativa asociadas a las zonas de sombra, o ausencia de refractores, lo que indica variaciones graduales de la velocidad, etc.

### III.3 Sísmica Pasiva REMI

El método REMI obtiene una distribución de la velocidad de ondas de cizalla con la profundidad mediante el análisis espectral de registros de vibración natural del terreno. Por ello, es un método especialmente apto para ambientes urbanos, donde la presencia de vibraciones de origen antrópico (ruido) es elevada.

El método REMI se basa en el principio físico de la dispersión de las ondas sísmicas superficiales en el terreno. En un medio elástico no dispersivo, las ondas se propagan sin sufrir ningún tipo de deformación. En realidad, todos los medios son, en mayor o menor medida, dispersivos y, por lo tanto, las distintas frecuencias que componen un determinado paquete de ondas se propagan a diferente velocidad (**Figura 7**). A medida que el paquete de ondas se desplaza en el medio, las frecuencias individuales se van separando las unas de las otras, ya que las velocidades de propagación respectivas son diferentes.



**Figura 7.** Arriba. Paquete de ondas compuesto por la superposición de distintas frecuencias. Cuando este paquete de ondas se propaga a través de un medio dispersivo (abajo), las distintas frecuencias (representadas mediante colores) se propagan a diferentes velocidades.

Para la realización de un ensayo REMI es necesario implementar un dispositivo de geófonos de componente vertical a lo largo de una línea de registro. Una vez que la línea de registro ha sido implementada se realizan lecturas con una ventana de registro de al menos 30 segundos y una razón de muestreo suficiente. Si el lugar de ensayo no presenta niveles de ruido importantes se pueden aumentar los mismos golpeando el terreno con una maza, o cualquier otro método.

Una vez obtenidos los registros de campo, el procesado de gabinete se divide en las siguientes etapas:

1. Transformación de los registros x-t (distancia-tiempo) al dominio p- $\tau$  (parámetro del rayo-tiempo de intersección). Esta transformación también se denomina *slant-stack* o Transformada de Radón y consiste en sumar la amplitud de los sismogramas a lo largo de distintas rectas de pendiente p y ordenada en el origen (t):

$$A(p, \tau) = \int_x A(x, t = \tau + px) dx$$

2. El siguiente paso consiste en calcular la transformada de Fourier (p-f) de los registros en el dominio p- $\tau$ :

$$F_A(p, f) = \int_{\tau} A(p, \tau) e^{-2\pi i f \tau} d\tau$$

3. A partir de la transformada de Fourier  $F_A$  se obtiene el espectro de amplitudes:

$$S_A(p, f) = F_A(p, f)^* F_A(p, f)$$

4. Este método suma las dos Transformadas de Radon  $p$ - $\tau$  de un mismo registro teniendo en cuenta tanto la energía que se propaga en el sentido de avance de la línea ( $p > 0$ ) como en sentido inverso ( $p < 0$ ). Por ello es necesario sumar los valores a cada lado del hemisferio definido por ( $p = 0$ ):

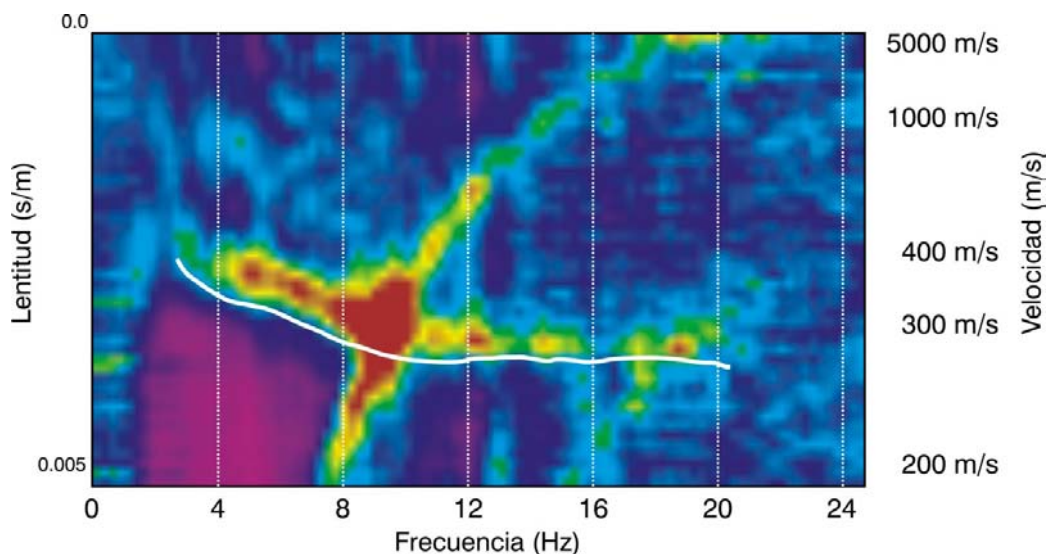
$$S_A(|p|, f) = [S_A(p, f)]_{p \geq 0} + [S_A(-p, f)]_{p < 0}$$

En este punto se han convertido los registros de campo en el dominio  $x$ - $t$  al dominio  $p$ - $f$ , donde, para este tipo de registros,  $p$  es la componente horizontal del vector retardo o lentitud (recíproca de la velocidad).

5. El último paso necesario para el procesamiento de los datos consiste en repetir los pasos 1 a 4 para cada una de las ventanas de registro obtenidas y sumar todos los espectro obtenidos:

$$S_{TOTAL}(|p|, f) = \sum_n S_{A_n}(|p|, f)$$

La **Figura 8** muestra un ejemplo del resultado final que se obtiene después de realizar el procesamiento anteriormente descrito.



**Figura 8.** Espectro de amplitudes promedio obtenido en un ensayo de REMI.

Una vez obtenidos los espectros promedio para cada una de las implantaciones realizadas se determina la curva de dispersión buscando la envolvente de menor velocidad aparente que aparece en los espectros promedio (línea blanca en la **Figura 8**). A partir de esta curva de dispersión se obtiene un modelo de velocidad de ondas S del terreno mediante un proceso de inversión iterativo. También se puede emplear, como complemento a las fuentes naturales de vibración, una fuente sísmica conocida y alineada con la línea de sensores. En ese caso la



velocidad observada de las ondas Rayleigh no es aparente sino real y la curva de dispersión se obtiene picando el centro de la envolvente en los espectros de amplitudes.

## IV. TRABAJOS REALIZADOS

### IV.1 Trabajos de campo

#### Tomografía Eléctrica

Los trabajos de campo han consistido en la realización de un total de dos (2) perfiles de tomografía eléctrica, **TME-1** y **TME-2**, con una longitud en superficie de 357,5 metros para el perfil **TME-1** y de 355,0 metros para el perfil **TME-2**. La posición de los perfiles se puede observar en el **Plano A-1 (Anexo A)**.

**Tabla 1. Características de los perfiles de Tomografía Eléctrica realizados.**

Perfil	Número de electrodos	Longitud en superficie (m)	Longitud en planta (m)	Dirección	Número de lecturas
<b>TME-1</b>	144	357,5	353,0	SO-NE	3.666
<b>TME-2</b>	143	355,0	348,0	NO-SE	4.336

Para la realización de los perfiles de tomografía eléctrica se han utilizado implantaciones con una configuración electródica tipo Wenner–Schlumberger y espaciado entre electrodos de 2,5 metros, obteniéndose un mallado de datos muy denso.

Para la toma de datos de campo se ha empleado una doble curva de inyección con un semiperiodo de 180 milisegundos de duración y lecturas de diferencias de potencial, y por tanto resistividad aparente, cada un (1) milisegundo. El retardo de la curva de inyección fue de 90 ms y se aplicó un filtro paso-bajo de 10 Hz de tipo Bessel. Con estos parámetros de inyección se obtiene un valor promedio (y su nivel asociado de incertidumbre) de la resistividad aparente en cada punto a partir de numerosas lecturas.

Para referenciar topográficamente los perfiles se ha empleado la cartografía digital proporcionada y los datos tomados en campo.

#### Tomografía Sísmica

Se realizaron un total de seis (6) perfiles sísmicos (**TMS-1** a **TMS-6**) de longitudes variables entre 120,0 y 360,0 metros. La posición de los perfiles se puede observar en el **Plano A-1 (Anexo A)**.

**Perfil TMS-1:** Perfil de tomografía sísmica de 120 metros de longitud, donde se implantaron 24 geófonos espaciados a 5,0 metros de distancia con 2 disparos exteriores a 2,5 metros del primer y último geófono, y 5 disparos interiores espaciados a 20 metros, realizando un total de 7 disparos.

**Perfil TMS-2:** Perfil de tomografía sísmica de 355 metros de longitud, compuesto por dos (2) implantaciones consecutivas de 48 y 46 geófonos espaciados a 5,0 metros, con solape de 24 geófonos (115 metros) y repetición de 2 tiros. En total se ejecutaron 2 disparos exteriores a 5,0 metros del primer y último geófono, y 19 disparos interiores espaciados a 20 metros, realizando un total de 21 disparos.

**Perfil TMS-3:** Perfil de tomografía sísmica de 120 metros de longitud, donde se implantaron 24 geófonos espaciados a 5 metros de distancia con 2 disparos exteriores a 2,5 metros del primer y último geófono, y 5 disparos interiores espaciados a 20 metros, realizando un total de 7 disparos.

**Perfil TMS-4:** Perfil de tomografía sísmica de 360 metros de longitud, compuesto por dos (2) implantaciones consecutivas de 48 geófonos espaciados a 5 metros, con solape de 24 geófonos (115 metros) y repetición de 2 tiros. En total se ejecutaron 2 disparos exteriores a 2,5 metros del primer y último geófono, y 19 disparos interiores espaciados a 20 metros, realizando un total de 21 disparos.

**Perfil TMS-5:** Perfil de tomografía sísmica de 360 metros de longitud, compuesto por dos (2) implantaciones consecutivas de 48 geófonos espaciados a 5 metros, con solape de 24 geófonos (115 metros) y repetición de 3 tiros. En total se ejecutaron 2 disparos exteriores a 2,5 metros del primer y último geófono, y 19 disparos interiores espaciados a 20 metros, realizando un total de 22 disparos.

**Perfil TMS-6:** Perfil de tomografía sísmica de 130 metros de longitud, donde se implantaron 23 geófonos espaciados a 5 metros de distancia con 2 disparos exteriores a 10 metros del primer y último geófono, y 6 disparos interiores espaciados a 20 metros, realizando un total de 8 disparos.

Los equipos utilizados para la adquisición de datos han sido dos sismógrafos multicanal, provistos de un sistema de filtrado, reforzamiento de señal y grabación en soporte magnético, y geófonos de componente vertical de 10 Hz. La fuente de energía utilizada para la generación de la onda de compresión fue una maza de cinco (5) kilos golpeando sobre una placa metálica de 20x20 cm.

Debido a que la topografía era acusada, en algunas zonas, la longitud proyectada en planta es menor que la longitud en superficie. En la **Tabla 2** se indica, para cada perfil sísmico correspondiente, el número de geófonos efectivos empleados (estaciones), número de disparos, posición de los disparos exteriores, la longitud efectiva del perfil en superficie

(longitud total con disparos exteriores), y la longitud proyectada en planta (**Plano A-1, Anexo A**).

**Tabla 2. Características de los perfiles de Tomografía Sísmica realizados.**

PERFIL	Número de estaciones	Número de disparos	Disparos exteriores	Longitud en superficie (m)	Longitud en planta (m)
<b>TMS-1</b>	24	7	-2,5 / +2,5	120	120
<b>TMS-2</b>	70	21	-5,0 / +5,0	355	348
<b>TMS-3</b>	24	7	-2,5 / +2,5	120	110
<b>TMS-4</b>	72	21	-2,5 / +2,5	360	351
<b>TMS-5</b>	72	22	-2,5 / +2,5	360	356
<b>TMS-6</b>	23	8	-10,0 / +10,0	130	127

### Sísmica Pasiva REMI

En el presente estudio geofísico se realizaron un total de nueve (9) ensayos de REMI (**REMI 1, REMI 2A, REMI 2B, REMI 4A, REMI 4B, REMI 5A, REMI 5B, REMI 6A y REMI 6B**) empleando las mismas implantaciones sísmicas utilizadas en los perfiles de Tomografía Sísmica **TMS-1, TMS-2, TMS-4, TMS-5 y TMS-6**. La posición de los ensayos REMI efectuados (puntos centrales de cada ensayo) se presentan en el **Plano A-1 (Anexo A)**.

Para cada uno de los ensayos REMI se han realizado 6 ventanas de registro, siendo todas ellas de 20 segundos de duración y con una razón de muestreo de 2 milisegundos, obteniendo registros de ondas Rayleigh producidas tanto de manera natural (vibraciones producidas por fuentes ajenas al ensayo no controladas) como de manera artificial mediante fuentes conocidas (maza).

## IV.2 Trabajo de gabinete

El trabajo de gabinete ha consistido en el procesado e interpretación de los datos geofísicos obtenidos en campo, su comparación con la información geológica disponible, la preparación de perfiles de síntesis, la realización de planos de posicionamiento y la elaboración de este informe.

### Tomografía Eléctrica

Para el procesado de los datos de resistividad eléctrica se han utilizado diferentes programas de interpretación, comerciales y de desarrollo propio, así como diferentes parámetros de inversión para obtener modelos geoeléctricos del terreno.

Los datos teóricos producidos por los modelos de inversión de resistividad generados en gabinete, se comparan, de manera iterativa, con los valores de resistividad aparente medidos

en campo. Si la comparación es buena (pequeñas variaciones entre valores observados y teóricos), se detiene el proceso de iteración. Si el ajuste no es bueno, el proceso continúa hasta que se alcanza la convergencia del modelo. La comparación entre los valores medidos y los obtenidos en el modelo de inversión, en relación a la rapidez de la convergencia de los modelos geoelectricos son indicativos del error de ajuste del modelo (RMS).

Para reducir el efecto de interferencias, asociadas al entorno fuertemente antropizado en el que se realizó el perfil, se eliminaron todas las lecturas de campo con desviaciones estándar superiores al 15%.

### **Tomografía Sísmica**

Los datos sísmicos adquiridos en campo fueron registrados en soporte digital para su procesado posterior. Este procesado, en resumen consistió en:

- Edición de la geometría de cada perfil.
- Filtrado de sismogramas.
- Identificación de las llegadas de las ondas P a cada geófono.
- Edición de las curvas tiempo-distancia (dromocronas).
- Inversión de los datos y construcción de los modelos de velocidad.
- Análisis de trayectorias de ondas P (frentes de onda) para el cálculo de los mapas de resolución/cobertura de rayos.
- Edición gráfica de los resultados obtenidos.

### **Sísmica Pasiva REMI**

Para el procesado de los datos de REMI se han utilizado diferentes programas de interpretación comerciales según el siguiente esquema:

- Edición de geometría
- Ecualización de los sismogramas
- Cálculo de los diagramas p-f
- Suma de los espectros obtenidos en el apartado anterior
- Determinación de la curva de dispersión
- Obtención de varios modelos unidimensionales de velocidad de ondas S con distintos parámetros de inversión.
- Cálculo del modelo promedio resultante a partir de los modelos unidimensionales obtenidos en el apartado anterior.
- Edición gráfica de los resultados obtenidos.

Para cada uno de los ensayos realizados se han generado cinco modelos distintos con diferentes parámetros de inversión. De este modo se puede apreciar la variabilidad de las

soluciones obtenidas. A partir de los cinco modelos se calcula, en cada caso, un modelo promedio de velocidad de propagación de las ondas de cizalla con la profundidad.

## V. RESULTADOS

### V.1 Tomografía Eléctrica

En el **Anexo B (Planos B-4 y B-5)** se muestran los modelos geoeléctricos obtenidos y su interpretación. Se adjuntan además los modelos **CSB-1** a **CSB-3** descritos en el informe GAC/80246 con fecha de abril de 2009 (**Planos B-1 a B-3**).

Según la información geológica-geotécnica disponible, los materiales presentes en la zona de estudio son rellenos antrópicos superficiales, de espesor variable, compuestos por arcilla limosa y arena gris clara con restos cerámicos y de fábrica; por debajo y en algunas zonas aflorando, aparecen arenas limosas de color marrón-amarillento con relictos de calcarenita. El sustrato Mioceno está formado por arcillas y margas.

En los modelos geoeléctricos del terreno, obtenidos a partir del procesado de los datos recopilados, y hasta la profundidad máxima de investigación (entre 25 y 50 metros aproximadamente desde la superficie) se observa un rango de resistividades eléctricas que varían entre 2 y 500 Ohm.m. Estas resistividades eléctricas se pueden correlacionar con los materiales geológicos de la zona, y la información geológico-geotécnica disponible hasta el momento, según tres subrangos fundamentales:

- Arcillas. Presenta resistividades eléctricas muy bajas (por debajo de 5 Ohm.m).
- Arcillas margosas, arcillas arenosas y arenas limosas. Presenta resistividades eléctricas comprendidas entre 5 y 50 Ohm.m. Los valores más bajos corresponden a las zonas donde predominan las arcillas margosas, mientras que los valores más altos del intervalo corresponden con las arenas limosas.
- Rellenos antrópicos. Presenta resistividades eléctricas comprendidas entre los 50 Ohm.m y los 500 Ohm.m.

Hay que destacar que esta clasificación es de carácter simplista y que existe un solape entre los distintos intervalos definidos debido principalmente a la mezcla existente entre litologías y a la variación en la cantidad de humedad del terreno. Por ejemplo, las arcillas presentan resistividades por debajo de 5 Ohm.m cuando se encuentra más expuesta a la humedad mientras que si se encuentran con mayor grado de consistencia (litificadas) o menor contenido en humedad su resistividad puede aumentar hasta los 50 Ohm.m.

A continuación se describen los elementos más relevantes de la interpretación de los distintos modelos obtenidos.

#### **TME-1 (Plano B-4)**

El modelo presenta hasta el metro 258 resistividades que oscilan entre 5 y 500 Ohm-m (excepto anomalías puntuales de pequeñas dimensiones), asociándose los valores más bajos con materiales que presentan un alto contenido en finos y humedad. A partir del metro 258 del modelo las resistividades descienden bruscamente en superficie, hasta una profundidad de entre 5 y 10 metros, definiéndose con claridad un límite inferior que podría corresponder con un plano de debilidad o deslizamiento. La razón para interpretar como una potencial superficie de debilidad o rotura los límites inferiores de las anomalías conductoras reside en que este límite o interfase corresponde probablemente a una zona con mayor contenido en agua y/o en material limo-arcilloso, y que por tanto en cualquiera de los casos podría actuar como catalizador de futuros movimientos

#### **TME-2 (Plano B-5)**

El modelo presenta en superficie, hasta el metro 112, resistividades bajas y muy bajas que alcanzan profundidades de 10 a 26 metros (profundidad máxima investigada en esta zona). Estos valores se asocian a un material de alto contenido en finos y humedad que corresponderían a dos cuerpos de deslizamiento diferentes. El primero de ellos estaría definido por la anomalía conductora presente entre el metro 0 y el metro 70 de modelo y correspondería a un deslizamiento con movimiento hacia el NO (marcado por las flechas blancas en el **Plano B-5**) mientras que la anomalía conductora entre el metro 70 y el metro 112 correspondería a un deslizamiento en dirección NE (perpendicular al plano del modelo **TME-2**, marcado en el **Plano B-5** por un círculo blanco).

Por otra parte, desde el metro 112 hasta el final del perfil aparece en superficie y hasta una profundidad que varía entre 8 y 13 metros un nivel con valores de resistividad medios a altos que se corresponden con materiales donde el contenido en finos y humedad es bajo. En la parte final del perfil (los últimos 53 metros) estos valores medios a altos se corresponden con una zona de escombrera que tiene un espesor máximo de 9 metros.

En profundidad, inmediatamente debajo del nivel resistividad media-alta, y hasta una profundidad que oscila entre 27 y 38 metros, aparece un material con valores de resistividad bajos, y por tanto con mayor contenido en humedad y/o finos. Es importante destacar que entre los metros 112 y 138 de perfil, se produce una bajada relativa de los valores de resistividad, que podría corresponderse con una zona de acumulación de humedad. Debajo de este nivel, y hasta la profundidad máxima investigada que es de 50 metros, las resistividades

aumentan debido, probablemente a un aumento en la granulometría y un menor contenido en humedad.

## V.2 Tomografía sísmica

En el **Anexo C (Planos C-1 a C-8)** se muestran los modelos de tomografía sísmica obtenidos y su interpretación. En este estudio geofísico se han realizado seis (6) perfiles de tomografía sísmica de alta resolución de longitudes variables entre 120,0 y 360,0 metros.

Todos los modelos obtenidos muestran distribuciones de velocidad que por lo general aumentan con la profundidad aunque se han detectado algunas capas de baja velocidad dentro del rango de velocidades de 1.500 a 2.000 m/s.

Del análisis conjunto de los distintos modelos obtenidos de velocidad sísmica, y cobertura de frentes de ondas P, se extraen los siguientes resultados:

**Perfil TMS-1 (Planos A-1 y C-1):** Muestra una distribución de velocidades homogénea lateralmente y que aumenta con la profundidad. No se han detectado capas de baja velocidad sísmica relativa en el modelo, ni refractores en los gráficos de cobertura que pudiesen estar asociados a niveles o interfases potenciales de deslizamiento.

**Perfil TMS-2 (Planos A-1 y C-2):** El modelo es lateralmente homogéneo pero en este caso se identifica la presencia de un refractor continuo en el gráfico de cobertura, desde el metro 30 hasta el final del perfil, a una profundidad que varía entre 9 y 19 metros. Este refractor coincide esencialmente con la isolínea de velocidad de 1.500 m/s, y podría estar asociado con la presencia de una superficie potencial de deslizamiento.

**Perfil TMS-3 (Planos A-1 y C-3):** Se identifica la presencia de un refractor continuo, a lo largo de todo el perfil (que al igual que en el **TMS-2**, coincide con la isolínea de 1.500 m/s), con una profundidad que varía entre 6 y 13 metros, asociado con la posible presencia de una superficie potencial de deslizamiento. Además, en el modelo de velocidad de ondas P se ha observado un descenso de la velocidad sísmica localizada a una profundidad que varía entre los 15 y los 30 metros, con un espesor de entre 11 y 23 metros. El rango de velocidades entre los que se localiza esta zona sería de 1.500 y 2.000 m/s. En el gráfico de cobertura se puede observar como esta zona se corresponde con una baja densidad de frentes de ondas P, pudiendo interpretarse dicha zona como un material menos competente



**Perfil TMS-4 (Planos A-1, C-4 y C-5):** En el gráfico de cobertura se identifica la presencia de un refractor, desde el metro 44 hasta el 146 del perfil, a una profundidad que varía entre 14 y 20 metros. Este refractor coincide, al igual que en los modelos anteriores, con la isolínea de velocidad de 1.500 m/s y estaría asociado con la presencia de una superficie potencial de deslizamiento. Entre el metro 80 y 125 del modelo se observa un aumento local del campo de velocidades sísmicas a una profundidad aproximada de 22 metros que coincide con una anomalía de carácter resistivo que aparece en el modelo **TME-2 (Plano B-5)**. Estas dos características (material rápido desde el punto de vista sísmico y resistivo eléctricamente) indicarían que en esta zona el terreno es más competente en comparación con los materiales circundantes.

**Perfil TMS-5 (Planos A-1, C-6 y C-7):** Muestra una distribución de velocidades que aumenta con la profundidad y es muy similar al modelo **TMS-4**. A diferencia de este modelo no se aprecian planos de refracción claramente desarrollados como en el caso anterior. La parte central del modelo presenta velocidades en profundidad ligeramente inferiores a las que aparecen en los extremos. Al final del modelo, en su parte más profunda, se han obtenido altas velocidades (superiores a 3.000 m/s) que podrían indicar la presencia de un sustrato rocoso firme.

**Perfil TMS-6 (Planos A-1 y C-8):** Se identifica una capa superficial de baja velocidad sísmica, con un rango de valores comprendido entre 1.000 y 1.500 m/s, desde el metro 46 hasta el 78, y una potencia de entre 8 y 10 metros. Esta zona se corresponde con una menor cobertura de frentes de ondas P en el gráfico de cobertura perteneciente a este modelo, pudiendo interpretarse dicha zona como una alternancia con un material menos consistente. También se observa un pequeño refractor entre el metro 80 y 110 del gráfico de cobertura a 7 m de profundidad. En la parte más profunda del modelo se han obtenido altas velocidades (superiores a 3.000 m/s) que podrían indicar la presencia de un sustrato rocoso firme.

### V.3 Sísmica Pasiva REMI

Se han obtenido nueve (9) modelos unidimensionales de la velocidad de propagación de las ondas sísmicas de cizalla ( $V_s$ ) a partir del análisis de las curvas de dispersión de las ondas Rayleigh. Para cada ensayo se ha generado una curva de dispersión que ha sido obtenida a partir del análisis de seis (6) registros de 20 segundos de duración cada uno en implantaciones de 24 geófonos (**REMI 1, REMI 2A, REMI 2B, REMI 4A, REMI 4B, REMI 5A y REMI 5B**) o 23 geófonos (**REMI 6A y REMI 6B**), y trazas (sismogramas) separadas 5,0 metros entre sí (con una distancia máxima entre trazas de 115,0 m).



En cada uno de los nueve ensayos se han obtenidos distintos modelos (soluciones) y se ha calculado un valor promedio de todas estas soluciones. De este modo se puede estimar la variabilidad de cada uno de los parámetros (velocidades de propagación y espesores de las capas) que forman los modelos. Los nueve modelos obtenidos (**Planos D-1 a D-5, Anexo D**) se pueden correlacionar de manera directa con los modelos de velocidad **TMS-1, TMS-2, TMS-4, TMS-5 y TMS-6**.

**REMI1 (Planos A-1 y D-1):** La velocidad de las ondas de cizalla aumenta gradualmente con la profundidad desde 240 m/s en superficie hasta 600 m/s a 35 metros de profundidad. En ninguno de los modelos obtenidos aparecen capas de baja velocidad.

**REMI2A (Planos A-1 y D-2):** La velocidad de las ondas de cizalla aumenta gradualmente con la profundidad desde 240 m/s en superficie hasta una profundidad de 15 metros donde se produce un brusco aumento hasta los 600 m/s.

**REMI2B (Planos A-1 y D-2):** El modelo es similar al anterior (**REMI2A**) con una velocidad que aumenta gradualmente con la profundidad desde 140 m/s en superficie hasta 320 m/s a una profundidad de 10 metros. Si embargo, en este modelo aparece una capa de baja velocidad entre 10 y 15 m de profundidad, donde las velocidades de las ondas de cizalla disminuyen hasta los 230 m/s. Este intervalo de profundidades coincide esencialmente con el refractor que aparece en el modelo **TMS-2 (Plano C-2)**.

**REMI4A (Planos A-1 y D-3):** El modelo muestra muchas características del anterior (**REMI2B**): una velocidad que aumenta gradualmente con la profundidad desde 230 m/s en superficie hasta 280 m/s a una profundidad de 10 metros y de nuevo una capa de baja velocidad entre 10 y 15 m de profundidad donde las velocidades de las ondas de cizalla disminuyen sugiriendo la presencia de un nivel más débil mecánicamente (220 m/s).

**REMI4B (Planos A-1 y D-3):** El modelo es muy similar al anterior (**REMI4A**), presentando una velocidad que aumenta gradualmente con la profundidad desde 180 m/s en superficie hasta 250 m/s a una profundidad de 10 metros. En este caso se observa una capa de baja velocidad muy poco desarrollada (tanto en potencia como en disminución de la velocidad) entre 10 y 11 m de profundidad. Por debajo de esta capa las velocidades vuelven a aumentar hasta los 560 m/s.

**REMI5A (Planos A-1 y D-4):** Las velocidades aumentan desde valores de 190 m/s en superficie hasta 250 m/s a 7 metros de profundidad. A partir de esta profundidad y hasta los 15 m la velocidad disminuye ligeramente, lo que podría indicar la presencia de una capa

mecánicamente débil. Por debajo de esta capa las velocidades vuelven a aumentar hasta los 460 m/s.

**REMI5B (Planos A-1 y D-4):** El modelo es muy similar al **REMI 4A** con velocidades que aumentan desde valores de 240 m/s en superficie hasta 280 m/s a 7 metros de profundidad. A partir de esta profundidad y hasta los 14 m la velocidad disminuye ligeramente, lo que podría indicar la presencia de una capa mecánicamente débil. Por debajo de esta capa las velocidades vuelven a aumentar hasta los 480 m/s.

**REMI6A (Planos A-1 y D-5):** El modelo presenta velocidades en superficie que aumentan desde los 160 m/s. A 5 metros de profundidad la velocidad aumenta bruscamente hasta los 300 m/s aproximadamente. Este cambio de velocidad podría marcar la base de los rellenos antrópicos y el techo del terreno natural. Entre los 10 y los 20 m de profundidad las velocidades indican la posible presencia de una capa de baja velocidad (240 m/s). A partir de esta profundidad las velocidades aumentan gradualmente hasta alcanzar 720 m/s a 35 m de profundidad.

**REMI6B (Planos A-1 y D-5):** El modelo presenta velocidades en superficie que aumentan desde los 180 m/s. A 16 metros de profundidad aparece un pequeño incremento (hasta 320 m/s) de la velocidad. A 32 m de profundidad el modelo presenta un brusco aumento de la velocidad hasta alcanzar los 800 m/s.

Conviene recordar que los modelos de velocidad obtenidos a partir del método REMI son un promedio aproximado de la estructura del subsuelo existente a lo largo de la implantación analizada (57,5 y 105,0 m en este caso), y cuando existen fuertes variaciones laterales de la estructura (como es este caso) los modelos deben interpretarse con precaución.

## VI. CONCLUSIONES

El objetivo de este estudio geofísico es caracterizar la estructura interna del terreno en el Barranco del Argollón (Carmona), por donde discurre un nuevo trazado de acceso a la ciudad y al final del cual se prevé la construcción de un aparcamiento público en superficie.

De los resultados obtenidos en la campaña geofísica realizada se derivan las siguientes conclusiones divididas en cuatro zonas: el comienzo del acceso donde se ha proyectado una rotonda (**Zona 1**), la zona media del trazado anterior a la curva donde el trazado se extiende en dirección SW-NE (**Zona 2**), la zona media del trazado posterior a la curva donde el trazado se extiende en dirección NW-SE (**Zona 3**) y la plataforma de aparcamiento (**Zona 4**).

### ZONA 1. Rotonda

- En esta zona se han obtenido los modelos sísmicos **TMS-1** y **REMI1**. No se han detectado anomalías que pudiesen estar asociadas a procesos de deslizamiento. De las cuatro zonas analizadas se puede considerar como la más homogénea, y a priori como más estable.

### ZONA 2. Sector medio (Trazado SW-NE)

- Los modelos de Tomografía Eléctrica obtenidos en este estudio, y en anteriores, muestran variaciones de la resistividad eléctrica de entre 5 y 500 Ohm.m. Se han detectado zonas muy conductoras (por debajo de 10 Ohm.m) superficiales asociadas a paquetes arcillosos posiblemente húmedos y que podrían estar relacionados con procesos de deslizamiento (**Plano B-2**).
- Los modelos sísmicos confirman la presencia de superficies de refracción (**Planos C-2** y **C-3**) y de zonas de baja velocidad (**Plano D-2**). Estas anomalías podrían estar asociadas a procesos de deslizamiento hasta profundidades de entre 10 y 15 metros. Las problemáticas en esta zona son de carácter más marcado hacia la segunda mitad del trazado, junto a la zona de curva.

### ZONA 3. Sector medio (Trazado NW-SE)

- Los modelos de Tomografía Eléctrica obtenidos en este estudio y en anteriores muestran variaciones de la resistividad eléctrica de entre 5 y 500 Ohm.m. Al igual que en la **Zona 2** se han detectado zonas muy conductoras superficiales asociadas a paquetes arcillosos posiblemente húmedos, y que podrían estar relacionados con procesos de deslizamiento (**Planos B-1, B-3 y B-5**).
- Los modelos sísmicos vuelven a confirmar la presencia de superficies de refracción (**Plano C-4**) y de zonas de baja velocidad (**Plano D-3**). Estas anomalías podrían estar asociadas a interfases o superficies de deslizamiento hasta profundidades de entre 10 y 15 metros. Las problemáticas en esta zona son de carácter más marcado hacia la primera mitad del trazado, junto a la zona de curva.

### ZONA 4. Plataforma de aparcamiento

- A diferencia de los casos anteriores, no se han detectado zonas conductoras superficiales asociadas a paquetes arcillosos que pudiesen estar relacionadas con procesos de deslizamiento (**Plano B-5**). La capa superficial de relleno antrópico aparece como una anomalía resistiva con una potencia máxima estimada en 9 metros.
- Los modelos sísmicos (P y S) presentan zonas de baja velocidad (**Planos C-7, C-8 y D-5**) que podrían indicar la presencia de algún nivel menos competente. En esta zona es donde se han modelizado las velocidades sísmicas más altas en profundidad y que

se encuentran relacionadas probablemente con la presencia de un sustrato rocoso firme.

Madrid, a 16 de septiembre de 2009



**Fdo.: Senén Sandoval Castaño**  
**Doctor en Geofísica**



**Fdo.: mariano Rodríguez Andrino**  
**Geólogo**  
**Colegiado nº 4937**

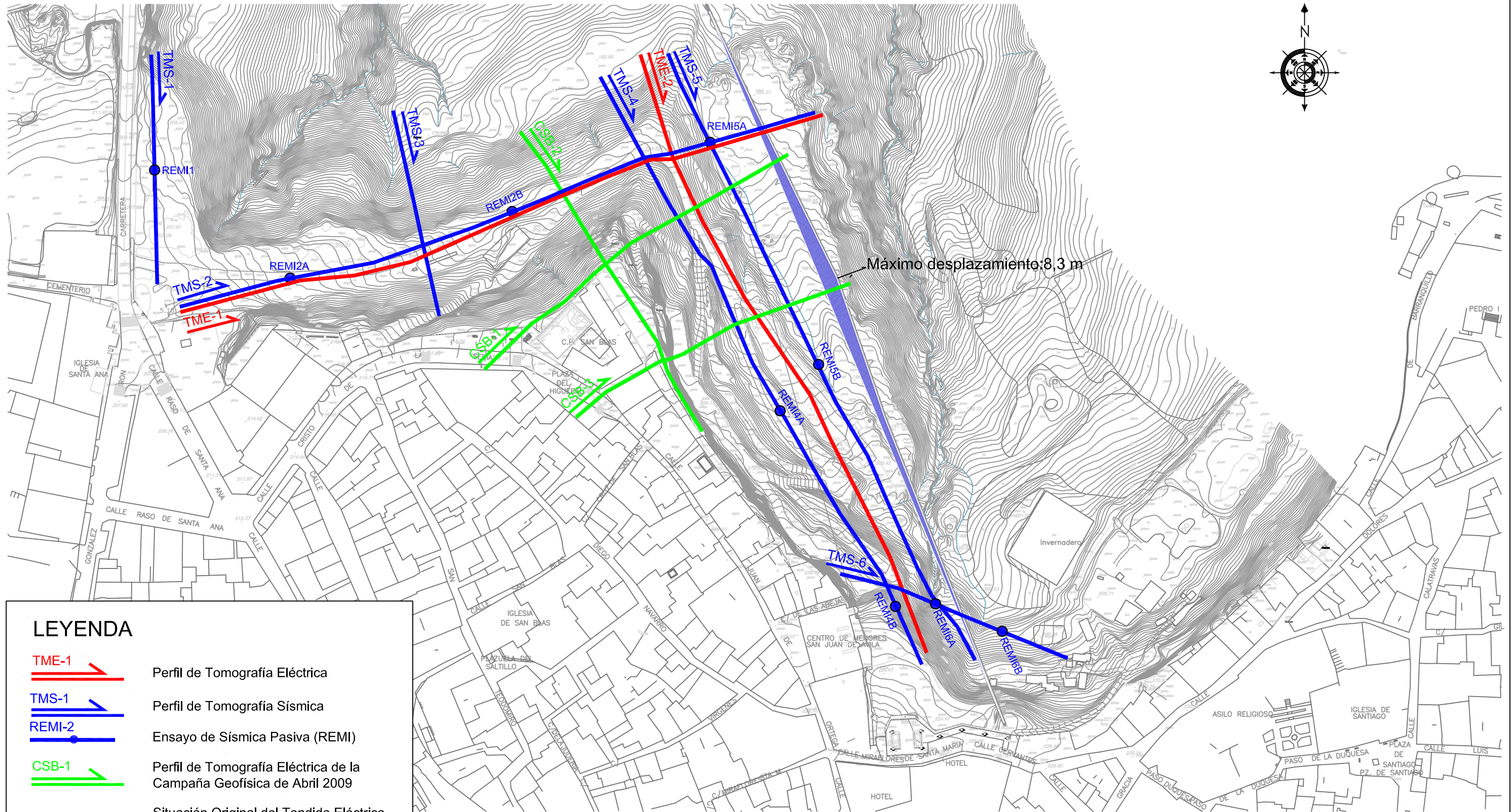


**Fdo.: Carlos M. Calvo**  
**Geólogo**  
**Colegiado nº 3595**

## **ANEXO A**

### **PLANO DE LOCALIZACIÓN**





LEYENDA

TME-1

Perfil de Tomografía Eléctrica

TMS-1

Perfil de Tomografía Sísmica

REMI-2

Ensayo de Sísmica Pasiva (REMI)

CSB-1

Perfil de Tomografía Eléctrica de la Campaña Geofísica de Abril 2009

---

Situación Original del Tendido Eléctrico

—

Situación Actual del Tendido Eléctrico

PROYECTO

ESTUDIO GEOFÍSICO COMBINADO MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA, TOMOGRAFÍA SÍSMICA Y SÍSMICA PASIVA REMI PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO ACCESO A CARMONA Y APARCAMIENTO EN EL BARRANCO DEL ARGOLLÓN, CARMONA (SEVILLA)

CLIENTE



AYUNTAMIENTO DE CARMONA

CONSULTOR



TÍTULO DEL PLANO

LOCALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS

ESCALA

DIN A3 1:2000  
0 20 40 60 80  
metros

FECHA

SEPTIEMBRE 2009

NÚMERO DE PLANO

A-1

## **ANEXO B**

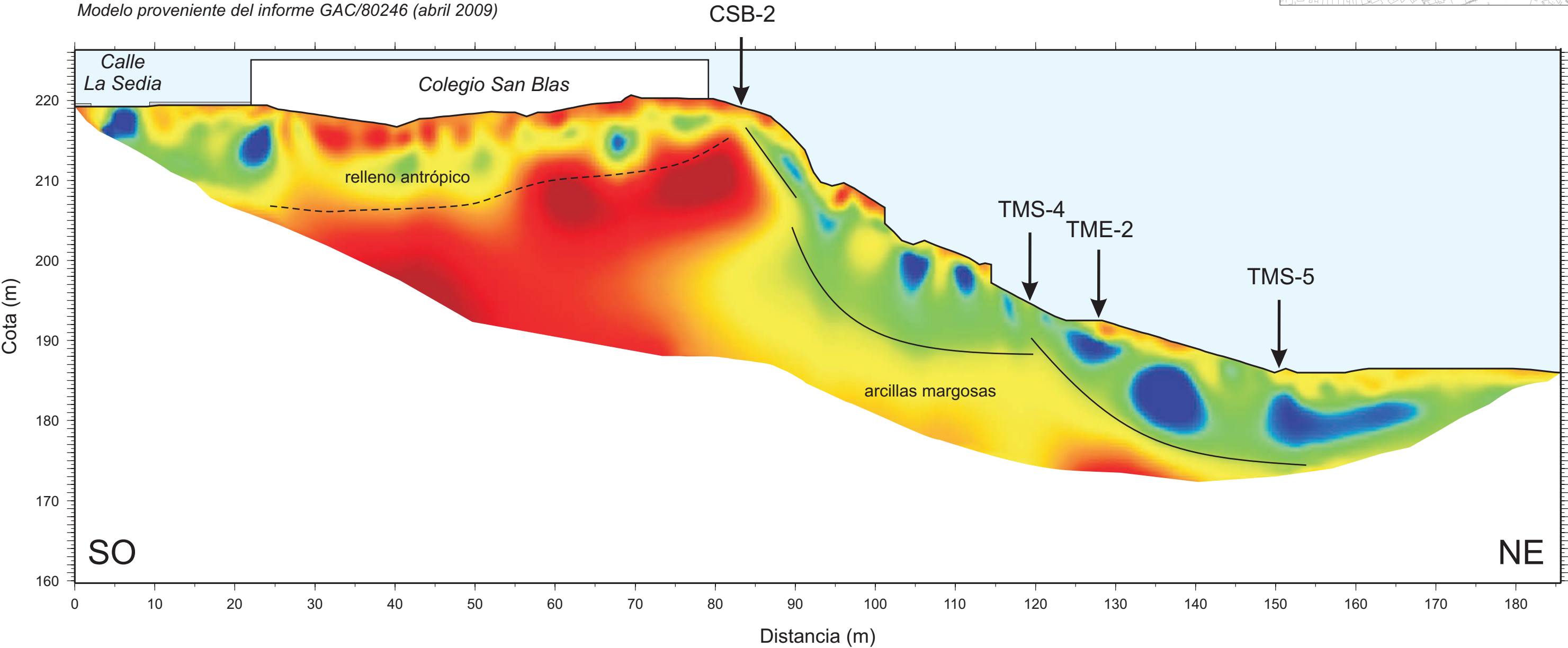
### **MODELOS DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DEL TERRENO**



# CSB-1

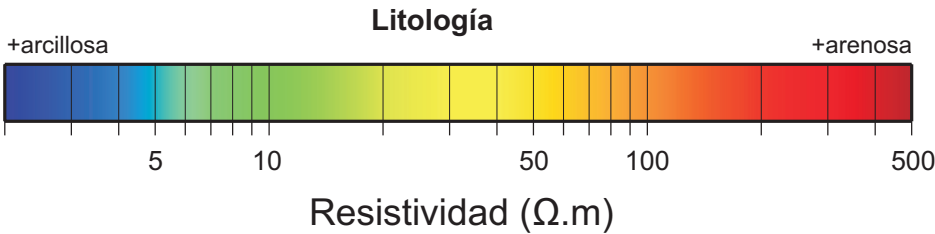


Modelo proveniente del informe GAC/80246 (abril 2009)



## Leyenda

- Potencial superficie de desplazamiento
- - - Contacto entre materiales geoelectricamente diferentes



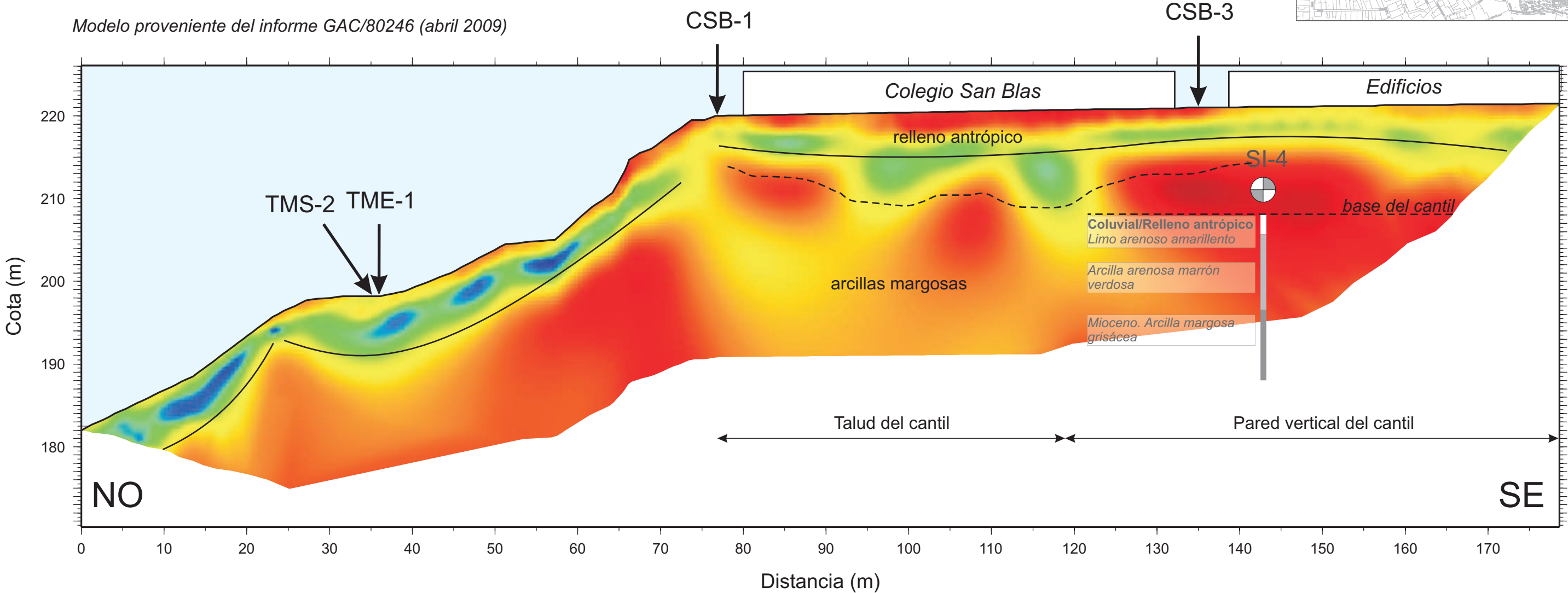
PROYECTO	CLIENTE	CONSULTOR	TÍTULO DEL PLANO	ESCALA	FECHA
ESTUDIO GEOFÍSICO COMBINADO MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA, TOMOGRAFÍA SÍSMICA Y SÍSMICA PASIVA REMI PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO ACCESO A CARMONA Y APARCAMIENTO EN EL BARRANCO DEL ARGOLLÓN, CARMONA (SEVILLA)	 Ayuntamiento de Carmona	 geofísica consultores	MODELO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA <b>CSB-1</b>	 DIN A3 1:500 0 5 10 15 20 metros	SEPTIEMBRE 2009
					NÚMERO DE PLANO
					B-1



# CSB-2



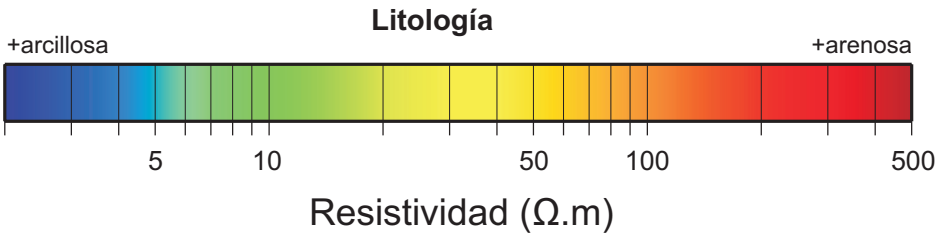
Modelo proveniente del informe GAC/80246 (abril 2009)



Testificación obtenida a partir del informe I-DGE-0517/08 (04/09/2008)

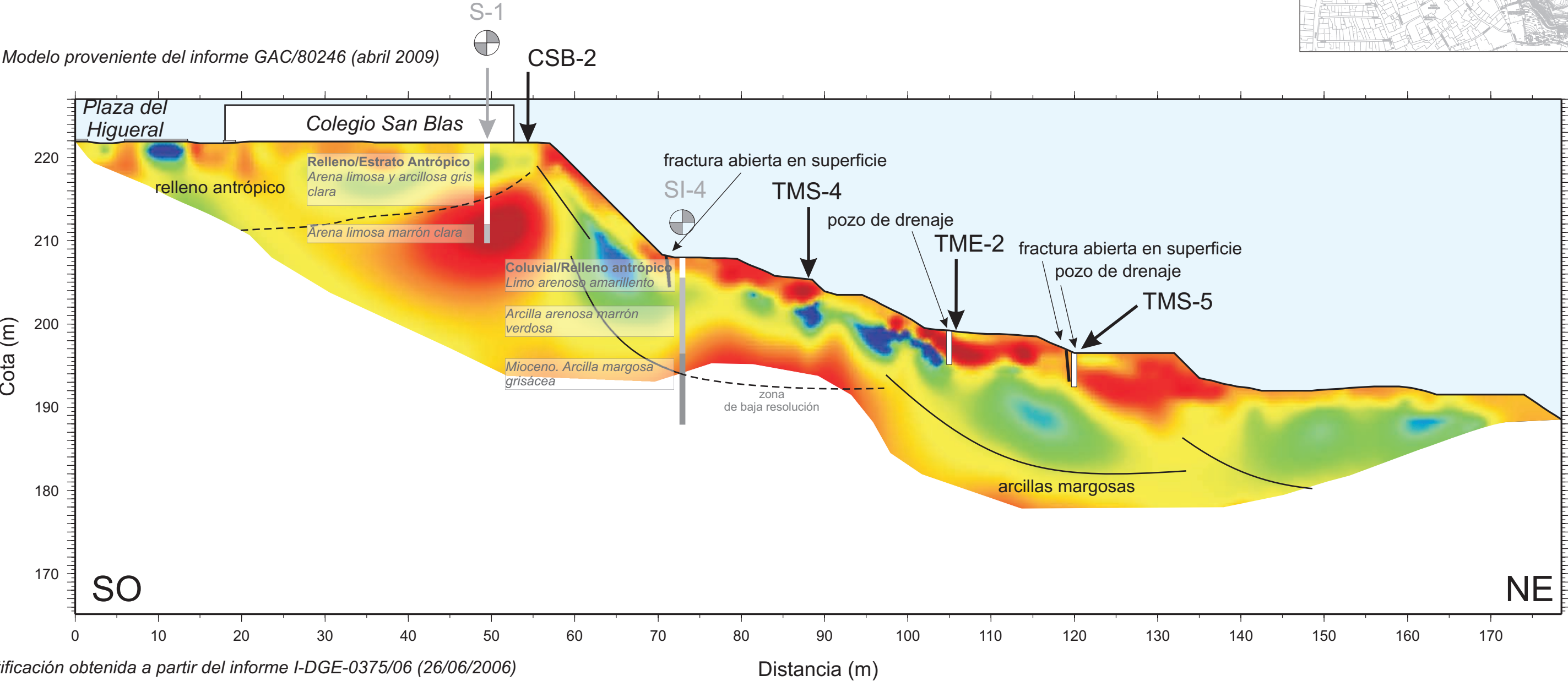
## Leyenda

- Potencial superficie de desplazamiento
- - - Contacto entre materiales geoelectricamente diferentes



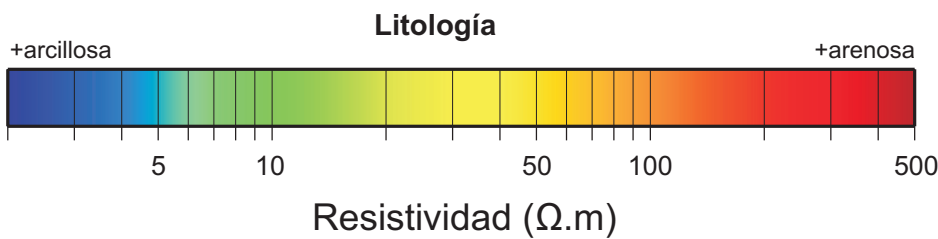
PROYECTO	CLIENTE	CONSULTOR	TÍTULO DEL PLANO	ESCALA	FECHA
ESTUDIO GEOFÍSICO COMBINADO MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA, TOMOGRAFÍA SÍSMICA Y SÍSMICA PASIVA REMI PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO ACCESO A CARMONA Y APARCAMIENTO EN EL BARRANCO DEL ARGOLLÓN, CARMONA (SEVILLA)	 Ayuntamiento de Carmona	 geofísica consultores	MODELO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA <b>CSB-2</b>	DIN A3 1:500 0 5 10 15 20 metros	SEPTIEMBRE 2009
					NÚMERO DE PLANO B-2

# CSB-3



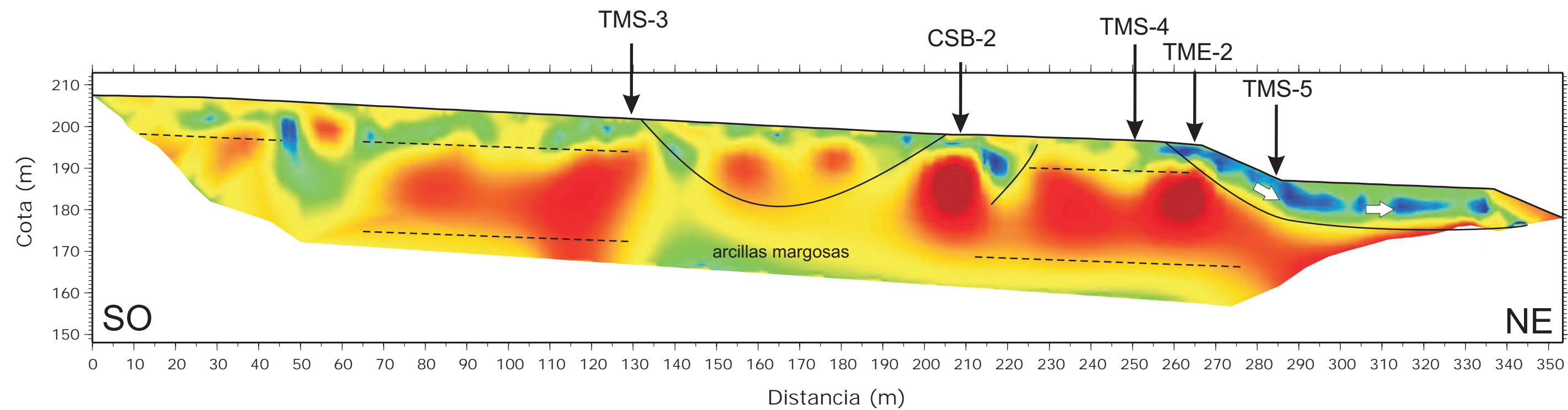
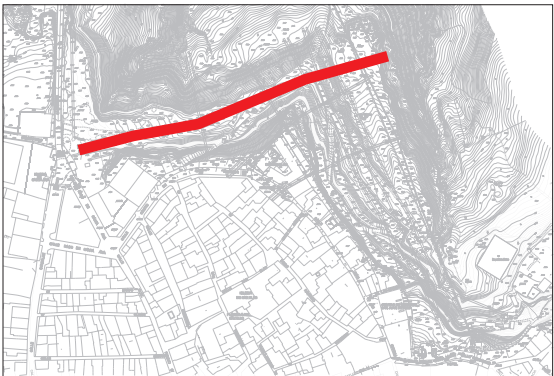
## Leyenda

- Potencial superficie de desplazamiento
- - - Contacto entre materiales geoelectricamente diferentes



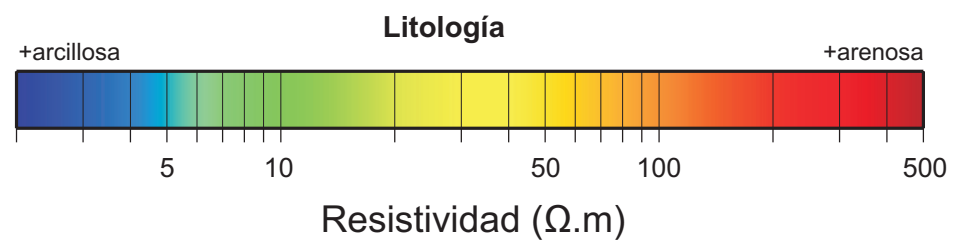
PROYECTO	CLIENTE	CONSULTOR	TÍTULO DEL PLANO	ESCALA	FECHA
ESTUDIO GEOFÍSICO COMBINADO MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA, TOMOGRAFÍA SÍSMICA Y SÍSMICA PASIVA REMI PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO ACCESO A CARMONA Y APARCAMIENTO EN EL BARRANCO DEL ARGOLLÓN, CARMONA (SEVILLA)	 Ayuntamiento de Carmona	 geofísica consultores	MODELO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA <b>CSB-3</b>	DIN A3 1:500 0 5 10 15 20 metros	SEPTIEMBRE 2009
					NÚMERO DE PLANO B-3

# TME-1



## Leyenda

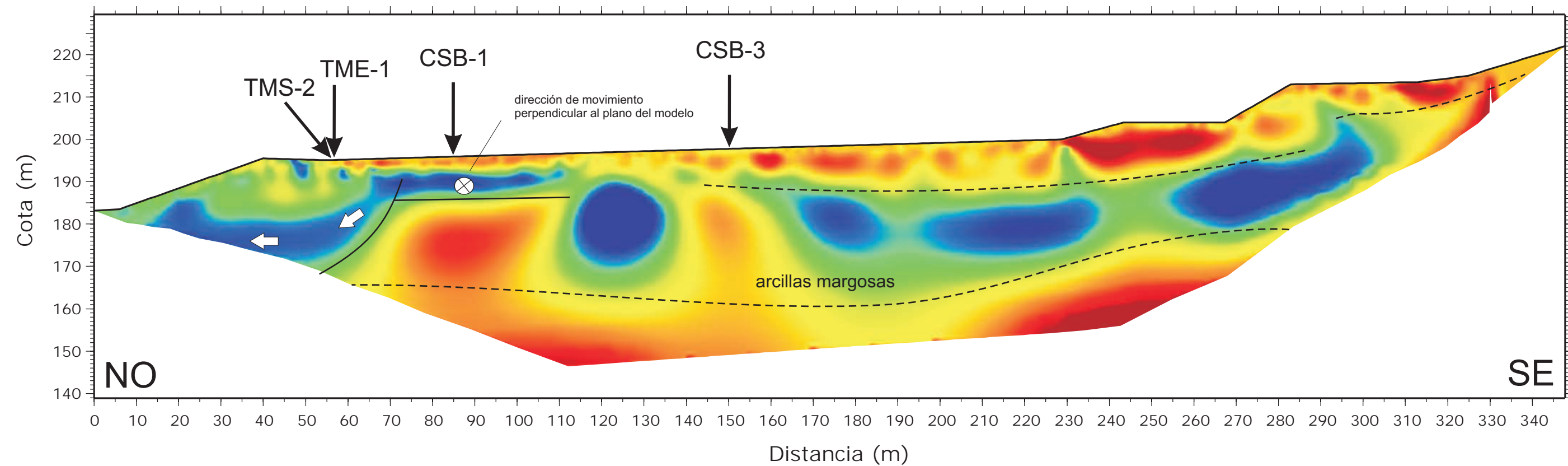
- Potencial superficie de desplazamiento
- - - Contacto entre materiales geoelectricamente diferentes



PROYECTO	CLIENTE	CONSULTOR	TÍTULO DEL PLANO	ESCALA	FECHA
ESTUDIO GEOFÍSICO COMBINADO MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA, TOMOGRAFÍA SÍSMICA Y SÍSMICA PASIVA REMI PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO ACCESO A CARMONA Y APARCAMIENTO EN EL BARRANCO DEL ARGOLLÓN, CARMONA (SEVILLA)	 Ayuntamiento de Carmona		MODELO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA <b>TME-1</b>	DIN A3 1:1000 0 10 20 30 40 metros	SEPTIEMBRE 2009
					NÚMERO DE PLANO
					B-4

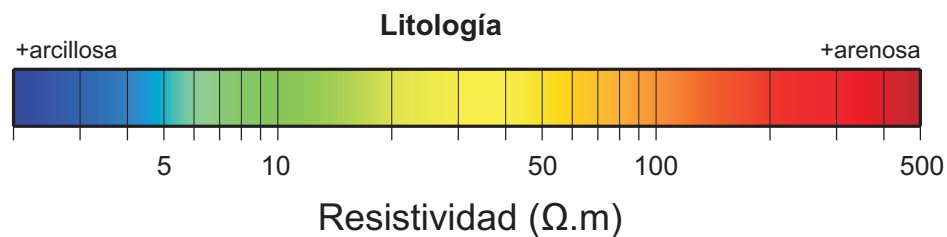


# TME-2



## Leyenda

- Potencial superficie de desplazamiento
- - - Contacto entre materiales geoelectricamente diferentes

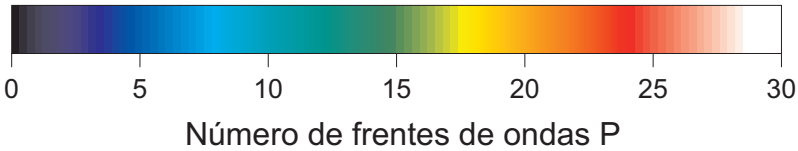
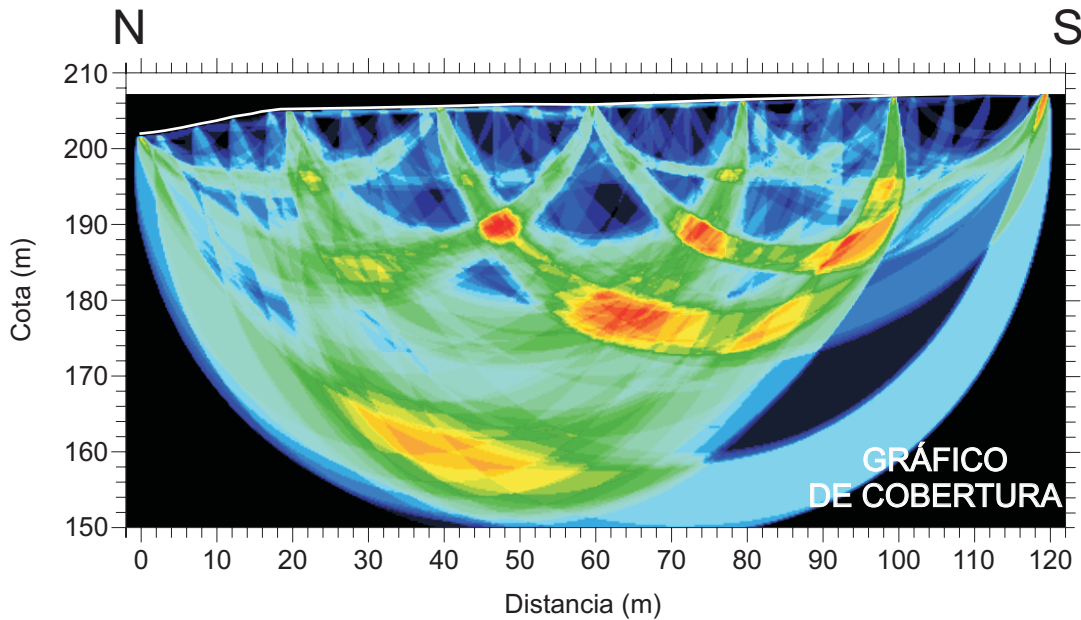
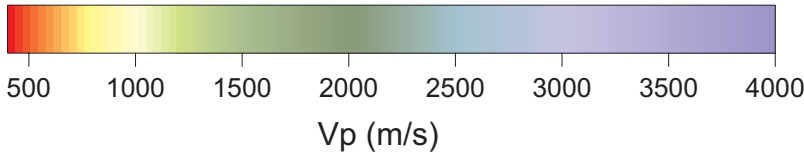
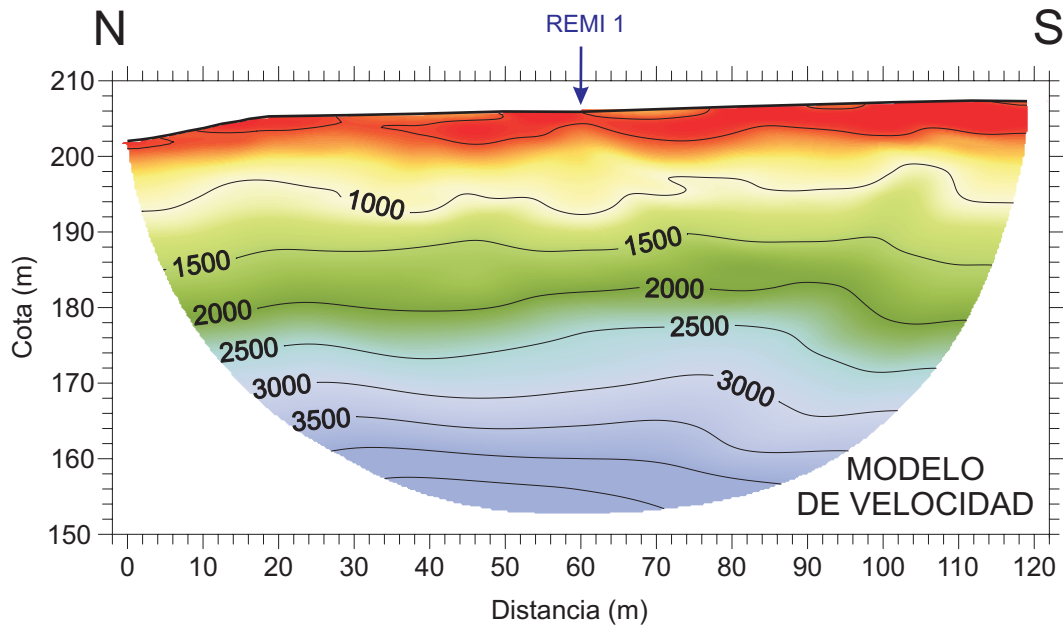


PROYECTO	CLIENTE	CONSULTOR	TÍTULO DEL PLANO	ESCALA	FECHA
ESTUDIO GEOFÍSICO COMBINADO MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA, TOMOGRAFÍA SÍSMICA Y SÍSMICA PASIVA REMI PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO ACCESO A CARMONA Y APARCAMIENTO EN EL BARRANCO DEL ARGOLLÓN, CARMONA (SEVILLA)	 Ayuntamiento de Carmona	 geofísica consultores	MODELO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA <b>TME-2</b>	DIN A3 0 10 20 30 40 metros	SEPTIEMBRE 2009
					NÚMERO DE PLANO
					B-5

## **ANEXO C**

### **MODELOS DE VELOCIDAD SÍSMICA $V_p$ DEL TERRENO**

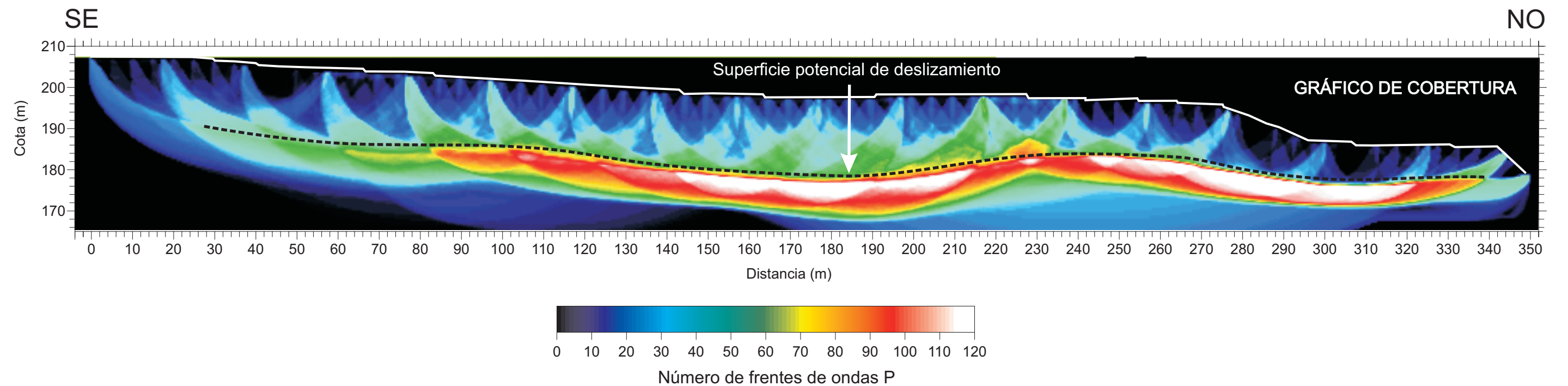
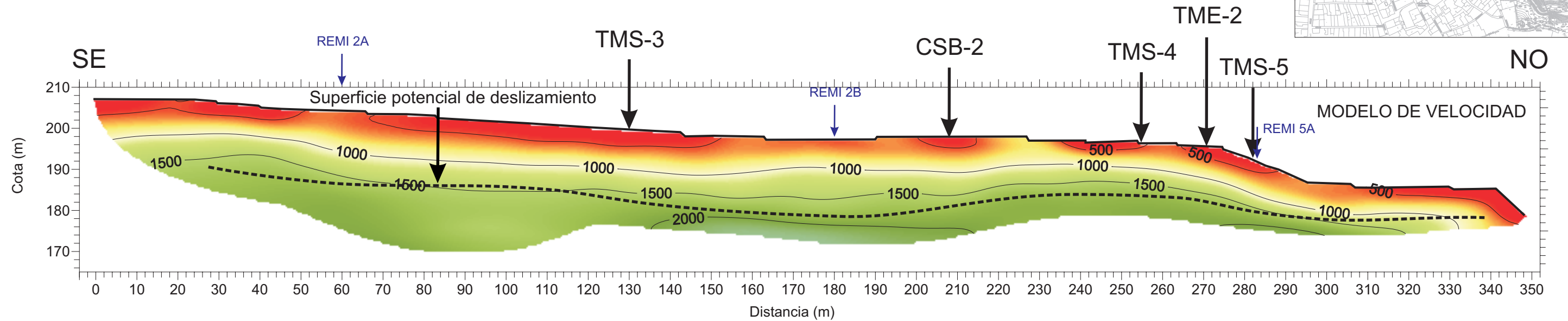
# TMS-1



PROYECTO	CLIENTE	CONSULTOR	TÍTULO DEL PLANO	ESCALA	FECHA
ESTUDIO GEOFÍSICO COMBINADO MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA, TOMOGRAFÍA SÍSMICA Y SÍSMICA PASIVA REMI PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO ACCESO A CARMONA Y APARCAMIENTO EN EL BARRANCO DEL ARGOLLÓN, CARMONA (SEVILLA)	 Ayuntamiento de Carmona	 geofísica consultores	MODELO DE TOMOGRAFÍA SÍSMICA <b>TMS-1</b>	DIN A3 0 10 20 30 40 1:1000 metros	SEPTIEMBRE 2009
					NÚMERO DE PLANO C-1

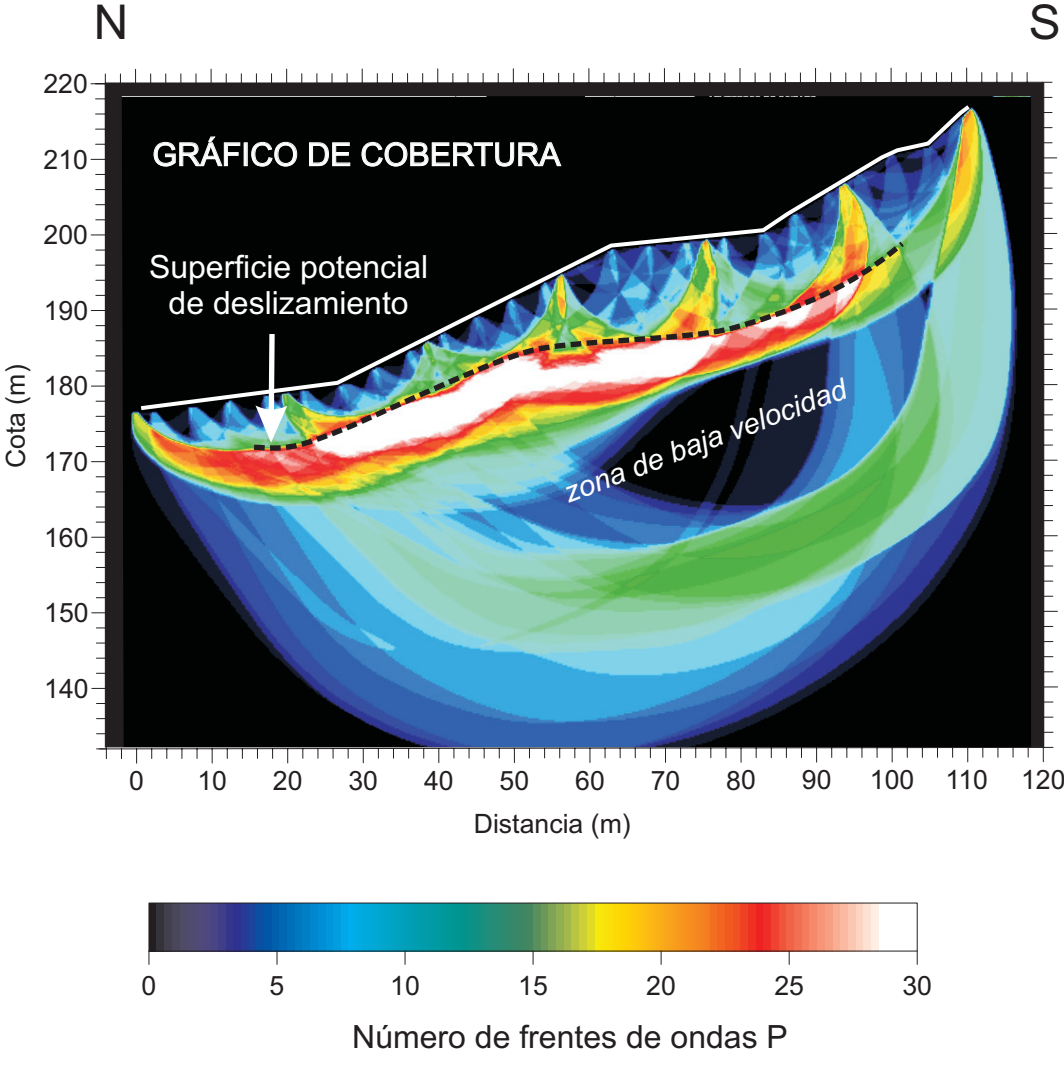
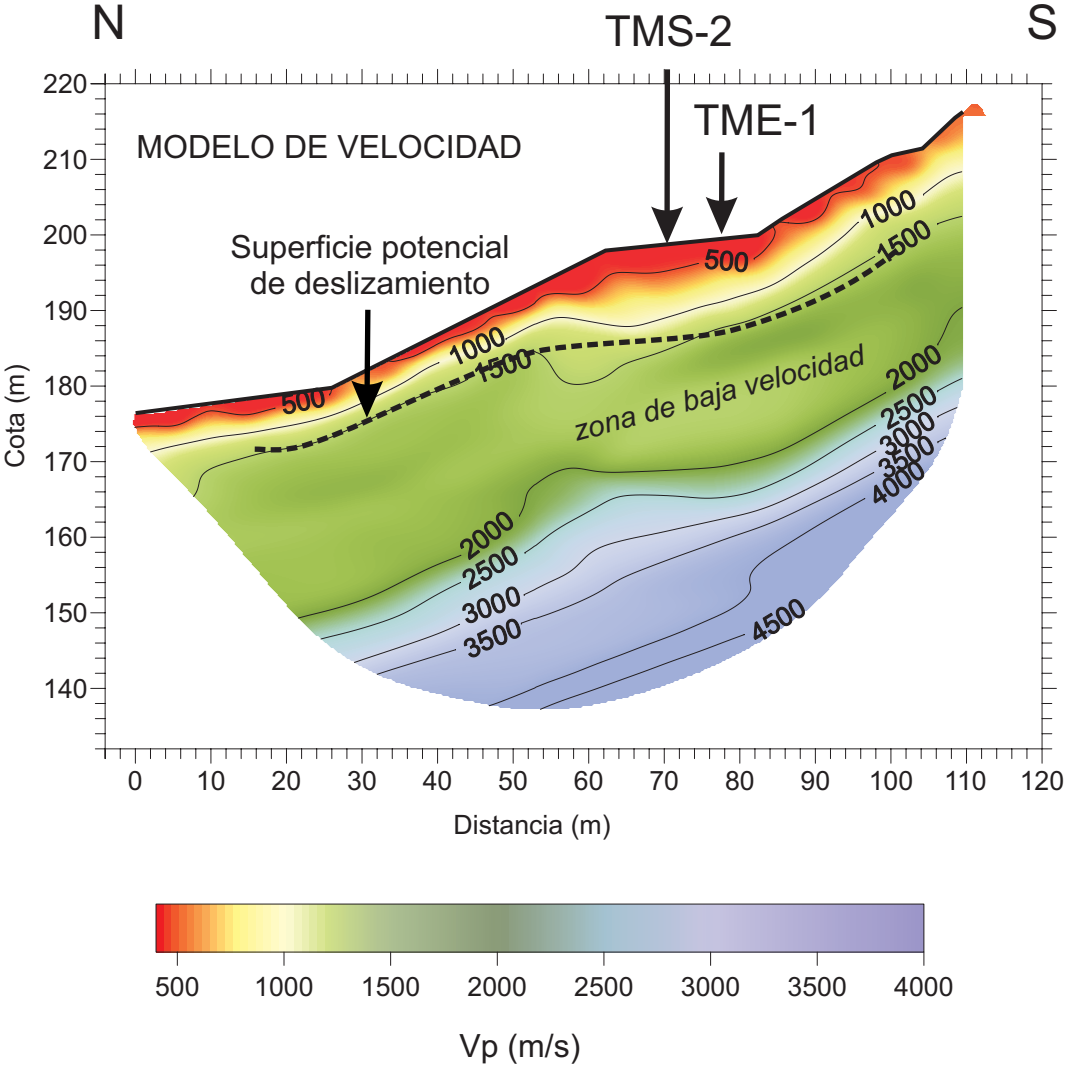


# TMS-2



PROYECTO	CLIENTE	CONSULTOR	TÍTULO DEL PLANO	ESCALA	FECHA
ESTUDIO GEOFÍSICO COMBINADO MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA, TOMOGRAFÍA SÍSMICA Y SÍSMICA PASIVA REMI PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO ACCESO A CARMONA Y APARCAMIENTO EN EL BARRANCO DEL ARGOLLÓN, CARMONA (SEVILLA)	 Ayuntamiento de Carmona	 geofísica consultores	MODELO DE TOMOGRAFÍA SÍSMICA <b>TMS-2</b>	DIN A3 1:1000 0 10 20 30 40 metros	SEPTIEMBRE 2009
					NÚMERO DE PLANO C-2

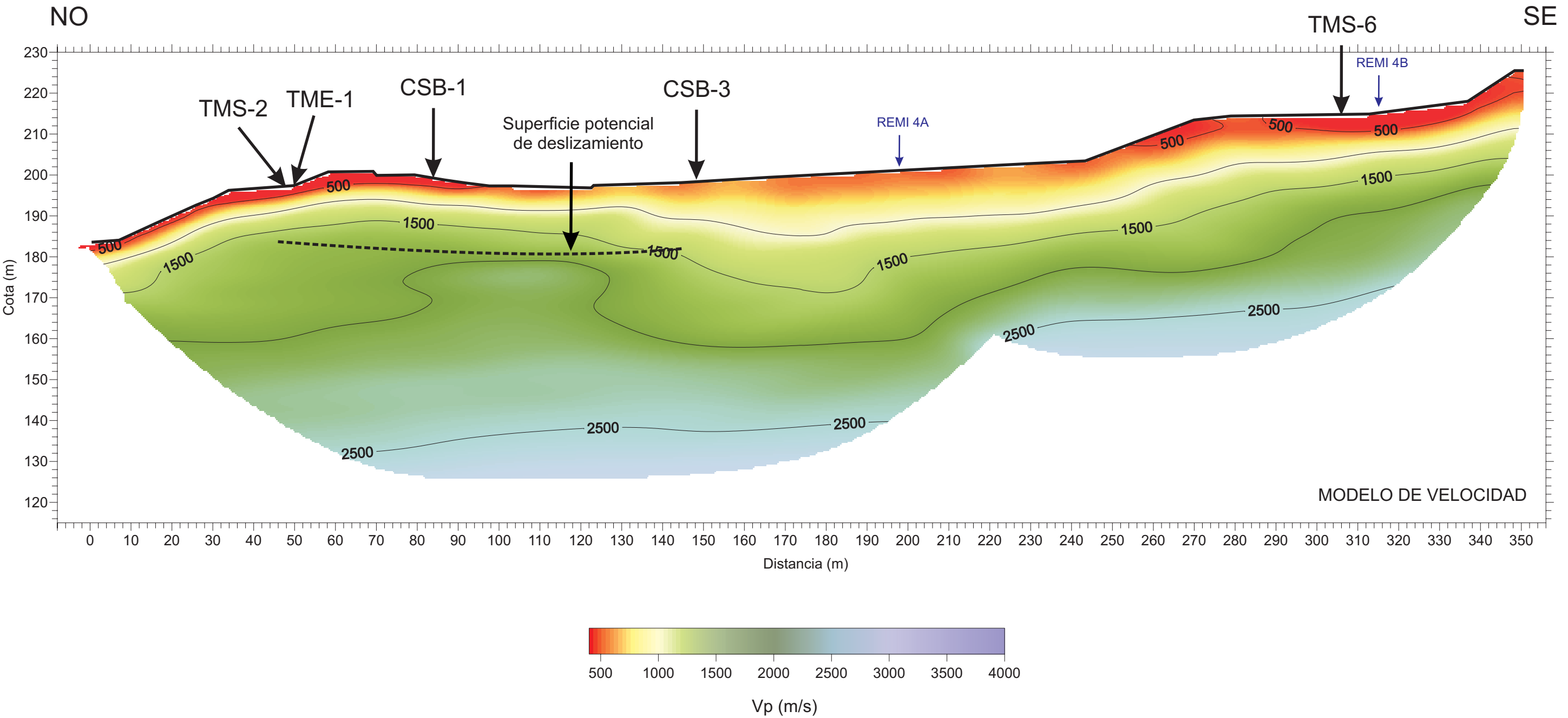
# TMS-3




PROYECTO	CLIENTE	CONSULTOR	TÍTULO DEL PLANO	ESCALA	FECHA
ESTUDIO GEOFÍSICO COMBINADO MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA, TOMOGRAFÍA SÍSMICA Y SÍSMICA PASIVA REMI PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO ACCESO A CARMONA Y APARCAMIENTO EN EL BARRANCO DEL ARGOLLÓN, CARMONA (SEVILLA)	 Ayuntamiento de Carmona	 geofísica consultores	MODELO DE TOMOGRAFÍA SÍSMICA <b>TMS-3</b>	DIN A3 0 10 20 30 40 1:1000 metros	SEPTIEMBRE 2009
					NÚMERO DE PLANO C-3

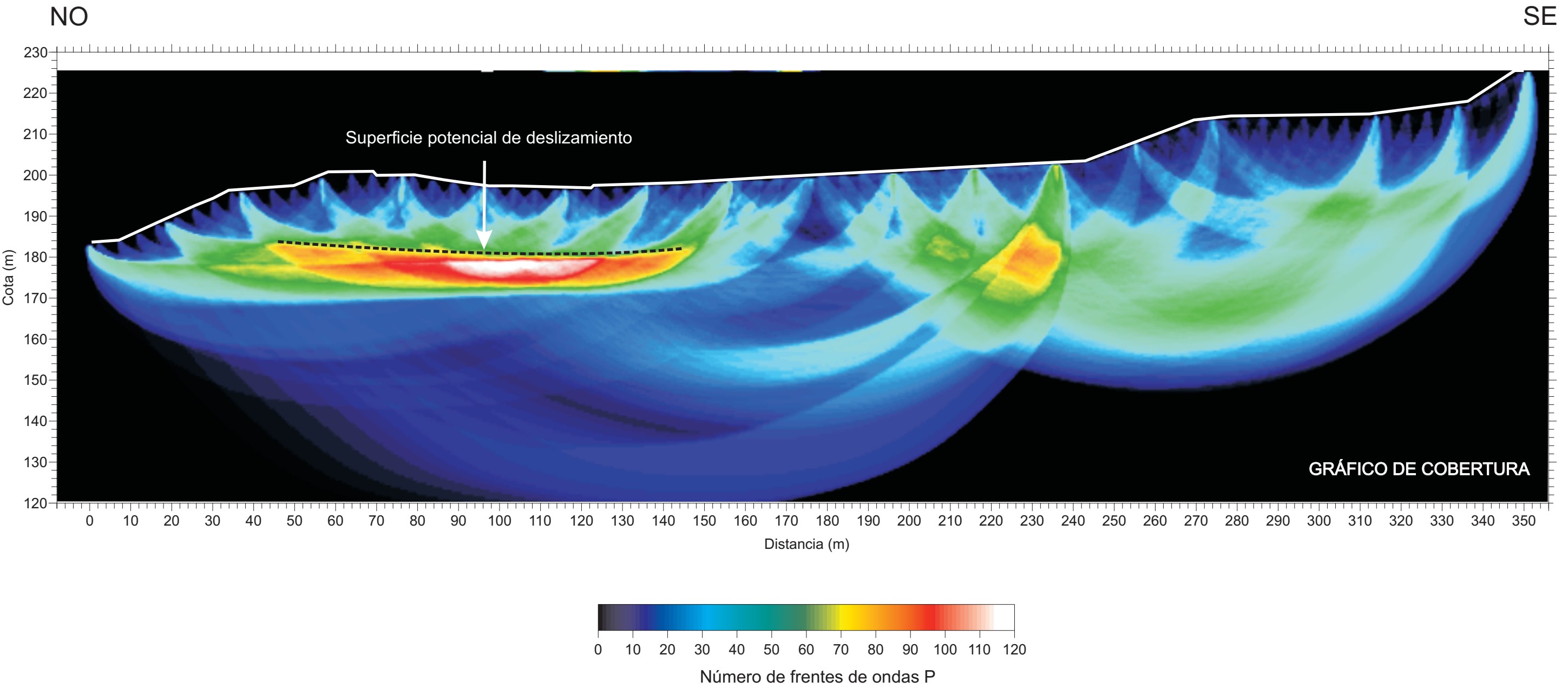


# TMS-4



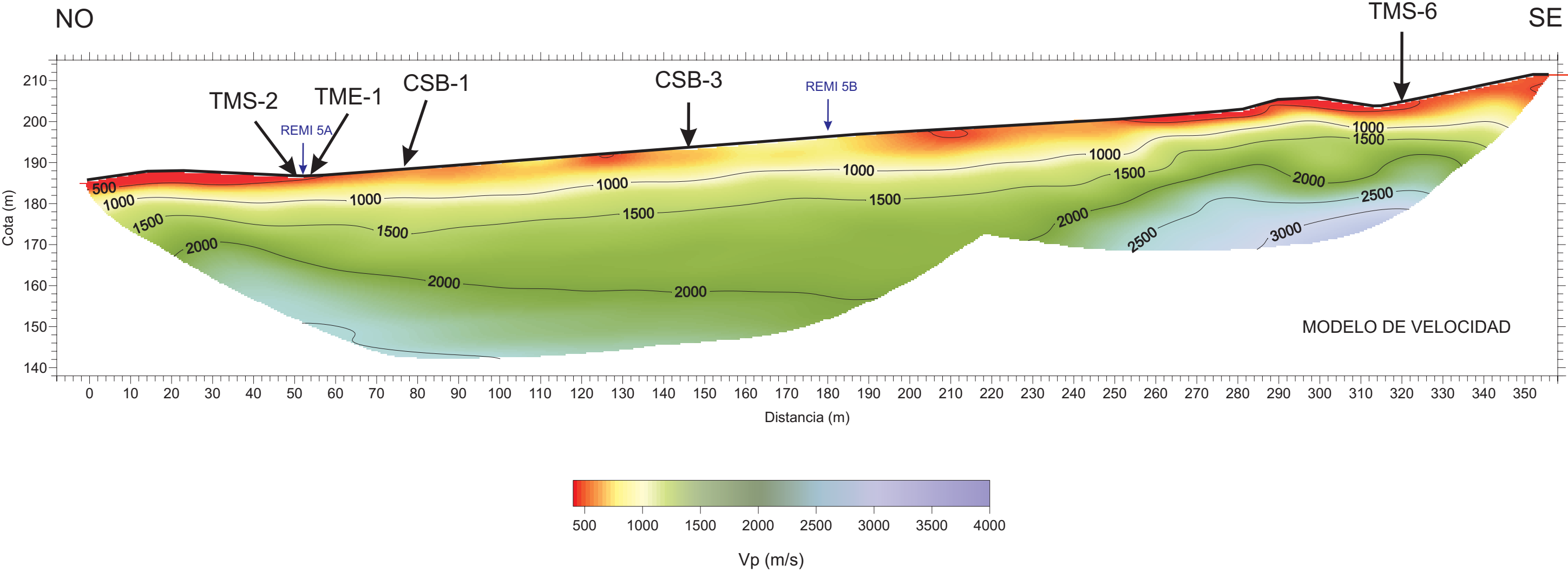
PROYECTO	CLIENTE	CONSULTOR	TÍTULO DEL PLANO	ESCALA	FECHA
ESTUDIO GEOFÍSICO COMBINADO MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA, TOMOGRAFÍA SÍSMICA Y SÍSMICA PASIVA REMI PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO ACCESO A CARMONA Y APARCAMIENTO EN EL BARRANCO DEL ARGOLLÓN, CARMONA (SEVILLA)	 Ayuntamiento de Carmona	 geofísica consultores	MODELO DE TOMOGRAFÍA SÍSMICA <b>TMS-4</b>	DIN A3 0 10 20 30 40 1:1000 metros	SEPTIEMBRE 2009
					NÚMERO DE PLANO C-4

# TMS-4



PROYECTO	CLIENTE	CONSULTOR	TÍTULO DEL PLANO	ESCALA	FECHA
ESTUDIO GEOFÍSICO COMBINADO MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA, TOMOGRAFÍA SÍSMICA Y SÍSMICA PASIVA REMI PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO ACCESO A CARMONA Y APARCAMIENTO EN EL BARRANCO DEL ARGOLLÓN, CARMONA (SEVILLA)	 Ayuntamiento de Carmona	 geofísica consultores	MODELO DE TOMOGRAFÍA SÍSMICA <b>TMS-4</b>	DIN A3 1:1000 0 10 20 30 40 metros	SEPTIEMBRE 2009
					NÚMERO DE PLANO
					C-5

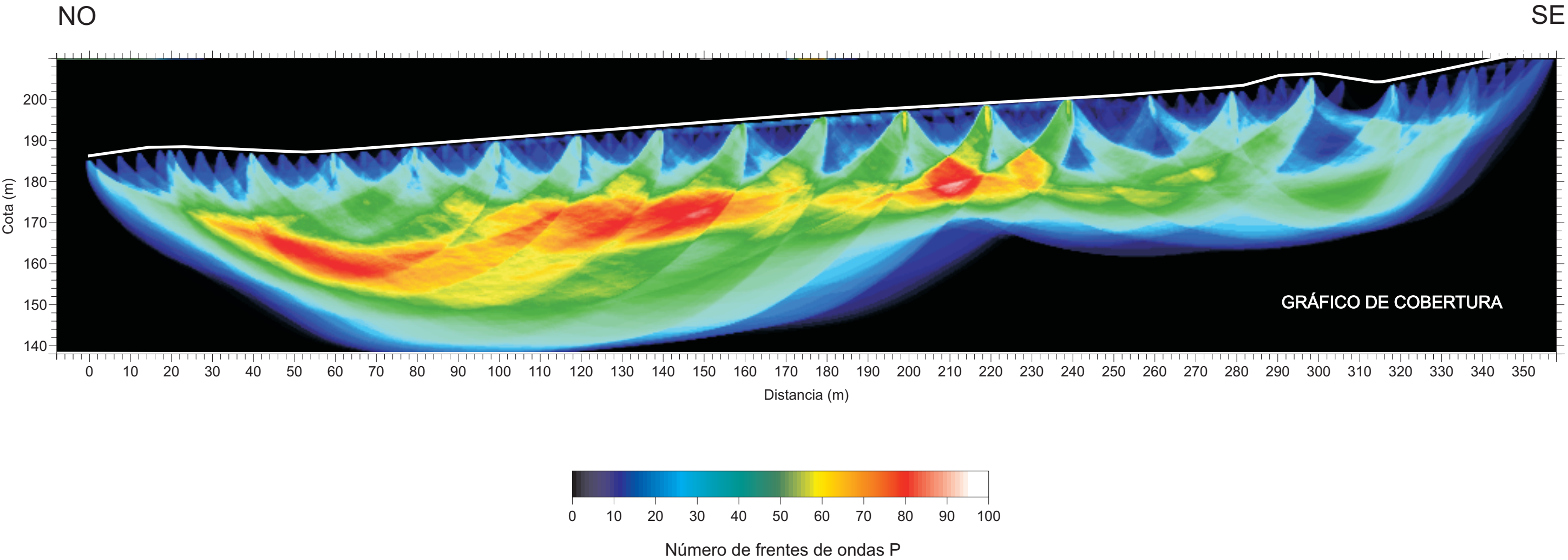
# TMS-5



PROYECTO	CLIENTE	CONSULTOR	TÍTULO DEL PLANO	ESCALA	FECHA
ESTUDIO GEOFÍSICO COMBINADO MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA, TOMOGRAFÍA SÍSMICA Y SÍSMICA PASIVA REMI PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO ACCESO A CARMONA Y APARCAMIENTO EN EL BARRANCO DEL ARGOLLÓN, CARMONA (SEVILLA)	 Ayuntamiento de Carmona		MODELO DE TOMOGRAFÍA SÍSMICA <b>TMS-5</b>	DIN A3 0 10 20 30 40 metros	SEPTIEMBRE 2009
					NÚMERO DE PLANO
					C-6

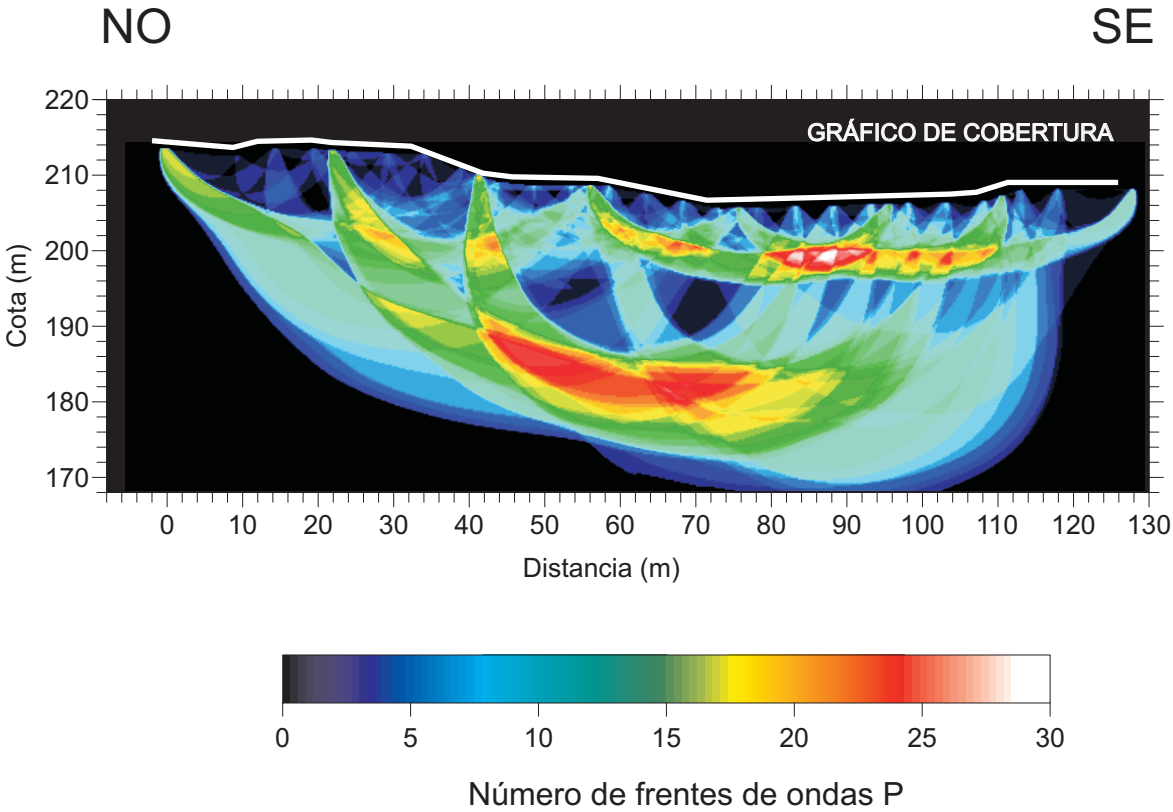
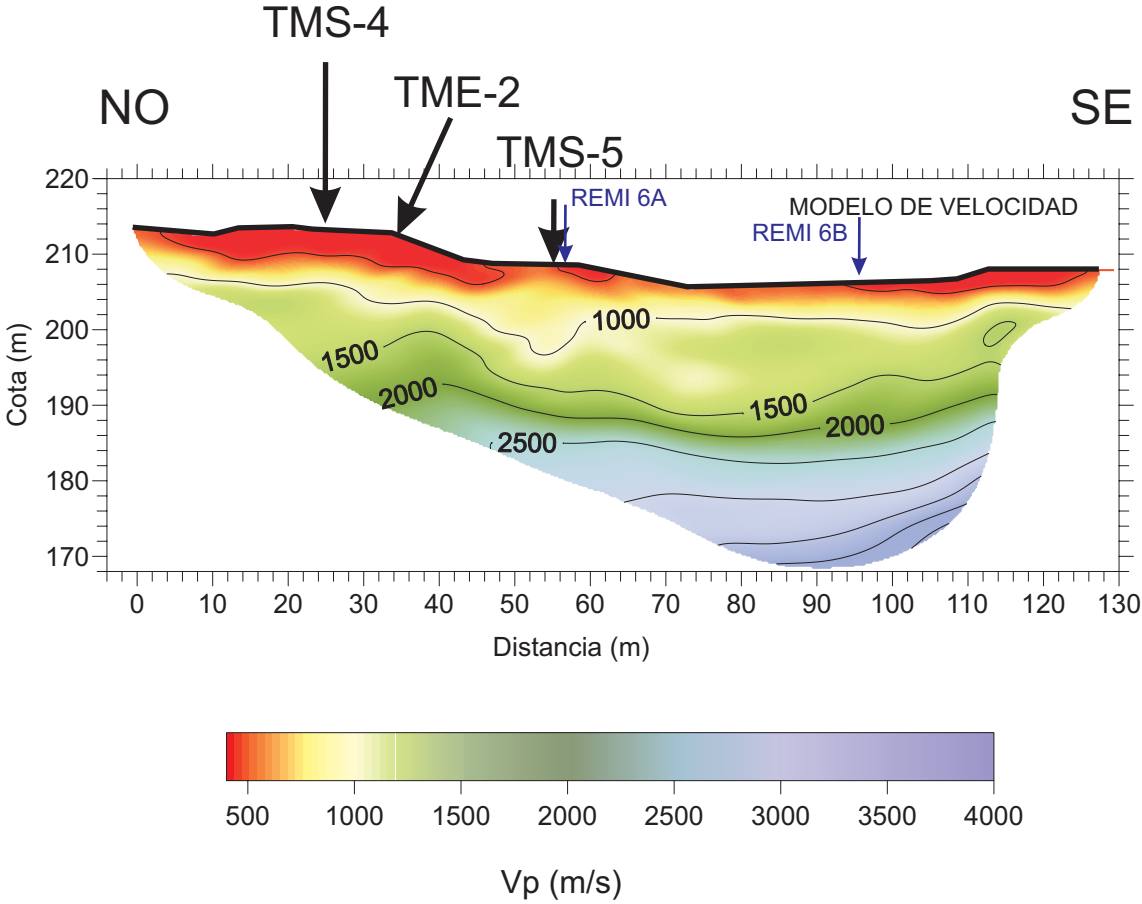


# TMS-5



PROYECTO	CLIENTE	CONSULTOR	TÍTULO DEL PLANO	ESCALA	FECHA
ESTUDIO GEOFÍSICO COMBINADO MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA, TOMOGRAFÍA SÍSMICA Y SÍSMICA PASIVA REMI PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO ACCESO A CARMONA Y APARCAMIENTO EN EL BARRANCO DEL ARGOLLÓN, CARMONA (SEVILLA)	 Ayuntamiento de Carmona	 geofísica consultores	MODELO DE TOMOGRAFÍA SÍSMICA <b>TMS-5</b>	DIN A3 1:1000 0 10 20 30 40 metros	SEPTIEMBRE 2009
					NÚMERO DE PLANO
					C-7

# TMS-6



PROYECTO	CLIENTE	CONSULTOR	TÍTULO DEL PLANO	ESCALA	FECHA
ESTUDIO GEOFÍSICO COMBINADO MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA, TOMOGRAFÍA SÍSMICA Y SÍSMICA PASIVA REMI PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO ACCESO A CARMONA Y APARCAMIENTO EN EL BARRANCO DEL ARGOLLÓN, CARMONA (SEVILLA)	 Ayuntamiento de Carmona	 geofísica consultores	MODELO DE TOMOGRAFÍA SÍSMICA <b>TMS-6</b>	DIN A3 1:1000 0 10 20 30 40 metros	SEPTIEMBRE 2009
					NÚMERO DE PLANO C-8

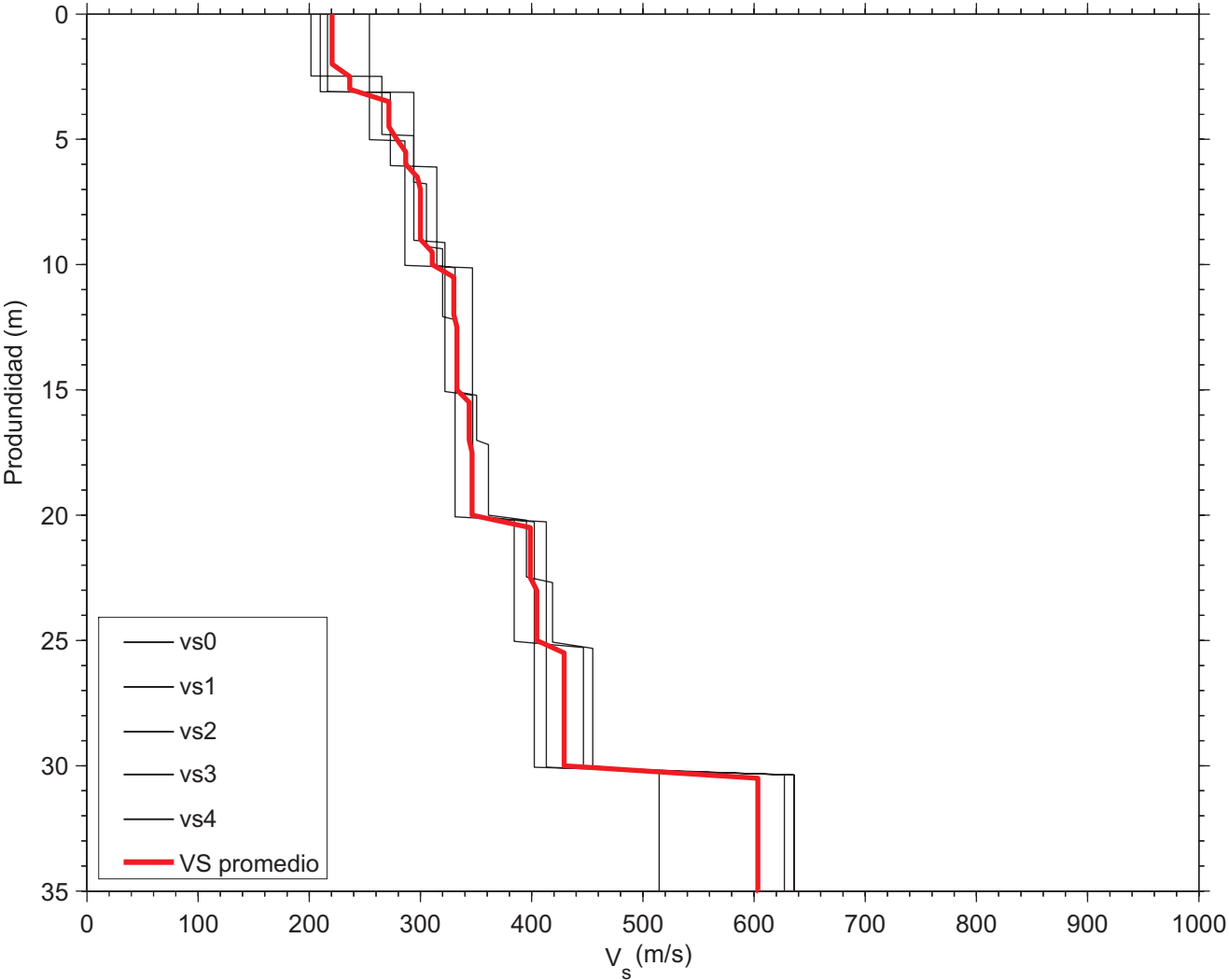


## **ANEXO D**

### **MODELOS DE VELOCIDAD SÍSMICA $V_s$ DEL TERRENO**



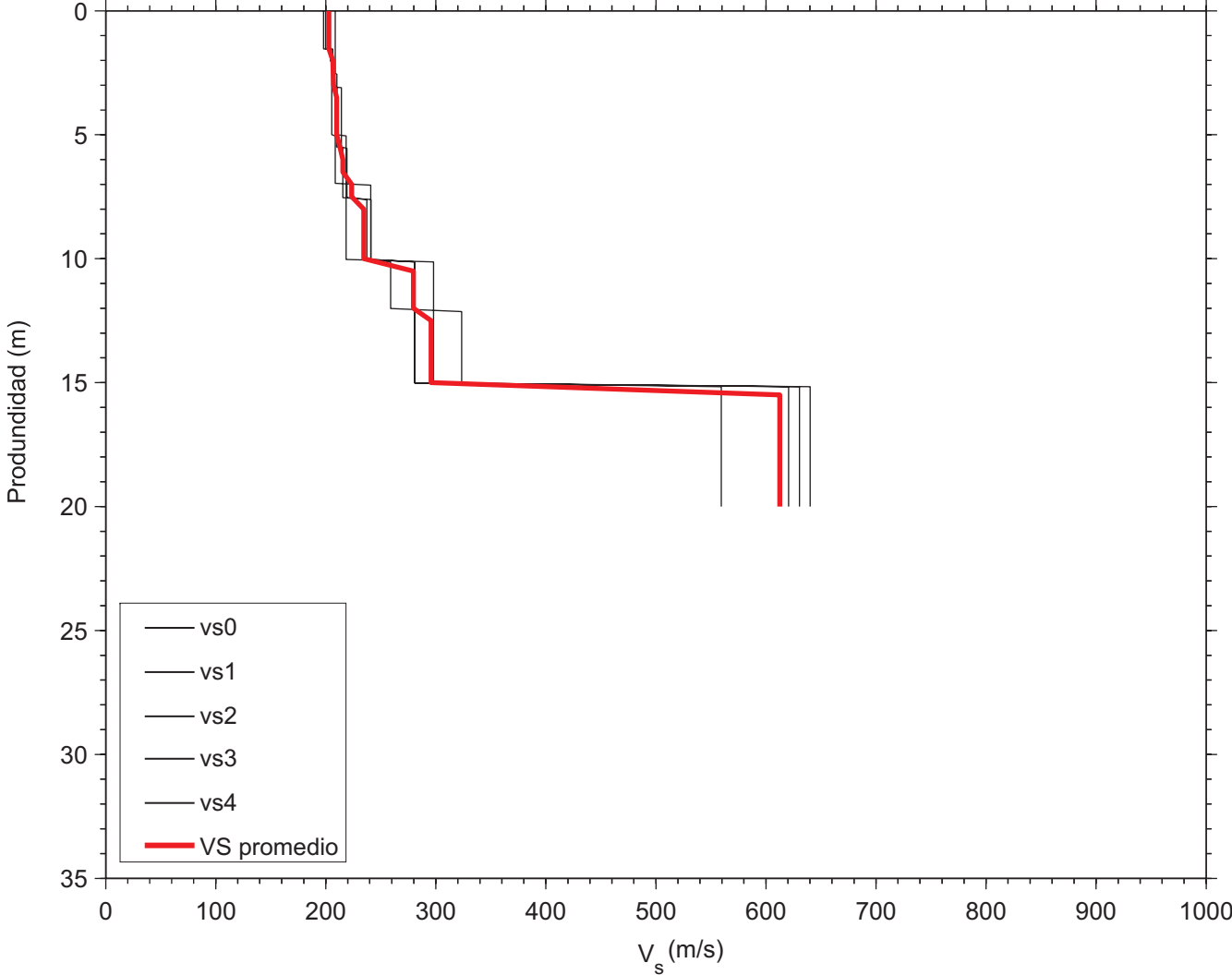
REMI 1



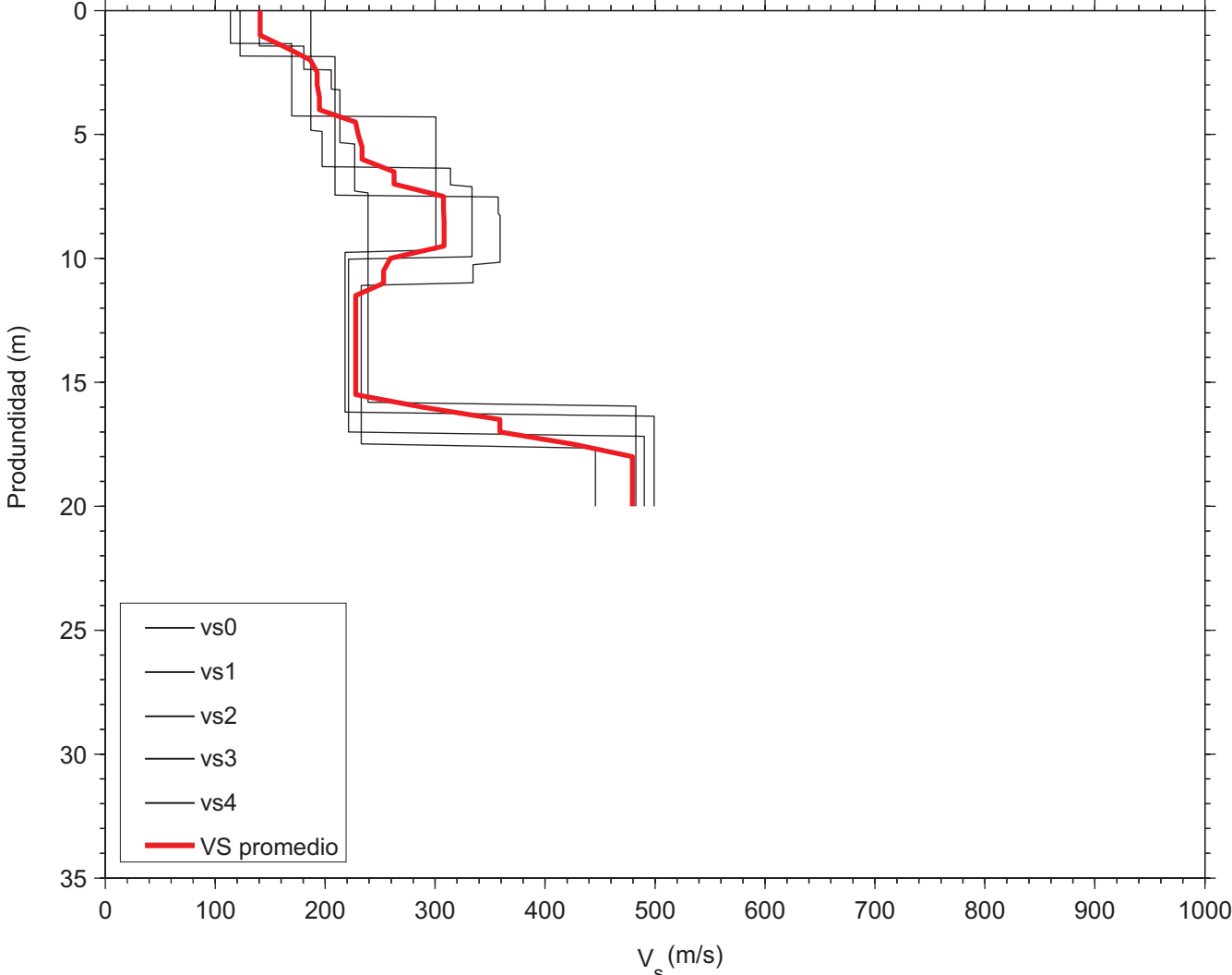
PROYECTO	CLIENTE	CONSULTOR	TÍTULO DEL PLANO	ESCALA	FECHA
ESTUDIO GEOFÍSICO COMBINADO MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA, TOMOGRAFÍA SÍSMICA Y SÍSMICA PASIVA REMI PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO ACCESO A CARMONA Y APARCAMIENTO EN EL BARRANCO DEL ARGOLLÓN, CARMONA (SEVILLA)	 Ayuntamiento de Carmona		MODELO DE $V_s$ REMI 1	Gráfica	SEPTIEMBRE 2009
					NÚMERO DE PLANO
					D-1





REMI 2A



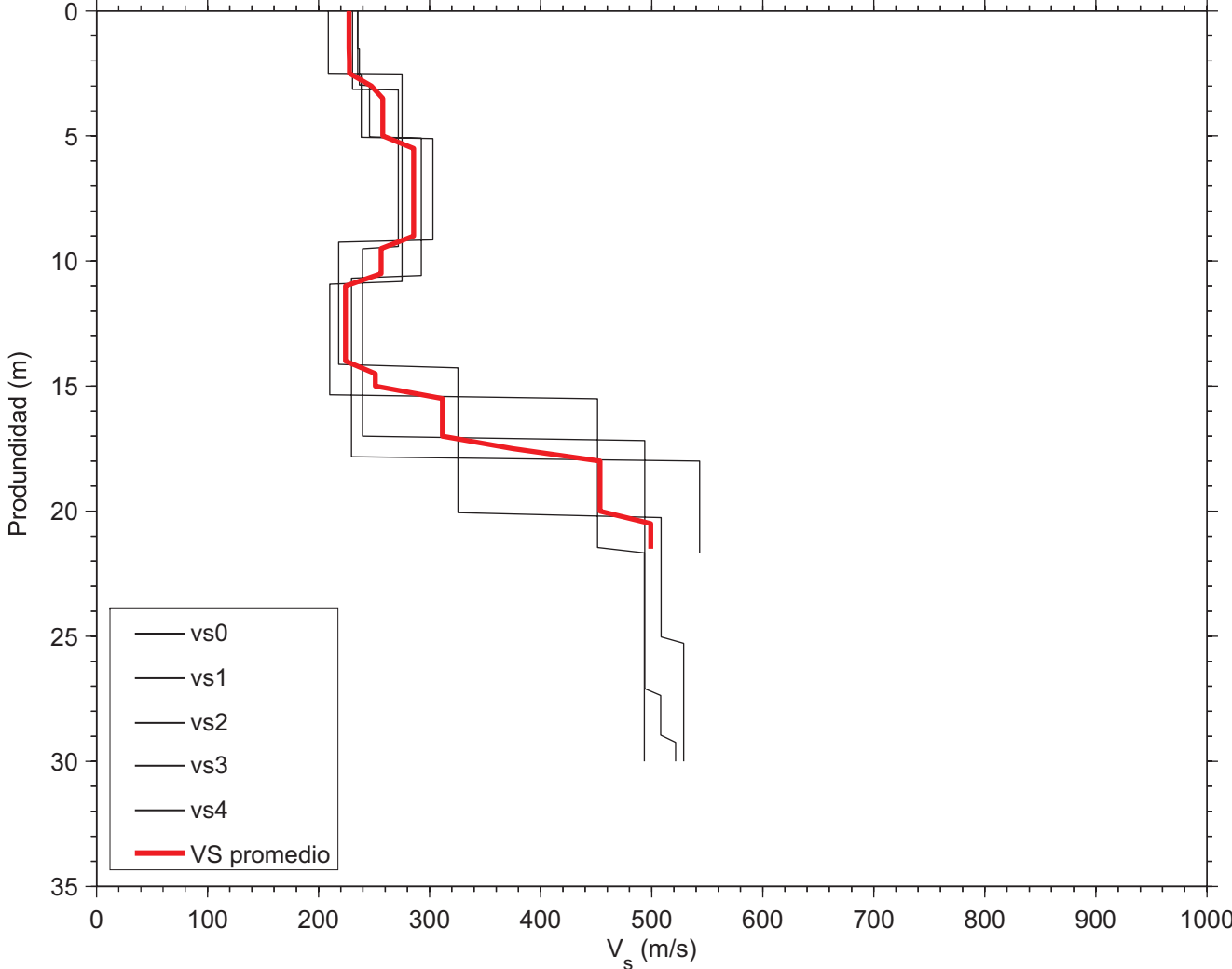
REMI 2B



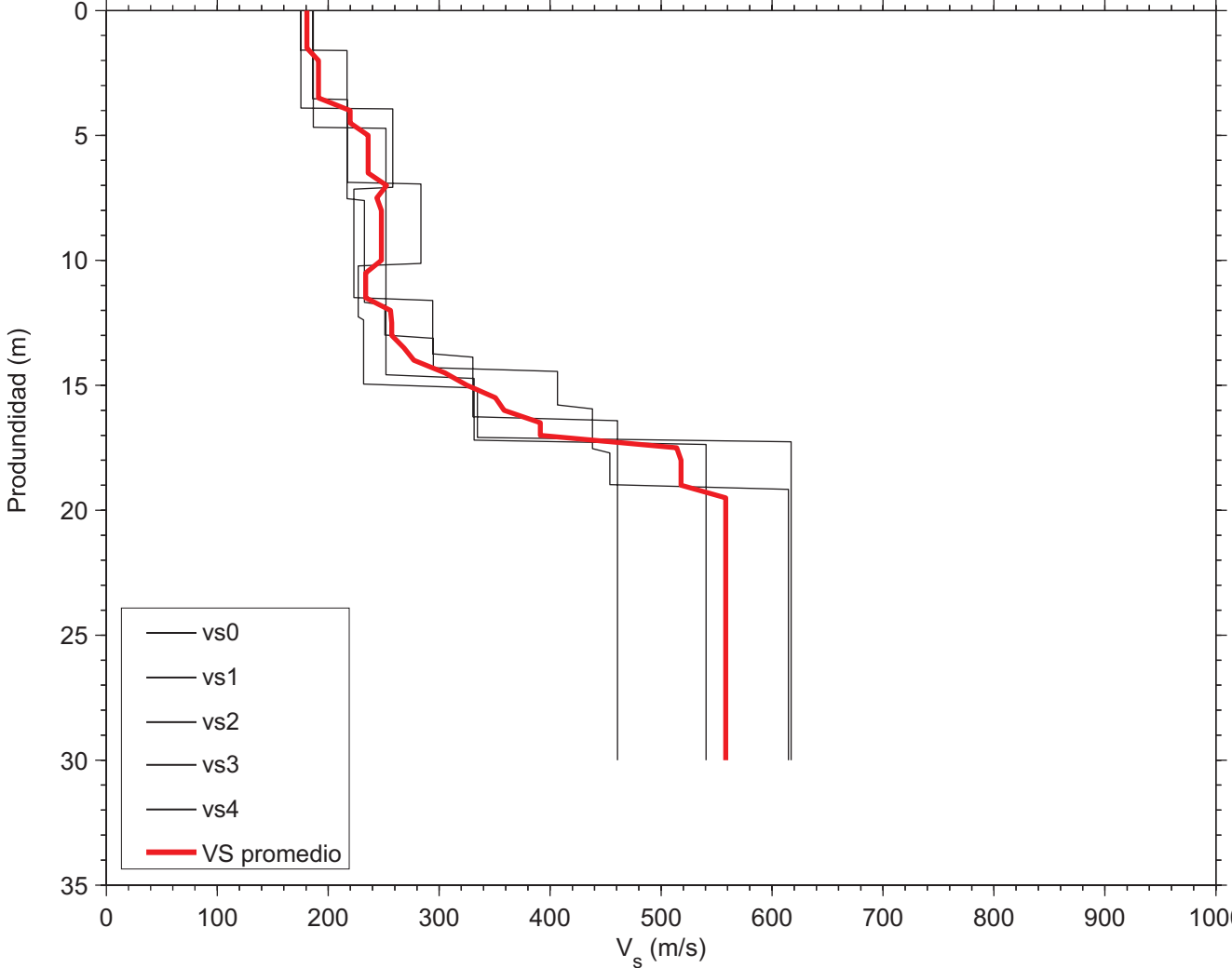
PROYECTO	CLIENTE	CONSULTOR	TÍTULO DEL PLANO	ESCALA	FECHA
ESTUDIO GEOFÍSICO COMBINADO MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA, TOMOGRAFÍA SÍSMICA Y SÍSMICA PASIVA REMI PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO ACCESO A CARMONA Y APARCAMIENTO EN EL BARRANCO DEL ARGOLLÓN, CARMONA (SEVILLA)	 Ayuntamiento de Carmona		MODELOS DE $V_s$ REMI 2A Y REMI 2B	Gráfica	SEPTIEMBRE 2009
					NÚMERO DE PLANO
					D-2



REMI 4A



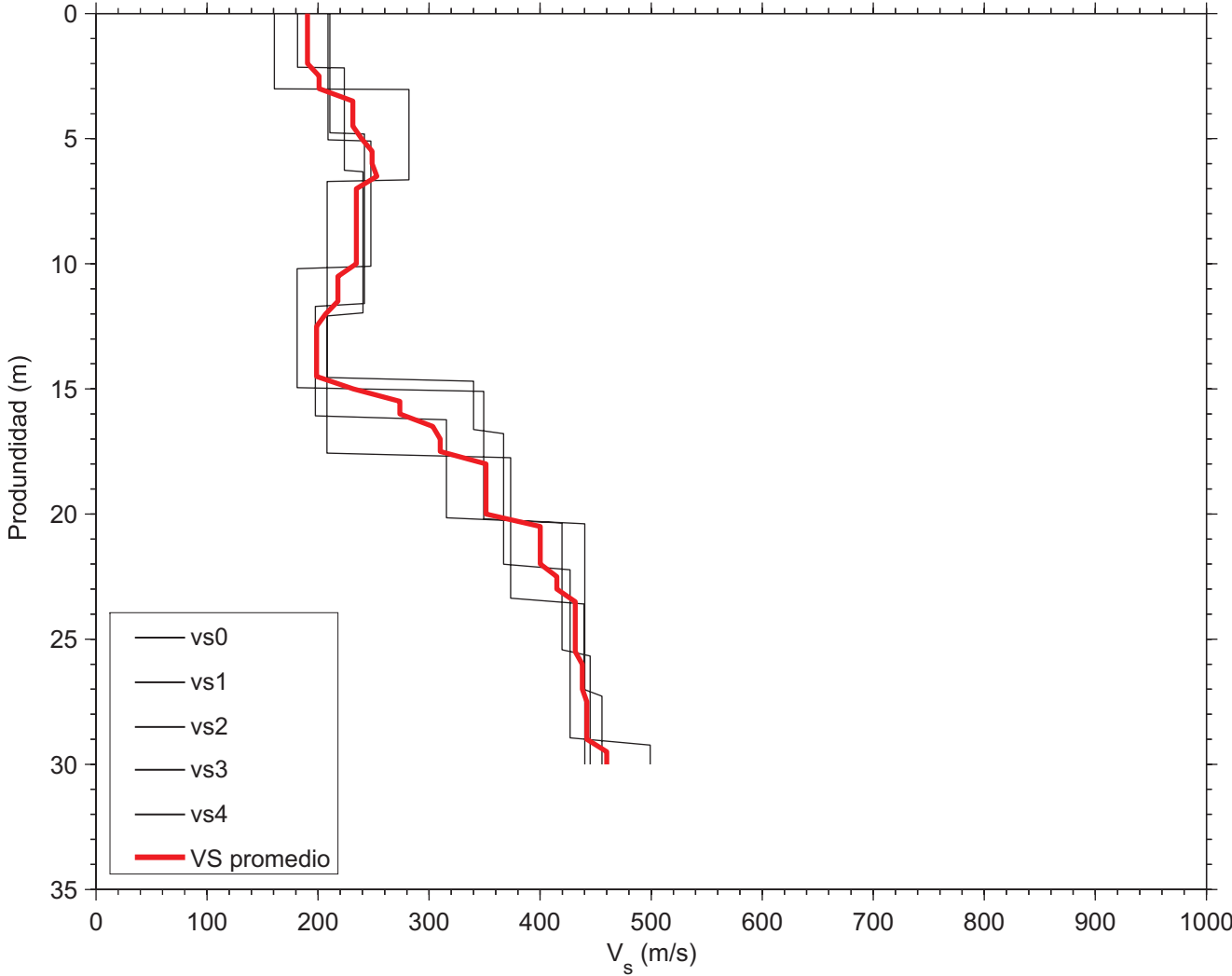
REMI 4B



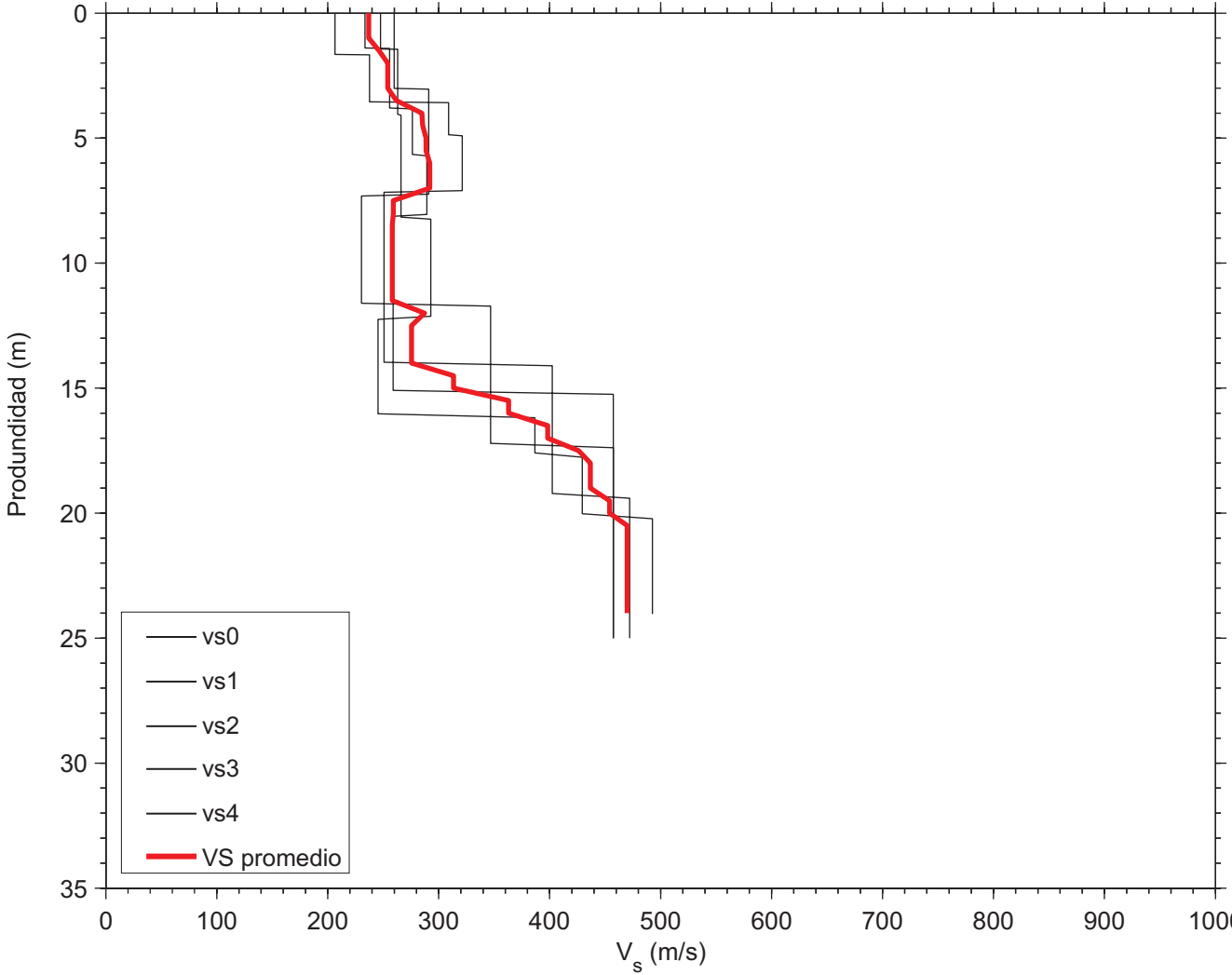
PROYECTO	CLIENTE	CONSULTOR	TÍTULO DEL PLANO	ESCALA	FECHA
ESTUDIO GEOFÍSICO COMBINADO MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA, TOMOGRAFÍA SÍSMICA Y SÍSMICA PASIVA REMI PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO ACCESO A CARMONA Y APARCAMIENTO EN EL BARRANCO DEL ARGOLLÓN, CARMONA (SEVILLA)	 Ayuntamiento de Carmona	 geofísica consultores	MODELOS DE $V_s$ REMI 4A Y REMI 4B	Gráfica	SEPTIEMBRE 2009
					NÚMERO DE PLANO
					D-3



REMI 5A



REMI 5B

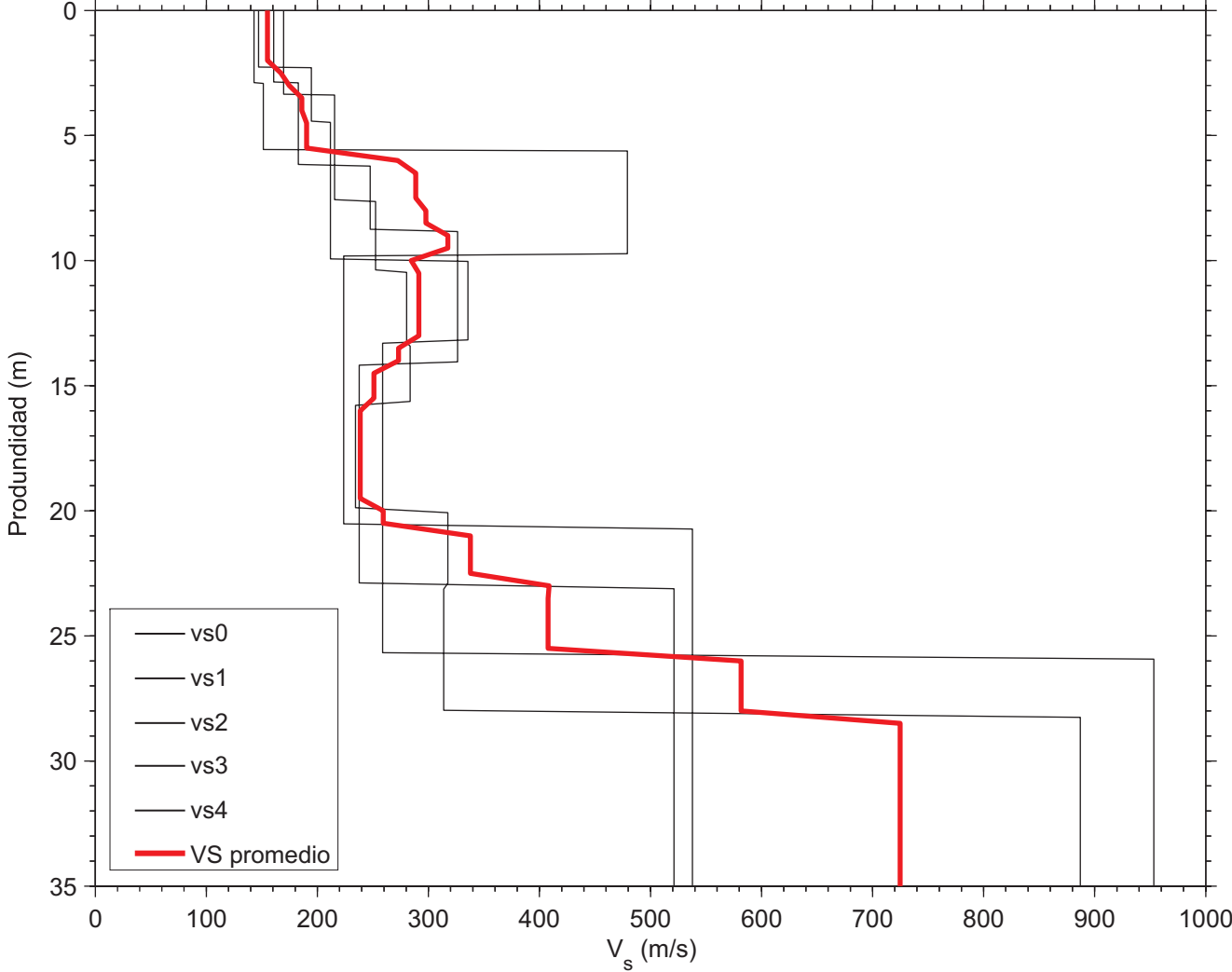


PROYECTO	CLIENTE	CONSULTOR	TÍTULO DEL PLANO	ESCALA	FECHA
ESTUDIO GEOFÍSICO COMBINADO MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA, TOMOGRAFÍA SÍSMICA Y SÍSMICA PASIVA REMI PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO ACCESO A CARMONA Y APARCAMIENTO EN EL BARRANCO DEL ARGOLLÓN, CARMONA (SEVILLA)	 Ayuntamiento de Carmona	 geofísica consultores	MODELOS DE $V_s$ REMI 5A Y REMI 5B	Gráfica	SEPTIEMBRE 2009
					NÚMERO DE PLANO
					D-4

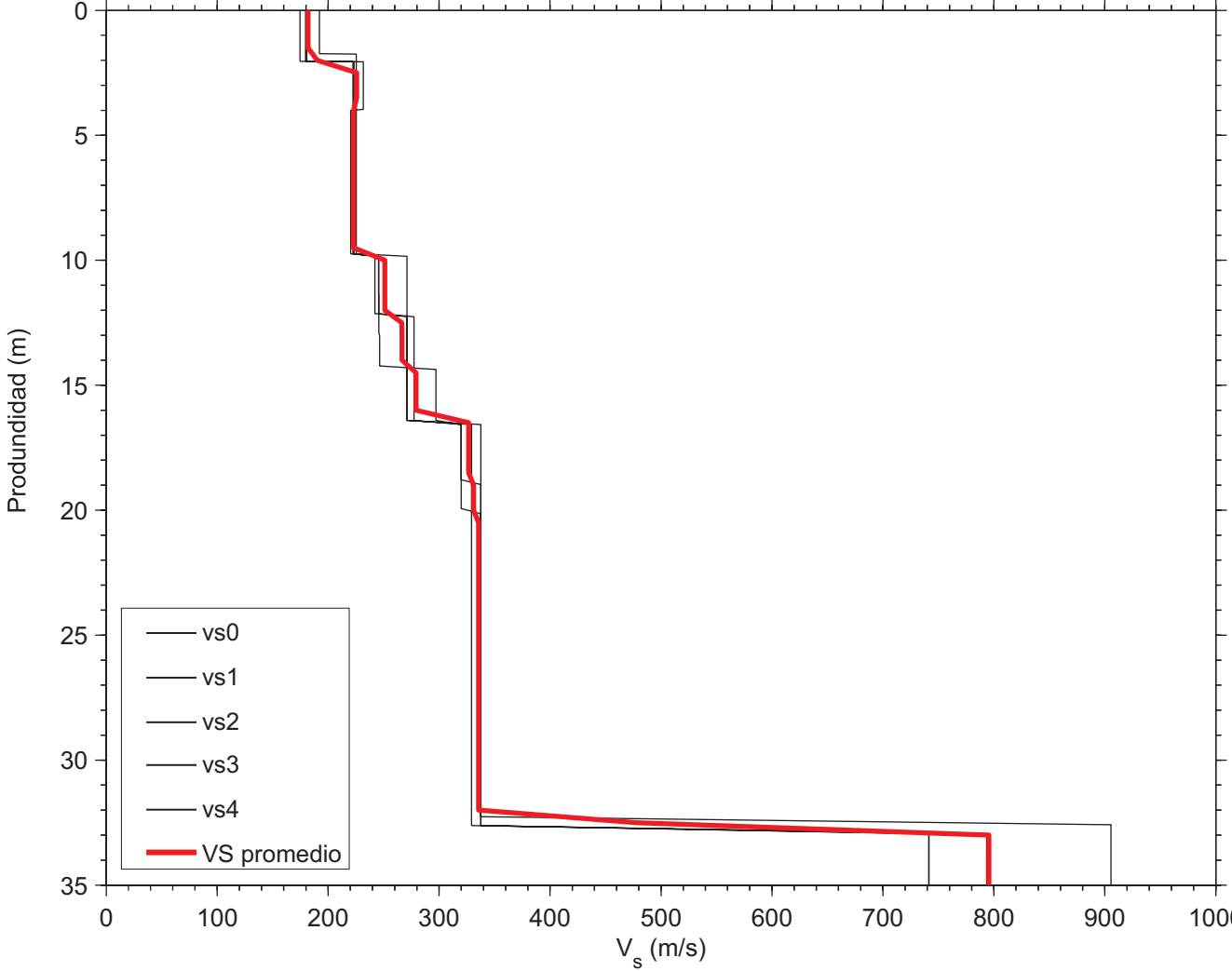




REMI 6A



REMI 6B



PROYECTO	CLIENTE	CONSULTOR	TÍTULO DEL PLANO	ESCALA	FECHA
ESTUDIO GEOFÍSICO COMBINADO MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA, TOMOGRAFÍA SÍSMICA Y SÍSMICA PASIVA REMI PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO ACCESO A CARMONA Y APARCAMIENTO EN EL BARRANCO DEL ARGOLLÓN, CARMONA (SEVILLA)	 Ayuntamiento de Carmona		MODELOS DE $V_s$ REMI 6A Y REMI 6B	Gráfica	SEPTIEMBRE 2009
					NÚMERO DE PLANO
					D-5

## **ANEXO E**

### **FOTOGRAFÍAS**



**Foto 1.-** Vista del perfil de tomografía sísmica **TMS-1** paralelo a la carretera.



**Foto 2.-** Vista panorámica del perfil de tomografía sísmica **TMS-2** y eléctrica **TME-1** a lo largo del camino de acceso.



**Foto 3.-** Vista del final del perfil de tomografía eléctrica **TME-1** y sísmica **TMS-2**.



**Foto 4.-** Vista del inicio del perfil de tomografía sísmica **TMS-3**.





**Foto 5.-** Vista panorámica desde la parte central hacia el final del perfil de tomografía sísmica **TMS-4**.



**Foto 7.-** Vista panorámica desde la parte central hacia el final del perfil de tomografía sísmica **TMS-6**.



**Foto 8.-** Detalle del resistivímetro empleado y del inicio del perfil de tomografía eléctrica **TME-2**.



**Foto 9.-** Vista parcial del perfil de tomografía eléctrica **TME-2** a lo largo del camino.