



**EDIFICIO DE VIVIENDAS ENTRE LAS CALLES ENRIQUE CALABIA
Y GARCÍA NOBLEJA EN BOADILLA DEL MONTE (MADRID)**

**Cálculo de la profundidad del apoyo de pilotes
mediante el método geofísico de la Sísmica Paralela**

Octubre 2.015

INDICE

1.	Presentación y objetivos	1
1.1.	Equipo técnico del estudio	1
2.	Metodología de trabajo	2
3.	Descripción del trabajo realizado	5
3.1.	Medidas sobre el terreno	5
3.2.	Instrumentación empleada	6
3.3.	Procesado de los datos y presentación de resultados	6
4.	Resultados del estudio	8

FIGURAS

1. Localización de la zona de estudio.
2. Esquema explicativo de la ejecución de los estudios mediante Sísmica Paralela.
3. Resultados de las medidas de Sísmica Paralela de este estudio.

1. PRESENTACIÓN Y OBJETIVOS

Este estudio describe el reconocimiento realizado mediante el método geofísico de la Sísmica Paralela para obtener información relativa a la profundidad de apoyo de unos posibles pilotes ubicados en un edificio de viviendas entre las calles Enrique Calabía y García Noblejas en la localidad de Boadilla del Monte (Madrid). La ubicación del edificio lo presentamos en la Figura 1, obtenida de una imagen del *Google Earth*.



Figura 1.- Localización de la zona de estudio.

Durante los trabajos de acondicionamiento de la vivienda llevados a cabo por la **Empresa Municipal del Suelo y Vivienda de Boadilla del Monte (EMSV)**, se descubrieron mediante catas la cabeza de unos aparentes pilotes de hormigón; determinar la profundidad de la punta de dichos pilotes constituye el objeto de las medidas geofísicas que se describen en este documento. El método geofísico de la Sísmica Paralela ha demostrado su efectividad en múltiples estudios con objetivos similares al de este caso, y por tal motivo se ha aplicado en este estudio para la resolución del objetivo planteado. En este sentido el trabajo ha sido realizado por **International Geophysical Technology, S.L. (IGT)** en calidad de empresa especialista en el estudio del subsuelo por métodos geofísicos, atendiendo el encargo recibido por **EMSV**.

En este documento se detalla el trabajo realizado y se exponen los resultados obtenidos, junto con una breve y sencilla explicación de la metodología de trabajo aplicada, que contribuirá a la mejor comprensión de los resultados.

1.1. Equipo técnico del estudio

En la ejecución de este trabajo ha participado el personal técnico de la plantilla de **IGT** que a continuación se relaciona indicando la función realizada por cada uno de ellos. Este equipo acumula una experiencia de varios años en la ejecución de estudios mediante el método empleado, con objetivos similares a los del presente caso.

- José Enrique Borges Viralta. Ingeniero Geofísico. Procesado e Interpretación de los resultados y redacción del informe.
- Antonio Álvaro Granda. Técnico Geofísico. Responsable como feje de equipo de la toma de datos en campo.
- Dragomir Anguelov Ditchhev. Ayudante Geofísico. Toma de datos.

2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El método geofísico de la Sísmica Paralela es una variante del método de las medidas sísmicas tipo *Down-hole* en un sondeo perforado en la proximidad inmediata de un pilote, una pantalla o cualquier elemento de cimentación, con el objetivo de obtener información relativa a su integridad y a su longitud. El método de las medidas sísmicas *Down-hole* está muy divulgado en el ámbito de la Geotecnia. Consiste básicamente en determinar la distribución de los valores de V_p del terreno en la proximidad de un sondeo en el que se sitúan los sensores sísmicos regularmente espaciados. La señal sísmica se genera normalmente mediante un impacto mecánico en un punto de la superficie, localizado muy próximo al emboquille del sondeo o directamente sobre el pilote si este se encuentra visible.

Para llevar a cabo las medidas en los estudios mediante Sísmica Paralela, es preciso generar una señal sísmica, golpeando si es posible sobre la cimentación o pilote que se quiere caracterizar. En los casos en los que dicha operación no resulta posible se golpea en uno o varios puntos lo más cercanos posible a la cimentación. La transmisión de esta señal sísmica a través del subsuelo se registra mediante una serie de sensores situados regularmente distribuidos a lo largo de un sondeo, perforado a tal efecto.

La obtención de los resultados más representativos con estos estudios requiere que se den una serie de condiciones entre las que cabe citar como más relevantes las siguientes:

- Que el sondeo donde se hacen las medidas sísmicas sea paralelo al pilote o a la pantalla cuya continuidad en profundidad se trata de determinar.
- Que el sondeo se localice lo más próximo posible al elemento objetivo. Si la separación es excesiva, el efecto de la cimentación en los registros sísmicos se minimiza, pudiendo llegar a ser imperceptible.
- Que la profundidad alcanzada por el sondeo sea sensiblemente mayor que la del elemento a estudiar, cuya continuidad en profundidad se trata de determinar, de este modo el cambio en la velocidad de transmisión de las ondas sísmicas es más fácilmente apreciable.

El procesado de los datos consiste en determinar el tiempo invertido por las primeras llegadas de las ondas de compresión en recorrer el espacio desde el punto de la superficie donde se genera la señal en la proximidad del emboquille del sondeo hasta cada uno de los sensores distribuidos a intervalos regulares a lo largo del mismo. Con estos datos se construye un gráfico tiempo-distancia (dromocrónica) en el que normalmente es fácil reconocer la influencia de los elementos constructivos por sus diferentes valores de V_p respecto al terreno natural.

La profundidad de apoyo de un pilote o el final de una cimentación viene definida por un acusado cambio de pendiente en la dromocrónica resultante, al representar los tiempos correspondientes a las primeras llegadas de las ondas de compresión en función de la profundidad, tal como se muestra en el esquema de la **Figura 2**. En este ejemplo muy esquemático la primera parte de la dromocrónica está condicionada exclusivamente por el efecto de la cimentación con valores de V_p notablemente más altos que los del terreno natural. A veces esta parte de la dromocrónica tiene una morfología muy irregular por efecto de posibles defectos constructivos, especialmente en su zona más superficial.

Por debajo de la punta o del extremo final del elemento de cimentación, el efecto exclusivo del terreno en la transmisión de las señales sísmicas hace que cambie la pendiente de la dromocrónica de forma apreciable y que ésta muestre normalmente una pendiente uniforme cuando el terreno es homogéneo. La inversa de la pendiente es precisamente la velocidad V_p característica del terreno.

Este cambio de pendiente es tanto más acusado cuanto mayor sea el contraste entre los valores de V_p característicos del elemento de cimentación y los del terreno situado por debajo del mismo. En cualquier caso es fácilmente identificable siempre que se cumplan los requisitos enumerados anteriormente. Nuestra experiencia en este tipo de ensayos no destructivos es positiva en el sentido de que si todas las fases del estudio (incluida la preparación de los sondeos en los que se harán las medidas) se realizan correctamente, este método proporciona resultados precisos y fiables en un plazo de tiempo más que razonable.

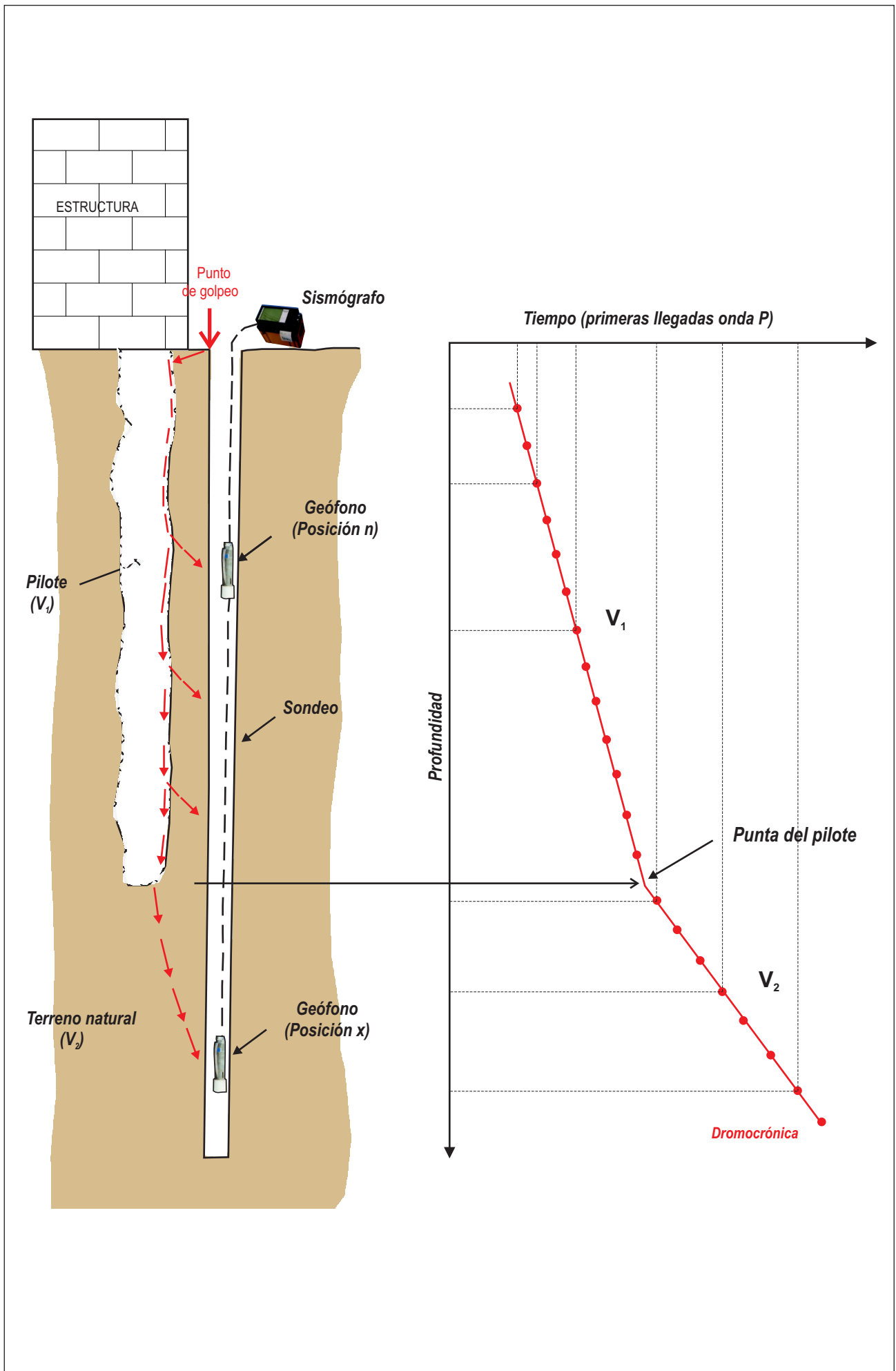
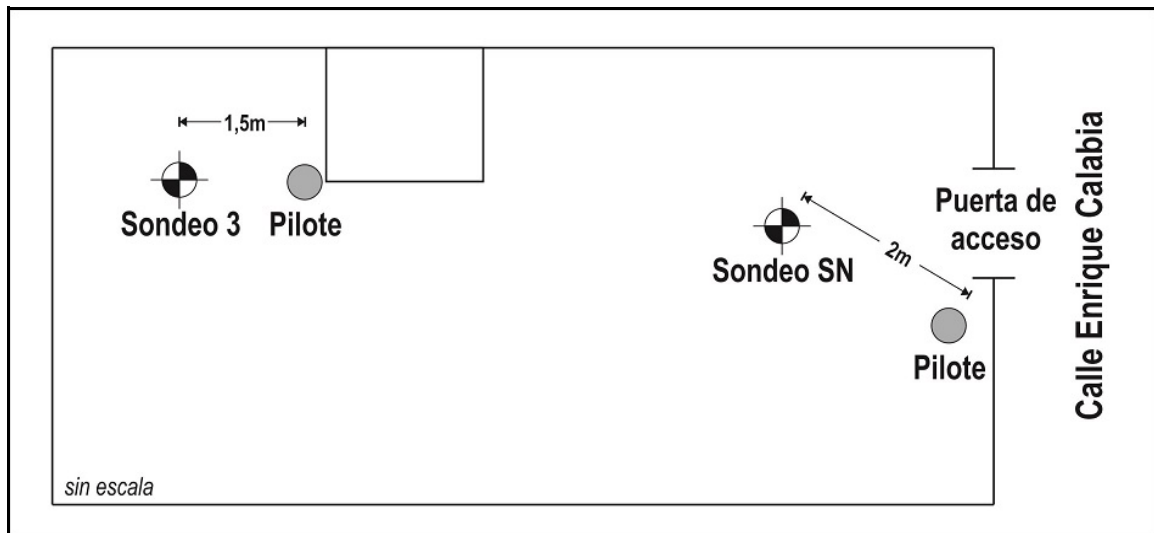


Figura 2.- Esquema explicativo de la realización de los estudios mediante sísmica paralela.

3. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO

3.1. Medidas sobre el terreno

Las medidas geofísicas de este estudio se efectuaron el día 19 de Octubre de 2.015, donde previamente **EMSV** preparo dos sondeos próximos a las cabezas de los pilotes encontrados en el edificio. En total para este estudio se prepararon dos sondeos: Sondeo SN y Sondeo 3, y que a continuación reproducimos un esquema de posición en planta, según las observaciones realizadas por nuestro técnico de campo.



Esquema de distribución de los sondeos y de los pilotes.

La profundidad alcanzada por los sondeos fue de 10,8 metros para el Sondeo SN y 8 metros para el Sondeo 3. Los sensores sísmicos se distribuyeron a intervalos de 0'5 metro a lo largo de los sondeos y se generaron las señales sísmicas mediante un fuerte impacto con un mazo de 8 Kg sobre la cabeza del pilote, operando en la modalidad de suma de golpes para mejorar la relación señal/ruido de los registros sísmicos. Es importante acotar que las medidas obtenidas del Sondeo 3 se obtuvieron a partir de golpes directamente sobre la cabeza del pilote, mientras que las medidas obtenidas del Sondeo SN se obtuvieron golpeando la superficie del suelo (próxima a la posición del pilote) debido a que la cabeza de este no estaba descubierta, no obstante ese detalle no altero la adecuada adquisición de los datos sísmicos.

Durante las medidas geofísicas los dos sondeos se encontraban perfectamente cementados y revestidos con tubería de PVC y se mantuvieron llenos de agua durante la toma de datos, pues así se requiere para la correcta operación de los sensores utilizados para este tipo de estudios. Finalizamos este apartado dejando constancia de que los registros obtenidos fueron de muy buena calidad. En estos registros se pueden identificar sin ninguna duda las primeras llegadas de las ondas de compresión a cada sensor, lo cual constituye el dato básico e imprescindible para la interpretación este tipo de estudios.

3.2. Instrumentación empleada

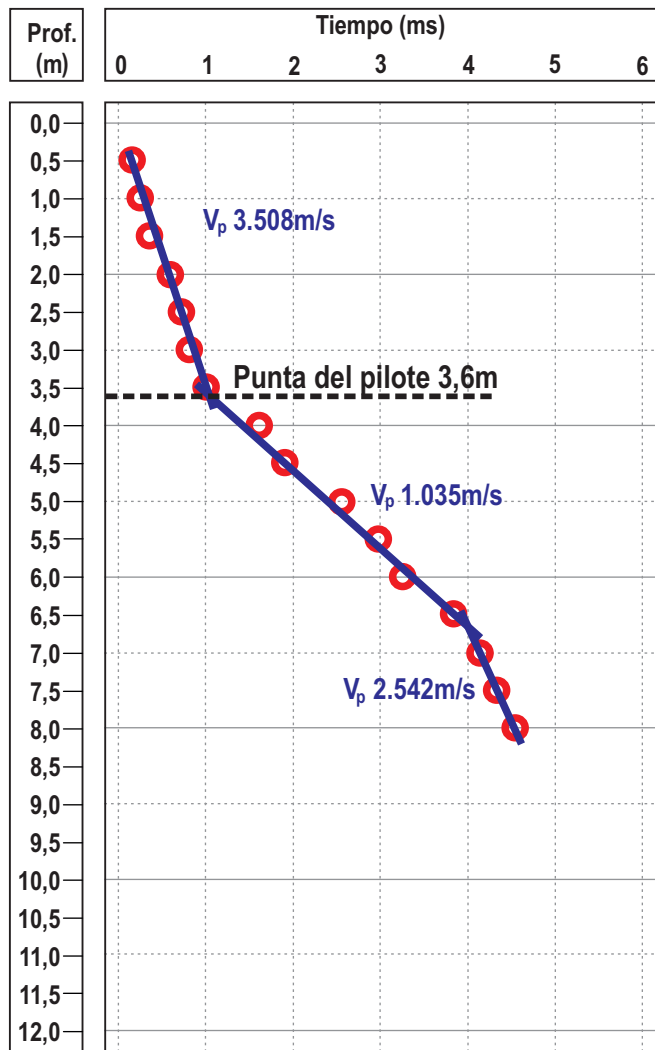
Para la grabación de los registros sísmicos de este estudio se empleó un sismógrafo digital de 24 canales modelo Summit II Compact (s/n 10070027), fabricado por DMT (www.dmt.de), con alta capacidad de muestreo que permite la determinación precisa de los tiempos correspondientes a las primeras llegadas de las ondas de compresión a cada sensor y para cada punto de tiro. También se empleó una cadena de sensores formada por 24 hidrófonos modelo 24GBK (s/n BHC2-24001) de la marca *Geotomographie*. La energía necesaria para generar la señal se obtuvo por el impacto de un mazo metálico de 8 kg .

3.3. Procesado de los datos y presentación de los resultados

El tratamiento de los datos en los estudios mediante Sísmica Paralela consiste básicamente en la construcción de las dromocrónicas o gráficos tiempo-distancia. Para ello el primer paso del proceso es la identificación en los registros de la primera llegada de la onda de compresión para cada uno de los sensores situados en el sondeo; determinando el tiempo invertido por la onda de compresión para alcanzar cada uno de ellos desde el punto donde se genera la señal. A partir de estos tiempos se construye la dromocrónica, que representa el tiempo de llegada de la onda P a cada sensor o, lo que es lo mismo, para cada profundidad. Este gráfico es el documento básico del estudio y a partir de él se realiza la interpretación de los resultados identificando como posición de la punta del pilote el punto en el cual la dromocrónica cambia bruscamente de pendiente. Este cambio de pendiente manifiesta el paso al terreno natural, pasando a un valor constante, característico de éste, según el modelo de respuesta que hemos explicado anteriormente en la **Figura 2**.

Presentamos los resultados de este estudio en la **Figura 3**, que contienen las dromocrónicas de los dos sondeos, obtenidas a partir de los tiempos de las primeras llegadas de la onda de compresión. Sobre estas gráficas hemos señalado la profundidad a la que interpretamos que finaliza el pilote, así como los valores de V_p de cada uno de los medios atravesados por los sondeos.

Sondeo 3.



Sondeo SN.

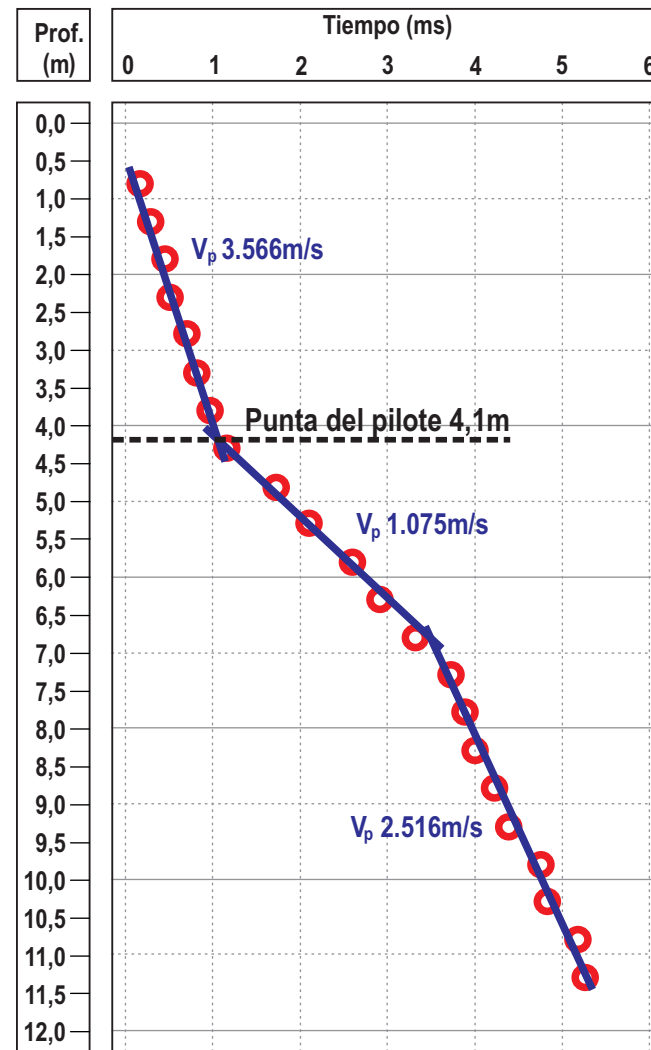


Figura 3.- Resultados de las medidas de Sísmica Paralela en los sondeos

4. RESULTADOS DEL ESTUDIO

De las dromocrónicas obtenidas del estudio (**Figura 3**) es posible identificar tres tramos/secciones diferentes, definidas por la pendiente de las rectas obtenidas al ajustar los tiempos de llegada de la onda de compresión a cada uno de los sensores sísmicos emplazados en los sondeos, siendo esta su interpretación:

- El primer tramo de las dromocrónicas corresponde a la longitud ocupada por el pilote con valores V_p superiores a 3.500m/s, velocidad de onda de compresión característica del hormigón.
- Para el pilote junto al Sondeo SN la profundidad de su punta se encuentra a 4,10 metros.
- Para el pilote junto al Sondeo 3, la profundidad de su punta se encuentra a 3,6 metros.
- En torno a los 6,5 - 7 metros de profundidad se aprecia un posible cambio litológico de los materiales ya que la pendiente de las rectas cambia en esa profundidad, pasando de materiales con V_p 1.000 m/s a materiales mas competentes con V_p superior a 2.500m/s

San Sebastián de los Reyes, Octubre 2.015
International Geophysical Technology, S.L.



Fdo.: José Enrique Borges Viralta
Ingeniero Geofísico