

## 2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

### 2.1. Justificación

Una de las formas de caracterización de los materiales del subsuelo mediante medidas físicas realizadas en la superficie del terreno es la determinación de la velocidad de transmisión de una onda de compresión a través de los macizos rocosos. Esta velocidad ( $V_p$ ) depende directamente del grado de compacidad e integridad de los materiales a través de los que se produce la propagación de la señal y por lo tanto es considerada como un indicador geomecánico. De hecho los métodos geofísicos que permiten calcular los valores de  $V_p$  se emplean de forma sistemática en los estudios geotécnicos para caracterizar unidades con diferente grado de consolidación y también para evaluar la excavabilidad de los macizos rocosos, determinando la amplitud y grado de alteración de su zona meteorizada.

El método sísmico de **refracción** constituye la técnica geofísica más ampliamente utilizada para determinar la velocidad de  $V_p$  característica de las diferentes capas del subsuelo y también el espesor de cada una de ellas hasta el rango de profundidad investigado en cada caso. Sus condiciones ideales de aplicación requieren en principio que la velocidad  $V_p$  del terreno aumente con la profundidad, al objeto de que puedan resolverse todas las capas significativas.

En las condiciones de la zona de este estudio, resulta inviables la aplicación del método Sísmico de Refracción tanto por el elevado nivel de ruido como porque está asfaltada o pavimentada, y por ello como única alternativa factible para resolver los objetivos planteados se ha utilizado el método de la **Sísmica Pasiva**. Con este método se determina la distribución de los valores de  $V_s$  del terreno en función de la profundidad. Estos valores también dependen del grado de consolidación y de la integridad de los materiales del subsuelo y están relacionados con los de  $V_p$ .

### 2.2. Ensayo preliminar

Por parte de nuestro cliente se había planteado la posibilidad de realizar el estudio mediante el método de la Tomografía Eléctrica, desde la hipótesis de que entre los rellenos de los paseos y el terreno natural constituido por materiales consolidados podría existir un considerable contraste de resistividad. IGT desaconsejó utilizar este método de forma sistemática en este estudio por los siguientes motivos:

- La previsible existencia de canalizaciones y elementos metálicos enterrados o en contacto con el terreno cuando se localizan en la proximidad de alguno de los electrodos utilizados para las medidas de resistividad, puede producir fuertes interferencias en las medidas hasta haceitas

completamente inútiles.

- Efecto del agua salobre de la Ría, que puede falsear los valores normales de resistividad de las diferentes unidades geológicas del terreno, o incluso producir un cierto apantallamiento.
- Complicaciones y dificultades logísticas relacionadas con la necesidad de perforar taladros que atraviesen la capa asfáltica o el pavimento en los emplazamientos de los electrodos para conseguir que éstos hagan contacto eléctrico con los rellenos.
- Aún en el caso de que se pudieran superar todos estos inconvenientes, existe otro argumento en contra de este método y es el hecho de que las secciones de resistividad no proporcionan información relativa a las características geotécnicas del terreno, mientras que la Sísmica Pasiva sí que aporta esta información, que entendemos relevante en este caso.

No obstante y para poder comparar de forma concreta los resultados proporcionados por uno y otro método, se realizaron a modo de ensayo medidas con ambos métodos sobre un perfil de 230 metros en la zona señalada en la **Figura 1**. Los resultados obtenidos se presentan convenientemente agrupados en la **Figura 2** y en base a ellos se decidió finalmente realizar el reconocimiento de todas las zonas del estudio mediante el método de la **Sísmica Pasiva**.

### 2.3. El método de la Sísmica Pasiva

El método de la **Sísmica Pasiva** es un método que aparece descrito a veces en la bibliografía anglosajona como **Refraction Microtremor** (ReMi) y presenta algunas similitudes con los conocidos métodos SAWS (*Spectral Analysis of Surface Waves*) y MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*), basados ambos en el estudio de las ondas superficiales del tipo *Rayleigh*.

Este método de la Sísmica Pasiva consiste básicamente en **determinar la distribución de los valores de la velocidad de transmisión de las ondas de cizalla ( $V_s$ ) a través del terreno, a partir del análisis espectral del ruido sísmico ambiental convenientemente registrado.**

El importante significado geotécnico de los valores de  $V_s$  del terreno hace que este método sea de indudable interés<sup>(1)</sup>. Los valores de  $V_s$  dependen específicamente del grado de contacto y de la cohesión entre los granos del material, con independencia de su contenido de agua. El módulo de cizallamiento G está relacionado directamente con  $V_s$  mediante la expresión  $G = d \cdot V_s^2$ , en la que  $d$  es la densidad del terreno

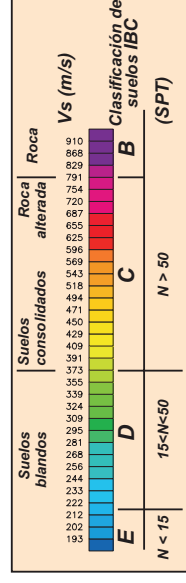
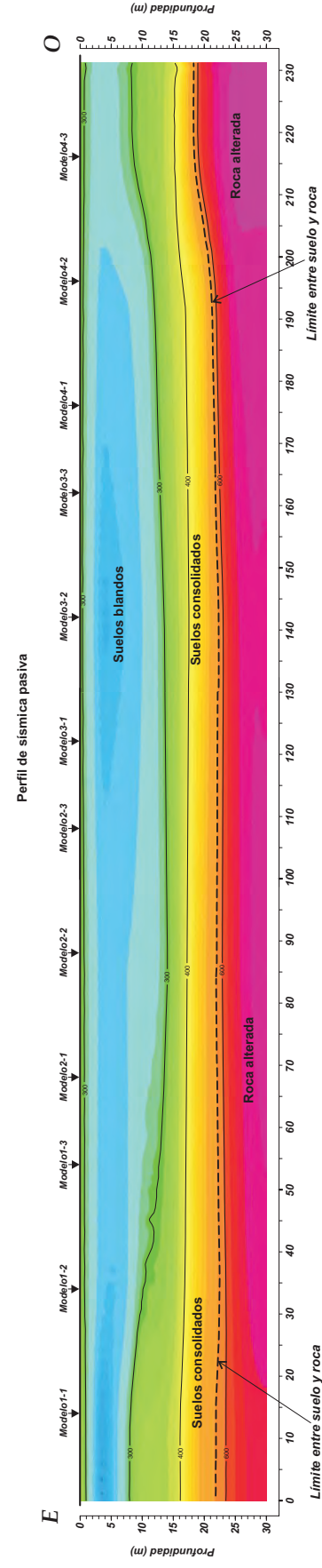
<sup>1</sup> Soils and Waves. J.C. Santamarina et al. Ed. Wiley 2001.



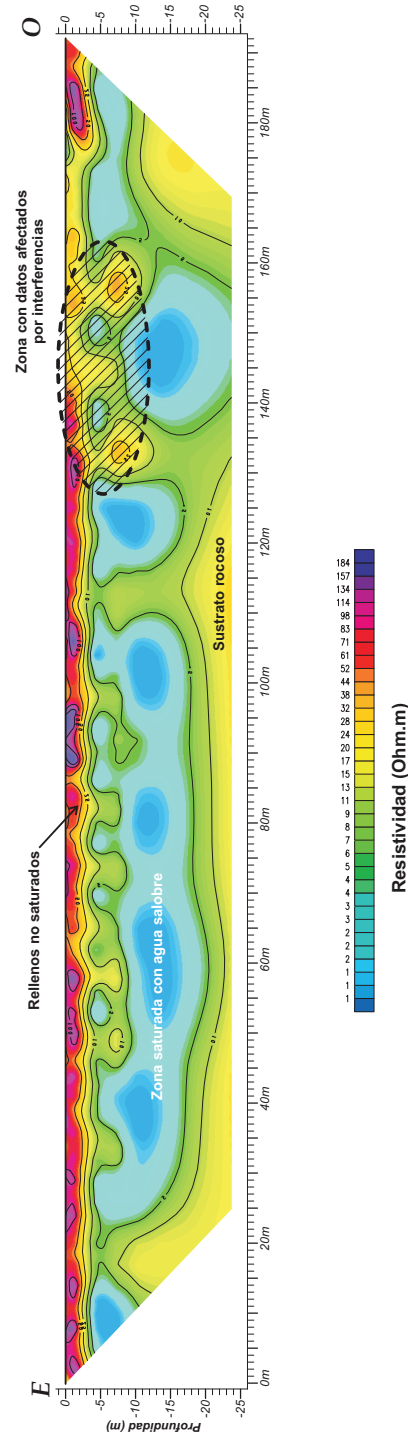
Figura 1.- Localización de los perfiles donde se han realizado los ensayos.



## Sección Sísmica



## Sección de Resistividad



Escala 1/750

Figura 2.- Resultados de los ensayos realizados antes del estudio.

El método de la Sísmica Pasiva ha sido suficientemente contrastado y ha demostrado ser una opción fiable para la caracterización geotécnica del terreno en medios urbanos o en la proximidad de autopistas, aeropuertos o vías férreas donde se da la circunstancia de que precisamente por ser muy alto el nivel del ruido ambiental no es factible la ejecución de otros tipos de estudios por métodos sísmicos.

El objetivo del método de la Sísmica Pasiva es evaluar de forma indirecta y no destructiva la consistencia del terreno, determinando para ello la velocidad de transmisión de las ondas de cisalla ( $V_s$ ) de los materiales a partir del análisis de las ondas superficiales del tipo *Rayleigh* incluidas en el ruido sísmico ambiental. Los fundamentos teórico-prácticos en que se basa este método para determinar los valores de  $V_s$  del terreno a partir del análisis de las ondas *Rayleigh* son los siguientes:

- ▶ Facilidad de adquisición y procesado. Es conocida la dificultad que conlleva generar, registrar e identificar las ondas S en los sísmogramas correspondientes a estudios sísmicos convencionales, mientras que las ondas superficiales, de los tipos *Rayleigh* o *Love*, son fácilmente observables y se generan junto con las ondas volumétricas (P y S) al liberar instantáneamente un pulso de energía en la superficie del terreno.
- ▶ Alta relación señal/ruido de las ondas *Rayleigh* debido a su mayor nivel de energía respecto a las ondas volumétricas.
- ▶ La velocidad de transmisión de las ondas *Rayleigh* ( $C_R$ ) es prácticamente igual a  $V_s$  y la relación entre ambas es constante para cualquier valor del Coeficiente de Poisson, cosa que no sucede con la relación entre  $V_p$  y  $V_s$ . (Figura 3).

En un registro del ruido sísmico ambiental se incluyen diversos tipos de ondas generadas por el tráfico de todo tipo de vehículos, por el movimiento de las personas, por el viento y por cualquier actividad característica de las zonas urbanas. Estas ondas pueden ser de compresión o de cisalla, tanto directas como refractadas o reflejadas, ondas superficiales, ondas aéreas, etc. Es decir que el registro del ruido sísmico ambiental incluye un amplio conjunto de eventos sísmicos con diferentes características. Sin embargo es factible extraer información útil de este aparente caos.

Una de las ideas fundamentales en que se basa el método de la Sísmica Pasiva es que la transformada p-f bidimensional, (inversa de la velocidad-frecuencia) de un registro sísmico de ruido ambiental permite separar las ondas *Rayleigh* de cualquier otro tipo de ondas, superficiales o volumétricas y determinar su velocidad de fase en función de la frecuencia.

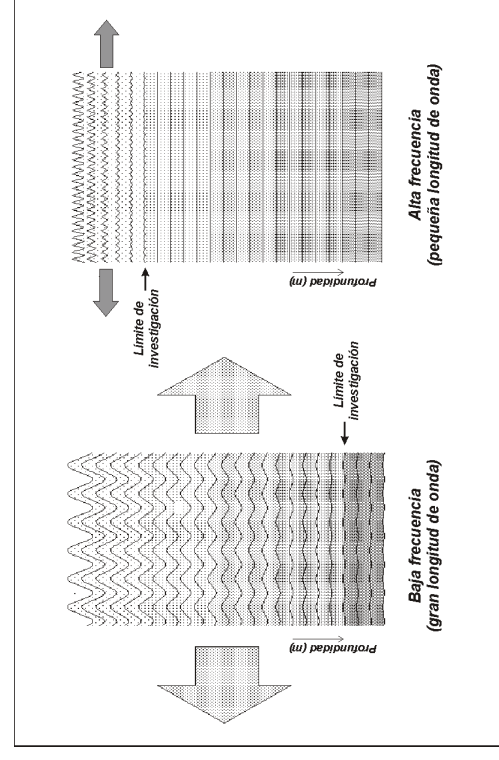
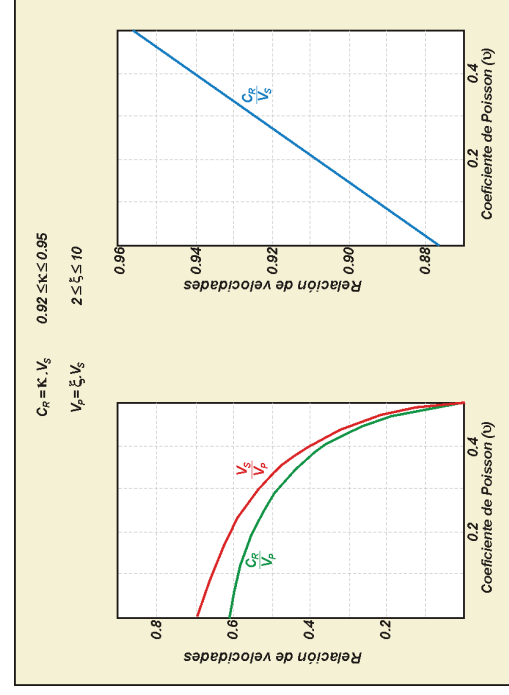


Figura 3.- Relaciones de las velocidades de las ondas compresionales ( $V_p$ ), de cisalla ( $V_s$ ) y superficiales *Rayleigh* ( $C_R$ ).

Con el fin de comprender mejor el significado y la representatividad de los resultados de cualquier estudio del terreno realizado mediante el método de la Sísmica Pasiva, conviene enumerar algunas características esenciales de las ondas *Rayleigh*. Las más relevantes a efectos prospectivos se describen en la Figura 4 y las enumeramos a continuación.

- ▶ Estas ondas se transmiten por la superficie del terreno aunque afectando a un rango de profundidad que es proporcional a su longitud de onda ( $\lambda$ ).
- ▶ Su velocidad de propagación, que se define como velocidad de fase  $C_R$ , es determinada principalmente por la velocidad  $V_s$  de los materiales. La relación entre ambas se expresa como  $C_R = 0.94 V_s$ .
- ▶ Su amplitud vertical disminuye con la profundidad y el movimiento de partícula asociado a ellas es de tipo elipsoidal, con el eje mayor en disposición vertical y en el sentido de avance del frente de ondas.





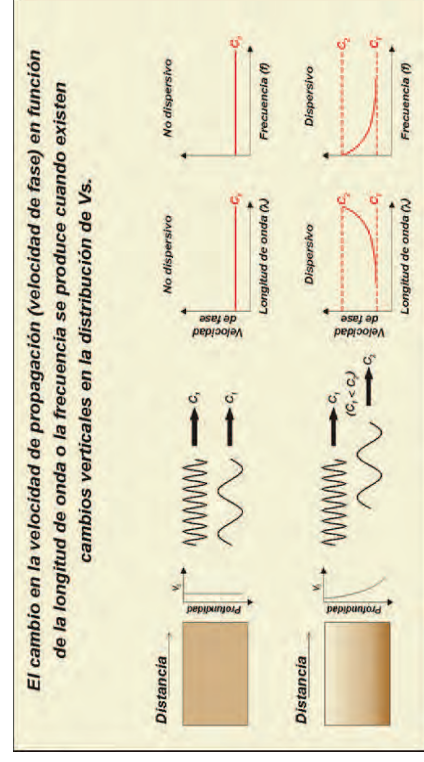
**Figura 4.-** Propiedades características de la transmisión de las ondas Rayleigh.

El concepto de **dispersión** es de fundamental importancia en lo relativo a la transmisión de las ondas Rayleigh y a la forma en que el método de la Sísmica Pasiva, al igual que otros métodos (SASW y MASW) basados en el estudio de las ondas superficiales puede resolver y caracterizar las diferentes "capas" sísmicas del terreno. Este concepto se describe mediante el esquema que reproducimos en la Figura 5 y que explicaremos enumerando las ideas más significativas contenidas en ella:

- ▶ Se define como dispersión el cambio de velocidad de propagación de las ondas Rayleigh ( $C_R$ ) en función de la longitud de onda ( $\lambda$ ) o de la frecuencia ( $f$ ).
- ▶ Este fenómeno solamente se manifiesta cuando el medio no es homogéneo en términos de la distribución de los valores de  $V_s$  según la vertical.
- ▶ En un medio con valores de  $V_s$  crecientes con la profundidad las componentes de alta frecuencia (menor longitud de onda) se transmiten a menor velocidad de fase ( $C_R$ ) que las de baja frecuencia (mayor longitud de onda) que además profundizan más en el terreno.

Una vez realizadas las mediciones sobre el terreno, el objetivo final del estudio es obtener a partir de los registros sísmicos un modelo con la distribución de los valores de  $V_s$  del terreno en la zona de medida. Para ello el proceso de análisis e interpretación de los registros se desarrolla en tres etapas sucesivas que ilustramos de forma esquemática mediante la Figura 6 y que resumimos seguidamente.

- a) **Análisis espectral** de los registros sísmicos para obtener el **diagrama de velocidad aparente de fase en función de la frecuencia**. Todas las fases de los registros sísmicos aparecen representadas en el diagrama p-f resultante que pone de manifiesto el espectro de energía mediante paleta de color para cada combinación de la inversa de la velocidad de fase (*slowness*) y la frecuencia.
  - b) **Obtención de la curva de dispersión correspondiente a las ondas Rayleigh**, representada por la envolvente de menor velocidad aparente de fase. Este procedimiento se realiza manualmente sobre el diagrama p-f y consiste en seleccionar específicamente las velocidades de fase correspondientes al "modo fundamental" sin tener en cuenta envolventes correspondientes a otras tendencias en el gráfico de dispersión (*higher modes*) que podrían llevar a resultados erróneos en el posterior proceso de inversión.
  - c) **Otras curvas de dispersión** del tipo "higher mode" pueden aparecer en el diagrama p-f como tendencias de dispersión si tienen un nivel energético semejante a la correspondiente al modo fundamental. Se diferencian no obstante de esta última por ser la correspondiente a los menores valores de la velocidad aparente de fase.
- Obtención de la distribución de los valores de  $V_s$  del terreno mediante modelización de la curva de dispersión de las ondas Rayleigh.** El procedimiento seguido es el desarrollado por Yuehua Zeng (1992). Consiste en realizar iteraciones sucesivas para diferentes valores de la velocidad de fase para cada frecuencia, a partir de un premodelo establecido en base a la información geológica disponible. En este proceso se pueden modificar también los espesores de las "capas" de la sección sísmica.
- La representación gráfica de los resultados, que consiste en visualizar la distribución de los valores de  $V_s$  del terreno con la profundidad, obtenida mediante el proceso descrito en el epígrafe anterior, puede hacerse en forma de **diagramas 1D** o bien mediante **secciones 2D**, distancia-profundidad. El empleo de una u otra forma de presentación de los resultados está condicionado en parte por el tipo de dispositivo de sensores utilizado para las medidas.

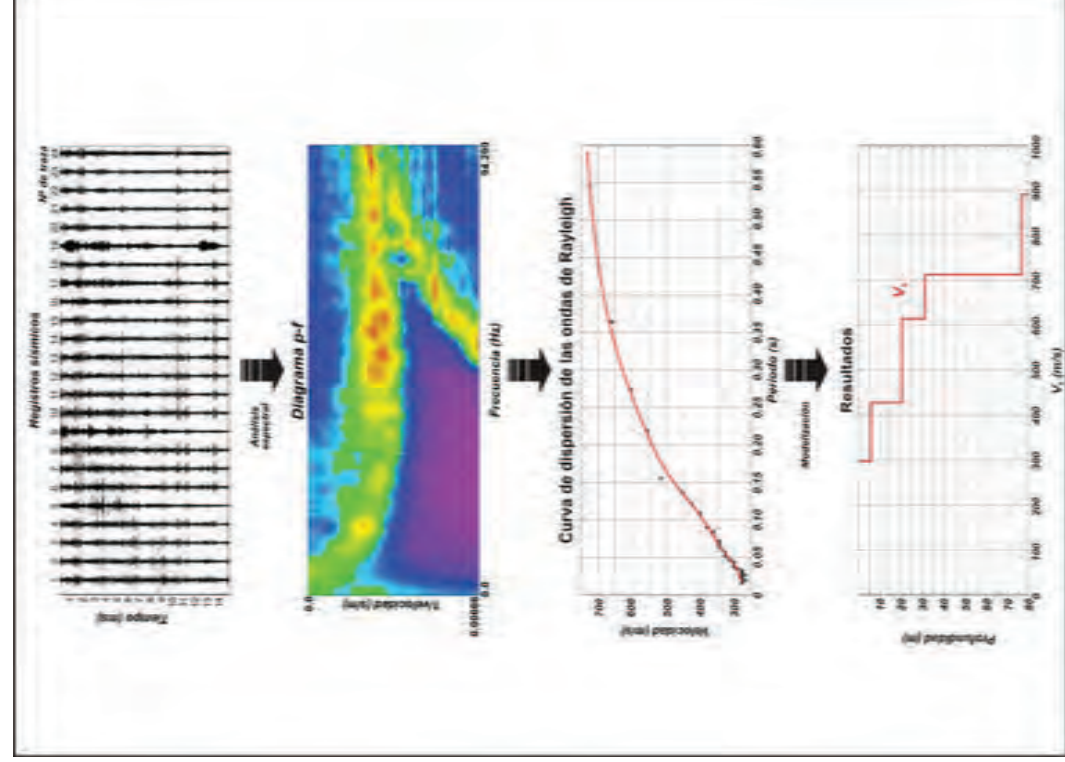


**Figura 5.-** Concepto de dispersión en la transmisión de las ondas superficiales.

Puesto que uno de los principales ámbitos de aplicación de este método es el de los estudios para la **caracterización geotécnica del terreno en medios urbanos**, un problema por resolver en cada caso es conseguir un buen acoplamiento de los sensores con el terreno. En zonas asfaltadas o pavimentadas es efectivo instalar los geófonos sobre placas metálicas que puedan desplazarse fácilmente arrastrándolas sobre el suelo. Es importante señalar que **las medidas pueden hacerse incluso en el interior de edificios**, aunque en todo caso el emplazamiento de los sensores debe cumplir algunas condiciones en cuanto a la linealidad del dispositivo y a la verticalidad de cada uno de ellos.

La **profundidad de investigación**, que puede alcanzarse fácilmente los 100 metros, depende de la longitud del dispositivo de medida conformado por los sensores. Por su parte la separación entre los geófonos así como su frecuencia natural condicionan la capacidad de resolución para los niveles superficiales en los resultados finales del estudio.

Un procedimiento recomendable durante el proceso de adquisición de los datos es obtener varios registros independientes en cada emplazamiento para seleccionar en la fase de procesado el que se considere mejor. Asimismo con el fin de incrementar el contenido en altas frecuencias en los registros y con ello mejorar la resolución en los niveles más superficiales, es conveniente provocar algunos impactos con martillo en la proximidad del punto de medida.



**Figura 6.-** Esquema explicativo del procesado de los registros en el método de la Sísmica Pasiva.



Cuando se utilizan dispositivos en L, triangulares o circulares la distribución de los valores de  $V_s$  del terreno con la profundidad se representa en forma de diagrama 1D. En el caso de que las medidas se realicen con un dispositivo lineal y cuando varias implantaciones de 24 geófonos por ejemplo se disponen contiguas configurando un perfil, los resultados se representan en forma de secciones 2D. Para su elaboración caben dos opciones principales:

- Procesar conjuntamente los 24 registros de cada implantación para obtener un modelo 1D que se asigna al punto central del dispositivo de medida (Figura 7). Posteriormente se construye la sección 2D correlacionado los modelos correspondientes a todas las implantaciones que alineadas forman un determinado perfil (Figura 8).

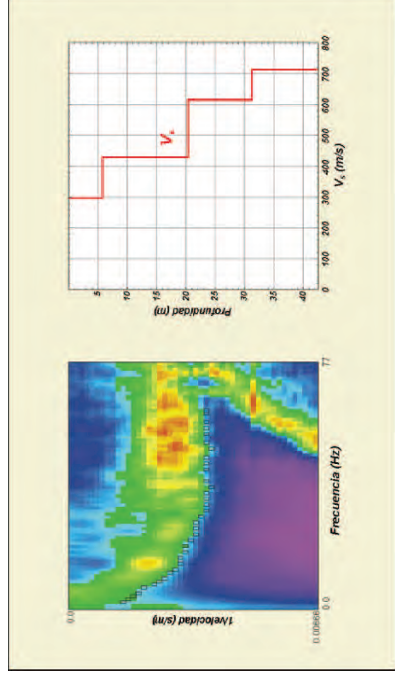


Figura 7.- Ejemplo de presentación de los resultados en forma de 1D.

- Para cada implantación de 24 canales se pueden hacer varios procesados parciales para grupos de varias trazas, como por ejemplo para las trazas de la 1 a la 12, de la 6 a la 18 y de la 12 a la 24 con lo que se obtendrían tres modelos 1D independientes que después mediante correlación entre ellos permitirían configurar una sección 2D para la implantación en cuestión.

### 3. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO

#### 3.1. Medidas sobre el terreno

Para la obtención de los registros sísmicos de este estudio se utilizó un dispositivo formado por 24 geófonos alineados y espaciados a intervalos de 3 metros. A este dispositivo de medida se le denomina **Implantación sísmica**.

El pequeño espaciado entre los geófonos ha tenido como objeto mejorar el registro de las altas frecuencias del ruido sísmico ambiental y con ello incrementar la resolución de los niveles más superficiales. El posible inconveniente del empleo de un dispositivo relativamente corto, es que no se registren completamente las bajas frecuencias y con ello resulte insuficiente la profundidad de investigación. Este es un problema menor en este caso, porque con el dispositivo empleado se ha alcanzado una profundidad del orden de 30 metros.

Por otra parte pese a que el ruido sísmico ambiental era alto en la zona de trabajo, con el objetivo de incrementar el contenido en altas frecuencias de los registros se efectuaron además diversos golpes sobre el terreno con una maza metálica de 8 Kg en un punto situado a 2-3 metros de uno de los extremos del dispositivo de medida. Otros parámetros característicos de la forma en que se llevaron a cabo las medidas con los siguientes:

- Longitud de los registros - 15 s. Con el fin de conseguir un espectro de señales suficientemente amplio.
- Intervalo de muestreo - 1 ms. Con estas especificaciones cada una de las 24 trazas sísmicas del registro en cada implantación contiene 15.000 datos.
- En cada implantación se hicieron tres registros independientes para asegurarnos de que las señales eran suficientemente buenas, eligiendo para el posterior procesado al que se consideró como el mejor de todos ellos y en algunos casos el resultante de sumar todos.

El acoplamiento de los sensores al terreno es un factor importante en este tipo de medidas. Se consiguió en este caso mediante placas metálicas apoyadas directamente mediante tres puntos sobre el suelo. Los geófonos van roscados en su cara superior y el peso de la placa hace que su acoplamiento con el terreno sea efectivo.

Las medidas sísmicas se hicieron de acuerdo con las indicaciones recibidas de **SENER**, aunque

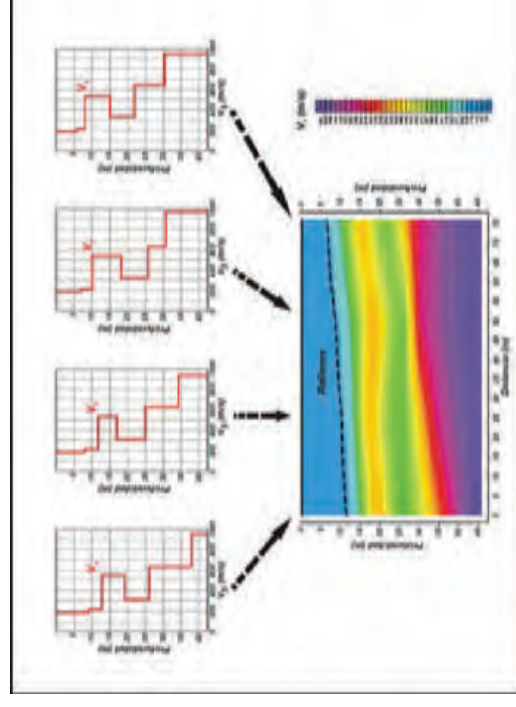


Figura 8.- Ejemplo de presentación de los resultados en forma de sección (2D).

adaptando lógicamente la distribución de los perfiles en función de las condiciones logísticas de cada zona de estudio. Esta distribución queda detallada en los **Planos del 1 al 14** de este informe sobre la base topográfica que nos fue facilitada por nuestro cliente.



Distribución de los sensores sobre el terreno.

Para cubrir en su totalidad la zona de estudio con el grado de detalle requerido y donde fue posible, se midieron en total **200 implantaciones sísmicas** convenientemente agrupadas en **24 perfiles** identificados correlativamente desde **PS-1** hasta **PS-24**. Sus características (espaciado entre los geófonos y longitud) se detallan en la **Tabla I** que presentamos seguidamente. Cuando varias implantaciones se disponen contiguas a lo largo de un mismo perfil, es habitual solapar al menos cuatro geófonos para incrementar la resolución lateral de los resultados. Así se ha hecho en todos los perfiles de este estudio.

En general el trabajo de campo se desarrolló correctamente sin ninguna interferencia digna de mención en lo que se refiere a la calidad de los registros. El nivel del ruido sísmico ambiental era suficientemente alto, de modo que los registros sísmicos obtenidos contienen la información necesaria para resolver los objetivos del estudio.

### 3.1.1. Incidencias

En la zona próxima al perfil 12 en la margen izquierda de la Ría se había programado hacer medidas geofísicas que no se pudieron realizar debido a que el paseo se apoya sobre pilotes. Dicho perfil se indica en los planos de localización (Plano nº 7), en el que se incluye una foto que explica por qué no se pudieron realizar las medidas geofísicas.

Por problemas de acceso a algunas zonas, debido a que se estaban realizando obras en las calles o por falta de permiso de entrada a las zonas ocupadas por vías férreas, el estudio hubo de realizarse en varias fases separadas en el tiempo a intervalos de algunas semanas.

### 3.1.2. Control de calidad

IGT ha implantado un sistema de Gestión de la Calidad y el Medio Ambiente en todos sus trabajos conforme con las normas UNE-EN ISO 9001:200 y UNE-EN ISO 14001:2004. En consecuencia, se ha establecido una serie de procedimientos y buenas prácticas que deben seguirse por nuestros equipos para garantizar la fiabilidad de los resultados de las mediciones y el correcto funcionamiento de la instrumentación.

Estas normas incluyen la repetición de las medidas geofísicas en diversos puntos de cada campaña. De este modo pretendemos disponer de los datos necesarios para evaluar y para demostrar la calidad de las medidas realizadas y su repetibilidad, así como el correcto funcionamiento de nuestros instrumentos geofísicos.

En este caso y con este fin, siguiendo el procedimiento establecido en nuestra **Instrucción Técnica IT-07** "Buenas prácticas en las mediciones de campo", se repitieron las medidas en seis implantaciones distribuidas en varios perfiles. Presentamos los correspondientes diagramas de dispersión en las **Figuras 9 y 10** donde puede observarse la coincidencia en los rasgos fundamentales de ambos diagramas en cada caso, lo cual demuestra el correcto funcionamiento del equipo utilizado para las medidas y la repetibilidad de los datos, pese a que en este método el operador no tiene ningún control sobre la fuente de la señal sísmica.

### 3.2. Procesado de los registros sísmicos

El objetivo del procesado de los registros sísmicos es obtener como resultado final la distribución de los valores de  $V_s$  del terreno en función de la profundidad. Para ello se han seguido las tres etapas

Perfil	Nº de implantaciones	Nº de geófonos	Longitud
PS-1	2 ud	2 x 24	108 metros
PS-2	12 ud	12 x 24	717 metros
PS-3	21 ud	21 x 24	1.410 metros
PS-4	2 ud	2 x 24	130 metros
PS-5	1 ud	1 x 24	69 metros
PS-6	4 ud	4 x 24	230 metros
PS-7	6 ud	6 x 24	380 metros
PS-8	6 ud	6 x 24	370 metros
PS-9	20 ud	20 x 24	1.220 metros
PS-10	15 ud	15 x 24	1910 metros
PS-11	5 ud	5 x 24	272 metros
PS-12	16 ud	16 x 24	980 metros
PS-13	19 ud	19 x 24	1.054 metros
PS-14	11 ud	11 x 24	649 metros
PS-15	5 ud	5 x 24	272 metros
PS-16	8 ud	8 x 24	410 metros
PS-17	6 ud	6 x 24	349 metros
PS-18	7 ud	7 x 24	430 metros
PS-19	3 ud	3 x 24	160 metros
PS-20	7 ud	7 x 24	419 metros
PS-21	2 ud	2 x 24	92 metros
PS-22	2 ud	2 x 24	92 metros
PS-23	12 ud	12 x 24	693 metros
PS-24	8 ud	8 x 24	479 metros
<b>Total .....</b>			<b>200 implantaciones</b>
			<b>11.895 metros</b>

Tabla I.- Resumen del trabajo realizado.

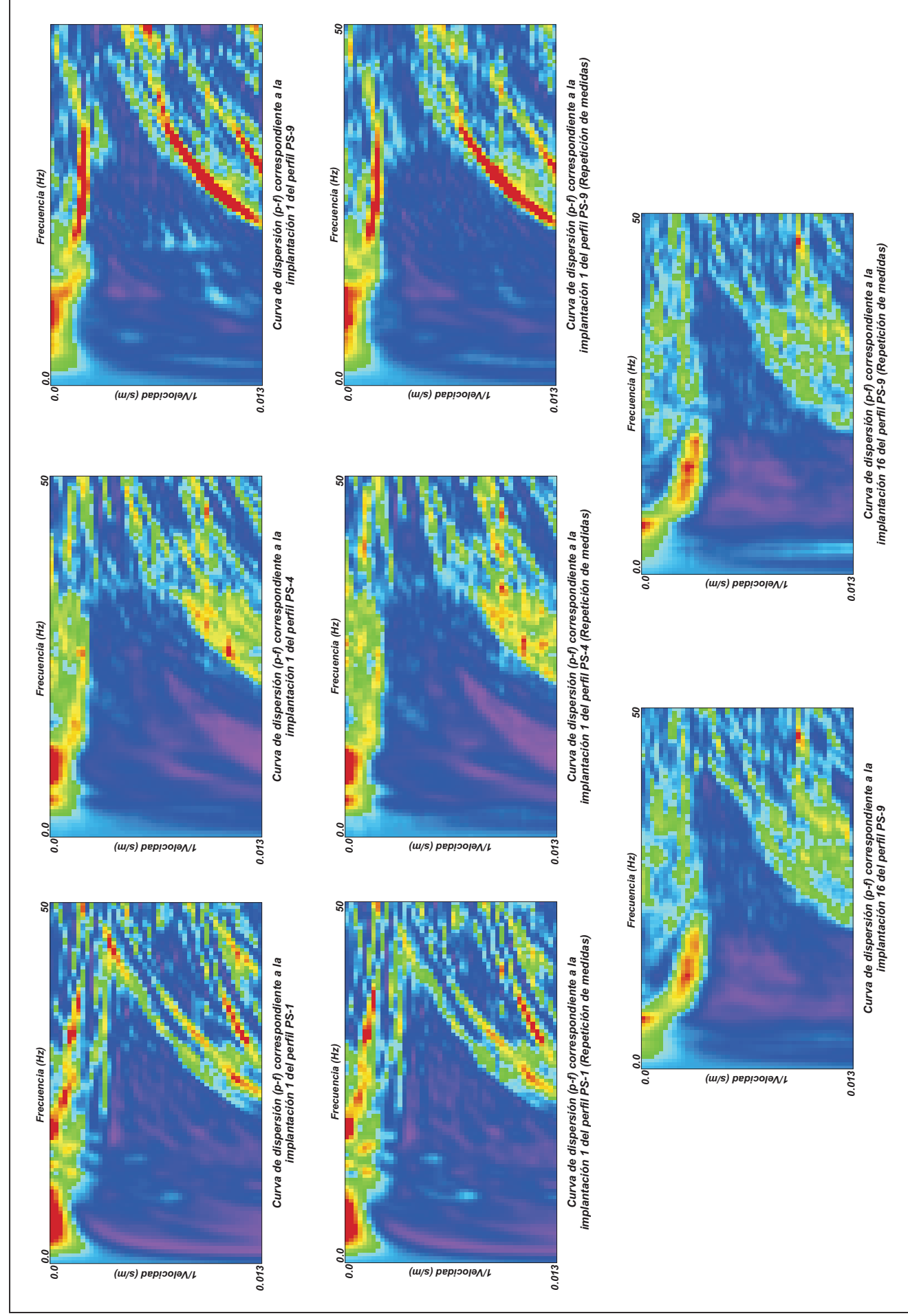


Figura 9.- Diagramas de dispersión correspondientes a la repetición de medidas para el control de calidad (A).



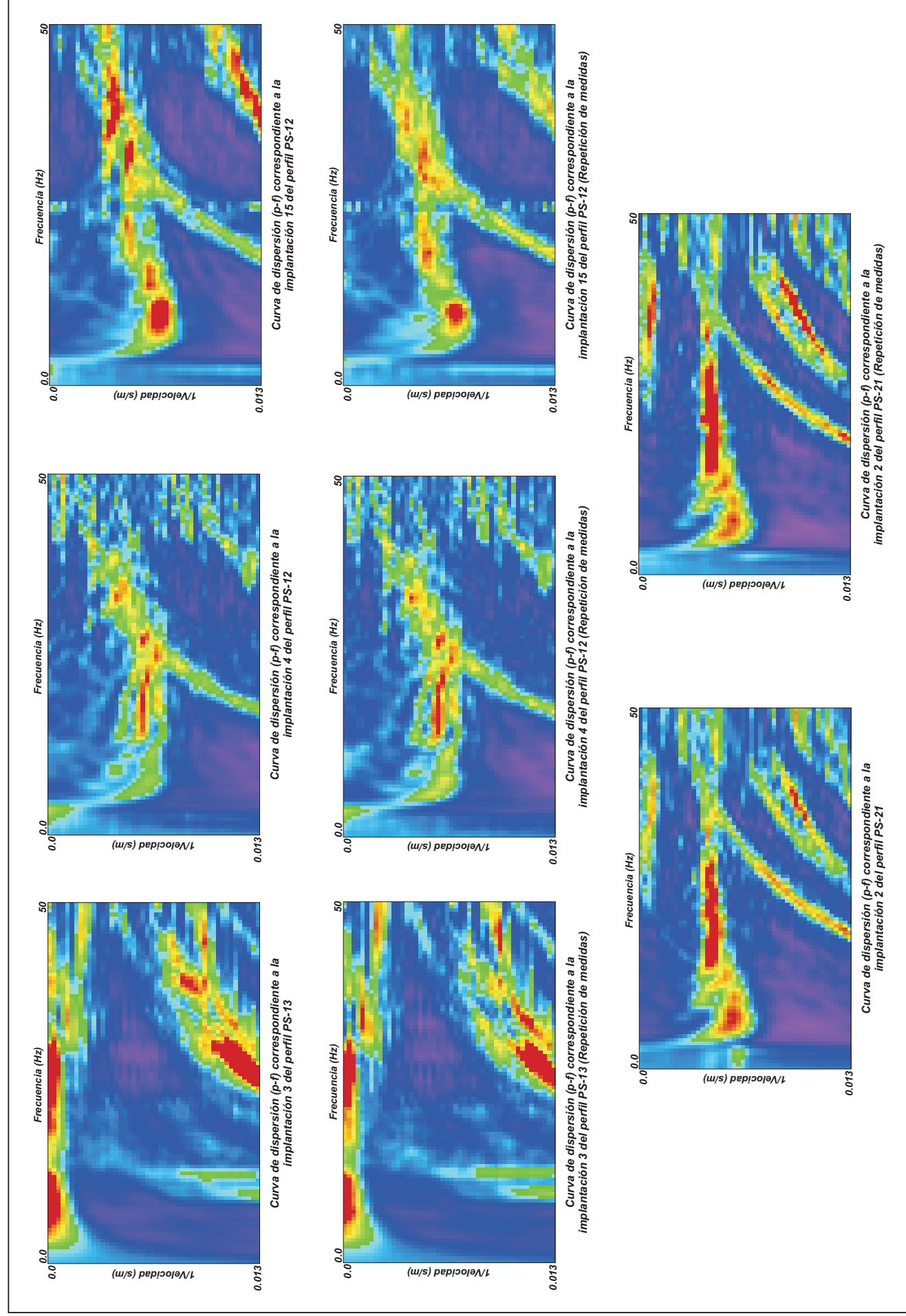


Figura 10.- Diagramas de dispersión correspondientes a la repetición de medidas para el control de calidad (B).



características del método de la Sismica Pasiva:

- Análisis espectral de los registros para obtener el diagrama de velocidad aparente de fase en función de la frecuencia (p-f).
- Selección sobre el diagrama p-f de la curva de dispersión de las ondas Rayleigh representada por la envolvente de menor velocidad aparente de fase.
- Modelización de la curva de dispersión de las ondas Rayleigh para obtener la distribución de los valores de  $V_s$  del terreno en el ámbito ocupado por el dispositivo de medida.

El proceso anterior produce para cada grupo de trazas sísmicas un modelo 1D con la distribución de los valores de  $V_s$  del terreno para el ámbito ocupado por el conjunto de los 24 sensores utilizados para obtener los registros. Estos resultados son tanto más consistentes cuanto mayor sea el número de trazas del conjunto de registros sísmicos analizadas. Por otra parte para poder determinar posibles variaciones laterales de  $V_s$  conviene obtener modelos 1D lo más próximos entre sí.

En consecuencia con las ideas expuestas, hemos optado por calcular tres modelos 1D para cada una de las implantaciones sísmicas de 24 sensores. Para ello hemos analizado en primer lugar conjuntamente todas las trazas de cada implantación para obtener un premodelo que se ha utilizado como punto de partida para el posterior análisis de tres grupos de trazas de cada implantación. El primer grupo incluye desde la traza 1 a la 12, el segundo desde la traza 6 a la 18 y el tercero desde la traza 13 a la 24. Los modelos 1D resultantes se han asignado al punto central de cada grupo de trazas analizadas aisladamente.

### 3.2.1. Presentación de los resultados

Cuando varias implantaciones sísmicas se distribuyen de forma contigua configurando un perfil es habitual presentar sus resultados en forma de sección con la distribución de los valores de  $V_s$  del terreno a lo largo del perfil en cuestión. Estas secciones se obtienen correlacionando los modelos 1D obtenidos para cada uno de los grupos de trazas de las implantaciones sísmicas analizadas de forma independiente, tal como se muestra en el ejemplo de la Figura 8.

Las secciones sísmicas así obtenidas son comparables a secciones geológico-geotécnicas del terreno aunque en rigor representan exclusivamente la distribución de un parámetro físico característico del mismo (los valores de  $V_s$ ) sin que a priori estos resultados tengan relación con la naturaleza litológica

de los materiales, sino únicamente con su grado de consolidación. No obstante tales secciones son interpretables en cada caso en los términos mencionados siempre que se utilice el necesario apoyo geológico.

Las secciones sísmicas obtenidas en este estudio se presentan a escala 1/500 en los Planos del 14 al 42 de este informe. Las variaciones de  $V_s$  que configuran estas secciones se indican mediante una paleta de color standard y mediante isolíneas convenientemente seleccionadas respecto a los objetivos del estudio. En concreto incluimos entre otras las isolíneas de 300 m/s y 600 m/s que constituyen de modo general los límites entre suelos sueltos y suelos consolidados, y entre suelos muy consolidados o roca alterada con roca sana respectivamente.

#### 4. RESULTADOS DEL ESTUDIO

##### 4.1. Comentarios generales

Los valores de  $V_s$  del terreno constituyen en sí mismos un parámetro con importante significado geotécnico porque dependen directamente del grado de cohesión de los materiales. A partir de ellos se puede calcular fácilmente el módulo de cizallamiento (G) que interviene en diversos cálculos relativos a la interacción entre el terreno y las estructuras apoyadas en él. Sin embargo no es éste el objetivo de este estudio sino obtener información relativa a la distribución y el espesor del relleno de los paseos y determinar la posición del sustrato rocoso sobre el que deben apoyarse los muros.

Puesto que los profesionales de la Geotécnica están más familiarizados con el manejo de los valores de  $V_p$ , hemos tratado de proporcionar una equivalencia entre los resultados del estudio (secciones 2D o modelos 1D con la distribución de los valores de  $V_s$ ) y el grado de consolidación o la resistencia de los materiales. Esta equivalencia viene definida básicamente en la tabla 1615.1.1 de la IBC (*International Building Code*) para la clasificación de terrenos, y que puede utilizarse como referencia para dar sentido geotécnico a las secciones sísmicas de este estudio.

Site class	Soil profile name	Soils shear wave velocity, $V_s$ , (m/s)	Average properties in top 30 m, as per section 1615.1.5	Soil undrained shear strength, $S_u$ (psf)
A	Hard Rock	$V_s > 1,524$	Standard penetration resistance, $N$	Not applicable
B	Rock	$762 < V_s \leq 1,524$	Not applicable	Not applicable
C	Very dense soil & soft rock	$385.7 < V_s \leq 762$	$N > 50$	$S_u \geq 2,000$
D	Stiff soil profile	$182.9 < V_s \leq 385.7$	$15 \leq N \leq 50$	$1,000 \leq S_u < 2,000$
E	Soft soil profile	$V_s < 182.9$	$N < 15$	$S_u < 1,000$
E	-	-	Any profile with more than 10 feet of soil having the following characteristic: 1. Plasticity index, $PI > 20$ ; 2. Moisture content $w \geq 40\%$ , and 3. Undrained shear strength $S_u < 1,000$	-
F	-	-	Any profile containing soils having one or more of the following characteristics: 1. Soils vulnerable to potential failure or collapse under seismic loading such as liquefiable soils, quick and highly sensitive clays, collapsible weakly cemented soils. 2. Peats and/or highly organic clays ( $H > 3.048m$ of peat and/or highly organic clay where $H$ = thickness of the soil) 3. Very high plasticity clays ( $H > 7.62m$ with plasticity index, $PI > 75$ ) 4. Very thick soft/medium stiff clays ( $H > 36.576m$ )	-

For  $S_1$ , 1 foot = 0.3048m, 1 foot = 304.8mm, 1 square foot = 0.0929mm<sup>2</sup>, 1 pound per square foot = 0.0479kPa

Tabla II.- Clasificación de los suelos según el *International Building Code* (IBC).

perfiles, pero su efecto sería un incremento general de los valores de  $V_s$  en la sección.

##### 4.2. Resumen de los resultados

La considerable extensión de la zona estudiada conlleva la existencia de significativas variaciones en las características de las secciones sísmicas obtenidas en este estudio. Cada una de ellas puede observarse con los comentarios oportunos en los Planos n° del 14 al 42 y por ello en este apartado nos limitaremos a comentar algunos de los modelos sísmicos o geotécnicos más representativos. Son los siguientes:

- Zonas sin recubrimientos de suelos blandos y con valores de  $V_s$  característicos de rellenos muy consolidados o de materiales rocosos más o menos meteorizados desde los primeros metros. Se observa un incremento progresivo de los valores de  $V_s$  con la profundidad hasta llegar a valores típicos de materiales rocosos sanos en torno a 15 metros de profundidad. Son ejemplos característicos de este grupo las secciones PS-1, PS-3, PS-4 y PS-5, tramo final de PS-7, tramo final de PS-10 y tramos inicial y final de PS-13. En ellas se identifica localmente un nivel que interpretamos como rellenos consolidados ( $V_s$  entre 300 y 400 m/s) con hasta 3 - 4 metros de espesor e inmediatamente por debajo hemos interpretado como roca más o menos meteorizada un sustrato con valores de  $V_s$  entre 400 y 600 m/s. Los valores superiores a 600 m/s consideramos que corresponden a roca sana.
- Zonas constituidas por materiales con alto grado de consolidación desde superficie que interpretamos como roca meteorizada sin recubrimiento, porque sus valores de  $V_s$  son mayores de 500 m/s hasta 15-20 metros de profundidad. Son ejemplos de este modelo las secciones PS-6, parte de la PS-11, parte de la PS-8, tramo inicial de PS-7, tramo intermedio de PS-13, PS-14 y parte de las secciones PS-23 y PS-24.
- Zonas con un nivel de suelos blandos ( $V_s < 300$  m/s) con un espesor variable entre 2 y 4 metros a partir del cual se reproduce el modelo del apartado a). Véanse al respecto las secciones de los perfiles PS-2, PS-9 y gran parte de la PS-10.
- Zonas con gran desarrollo del nivel de suelos blandos ( $V_s < 300$  m/s) que llega a alcanzar hasta 20 metros de espesor, por ejemplo en las secciones PS-12, PS-15, PS-16, PS-17 hasta el metro 100 del perfil, PS-18, PS-19, PS-20, PS-21, PS-22 y en parte de las secciones PS-23 y PS-24. Es evidente que este modelo es el que constituye la situación más desfavorable desde el punto de vista geotécnico porque el terreno firme ( $V_s$  mayor de 500 - 600 m/s) donde a priori puede apoyar el muro de la Ría, se localiza a más de 20 metros de profundidad.

Junto a las secciones sísmicas presentamos una versión modificada de la Tabla anterior en base a la cual hemos interpretado estas secciones sísmicas en términos sencillos pero que consideramos suficientemente representativos para los objetivos generales de este trabajo. Las unidades geotécnicas que hemos diferenciado en función de los valores de  $V_s$  de las secciones sísmicas han sido las siguientes:

- Menor de 200 m/s..... Suelos blandos o recubrimientos antrópicos sueltos. ( $N < 15$  en el ensayo SPT).
- Entre 200 y 300 m/s..... Recubrimiento o rellenos constituidos por materiales débilmente consolidados. ( $15 < N < 30$ ).
- Entre 300 m/s y 400 m/s..... Rellenos moderadamente consolidados. ( $30 < N < 50$ ).
- Entre 400 m/s y 600 m/s..... Rellenos con alto grado de consolidación o incluso roca meteorizada ( $N \geq 50$ ).
- Mayor de 600 m/s..... Sustrato rocoso débilmente meteorizado a roca sana, con independencia de su naturaleza litológica.

Para los detalles de los resultados de este estudio nos remitimos a las secciones sísmicas que presentamos en los Planos del 14 al 42 porque son suficientemente explícitas como para hacer innecesario extendernos aquí en comentarios puramente descriptivos de cada una de estas secciones.

Por otra parte hemos de indicar que las medidas de Sísmica Pasiva no tienen alta resolución lateral. De hecho, las secciones que presentamos en los referidos planos, se han configurado a partir de 3 modelos puntuales separados a intervalos de 15 a 20 metros (dependiendo del solape de geófonos entre implantaciones) para cada una de las implantaciones sísmicas que la forman. Cada uno de estos modelos 1D es el resultado de promediar la respuesta del terreno en 12 trazas que ocupan al menos 24 metros sobre el perfil. En consecuencia los cambios laterales en la distribución de los valores de  $V_s$  deben entenderse como representativos en lo que respecta al orden de magnitud de  $V_s$  pero sin tratar de precisar la posición de los posibles contactos o los cambios laterales entre zonas con diferentes valores de  $V_s$ . Dichos modelos 1D se han identificado en cada una de las secciones sísmicas por medio de flechas verticales.

De modo general consideramos que los resultados obtenidos de este estudio son fiables y representativos porque los registros sísmicos contienen suficiente información para ello. No existen interferencias que nuestro equipo haya podido observar sobre el terreno, y únicamente cabría considerar a este respecto la posible influencia del muro de la Ría en los casos en que el dispositivo de sensores utilizado para las medidas se situara muy próximo a él. Esta situación se ha evitado en la mayoría de los

En todo caso por tratarse de una información de carácter indirecto, es conveniente e interesante correlacionarla con los datos que puedan obtenerse de sondeos, aunque teniendo en cuenta el carácter puntual de éstos frente a la información más volumétrica aportada por las medidas geofísicas. Así lo hemos hecho señalando de forma esquemática los resultados de diversos sondeos que nos han sido proporcionado por SENER.

Finalmente dejamos constancia de que en nuestra opinión los resultados obtenidos de este estudio, pese a su carácter indirecto, han cubierto aceptablemente sus objetivos al proporcionar información representativa respecto al grado de compactad e integridad de los materiales del subsuelo hasta una profundidad del orden de 20 metros, lo cual es interpretable en términos de interés geotécnico. Estos resultados son fiables porque los registros sísmicos a partir de los que se han obtenido tienen suficiente amplitud de la señal para que el procesado haya sido consistente.

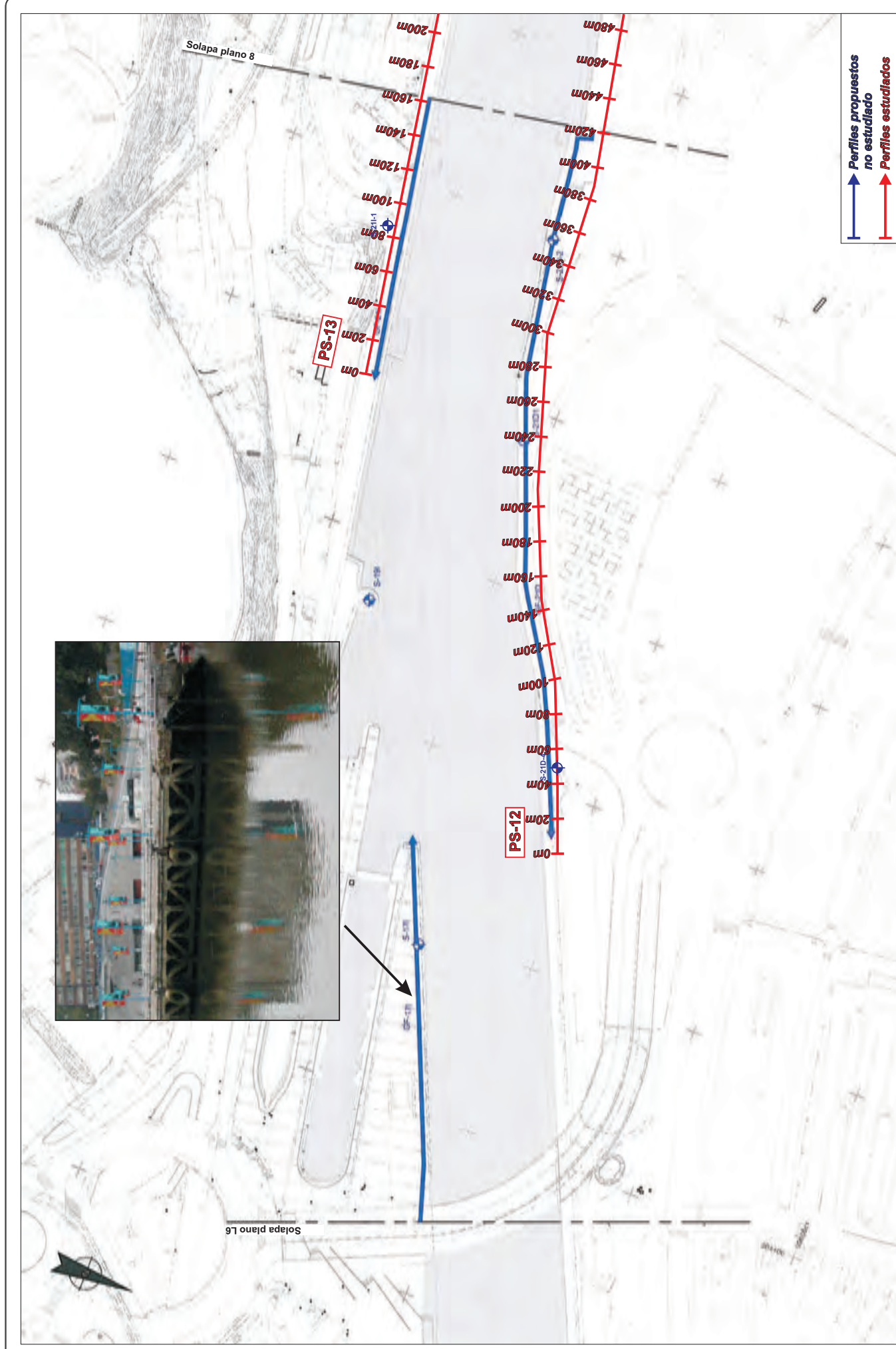
San Sebastián de los Reyes, Marzo 2.010  
International Geophysical Technology, S.L.

Fdo.: Ángel Granda Sanz  
Ingeniero de Minas  
Colegiado nº 1164 CE

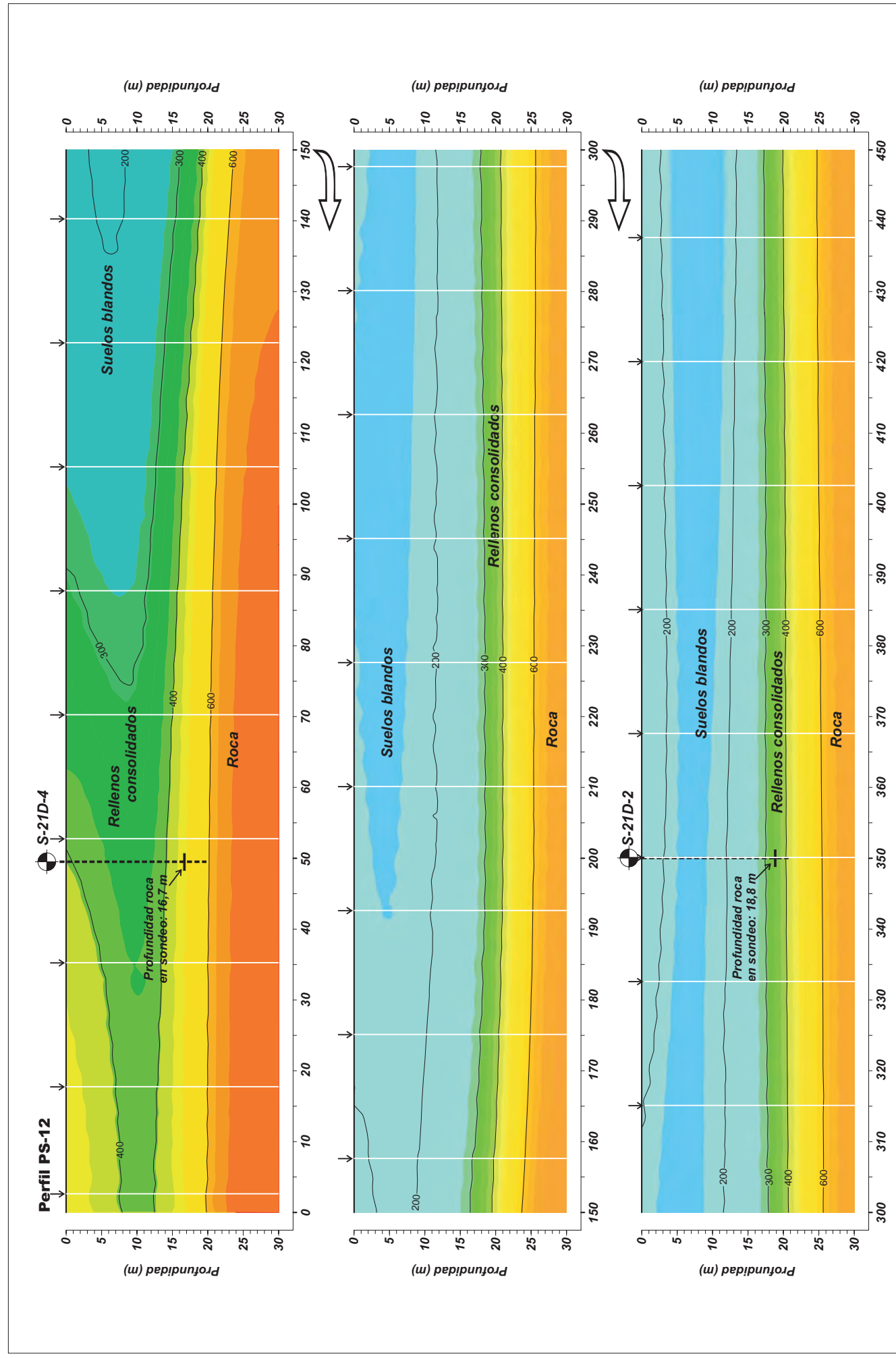
Fdo.: José Enrique Borges Viraita  
Ingeniero Geofísico

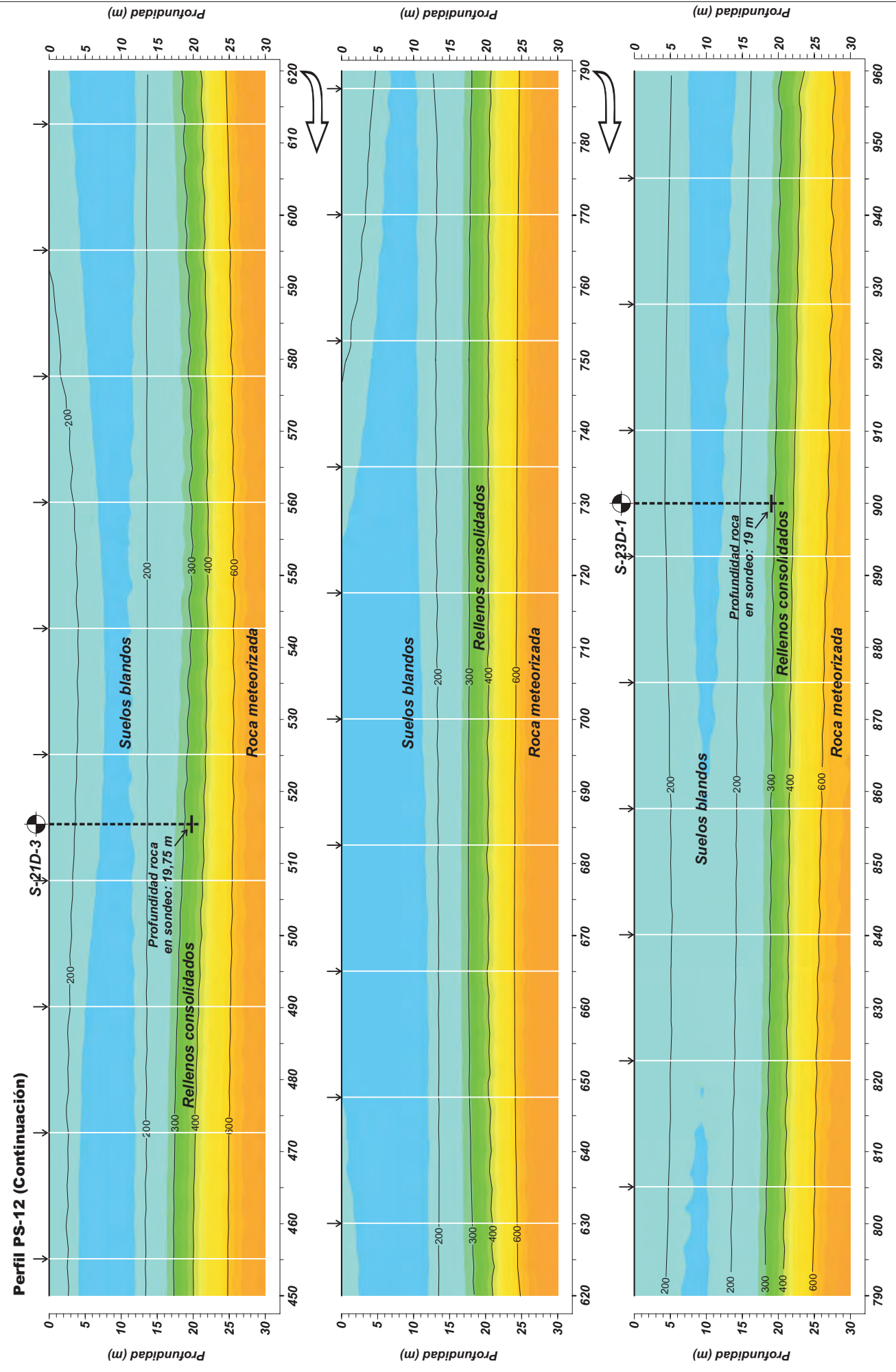


# PLANOS









ESTUDIO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LOS MUROS Y ESTRUCTURAS DE LA RIBERA DE LA RIA DE BILBAO ENTRE LA PEÑA Y ELORRIETA



Realización  
Fecha  
Marzo 2010

Escala  
1/500  
Original en DIN A3

Reconocimiento geofísico mediante sísmica pasiva  
Sección sísmica PS-12 (450 a 960 metros)

## ESTUDIO DE LA MARGEN IZQUIERDA DEL CANAL DE DEUSTO , SONDEOS Y CPTU (EUSKONTROL, 2008)









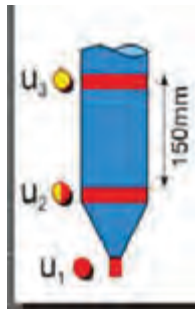


## 2.- FUNDAMENTOS DEL ENSAYO

El ensayo de penetración estática CPTU consiste en la introducción de un cono unido a un tren de varillaje mediante el empuje de una central hidráulica a una velocidad constante de 2 cm/seg. El cono está provisto de distintos sensores, los cuales nos dan medida cada 1-2 cm de la resistencia en punta  $Q_c$ , resistencia en fuste  $F_s$ , sobrepresión de poros  $U$ , inclinación y velocidad.

La introducción de la medida de la presión de poros ( $U$ ) ha aumentado considerablemente la potencialidad de la punta eléctrica (CPTE). La medida de la presión dinámica del agua en los poros durante la penetración presenta aspectos que tienen que ser atentamente estudiados para la proyección y construcción de un piezocono; estos aspectos son:

- la elección de la posición del filtro, en nuestro caso es  $U_2$



- la posición del sensor-transmisor respecto al filtro
- las características del filtro
- la saturación de la punta

El filtro debe ser rígido de manera que la presión dinámica de poros medida no esté influenciada por los efectos de la compresión del filtro debida a la presión contra el terreno.

Para obtener un tiempo de respuesta muy breve, es decir una respuesta de alta frecuencia, la cavidad rellena de fluido debe ser pequeña, el fluido debe tener una baja

viscosidad y compresibilidad, el filtro poroso debe tener permeabilidad alta y una elevada relación entre área y espesor anular (Smith, 1982).

De todos modos, para mantener la saturación, el filtro debería tener un "high air entry value", es decir una elevada resistencia al paso del aire, lo cual requiere una granulometría fina del filtro y/o el uso de un fluido viscoso.

Claramente, siendo en parte contrapuestos, no todos estos requisitos pueden ser satisfechos.

Los investigadores de la UBC (P. Robertson y G. Campanella, 1986), obtuvieron buenos resultados usando glicerina como fluido saturado y un filtro de plástico poroso (polipropileno hidrófilo) con granulometría nominal, antes de la fusión, de 120 microm. La permeabilidad del filtro era de  $1 \times 10^{-2}$  cm/seg.

Smith (1982) sugirió adoptar una granulometría del filtro tal que el diámetro de los poros fuera de unos 2 microm.

La compresibilidad del filtro juega un papel todavía más importante si este está localizado sobre la punta del cono o en el tramo cónico de la punta. Durante la penetración en terrenos compactos con elevada resistencia a la punta  $q_c$ , el elemento poroso sujeto a compresión puede generar elevadas presiones de poros positivas. Bajo este perfil las experiencias desarrolladas en la UCB, han mostrado un comportamiento mecánico de los filtros en polipropileno no significativamente diferente del de filtros cerámicos.

El filtro puede estar constituido de plástico poroso o material cerámico o acero inoxidable: su función es consentir movimientos rápidos de los extremadamente pequeños volúmenes de agua necesarios para activar el sensor-transmisor de presión, además de impedir la obturación por parte de las partículas finas de terreno.

El piezocono utiliza un sensor-transmisor a baja variación de volumen montado en el interior de la punta cónica; además es muy pequeño el volumen entre el sensor-transmisor la superficie externa del filtro poroso, lo cual es importante para minimizar el tiempo de respuesta del sistema y para la desaireación.

Desde el punto de vista de la geotecnia presenta tres aplicaciones principales:

- Determinar el perfil estratigráfico del terreno
- Evaluar parámetros geotécnicos de las capas atravesadas
- Cálculo de la capacidad portante del terreno y asentamientos frente a solicitaciones externas.

El ensayo se realiza en general en suelo de granulometría más fina que arenas con gravas; la presencia de bolos, gravas, niveles cementados lleva al rechazo de la prueba e incluso puede ocasionar daños en los equipos. Por tanto el campo de aplicabilidad óptima son suelos blandos (tanto granulares como cohesivos).

### 3.- ADQUISICIÓN DE DATOS (CPTE – CPTU)

La punta eléctrica produce señales continuas que se prestan a ser elaborados y visualizados en diversos modos.

El sistema base puesto a punto en Holanda (De Ruiter, 1982), está constituido por una centralita de recepción de la señal colocada en superficie, la cual:

- provee la tensión a los puntos eléctricos de los extensímetros
- amplía la señal de retorno de milivolt a valores apropiados
- reduce las señales amplificadas en unidades ingenieriles

Las señales se transmiten normalmente a través de un cable, introducido en las varillas de empuje en lugar de las varillas internas (usadas para el ensayo CPT). Existe también la posibilidad de convertir, en la punta, la señal de eléctrica a sónica y transmitirla por tanto a la centralita en superficie a través de las varillas de empuje, evitando el empleo del cable eléctrico de transmisión.

La centralita recibe también los impulsos de un generador de impulsos (*encoder*), conectado mecánicamente al dispositivo de empuje y que provee el parámetro profundidad.

Un registrador en superficie (ordenador portátil), provee en función de la profundidad, los gráficos continuos de la resistencia de punta, de rozamiento lateral local y de la presión de poros si se usa el piezocono.

Las medidas se obtienen cada 1-2 cm.

### 4.- APLICACIONES DEL ENSAYO

El ensayo CPTU, es un instrumento inigualable para:

- obtener la estratigrafía a lo largo la vertical
- individualizar los tipos de terreno atravesados
- el ángulo de rozamiento y la compresibilidad drenada de los terrenos granulares
- la resistencia al corte sin drenaje de los terrenos cohesivos
- informaciones a cerca de la presión hidrostática del nivel freático en el terreno a diferentes cotas
- evaluación sobre las características de consolidación de los materiales cohesivos blandos.



La profundidad de penetración en el terreno está en función de las posibilidades de empuje del penetrómetro empleado y de la naturaleza del terreno. Gravas o pequeños cantos constituyen normalmente un obstáculo para la penetración.

La valoración de los parámetros geotécnicos también está fundada en correlaciones empíricas. Es frecuente el uso directo de los resultados en la valoración de la capacidad portante de los pilotes. Los resultados también se utilizan directamente para estudiar, partiendo de bases empíricas, la capacidad portante y los asentos de las cimentaciones superficiales.

## 5.- CORRELACIONES

Seleccionando el tipo de interpretación litológica aconsejada, se obtiene automáticamente la estratigrafía con el intervalo del equipo e interpolación automática de los estratos.

A continuación se muestran las interpretaciones litológicas más aconsejadas para este ensayo.

- CPTU: Robertson 1990-A, Robertson 1990-B
- CPTe: Douglas-Olsen 1981, Robertson 1983, Robertson 1986
- CPT: Robertson 1986, Schmertmann 1978

En anejos se detalla una correlación de los parámetros geotécnicos en función del autor utilizado.

## 6.- DISIPACIONES

Si se detiene la penetración del piezocono en el terreno, la presión de poros en exceso debida a la penetración inicia a disiparse para restituir el equilibrio.

La velocidad de disipación depende del coeficiente de consolidación que, a su vez, está en función de la compresibilidad y de la permeabilidad del terreno.

Un ensayo de disipación puede ser fácilmente efectuado a cualquier profundidad, midiendo la velocidad con la cual tiene lugar la disipación de la presión de poros en exceso, hasta un cierto porcentaje del valor de equilibrio; este último coincide en general con el valor de la presión hidrostática existente a la profundidad del sensor-transmisor.

A la profundidad de ejecución del ensayo de disipación, el empuje se detiene, y en ciertas ocasiones es oportuno contemporáneamente liberar la batería de las varillas de la cabeza o de la mordaza de empuje de modo que el acortamiento elástico de las varillas, que se verifica durante la penetración, pueda descargarse hacia el alto dejando parado el cono.

Generalmente el ensayo se detiene después de haber alcanzado un porcentaje preestablecido (50 – 80 %) de disipación del exceso de la presión de poros.

No es frecuente que se adopte un período de tiempo para todas las disipaciones en cualquier terreno.

Se han realizado disipaciones, repartidas a lo largo de los diversos ensayos y teniendo en cuenta las condiciones óptimas de  $U_0$  para así obtener un valor de  $C_h$  lo más real posible.



La siguiente tabla resume los ensayos de disipación realizados:

CPTU	Prof (m)	Duración (seg)	Ch (cm <sup>2</sup> /sec)
CPTU-3	3,22	1020	0,023797
CPTU-3	5,12	900	0,029089
CPTU-3	7,67	1020	0,021391
CPTU-3	10,56	600	0,037016
CPTU-4	13,77	960	0,024560
CPTU-4	15,44	1380	0,015933
CPTU-4	17,78	900	0,025393
CPTU-5	9,15	720	0,037920
CPTU-5	14,06	780	0,027311

Granada, 27 noviembre de 2008



Responsable  
Jose Javier Pérez Saldaña



Jefe de área  
Diego Roldán López

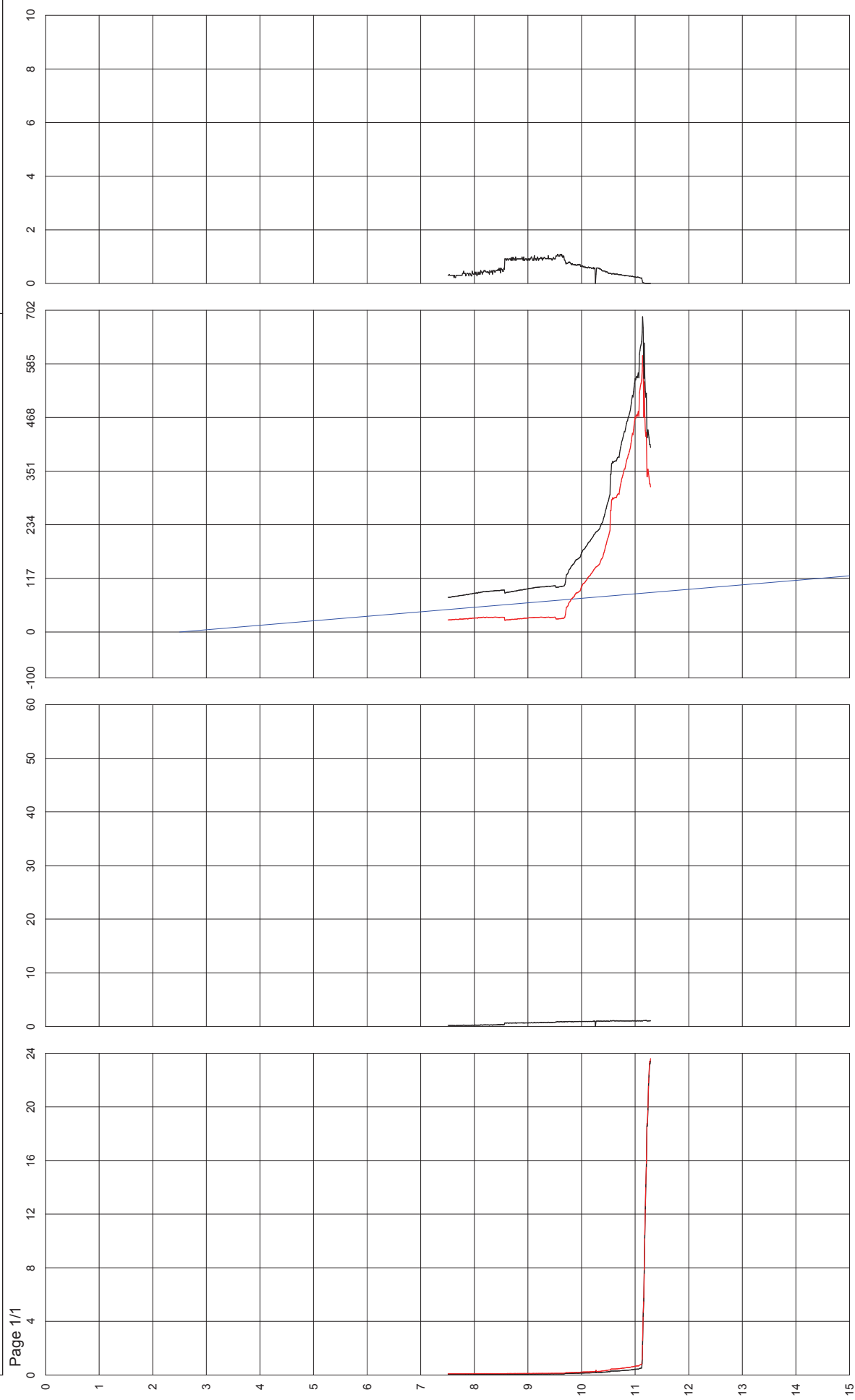
## ANEJOS

- CPTU-1
  1. DATOS OBTENIDOS EN PROFUNDIDAD
  2. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS
  3. GRÁFICA LITOLÓGÍAS
- CPTU-2
  4. DATOS OBTENIDOS EN PROFUNDIDAD
  5. ESTIMACIÓN DE PARAMETROS GEOTÉCNICOS
  6. GRÁFICA LITOLÓGÍAS
- CPTU-3
  7. DATOS OBTENIDOS EN PROFUNDIDAD
  8. ESTIMACIÓN DE PARAMETROS GEOTÉCNICOS
  9. GRÁFICA LITOLÓGÍAS
  10. ANÁLISIS DE DISIPACIONES
- CPTU-4
  11. DATOS OBTENIDOS EN PROFUNDIDAD
  12. ESTIMACIÓN DE PARAMETROS GEOTÉCNICOS
  13. GRÁFICA LITOLÓGÍAS
  14. ANÁLISIS DE DISIPACIONES
- CPTU-5
  15. DATOS OBTENIDOS EN PROFUNDIDAD
  16. ESTIMACIÓN DE PARAMETROS GEOTÉCNICOS
  17. GRÁFICA LITOLÓGÍAS
  18. ANÁLISIS DE DISIPACIONES



ANEJO 1.  
 CPTU-1  
 DATOS OBTENIDOS EN PROFUNDIDAD

<b>Genthal Services S.L.</b>		<b>Commissioner: EUSKONTROL</b>	
Site: MARGEN IZ DEUSTO Locality: BILBAO	Test Location: CPTU-1 Date: 18/11/2008	Abs. quota [cm]: 0 Prehole [cm]: 750 Hydrostatic Line [cm]: 250	





ANEJO 2.  
CPTU-1  
ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

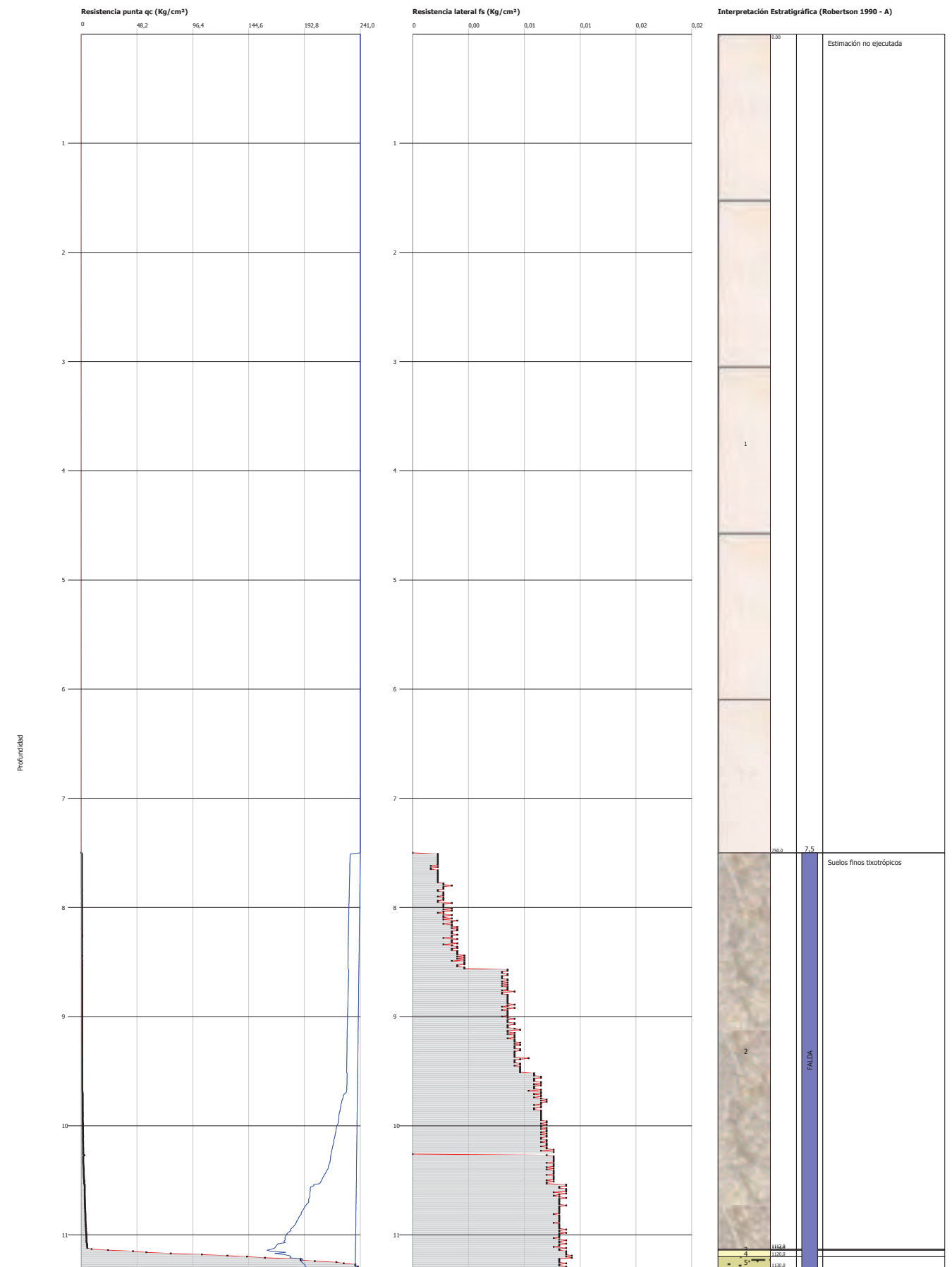
**ESTIMACIÓN PARÁMETROS GEOTÉCNICOS**

Nr: Número progresivo estrato  
 Prof: Profundidad estrato (m)  
 Tipo: C: Cohesivo. I: Granular. CI: Cohesivo-Granular  
 Cu: Cohesión no drenada (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 Eu: Módulo de deformación no drenado (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 Mo: Módulo edométrico (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 G: Módulo de deformación al corte (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 OCR: Grado de sobre consolidación  
 Puv: Peso específico (t/m<sup>3</sup>)  
 PuvS: Peso específico saturado (t/m<sup>3</sup>)  
 Dr: Densidad relativa (%)  
 Fi: Ángulo de rozamiento interno (°)  
 Ey: Módulo de Young (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 K: Permeabilidad (cm/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	K
1	7,50												0,00E+00
2	11,13	CI	0,07	58,43	9,08	35,07	<0.5	1,54	1,62	<5	17,65	2,89	1,00E-03
3	11,14	I	--	--	-1,93	190,98	<0.5	1,9	2,2	<5	27,4	46,31	1,00E-03
4	11,20	I	--	--	0,18	443,62	<0.5	1,9	2,2	<5	45,0	183,98	1,00E-03
5	11,30	I	--	--	3,96	742,87	<0.5	1,9	2,2	<5	45,0	427,79	1,00E-03



ANEJO 3.  
CPTU-1  
GRAFICA LITOLOGIAS

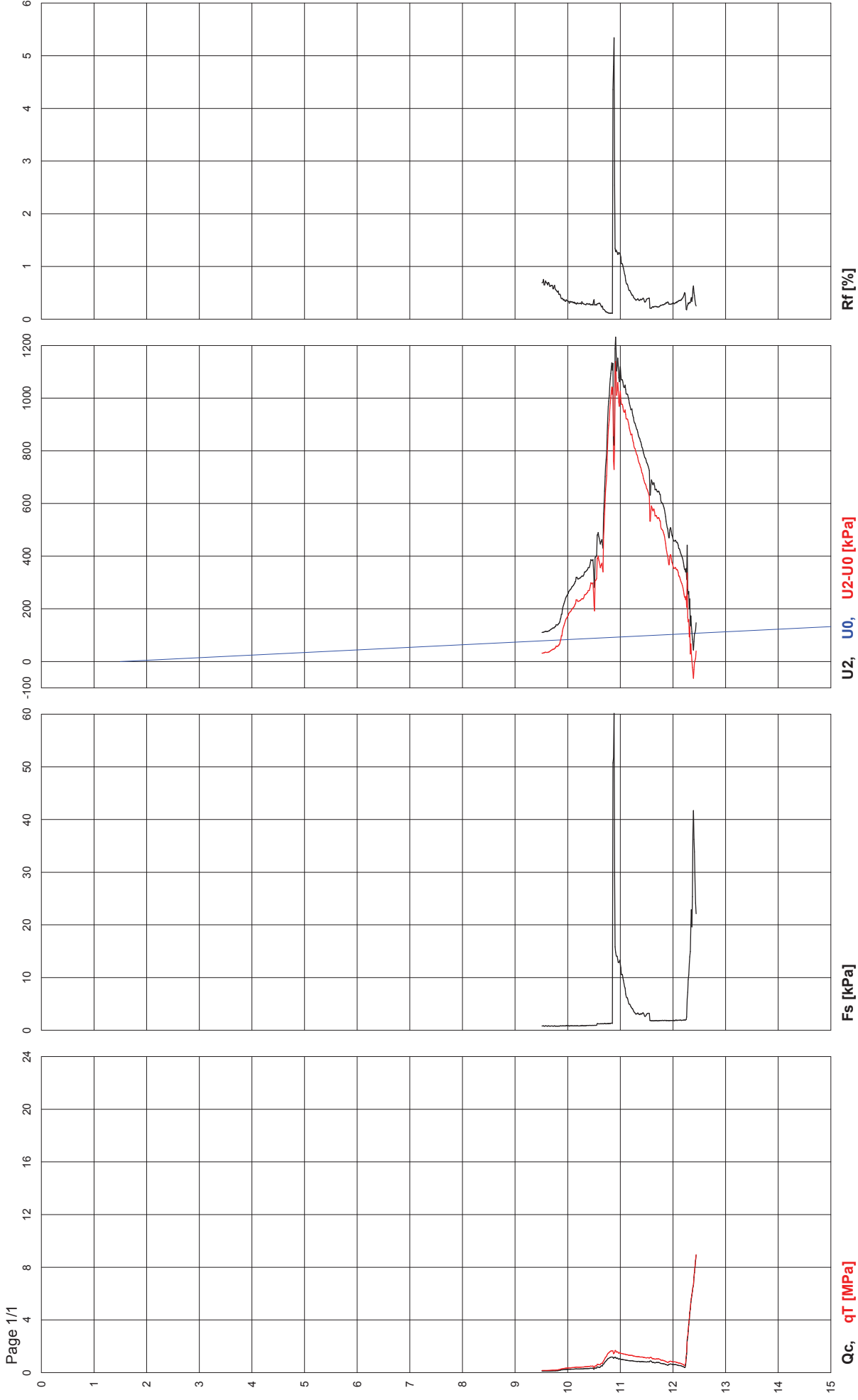




**NATURALEZA LITOLÓGICA (Robertson 1990 - A)**

Profundidad (m)	Litología: Robertson 1990 - A
0,01-7,50	Estimación no ejecutada
7,51-11,13	Suelos finos tixotrópicos
11,14-11,14	Arenas limosas - Limos Arenosos
11,15-11,20	Arenas - Arenas limosas
11,21-11,30	Arenas

**ANEJO 4  
CPTU-2  
DATOS OBTENIDOS EN PROFUNDIDAD**



TGSW03 for Pagani Geotechnical Equipment acquisition systems

# ANEJO 5. CPTU-2 ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS



### ESTIMACIÓN PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

Nr: Número progresivo estrato  
 Prof: Profundidad estrato (m)  
 Tipo: C: Cohesivo. I: Granular. CI: Cohesivo-Granular  
 Cu: Cohesión no drenada (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 Eu: Módulo de deformación no drenado (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 Mo: Módulo edométrico (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 G: Módulo de deformación al corte (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 OCR: Grado de sobre consolidación  
 Puv: Peso específico (t/m<sup>3</sup>)  
 PuvS: Peso específico saturado (t/m<sup>3</sup>)  
 Dr: Densidad relativa (%)  
 Fi: Ángulo de rozamiento interno (°)  
 Ey: Módulo de Young (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 K: Permeabilidad (cm/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	K
1	9,50												0,00E+00
2	10,10	CI	0,09	67,11	11,03	39,78	<0.5	1,57	1,65	<5	17,8	3,55	1,00E-03
3	10,11	C	0,13	100,0	15,88	50,68	0,5	1,63	1,71	--	--	--	1,00E-03
4	10,20	I	--	--	-0,19	52,59	<0.5	1,9	2,2	<5	18,26	5,61	1,00E-03
5	10,23	I	--	--	-0,16	52,65	<0.5	1,9	2,2	<5	18,26	5,62	1,00E-03
6	10,85	CI	0,27	206,14	29,52	79,32	<0.5	1,76	1,84	<5	19,47	10,99	1,00E-03
7	10,89	C	0,58	431,6	46,23	124,72	9,0	1,88	1,96	--	--	--	5,12E-08
8	11,23	C	0,5	376,44	43,7	114,85	9,0	1,86	1,94	--	--	--	1,00E-03
9	12,25	CI	0,36	268,29	36,04	93,87	1,91	1,8	1,88	25,78	20,25	14,49	1,00E-03
10	12,29	I	--	--	61,11	197,5	4,45	1,9	2,2	55,1	27,98	48,93	1,00E-03
11	12,45	I	--	--	82,59	359,85	>9	1,9	2,2	81,81	45,0	130,62	1,00E-03

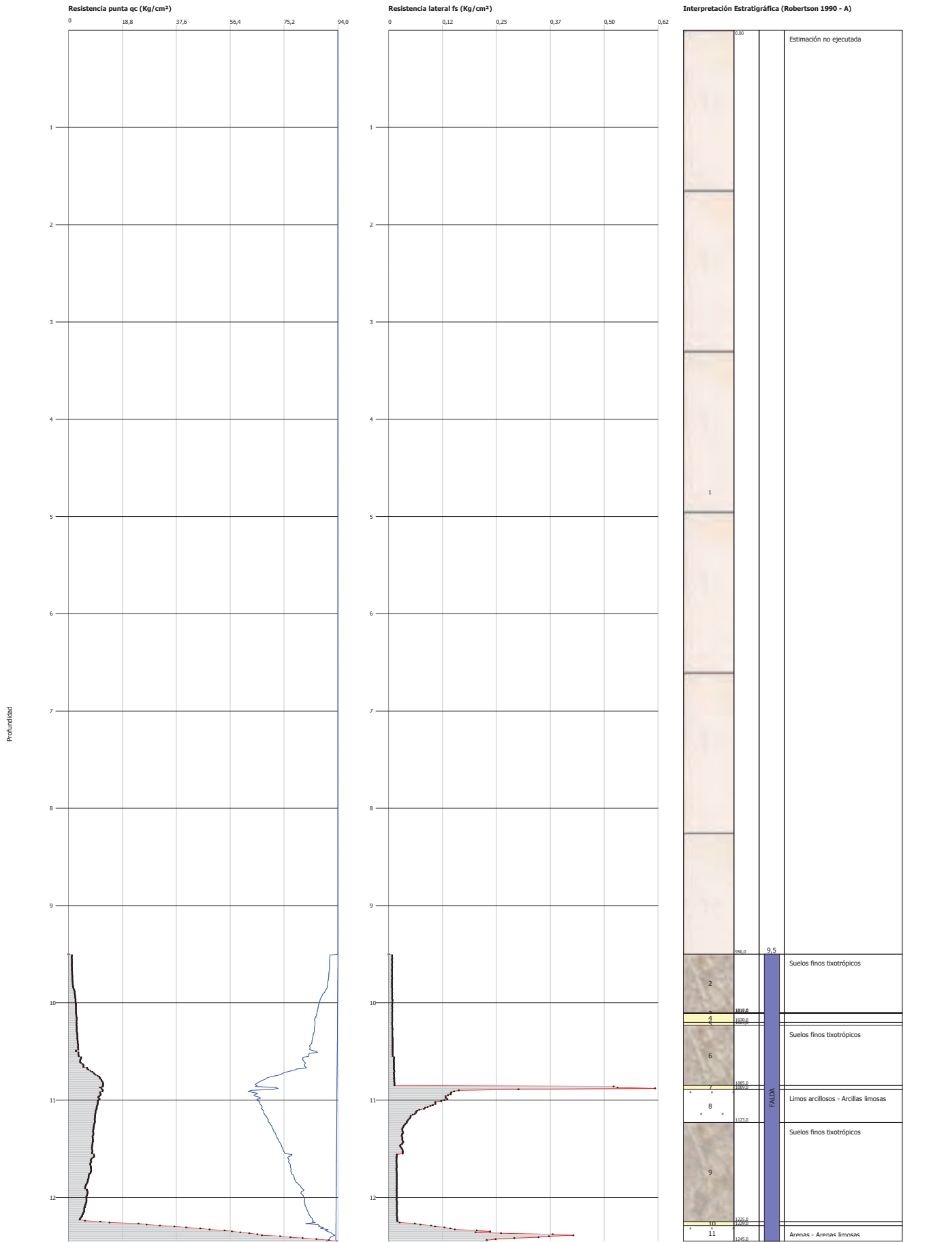
## ANEJO 6. CPTU-2 GRÁFICA LITOLÓGÍAS

Probe CPTU - Piezocone CPTU-2  
Equipo utilizado... PAGANI 200 kN (CPTU)  
Diagrama Resistencias qc fs

Ciente : EUSKONTROL  
Obra : Margen Izdo Deusto  
Localidad : Bilbao

Fecha :19/11/2008

Escala 1:52



**NATURALEZA LITOLÓGICA (Robertson 1990 - A)**

Profundidad (m)  
0,01-9,50  
9,51-10,10  
10,11-10,11  
10,12-10,20  
10,21-10,23  
10,24-10,85  
10,86-10,89  
10,90-11,23  
11,24-12,25  
12,26-12,29  
12,30-12,45

Litología: Robertson 1990 - A  
Estimación no ejecutada  
Suelos finos tixotrópicos  
Limos arcillosos - Arcillas limosas  
Arenas limosas - Limos Arenosos  
Arenas - Arenas limosas  
Suelos finos tixotrópicos  
Arcillas - Arcillas limosas  
Limos arcillosos - Arcillas limosas  
Suelos finos tixotrópicos  
Arenas limosas - Limos Arenosos  
Arenas - Arenas limosas



ANEJO 7.  
 CPTU-3  
 DATOS OBTENIDOS EN PROFUNDIDAD

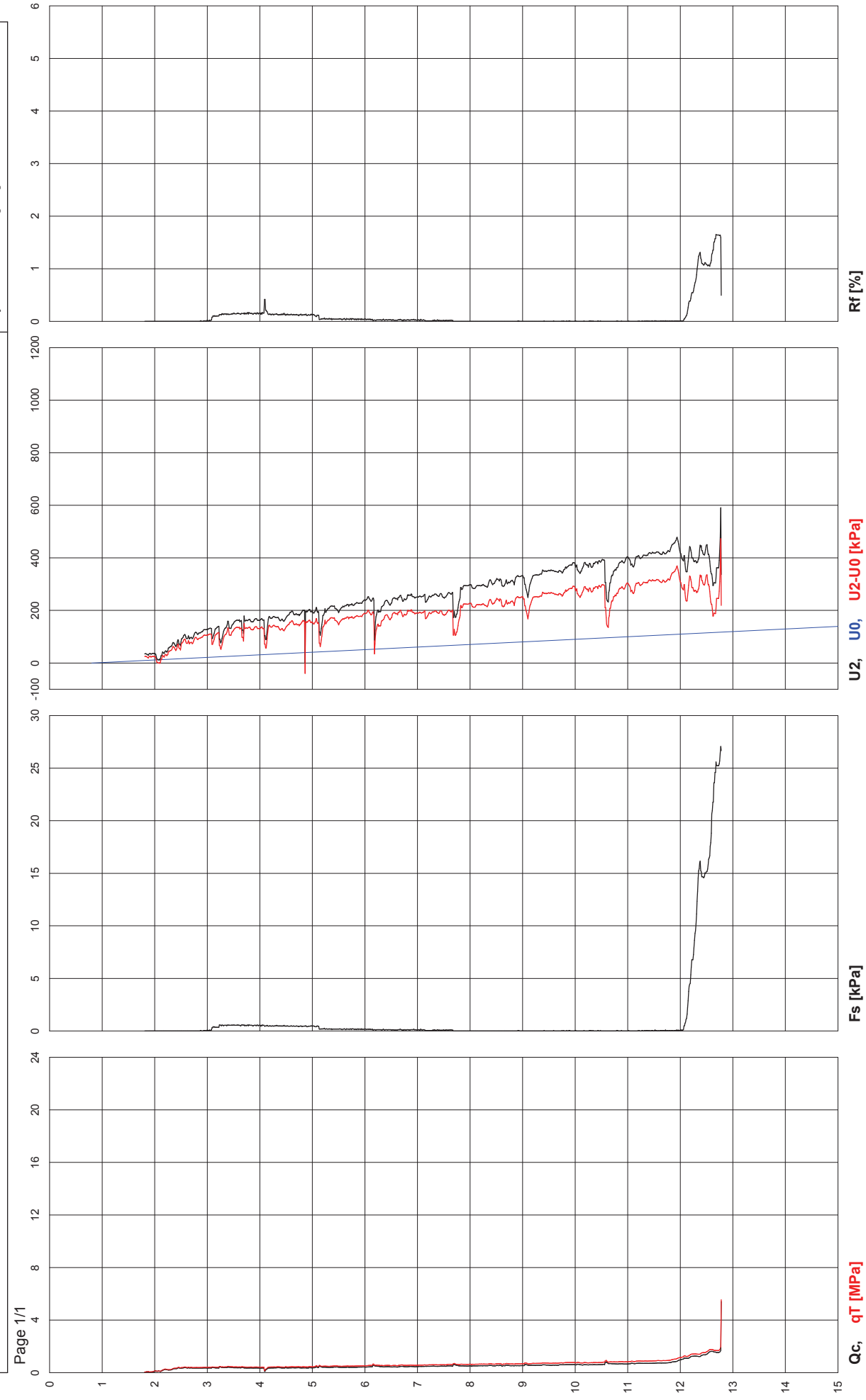
Genthal Services S.L.

Site: MARGEN IZ DEUSTO  
 Locality: BILBAO

Test Location: CPTU-3  
 Date: 19/11/2008

Commissioner: EUSKONTROL

Abs. quota [cm]: 0  
 Prehole [cm]: 180  
 Hydrostatic Line [cm]: 80



**ANEJO 8.**  
**CPTU-3**  
**ESTIMACIÓN PARÁMETROS GEOTÉCNICOS**

**ESTIMACIÓN PARÁMETROS GEOTÉCNICOS**

Nr: Número progresivo estrato  
 Prof: Profundidad estrato (m)  
 Tipo: C: Cohesivo. I: Granular. CI: Cohesivo-Granular  
 Cu: Cohesión no drenada (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 Eu: Módulo de deformación no drenado (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 Mo: Módulo edométrico (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 G: Módulo de deformación al corte (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 OCR: Grado de sobre consolidación  
 Puv: Peso específico (t/m<sup>3</sup>)  
 PuvS: Peso específico saturado (t/m<sup>3</sup>)  
 Dr: Densidad relativa (%)  
 Fi: Ángulo de rozamiento interno (°)  
 Ey: Módulo de Young (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 K: Permeabilidad (cm/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	K
1	1,80												0,00E+00
2	1,86	CI	0,02	16,84	2,92	17,16	<0.5	1,34	1,42	<5	17,2	0,9	0,00E+00
3	1,87	I	--	--	0,01	20,53	<0.5	0,0	0,0	<5	17,27	1,2	0,00E+00
4	1,90	I	--	--	0,01	19,08	<0.5	0,0	0,0	<5	17,24	1,07	0,00E+00
5	1,91	I	--	--	79,02	17,16	>9	0,0	0,0	36,0	17,2	0,9	0,00E+00
6	1,92	CI	0,02	16,82	2,92	17,16	>9	1,33	1,41	29,81	17,2	0,9	0,00E+00
7	1,93	I	--	--	69,2	15,94	>9	0,0	0,0	24,55	17,18	0,8	0,00E+00
8	12,13	CI	0,25	175,84	27,63	75,33	<0.5	1,73	1,81	5,0	19,27	10,1	1,00E-03
9	12,15	I	--	--	12,77	122,54	<0.5	1,9	2,2	8,23	22,03	22,4	1,00E-03
10	12,18	C	0,57	403,16	46,15	124,38	9,0	1,87	1,95	--	--	--	1,00E-03
11	12,19	I	--	--	12,84	127,95	<0.5	1,9	2,2	10,17	22,4	24,04	1,00E-03
12	12,77	C	0,72	512,69	48,42	143,03	9,0	1,91	1,99	--	--	--	1,00E-03
13	12,79	I	--	--	59,21	355,0	1,9	1,9	2,2	56,63	45,0	127,76	1,00E-03

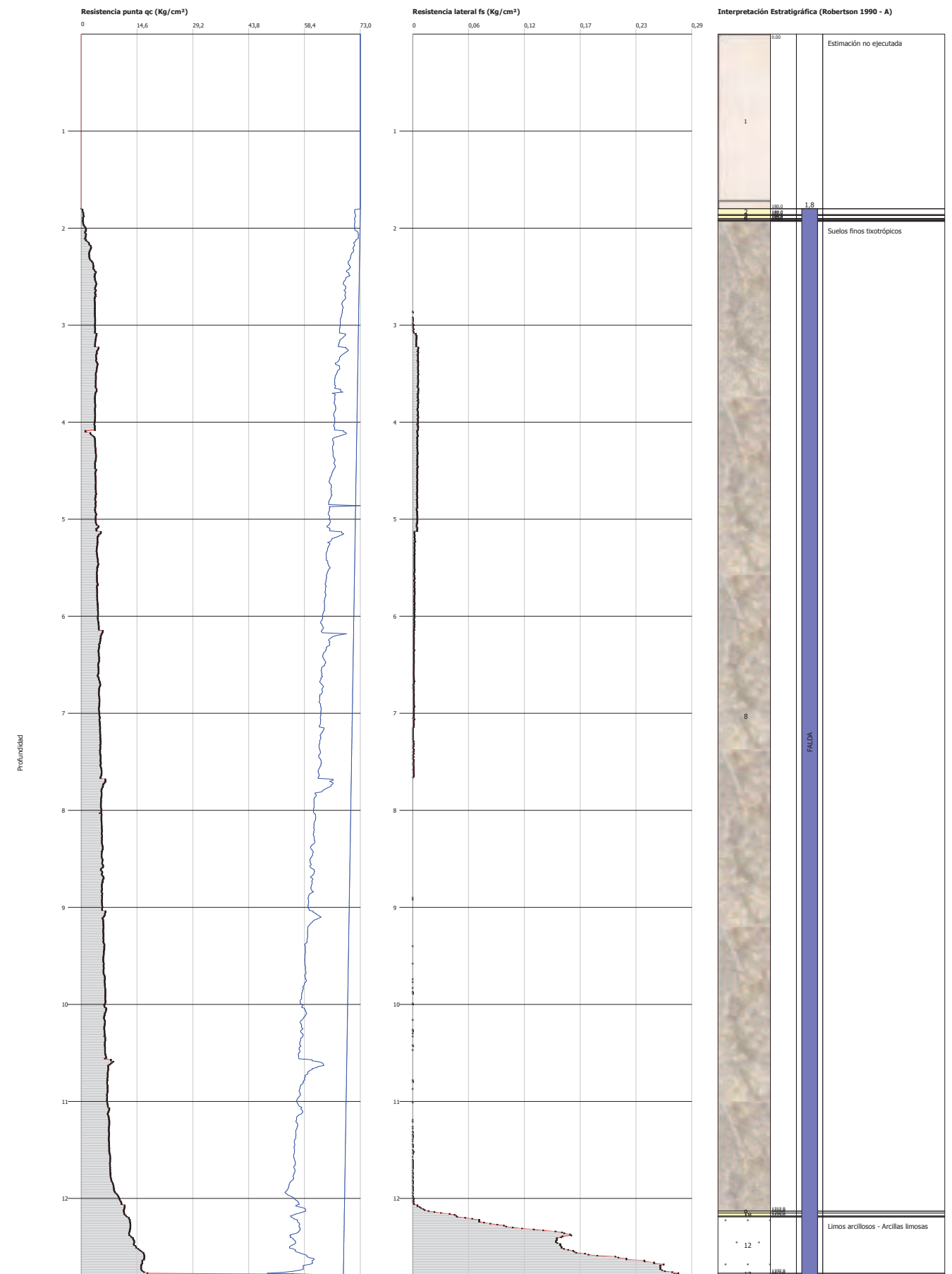


Probe CPTU - Piezocone CPTU-3  
Equipo utilizado... PAGANI 200 kN (CPTU)  
Diagrama Resistencias qc fs

Cliente : EUSKONTROL  
Obra : Margen Izdo Deusto  
Localidad : Bilbao

Fecha :19/11/2008

Escala 1:54



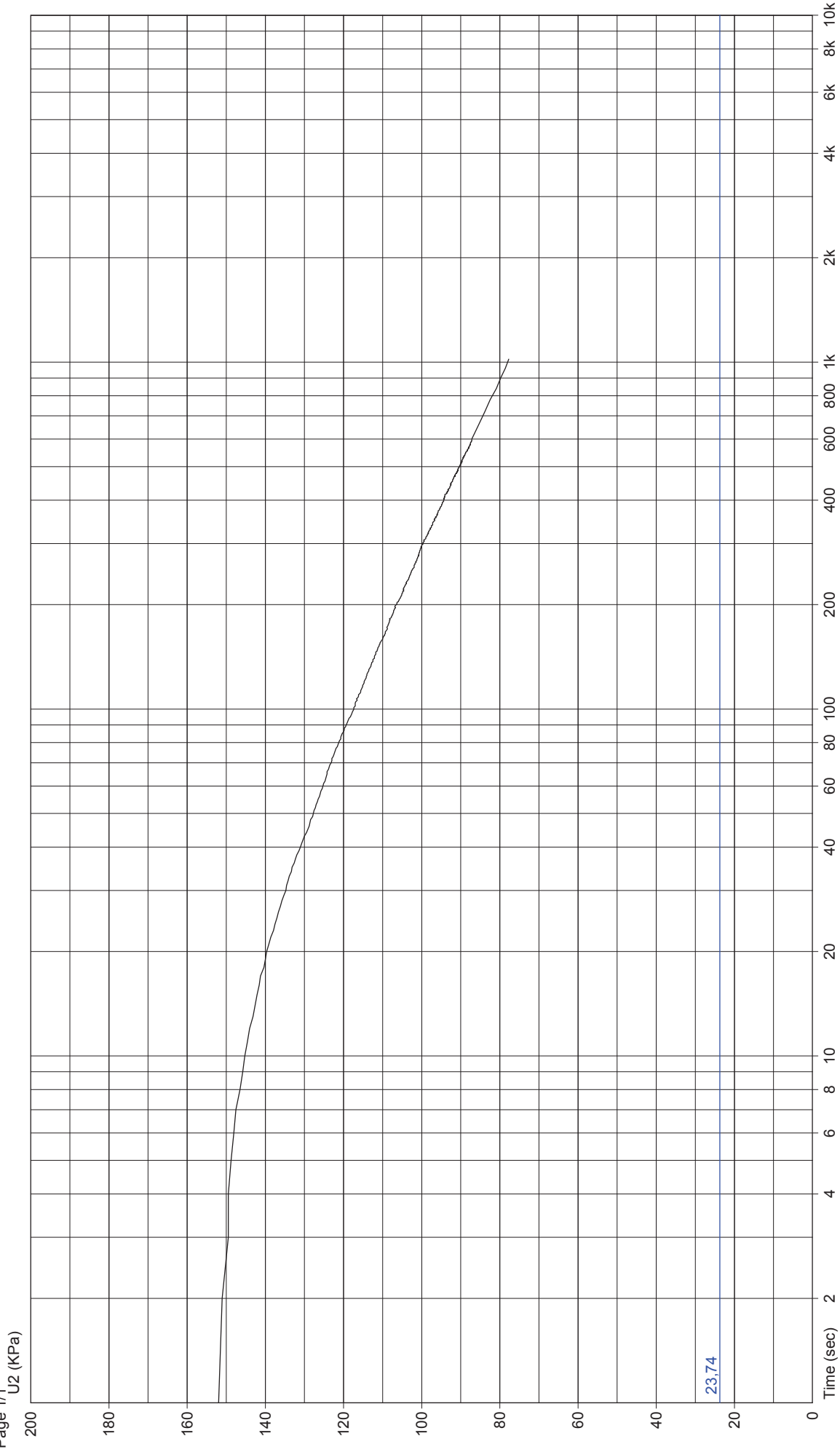
ANEJO 9.  
CPTU-3  
GRÁFICA LITOLÓGÍAS

**NATURALEZA LITOLÓGICA (Robertson 1990 - A)**

Profundidad (m)	Litología: Robertson 1990 - A
0,01-1,80	Estimación no ejecutada
1,81-1,86	Suelos finos tixotrópicos
1,87-1,87	Arenas limosas - Limos Arenosos
1,88-1,90	Arenas - Arenas limosas
1,91-1,91	Arenas
1,92-1,92	Suelos finos tixotrópicos
1,93-1,93	Arenas
1,94-12,13	Suelos finos tixotrópicos
12,14-12,15	Arenas limosas - Limos Arenosos
12,16-12,18	Limos arcillosos - Arcillas limosas
12,19-12,19	Arenas limosas - Limos Arenosos
12,20-12,77	Limos arcillosos - Arcillas limosas
12,78-12,79	Arenas - Arenas limosas

**ANEJO 10.  
CPTU-3  
ANÁLISIS DE DISIPACIONES**





TGSW03 for Pagani Geotechnical Equipment acquisition systems

**U = Presión de poros al inicio de la disipación**

**U<sub>0</sub> = Presion hidrostática**

**U<sub>t50</sub> = Presion de poros al 50% de la disipación**

**t<sub>50</sub> = tiempo en el que se alcanza el 50% de la disipación**

**T<sub>50</sub> = Factor de tiempo para t<sub>50</sub>**

**I<sub>r</sub> = Indice de rigidez**

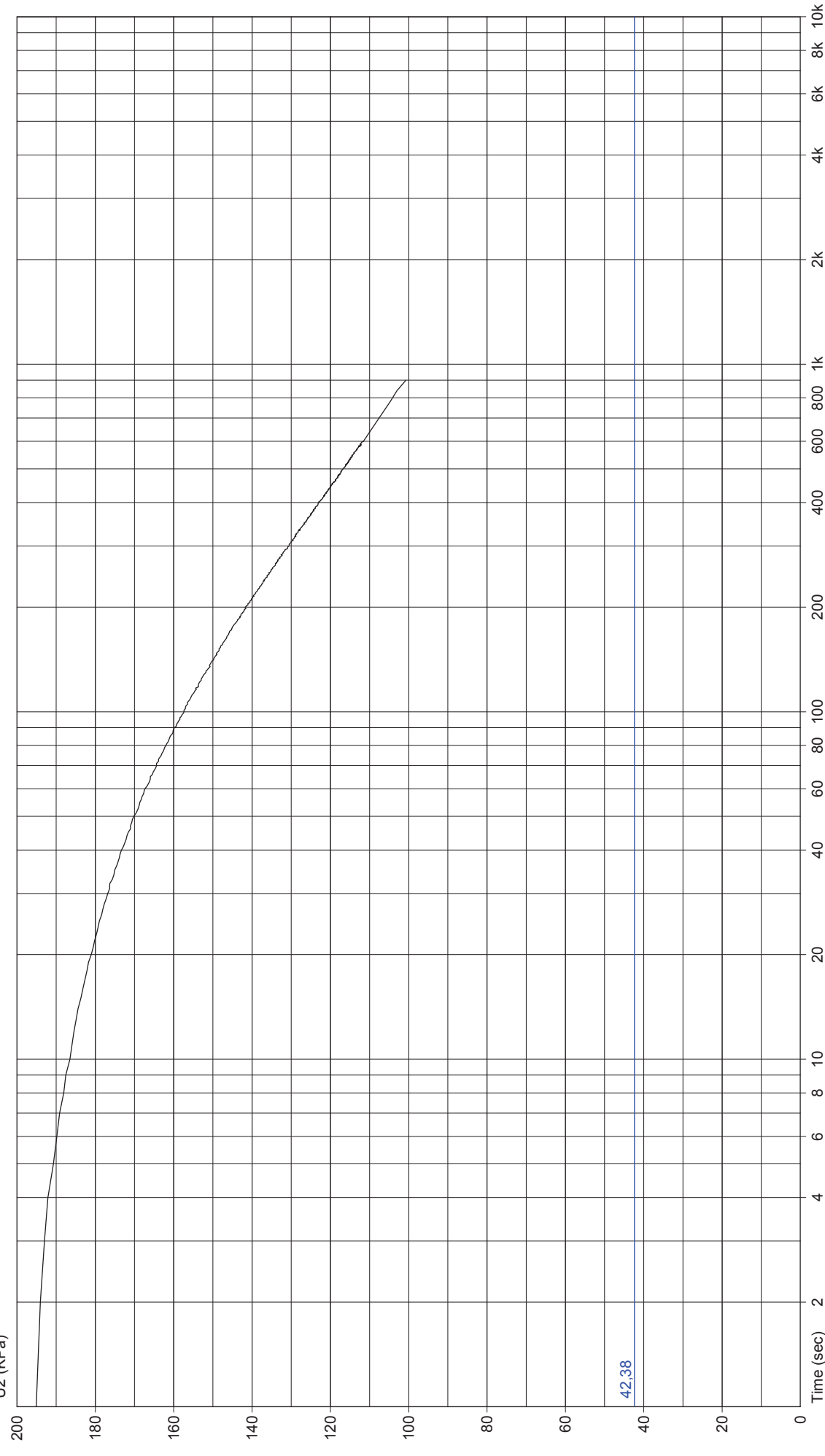
**CPTU-3**

**Disipación a cota -3,22 metros**

U(Kpa)=	151,93
U <sub>0</sub> (Kpa)=	23,74
U <sub>t50</sub> (Kpa) =	87,83
t <sub>50</sub> (seg) =	566,20
T <sub>50</sub> (Kpa) =	0,25
R (cm)	1,78
IR = G/Su	301,28
G (Kpa) =	7387,35
Su (Kpa) =	24,52

$$Ch = \frac{T_{50} R^2 \sqrt{I_R}}{t_{50}}$$

**Ch = 0,023797 cm<sup>2</sup>/sg**



**U = Presión de poros al inicio de la disipación**

**U<sub>0</sub> = Presion hidrostática**

**U<sub>t50</sub> = Presion de poros al 50% de la disipación**

**t<sub>50</sub> = tiempo en el que se alcanza el 50% de la disipación**

**T<sub>50</sub> = Factor de tiempo para t50**

**I<sub>r</sub> = Indice de rigidez**

**CPTU-3**

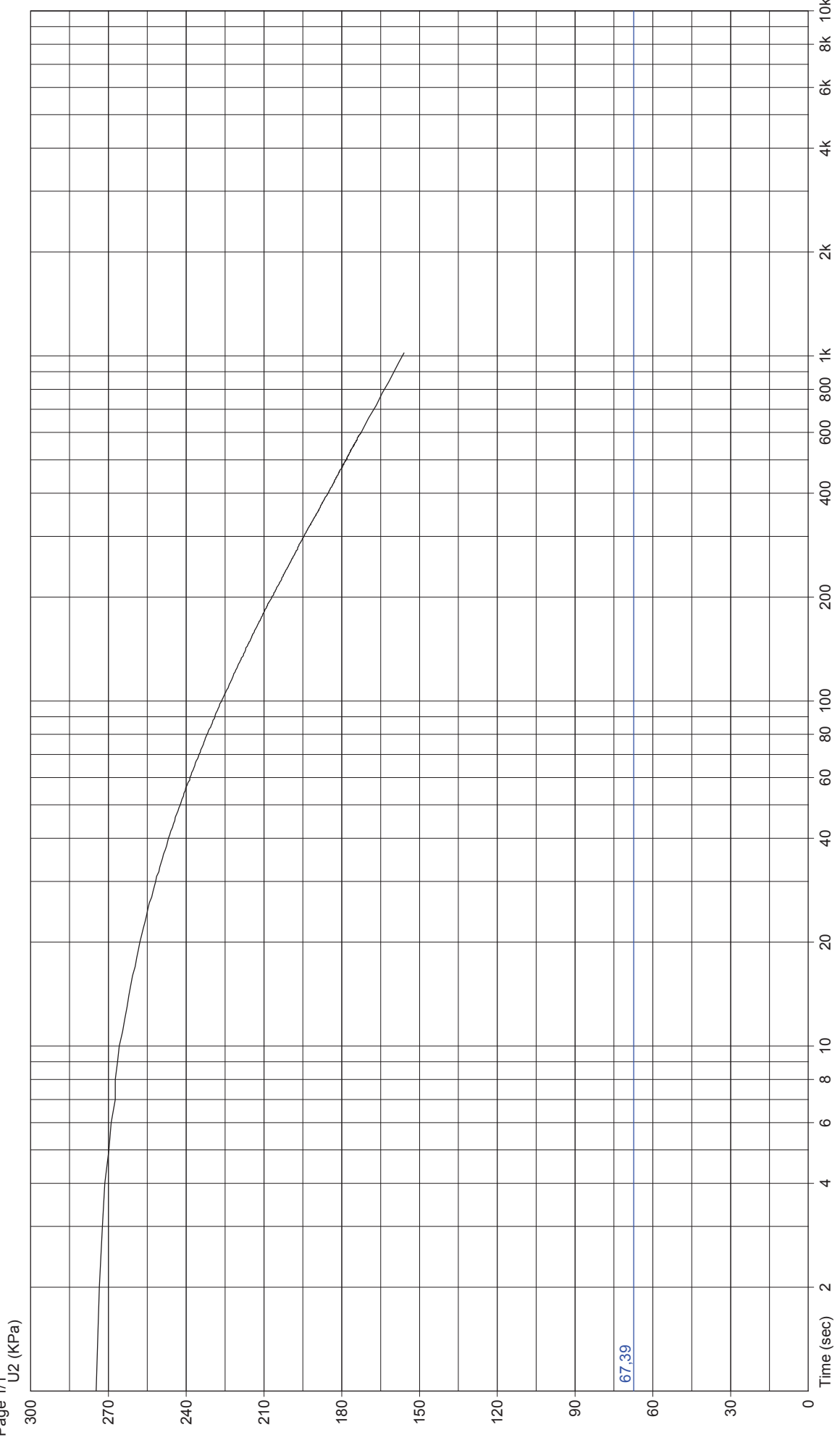
**Disipación a cota -5,12 metros**

U(Kpa)=	195,09
U <sub>0</sub> (Kpa)=	42,38
U <sub>t50</sub> (Kpa) =	118,73
t <sub>50</sub> (seg) =	463,20
T <sub>50</sub> (Kpa) =	0,25
R (cm)	1,78
IR = G/Su	301,28
G (Kpa) =	7387,35
Su (Kpa) =	24,52

$$Ch = \frac{T_{50} R^2 \sqrt{I_R}}{t_{50}}$$

**Ch = 0,029089 cm<sup>2</sup>/sg**





TGSW03 for Paganí Geotechnical Equipment acquisition systems

U = Presión de poros al inicio de la disipación

U<sub>0</sub> = Presión hidrostática

U<sub>t50</sub> = Presión de poros al 50% de la disipación

t<sub>50</sub> = tiempo en el que se alcanza el 50% de la disipación

T<sub>50</sub> = Factor de tiempo para t<sub>50</sub>

I<sub>r</sub> = Índice de rigidez

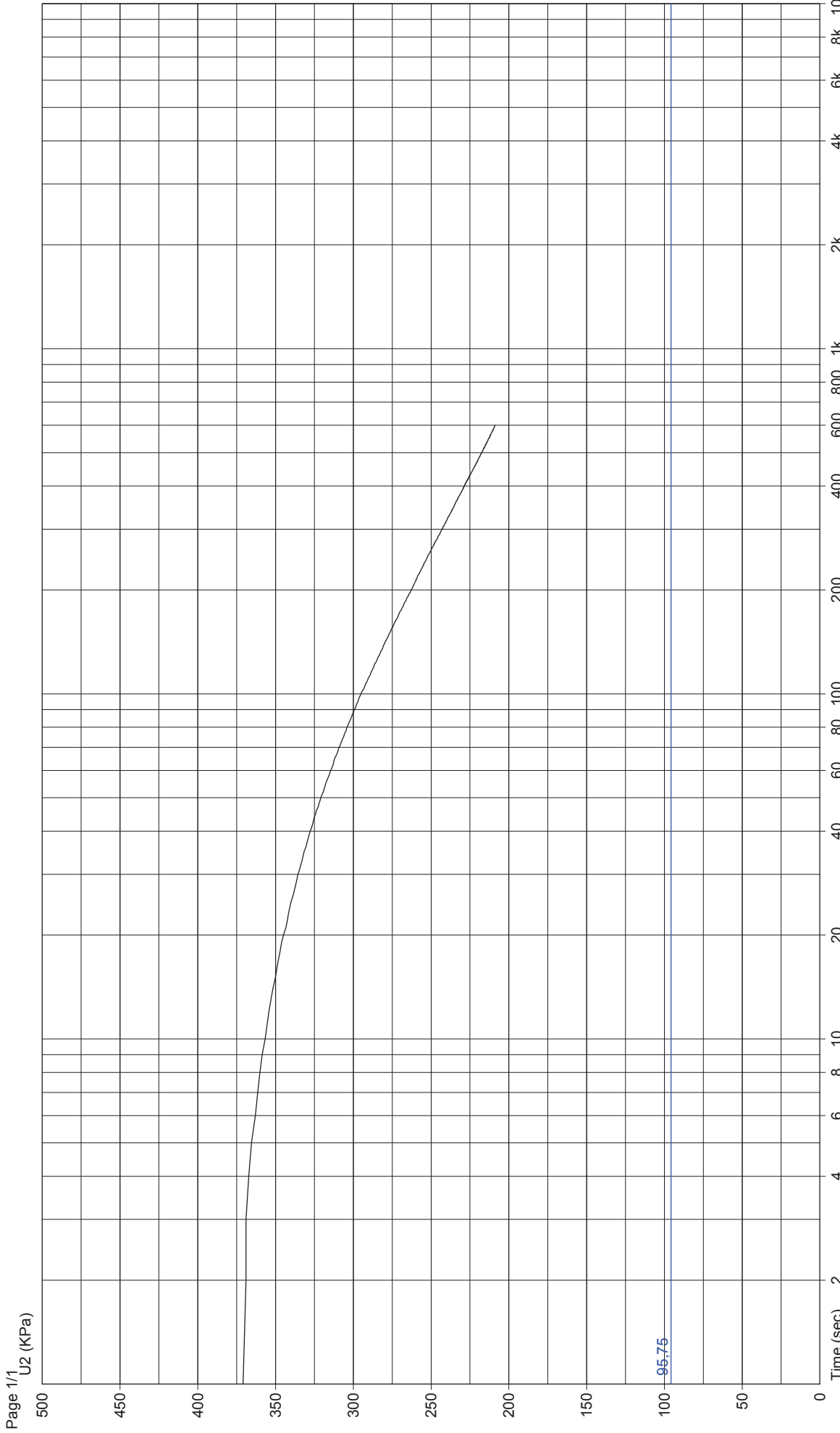
CPTU-3

Disipación a cota -7,67 metros

U(Kpa)=	274,74
U <sub>0</sub> (Kpa)=	67,39
U <sub>t50</sub> (Kpa) =	171,06
t <sub>50</sub> (seg) =	629,89
T <sub>50</sub> (Kpa) =	0,25
R (cm)	1,78
IR = G/Su	301,28
G (Kpa) =	7387,35
Su (Kpa) =	24,52

$$Ch = \frac{T_{50} R^2 \sqrt{I_R}}{t_{50}}$$

**Ch = 0,021391 cm<sup>2</sup>/sg**



TGSW03 for Pagani Geotechnical Equipment acquisition systems

**U = Presión de poros al inicio de la disipación**

**U<sub>0</sub> = Presion hidrostática**

**U<sub>t50</sub> = Presion de poros al 50% de la disipación**

**t<sub>50</sub> = tiempo en el que se alcanza el 50% de la disipación**

**T<sub>50</sub> = Factor de tiempo para t<sub>50</sub>**

**I<sub>r</sub> = Indice de rigidez**

**CPTU-3**

**Disipación a cota -10,56 metros**

U(Kpa)=	370,88
U <sub>0</sub> (Kpa)=	95,75
U <sub>t50</sub> (Kpa) =	233,31
t <sub>50</sub> (seg) =	364,00
T <sub>50</sub> (Kpa) =	0,25
R (cm)	1,78
IR = G/Su	301,28
G (Kpa) =	7387,35
Su (Kpa) =	24,52

$$Ch = \frac{T_{50} R^2 \sqrt{I_R}}{t_{50}}$$

**Ch = 0,037016 cm<sup>2</sup>/sg**

ANEJO 11.  
 CPTU-4  
 DATOS OBTENIDOS EN PROFUNDIDAD

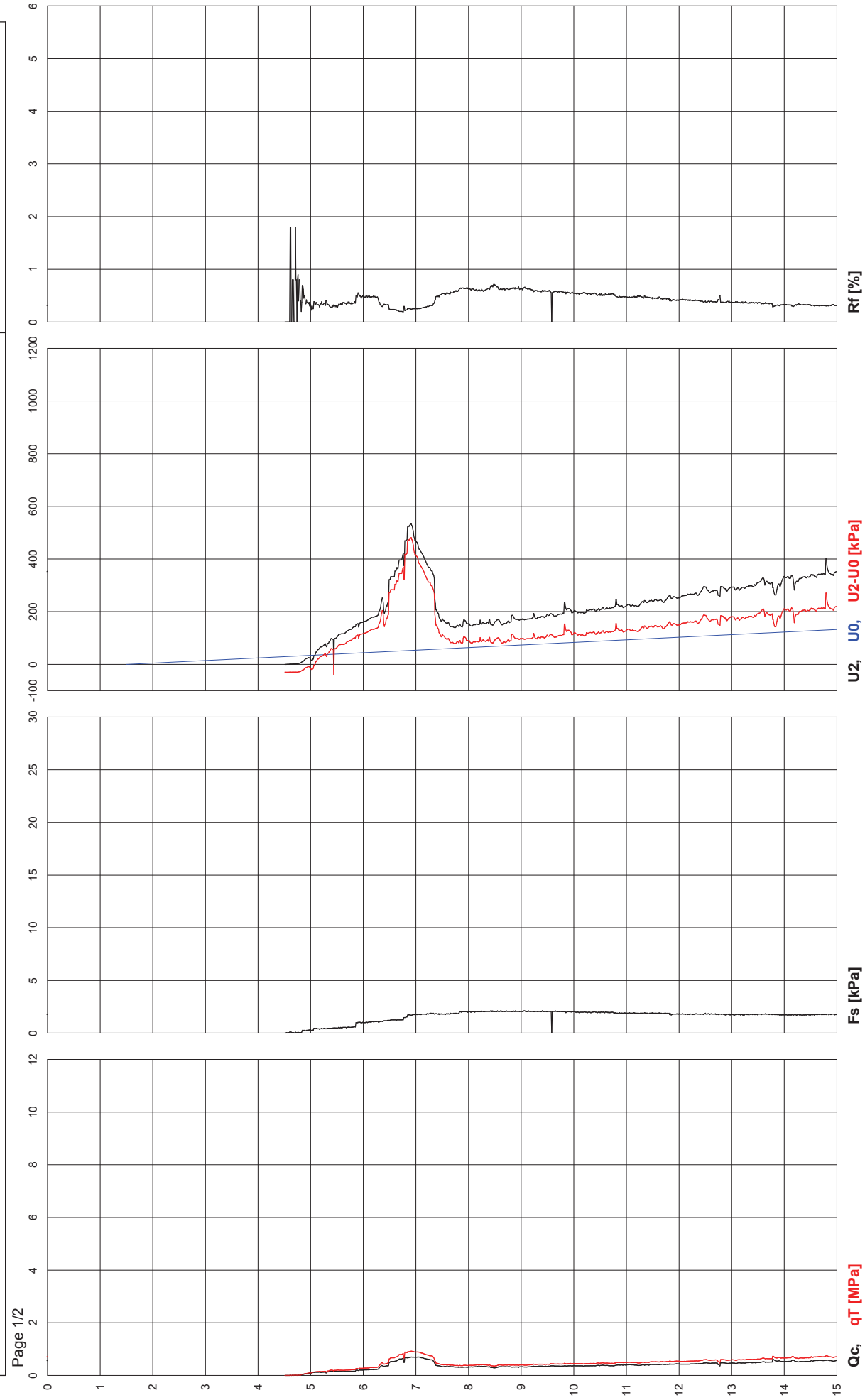
Genthal Services S.L.

Commissioner: EUSKONTROL

Site: MARGEN IZ DEUSTO  
 Locality: BILBAO

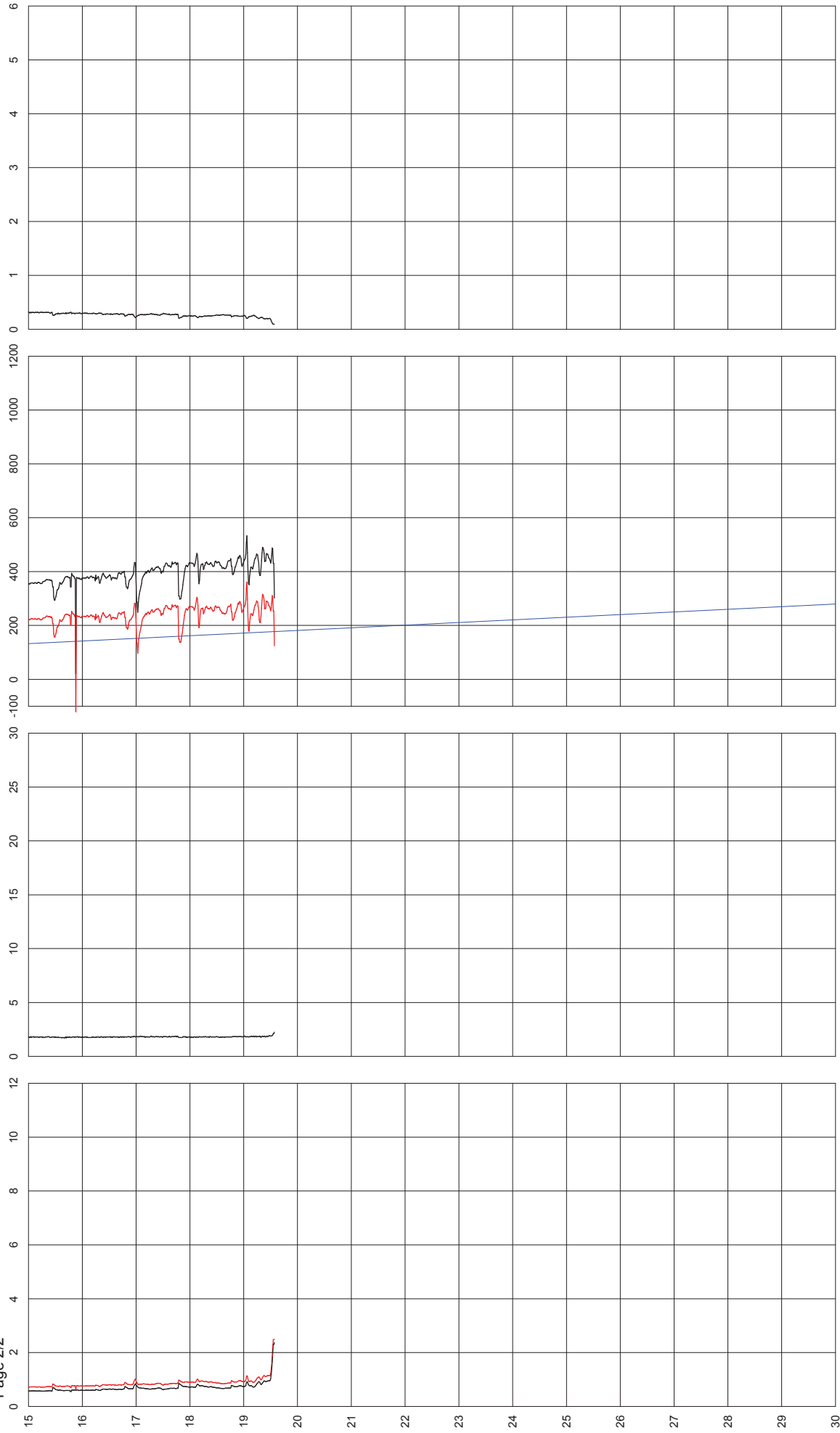
Test Location: CPTU-4  
 Date: 20/11/2008

Abs. quota [cm]: 0  
 Prehole [cm]: 450  
 Hydrostatic Line [cm]: 150



Page 1/2





Qc, qt [MPa]  
TGSW03 for Pageni Geotechnical Equipment acquisition systems

# ANEJO 12. CPTU-4 ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

### ESTIMACIÓN PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

Nr: Número progresivo estrato  
 Prof: Profundidad estrato (m)  
 Tipo: C: Cohesivo. I: Granular. CI: Cohesivo-Granular  
 Cu: Cohesión no drenada (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 Eu: Módulo de deformación no drenado (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 Mo: Módulo edométrico (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 G: Módulo de deformación al corte (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 OCR: Grado de sobre consolidación  
 Puv: Peso específico (t/m<sup>3</sup>)  
 PuvS: Peso específico saturado (t/m<sup>3</sup>)  
 Dr: Densidad relativa (%)  
 Fi: Ángulo de rozamiento interno (°)  
 Ey: Módulo de Young (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 K: Permeabilidad (cm/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	K
1	4,54												0,00E+00
2	4,55	C	0,0	0,06	0,01	0,41	0,5	0,38	0,46	--	--	--	1,00E-11
3	4,57	CI	0,0	0,11	0,01	0,41	<0,5	0,49	0,57	<5	17,0	0,0	0,00E+00
4	4,64	C	0,0	0,82	0,1	2,18	0,5	0,83	0,91	--	--	--	2,82E-08
5	4,67	CI	0,0	2,34	0,34	4,54	<0,5	1,0	1,08	<5	17,02	0,1	1,00E-03
6	4,68	C	0,0	0,54	0,01	0,41	0,5	0,76	0,84	--	--	--	1,00E-11
7	4,70	CI	0,0	2,47	0,34	4,54	<0,5	1,01	1,09	<5	17,02	0,1	0,00E+00
8	4,71	C	0,0	2,53	0,34	4,54	0,5	1,02	1,1	--	--	--	1,23E-03
9	4,73	CI	0,0	2,59	0,34	4,54	<0,5	1,02	1,1	<5	17,02	0,1	1,00E-03
10	4,74	C	0,0	0,77	0,01	0,41	0,5	0,82	0,9	--	--	--	1,00E-11
11	5,83	CI	0,06	45,86	7,64	31,38	<0,5	1,5	1,58	<5	17,54	2,41	1,00E-03
12	5,84	C	0,08	62,53	10,3	38,05	0,5	1,56	1,64	--	--	--	1,00E-03
13	5,85	CI	0,08	62,51	10,3	38,05	<0,5	1,56	1,64	<5	17,74	3,3	1,00E-03
14	5,94	C	0,1	76,44	12,46	43,1	0,5	1,59	1,67	--	--	--	1,00E-03
15	6,18	I	--	--	0,01	45,08	<0,5	1,9	2,2	<5	17,98	4,36	1,00E-03
16	6,25	I	--	--	66,95	46,78	>9	1,9	2,2	39,0	18,04	4,63	1,00E-03
17	6,26	I	--	--	57,54	47,14	>9	1,9	2,2	32,8	18,05	4,69	1,00E-03
18	19,50	CI	0,26	181,26	28,68	77,54	<0,5	1,73	1,81	5,0	19,38	10,59	1,00E-03
19	19,58	I	--	--	21,74	172,07	<0,5	1,9	2,2	20,6	25,77	39,05	1,00E-03

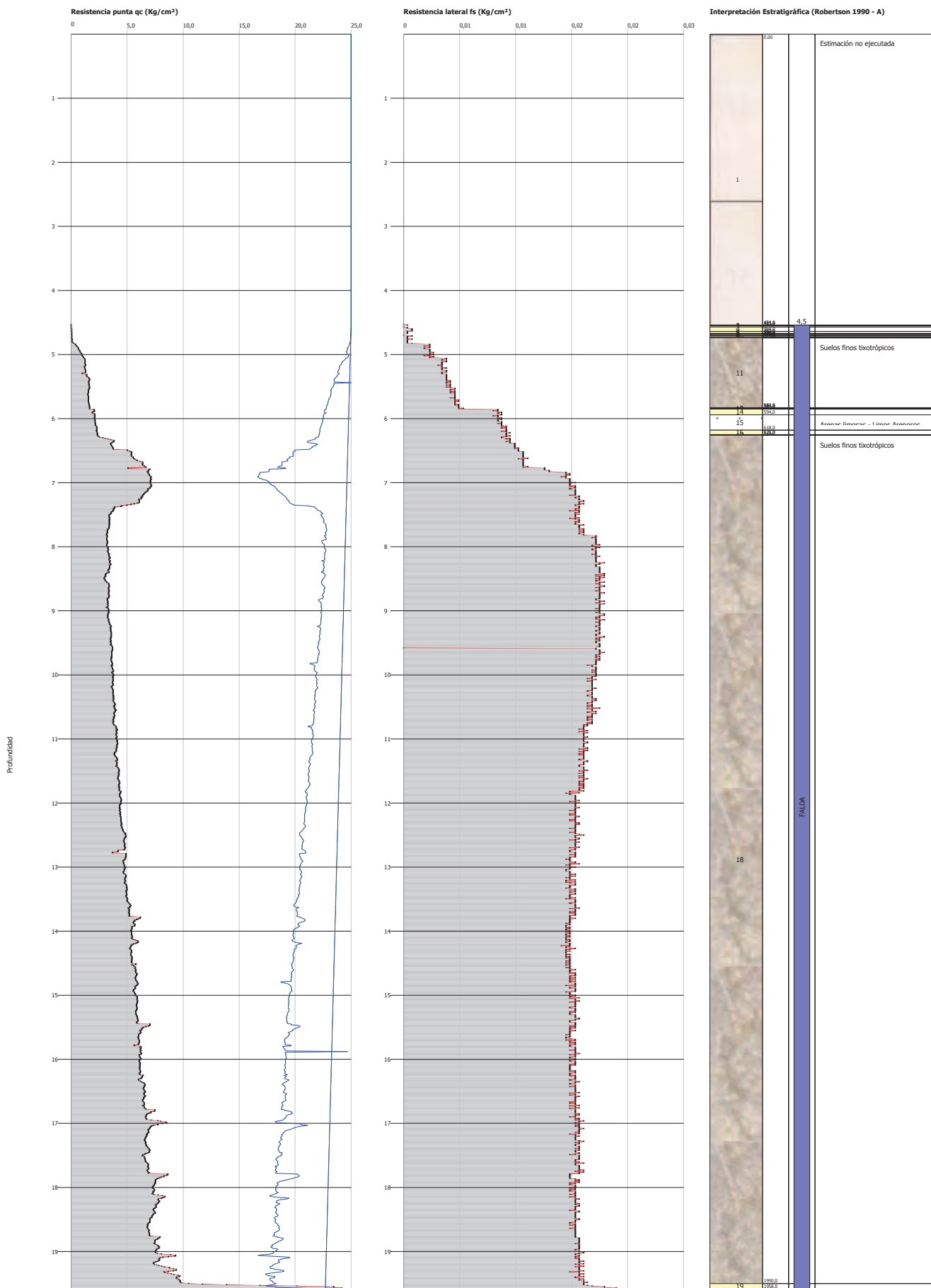
### ANEJO 13. CPTU-4 GRÁFICA LITOLÓGÍAS

Probe CPTU - Piezocone CPTU-4  
Equipo utilizado... PAGANI 200 kN (CPTU)  
Diagrama Resistencias qc fs

Ciente : EUSKONTROL  
Obra : Margen Izdo Deusto  
Localidad :

Fecha :20/11/2008

Escala 1:82



**NATURALEZA LITOLÓGICA (Robertson 1990 - A)**

Profundidad (m)
0,01-4,54
4,55-4,55
4,56-4,57
4,58-4,64
4,65-4,67
4,68-4,68
4,69-4,70
4,71-4,71
4,72-4,73
4,74-4,74
4,75-5,83
5,84-5,84
5,85-5,85
5,86-5,94
5,95-6,18
6,19-6,25
6,26-6,26
6,27-19,50
19,51-19,58

Litología: Robertson 1990 - A
Estimación no ejecutada
Terrenos orgánicos - Turbas
Suelos finos tixotrópicos
Terrenos orgánicos - Turbas
Suelos finos tixotrópicos
Terrenos orgánicos - Turbas
Suelos finos tixotrópicos
Terrenos orgánicos - Turbas
Suelos finos tixotrópicos
Terrenos orgánicos - Turbas
Suelos finos tixotrópicos
Limos arcillosos - Arcillas limosas
Suelos finos tixotrópicos
Limos arcillosos - Arcillas limosas
Arenas limosas - Limos Arenosos
Arenas - Arenas limosas
Arenas
Suelos finos tixotrópicos
Arenas limosas - Limos Arenosos



ANEJO 14.  
CPTU-4  
ANÁLISIS DE DISIPACIONES

**Genthal Services S.L.**

Site: MARGEN IZ DEUSTO  
Locality: BILBAO

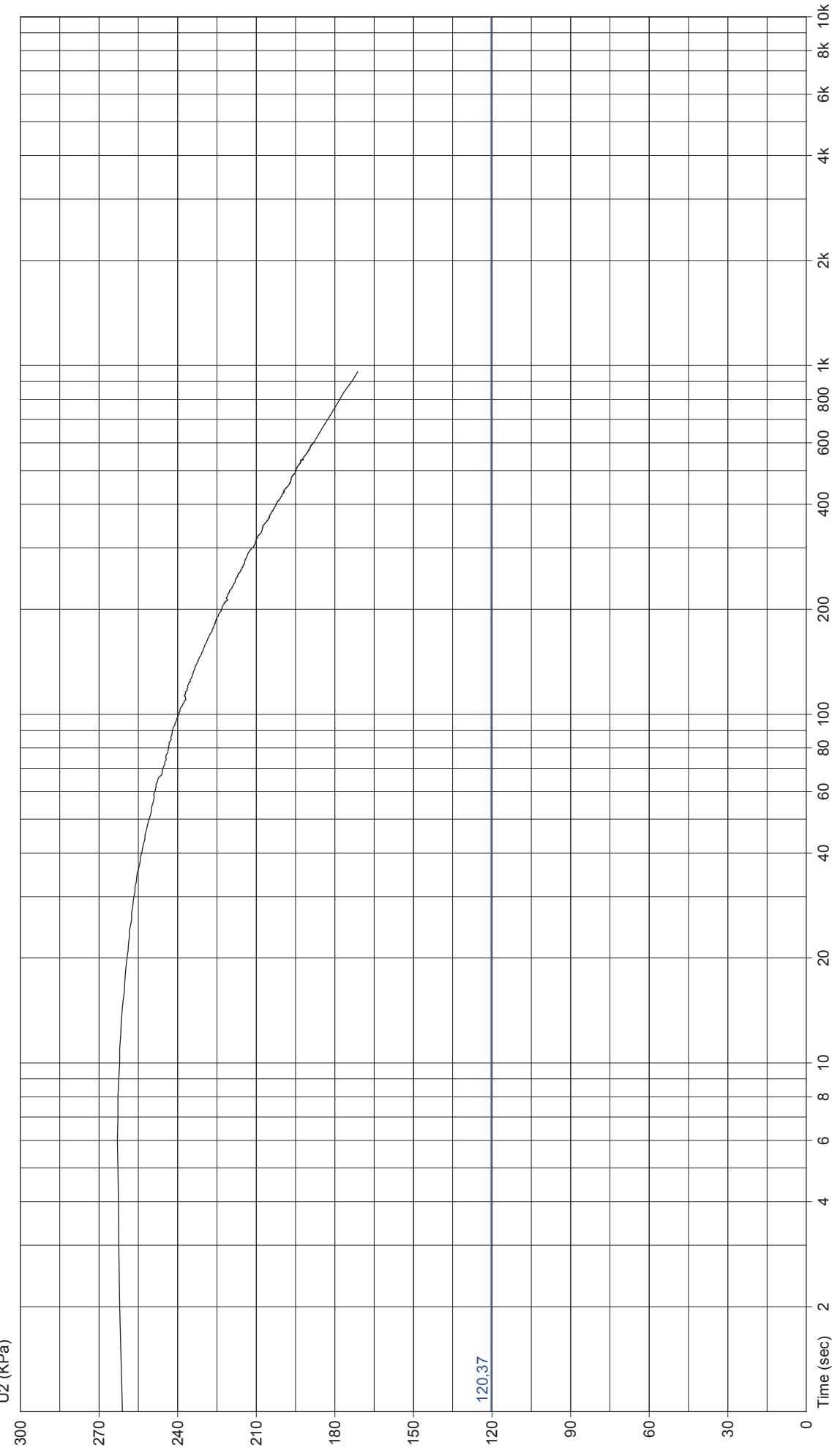
Dissip. Test N° 2.; Depth: 13.77 m.; Time: 960 [sec] - 00.16.00 [h.m.s]

Page 1/1

**Commissioner: EUSKONTROL**

Test Location: CPTU-4  
Date: 20/1/2008

Abs. quota [cm]: 0  
Prehole [cm]: 450  
Hydrostatic Line [cm]: 150



**U = Presión de poros al inicio de la disipación**  
**U<sub>0</sub> = Presion hidrostática**  
**U<sub>t50</sub> = Presion de poros al 50% de la disipación**  
**t<sub>50</sub> = tiempo en el que se alcanza el 50% de la disipación**  
**T<sub>50</sub> = Factor de tiempo para t50**  
**Ir = Indice de rigidez**

**CPTU-4**

**Disipación a cota -13,77 metros**

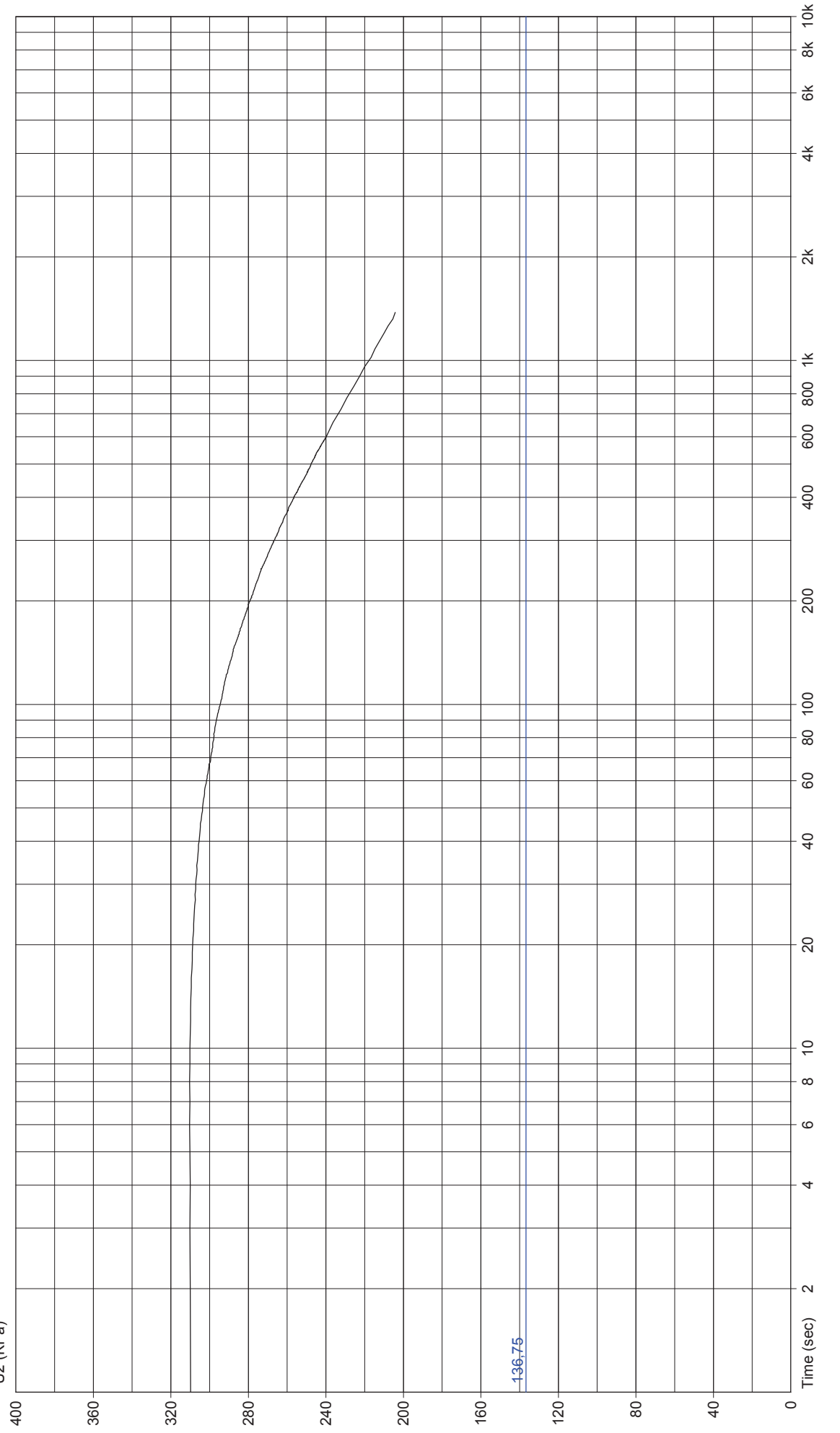
U(Kpa)=	262,98
U <sub>0</sub> (Kpa)=	120,37
U <sub>t50</sub> (Kpa) =	191,67
t <sub>50</sub> (seg) =	545,90
T <sub>50</sub> (Kpa) =	0,25
R (cm)	1,78
IR = G/Su	298,32
G (Kpa) =	7604,08
Su (Kpa) =	25,49

$$Ch = \frac{T_{50} R^2 \sqrt{I_R}}{t_{50}}$$

**Ch = 0,024560 cm<sup>2</sup>/sg**

<b>Genthal Services S.L.</b>	<b>Commissioner: EUSKONTROL</b>
Site: MARGEN IZ DEUSTO Locality: BILBAO	Abs. quota [cm]: 0 Prehole [cm]: 450 Hydrostatic Line [cm]: 150
Test Location: CPTU-4 Date: 20/1/2008	
Dissip. Test N° 3.: Depth: 15.44 m.; Time : 1.380 [sec] - 00.23.00 [h.m.s]	

Page 1/1  
U2 (KPa)



**U = Presión de poros al inicio de la disipación**  
**U<sub>0</sub> = Presion hidrostática**  
**U<sub>t50</sub> = Presion de poros al 50% de la disipación**  
**t<sub>50</sub> = tiempo en el que se alcanza el 50% de la disipación**  
**T<sub>50</sub> = Factor de tiempo para t50**  
**Ir = Indice de rigidez**

**CPTU-4**

**Disipación a cota -15,44 metros**

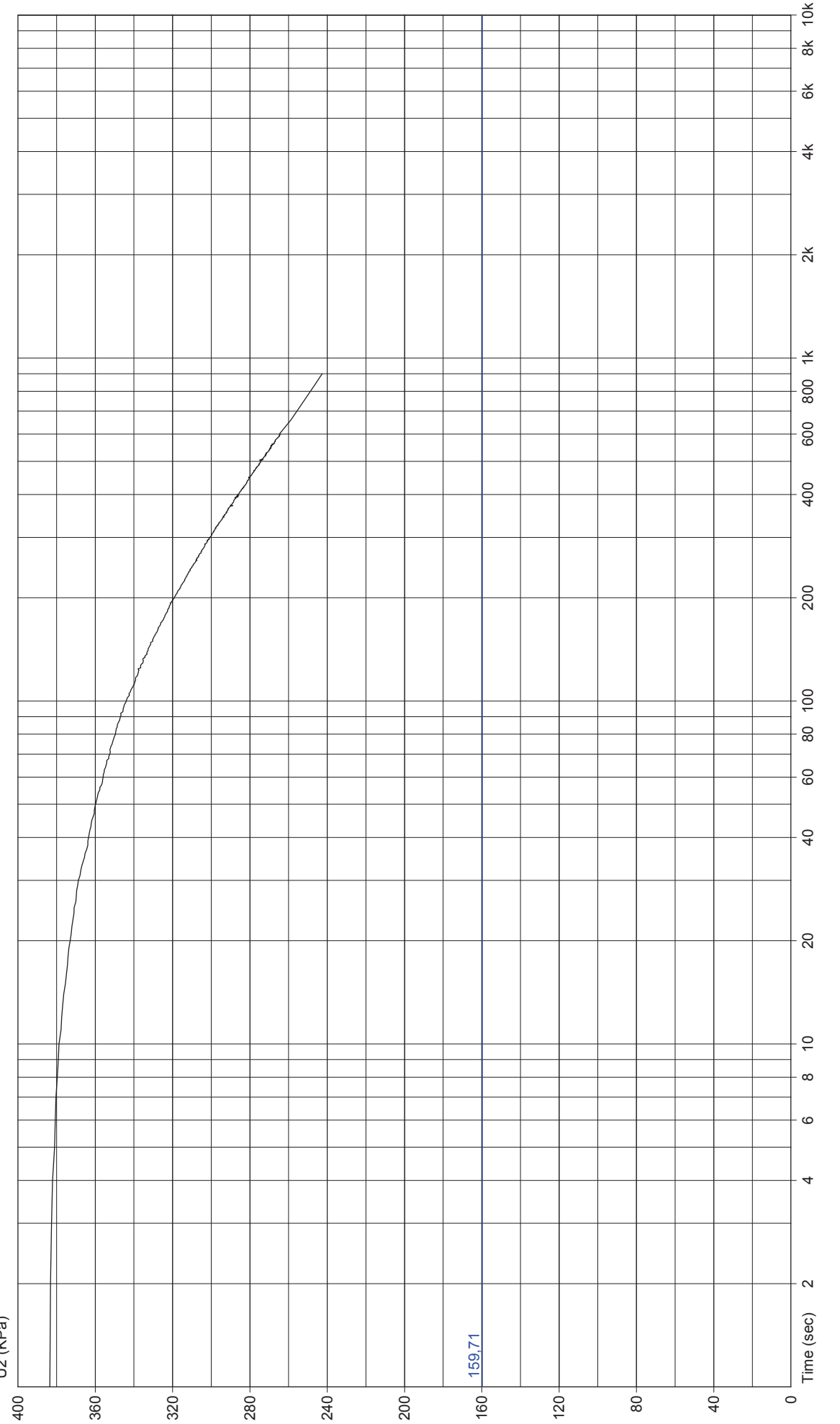
U(Kpa)=	310,35
U <sub>0</sub> (Kpa)=	136,75
U <sub>t50</sub> (Kpa) =	223,55
t <sub>50</sub> (seg) =	841,48
T <sub>50</sub> (Kpa) =	0,25
R (cm)	1,78
IR = G/Su	298,32
G (Kpa) =	7604,08
Su (Kpa) =	25,49

$$Ch = \frac{T_{50} R^2 \sqrt{I_R}}{t_{50}}$$

**Ch = 0,015933 cm<sup>2</sup>/sg**

<b>Genthal Services S.L.</b>	<b>Commissioner: EUSKONTROL</b>
Site: MARGEN IZ DEUSTO Locality: BILBAO	Abs. quota [cm]: 0 Prehole [cm]: 450 Hydrostatic Line [cm]: 150
Test Location: CPTU-4 Date: 20/1/2008	
Dissip. Test N° 4 : Depth: 17,78 m ; Time : 900 [sec] - 00.15.00 [h.m.s]	

Page 1/1  
U2 (KPa)





**U = Presión de poros al inicio de la disipación**  
**U<sub>0</sub> = Presion hidrostática**  
**U<sub>t50</sub> = Presion de poros al 50% de la disipación**  
**t<sub>50</sub> = tiempo en el que se alcanza el 50% de la disipación**  
**T<sub>50</sub> = Factor de tiempo para t50**  
**Ir = Indice de rigidez**

**CPTU-4**

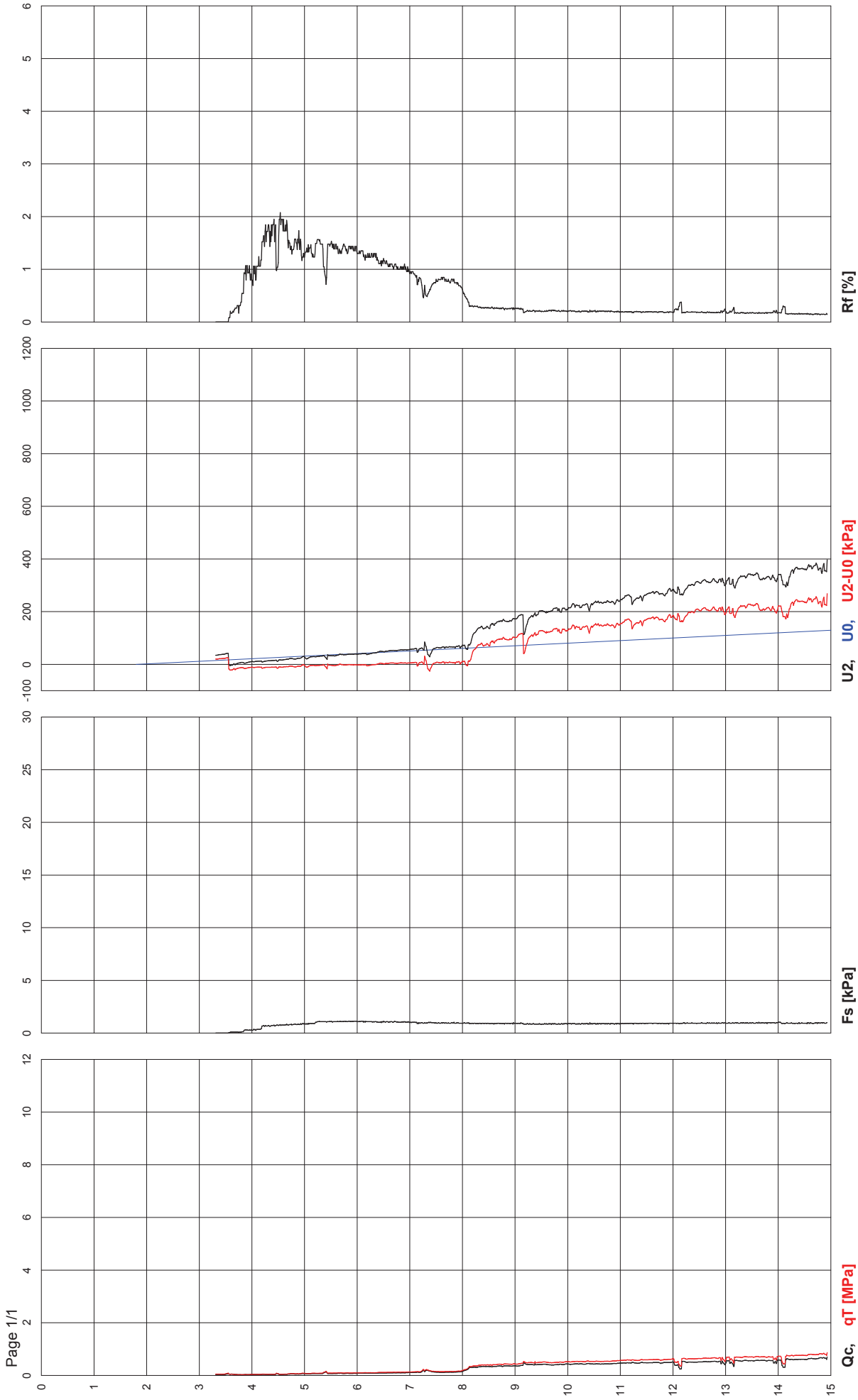
**Disipación a cota -17,78 metros**

U(Kpa)=	383,51
U <sub>0</sub> (Kpa)=	159,71
U <sub>t50</sub> (Kpa) =	271,61
t <sub>50</sub> (seg) =	528,00
T <sub>50</sub> (Kpa) =	0,25
R (cm)	1,78
IR = G/Su	298,32
G (Kpa) =	7604,08
Su (Kpa) =	25,49

$$Ch = \frac{T_{50} R^2 \sqrt{I_R}}{t_{50}}$$

**Ch = 0,025393 cm<sup>2</sup>/sg**

**ANEJO 15.**  
**CPTU-5**  
**DATOS OBTENIDOS EN PROFUNDIDAD**



TGSW03 for Pageni Geotechnical Equipment acquisition systems

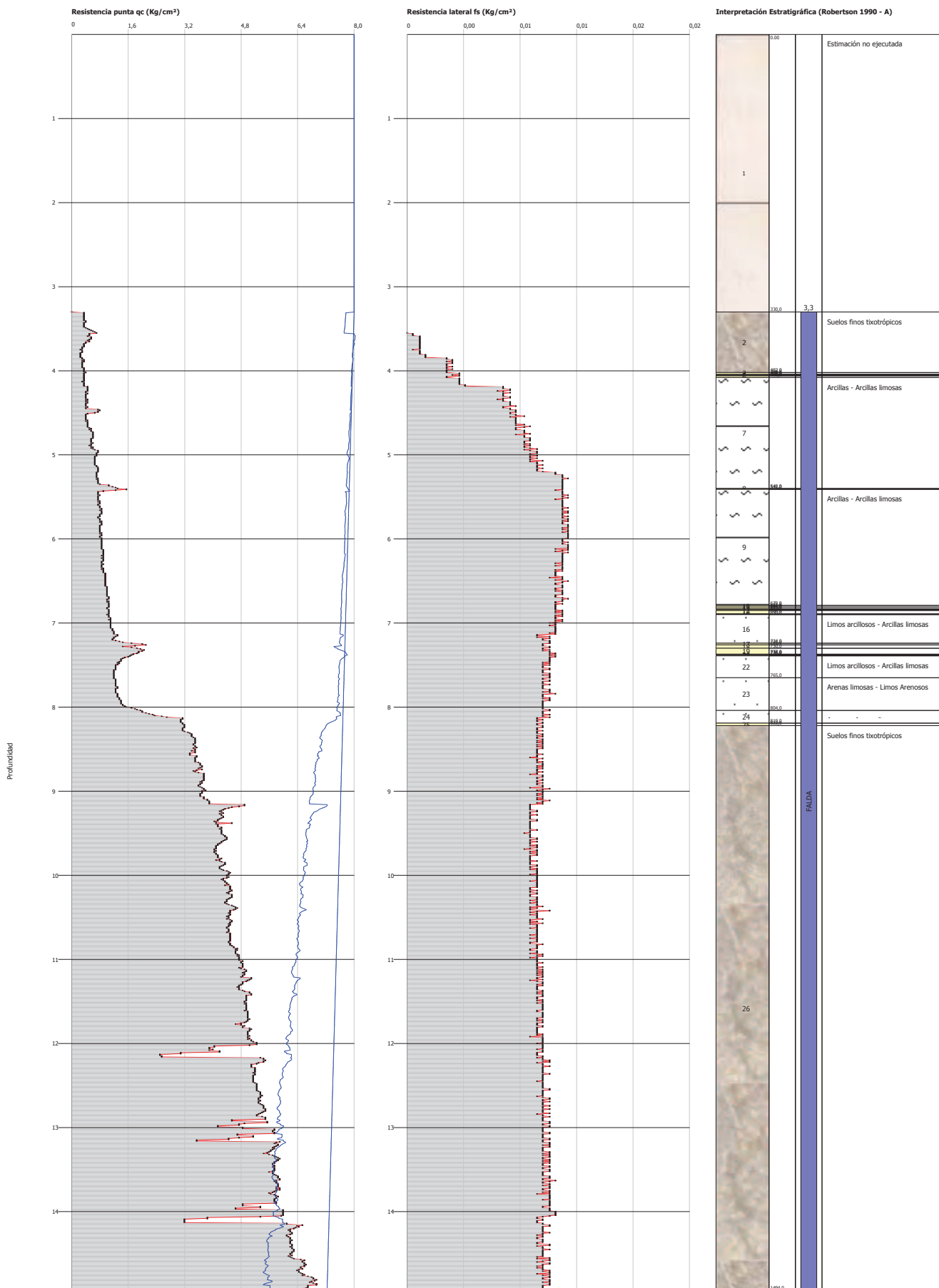
# ANEJO 16. CPTU-5 ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

### ESTIMACIÓN PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

Nr: Número progresivo estrato  
 Prof: Profundidad estrato (m)  
 Tipo: C: Cohesivo. I: Granular. CI: Cohesivo-Granular  
 Cu: Cohesión no drenada (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 Eu: Módulo de deformación no drenado (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 Mo: Módulo edométrico (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 G: Módulo de deformación al corte (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 OCR: Grado de sobre consolidación  
 Puv: Peso específico (t/m<sup>3</sup>)  
 PuvS: Peso específico saturado (t/m<sup>3</sup>)  
 Dr: Densidad relativa (%)  
 Fi: Ángulo de rozamiento interno (°)  
 Ey: Módulo de Young (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 K: Permeabilidad (cm/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	K
1	3,30												0,00E+00
2	4,02	CI	0,02	14,35	2,42	15,27	<0.5	1,31	1,39	<5	17,17	0,74	1,00E-03
3	4,04	C	0,02	13,89	2,26	14,66	0,5	1,3	1,38	--	--	--	1,00E-03
4	4,05	CI	0,02	13,89	2,26	14,66	<0.5	1,3	1,38	<5	17,16	0,69	1,00E-03
5	4,06	C	0,02	13,89	2,26	14,66	0,5	1,3	1,38	--	--	--	1,00E-03
6	4,08	CI	0,02	13,89	2,26	14,66	<0.5	1,3	1,38	<5	17,16	0,69	1,00E-03
7	5,40	C	0,03	22,77	3,72	19,95	0,5	1,39	1,47	--	--	--	4,39E-03
8	5,41	C	0,08	59,7	9,7	36,6	0,5	1,55	1,63	--	--	--	1,00E-03
9	6,79	C	0,04	34,56	5,61	25,82	0,5	1,46	1,54	--	--	--	8,44E-03
10	6,81	C	0,05	41,26	6,69	28,85	0,5	1,49	1,57	--	--	--	1,00E-03
11	6,83	C	0,05	39,33	6,38	27,99	0,5	1,48	1,56	--	--	--	1,00E-03
12	6,84	C	0,05	41,24	6,69	28,85	0,5	1,49	1,57	--	--	--	1,00E-03
13	6,85	C	0,05	41,23	6,69	28,85	0,5	1,49	1,57	--	--	--	1,00E-03
14	6,89	C	0,05	41,21	6,69	28,85	0,5	1,49	1,57	--	--	--	1,00E-03
15	6,90	C	0,05	39,28	6,38	27,99	0,5	1,48	1,56	--	--	--	1,00E-03
16	7,24	C	0,06	45,64	7,45	30,88	0,5	1,5	1,58	--	--	--	1,00E-03
17	7,26	I	--	--	-0,39	43,41	<0.5	1,9	2,2	<5	17,92	4,1	1,00E-03
18	7,30	C	0,08	64,96	10,56	38,66	0,5	1,56	1,64	--	--	--	1,00E-03
19	7,37	I	--	--	-0,34	41,59	<0.5	1,9	2,2	<5	17,86	3,82	1,00E-03
20	7,38	C	0,08	64,69	10,54	38,62	0,5	1,56	1,64	--	--	--	1,00E-03
21	7,39	I	--	--	-0,33	38,05	<0.5	1,9	2,2	<5	17,74	3,3	1,00E-03
22	7,65	C	0,06	49,23	8,12	32,64	0,5	1,52	1,6	--	--	--	1,00E-03
23	8,04	I	--	--	-0,16	33,84	<0.5	1,9	2,2	<5	17,61	2,73	1,00E-03
24	8,19	I	--	--	0,01	50,95	<0.5	1,9	2,2	<5	18,2	5,33	1,00E-03
25	8,22	I	--	--	0,08	56,72	<0.5	1,9	2,2	<5	18,43	6,35	1,00E-03
26	14,94	CI	0,24	173,82	26,83	73,63	<0.5	1,73	1,81	5,0	19,19	9,73	1,00E-03

## ANEJO 17. CPTU-5 GRÁFICA LITOLÓGÍAS



### NATURALEZA LITOLÓGICA (Robertson 1990 - A)

#### Profundidad (m)

0,01-3,30  
3,31-4,02  
4,03-4,04  
4,05-4,05  
4,06-4,06  
4,07-4,08  
4,09-5,40  
5,41-5,41  
5,42-6,79  
6,80-6,81  
6,82-6,83  
6,84-6,84  
6,85-6,85  
6,86-6,89  
6,90-6,90  
6,91-7,24  
7,25-7,26  
7,27-7,30  
7,31-7,37  
7,38-7,38  
7,39-7,39  
7,40-7,65  
7,66-8,04  
8,05-8,19  
8,20-8,22  
8,23-14,94

#### Litología: Robertson 1990 - A

Estimación no ejecutada  
Suelos finos tixotrópicos  
Arcillas - Arcillas limosas  
Suelos finos tixotrópicos  
Arcillas - Arcillas limosas  
Suelos finos tixotrópicos  
Arcillas - Arcillas limosas  
Limos arcillosos - Arcillas limosas  
Arcillas - Arcillas limosas  
Limos arcillosos - Arcillas limosas  
Arcillas - Arcillas limosas  
Limos arcillosos - Arcillas limosas  
Arcillas - Arcillas limosas  
Limos arcillosos - Arcillas limosas  
Arcillas - Arcillas limosas  
Limos arcillosos - Arcillas limosas  
Arenas limosas - Limos Arenosos  
Limos arcillosos - Arcillas limosas  
Arenas limosas - Limos Arenosos  
Limos arcillosos - Arcillas limosas  
Arenas limosas - Limos Arenosos  
Limos arcillosos - Arcillas limosas  
Arenas limosas - Limos Arenosos  
Arenas - Arenas limosas  
Arenas  
Suelos finos tixotrópicos



ANEJO 18.  
 CPTU-5  
 ANÁLISIS DE DISIPACIONES

**Genthal Services S.L.**

Site: MARGEN IZ DEUSTO  
 Locality: BILBAO

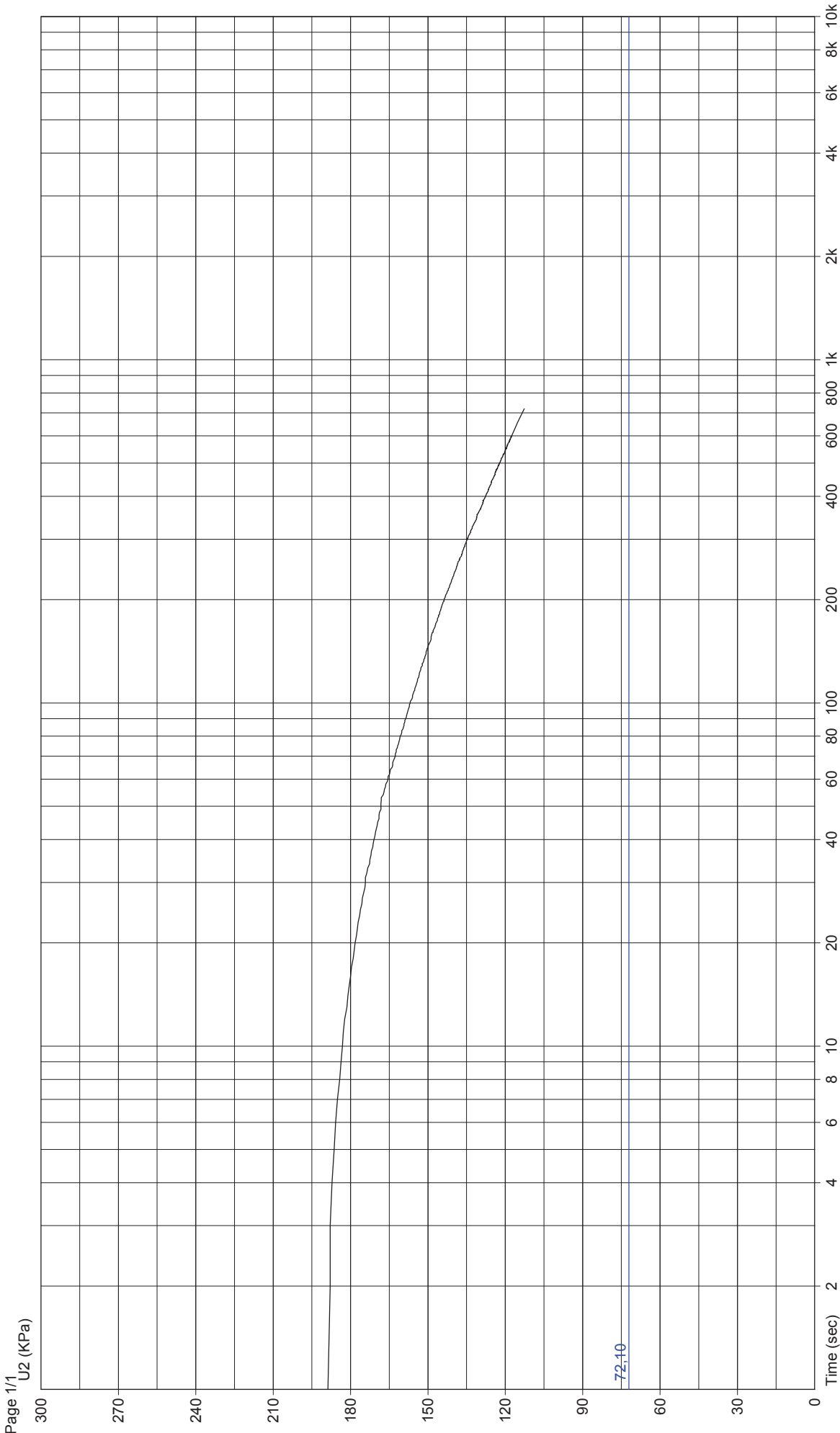
Dissip. Test N° 1 ; Depth: 09.15 m ; Time : 720 [sec] - 00.12.00 [h.m.s]

Page 1/1

Test Location: CPTU-5  
 Date: 20/1/2008

**Commissioner: EUSKONTROL**

Abs. quota [cm]: 0  
 Prehole [cm]: 330  
 Hydrostatic Line [cm]: 180



**U = Presión de poros al inicio de la disipación**  
**U<sub>0</sub> = Presion hidrostática**  
**U<sub>t50</sub> = Presion de poros al 50% de la disipación**  
**t<sub>50</sub> = tiempo en el que se alcanza el 50% de la disipación**  
**T<sub>50</sub> = Factor de tiempo para t50**  
**Ir = Indice de rigidez**

**CPTU-5**

**Disipación a cota -9,15 metros**

U(Kpa)= 188,77  
 U<sub>0</sub>(Kpa)= 72,10  
 U<sub>t50</sub>(Kpa) = 130,43  
 t<sub>50</sub> (seg) = 358,60  
 T<sub>50</sub> (Kpa) = 0,25  
 R (cm) 1,78  
 IR = G/Su 306,87  
 G (Kpa) = 7220,64  
 Su (Kpa) = 23,53

$$Ch = \frac{T_{50} R^2 \sqrt{I_R}}{t_{50}}$$

**Ch = 0,037920 cm<sup>2</sup>/sg**

**Genthal Services S.L.**

Site: MARGEN IZ DEUSTO  
Locality: BILBAO

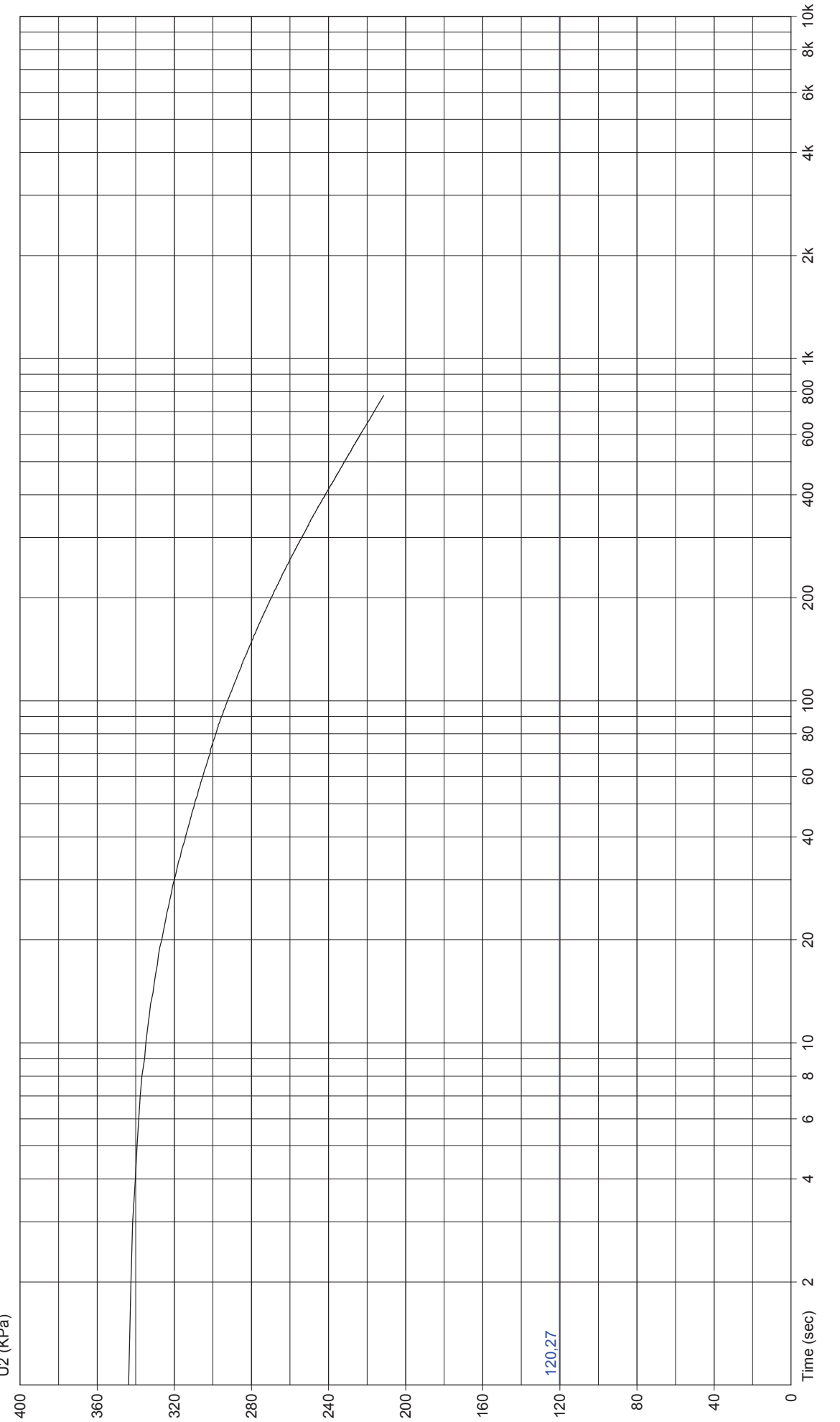
Dissip. Test N° 2.; Depth: 14,06 m.; Time : 780 [sec] - 00.13.00 [h.m.s]

Page 1/1

**Commissioner: EUSKONTROL**

Test Location: CPTU-5  
Date: 20/1/2008

Abs. quota [cm]: 0  
Prehole [cm]: 330  
Hydrostatic Line [cm]: 180



**U = Presión de poros al inicio de la disipación**  
**U<sub>0</sub> = Presion hidrostática**  
**U<sub>t50</sub> = Presion de poros al 50% de la disipación**  
**t<sub>50</sub> = tiempo en el que se alcanza el 50% de la disipación**  
**T<sub>50</sub> = Factor de tiempo para t50**  
**Ir = Indice de rigidez**

**CPTU-5**

**Disipación a cota -14,06 metros**

U(Kpa)=	343,68
U <sub>0</sub> (Kpa)=	120,27
U <sub>t50</sub> (Kpa) =	231,97
t <sub>50</sub> (seg) =	497,90
T <sub>50</sub> (Kpa) =	0,25
R (cm)	1,78
IR = G/Su	306,87
G (Kpa) =	7220,64
Su (Kpa) =	23,53

$$Ch = \frac{T_{50} R^2 \sqrt{I_R}}{t_{50}}$$

**Ch = 0,027311 cm<sup>2</sup>/sg**

