

Escola Politècnica Superior
d'**Enginyeria de Manresa**

Aplicación geotécnica del estudio de sondeos
en la ciudad de Barcelona

Autor: Rubén Mora García

Nº de registro: 1976

Tutor: David Parcerisa Duocastella

Titulación: Ingeniería Técnica de Minas, especialidad en Explotación de Minas

Manresa, Junio de 2010

Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Manresa

Índice

Índice.....	i
Agradecimientos.....	iv
1. Introducción.....	1
2. Objetivos.....	2
3. Metodología.....	3
3.1 Trabajo de campo.....	3
3.2 Trabajo de laboratorio.....	5
3.2.1 Ensayo de granulometría por tamizado.....	5
3.2.2 Límites de Atterberg.....	6
3.2.3 Resumen normas UNE.....	8
3.2.3.1 UNE 103/100 de 1995.....	8
3.2.3.2 UNE 103/101 de 1995.....	10
3.2.3.3 UNE 103/103 de 1994.....	13
3.2.3.4 UNE 103/104 de 1993.....	16
3.2.3.5 UNE 103/300 de 1993.....	17
3.2.4 Resumen del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).....	19
3.3 Trabajo de gabinete.....	21
4. Contexto Geológico de la zona Sur de Barcelona.....	22
4.1 Introducción a la zona.....	22
4.2 Geología de superficie.....	23
4.2.1 Marco Geográfico.....	23

4.2.2	Contexto Geológico.....	24
4.2.3	El Cuaternario de la franja litoral deltaica.....	24
4.3	Geología del subsuelo.....	27
4.3.1	Mioceno Inferior (Pre-Cuaternario Continental).....	27
4.3.2	Mioceno Medio Deltaico.....	27
4.3.3	Plioceno.....	27
4.3.4	Paleozoico.....	28
4.3.5	Triásico.....	29
5.	Caracterización Geotécnica del área de estudio.....	31
5.1	Introducción a la Caracterización Geotécnica.....	31
5.2	Descripción de los sondeos.....	32
5.2.1	Descripción de campo: Sondeos SVP-02 y SVP-03.....	33
5.2.2	Descripción de campo: Sondeo ZF.....	33
5.2.3	Descripción de campo: Sondeo PA.....	34
5.2.4	Descripción de campo: Sondeo SB.....	35
5.3	Descripción de las Unidades Geotécnicas.....	36
5.3.1	Mioceno Continental (Burdigaliense).....	36
5.3.2	Mioceno Deltaico (Serravaliense).....	38
5.3.3	Plioceno.....	39
5.3.4	Cuaternario Deltaico.....	40
5.3.5	Cuaternario Continental.....	42
5.3.6	Antrópico.....	43
5.4	Distribución geométrica de las Unidades (Corte Geológico).....	43

6.	Discusión.....	44
7.	Conclusiones.....	47
8.	Bibliografía.....	49
	Anejos.....	51

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer enormemente el entusiasmo, el apoyo y la implicación que ha tenido mi tutor de proyecto fin de carrera David Parcerisa Duocastella. Sin sus conocimientos y capacidad para enseñar no hubiera sido posible la realización del trabajo.

También quiero dar las gracias a la empresa Paymacotas y, más concretamente, a dos de sus empleados, Marta Filbà y Mario Ascaso que sin su ayuda y generosidad no habiéramos tenido sondeos con los que trabajar; de igual modo nombrar a Albert Ventayol por su ayuda y atención para alguna que otra consulta de última hora.

Por supuesto a la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Manresa y en especial al personal de laboratorio de Minas y Geología, donde he aprendido mucho y he conocido gente estupenda.

De igual forma, a todos los amigos que me han dado ánimos y me han apoyado tanto en los buenos como malos momentos: Mariona, Cesar, Eloy, Raúl, Iván, Ramón, Andrés y tantos otros que están a mi lado.

Y lo más importante, mi familia, por haber tenido la paciencia de aguantarme y por estar siempre presente, echando una mano y ofreciendo lo mejor de ellos: Mis padres, Rufino y Ana María, mi hermana Argentina, Eugenio y mis “otros” hermanos: Fernando, David, Oscar, Marc y Javier. A todos ellos mil gracias.

1. Introducción:

Este proyecto se empezó a gestar hace 2 años, durante las clases de Ingeniería y Morfología del Terreno impartidas por mi profesor y director de proyecto David Parcerisa Duocastella.

Sentí curiosidad por la gran variedad de suelos existentes y como su disposición, puede significar un quebradero de cabeza a la hora de estabilizar dicho suelo para una obra de ingeniería.

Con este estudio se pretende caracterizar las Unidades Geotécnicas que configuran el subsuelo en un área concreta del llano de la ciudad de Barcelona. A tal efecto, se han testificado y muestreado diferentes sondeos en esa área de Barcelona.

Se continuó con el trabajo de laboratorio, preparándose las muestras para los diferentes ensayos de granulometría y plasticidad siempre cumpliendo las normas establecidas: UNE 103 101/95 para el análisis granulométrico de suelos por tamizado y las UNE 103 103/94 y UNE 103 104/93, determinación del límite líquido de un suelo por el método de la cuchara de Casagrande y determinación del límite plástico de un suelo, respectivamente, para el análisis de plasticidad.

Seguidamente se consultó bibliografía propia de la zona de estudio y de geotecnia aplicada a suelos.

A partir de la caracterización se analizan los posibles problemas geotécnicos que se puedan generar en las unidades que nos encontramos, tales como el fenómeno de sifonamiento, asentamientos, etc.

2. Objetivos:

De este estudio, los objetivos principales son los siguientes:

- a) Testificación de sondeos y su representación gráfica.
- b) Recogida de muestras representativas y preparación para su uso según normativa.
- c) Asimilación de los procesos de laboratorio (Normas UNE).
- d) Situar la zona en un contexto geológico.
- e) Recopilación de datos e identificación de las distintas unidades geotécnicas.
- f) Análisis de los posibles problemas geotécnicos en cada Unidad Geotécnica.

3. Metodología:

Se ha realizado una distribución del trabajo en tres partes: trabajo de campo, trabajo de laboratorio y trabajo de gabinete.

3.1. Trabajo de campo:

Durante esta etapa se llevó a cabo la testificación de 5 sondeos próximos entre sí y pertenecientes todos a la zona de l'Hospitalet de Llobregat. En concreto, dos de ellos, denominados SVP-02 y SVP-03 corresponden a la zona de Can Tunis, el tercero pertenece a un sondeo en el Parque Alhambra en la zona Hospitalet-Sants llamado PA, el cuarto también a la zona de Hospitalet-Sants, en Bifurcació denominado SB y por último, el quinto, en la zona del paseo de la Zona Franca, definido por las siglas ZF.

- SVP-02 y SVP-03: Son sondeos facilitados por la empresa Paymacotas, perteneciente a la UTE Gorg, la cual realiza los trabajos de la nueva línea 9 del metro de Barcelona. Están ubicados entre Unitransa y la Autopista de salida de Barcelona A-2, en la calle A.
- PA: sondeo realizado por la empresa Paymacotas, situado en la zona Hospitalet-Sants, entre la C-31 junto a la estación Ildefons Cerdà y el colegio IES Bisbe Berenguer.
- SB: sondeo perforado por la empresa Paymacotas, situado en la calle de la fortuna, en el polígono industrial de la Carretera del Mig, en la zona de Hospitalet-Sants.
- ZF: sondeo realizado por Bosch & Ventayol para UTE Gorg en la realización de sondeos para la línea 9 del metro de Barcelona. Se perforó en el paseo de la Zona Franca, cerca de la plaza Ildefons Cerdà.

La siguiente tabla resume la situación de cada sondeo (Tabla 3.1).

Sondeo	Profundidad	UTM X	UTM Y	Cota de Inicio
SVP-02	25,15 m	428758,767	577830,572	10,184
SVP-03	21,3 m	428762,503	577850,376	4,71
PA	45,30 m	427431,46	4579540,65	9,5
SB	57 m	426540,5	4579379,5	
ZF	53 m	427896,46	4579693,15	9,4

Tabla 3.1 Características de los diferentes sondeos.

La posibilidad de consulta y recogida de muestras se debe a la colaboración de las empresas Paymacotas y Bosch & Ventayol. Esta testificación se ha realizado paralelamente a una recogida representativa de muestras para su posterior análisis en laboratorio. Principalmente, se harán ensayos de análisis granulométrico por tamizado y límites de Atterberg (tabla 3.2).

Sondeo o muestra	Profundidad	Tipo de análisis	Norma UNE
PA	9	Granulométrico por tamizado	103 101
PA	13,5	Granulométrico por tamizado	103 101
PA	19,4	Granulométrico por tamizado	103 101
PA	32,6	Determinación del límite líquido	103 103
PA	32,6	Determinación del límite plástico	103 104
PA	42,4	Determinación del límite líquido	103 103
PA	42,4	Determinación del límite plástico	103 104
SB	40,5	Determinación del límite líquido	103 103
SB	40,5	Determinación del límite plástico	103 104
SVP 02	8,8	Determinación del límite líquido	103 103
SVP 02	8,8	Determinación del límite plástico	103 104
SVP 02	14,7	Granulométrico por tamizado	103 101
SVP 02	16,3	Determinación del límite líquido	103 103
SVP 02	16,3	Determinación del límite plástico	103 104
SVP 02	20,8	Granulométrico por tamizado	103 101
SVP 02	23,7	Granulométrico por tamizado	103 101
SVP 03	3,5	Determinación del límite líquido	103 103
SVP 03	3,5	Determinación del límite plástico	103 104
SVP 03	6,6	Granulométrico por tamizado	103 101
SVP 03	13	Granulométrico por tamizado	103 101
SVP 03	14,5	Granulométrico por tamizado	103 101
SVP 03	17,8	Granulométrico por tamizado	103 101
SVP 03	18	Granulométrico por tamizado	103 101
SVP 03	20,3	Granulométrico por tamizado	103 101
SVP 03	20,7	Granulométrico por tamizado	103 101
ZF	7,5	Determinación del límite líquido	103 103
ZF	7,5	Determinación del límite plástico	103 104
ZF	9,4	Granulométrico por tamizado	103 101
ZF	17,6	Determinación del límite líquido	103 103
ZF	17,6	Determinación del límite plástico	103 104
ZF	26	Determinación del límite líquido	103 103
ZF	26	Determinación del límite plástico	103 104
ZF	28,8	Granulométrico por tamizado	103 101
ZF	32,8	Granulométrico por tamizado	103 101
ZF	37,3	Granulométrico por tamizado	103 101
ZF	53	Determinación del límite líquido	103 103
ZF	53	Determinación del límite plástico	103 104

Tabla 3.2 Listado de muestras de cada sondeo.

3.2. Trabajo de laboratorio:

La preparación de las muestras y su análisis se ha realizado de forma diferente para cada tipo de muestra, según su naturaleza, es decir materiales no cohesivos (gravas y arenas) y cohesivos (limos y arcillas).

Según este criterio, utilizaremos dos procedimientos distintos:

3.2.1. Ensayo de granulometría por tamizado.

Este ensayo se utiliza para definir de una forma objetiva y normalizada la granulometría de los suelos, propiedad que juega un papel importante en la clasificación de éstos, la USCS (*Unified Soils Classification System*).

Este análisis tiene como objetivo, mediante tamices normalizados, la clasificación de suelos respecto su tamaño de partícula en tres grandes grupos: finos (arcillas y limos), arenas y gravas.

En primer lugar se prepara la muestra, los tamices que utilizaremos y se comprueba también el buen funcionamiento del tamizador automático (Figura 3.1).

En este procedimiento obtenemos unas masas acumuladas para cada tamaño de partícula que utilizaremos mas tarde para generar la curva granulométrica e identificar así el tipo de muestra en cuestión.



Figura 3.1 Tamizador automático.

Para este análisis se utilizaron las instalaciones del laboratorio de minas de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Manresa.

Por supuesto, se ha llevado un guión de procedimiento según la norma UNE 103 101 de *Análisis de un suelo por tamizado*.

3.2.2 Límites de Atterberg:

Este ensayo se utiliza para definir de una forma objetiva y normalizada la plasticidad de los suelos, propiedad que juega un papel importante en la clasificación de éstos, la USCS (*Unified Soils Classification System*) y para un posterior análisis del comportamiento geotécnico de los mismos.

Se entiende por límite líquido, la humedad que posee un suelo amasado con agua y colocado en una cuchara, denominada *cuchara de Casagrande* (Figura 3.2) cuando el surco provocado por un acanalador que divide esta muestra en dos mitades, se une a lo largo de éste en una distancia de 13 milímetros, una vez dejada caer la cuchara sobre su soporte 25 veces desde una altura de 10 milímetros con un ritmo de dos veces por segundo.



Figura 3.2 Cuchara de Casagrande.

Para realizar este ensayo se utilizan muestras que previamente hemos preparado y que han pasado por el tamiz de 400 μm , las cuales serán básicamente arcillas y limos. Se les da un amasado con agua con la ayuda de unas espátulas. Entonces se llena la cuchara y se hace el surco con el acanalador correspondiente.

Una vez realizado el surco, se debe contar los golpes que daremos con la cuchara en su soporte mediante la manivela lateral y no pararemos hasta conseguir que las dos mitades se toquen o que el número de golpes sea mayor a 40.

Este proceso tendremos que hacerlo dos veces: el primero procurando obtener esa unión del surco con un valor de golpes comprendido entre 15 y 25; y el segundo con valores entre 25 y 35 golpes.

Por cada vez que necesitemos llenar la cuchara, tomaremos un poco de muestra y determinaremos el porcentaje de humedad.

Para acabar, se construyen unas gráficas con los valores obtenidos y se interpola hasta llegar a los 25 golpes, valor que utilizaremos para obtener el límite líquido.

Para calcular el límite plástico, se utiliza el resto de muestra del anterior ensayo y se amasa hasta conseguir un cilindro uniforme de unos 3 mm de diámetro. Se debe amasar hasta ver aparecer una serie de grietas, pero sin romper el cilindro. La humedad en este punto es el límite plástico.

Pesamos los cilindros húmedos y se introducen en un horno de secado (Figura 3.3) para eliminar la humedad y conseguir el peso seco.



Figura 3.3 Horno de secado y muestras.

El índice de plasticidad lo obtenemos restando el valor del límite plástico con el límite líquido: $IP = LL - LP$.

Este ensayo se llevó a cabo en el laboratorio de minas y el laboratorio de geología de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Manresa, según las normas UNE 103 103 *Determinación del límite líquido de un suelo mediante el método de la cuchara de Casagrande*, la norma UNE 103 104 *Determinación del límite plástico de un suelo* y la norma UNE 103 300 *Determinación de la humedad de un suelo mediante el secado en horno*.

3.2.3 Resumen de las normas UNE utilizadas:

3.2.3.1 UNE 103/100 de 1995. Preparación de muestras para ensayos de suelos.

Objetivo:

El objetivo de esta norma es la descripción del modo de efectuar la recepción y el almacenaje de las muestras de suelo destinadas a ser ensayada en el laboratorio, así como la preparación de la cantidad de muestra necesaria para realizar los diferentes ensayos de suelo, de forma que sea representativa del total recibido en el laboratorio. En el caso de las muestras inalteradas el método de preparación se describirá en las normas correspondientes a la ejecución de los ensayos donde éstas toman parte.

Materiales y objetos necesarios o recomendados:

- Una cámara húmeda que mantenga una humedad relativa de $95\% \pm 5\%$ i una temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$.
 - Un horno de secado de temperatura regulable de hasta 115°C .
 - Secador, con circulación de aire frío y caliente, regulable hasta 60°C .
 - Bascula de 20 kg de capacidad con precisión de 1 gramo.
 - Cuarteadores de abertura adecuada a la muestra, como por ejemplo de 50,20 y 5 mm.
 - Una lona de, aproximadamente, 2 x 2 metros y dos barras de acero de unos 2,5 metros de longitud.
 - Una serie completa de tamices de malla cuadrada según norma UNE 7050-2.
 - Mortero y pilón con goma en la parte inferior.
 - Maceta de goma.
- Material común de laboratorio como bandejas, espátulas, etc.

Procedimiento de trabajo:**Recepción de la muestra en el laboratorio:**

Cuando una muestra llega al laboratorio, se debe indicar información como la fecha de entrada, el número de referencia, datos de identificación del propietario de la muestra, tipo de muestra y estado de entrada al laboratorio, identificación y procedencia de la muestra, condiciones y ensayos a realizar, etc.

Almacenado de muestras:

Para muestras alteradas, el laboratorio tiene que disponer de un recinto donde preservarlas de los agentes atmosféricos. En el caso de muestras inalteradas, este recinto debe comportarse como una cámara húmeda. En ambos casos, hay que evitar manipulaciones excesivas a fin de que no se formen rupturas, fisuras, alteraciones químicas y/o físicas, etc.

Preparación de la muestra:

En los ensayos en los que se necesite una muestra inalterada, su preparación quedará especificada a la misma Norma UNE correspondiente al ensayo.

En los ensayos que se requiera un secado previo, se procederá de la siguiente forma: Hay que secar la muestra al aire o en una estufa, pero siempre en una temperatura inferior a 60°C, hasta que se puedan deshacer los terrones de suelo de la muestra con una maceta de goma.

Cuarteo de la muestra:

Mediante los cuarteadores adecuados, hay que ir dividiendo la muestra en dos partes aproximadamente iguales hasta obtener la cantidad de suelo que necesitamos. En el caso de muestras de partículas con dimensiones superiores a la abertura de los cuarteadores disponibles, trabajaremos de la siguiente forma: colocaremos las dos barras de acero en el suelo del laboratorio, perpendicularmente entre sí, y sobre ellas colocaremos de forma centrada, la lona.

Verteremos la muestra sobre la zona central de ésta y levantaremos simultáneamente ambas barras del suelo; la muestra quedará dividida, prácticamente en cuatro partes iguales. Cogemos dos de las cuatro partes situadas en cuadrantes opuestos.

Muestra necesaria para los diferentes ensayos:

La cantidad de muestra necesaria y su método específico de preparación, están reflejados en la Norma UNE correspondiente a cada uno de los ensayos.

3.2.3.2. UNE 103 101 de 1995. Análisis granulométrico para suelos por tamizado.

Objetivo:

Esta norma detalla el método para determinar los diferentes tamaños de partículas de un suelo y obtener la cantidad, expresada en tanto por cien de éstos, que pasan por los diferentes tamices de la serie utilizados en el ensayo, hasta la criba de 0'080 mm (Norma UNE 7050 - 2).

En caso de querer conocer la distribución de tamaños de las partículas inferiores a la abertura de este tamiz, se tiene que completar este ensayo con el de sedimentación según la Norma UNE 103 102.

Materiales y objetos necesarios o recomendados:

- Una serie de tamices de malla cuadrada que cumplan con lo establecido en la norma UNE 7050-2. Una serie de tamices utilizados podría ser la siguiente: 100; 80; 63; 50; 40; 25; 20; 12'5; 10; 6'3; 5; 2; 1'25; 0'40; 0'160 i 0'080.
- Una báscula de unos 10 kg de capacidad que aprecie un gramo y otra de precisión que aprecie 0,001 gramos.
- Un equipo compuesto por: un agitador mecánico con un motor eléctrico capaz de suministrarle a una barra agitadora una velocidad superior a 10000 rpm, sin carga. La barra agitadora debe llevar en su extremo inferior una paleta o hélice intercambiable de metal, plástico o goma dura, con una forma y dimensiones concretas. La longitud de esta barra debe cumplir que el extremo inferior esté entre 19mm y 38 mm del fondo del vaso de agitación, siendo este de unas determinadas características.
- Un horno de secado de temperatura regulable de hasta 115°C.
- Secador, con circulación de aire frío y caliente, regulable hasta 60°C.
- Mortero y pilón con goma en la parte inferior.
- Un vaso de precipitados de unos 600 ml de capacidad.
- Un pincel adecuado para limpiar los tamices.
- Material de laboratorio genérico.
- Agua destilada.
- Solución de hexametáfosfato sódico al 4%.
- Cuarteadores de diferentes pasos.
- Un tamizador automático.

Preparación de la muestra para el ensayo:

El suelo recibido se separará mediante cuarteo la cantidad de muestra necesaria hasta obtener una muestra representativa para la realización del ensayo.

La muestra se secará al aire o en la estufa, pero siempre a temperatura inferior a 60°C hasta que se pueda deshacer con el mortero o maceta de goma. Finalmente se determinará su masa con una precisión de 1 gr.

Procedimiento de trabajo:

En primer lugar hay que pasar la muestra por encima del tamiz de 20 mm Norma UNE 7050-2. En ciertos casos, hay que lavar el material soez que queda retenido en éste con el fin de hacer la separación del material fino. Para recoger la fracción fina, habrá que decantar el agua de lavado, secarlo hasta conseguir una masa seca constante y finalmente añadirlo de nuevo a la fracción que pasa por el tamiz 20,0 mm Norma UNE 7050 - 2.

En caso de haber lavado la fracción retenida en el tamiz de 20 mm, se pone en la estufa hasta conseguir una masa constante, se deja que se enfríe hasta equilibrarse la temperatura y se tamiza con la serie de cribas con malla superior a 20 mm, anotando la masa de la cantidad retenida en cada una de ellas.

De la fracción que pasa la criba de 20 mm se cuarteará hasta obtener una porción próxima a 2 kg y se repetirá el procedimiento anterior con el tamiz de 2 mm Norma UNE 7050-2. Esta vez el tamizado será con la serie elegida de cribas de medida comprendida entre 20 mm y 2 mm, anotando de nuevo la masa retenida en cada uno.

De la fracción que pasa la criba de 2 mm se cuarteará hasta obtener dos porciones de unos 150 gramos cada una en suelos arenosos y de 80 gramos cada una en suelos arcillosos o limosos. De una de las porciones se tomarán unos 20 gramos y se determinará su humedad higroscópica. De la otra porción, se tomarán unos 100 gramos en caso de arenas y 50 en caso de limos/arcillas. Se pasaran a un vaso de precipitados y se añadirá lentamente, al mismo tiempo que se remueve con una varita de vidrio, unos 125 cm³ de solución de hexametáfosfato sódico al 4% y se deja en reposo unas 18 horas. Acto seguido se pasa la suspensión al vaso de agitación; se añade agua destilada hasta unos 5 cm del borde y se agita la suspensión durante un minuto a unas 10 000 rpm.

Si sólo se realiza el análisis granulométrico por tamizado, se vierte esta suspensión sobre el tamiz de 0,08 mm y se inicia de nuevo el procedimiento anterior de lavado, secado, enfriado y finalmente tamizado con la serie elegida entre 2 mm y 0,08 mm, anotando la masa retenida en cada uno de ellos.

Obtención y expresión de los resultados:

Para la obtención de los resultados crearemos una metodología de trabajo concreta. Esta metodología se basa en la elaboración de tablas con simples cálculos para hacer sencilla la representación de los resultados. En estas tablas tendremos una relación de datos entre el diámetro del tamiz y el porcentaje que ha quedado retenido en éste medido en la balanza. A partir de aquí se iniciarán una serie de sencillos cálculos para obtener las fracciones y porcentajes retenidos y acumulados para acabar encontrando el porcentaje que pasa. Finalmente, se expresan los resultados del porcentaje que pasa y el tamaño de los tamices, obteniendo una gráfica de la que se podrá obtener datos como el D60 (diámetro de las partículas que cumple: % que pasa = 60 %), D30 y D10. Datos necesarios para definir parámetros como el coeficiente de uniformidad (Cu) y grado de curvatura (Cc) de la curva granulométrica (Tabla 3.3, Parámetros de uniformidad, (González de Vallejo *et al.*, 2002)).

Grado de uniformidad	Cu
Suelo bien graduado	> 20
Suelo poco uniforme	20 – 5
Suelo uniforme	< 5

Tabla 3.3 Parámetros de uniformidad (González de Vallejo *et al.*, 2002)

3.2.3.3. UNE 103 103 de 1994. Determinación del límite líquido de un suelo mediante la cuchara de Casagrande.

Objetivo:

El objetivo de esta norma es establecer el método para determinar el límite líquido de un suelo mediante el aparato de Casagrande.

Se considerará el límite líquido como la humedad que tiene un suelo amasado en agua y colocado en una cuchara normalizada, cuando un surco, realizado con un acanalador normalizado, que divide la muestra de suelo en 2 mitades, se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm, después de haber dejado caer 25 veces la cuchara desde una altura de 10 mm sobre una base también normalizada, con una frecuencia de 2 golpes para segundo.

Materiales y objetos necesarios o recomendados:

- Un aparato de *Casagrande*.
- Un acanalador normalizado.
- Espátulas de hoja flexible de diferentes tamaños.
- Una balanza de precisión de hasta 0,001 gramos.
- Un tamiz de 0,4 mm.
- Una superficie plana, como la de un vidrio, para el amasado de la muestra.
- Un horno para el secado, que llegue hasta los 115°C.
- Mortero y pilón con goma en la parte inferior.
- Una cámara húmeda que mantenga una humedad relativa de $95\% \pm 5\%$ i una temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$.
- Calibradores, pinzas para manipular, recipientes para realizar lavados y agua destilada.
- Solución de hexametáfosfato sódico al 4%.

Preparación de la muestra:

Vía directa:

Se toman 200 gramos de una muestra representativa del suelo y se divide sobre la superficie de vidrio varias porciones. Si contiene algunas partículas considerablemente mayores de 400 μm , tales como caparzones o conchas, brecha, guijarros... se retiran por medio de unas pinzas y se determina la masa para conocer la

proporción que representan de la masa total analizada. Se añade agua destilada y se amasa convenientemente, hasta conseguir una masa homogénea. Finalizado el proceso se dejará reposar la masa unas 24 horas en la cámara húmeda para que se homogeneice la humedad.

Vía húmeda:

Utilizaremos este procedimiento cuando tengamos un suelo de grano fino con una considerable proporción de otros materiales de grano más grande.

Tomaremos una proporción representativa del suelo, tal que se pueda obtener una muestra de 300 gramos de material inferior a 0,4 mm. Se coloca en un recipiente y se añade agua destilada hasta cubrirla y se remueve con una varita hasta conseguir un líquido denso.

Se añade la proporción necesaria de hexametáfosfato sódico al 4% con el fin de facilitar la disgregación de la solución y la eliminación del agua al decantar más rápidamente en el fondo del recipiente las partículas de tamaño más pequeño.

Verteremos la solución sobre el tamiz de 0,4 mm colocado sobre el recipiente adecuado (un cubo) y se lava en agua destilada el material que quede en el tamiz hasta conseguir que pasen todas las partículas de tamaño inferior.

Dejaremos sedimentar la suspensión obtenida y eliminaremos el agua limpia que haya por encima del material depositado. Se seca al aire o en el horno (temperatura inferior a 60°C).

Consideraremos el proceso finalizado cuando la consistencia de esta pasta sea la adecuada para iniciar el amasado con las espátulas sobre el vidrio.

Procedimiento de trabajo:

Separamos la cuchara del resto del aparato. Sujetada fuertemente con la palma de la mano y por medio de una espátula, colocaremos en su interior (en la zona donde la cuchara descansará sobre la base), una porción de suelo previamente amasado. Hace falta presionar la muestra y extenderla de manera que el material tenga la altura de unos 10 milímetros en el punto de máximo espesor y forme una superficie lisa. Hay que evitar las burbujas de aire en el material ya que nos harán repetir el ensayo en caso de detectar alguna.

Aún con la cuchara en la mano, haremos el surco con el acanalador de Casagrande, en el sentido de arriba abajo y manteniéndolo en todo momento perpendicular a la superficie de la cuchara, describiremos un arco. Después de hacer el surco, se coloca la cuchara en el aparato, comprobando que no haya restos de material en la parte inferior de ésta. Giraremos la manivela a una velocidad aproximada de 2 vueltas por segundo. Se

contarán los golpes realizados necesarios a fin que las paredes del surco se unan por el fondo del mismo una distancia de 13 milímetros.

Si el número de golpes está comprendido entre 15 y 35, ambos incluidos, se tomará una porción entre 10 y 15 gramos del suelo (próximo en las paredes del surco donde se ha encerrado) y se determinará su humedad según la Norma UNE 103 300. Si el número de golpes no está comprendido entre 15 y 35, la determinación no será válida.

Repetiremos el ensayo hasta obtener dos muestras, la primera entre 25 y 15 golpes y la segunda entre 35 y 25.

En caso de tener una muestra que siempre se cierra con un número de golpes inferior a 25, es que no se puede determinar el límite líquido y se tiene que anotar este suelo como no plástico sin realizar el ensayo correspondiente.

Resultados:

Hace falta llevar las dos determinaciones en un gráfico que tenga en las abscisas el número de golpes y en las ordenadas la humedad (ambas en escala logarítmica).

Trazaremos una recta paralela a la línea de puntos del gráfico, que equidiste de las dos determinaciones anteriores. La humedad del punto de intersección de esta recta con la ordenada correspondiente a 25 golpes, expresada con una cifra decimal y sin añadir las palabras "tanto por cien", es el límite líquido.

Según la norma, la línea de puntos, de pendiente $-0'117$, se ha obtenido después de numerosas determinaciones, de las que se ha deducido que, para un mismo suelo, los puntos correspondientes en diferentes grados de humedad forman esta recta en una doble escala logarítmica, la pendiente de la cual es independiente del origen geológico del suelo.

Finalmente, si la recta trazada dista mucho de ambos puntos, se tendrá que hacer una tercera determinación para comprobar si hay algún error en las otras dos, o bien, si por tratarse de uno tipo de suelo muy especial, no sigue la ley indicada. En este último caso, se trazará la recta que mejor se adapte a los tres puntos obtenidos.

Observaciones:

Para un buen funcionamiento del ensayo, con cierta frecuencia se debe realizar una calibración de los aparatos.

Para el aparato de Casagrande se debe comprobar que el conjunto esté limpio y en buen estado. Sustituir la cuchara si está deteriorada, así como cualquier otro elemento (la leva, el pivote del gancho de suspensión de la cuchara...).

De la misma forma hay que inspeccionar regularmente los acanaladores, con el fin de verificar su desgaste, ya que su uso prolongado en suelos arenosos, puede acelerar este proceso. En caso de un acanalador desgastado, hay que sustituirlo por uno nuevo.

Para terminar, hay que ajustar la altura de la caída de la cuchara (10 mm 0,05 mm). Ésta comprobación se puede llevar a cabo gracias a un patrón que los acanaladores llevan en la parte posterior.

3.2.3.4. UNE 103 104 de 1993. Determinación del límite plástico de un suelo.

Objetivo:

El objetivo de esta norma es explicar el método para determinar el límite plástico de un suelo.

El límite plástico de un suelo quedará determinado como la humedad más baja con la que se pueda formar, con una muestra preparada de ese mismo suelo, cilindros de 3 mm de diámetro (aproximadamente el tubo porta tinta de un bolígrafo *Bic*®) haciéndolos rodar entre los dedos o en una superficie completamente lisa como la de un trozo de vidrio hasta que veamos que empiezan a crear grietas en el cilindro.

Materiales y objetos necesarios o recomendados:

- Una espátula de hoja flexible.
- Una balanza con una precisión de 0,001 gramos.
- Horno para el secado de muestras regulable y capaz de llegar a los 115°C.
- Pinzas para manipular objetos calientes.
- Un tamiz de 0,4 mm de abertura de malla.
- Un recipiente para limpieza y agua destilada.
- Una superficie lisa, como por ejemplo un vidrio, para amasar la muestra y hacerla rodar por encima.
- Un objeto cilíndrico de unos 3 mm para comparar con los cilindros formados.

Preparación de la muestra para el ensayo:

Primero debemos obtener una porción del suelo de aproximadamente 20 gramos y que pase por el tamiz de 0,4 mm entonces y siguiendo el procedimiento descrito en la norma UNE 103 103 (Determinación del límite líquido de un suelo mediante la cuchara de Casagrande) se amasa con agua destilada hasta formar una bola. De esta muestra se cogen unos 15 gramos.

Método de trabajo:

Se modela la mitad de la muestra en forma de elipsoide y a continuación se hace rodar sobre una superficie lisa. Cuando por fin consigamos formar un cilindro de unos 3 mm de diámetro comprobaremos que han aparecido grietas en su superficie. Si no es así, volveremos a amasar con lo que se logra perder algo de humedad y repetiremos la operación anterior. Una vez logrado el cilindro de 3 mm y hayamos observado que han aparecido grietas, se colocará la muestra en una balanza de precisión con tapa y se anotará el resultado.

Se determinará la humedad según la norma UNE 103 300.

Obtención y expresión de los resultados:

El límite plástico será la humedad encontrada en la muestra, con una sola cifra decimal y sin añadir las palabras “tanto por ciento”.

Las características que se suelen dar como representativas de la plasticidad de un suelo son el límite líquido (LI) y el índice de plasticidad (Ip). Este último es la diferencia entre el límite líquido (LI) y el límite plástico (Lp).

$$I_p = L_L - L_p$$

3.2.3.5. UNE 103 300 de 1993. Determinación de la humedad de un suelo mediante el secado en un horno.

Objetivo:

El objetivo de esta norma es caracterizar el método para determinar la humedad de una muestra de suelo mediante el secado en horno, definida a efectos de esta norma como el cociente (expresado en porcentaje) entre la masa de agua que pierde el suelo al secarlo y la masa del suelo seco.

Materiales y objetos necesarios o recomendados:

- Una báscula de una precisión de 0,001 gramos.
- Un horno para secar muestras, regulable y capaz de llegar a 115°C.
- Recipientes adecuados, hechos de materiales resistentes a la corrosión, que no se desintegren, ni que su masa cambie con reiterados calentamientos y enfriamientos. Tienen que tener tapas que cierren bien para evitar las pérdidas de humedad de las muestras antes de la determinación de la masa inicial y para evitar la absorción de humedad de la atmósfera después del secado y antes de la determinación de la masa final. Se puede usar recipientes sin tapa si antes de determinar la masa se deja enfriar en un desecador.
- Pinzas para manipular los recipientes calientes.

Método de trabajo:

Para empezar, escogemos una muestra representativa de suelo húmedo del cual se haya de determinar su humedad.

Determinaremos la masa M1 correspondiente en un recipiente limpio y seco.

Colocaremos la muestra en el recipiente y a continuación determinaremos y anotaremos su masa (M2).

Pondremos el recipiente con la muestra húmeda en el horno, manteniendo una temperatura entre 105°C y 115°C (en nuestro caso será de 110°C unas 18 horas, que suelen ser suficientes para secar cualquier tipo de suelo), hasta conseguir una masa constante y dejándola enfriar hasta temperatura ambiente. En los suelos con ciertas características (como por ejemplo suelos que contengan yeso) no se tiene que utilizar temperaturas superiores a 60°C por que se pueden alterar.

Una vez enfriada la muestra, hace falta tomar el recipiente con la muestra seca y anotar su masa (M3). La precisión de M1, M2 y M3 será la misma que la exigida en las básculas.

Obtención y expresión de los resultados:

Los resultados de los ensayos se expresan en tanto por ciento, con una cifra decimal y se determina mediante la expresión:

$$W = \frac{M_2 - M_3}{M_3 - M_1} \cdot 100$$

3.2.4 Resumen del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS):

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, SUCS (IRAM 10509 y ASTM D 2487 y 2488) es el de uso más extendido en la práctica geotécnica. Fue inicialmente propuesto por Arthurn Casagrande en 1932, tentativamente adoptado por el Departamento de ingeniería de los EEUU en 1942 y definitivamente presentado a la ASCE en 1948 (Casagrande, 1932, 1948). La U.S. Army Corps of Engineers comenzó a emplearla en 1953 en tanto que la U.S. Bureau of Reclamation lo hizo en 1974. Está basado en el análisis granulométrico y en los límites de Atterberg (límites líquido y plástico) de los suelos.

La primera y más importante decisión está dada por el contenido de finos, definido como el correspondiente a partículas de diámetro equivalente menor a 0,075 mm, pasante del tamiz #200. Si menos del 50% en peso del suelo pasa el tamiz #200, entonces el suelo es “grueso” y se subclasifica en arena o grava usando el tamiz #4. De otro modo, el suelo es “fino” y se subclasifica en limo o arcilla, usando los límites de plasticidad (Santamarina et al., 2001).

Está basado en el análisis granulométrico y los límites de Atterberg. El tamaño de las partículas determina la naturaleza de las fuerzas que gobiernan el comportamiento de los suelos. Fuerzas de naturaleza eléctrica (fuerzas atractivas y repulsivas de van der Waals) predominan en partículas menores a 75 mm (Tamiz #200). La importancia del tamiz #200 se hace evidente cuando se analizan las fuerzas dominantes sobre las partículas, incluyendo las de peso propio, las fuerzas debidas a los esfuerzos efectivos, fuerzas eléctricas, y fuerzas capilares.

Desde el punto de vista del diseño, la velocidad de disipación del exceso de presión de poros discrimina entre análisis en condiciones “drenadas” o en condiciones “no drenadas”.

Típicamente, las condiciones de carga “drenadas” están asociadas a suelos de grano grueso, en tanto que las de carga “no drenadas”, a suelos de grano fino. Sin embargo, un suelo de grano grueso pero con la presencia de sólo ~10% de finos ve afectada grandemente su permeabilidad, haciendo que su valor cambie en órdenes de magnitud. Consecuentemente, el SUCS tiene un rango del 5% al 12% de contenido de finos que modifica la clasificación de suelos. En efecto, un suelo granular con relación de vacíos $e \sim 0,6$ colmata su espacio intersticial con ~5% a 15% de finos. En la ausencia de finos, el empaquetamiento de granos en suelos gruesos (gravas o arenas) depende del coeficiente de uniformidad $C_u = D_{60}/D_{10}$; este determina las máximas y mínimas relaciones de vacío que un determinado suelo granular puede alcanzar. El coeficiente de curvatura $C_c = D_{30}^2 / (D_{10} \cdot D_{60})$ agrega información acerca de la convexidad de la curva granulométrica, indicando la presencia de diámetros extremos (Santamarina et al., 2001).

Por otro lado, los límites de Atterberg son escogidos para clasificar los suelos finos. A continuación vemos la tabla 3.4 (Lazo y Rodríguez, 2006) que nos ayuda a clasificar y encontrar cada tipo de suelo.

Criterios para la asignación de símbolos de grupo y nombre de grupo con el uso de ensayos de laboratorio		Clasificación de suelos	
		Símbolo de grupo	Nombre del grupo
	Gravas limpias. Menos del 5% pasa la malla No. 200	GW	Grava bien graduada
		GP	Grava mal graduada
Gravas Mas del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla No. 4	IP < 4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM	Grava limosa
	IP > 7 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC	Grava arcillosa
Suelos de partículas gruesas mas del 50% es retenido en la malla No. 200	Cumple los criterios para GW y GM	GW-GM	Grava bien graduada con limo
	Cumple los criterios para GW y GC	GW-GC	Grava bien graduada con arcilla
	Cumple los criterios para GP y GM	GP-GM	Grava mal graduada con limo
	Cumple los criterios para GP y GC	GP-GC	Grava mal graduada con arcilla
Arenas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200	Cu ≥ 6 y 1 \leq Cc ≤ 3	SW	Arena bien graduada
	Cu < 6 y 1 > Cc > 3	SP	Arena mal graduada
Arenas El 50% o mas de la fracción gruesa pasa la malla No. 4	IP < 4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM	Arena limosa
	IP > 7 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC	Arena arcillosa
Suelos de partículas finas El 50% o mas pasa la malla No. 200	Cumple los criterios para SW y SM	SW-SM	Arena bien graduada con limo
	Cumple los criterios para SW y SC	SW-SC	Arena bien graduada con arcilla
	Cumple los criterios para SP y SM	SP-SM	Arena mal graduada con limo
	Cumple los criterios para SP y SC	SP-SC	Arena mal graduada con arcilla
Limos y arcillas Limite Líquido menor que 50	IP > 7 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CL	Arcilla de baja plasticidad
	IP < 4 y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	ML	Limo de baja plasticidad
Suelos de partículas finas El 50% o mas pasa la malla No. 200	Limite líquido - secado al horno limite líquido - no secado < 0.75	OL	Arcilla orgánica Limo orgánico
	IP > 7 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad
Limos y arcillas Limite Líquido mayor que 50	IP < 4 y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	MH	Limo de alta plasticidad
	Limite líquido - secado al horno limite líquido - no secado < 0.75	OH	Arcilla orgánica Limo orgánica
Suelos altamente orgánicos	Principalmente materia orgánica de color oscuro	PT	Turba

Tabla 3.4 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

3.3. Trabajo de gabinete:

El trabajo de gabinete ha consistido en la realización de la memoria y la consulta de bibliografía de la zona de estudio, así como cortes geológicos y artículos de revista que nos indican que unidades geotécnicas nos encontramos. También se ha consultado bibliografía relacionada con la geotecnia, en este caso con la mecánica de suelos y los problemas geotécnicos que estos puedan sufrir.

4. Contexto Geológico de la zona Sur de Barcelona.

4.1. Introducción a la zona.

El lugar escogido para el estudio es el sur de la ciudad de Barcelona. Concretamente, una zona entre la montaña de Montjuïc, la Zona Franca y l'Hospitalet de Llobregat.

Para entender mejor la geología de la zona estudiada recurriremos a la tesis de Gàmez (2007) y a un artículo de Parcerisa et al. (2008). También vemos (Tabla 4.1) las diferentes edades geológicas que nos encontramos en los sondeos estudiados y así podamos referenciarlos en el tiempo.

Eón	Era	Periodo	Época	Edad	Edad inicio (Ma)
Fanerozoico	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	(...)	
			Pleistoceno		
		Neógeno	Plioceno		5,33
			Mioceno	Mesiniense	
				Tortonense	11,6
				Serravallense	
				Languense	
				Burdigaliense	15,97
		Aquitaniense			

Tabla 4.1 Representación de los tiempos geológicos.

4.2. Geología de superficie.

4.2.1. Marco Geográfico.

La zona de estudio se encuentra en la Península Ibérica, en la Comunidad Autónoma de Cataluña, en la comarca del Barcelonés, provincia de Barcelona (Figura 4.1). Concretamente en la parte sur de la ciudad de Barcelona, la Zona Franca y Hospitalet de Llobregat.

En cuanto a la morfología del terreno, en el lado marino y el sur de la ciudad, se alza la montaña de Montjuïc (189 m), acompañada por una serie de elevaciones menores, algunas de ellas difíciles de ver por la progresión urbanística de la ciudad. Estos altos aparecen rodeados por la planicie deltaica del Llobregat, de morfología muy suave y situada generalmente por debajo de los 10 - 15 metros sobre el nivel del mar. El delta del Llobregat comprende una superficie de aproximadamente 92 km² de superficie.

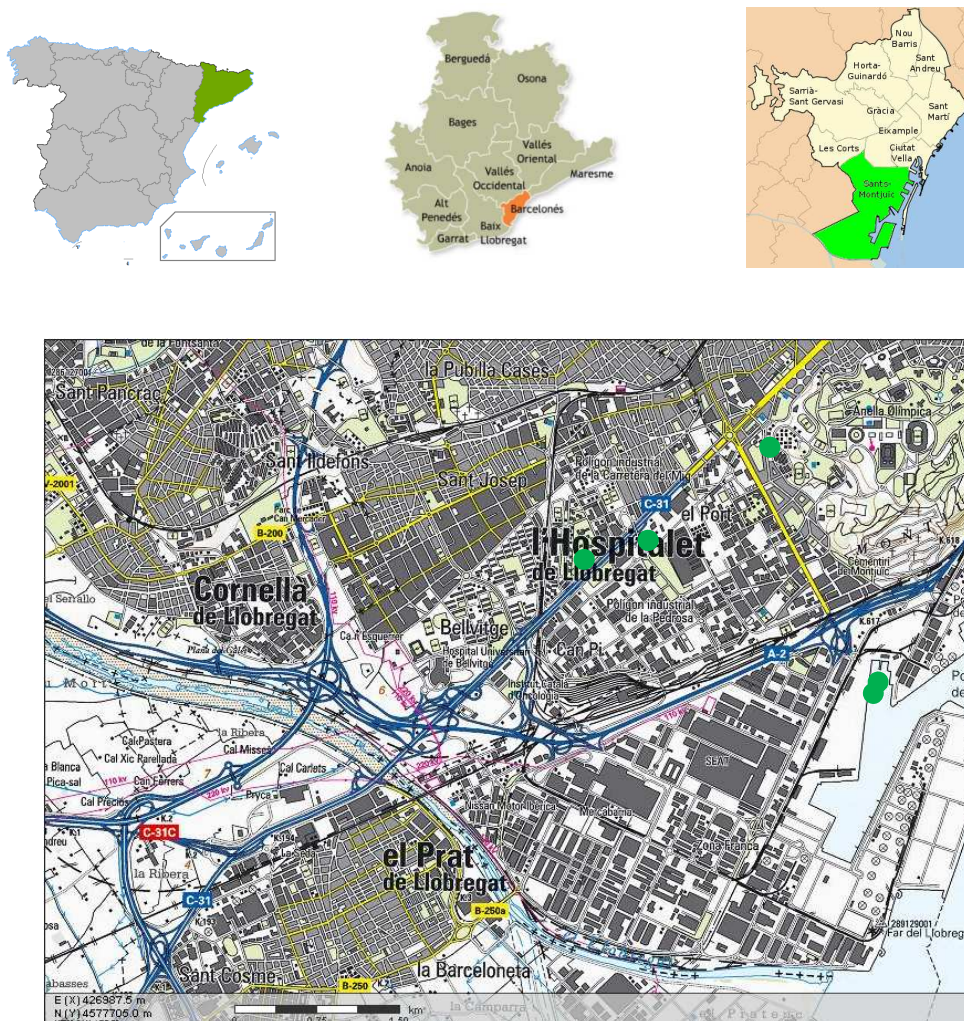


Figura 4.1 Situación geográfica. Los sondeos están señalizados en color verde.

4.2.2 Contexto Geológico.

Los deltas del Besós y del Llobregat son geológicamente jóvenes, ya que se han formado durante el Cuaternario. Entre los sedimentos deltaicos se encuentran limos y arcillas de las llanuras de inundación, arcillas integradas por la planicie de *piedemonte* del llano de Barcelona y los deltas de los ríos Besós y Llobregat (Ventayol, 1993; Ventayol et al., 2002), depositadas en las desembocaduras de los deltas, arenas y gravas fluviales, arcillas y limos sedimentados en el frente deltaico, y también arenas litorales de playa (Gàmez, 2007; Marqués, 1984).

Por debajo de los materiales Deltaicos Cuaternarios, el subsuelo de Barcelona está constituido por un sustrato pre-cuaternario, que comprende un sustrato Paleozoico y Triásico aflorante, los macizos de Collserola y *Els serrats de la Rovira*, los sedimentos Miocenos de Montjuïc y de Badalona, y las margas y arenas pliocenas (Parcerisa et al., 2008).

4.2.3 El Cuaternario de la franja litoral deltaica.

Los deltas de los ríos Llobregat y Besós, como todos los del mar Mediterráneo, son formaciones geológicas muy recientes (Marqués, 1984), ya que se han formado después de la última glaciación, que comportó la elevación del nivel del mar en unos cien metros, hace unos quince mil años (Medialdea et al., 1986, 1989; Gàmez, 2007). Como resultado de este ascenso, los ríos iniciaron la deposición de sedimentos en la desembocadura, que poco a poco fue progresando hacia el mar. El esquema litológico de los deltas, de la base a la parte superior, es el siguiente (Marqués, 1984):

Nivel aluvial inferior; de 5 a 10 metros de potencia, formado por gravas rodadas y arenas con gravas, de origen fluvial y que representan los sedimentos aluviales anteriores al delta. Son la sede del acuífero cautivo, el acuífero profundo.

Nivel intermedio de sedimentos de prodelta (cuña semipermeable que confina el nivel precedente). Son los sedimentos depositados en la parte sumergida del frente deltaico, y están constituidos por materiales finos (arcillas y limos, limos arenosos y arenas finas o limosas, generalmente grises. Este cuerpo sedimentario disminuye río arriba, y también lateralmente, hasta desaparecer en las zonas marginales interiores de los deltas.

Nivel detrítico superior; formado por arenas medias a gruesas, bien seleccionadas, que representan la sedimentación fluviodeltaica y litoral progresando sobre los sedimentos del prodelta. Son la sede del acuífero superior, que normalmente es de tipo libre cuándo no queda confinado por la unidad siguiente.

Nivel superficial; formado por arcillas y limos que corresponden a la llanura de inundación deltaica. Son sedimentos de color marrón, y arcillas grises que presentan frecuentemente restos orgánicos.

La potencia de estos depósitos aumenta en dirección al mar. En la línea de costa, alcanza los 70 metros en el Llobregat y los 55 metros en el Besós. Estos espesores, corresponden a la base de las gravas del acuífero profundo, que no siempre coinciden con la parte superior del sustrato precuaternalio. Así, en el Llobregat, en las zonas centrales próximas al mar, por debajo de las gravas y antes de las arcillas azuladas pliocenas, se sitúa el llamado complejo detrítico inferior, formado por niveles detríticos amarillentos, con pasadas arcillosas.

En el nivel intermedio los sedimentos arcillosos y las arenas finas tienen una distribución irregular. En algunas áreas la potencia acumulada de arcillas supera los 15 - 20 metros. Ésta zona es relativamente pequeña en el Besós y más grande en el Llobregat.

Las arenas medias y gruesas del acuífero superior se encuentran hasta los 10 - 15 metros de profundidad, y a partir de aquí pueden encontrarse cambios en sedimentos finos, ya sean arenas de grano fino o sedimentos limosos - arcillosos.

Las arcillas superficiales, de la planicie de inundación deltaica, son generalmente de tono marrón. No obstante, en esta unidad también se incluyen arcillas y limos generados en zonas de marisma, siendo entonces de coloración gris. Su potencia no es homogénea. En el Llobregat su espesor es mínimo cerca de la costa, generalmente inferior a los 3 metros, mientras que en zonas interiores del delta, puede llegar a superar los 10 metros. En el Besós, estas arcillas tienen una extensión lateral menor, pero en determinados puntos pueden superar los 15 metros de potencia.

La zona marítima desarrollada entre los dos deltas está formada por sedimentos mayoritariamente arenosos, de aportación litoral. En esta franja hay que incluir todo el barrio de la Barceloneta, generado a partir del siglo XVIII por la sedimentación litoral de deriva, que fue alterada por el crecimiento del puerto. De hecho, la evolución de la línea de costa a lo largo de los dos milenios puede reconstruirse a partir de datos arqueológicos, geomorfológicos y palinológicos (Marqués, 1984; Izquierdo et al., 1998). En la época romana, las aguas alcanzaban la vertiente marina del Monte Tàber y después el litoral seguía por la parte alta del actual Parque de la Ciudadela, hacia la zona de la Calle Pere IV y la carretera antigua de Valencia, además de un kilómetro de las playas actuales.

A medida que la costa avanzaba, se generaron zonas húmedas o pantanales, muchas de las cuales todavía quedan registradas en la toponimia de la ciudad (el Hoyo, la Llacuna, etc.). Las zonas de Casa Arana, la Ricarda o el Remolar son otras marismas todavía existentes hoy día en el delta del Llobregat.

El estanque del puerto, situado al pie de Montjuïc, ya hace tiempo que desapareció. Entre Montjuïc y el Monte Tàber, aprovechando una depresión existente durante todo el Cuaternario, se instaló un complejo lacustre conocido hasta en la baja Edad Media con el nombre del Cagalell. Posiblemente, el Cagalell se formó después de la última fase glacial (hará unos 15.000 años), con la respectiva elevación del nivel del mar, cuándo una línea de arena litoral cerró la bahía que se había formado entre Montjuïc y el Monte Tàber (bajo el monumento de Colón).

En esta misma marisma, se depositaron lodos arcillosos de color gris o negro, debido a la abundante materia orgánica vegetal. Estos sedimentos se sitúan actualmente entre los 7 y los 15 metros de profundidad. En esta zona pantanosa, desembocaban y morían en el mar, muchas de las ramblas que cruzaban la planicie de la ciudad: ramblas de Valldonzella, de Magòria y de la Creu d'en Malla. Posiblemente, también se desvió en el Cagalell la rambla de Collserola, que es el de la Rambla.

Con el tiempo, estos mismos arroyos y la acción entrópica fueron rellenando la marisma, por lo que ya no figura en los primeros mapas de la ciudad, del siglo XVI.

4.3 Geología del subsuelo.

4.3.1 – Mioceno Inferior Continental

Esta unidad está representada por una serie de brechas y arcillas que normalmente son de color rojo (Parcerisa et al., 2008).

La unidad de brechas y arcillas rojas (Mioceno Continental) se encuentra en contacto erosivo por encima de un zócalo de edad Paleozoica y Triásica. Desde un punto de vista petrológico, las brechas de esta unidad están formadas por fragmentos de rocas metamórficas y granos de cuarzo.

Los sedimentos de esta unidad se interpretan como pequeños abanicos aluviales que rellenaban paleovalles y erosionaban los paleo-relieves más próximos (Parcerisa et al., 2008).

En referencia a la edad de este Mioceno Continental, y por similitud con el relleno de la depresión Vallès-Penedès (Cabrera, 1979; Parcerisa et al., 2008), se propone una edad Mioceno Inferior para estos materiales. Recientes análisis de micromamíferos confirman la edad como Burdigaliense (Casanovas-Vilar et al., 2010).

4.3.2. – Mioceno Medio deltaico

Esta unidad es representada por una serie de conglomerados, areniscas ocre y blancas y margas que se corresponden con los depósitos de Montjuïc, estos materiales se formaron en un ambiente marino deltaico durante el Languense-Serravalliense (Gómez-Gras et al., Parcerisa et al., 2008).

Esta unidad desaparece de forma abrupta debido a la presencia de la falla del Morrot. El fuerte aumento de potencia hacia el nordeste hace contemplar la presencia de diversas fallas normales que hundieron progresivamente el Mioceno Inferior Continental creando una depresión ocupada por el Mioceno Medio (Parcerisa et al., 2008).

Hay que destacar que los materiales están fuertemente cementados en algunos sondeos y en los afloramientos de la montaña de Montjuïc, sin embargo en otros sondeos, estas areniscas se encuentran sin cementar.

4.3.3 – Plioceno

Esta unidad está formada por limos y arcillas amarillentas y grisáceas. A menudo, la relación de esta unidad con las subyacentes es mediante fallas o paleo superficies de erosión (Parcerisa et al., 2008).

Esta unidad de limos y arcillas grises y amarillentas ha sido interpretada clásicamente como el Plioceno de la depresión de Barcelona y ha sido datada mediante micro foraminíferos (Magné, 1978). Clásicamente se han

diferenciado dos unidades en el Plioceno, una unidad superior de color amarillento de una potencia muy irregular que nunca supera los 10 metros en los sondeos estudiados, y una unidad gris mucho más potente en la parte inferior. El Plioceno amarillento superior se interpreta como un paleosuelo formado por la alteración de las arcillas grises durante un periodo de exhumación previo a la sedimentación cuaternaria (Parcerisa et al. 2008). Los materiales Pliocenos son los que tienen una distribución más extensa, y se encuentran prácticamente en el llano de Barcelona rellenando fosas tectónicas.

4.3.4 – Paleozoico

Aunque en nuestros sondeos no encontramos esta formación, describiremos de una forma genérica el Paleozoico en la ciudad de Barcelona. Esta edad corresponde a la sierra de Collserola y a todas las elevaciones de la ciudad (Ventayol, 2002).

Los materiales paleozoicos están representados por casi todos los períodos de la era. La columna estratigráfica resumida es la siguiente, de más antiguo a más moderno:

- *Cambroordovícico*: formado por una alternancia de pizarras y areniscas, localmente con intercalaciones de calizas. En el macizo de Collserola, estos sedimentos van asociados a veces con sills de rocas volcánicas de composición intermedia y básica. Hacia la parte alta de la serie hay niveles de cuarcita.
- *Silúrico*: constituido por pizarras negras ampelíticas, que localmente contienen intercalaciones de cuarcita.
- *Devónico*: calizas nodulosas en la base, que se disponen en bancos masivos, y calizas y dolomías bien estratificadas, con niveles de pizarra, hacia el techo.
- *Carbonífero*: liditas en la base, seguidas por areniscas verdes, con conglomerados con cantos de cuarzo y pizarra.

La estructura tectónica es bastante compleja, ya que durante la orogenia herciniana los sedimentos se plegaron, con un desarrollo polifásico de la deformación. En Collserola, las estructuras de primera fase corresponden a pliegues muy cerrados, de dirección general WNW-ESE y vergencia hacia el SSW. La foliación dominante tiene una inclinación muy constante entre 40-60° hacia el NNE. El macizo de pizarras está atravesado por abundantes filones de cuarzo, generados en esta fase.

En Collserola, la mayor parte de afloramientos corresponden a los niveles pizarrosos del ordovícico, y también, en parte, del silúrico. En los extremos del macizo se encuentran calizas devónicas, en el núcleo de sinclinales complejos: Santa Creu d'Olorda i turó de Montcada.

Al final de la orogenia herciniana se produce la intrusión de un batolito granítico (granodiorita) que, en la zona estudiada, aflora en Sarriá y Horta, al pie de Collserola.

Esta intrusión provocó la aparición de un metamorfismo de contacto en los sedimentos paleozoicos, que se caracteriza por una intensa recristalización de las rocas situadas en las proximidades del contacto, que adquieren aspectos masivos (corneanas), y por la aparición de pizarras moteadas al alejarnos de la intrusión (las motas son debidas a la aparición de nuevos minerales metamórficos). En las zonas más próximas al granito el metamorfismo oblitera la esquistosidad anterior, generando corneanas masivas.

Cuando el metamorfismo afecta materiales calizos, estos se transforman en esquistos calcosilicatados (Ventayol, 2002).

4.3.5 – Triásico

En el llano de Barcelona esta unidad es representada por una serie de areniscas rojas conocidas con el nombre de facies del Buntsandstein. Estas areniscas, estratigráficamente se sitúan a más profundidad que el resto de unidades y con una extensión muy reducida. Por eso aparecen muy puntualmente en algunos sondeos del Llano de la ciudad.

Estas areniscas rojas en realidad, no forman parte del relleno de la Depresión de Barcelona sino que son una parte de su sustrato. Petrológicamente, se ha observado una fuerte compactación química en los contactos entre los granos de cuarzo, eso indica que estas areniscas han sido enterradas varios centenares de metros en algún momento de su historia geológica (Parcerisa et al., 2008).

En la figura 4.2 se puede ver la distribución superficial de los distintos materiales que afloran en el suelo de la ciudad de Barcelona (Ventayol, 2002).

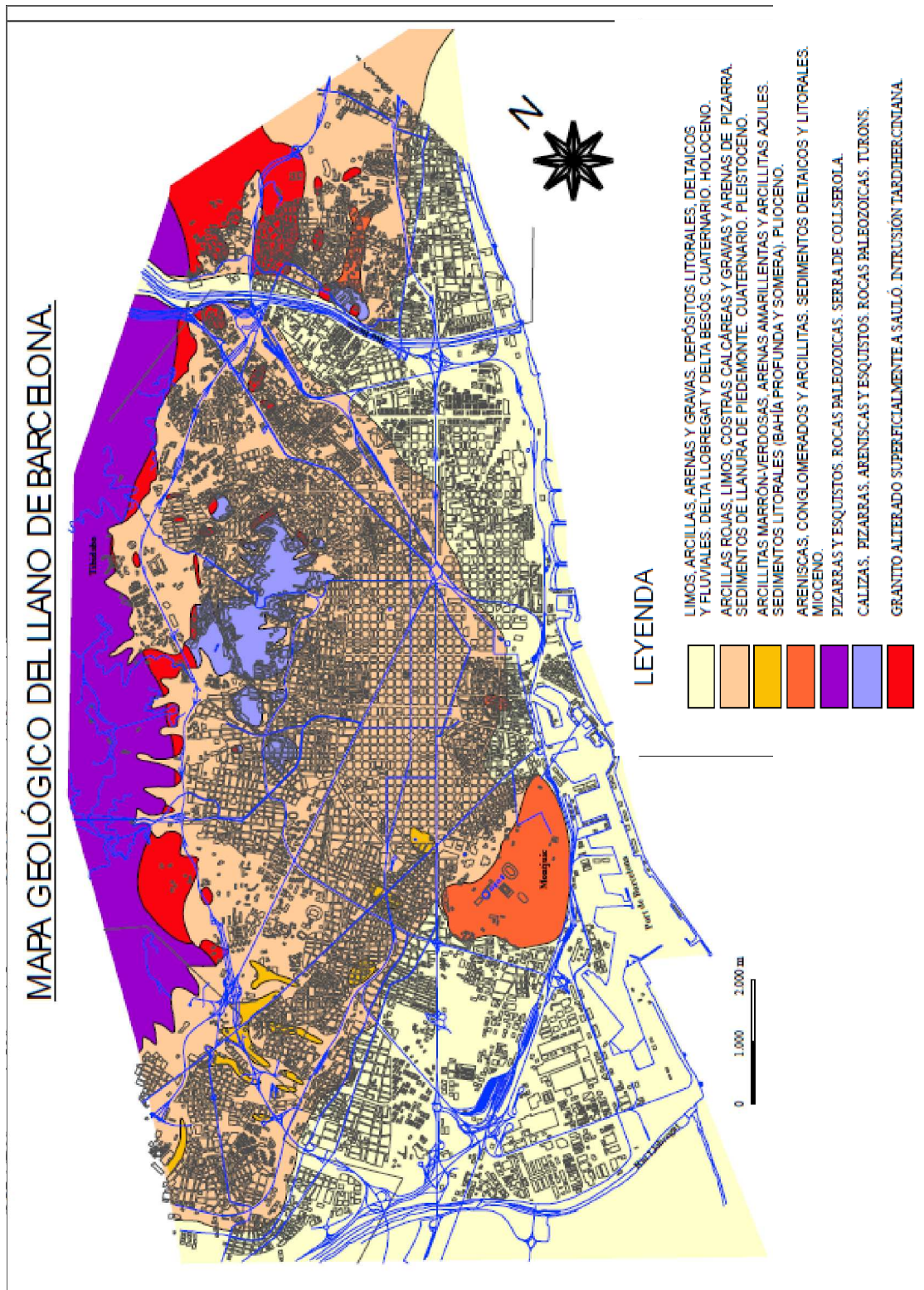


Figura 4.2 Mapa geológico básico de la ciudad de Barcelona (Ventayol, 2002).

5. Caracterización Geotécnica del área de estudio.

5.1. Introducción a la Caracterización Geotécnica.

Para caracterizar una formación geológica desde el punto de vista geotécnico, en primer lugar, hay que describir si esta formación está constituida por un suelo o por una roca (Matula, 1981; Dearman, 1991). Estos dos términos han generado cierta confusión a lo largo del tiempo, de hecho la definición de suelo y de roca no es exactamente la misma bajo el punto de vista de la Geología o de la Ingeniería del Terreno. Desde hace años, geólogos e ingenieros se han referido a "las rocas" como masas consolidadas de materia mineral que constituye la corteza terrestre, incluyendo los materiales duros, pero también los suelos (arenas, arcillas...).

Más recientemente (Gary et al., 1972), definieron roca, como cualquier formación natural, de material consolidado o no, compuesto por dos o más minerales (y en ocasiones por uno solo), que presenta un cierto grado de consistencia química o mineralógica.

Los sedimentos no consolidados como las arenas, limos y arcillas son conocidos por los ingenieros como suelos o "tierra", en contrapartida a los consolidados como calizas, areniscas, granitos y otras "rocas". Desde el punto de vista de la ingeniería, los suelos y las rocas son estudiados por dos disciplinas diferenciadas, la mecánica de rocas y la mecánica de suelos.

La siguiente cita extraída de Terzaghi y Peck (1967), establece una posible guía para diferenciar los suelos y las rocas. "Suelo es aquel agregado de partículas minerales que pueden ser disgregadas por medios tales como su agitación en agua. Por otra parte, la roca, es un agregado natural de minerales conectados por unas fuerzas cohesivas fuertes y permanentes. Como los términos "fuertes" y "permanentes" están sujetos a diferentes interpretaciones, la frontera entre suelo y roca es arbitraria."

Deree (1963), reconoció tres tipos de textura (la textura entrelazada típica del granito, la textura granular de la arenisca y la laminada - foliada de la mica). También prestó una atención especial a las discontinuidades, así como a las características superficiales y a los materiales de relleno.

La clasificación de las rocas y suelos destinada a la elaboración de mapas geológicos destinados a la ingeniería, tendría que estar basada en el fundamento de que las propiedades físicas y geológicas de una roca en el momento actual, dependen de una combinación de efectos como el ambiente en que se formó la

roca, la diagénesis, la historia metamórfica y tectónica y los procesos climatológicos (Matula, 1981; Dearman, 1991).

Este principio de clasificación hace posible, no sólo determinar las características litológicas y físicas de los suelos y las rocas, sino también conocer su distribución espacial. Este principio básico, a diferencia de otros procesos de creación de mapas geológicos no destinados a la ingeniería, no sólo clasifica muestras de roca individual, sino también su uso, observaciones de campo y mediciones para determinar las unidades rocosas. Hoy en día, todavía no disponemos del suficiente conocimiento de las relaciones entre las propiedades de la ingeniería y las características litológicas para establecer un sistema de clasificación unificada de suelos y rocas en los mapas geológicos para su uso en trabajos de ingeniería. En una clasificación así, cada grupo representaría una unidad de suelo o roca con un conjunto de propiedades para la ingeniería similares (Matula, 1981; Dearman, 1991).

5.2 Descripción de los sondeos.

Los sondeos utilizados para realizar este proyecto estaban almacenados en un cobertizo donde no eran afectados por la lluvia y el sol, pero sí por la humedad u otros agentes, por tanto, no se disponen de muestras inalteradas para un estudio más fehaciente de las características geotécnicas.

Gracias a la ayuda de la empresa Paymacotas, disponíamos de la localización de estos sondeos y se escogió una serie de sondeos donde se podía realizar un corte NW-SE contiguo al Paseo de la Zona Franca donde aparecen diferentes unidades geotécnicas.

Una vez elegidos, uno por uno fueron ordenados en el suelo por profundidad y testificados. Se realizó un ligero análisis para identificar las zonas más representativas para el trabajo y se cogieron las respectivas muestras. Las imágenes de la testificación de los sondeos se presentan en los anexos correspondientes (Anexo 1).

5.2.1 Descripción de campo: sondeo SVP-02 y SVP-03.

Estos dos sondeos están situados en la Zona Franca-Puerto. Se realizaron para tener un control piezométrico del lugar para la obra de la línea 9 del metro de Barcelona.

Ambos sondeos están testificados como una sola unidad que es el Cuaternario. Los sondeos comienzan con una capa de relleno antrópico, en SVP-02 hasta los 7 metros y en el SVP-03 únicamente hasta el metro y medio. A partir de aquí se suceden las capas de arenas tanto finas, medias como gruesas y eventualmente alguna pasada limosa o arcillosa y en ocasiones éstas son de color gris. En la base de los dos sondeos encontramos conchas de bivalvos por lo que podemos decir que son arenas de playa.

5.2.2 Descripción de campo: sondeo ZF.

Este sondeo se ubica en el paseo de la zona franca, antes de llegar a la plaza d'Ildefons Cerdà.

En la superficie encontramos una cata de 1,2 metros seguido de suelo antrópico hasta los 3 metros. A continuación una serie de arcillas marrones con pasadas de arenas ocre hasta casi los 9 metros. Tanto en el momento de la testificación como posteriormente en el análisis de la muestra 9 (Ver anexo 2), se han encontrado fósiles de gasterópodos terrestres, por lo que podemos decir que esta unidad pertenece al Cuaternario Continental.

Seguidamente, encontramos una capa de Microconglomerado hasta los 12 metros los cuales contienen nódulos carbonáticos. Luego una capa de un metro de espesor hasta los 13 metros de arcilla roja con algún canto de caliche. De los 13 metros hasta los 15 una capa de arenas de playa (contienen granos carbonáticos y algún resto de bivalvo). Desde los 15 metros hasta los 25 de profundidad del sondeo vemos una arcilla de diferentes tonalidades marrones y rojizas, aunque llegando a los 25 metros empieza a cambiar el color a ocre. Hasta los 28 metros continúan las arcillas, en este caso de color ocre y posteriormente marrón. Al llegar a los 29 metros encontramos un cambio de granulometría, pasamos a tener series de arenas medias y gruesas y capas de brechas con contenido en pizarra. Esta unidad abarca desde los 9 metros hasta los 36. Por sus características y su contenido en gasterópodos marinos diremos que se trata del Cuaternario Marino.

Seguidamente, de los 36 a los 40,5 metros de profundidad corresponde a arenas del Mioceno medio deltaico o Languiense-Serravallense.

El sondeo continua con una unidad diferente que contiene cantos de pizarra con una matriz arcillosa de color rojo, que abarca desde los 41 metros hasta el fin del sondeo a los 53 metros. Hay un aumento de granulometría importante de los 43 a los 49 metros y por tanto ya no se considera una arcilla y si un

Microconglomerado con matriz arcillosa. Debido a sus características denominaremos esta unidad como Mioceno Inferior o Burdigaliense.

5.2.3 Descripción de campo: sondeo PA.

La boca del sondeo se sitúa en la plaza del parque Alhambra, al lado de la estación d'Ildefons Cerdà.

Los primeros 4 metros del sondeo corresponden a una cata y no hay registro. Por debajo aparece una unidad de arcillas de color ocre que se interpreta como de origen Continental por la presencia de restos vegetales. Esta unidad se extiende hasta los 5,4 metros de profundidad. Entre 5,4 y 16,8 metros se encuentra una unidad arenosa. A esta unidad pertenecen la muestra 1 que son arenas bien graduadas y la muestra 2 siendo grava bien graduada con bolos de gres de +20 centímetros. Estas muestras se interpreta que son de origen deltaico y que corresponden a los depósitos deltaicos Cuaternarios del Llobregat. Hacia la base hay cantos que provienen del Mioceno Medio de Montjuïc.

A continuación se observa una unidad de limos y arena fina ocre que se correlaciona con los depósitos deltaicos del Mioceno Medio de Montjuïc.

Finalmente desde los 21,5 metros hasta el final del sondeo aparece una unidad de brechas y arcillas rojas donde predominan los cantos de pizarra. Esta unidad corresponde al Mioceno Inferior Continental depositado en ambiente aluvial, aunque entre los 26 y los 34 metros de profundidad hay una intercalación de arcillas grises, lo cual nos indica un ambiente lacustre en su formación.

5.2.4 Descripción de campo: sondeo SB.

Este sondeo está ubicado en la calle La Fortuna, zona bifurcación.

El sondeo consta solamente de una unidad, el Plioceno.

La testificación comprende una potencia de 18 metros, toda ella de arcillas grises homogéneas del Plioceno, desde una profundidad de 39 metros hasta los 57. Se han encontrado fósiles en esta unidad pertenecientes a la familia *Cassidae* (Figura 5.1) y se han identificado como pliocenas (Muñiz-Solís, 1996).



Figura 5.1 Fósiles del Plioceno (Fotografía cortesía del laboratorio de geología de la EPSEM y Q. Sanz).

5.3 Descripción de las unidades geotécnicas.

5.3.1 Mioceno Inferior Continental (Burdigaliense).

Nos encontramos con una unidad heterogénea, donde coexisten suelos cohesivos con no cohesivos, como podemos observar en la tabla 5.1.

Sondeo o muestra	Profundidad	Material	SUCS	ϕ deducido (°)	Tipo de análisis	Norma UNE	Cu - Ip
PA	32,6	Arcilla roja	CL	26°	Determinación del límite líquido	103 103	17,8
PA	32,6	Arcilla roja	CL	26°	Determinación del límite plástico	103 104	17,8
PA	42,4	Arcilla roja	CL	26°	Determinación del límite líquido	103 103	16,3
PA	42,4	Arcilla roja	CL	26°	Determinación del límite plástico	103 104	16,3
ZF	28,8	Arena gruesa	SW	30°	Granulométrico por tamizado	103 101	15
ZF	32,8	Arena con limos	SW-SM	30°	Granulométrico por tamizado	103 101	35,71
ZF	37,3	Arena gruesa	SW	30°	Granulométrico por tamizado	103 101	6,25
ZF	53	Arcilla roja	CL	26°	Determinación del límite líquido	103 103	19,8
ZF	53	Arcilla roja	CL	26°	Determinación del límite plástico	103 104	19,8

ϕ :Ángulo de rozamiento interno; Cu: Coeficiente de uniformidad en muestras granulares; Ip: Índice de plasticidad en muestras cohesivas

Tabla 5.1 Muestras que pertenecen al Mioceno Continental.

Esta unidad aparece en la parte profunda de los sondeos ZF y PA y se encuentra en la parte central del corte estudiado (Figura 5.9). Esencialmente es una unidad formada por materiales cohesivos (arcillas rojas y grises) y no cohesivos (brechas).

Los materiales cohesivos se pueden clasificar como arcillas de baja plasticidad (CL según clasificación SUCS, Figura 5.3) y poseen un ángulo de rozamiento interno deducido de 26° (González de Vallejo, 2006).

Los materiales granulares están compuestos por arenas y gravas angulares, a veces con matriz arcillosa. Se caracterizan por su buena graduación y se clasifica según SUCS como SW para las arenas y GW para las gravas (Figura 5.2) ya que su Cu es mayor a 6 según la tabla 3.4 (Lazo y Rodríguez, 2006). La unidad no cohesiva posee un ángulo de rozamiento interno deducido de 30°. En el sondeo ZF la unidad está formada mayoritariamente por brechas con matriz arcillosa (suelo granular) mientras que en el sondeo PA esta misma unidad es mayoritariamente arcillas con pequeñas intercalaciones de brechas y arenas.

A continuación se muestran las gráficas correspondientes a la granulometría de las muestras y los límites de Atterberg pertenecientes al Mioceno Inferior (Figura 5.2, 5.3).

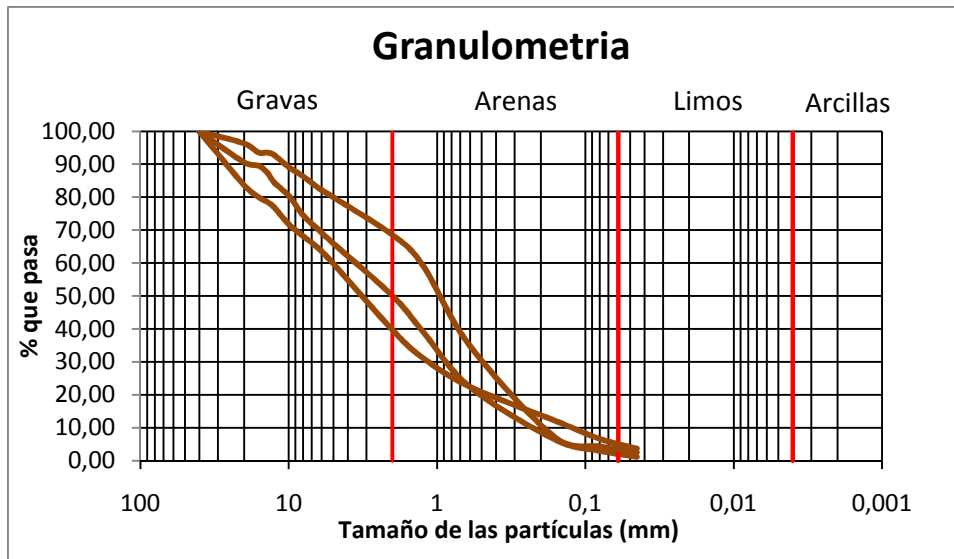


Figura 5.2 Granulometrías pertenecientes al Mioceno Inferior.

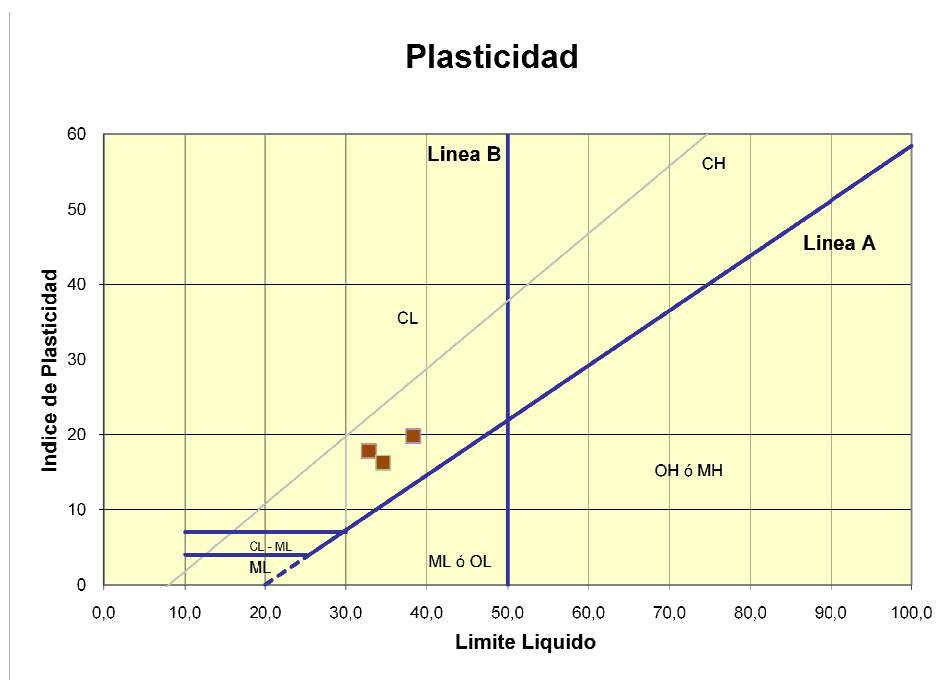


Figura 5.3 Plasticidades pertenecientes al Mioceno Inferior.

5.3.2 Mioceno Deltaico (Serravallense).

Tenemos una muestra de esta edad en la serie analizada y que se muestra a continuación (Tabla 5.2).

Sondeo o muestra	Profundidad	Material	SUCS	ϕ deducido (°)	Tipo de análisis	Norma UNE	Cu
PA	19,4	Arena limosa	SM	26°	Granulométrico por tamizado	103 101	5,07
ϕ :Ángulo de rozamiento interno; Cu: Coeficiente de uniformidad en muestras granulares							

Tabla 5.2 Muestra que pertenece al Mioceno Deltaico.

Esta unidad aparece en la mitad del sondeo PA, y representa una arena limosa ocre de formación deltaica. La arena limosa del sondeo PA tiene un coeficiente de uniformidad de 5,07 (Figura 5.4) y posee un ángulo de rozamiento interno deducido de 26° (González de Vallejo, 2006). La parte limosa no ha sido analizada.

A continuación se muestra la gráfica correspondiente a la granulometría (Figura 5.4).

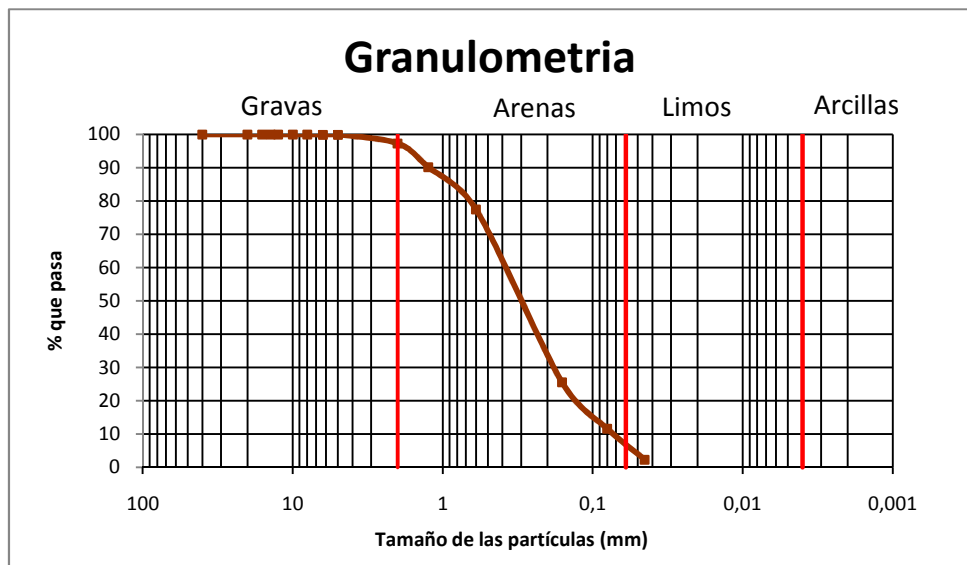


Figura 5.4 Granulometría perteneciente al Mioceno Deltaico.

5.3.3 Plioceno.

Para esta edad, tenemos un sondeo en el que encontramos arcillas grises y que se representa las características en la tabla 5.3:

Sondeo o muestra	Profundidad	Material	SUCS	ϕ deducido ($^{\circ}$)	Tipo de análisis	Norma UNE	Ip
SB	40,5	Arcilla gris	CL	26 $^{\circ}$	Determinación del límite líquido	103 103	13,3
SB	40,5	Arcilla gris	CL	26 $^{\circ}$	Determinación del límite plástico	103 104	13,3

ϕ : Ángulo de rozamiento interno; Ip: Índice de plasticidad en muestras cohesivas

Tabla 5.3 Muestra que pertenece al Plioceno.

Resulta una capa considerable de 18 metros, uniforme, con una clasificación SUCS de CL (Figura 5.5) o arcilla de baja plasticidad y con un ángulo de rozamiento interno deducido de 26 $^{\circ}$ (González de Vallejo, 2006).

A continuación se muestra la gráfica correspondiente a los límites de Atterberg pertenecientes al Plioceno (Figura 5.5).

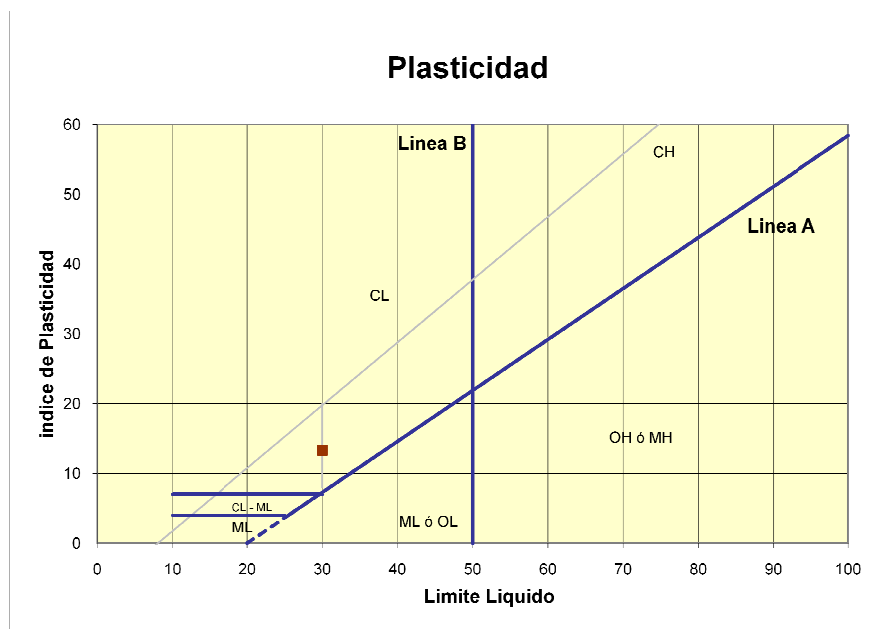


Figura 5.5 Plasticidad perteneciente al Plioceno.

5.3.4 Cuaternario Deltaico.

Dentro de esta unidad nos encontramos con materiales cohesivos y no cohesivos como se puede ver en la tabla 5.4:

Sondeo o muestra	Profundidad	Material	SUCS	ϕ deducido (°)	Tipo de análisis	Norma UNE	Cu - Ip
PA	9	Arena media/gruesa	SW-SM	30°	Granulométrico por tamizado	103 101	7,14
PA	13,5	Grava	GW	30°	Granulométrico por tamizado	103 101	26,36
SVP 02	8,8	Arcilla ocre	CL	26°	Determinación del límite líquido	103 103	16,8
SVP 02	8,8	Arcilla ocre	CL	26°	Determinación del límite plástico	103 104	16,8
SVP 02	14,7	Arena fina	SC-SM	26°	Granulométrico por tamizado	103 101	3,29
SVP 02	16,3	Arcilla marrón	CL	26°	Determinación del límite líquido	103 103	8,1
SVP 02	16,3	Arcilla marrón	CL	26°	Determinación del límite plástico	103 104	8,1
SVP 02	20,8	Arena media	SP	26°	Granulométrico por tamizado	103 101	4,64
SVP 02	23,7	Arena fina	SM	26°	Granulométrico por tamizado	103 101	0,61
SVP 03	3,5	Arcilla marrón	CL	26°	Determinación del límite líquido	103 103	9,1
SVP 03	3,5	Arcilla marrón	CL	26°	Determinación del límite plástico	103 104	9,1
SVP 03	6,6	Arena fina	SP-SC	26°	Granulométrico por tamizado	103 101	5
SVP 03	13	Arena gruesa	SP	26°	Granulométrico por tamizado	103 101	4,5
SVP 03	14,5	Arena media	SW-SC	30°	Granulométrico por tamizado	103 101	12,3
SVP 03	17,8	Arena limosa	SM	26°	Granulométrico por tamizado	103 101	5,14
SVP 03	18	Arena fina	SW	28°	Granulométrico por tamizado	103 101	21,43
SVP 03	20,3	Arena con limos	SP-SM	26°	Granulométrico por tamizado	103 101	5,07
SVP 03	20,7	Arena gruesa	SP	26°	Granulométrico por tamizado	103 101	4,36
ZF	9,4	Arena bien graduada	SW	30°	Granulométrico por tamizado	103 101	2,5
ZF	17,6	Arcilla marrón	CL	26°	Determinación del límite líquido	103 103	17,9
ZF	17,6	Arcilla marrón	CL	26°	Determinación del límite plástico	103 104	17,9
ZF	26	Arcilla marrón	CL	26°	Determinación del límite líquido	103 103	18,6
ZF	26	Arcilla marrón	CL	26°	Determinación del límite plástico	103 104	18,6

ϕ : Ángulo de rozamiento interno; Cu: Coeficiente de uniformidad en muestras granulares; Ip: Índice de plasticidad en muestras cohesivas

Tabla 5.4 Muestras que pertenecen al Cuaternario Deltaico.

Esta unidad es la más representativa, estando presente en 4 de los 5 sondeos testificados. Pertenecen a la parte superior del corte estudiado (Figura 5.9). Es también una unidad muy heterogénea, formada por materiales cohesivos (básicamente arcillas marrones y ocres) y materiales no cohesivos (arenas finas a medias de colores claros).

Podemos clasificar los materiales cohesivos como arcillas de baja plasticidad o CL según SUCS (Figura 5.7).

Los materiales no cohesivos son variables, tanto en tamaño de partícula como en su gradación (Figura 5.6).

Según nos acercamos al mar, las gradaciones son variables, contando con muestras bien graduadas en la zona NW (Sondeos PA y ZF) del corte estudiado (Figura 5.9) y con materiales granulares mal graduados al SE (Sondeos SVP-02 y SVP-03). Los primeros poseen un Cu que es mayor a 6 (Lazo y Rodríguez, 2006) y los

segundos o mal gradados tienen valores inferiores y vienen denominados según la clasificación SUCS como SP en la tabla 3.4 (Lazo y Rodríguez, 2006).

Respecto al ángulo de rozamiento interno deducido, las arcillas de baja plasticidad tienen un valor de 26° , las arenas con contenido en finos un valor de 28° y las arenas bien gradadas y con un contenido en finos menor al 5% un valor de 30° (González de Vallejo, 2006).

A continuación se muestran las gráficas correspondientes a la granulometría de las muestras y los límites de Atterberg pertenecientes al Cuaternario Deltaico (Figura 5.6, 5.7).

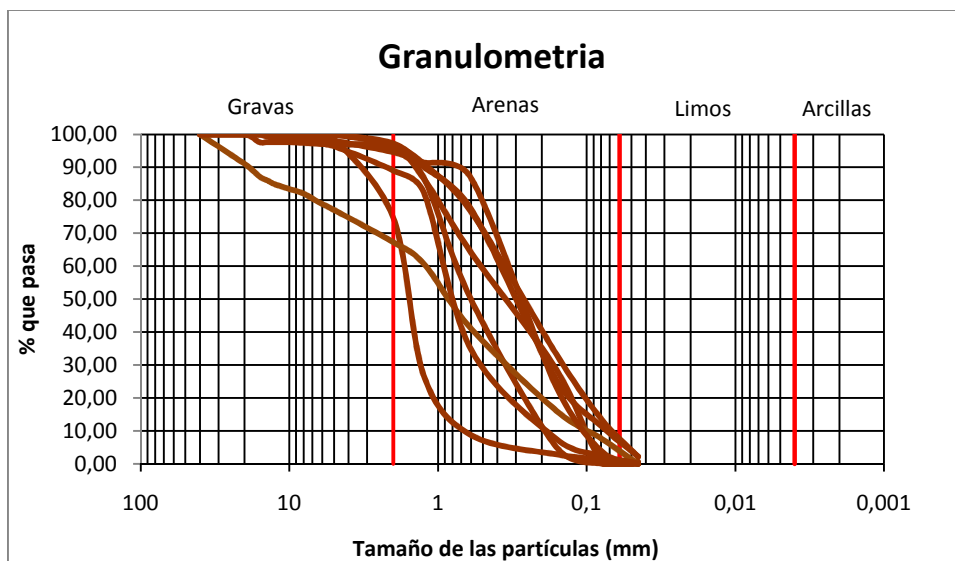


Figura 5.6 Granulometrías pertenecientes al Cuaternario Deltaico.

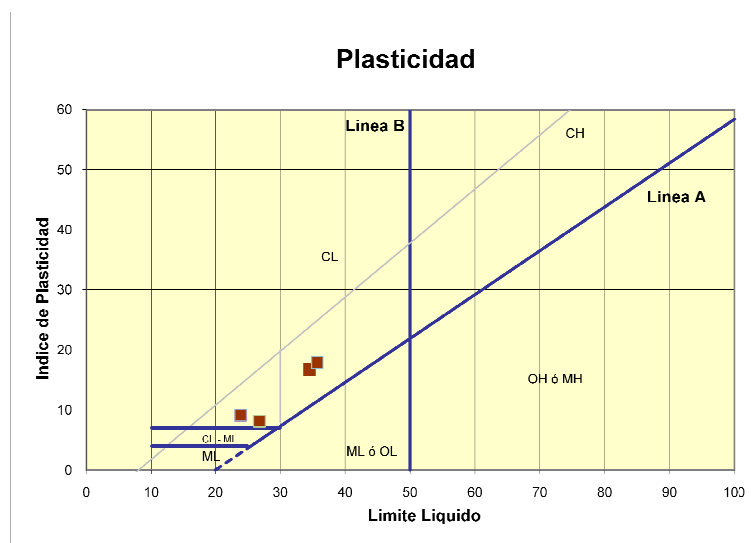


Figura 5.7 Plasticidades pertenecientes al Cuaternario Deltaico.

5.3.5 Cuaternario Continental.

En esta unidad, solo hemos encontrado una muestra que pertenece y se refleja en la tabla 5.5 a continuación:

Sondeo o muestra	Profundidad	Material	SUCS	ϕ deducido (°)	Tipo de análisis	Norma UNE	Ip
ZF	7,5	Arcilla marrón claro	CL	26°	Determinación del límite líquido	103 103	20,3
ZF	7,5	Arcilla marrón claro	CL	26°	Determinación del límite plástico	103 104	20,3

ϕ : Ángulo de rozamiento interno; Ip: Índice de plasticidad en muestras cohesivas

Tabla 5.5 Muestras que pertenecen al Cuaternario Continental.

Esta unidad pertenece a la edad más reciente a excepción del relleno antrópico y está formada por arcillas marrón claro de formación Continental. Es un material de baja plasticidad según SUCS (CL, Figura 5.8) y posee un ángulo de rozamiento interno deducido de 26° (González de Vallejo, 2006).

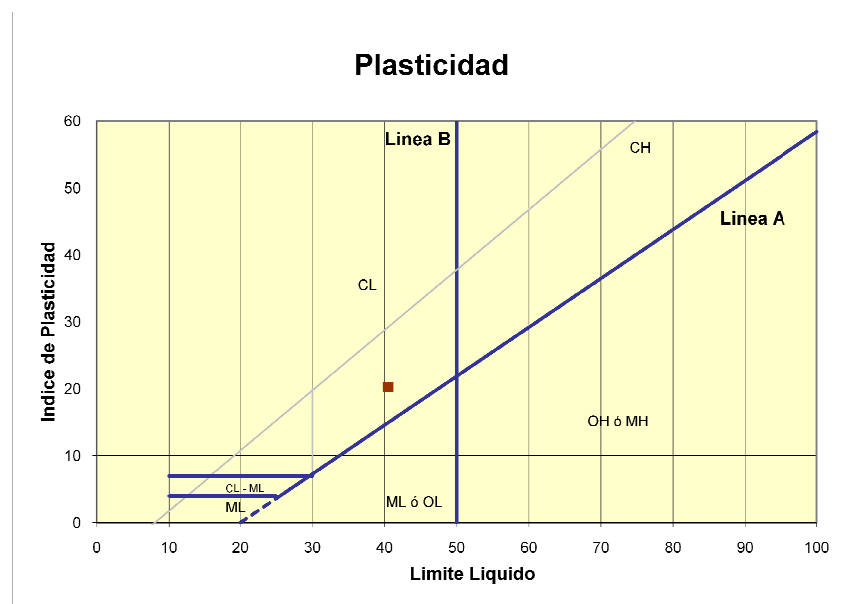


Figura 5.8 Plasticidad perteneciente al Cuaternario Continental.

5.3.6 Antrópico.

Por ser un material poco representativo para nuestro trabajo, no se cogieron muestras.

Aun así, tampoco representan, en estos casos, potencias elevadas como para ser significativas.

5.4 Distribución geométrica de las unidades (Corte geológico).

Después de la descripción de los sondeos analizados se ha representado un corte geológico (Figura 5.9) basado en un trabajo anterior (Parcerisa et al., 2008) de cómo quedan las diferentes edades representadas en orientación y profundidad.

Por tanto, identificaremos cada sondeo en el corte geológico propuesto quedando de la siguiente forma:

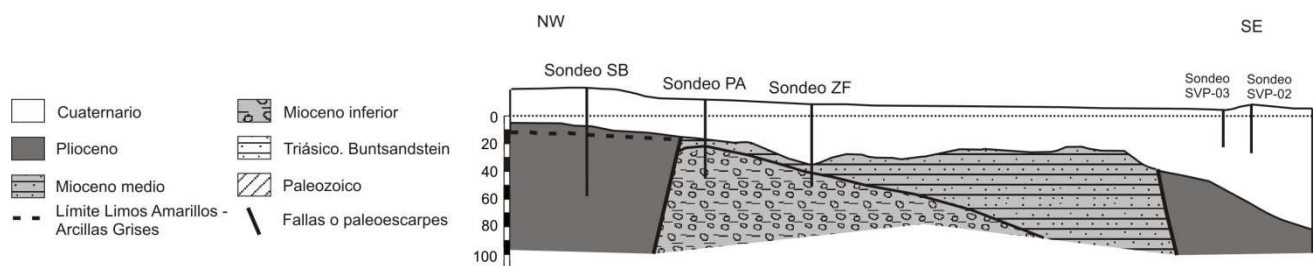


Figura 5.9 Corte geológico de la zona estudiada y situación de los sondeos en el corte.

Basado en un trabajo anterior (Parcerisa et al., 2008)

Como vemos en la figura, el corte se ha realizado de noroeste a sureste. En la dibujo se puede ver que el Cuaternario abarca toda la parte superior de los sondeos, diferenciando materiales Continentales en la parte superior y materiales Deltaicos en la parte inferior.

Por debajo de esta unidad geotécnica encontramos en la zona occidental o interior el Plioceno de arcillas grises testificado en el sondeo SB. En dirección al este aparece una falla que nos separa el Plioceno del Mioceno Medio e Inferior aproximadamente a una profundidad de 18 metros. Siguiendo el sentido de la figura, vemos como el Mioceno Inferior posee una potencia importante respecto del Medio como vemos en los sondeos PA y ZF pero a medida que nos acercamos a la línea de costa, buza y da protagonismo al Mioceno Medio aumentando éste de potencia progresivamente.

Seguidamente otra falla separa el Mioceno Medio del Plioceno aunque esta vez a una profundidad de unos 45 metros, por lo que en los sondeos cercanos a la costa (SVP-02 y SVP-03) no viene representado.

6. Discusión.

6.1. Características de los materiales analizados.

El subsuelo del Llano de Barcelona en su parte más superficial es bastante homogéneo y está formado principalmente por la Unidad Geotécnica del Cuaternario Deltaico, a veces esta unidad está recubierta por las arcillas de la Unidad Geotécnica del Cuaternario Continental o bien por materiales antrópicos. Concretamente en el área de estudio la Unidad Geotécnica del Cuaternario Deltaico aparece de forma regular con espesores de XX m en el sector NW y un espesor indefinido en el sector SE, en esta zona dicha unidad no suele estar recubierta por más de XX metros de materiales antrópicos o arcillas del Cuaternario continental (Figura 5.9 y Anexo 1).

En contrapartida hay sectores del Llano de Barcelona donde el subsuelo más profundo es muy heterogéneo con bruscos cambios de materiales y unidades geotécnicas en pocos metros, tanto lateral como verticalmente. Este es el caso de la zona de estudio, donde se puede observar la presencia de tres unidades geotécnicas diferentes por debajo de la Unidad Geotécnica del Cuaternario Deltaico (Figura 5.9 y Anexo 1). En el sector NW, subyacente a los materiales cuaternarios aparece la Unidad Geotécnica de arcillas del Plioceno, en el sector central el Plioceno desaparece a favor de las unidades geotécnicas del Mioceno medio deltaico y el Mioceno inferior continental y hacia el SE estos materiales vuelven a desaparecer a favor del Plioceno, este último dato se conoce por trabajos precedentes (Gàmez, 2007 y Parcerisa et al., 2008) ya que no queda reflejado en los sondeos analizados en este estudio.

En los sondeos analizados, la mayoría de unidades se caracterizan por su heterogeneidad presentando alternancias de suelos granulares y suelos cohesivos (tablas 5.1 a 5.5 y Anexo 1). Las únicas unidades homogéneas son el Plioceno y el Cuaternario continental, los cuales en el área de estudio están exclusivamente formados por arcillas. Todos los materiales cohesivos, con independencia de la unidad geotécnica a la que pertenecen, se clasifican como arcillas de baja plasticidad (tablas 5.1 a 5.5 y figuras 5.3, 5.5, 5.7 y 5.8), mientras que en el caso de los materiales granulares se pueden observar importantes diferencias entre las distintas unidades analizadas:

- La Unidad Geotécnica del Mioceno inferior continental está formada esencialmente por brechas de cantos angulares y presenta una buena graduación con coeficientes de uniformidad elevados (Tabla 5.1 y Figura 5.2), según la norma ASTM estos suelos granulares son mayoritariamente arenosos, aunque siempre tienen elevados porcentajes de grava.
- En la parte granular de la Unidad Geotécnica del Mioceno medio deltaico predominan las arenas con coeficientes de uniformidad relativamente bajos. En este estudio solamente se ha analizado una muestra (tabla 5.2 y Figura 5.4) pero este dato se confirma por estudios anteriores (Daura, 2008).

- Respecto al Cuaternario deltaico este presenta una gran variabilidad de materiales granulares con arenas y gravas que además presentan coeficientes de uniformidad muy variables (tabla 5.4 y Figura 5.6).

6.2. Problemáticas geotécnicas.

La principal problemática geotécnica que se da en el área de estudio afecta por igual a todas las unidades geotécnicas y tiene que ver con la presencia de agua en el subsuelo. La mayor parte del subsuelo del Llano de Barcelona tiene el nivel freático cerca de la superficie y, por tanto, los materiales del subsuelo están saturados ya sea por agua dulce o por agua salada en las zonas cercanas a la costa. Este hecho afecta de distinta forma a los suelos cohesivos y a los suelos granulares:

- En el caso de los suelos granulares (y que por tanto tienen una permeabilidad elevada), cualquier obra subterránea desarrollada en estos materiales implicará necesariamente el bombeo de agua para rebajar el nivel freático. En las unidades con presencia de arenas uniformes (Cuaternario y Mioceno deltaicos) un intenso bombeo puede provocar problemas de filtraciones y sifonamientos. En el caso de los sifonamientos se darán cuando se sobrepase el gradiente crítico (es decir, cuando la caída de altura piezométrica tenga un valor similar a la longitud recorrida por el agua), por tanto hay que diseñar los pozos de bombeo de manera que la caída de altura piezométrica sea gradual.
- En el caso de los materiales cohesivos, mayoritariamente se trata de arcillas de baja plasticidad (CL según la clasificación SUCS), o sea, de relativamente poca deformabilidad ante modificaciones de su estado tensional. El hecho de que las arcillas se encuentren saturadas incrementará su deformabilidad y esto se deberá tener en cuenta cuando se construyan infraestructuras que conlleven un incremento de las tensiones principales en dichos materiales. Este efecto se dará con más intensidad en las arcillas menos consolidadas, concretamente en las arcillas del Cuaternario deltaico y continental; además, en otros estudios se ha detectado la presencia de arcillas de alta plasticidad en la Unidad Geotécnica del Cuaternario deltaico (Daura, 2008), la identificación de este tipo de arcillas es importante para predecir la posibilidad de que se den fuertes asentamientos.

Otra de las problemáticas geotécnicas detectadas la causa la existencia de una capa de gravas con presencia de cantos silicificados de Montjuïc hacia la base de la Unidad Geotécnica Cuaternaria deltaica. Esta capa representa un nivel muy competente y difícil de excavar, sobre todo en lo que respecta a la excavación de túneles. Recientemente una de las tuneladoras de la L9 del metro de Barcelona se ha visto afectada por la presencia de esta capa de gravas. En este caso es importante identificar la geometría de esta capa para poder diseñar un protocolo correcto de excavación. En el fondo, el corte que se ha seguido en este estudio corresponde a un corte realizado por Payma Cotas para identificar este nivel de gravas.

Las problemáticas expuestas hasta el momento afectan principalmente a las unidades cuaternarias. La Unidad Geotécnica de arcillas del Plioceno, formada también por arcillas normalmente saturadas, también puede presentar problemas de deformabilidad aunque en este caso se trata de arcillas más compactas (respecto a las arcillas de las unidades cuaternarias) ya que se encuentran a mayor profundidad. Una de las problemáticas particulares que puede presentar el Plioceno es el hecho de encontrarse rellenando fosas (Figura 5.9), morfológicamente este material pueda estar en contacto lateral con otras unidades geotécnicas, en el caso del área de estudio en pocos metros se puede pasar lateralmente de los materiales arcillosos del Plioceno a las gravas, arenas y arcillas del Mioceno medio e inferior. En este caso hay que delimitar bien las áreas de contacto entre el Plioceno y el Mioceno ya que una infraestructura asentada encima de ambas unidades sufrirá un asentamiento diferencial que puede provocar problemas estructurales.

Por otro lado las unidades del Mioceno inferior y medio son unidades sobreconsolidadas, es decir, que han sido enterradas a mayores profundidades de las que se encuentran actualmente, esto implica que su deformabilidad será menor ya que son materiales compactos.

7. Conclusiones.

En los sondeos testificados se han identificado 5 unidades distintas formando el subsuelo del Llano de Barcelona en el área estudiada. Por orden cronológico estas son: Cuaternario Continental, Cuaternario Deltaico, Plioceno, Mioceno medio Deltaico y Mioceno inferior Continental.

El Cuaternario Continental consiste en materiales arcillosos marrones. Es común encontrar cerca de la superficie alguna pasada arcillosa más oscura e incluso color negrozco perteneciente a restos vegetales, así como algún fósil de gasterópodo terrestre. A veces esta unidad está tapizada por materiales antrópicos.

Respecto al Cuaternario Deltaico, ha sido la unidad más analizada en este trabajo. Consiste en una unidad muy heterogénea, formada por materiales cohesivos (arcillas y limos) y por materiales no cohesivos (arenas y gravas). Los materiales cohesivos generalmente están formados por arcillas y limos marrones claro y ocre y los no cohesivos son arenas finas a medias de colores claros y gravas.

El Plioceno se halla rellenando fosas por debajo del Cuaternario, tiene un espesor indeterminado y está formado por arcillas grises homogéneas con restos fósiles esporádicos (Figura 5.1).

En cuanto al Mioceno medio Deltaico está formado por arcillas de diferentes tonalidades y arenas limosas de color ocre. Esta unidad se correlaciona con los depósitos deltaicos de la montaña de Montjuïc y aflora en las áreas colindantes a dicha montaña.

Por último, por debajo del Mioceno medio Deltaico aparece el Mioceno Continental el cual es muy heterogéneo incluyendo alternancias de arcillas rojas y grises (materiales cohesivos) y brechas (material no cohesivo).

Del análisis de los resultados se deduce que, en general, los materiales cohesivos tienen propiedades similares en todas las unidades geotécnicas, pudiendo clasificarse como arcillas de baja plasticidad (CL según la USCS), mientras que los suelos granulares tienen propiedades distintas en cada unidad. En la Unidad Geotécnica del Cuaternario Deltaico el coeficiente de uniformidad es variable, en la Unidad Geotécnica del Mioceno medio Deltaico el coeficiente de uniformidad suele tener valores bajos y finalmente, la Unidad Geotécnica del Mioceno inferior Continental se caracteriza por tener brechas con matriz arcillosa i valores del coeficiente de uniformidad elevados.

Respecto a las recomendaciones geotécnicas, el hecho de que la mayor parte de los materiales se encuentren por debajo del nivel freático implica que aquellos suelos arenosos con bajo coeficiente de uniformidad pueden presentar problemas de filtraciones y sifonamientos y que los materiales arcillosos, aunque tienen baja plasticidad pueden dar problemas de deformabilidad. Esta problemática afectará especialmente a los materiales del Cuaternario que son los menos compactos.

Dada la heterogeneidad del subsuelo pre-Cuaternario, se hace necesario prestar especial atención a la morfología de las diferentes Unidades Geotécnicas para prevenir posibles problemas geotécnicos durante el desarrollo de cualquier infraestructura, tanto en el área de estudio como en el Llano de Barcelona en general.

8. Bibliografía.

- AENOR**, 2002. Geotecnia: Ejecución de trabajos geotécnicos especiales. Ensayos de campo y de laboratorio. Normas UNE.
- CABRERA, L.**, 1979. Estudio estratigráfico y sedimentológico de los depósitos continentales basales del Mioceno de la depresión del Vallès-Penedès. Tesis de Licenciatura, Dpt. d'Estratigrafia i Geologia Històrica, Universitat de Barcelona, 361 pp.
- CASAGRANDE, A.**, 1932, Research on the Atterberg limits of soils, Public Roads, Vol. 13, 121- 130 & 136.
- CASAGRANDE, A.**, 1948, Classification and identification of soils, American Society of Civil Engineers, Transactions, Vol. 113, 901-991.
- CASANOVAS-VILAR, I., PARCERISA, D., GOMEZ-GRAS, D., GAMEZ, D.**, 2010, Bajo la ciudad: Roedores Miocenos de muestras de sondeos del subsuelo de Barcelona. <http://www.cidarismpe.org/>
- DAURA, Q.**, 2008, Caracterització geotècnica del subsòl del Pla de Barcelona. Aplicació en Sondeigs de la Zona Franca, Plaça de la Gardunya i Plaça Europa. Proyecto final de carrera. Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Manresa (EPSEM).
- DEARMAN, W.R.**, 1991. Engineering Geological Mapping. Butterworths advanced series in geotechnical engineering. Butterworth-Heinemann Ltd., Oxford, 387 pp.
- DEERE, D.U.**, 1963. Technical description of rock cores. *Rock Mechanics and Engineering Geology*, 1, 16 – 22.
- GAMEZ, D.**, 2007. Sequence Stratigraphy as a tool for water resources management in alluvial coastal aquifers: application to the Llobregat delta (Barcelona, Spain). Tesis doctoral Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica. Universidad Politècnica de Catalunya, Barcelona, 177.
- GARY, M., McAFEE, R. Jr Y WOLFE, C. L.**, 1972. *Glossary of Geology*, American Geological Institute Washington DC.
- GOMEZ-GRAS, D., PARCERISA, D., CALVET, F., PORTA, J., SOLE DE PORTA, N. i CIVIS, J.**, 2001. Stratigraphy and petrology of the Miocene Montjuïc delta (Barcelona, Spain). *Acta Geológica Hispánica*, 36 (1-2), 115-136.
- GONZALEZ DE VALLEJO, L. I, FERRER, M., ORTUÑO, L. I OTEO, C.**, 2002. Ingeniería Geológica. Pearson Education, Ed. Patience Hall. Madrid 744 pp.
- IZQUIERDO, P.**, 1997. Presència humana i formació del Delta del Llobregat. Un enfocament arqueològic, I Curs d'Història del Prat. Amics d'El Prat, Prat de Llobregat, pp. 1-24.
- LAZO, I. M.; RODRIGUEZ, M. B.**, 2006. Clasificación unificada de suelos (SUCS). http://www.ftc.uni.edu.ni/dc/FOLLETOS/Apuntes_Ivan_Matus/Sistema_Unificado_de_Clasificacion_de_suelos.pdf
- MAGNE, J.**, 1978. Études microstratigraphiques sur le Néogène de la Méditerranée Nord-Occidentale. Les bassins Néogènes Catalans. Editions du Centre National de Recherche Scientifique. Paris. 260 pp.

- MARQUES, M.A.**, 1984. Las formaciones cuaternarias del delta del Llobregat, LXXI. Institut d'Estudis Catalans, Barcelona, 280 pág.
- MATULA, M.**, 1981. Rock and soil description and classification for engineering geological mapping report by the IAEG Commission on Engineering Geological Mapping. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 24(1): 235-274.
- MEDIALDEA, J., MALDONADO, A., ALONSO, B., DIAZ, J. I., FERRAN, M., Giró, S., VAZQUEZ, A., SAENZ-AMOR, E., MARTINEZ, A., MEDIALDEA, T.**, 1986. Mapa geológico de la 27 plataforma continental española y zonas adyacentes. E 1:200000, hoja nº 41-422 (Tarragona). IGME, Madrid.
- MEDIALDEA, J., MALDONADO, A., DIAZ, J. I., ESCUTIA, C., FERRAN, M., GIRO, S., SERRA, M., MEDIALDEA, T., VAZQUEZ, J. T.**, 1989. Mapa geológico de la plataforma continental española y zonas adyacentes. E 1:200000, hoja nº 35-42 (Barcelona). IGME, Madrid.
- MUÑIZ-SOLIS, R., VERA-PELAEZ, J. L., MARTINELL, J., DOMENECH, R., LOZANO-FRANCISCO, M. C., GUERRA-MERCHAN, A.**, 1996. Cassidae (Gastropoda) del Plioceno de Málaga. Coloquios Paleontología, nº 48: 103-124. Servicio de publicaciones U. C. M. Madrid.
- PARCERISA, D., GAMEZ, D., GOMEZ-GRAS, D., USERA, J., SIMO, J. A., CARRERA, J.**, *In press*. Estratigrafía y petrología del subsuelo precuaternario del sector SW de la depresión de Barcelona (Cadena Costera Catalana, NE de Iberia). Revista de la Sociedad Geológica de España.
- SANTAMARINA, J. C.**, 2001, Soil behavior at the microscale, Proc. Symp. Soil Behavior and Soft Ground Construction, in honor of Charles C. Ladd, Octubre. MIT. 31 pp.
- SANTAMARINA, J. C.; KLEIN, K. Y FAM, M.**, 2001, Soils and Waves, John Wiley & Son, Inc. 553 pp.
- TERZAGHI, k. Y PECK, R. B.**, 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2nd edn, Wiley, Nova York. 729 pp.
- VENTAYOL, A.**, 1993. El Subsuelo de Barcelona y la Calidad del Reconocimiento Geotécnico. Correo de la Construcción. Barcelona, 803.
- VENTAYOL, A., PALAU, J., ROCA, A.**, 2002. El Contexto Geotécnico de la Ciudad de Barcelona. Ingeniería del Terreno. IngeoTer 1. U.D. Proyectos. . E.T.S.I. Minas. U.P.M. Madrid, Madrid, 24 pp.

ANEJO I

Registro fotográfico de los sondeos.

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LOS SONDEOS PA



PA Caja 1 de 4,20 a 7,50m



PA Caja 1 de 4,20 a 7,50m



PA Caja 2 de 7,50 a 10,50m



PA Caja 3 de 10,50 a 13,70m



PA Caja 4 de 13,70 a 17,20m



PA Caja 5 de 17,20 a 20,40m



PA Caja 6 de 20,40 a 23,40m



PA Caja 7 de 23,40 a 26,40m



PA Caja 8 de 26,40 a 29,40m



PA Caja 9 de 29,40 a 32,40m



PA Caja 10 de 32,40 a 35,40m



PA Caja 11 de 35,40 a 38,40m

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LOS SONDEOS PA



PA Caja 12 de 38,40 a 41,50m



PA Caja 13 de 41,50 a 44,70m



PA Caja 14 de 44,70 a 45,30m

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LOS SONDEOS SB



SB Caja 1 de 39,00 a 42,00m



SB Caja 2 de 42,00 a 45,00m



SB Caja 3 de 45,00 a 48,00m



SB Caja 4 de 48,00 a 51,00m



SB Caja 5 de 51,00 a 54,00m

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LOS SONDEOS SVP - 02



SVP-02 Caja 1 de 0,00 a 3,00m



SVP-02 Caja 1 de 0,00 a 3,00m



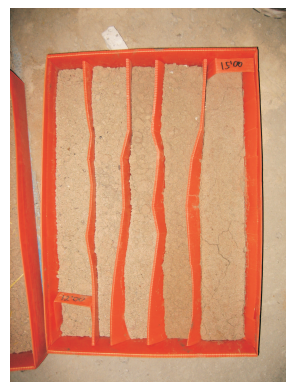
SVP-02 Caja 2 de 3,00 a 6,00m



SVP-02 Caja 3 de 6,00 a 9,00m



SVP-02 Caja 4 de 9,00 a 12,00m



SVP-02 Caja 5 de 12,00 a 15,00m



SVP-02 Caja 6 de 15,00 a 18,00m



SVP-02 Caja 7 de 18,00 a 21,00m



SVP-02 Caja 8 de 21,00 a 24,00m



SVP-02 Caja 9 de 24,00 a 24,50m

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LOS SONDEOS

SVP - 03



SVP-03 Caja 1 de 0,00 a 3,00m



SVP-03 Caja 1 de 0,00 a 3,00m



SVP-03 Caja 2 de 3,00 a 6,00m



SVP-03 Caja 3 de 6,00 a 9,00m



SVP-03 Caja 4 de 9,00 a 12,00m



SVP-03 Caja 5 de 12,00 a 15,00m



SVP-03 Caja 6 de 15,00 a 18,00m



SVP-03 Caja 7 de 18,00 a 21,00m

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LOS SONDEOS ZF



ZF Caja 1 de 0,00 a 3,00m



ZF Caja 2 de 3,00 a 6,00m



ZF Caja 3 de 6,00 a 9,00m



ZF Caja 4 de 9,00 a 12,00m



ZF Caja 5 de 12,00 a 15,00m



ZF Caja 6 de 15,00 a 18,00m



ZF Caja 7 de 18,00 a 21,00m



ZF Caja 8 de 21,00 a 24,00m



ZF Caja 9 de 24,00 a 27,00m



ZF Caja 10 de 27,00 a 30,00m



ZF Caja 11 de 30,00 a 33,00m



ZF Caja 12 de 33,00 a 36,00m

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LOS SONDEOS ZF



ZF Caja 13 de 36,00 a 39,00m



ZF Caja 14 de 39,00 a 42,00m



ZF Caja 15 de 42,00 a 45,00m



ZF Caja 16 de 45,00 a 48,00m



ZF Caja 17 de 48,00 a 51,00m



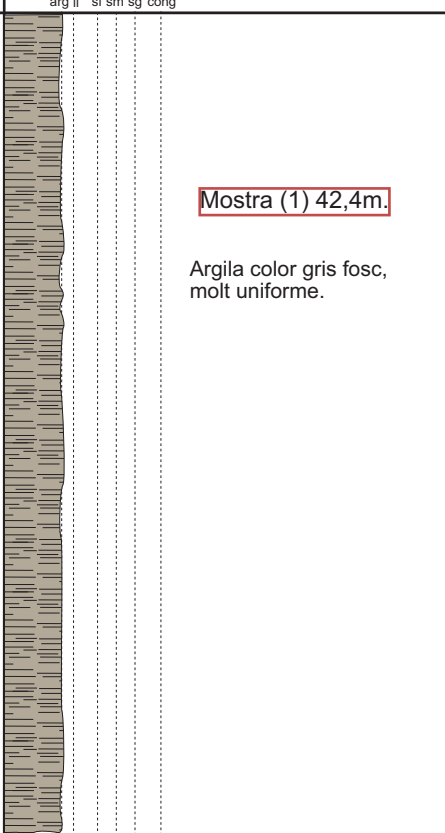
ZF Caja 18 de 51,00 a 54,00m

ANEJO II

Testificación de los sondeos.

Sondeigs a rotació amb testimoni continu (sòls)

Sondeig n.º: SB	Cota d'inici: -	Nº Expedient: <input type="text"/>	Màquina: <input type="text"/>
Adreça: Carrer de la fortuna	Data inici: <input type="text"/>	Empresa: <input type="text"/>	
Municipi: Barcelona	Data fi: <input type="text"/>	Sondista: <input type="text"/>	

Profunditat (m)	Nivell freàtic	Nivells geotècnics	Columna litològica, contactes, granulometria i descripció dels materials	Classificació S.U.C.S.	Mostres i assaigs in situ		Assaigs de Laboratori													
					Tipus de mostra	Prof. d'extracció	Registre	Lambe	Límits d'Atterberg			Granulometria (%retingut)		Compressió simple		Tall directe c/u		Tall directe c/d		Sulfats (mg/kg)
									W.L.	W.P.	I.P.	- Tamis 5 mm -	- Tamis 0.08 mm -	R.C.S. (kg/cm²)	D. aparent (g/cm³)	Deformació (%)	Angle fregament	Cohesió (kg/cm²)	Angle fregament	
39.0 42.0 45.0 48.0 51.0 54.0 57.0			<div style="font-size: small; margin-bottom: 5px;">arg ll sf sm sg cong</div>  <p style="margin-left: 20px;">Mostra (1) 42,4m.</p> <p style="margin-left: 20px;">Argila color gris fosc, molt uniforme.</p>	CL				30 % 16,7 % 13,3 %												
Caracterització del Pliocé																				

Sondeigs a rotació amb testimoni continu (sòls)

Sondeig n.º:	SVP-03	Cota d'inici:	4,71m	Nº Expedient:	<input type="text"/>	Màquina:	<input type="text"/>
Adreça:	Zona Franca, Viaducte	Data inici:	<input type="text"/>	Empresa:	<input type="text"/>	Sondista:	<input type="text"/>
Municipi:	Barcelona	Data fi:	<input type="text"/>				

Profunditat (m)	Nivell freàtic	Nivells geotècnics	Columna litològica, contactes, granulometria i descripció dels materials	Classificació S.U.C.S.	Mostres i assaigs in situ		Assaigs de Laboratori														
					Tipus de mostra	Prof. d'extracció	Registre	Lambe	Límits d'Atterberg			Granulometria (%retingut)		Compressió simple		Tall directe c/u		Tall directe c/d			
									W.L.	W.P.	I.P.	Tamis 5 mm	Tamis 0.08 mm	R.C.S. (kg/cm²)	D. aparent (g/cm³)	Deformació (%)	Angle fregament	Cohesió (kg/cm²)	Angle fregament	Cohesió (kg/cm²)	Sulfats (mg/kg)
0.0			arg ll sf sm sg cong																		
1.0			arg ll																		
2.0			arg ll																		
3.0			arg ll	CL																	
4.0			arg ll																		
5.0			arg ll																		
6.0			arg ll																		
7.0			arg ll	SP-SC																	
8.0			arg ll																		
9.0			arg ll																		

Argila.
Mostra (1) 3,50m.

Sorra mitja.

Sorra fina.

Nivell freàtic.
Mostra (2) 6,60m.

Sorra fina. Uniforme.
Capes de llims a 9,30 i 9,50 m.

23,9 %
14,8 %
9,1 %

98,10 %
11 %

Sondeigs a rotació amb testimoni continu (sòls)

Sondeig n.º: <input type="text" value="ZF"/>	Cota d'inici: <input type="text"/>	Nº Expedient: <input type="text"/>	Màquina: <input type="text"/>
Adreça: <input type="text"/>	Data inici: <input type="text"/>	Empresa: <input type="text"/>	
Municipi: <input type="text" value="Barcelona"/>	Data fi: <input type="text"/>	Sondista: <input type="text"/>	

Profunditat (m)	Nivell freàtic	Nivells geotècnics	Columna litològica, contactes, granulometria i descripció dels materials	Classificació S.U.C.S.	Mostres i assaigs in situ		Assaigs de Laboratori													
					Tipus de mostra	Prof. d'extracció	Registre	Lambe	Límits d'Atterberg			Granulometria (%retingut)		Compressió simple		Tall directe c/u		Tall directe c/d		
									W.L.	W.P.	I.P.	- Tamis 5 mm -	- Tamis 0.08 mm -	R.C.S. (kg/cm²)	D. aparent (g/cm³)	Deformació (%)	Angle fregament	Cohesió (kg/cm²)	Angle fregament	Cohesió (kg/cm²)
10.0			arg II sf sm sg cong																	
11.0			Microconglomerat color fosc ric en nòduls carbonàtics.																	
12.0			Argila vermella amb còdols de calitxe.																	
13.0			SPT.																	
14.0			Sorra fina de platja.																	
15.0			Sorra mitja a grollera ben seleccionada amb grans carbonàtics i bivalvs.																	
16.0			Argila amb nòdols de calitxe.																	
17.0			Argila marró de diferents tonalitats (versicolor) i petits còdols.																	
18.0			Mostra (6) 17,6 a 17,8m.	CL																
19.0																				

35,7 %
17,8 %
17,9 %

ANEJO III

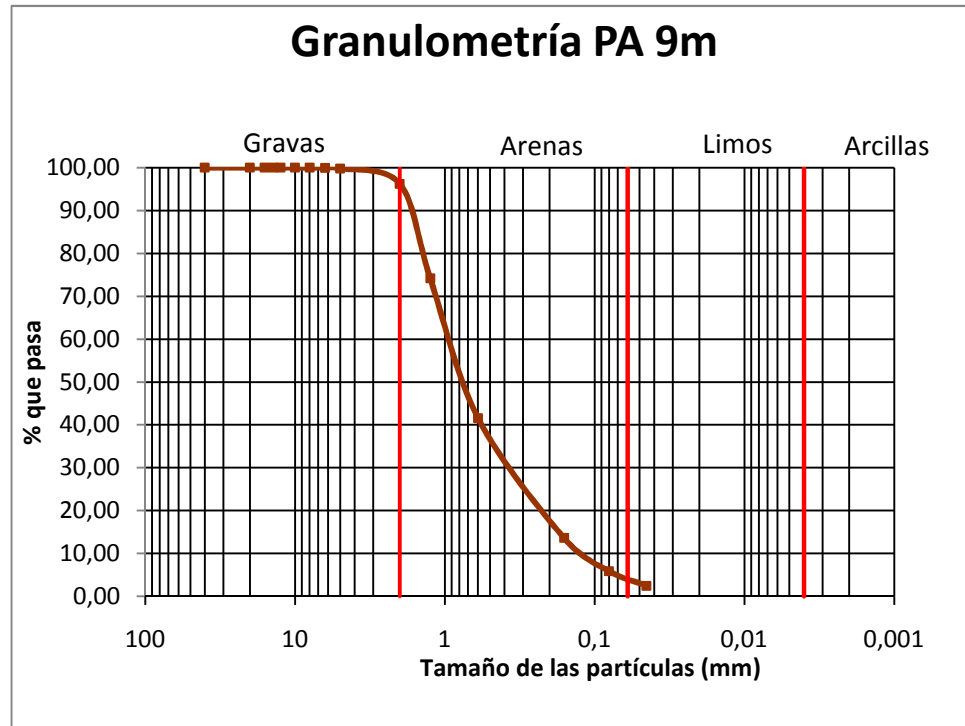
DATOS DE LABORATORIO

Parte 1 – Granulometría

Parte 2 - Plasticidad

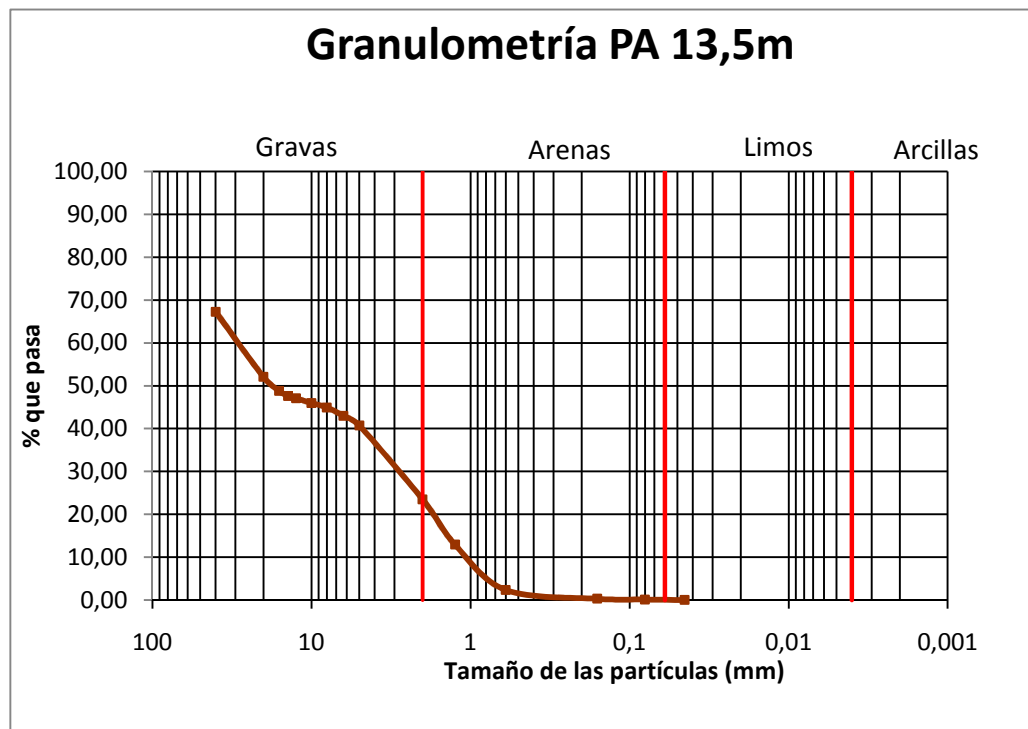
Parte 1 – Granulometría.

Masa de la muestra (g)															1090,6		
PA 9m																	
Tamiz (mm)	40	20	16	14	12,5	10	8	6,3	5	2	1,25	0,6	0,160	0,080	0,045	Colector	
Retenido parcial (g)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,300	1,600	39,200	240,700	355,400	304,900	84,700	36,800	27,000	
Retenido parcial (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,15	3,59	22,07	32,59	27,96	7,77	3,37	2,48	
Retenido acumulado (g)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	1,90	41,10	281,80	637,20	942,10	1026,80	1063,60	1090,60	
Retenido acumulado (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,17	3,77	25,84	58,43	86,38	94,15	97,52	100,00	
% Que pasa	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,97	99,83	96,23	74,16	41,57	13,62	5,85	2,48	0,00	



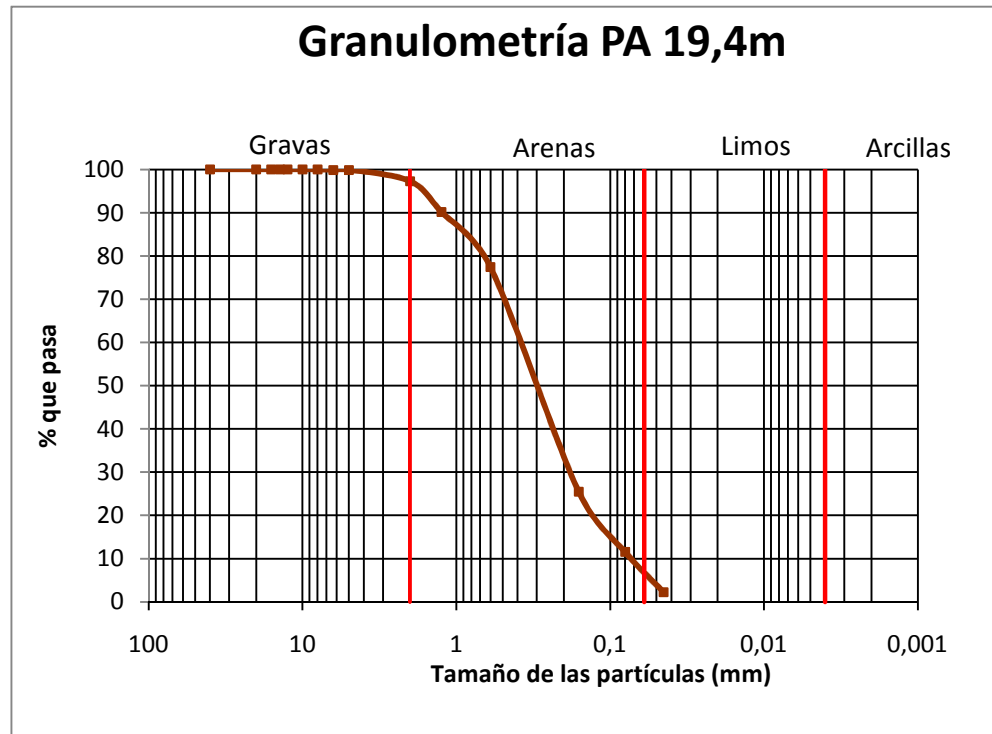
Pasa el tamiz de 5 mm:	99,83	%
Pasa el tamiz de 0,080 mm:	5,85	%
D60:	1	mm
D30:	0,45	mm
D10 (diámetro efectivo):	0,14	mm
Coficiente de uniformidad (Cu):	7,14	
Grado de curvatura (Cc):	1,45	

PA 13,5m																
Masa de la muestra (g)																1454,3
Tamiz (mm)	40	20	16	14	12,5	10	8	6,3	5	2	1,25	0,6	0,160	0,080	0,045	Colector
Retenido parcial (g)	475,900	221,300	46,900	18,000	7,200	16,100	15,300	28,300	33,000	250,400	153,600	153,700	29,800	2,600	1,600	0,600
Retenido parcial (%)	32,72	15,22	3,22	1,24	0,50	1,11	1,05	1,95	2,27	17,22	10,56	10,57	2,05	0,18	0,11	0,04
Retenido acumulado (g)	475,90	697,20	744,10	762,10	769,30	785,40	800,70	829,00	862,00	1112,40	1266,00	1419,70	1449,50	1452,10	1453,70	1454,30
Retenido acumulado (%)	32,72	47,94	51,17	52,40	52,90	54,01	55,06	57,00	59,27	76,49	87,05	97,62	99,67	99,85	99,96	100,00
% Que pasa	67,28	52,06	48,83	47,60	47,10	45,99	44,94	43,00	40,73	23,51	12,95	2,38	0,33	0,15	0,04	0,00



Pasa el tamiz de 5 mm:	40,73 %
Pasa el tamiz de 0,080 mm:	0,15 %
D60:	29 mm
D30:	2,9 mm
D10 (diámetro efectivo):	1,1 mm
Coefficiente de uniformidad (Cu):	26,36
Grado de curvatura (Cc):	0,26

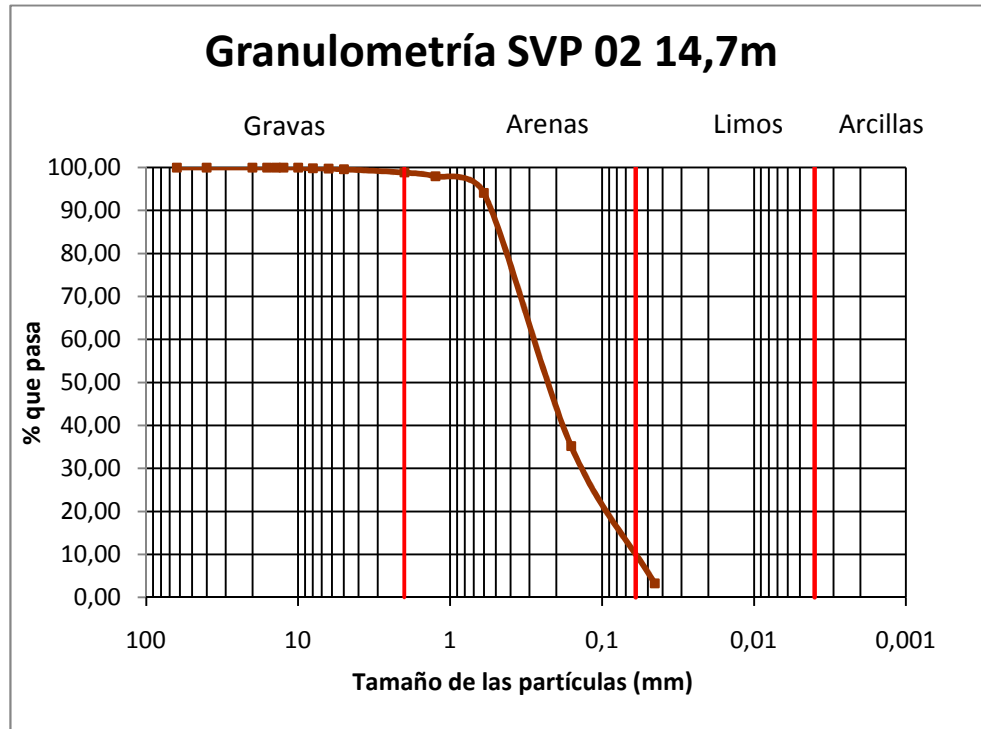
PA 19,4m															Masa de la muestra (g)	956,4
Tamiz (mm)	40	20	16	14	12,5	10	8	6,3	5	2	1,25	0,6	0,160	0,080	0,045	Colector
Retenido parcial (g)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	8,000	8,100	54,800	63,200	90,600	253,100	290,900	97,100	90,600
Retenido parcial (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,84	0,85	5,73	6,61	9,47	26,46	30,42	10,15	9,47
Retenido acumulado (g)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,00	16,10	70,90	134,10	224,70	477,80	768,70	865,80	956,40
Retenido acumulado (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,84	1,68	7,41	14,02	23,49	49,96	80,37	90,53	100,00
% Que pasa	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,16	98,32	92,59	85,98	76,51	50,04	19,63	9,47	0,00



Pasa el tamiz de 5 mm:	98,32 %
Pasa el tamiz de 0,080 mm:	19,63 %
D60:	0,38 mm
D30:	0,18 mm
D10 (diámetro efectivo):	0,075 mm
Coefficiente de uniformidad (Cu):	5,07
Grado de curvatura (Cc):	1,14

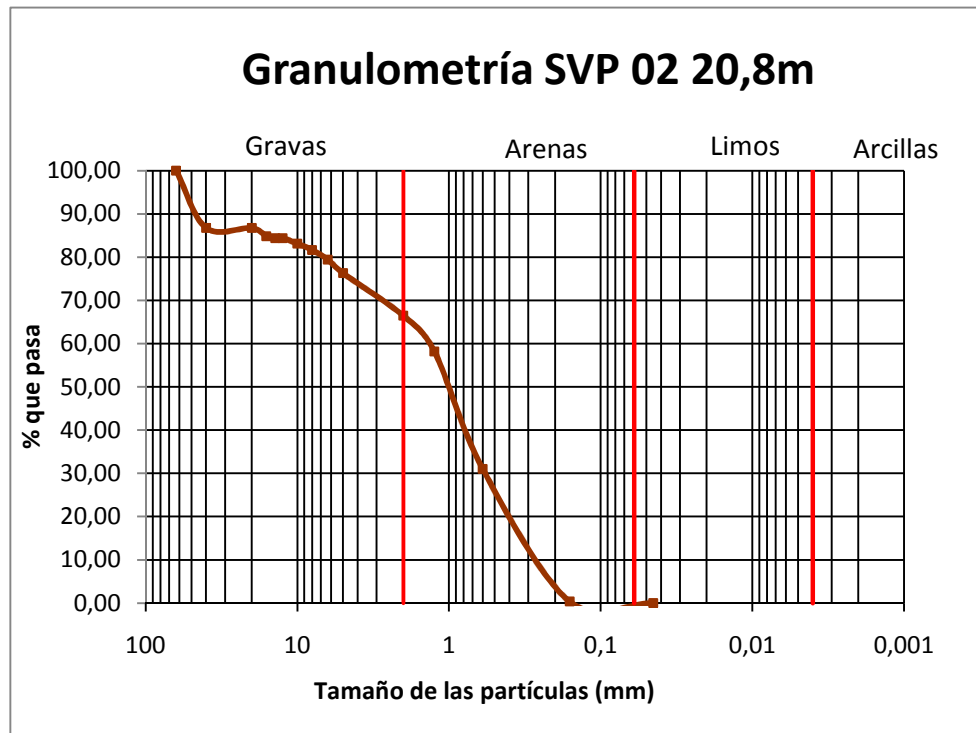
Masa de la muestra (g) 992,4

SVP 02 14,7m																	
Tamiz (mm)	63	40	20	16	14	12,5	10	8	6,3	5	2	1,25	0,6	0,160	0,045	Colector	
Retenido parcial (g)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,000	0,400	1,700	7,400	9,100	38,000	584,100	317,400	32,300	
Retenido parcial (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,04	0,17	0,75	0,92	3,83	58,86	31,98	3,25	
Retenido acumulado (g)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,40	4,10	11,50	20,60	58,60	642,70	960,10	992,40	
Retenido acumulado (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,24	0,41	1,16	2,08	5,90	64,76	96,75	100,00	
% Que pasa	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,80	99,76	99,59	98,84	97,92	94,10	35,24	3,25	0,00	



Pasa el tamiz de 5 mm:	99,59 %
Pasa el tamiz de 0,080 mm:	16 %
D60:	0,28 mm
D30:	0,15 mm
D10 (diámetro efectivo):	0,085 mm
Coficiente de uniformidad (Cu):	3,29
Grado de curvatura (Cc):	0,95

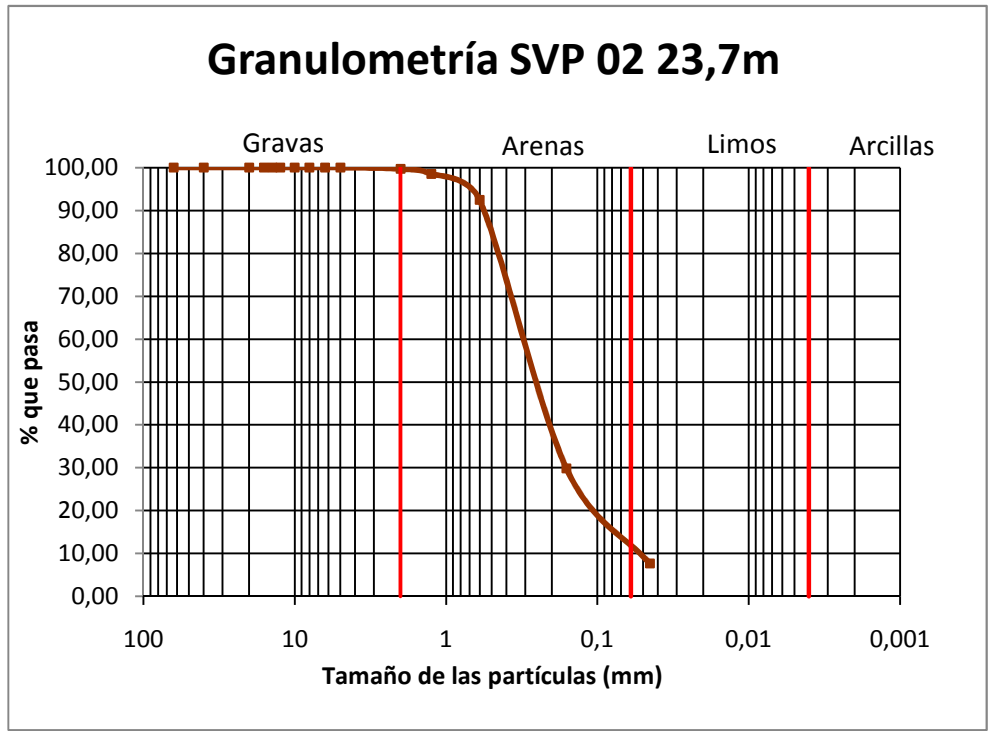
SVP 02 20,8m															Masa de la muestra (g)	1203,9
Tamiz (mm)	63	40	20	16	14	12,5	10	8	6,3	5	2	1,25	0,6	0,160	0,045	Colector
Retenido parcial (g)	0,000	159,20	0,000	23,100	5,000	0,000	15,700	17,400	26,800	38,000	118,600	99,200	327,300	369,300	4,300	0,000
Retenido parcial (%)	0,00	13,22	0,00	1,92	0,42	0,00	1,30	1,45	2,23	3,16	9,85	8,24	27,19	30,68	0,36	0,00
Retenido acumulado (g)	0,00	159,20	159,20	182,30	187,30	187,30	203,00	220,40	247,20	285,20	403,80	503,00	830,30	1199,60	1203,90	1203,90
Retenido acumulado (%)	0,00	13,22	13,22	15,14	15,56	15,56	16,86	18,31	20,53	23,69	33,54	41,78	68,97	99,64	100,00	100,00
% Que pasa	100,00	86,78	86,78	84,86	84,44	84,44	83,14	81,69	79,47	76,31	66,46	58,22	31,03	0,36	0,00	0,00



Pasa el tamiz de 5 mm:	76,31 %
Pasa el tamiz de 0,080 mm:	0 %
D60:	1,3 mm
D30:	0,59 mm
D10 (diámetro efectivo):	0,28 mm
Coficiente de uniformidad (Cu):	4,64
Grado de curvatura (Cc):	0,96

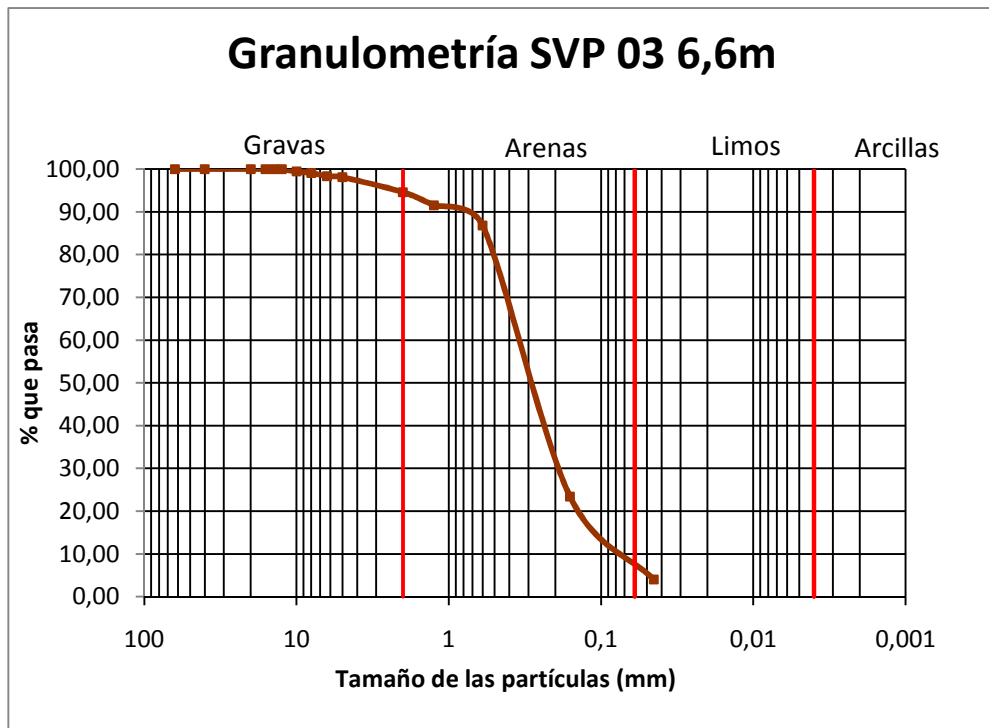
SVP 02 23,7m																
Tamiz (mm)	63	40	20	16	14	12,5	10	8	6,3	5	2	1,25	0,6	0,160	0,045	Colector
Retenido parcial (g)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,500	5,400	28,200	290,400	103,000	35,600
Retenido parcial (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	1,16	6,08	62,57	22,19	7,67
Retenido acumulado (g)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	6,90	35,10	325,50	428,50	464,10
Retenido acumulado (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	1,49	7,56	70,14	92,33	100,00
% Que pasa	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,68	98,51	92,44	29,86	7,67	0,00

Masa de la muestra (g) 464,1



Pasa el tamiz de 5 mm:	100,00 %
Pasa el tamiz de 0,080 mm:	16 %
D60:	0,33 mm
D30:	0,16 mm
D10 (diámetro efectivo):	0,54 mm
Coefficiente de uniformidad (Cu):	0,61
Grado de curvatura (Cc):	0,14

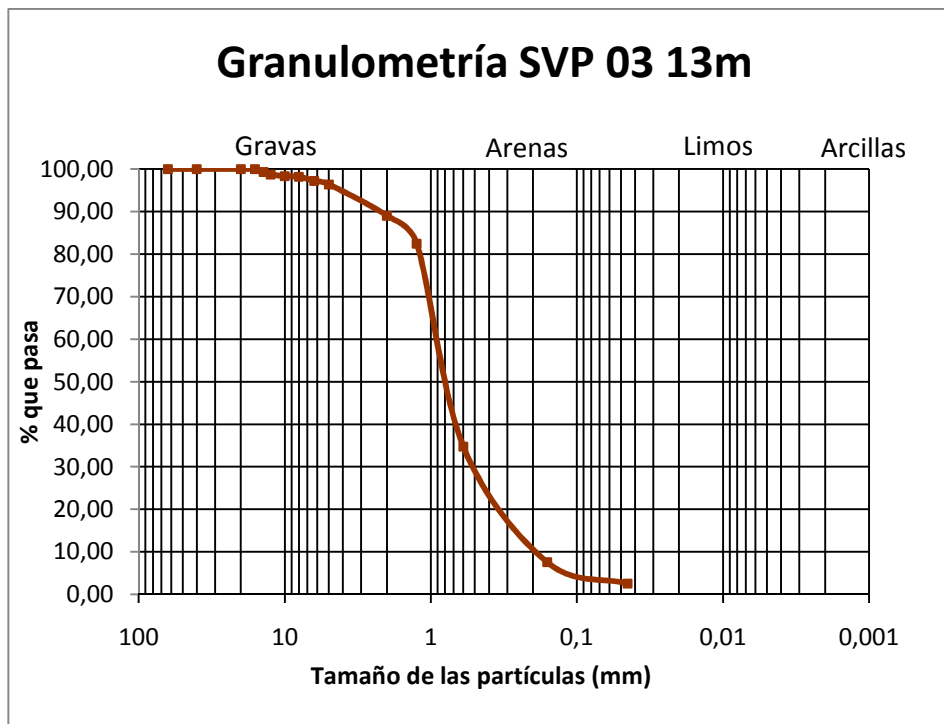
SVP 03 6,6m																Masa de la muestra (g)	451,5
Tamiz (mm)	63	40	20	16	14	12,5	10	8	6,3	5	2	1,25	0,6	0,160	0,045	Colector	
Retenido parcial (g)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,500	1,600	3,500	1,000	15,800	13,800	21,300	286,200	87,800	18,000	
Retenido parcial (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,35	0,78	0,22	3,50	3,06	4,72	63,39	19,45	3,99	
Retenido acumulado (g)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	4,10	7,60	8,60	24,40	38,20	59,50	345,70	433,50	451,50	
Retenido acumulado (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,91	1,68	1,90	5,40	8,46	13,18	76,57	96,01	100,00	
% Que pasa	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,45	99,09	98,32	98,10	94,60	91,54	86,82	23,43	3,99	0,00	



Pasa el tamiz de 5 mm:	98,10 %
Pasa el tamiz de 0,080 mm:	11 %
D60:	0,35 mm
D30:	0,19 mm
D10 (diámetro efectivo):	0,07 mm
Coefficiente de uniformidad (Cu):	5
Grado de curvatura (Cc):	1,47

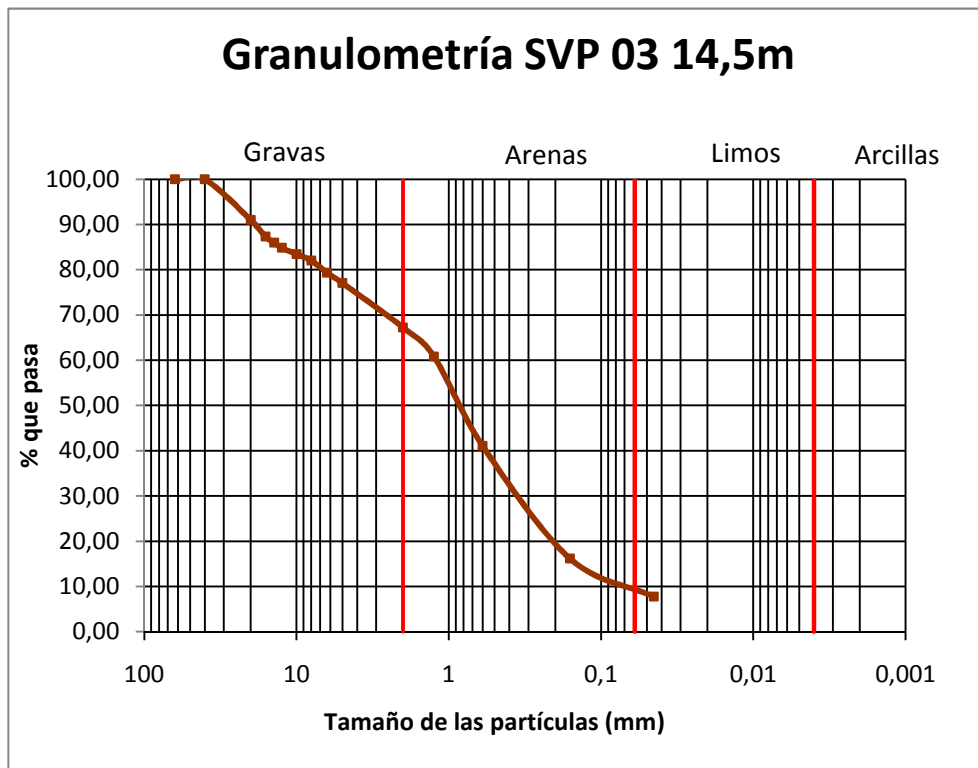
SVP 03 13m																	
Tamiz (mm)		63	40	20	16	14	12,5	10	8	6,3	5	2	1,25	0,6	0,160	0,045	Colector
Retenido parcial (g)		0,000	0,000	0,000	0,000	5,300	4,500	2,700	1,700	7,000	6,500	56,800	50,600	367,800	209,300	39,000	19,400
Retenido parcial (%)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	0,58	0,35	0,22	0,91	0,84	7,37	6,57	47,73	27,16	5,06	2,52
Retenido acumulado (g)		0,00	0,00	0,00	0,00	5,30	9,80	12,50	14,20	21,20	27,70	84,50	135,10	502,90	712,20	751,20	770,60
Retenido acumulado (%)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	1,27	1,62	1,84	2,75	3,59	10,97	17,53	65,26	92,42	97,48	100,00
% Que pasa		100,00	100,00	100,00	100,00	99,31	98,73	98,38	98,16	97,25	96,41	89,03	82,47	34,74	7,58	2,52	0,00

Masa de la muestra (g) 770,6



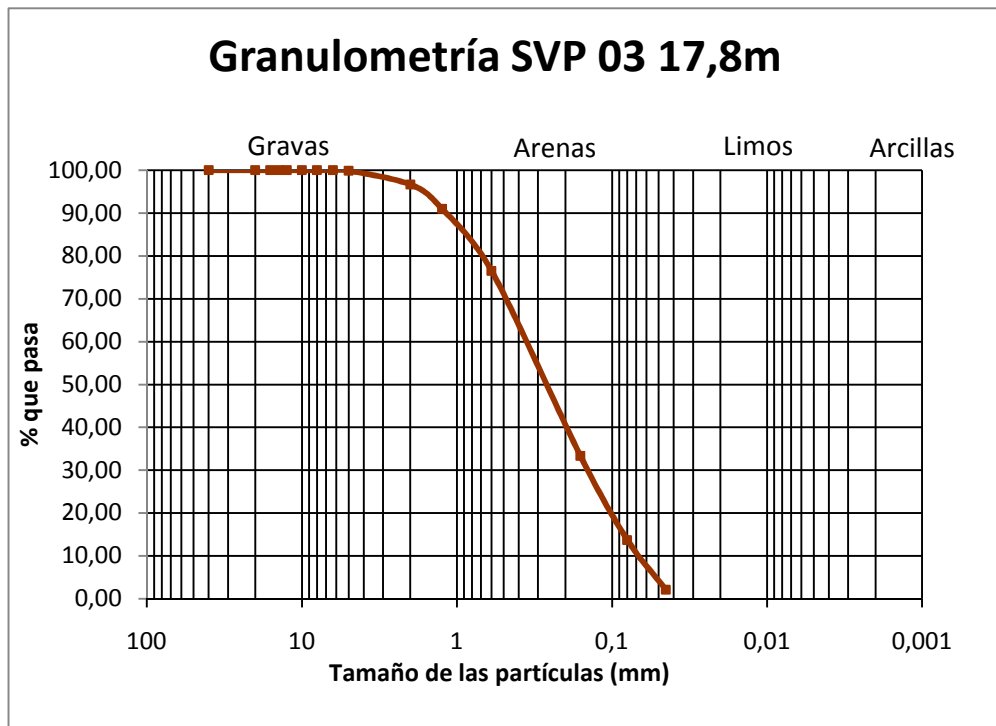
Pasa el tamiz de 5 mm:	96,41 %
Pasa el tamiz de 0,080 mm:	3,5 %
D60:	0,9 mm
D30:	0,54 mm
D10 (diámetro efectivo):	0,2 mm
Coficiente de uniformidad (Cu):	4,5
Grado de curvatura (Cc):	1,62

SVP 03 14,5m																Masa de la muestra (g)	1092
Tamiz (mm)	63	40	20	16	14	12,5	10	8	6,3	5	2	1,25	0,6	0,160	0,045	Colector	
Retenido parcial (g)	0,000	0,000	97,700	40,600	14,800	12,100	15,400	15,600	29,300	24,900	106,800	70,800	215,200	272,400	91,900	84,500	
Retenido parcial (%)	0,00	0,00	8,95	3,72	1,36	1,11	1,41	1,43	2,68	2,28	9,78	6,48	19,71	24,95	8,42	7,74	
Retenido acumulado (g)	0,00	0,00	97,70	138,30	153,10	165,20	180,60	196,20	225,50	250,40	357,20	428,00	643,20	915,60	1007,50	1092,00	
Retenido acumulado (%)	0,00	0,00	8,95	12,66	14,02	15,13	16,54	17,97	20,65	22,93	32,71	39,19	58,90	83,85	92,26	100,00	
% Que pasa	100,00	100,00	91,05	87,34	85,98	84,87	83,46	82,03	79,35	77,07	67,29	60,81	41,10	16,15	7,74	0,00	



Pasa el tamiz de 5 mm:	77,07 %
Pasa el tamiz de 0,080 mm:	11 %
D60:	1,23 mm
D30:	0,44 mm
D10 (diámetro efectivo):	0,1 mm
Coficiente de uniformidad (Cu):	12,3
Grado de curvatura (Cc):	1,57

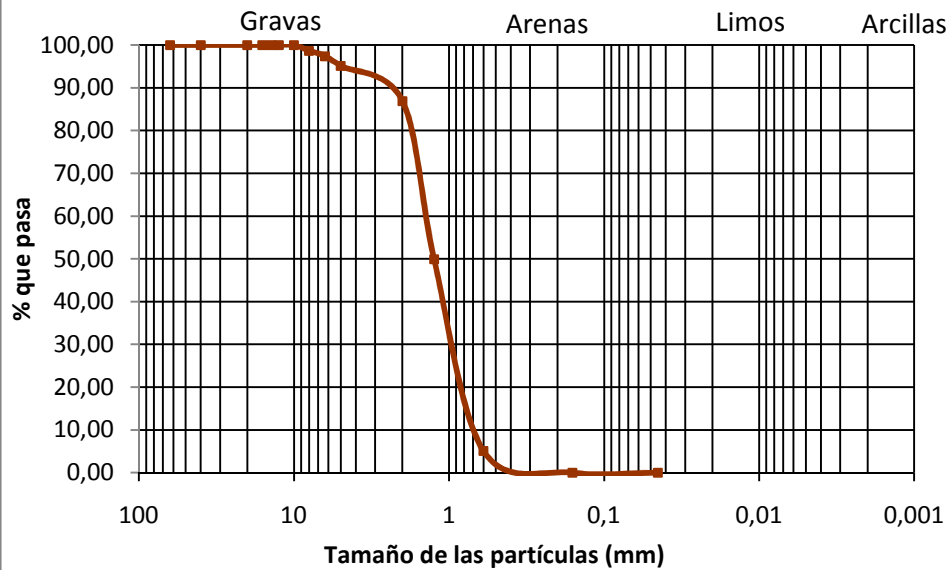
SVP 03 17,8m																
Masa de la muestra (g)																Colector
Tamiz (mm)	40	20	16	14	12,5	10	8	6,3	5	2	1,25	0,6	0,160	0,080	0,045	1187,5
Retenido parcial (g)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,600	38,200	67,300	171,600	513,100	232,400	137,600	25,700
Retenido parcial (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	3,22	5,67	14,45	43,21	19,57	11,59	2,16
Retenido acumulado (g)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60	39,80	107,10	278,70	791,80	1024,20	1161,80	1187,50
Retenido acumulado (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	3,35	9,02	23,47	66,68	86,25	97,84	100,00
% Que pasa	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,87	96,65	90,98	76,53	33,32	13,75	2,16	0,00



Pasa el tamiz de 5 mm:	99,87 %
Pasa el tamiz de 0,080 mm:	13,75 %
D60:	0,36 mm
D30:	0,16 mm
D10 (diámetro efectivo):	0,07 mm
Coefficiente de uniformidad (Cu):	5,14
Grado de curvatura (Cc):	1,02

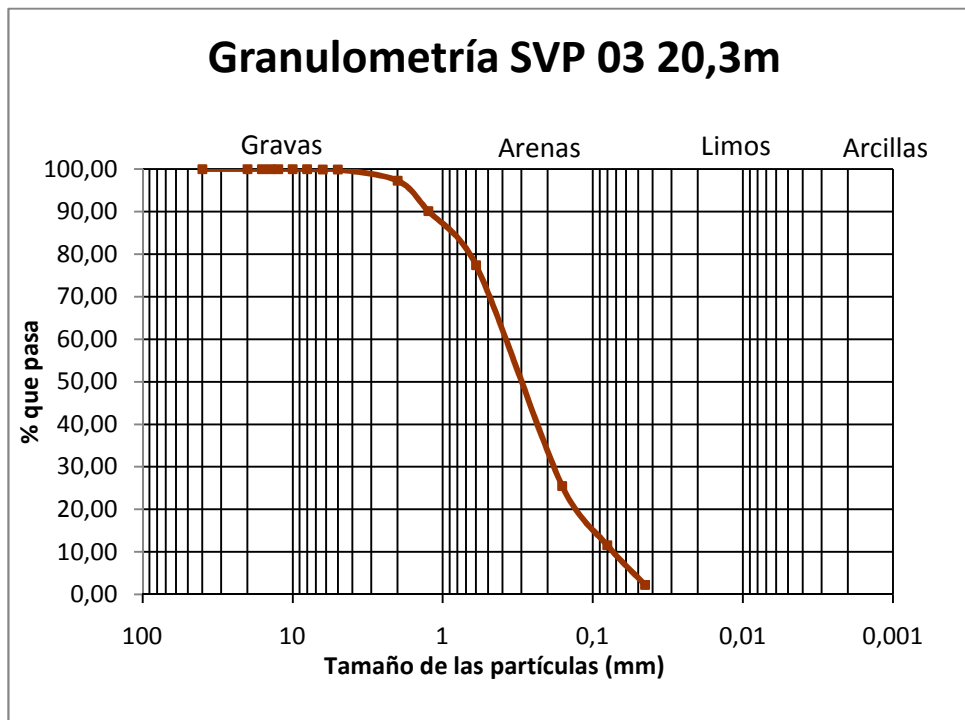
SVP 03 18m																
Masa de la muestra (g)																463,2
Tamiz (mm)	63	40	20	16	14	12,5	10	8	6,3	5	2	1,25	0,6	0,160	0,045	Colector
Retenido parcial (g)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	6,200	5,900	10,40	38,40	171,30	207,600	23,400	0,000	0,000
Retenido parcial (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,34	1,27	2,25	8,29	36,98	44,82	5,05	0,00	0,00
Retenido acumulado (g)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,20	12,10	22,50	60,90	232,20	439,80	463,20	463,20	463,20
Retenido acumulado (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,34	2,61	4,86	13,15	50,13	94,95	100,00	100,00	100,00
% Que pasa	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,66	97,39	95,14	86,85	49,87	5,05	0,00	0,00	0,00

Granulometría SVP 03 18m



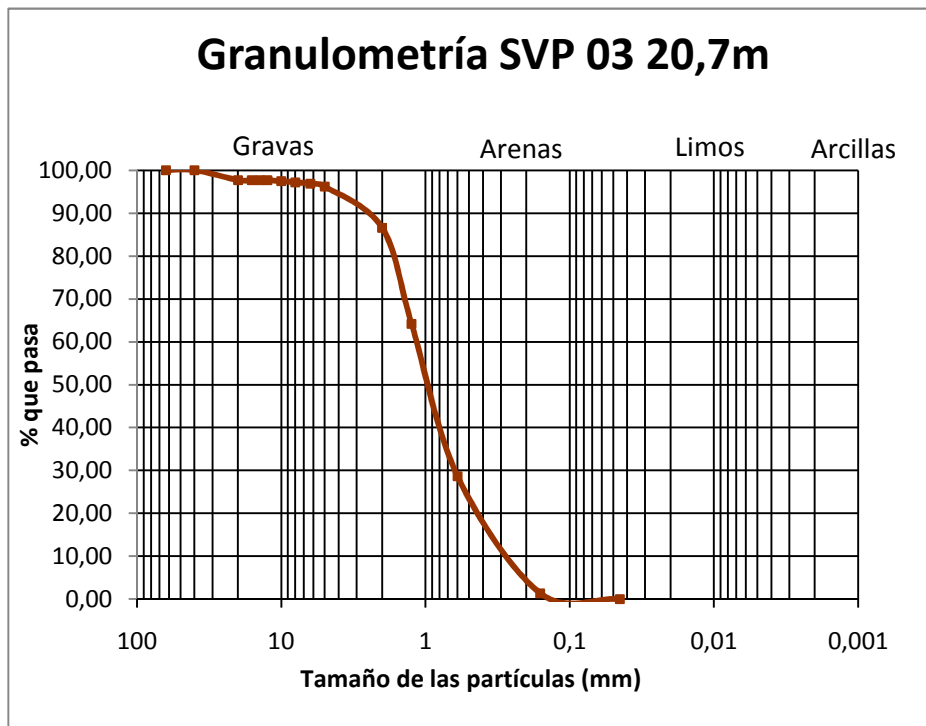
Pasa el tamiz de 5 mm:	95,14 %
Pasa el tamiz de 0,080 mm:	0 %
D60:	1,5 mm
D30:	0,98 mm
D10 (diámetro efectivo):	0,07 mm
Coefficiente de uniformidad (Cu):	21,43
Grado de curvatura (Cc):	9,15

SVP 03 20,3m															Masa de la muestra (g)		1288,5	
Tamiz (mm)	40	20	16	14	12,5	10	8	6,3	5	2	1,25	0,6	0,160	0,080	0,045	Colector		
Retenido parcial (g)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,100	0,000	33,800	91,800	164,100	669,700	179,500	119,700	28,800		
Retenido parcial (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	2,62	7,12	12,74	51,98	13,93	9,29	2,24		
Retenido acumulado (g)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10	1,10	34,90	126,70	290,80	960,50	1140,00	1259,70	1288,50		
Retenido acumulado (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,09	2,71	9,83	22,57	74,54	88,47	97,76	100,00		
% Que pasa	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,91	99,91	97,29	90,17	77,43	25,46	11,53	2,24	0,00		



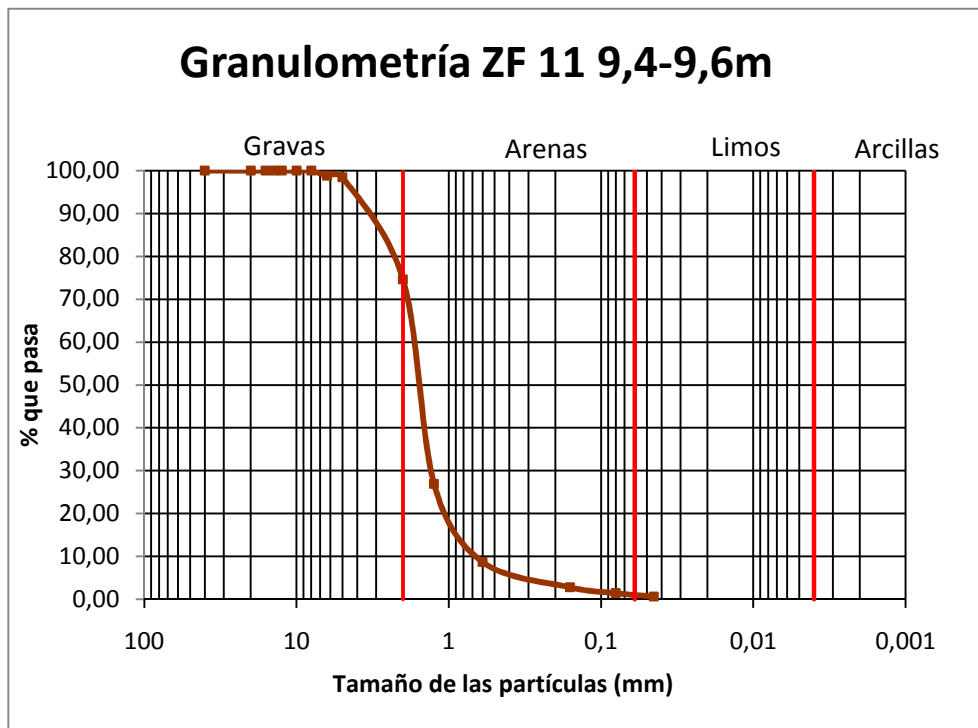
Pasa el tamiz de 5 mm:	99,91 %
Pasa el tamiz de 0,080 mm:	11,53 %
D60:	0,38 mm
D30:	0,18 mm
D10 (diámetro efectivo):	0,075 mm
Coefficiente de uniformidad (Cu):	5,07
Grado de curvatura (Cc):	1,14

SVP 03 20,7m																Masa de la muestra (g)	738,7
Tamiz (mm)		63	40	20	16	14	12,5	10	8	6,3	5	2	1,25	0,6	0,160	0,045	Colector
Retenido parcial (g)		0,000	0,000	17,100	0,000	0,000	0,000	1,800	1,900	2,400	5,000	70,800	165,500	262,400	201,700	10,100	0,000
Retenido parcial (%)		0,00	0,00	2,31	0,00	0,00	0,00	0,24	0,26	0,32	0,68	9,58	22,40	35,52	27,30	1,37	0,00
Retenido acumulado (g)		0,00	0,00	17,10	17,10	17,10	17,10	18,90	20,80	23,20	28,20	99,00	264,50	526,90	728,60	738,70	738,70
Retenido acumulado (%)		0,00	0,00	2,31	2,31	2,31	2,31	2,56	2,82	3,14	3,82	13,40	35,81	71,33	98,63	100,00	100,00
% Que pasa		100,00	100,00	97,69	97,69	97,69	97,69	97,44	97,18	96,86	96,18	86,60	64,19	28,67	1,37	0,00	0,00



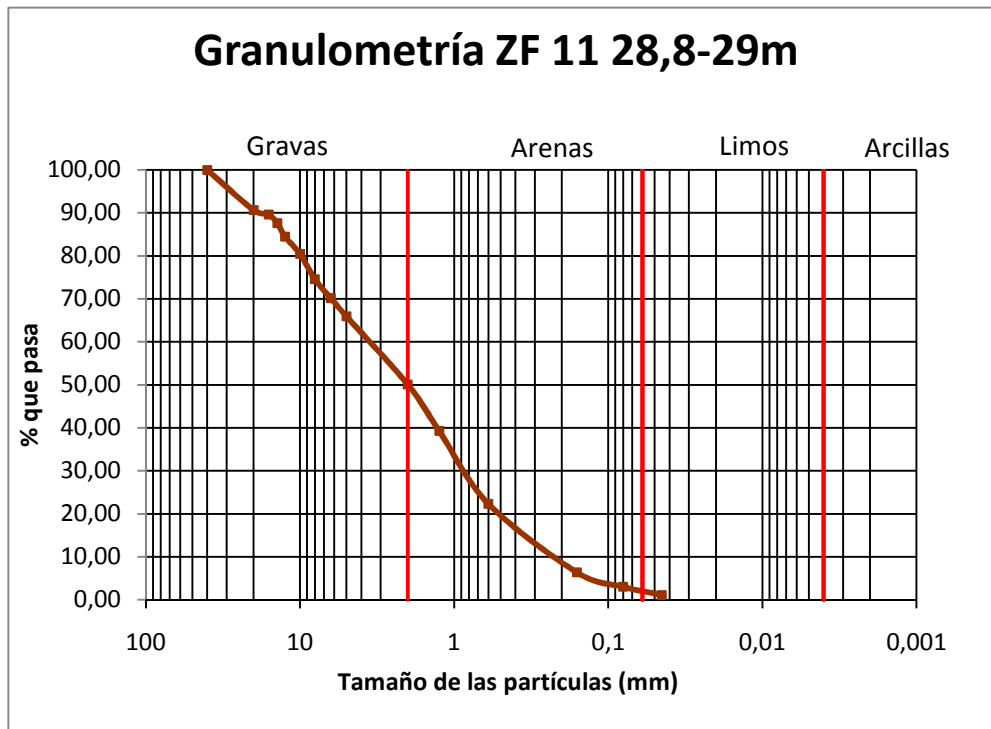
Pasa el tamiz de 5 mm:	96,18 %
Pasa el tamiz de 0,080 mm:	0 %
D60:	1,22 mm
D30:	0,64 mm
D10 (diámetro efectivo):	0,28 mm
Coefficiente de uniformidad (Cu):	4,36
Grado de curvatura (Cc):	1,20

ZF 11 9,4-9,6m																
Masa de la muestra (g)															1028	
Tamiz (mm)	40	20	16	14	12,5	10	8	6,3	5	2	1,25	0,6	0,160	0,080	0,045	Colector
Retenido parcial (g)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	12,400	3,600	245,000	490,300	187,200	60,400	14,200	8,400	6,500
Retenido parcial (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,21	0,35	23,83	47,69	18,21	5,88	1,38	0,82	0,63
Retenido acumulado (g)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,40	16,00	261,00	751,30	938,50	998,90	1013,10	1021,50	1028,00
Retenido acumulado (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,21	1,56	25,39	73,08	91,29	97,17	98,55	99,37	100,00
% Que pasa	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,79	98,44	74,61	26,92	8,71	2,83	1,45	0,63	0,00



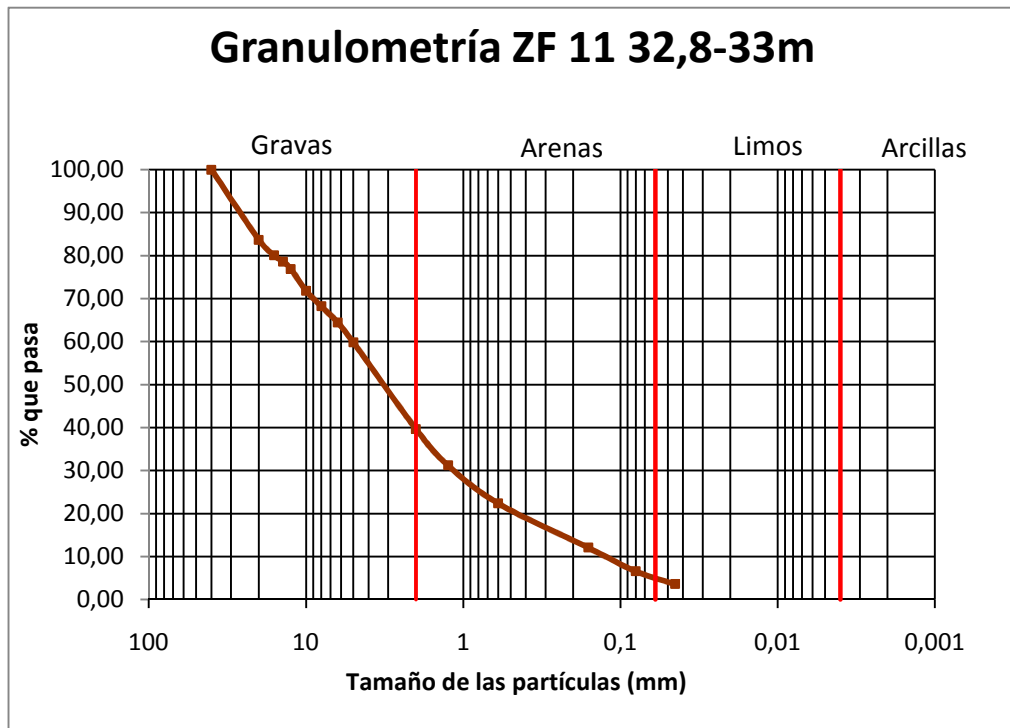
Pasa el tamiz de 5 mm:	98,44 %
Pasa el tamiz de 0,080 mm:	1,45 %
D60:	1,7 mm
D30:	1,4 mm
D10 (diámetro efectivo):	0,68 mm
Coefficiente de uniformidad (Cu):	2,5
Grado de curvatura (Cc):	1,70

ZF 11 28,8-29m														Masa de la muestra (g)		729,9	
Tamiz (mm)	40	20	16	14	12,5	10	8	6,3	5	2	1,25	0,6	0,160	0,080	0,045	Colector	
Retenido parcial (g)	0,000	68,30	7,70	14,500	22,80	29,200	43,10	32,200	30,70	115,60	78,90	123,70	116,60	24,60	13,70	8,300	
Retenido parcial (%)	0,00	9,36	1,05	1,99	3,12	4,00	5,90	4,41	4,21	15,84	10,81	16,95	15,97	3,37	1,88	1,14	
Retenido acumulado (g)	0,00	68,30	76,0	90,50	113,3	142,50	185,6	217,80	248,5	364,10	443,0	566,70	683,30	707,9	721,6	729,90	
Retenido acumulado (%)	0,00	9,36	10,4	12,40	15,52	19,52	25,43	29,84	34,05	49,88	60,69	77,64	93,62	96,99	98,86	100,00	
% Que pasa	100,0	90,64	89,5	87,60	84,48	80,48	74,57	70,16	65,95	50,12	39,31	22,36	6,38	3,01	1,14	0,00	



Pasa el tamiz de 5 mm:	65,95 %
Pasa el tamiz de 0,080 mm:	3,01 %
D60:	3,6 mm
D30:	0,9 mm
D10 (diámetro efectivo):	0,24 mm
Coficiente de uniformidad (Cu):	15
Grado de curvatura (Cc):	0,94

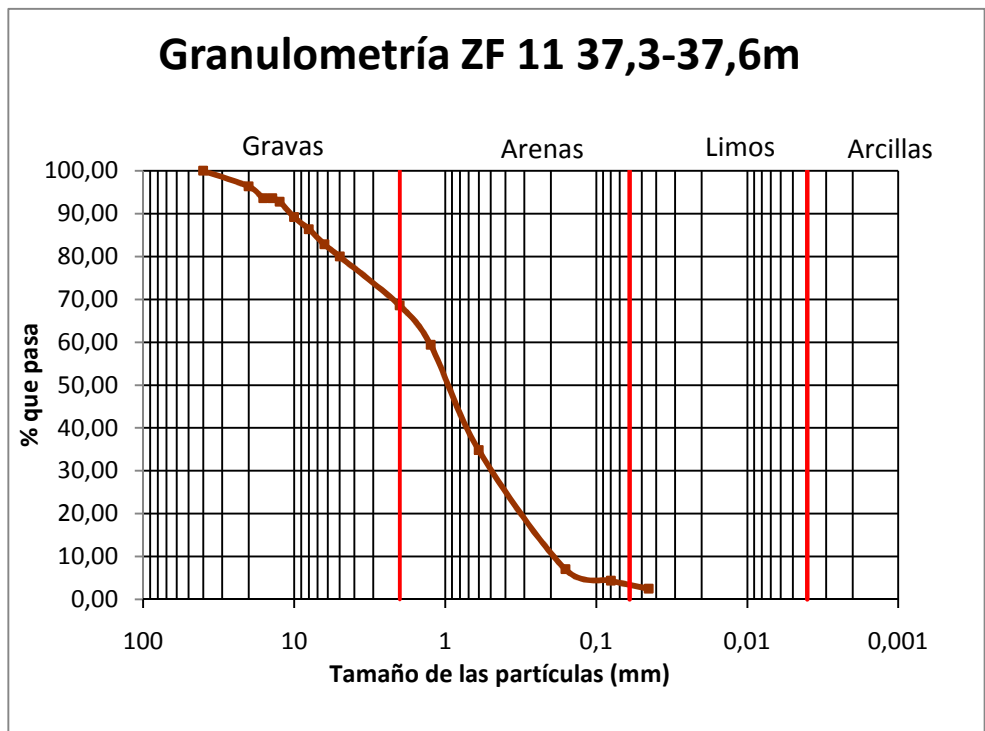
ZF 11 32,8-33m															Masa de la muestra (g)		704	
Tamiz (mm)	40	20	16	14	12,5	10	8	6,3	5	2	1,25	0,6	0,160	0,080	0,045	Colector		
Retenido parcial (g)	0,000	114,800	25,600	10,000	12,200	35,700	25,400	26,300	32,800	141,700	59,600	62,200	72,500	38,700	20,900	25,600		
Retenido parcial (%)	0,00	16,31	3,64	1,42	1,73	5,07	3,61	3,74	4,66	20,13	8,47	8,84	10,30	5,50	2,97	3,64		
Retenido acumulado (g)	0,00	114,80	140,40	150,40	162,60	198,30	223,70	250,00	282,80	424,50	484,10	546,30	618,80	657,50	678,40	704,00		
Retenido acumulado (%)	0,00	16,31	19,94	21,36	23,10	28,17	31,78	35,51	40,17	60,30	68,76	77,60	87,90	93,39	96,36	100,00		
% Que pasa	100,00	83,69	80,06	78,64	76,90	71,83	68,22	64,49	59,83	39,70	31,24	22,40	12,10	6,61	3,64	0,00		



Pasa el tamiz de 5 mm:	59,83 %
Pasa el tamiz de 0,080 mm:	6,61 %
D60:	5 mm
D30:	1,2 mm
D10 (diámetro efectivo):	0,14 mm
Coefficiente de uniformidad (Cu):	35,71
Grado de curvatura (Cc):	2,06

ZF 11 37,3-37,6m																
Tamiz (mm)	40	20	16	14	12,5	10	8	6,3	5	2	1,25	0,6	0,160	0,080	0,045	Colector
Retenido parcial (g)	0,000	38,800	29,300	0,000	8,500	38,700	29,600	38,000	30,000	121,500	97,700	261,500	295,700	28,700	19,800	26,600
Retenido parcial (%)	0,00	3,65	2,75	0,00	0,80	3,64	2,78	3,57	2,82	11,41	9,18	24,57	27,78	2,70	1,86	2,50
Retenido acumulado (g)	0,00	38,80	68,10	68,10	76,60	115,30	144,90	182,90	212,90	334,40	432,10	693,60	989,30	1018,00	1037,80	1064,40
Retenido acumulado (%)	0,00	3,65	6,40	6,40	7,20	10,83	13,61	17,18	20,00	31,42	40,60	65,16	92,94	95,64	97,50	100,00
% Que pasa	100,00	96,35	93,60	93,60	92,80	89,17	86,39	82,82	80,00	68,58	59,40	34,84	7,06	4,36	2,50	0,00

Masa de la muestra (g) 1064,4

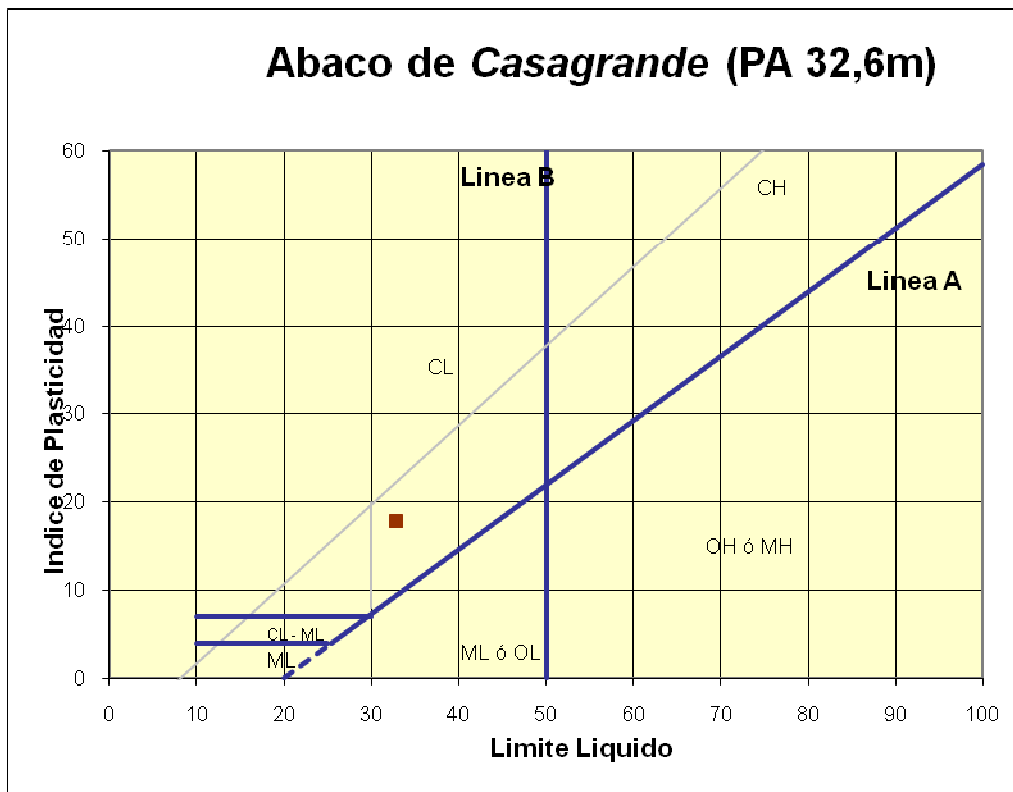


Pasa el tamiz de 5 mm:	80,00 %
Pasa el tamiz de 0,080 mm:	4,36 %
D60:	1,25 mm
D30:	0,5 mm
D10 (diámetro efectivo):	0,2 mm
Coefficiente de uniformidad (Cu):	6,25
Grado de curvatura (Cc):	1

Parte 2 – Plasticidad.

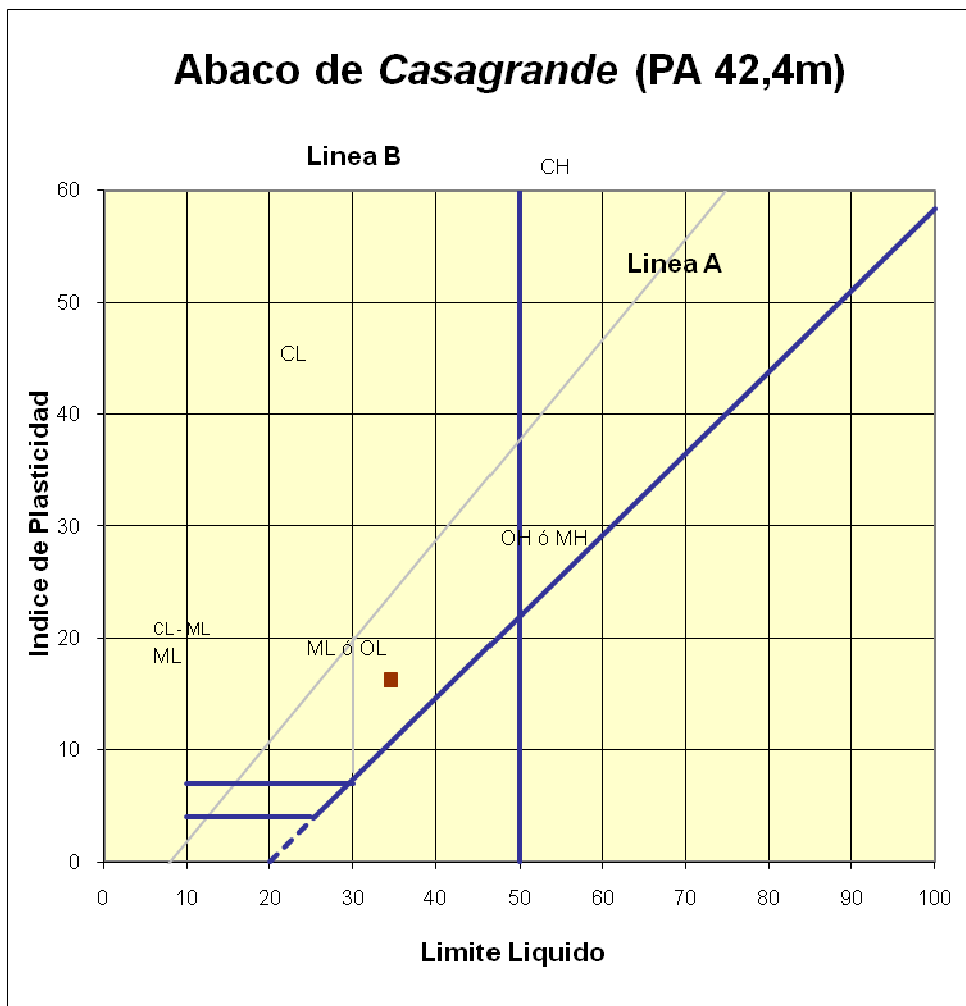
Muestra	PA 32,6		
Edad	Mioceno Continental		
Ensayo	Límitee líquidoo		Límitee plásticoo
Tara nº	LI1	LI2	LP1
Tara	0,980	0,678	0,843
Tara + suelo + agua	24,168	16,517	4,747
Tara + suelo	18,420	12,612	4,237
Suelo	17,440	11,934	3,394
Agua	5,748	3,905	0,510
% Humedad	32,96	32,72	15,03
Nº golpes	19	29	
LL	32,8		LP 15,0

Límite líquido (LL):	32,8
Límite plástico (LP):	15,0
Índice de plasticidad (IP):	17,8



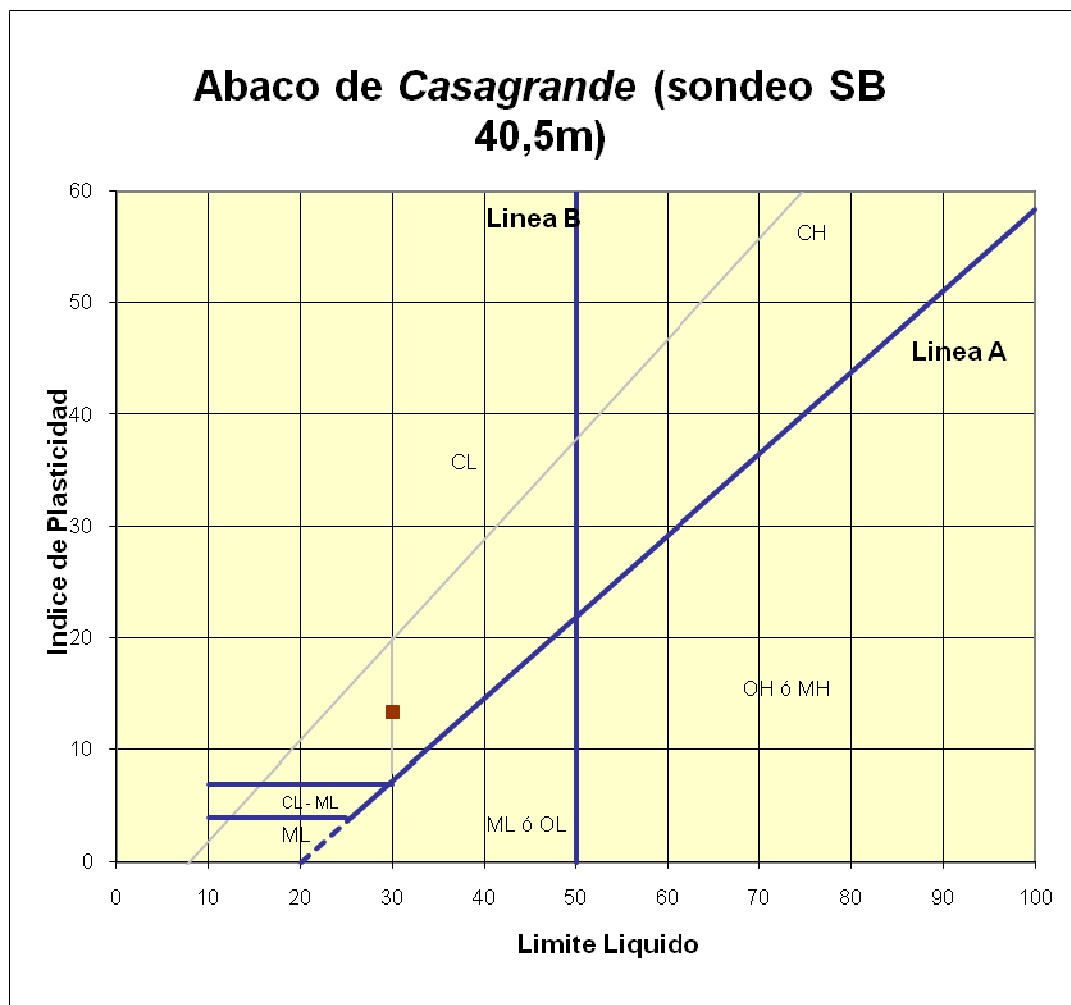
Muestra	PA 42,4		
Edad	Mioceno Continental		
Ensayo	Límite líquido		Límite plástico
Tara nº	LI1	LI2	LP1
Tara	0,890	0,910	0,970
Tara + suelo + agua	21,851	22,560	4,301
Tara + suelo	16,057	17,333	3,785
Suelo	15,167	16,423	2,815
Agua	5,794	5,227	0,516
% Humedad	38,20	31,83	18,33
Nº golpes	20	29	
LL	34,6		LP 18,3

Límite líquido (LL):		34,6
Límite plástico (LP):		18,3
Índice de plasticidad (IP):		16,3



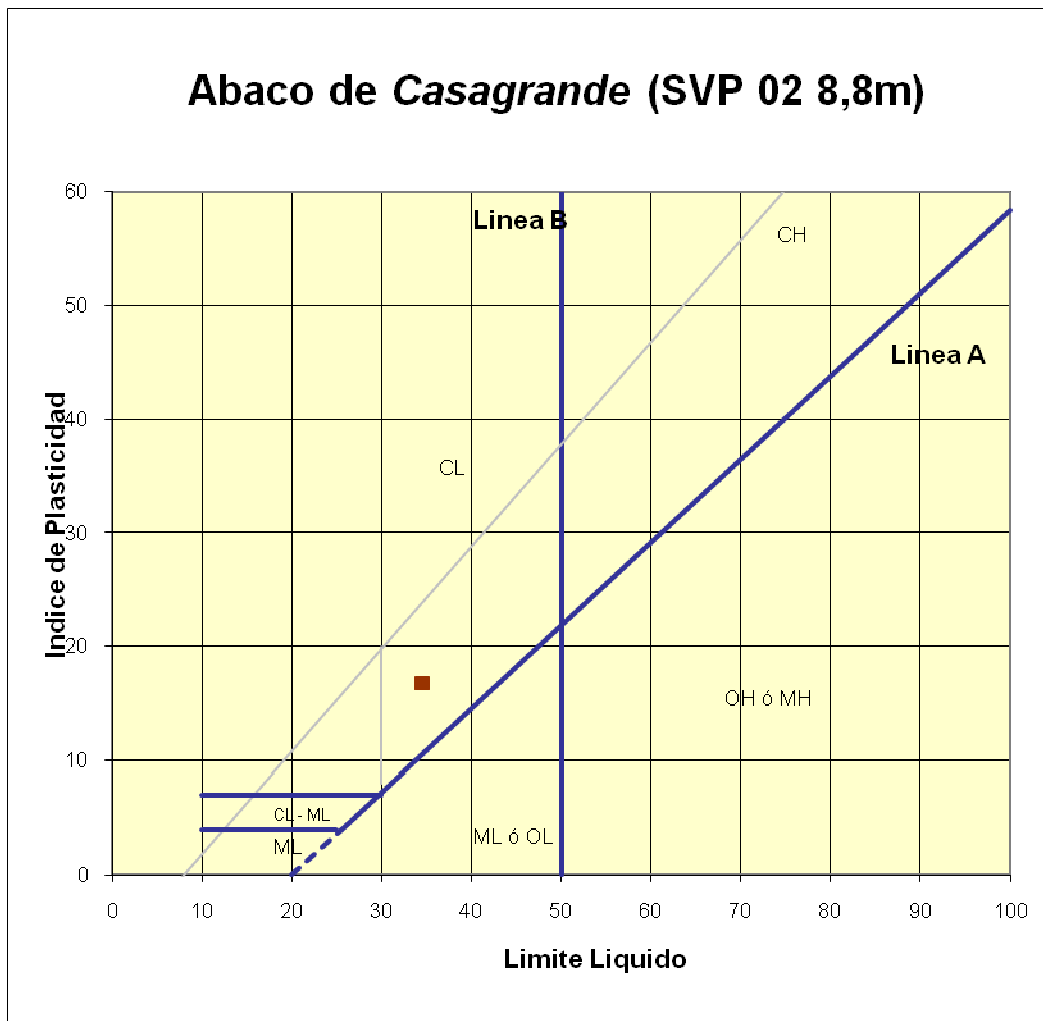
Muestra	sondeo SB 40,5m		
Edad	Plioceno		
Ensayo	Límite líquido		Límite plástico
Tara nº	LI1	LI2	LP1
Tara	0,832	0,864	0,825
Tara + suelo + agua	22,402	23,780	3,434
Tara + suelo	17,126	18,811	3,061
Suelo	16,294	17,947	2,236
Agua	5,276	4,969	0,373
% Humedad	32,38	27,69	16,68
Nº golpes	16	35	
LL	30,0		LP 16,7

Límite líquido (LL):		30,0
Límite plástico (LP):		16,7
Índice de plasticidad (IP):		13,3



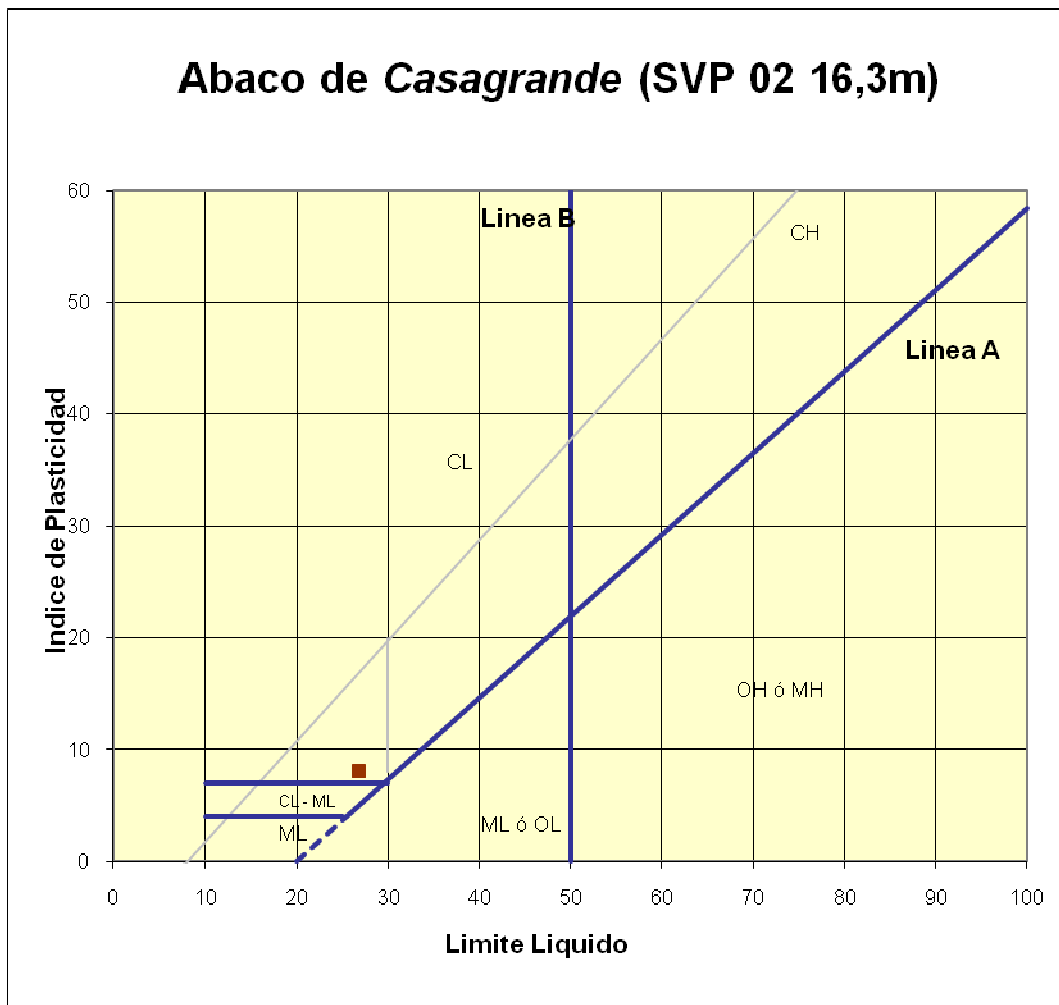
Muestra	SVP 02 8,8m		
Edad	Cuaternario Deltaico		
Ensayo	Limite líquido		Limite plástico
Tara nº	LI1	LI2	LP1
Tara	0,716	0,508	0,451
Tara + suelo + agua	17,490	19,569	2,820
Tara + suelo	13,165	15,111	2,463
Suelo	12,449	14,603	2,012
Agua	4,325	4,458	0,357
% Humedad	34,74	30,53	17,74
Nº golpes	24	34	
LL	34,5		LP 17,7

Limite líquido (LL):		34,5
Limite plástico (LP):		17,7
Índice de plasticidad (IP):		16,8



Muestra	SVP 02 16,3m		
Edad	Cuaternario Deltaico		
Ensayo	Limite líquido		Limite plástico
Tara nº	LI1	LI2	LP1
Tara	0,639	0,538	0,592
Tara + suelo + agua	20,493	16,522	3,373
Tara + suelo	16,127	13,228	2,935
Suelo	15,488	12,690	2,343
Agua	4,366	3,294	0,438
% Humedad	28,19	25,96	18,69
Nº golpes	15	30	
LL	26,8		LP 18,7

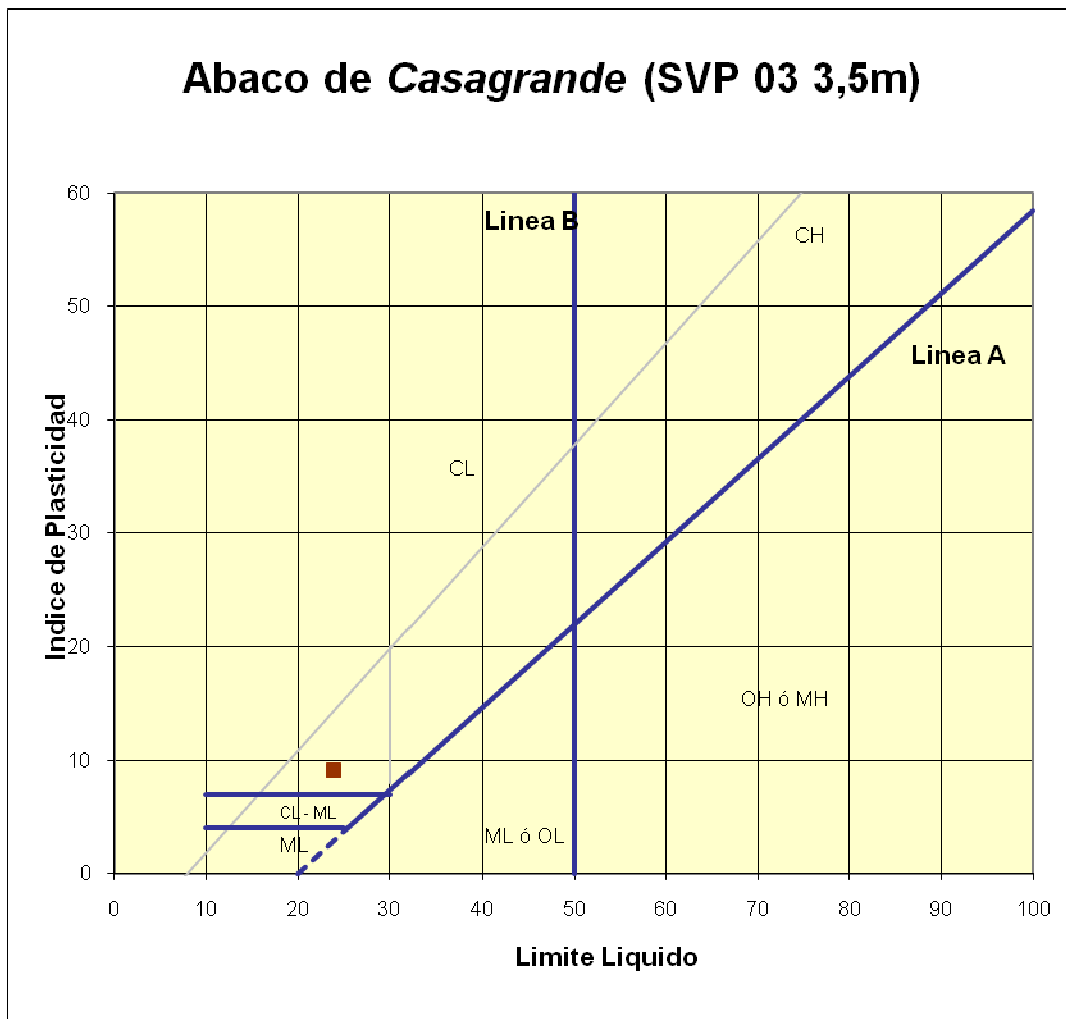
Limite líquido (LL):		26,8	%
Limite plástico (LP):		18,7	%
Índice de plasticidad (IP):		8,1	%



Muestra	SVP 03 3,5m		
Edad	Cuaternario Deltaico		
Ensayo	Límite líquido		Límite plástico
Tara nº	LI1	LI2	LP1
Tara	0,656	0,690	0,548
Tara + suelo + agua	24,255	17,953	4,807
Tara + suelo	19,377	14,809	4,258
Suelo	18,721	14,119	3,710
Agua	4,878	3,144	0,549
% Humedad	26,06	22,27	14,80
Nº golpes	17	33	
LL	23,9		LP 14,8

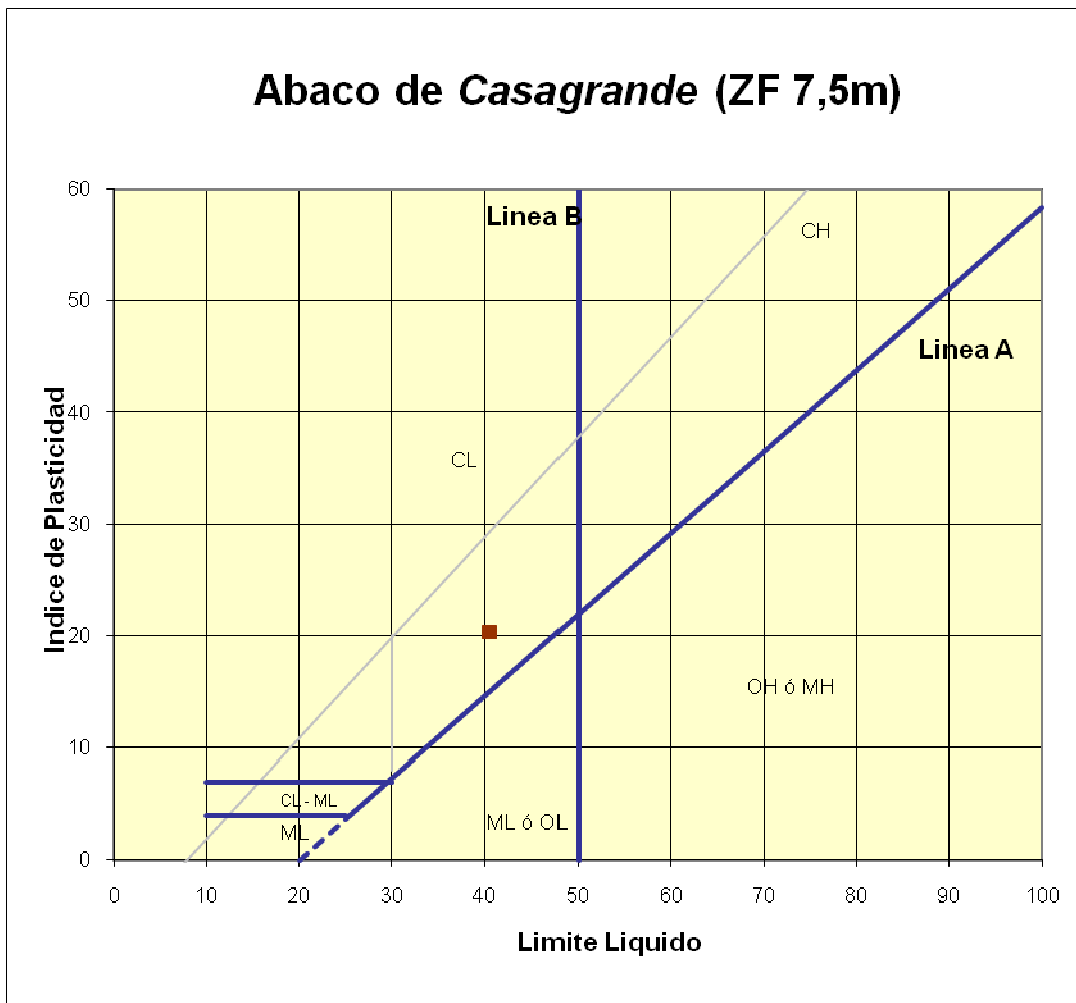
Límite líquido (LL):		23,9	%
Límite plástico (LP):		14,8	%
Índice de plasticidad (IP):		9,1	%

Abaco de Casagrande (SVP 03 3,5m)



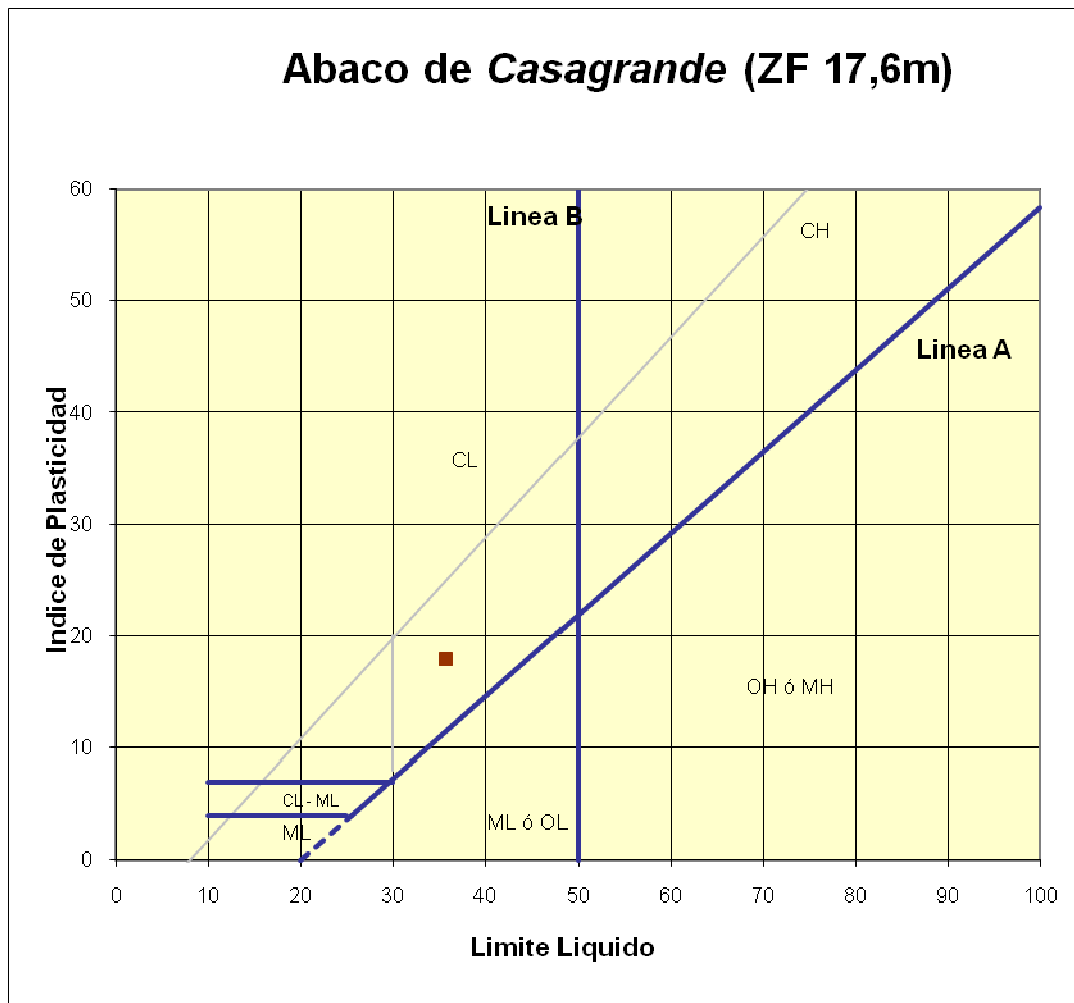
Muestra	ZF 7,5		
Edad	Cuaternario Continental		
Ensayo	Límite líquido		Límite plástico
Tara nº	LI1	LI2	LP1
Tara	0,563	0,576	0,599
Tara + suelo + agua	32,975	23,001	6,486
Tara + suelo	23,167	16,615	5,498
Suelo	22,604	16,039	4,899
Agua	9,808	6,386	0,988
% Humedad	43,39	39,82	20,17
Nº golpes	18	27	
LL	40,5		LP 20,2

Límite líquido (LL):		40,5	%
Límite plástico (LP):		20,2	%
Índice de plasticidad (IP):		20,3	%



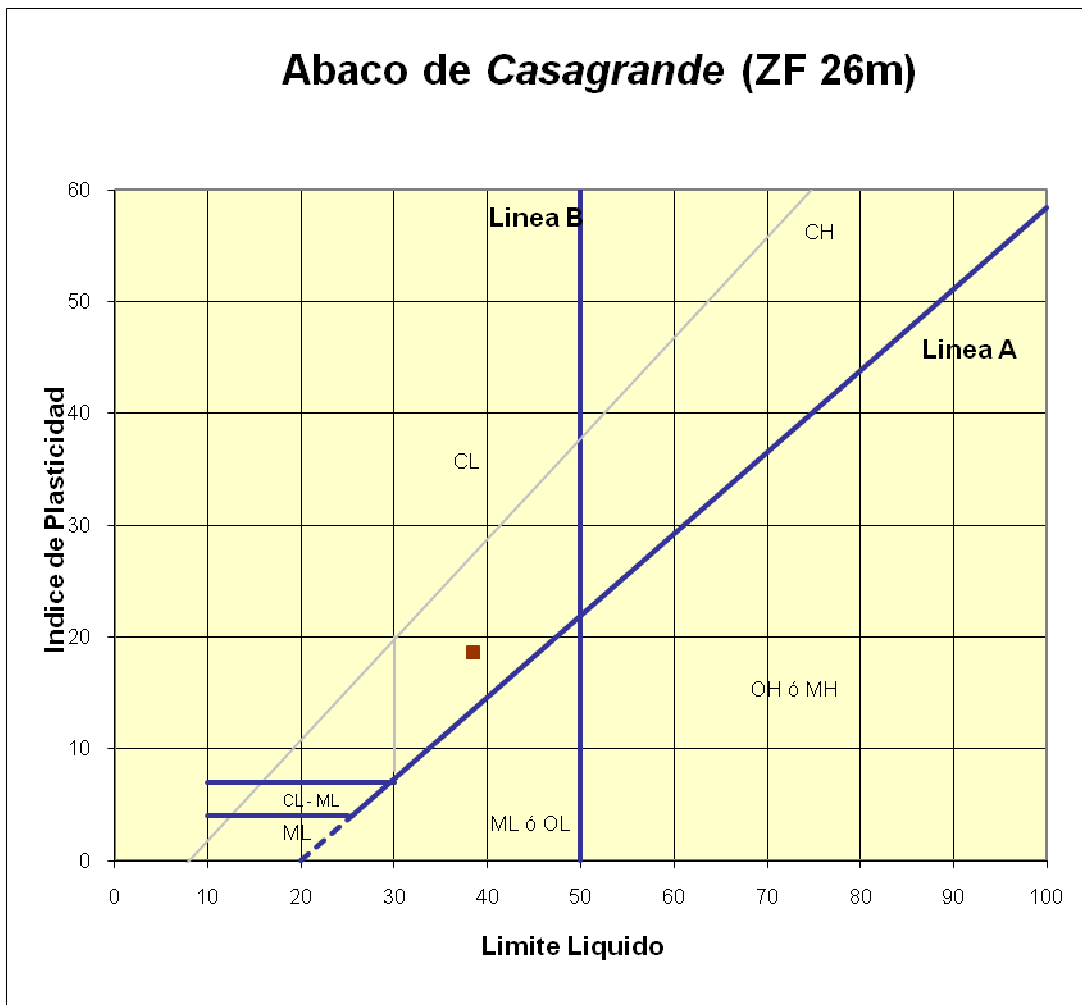
Muestra	ZF 17,6m		
Edad	Cuaternario Deltaico		
Ensayo	Limite líquido		Limite plástico
Tara nº	LI1	LI2	LP1
Tara	0,619	0,628	0,562
Tara + suelo + agua	17,917	26,269	5,293
Tara + suelo	13,065	19,794	4,579
Suelo	12,446	19,166	4,017
Agua	4,852	6,475	0,714
% Humedad	38,98	33,78	17,77
Nº golpes	16	33	
LL	35,7		LP 17,8

Limite líquido (LL):		35,7	%
Limite plástico (LP):		17,8	%
Índice de plasticidad (IP):		17,9	%



Muestra	ZF 26m		
Edad	Mioceno Marino		
Ensayo	Límite líquido		Límite plástico
Tara nº	LI1	LI2	LP1
Tara	0,660	0,599	0,681
Tara + suelo + agua	22,839	20,921	5,736
Tara + suelo	16,562	15,473	4,898
Suelo	15,902	14,874	4,217
Agua	6,277	5,448	0,838
% Humedad	39,47	36,63	19,87
Nº golpes	22	35	
LL	38,5		LP 19,9

Límite líquido (LL):		38,5	%
Límite plástico (LP):		19,9	%
Índice de plasticidad (IP):		18,6	%



Muestra	ZF 53m		
Edad	Mioceno Continental		
Ensayo	Límite líquido		Límite plástico
Tara nº	LI1	LI2	LP1
Tara	0,690	0,707	0,699
Tara + suelo + agua	19,172	21,084	5,461
Tara + suelo	13,668	15,459	4,717
Suelo	12,978	14,752	4,018
Agua	5,504	5,625	0,744
% Humedad	42,41	38,13	18,52
Nº golpes	16	26	
LL	38,3		LP 18,5

Límite líquido (LL):		38,3	%
Límite plástico (LP):		18,5	%
Índice de plasticidad (IP):		19,8	%

