



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

## TRABAJO DE FIN DE GRADO

---

Estudio de soluciones para la cimentación de un edificio de  
viviendas de uso residencial en Cali (Colombia)

---

*Presentado por*

Sillero Cortijo, Joan Josep

---

*Para la obtención del*

Grado en Ingeniería Civil

*Curso: 2019/2020*

*Fecha: Septiembre 2020*

*Tutor: Francisco Javier Torrijo Echarri*



## ÍNDICE

1. Antecedentes .....	4
2. Objeto.....	4
3. Situación geográfica.....	4
4. Alcance del proyecto .....	4
5. Estudio geológico .....	5
5.1. Geología regional .....	5
5.2. Geología local.....	5
5.3. Geología estructural.....	5
5.4. Hidrogeología.....	6
5.5. Geomorfología .....	6
5.6. Sismotectónica .....	7
6. Estudio geotécnico .....	7
6.1. Trabajos de campo.....	7
6.2. Trabajos de laboratorio.....	10
6.3. Características litológicas y geotécnicas del subsuelo.....	12
6.4. Tabla resumen de los parámetros geotécnicos .....	20
6.5. Sismicidad .....	21
7. Estudio de soluciones .....	24
7.1. Introducción .....	24
7.2. Tipologías de cimentación.....	25
7.3. Estimación de las cargas de cimentación.....	25
7.4. Alternativas de cimentación.....	25



7.5. Desglose de cada alternativa ..... 29

7.6. Elección de la solución..... 33

8. Definición geotécnica de la solución elegida ..... 35

9. Excavaciones ..... 36

10. Valoración económica..... 37

11. Conclusiones ..... 37

12. Referencias ..... 39

13. Anexos ..... 40

ANEXO I: SITUACIÓN DE LOS RECONOCIMIENTOS REALIZADOS ..... 41

ANEXO II: COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS Y FOTOGRAFÍAS DE LOS SONDEOS REALIZADOS ..... 43

ANEXO III: BOLETINES DE ENSAYOS DE LABORATORIO ..... 55

ANEXO IV: PERFIL GEOTÉCNICO DEL TERRENO ..... 60

ANEXO V: MAPAS UTILIZADOS ..... 63

ANEXO VI: PLANOS DE CIMENTACIÓN PROPUESTA ..... 68

ANEXO VII: VALORACIÓN ECONÓMICA ..... 69



## 1. Antecedentes

De acuerdo a las exigencias y ordenanzas de la Alcaldía de Santiago de Cali, además de los requisitos generales de diseño y construcción sísmo resistente y el Reglamento colombiano de construcción sísmo resistente, las edificaciones deben contar con un estudio geotécnico que formulen las recomendaciones constructivas y de cimentación de la obra necesarias, en base a los trabajos de campo que se realicen, así como los ensayos de laboratorio y la interpretación de los resultados obtenidos.

Para la obtención de los datos necesarios para llevar a cabo el estudio de soluciones del presente Trabajo Final de Grado, se ha llevado a cabo un análisis de campo, mediante el cual se ha podido definir la geología, geomorfología y los aspectos estructurales del emplazamiento en el que se va a ubicar la edificación.

Durante el trabajo de campo, se procedió a la caracterización mecánica de la superficie de cimentación, mediante la realización de Ensayos de Penetración Estándar (Standard Penetration Test, SPT).

Los resultados que se han obtenido de los SPT realizados, así como las caracterizaciones mecánicas de la parcela han permitido el estudio de la resistencia y la deformabilidad del terreno.

## 2. Objeto

El presente informe recoge los datos de campo, interpretación y resultados obtenidos en la campaña de investigación geotécnica ejecutada en un emplazamiento situado en el municipio de Cali, en el Departamento del Valle del Cauca, para el **proyecto de construcción del conjunto residencial Santa Mónica**.

El informe se basa en la ejecución de 4 sondeos geotécnicos en los que se tomaron muestras de los materiales atravesados y se realizaron ensayos de penetración dinámica estándar (SPT). Mediante los trabajos efectuados se obtienen los datos y características básicas que permiten estudiar el subsuelo y las características geotécnicas de éste, así como estudiar las condiciones de cimentación más oportunas y analizar las excavaciones a realizar, las características sísmicas, y demás aspectos práctico-constructivos relacionados con el terreno.

En los apartados correspondientes se describe la metodología seguida y trabajos realizados, para finalmente analizar la tipología y base de diseño de la cimentación del edificio objeto del presente estudio, y demás aspectos relacionados con el subsuelo y proyecto constructivo.

## 3. Situación geográfica

El emplazamiento objeto de estudio se localiza en el municipio de Cali, en el Departamento del Valle del Cauca. El emplazamiento presenta una superficie aproximada de 1.555,55 m<sup>2</sup> y se localiza (Figura 1) entre la Avenida 9a Norte y la Calle 22 Norte.

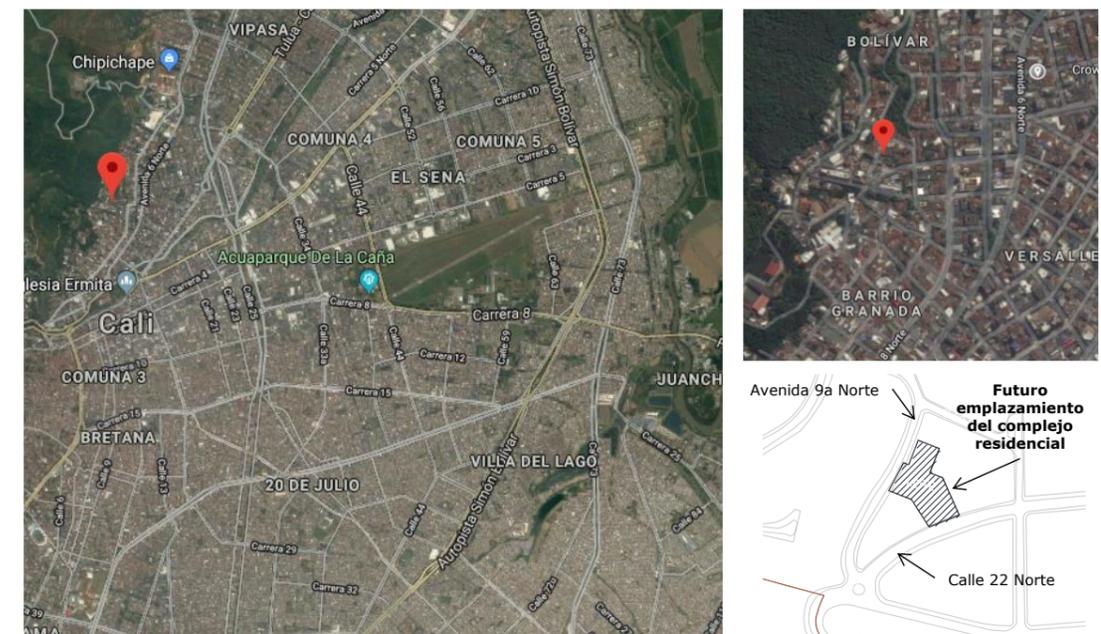


Figura 1. Localización de la zona de estudio

## 4. Alcance del proyecto

La finalidad de este estudio geotécnico es el de determinar las características geológicas y geotécnicas de la zona donde se emplazará el futuro edificio de viviendas, y, de este modo, obtener la solución de cimentación más adecuada.

Para ello, será necesario:

- Conocer la geología de la zona
- Realizar un estudio sismotectónico de la zona
- Trabajos e investigaciones de campo
- Trabajos de laboratorio
- Realizar una descripción del subsuelo
- Estudio de soluciones para la cimentación
- Una valoración económica estimada de las obras ejecutadas

## 5. Estudio geológico

### 5.1. Geología regional

El Departamento del Valle del Cauca forma parte del Suroccidente Colombiano, siendo sus rasgos fisiográficos principales las cordilleras Central y Occidental del Sistema Andino, separadas por la depresión interandina de los ríos Cauca y Patía, y la Llanura Costera del Pacífico que se extiende al occidente de la Cordillera Occidental (Nivia, 1998).

### 5.2. Geología local

Desde el punto de vista geológico, la zona de estudio (Figura 2) se emplaza en un área en la que se identifican materiales de la **Fm Volcánica** y de la **Fm Guachinte**, así como depósitos no consolidados del Cuaternario, en general **depósitos coluviales y aluviales**.

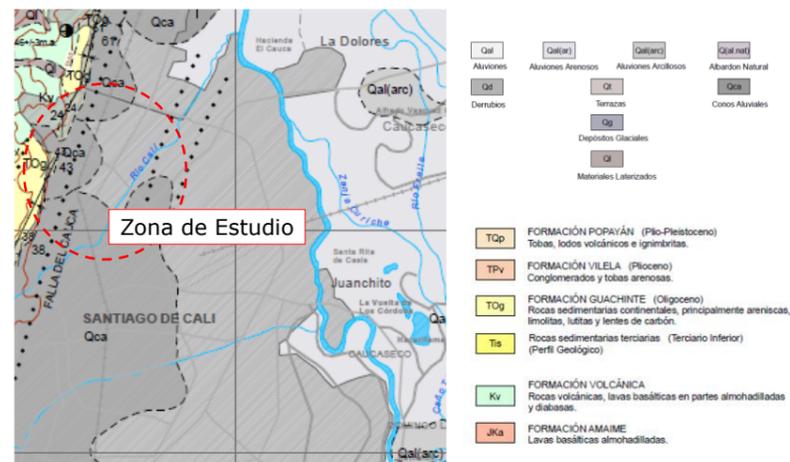


Figura 2. Mapa geológico (INGEOMINAS, 1985, Servicio Geológico Colombiano)

La **Fm Volcánica** comprende una secuencia de lavas basálticas almohadilladas, diques diabásicos y con menor proporción brechas volcánicas y lentes delgadas de sedimentitas, que ocupan amplias áreas de la Cordillera Occidental. Los basaltos varían de rocas macizas a diaclasadas. La parte superior de algunos flujos puede consistir en brechas almohadilladas, hialoclastita y ocasionalmente cubiertas por chert y toba (Barrero, 1979). La unidad presenta un metamorfismo incipiente asociado con un ambiente de formación de meseta oceánica y se le asigna una edad del cretáceo tardío.

La **Fm Guachinte** comprende una secuencia de sedimentos que contiene capas de carbón y descansa discordantemente sobre la Fm Chimborazo. Se reconocen dos miembros: el inferior, Miembro La Cima, con areniscas bien estratificadas e intercalaciones delgadas de conglomerados y el superior, Miembro La Rampla, constituido por areniscas de grano fino a muy grueso, algunos niveles de conglomerados y, hacia la base, varios mantos de carbón.

Con base en fósiles, Reizer (1954) reportó edades del Oligoceno temprano. Los depósitos aluviales son comunes a lo largo de los cursos de los ríos principales de la zona, consistentes en depósitos clásticos de gruesos a muy gruesos, de gravas estratificadas y relativamente bien seleccionadas, gravas arenosas y arenas con unidades locales de limos.

En concreto, en las márgenes del valle del río Cauca, existen abundantes conos aluviales generalmente complejos que comprenden gravas y gravas arenosas con capas delgadas de arena.

### 5.3. Geología estructural

En las rocas que afloran en el Valle del Cauca se reconocen tres fases de deformación principal: la primera de ellas es intrínseca a las rocas paleozoicas del oriente colombiano y corresponde a la generación de rocas metamórficas.

La segunda ha sido identificada en las rocas cretácicas de la Provincia Litoférica Oceánica Cretácica Occidental (PLOCO), en las que aparece una foliación marcada. La tercera fase se encuentra en las rocas metamórficas paleozoicas y en las de la PLOCO, por la presencia de fallas inversas de vergencia E-W, acompañadas de un plegamiento suave de los planos de foliación. Por el contrario, en las rocas cenozoicas aparecen pliegues amplios y fallas inversas con vergencia hacia el occidente.

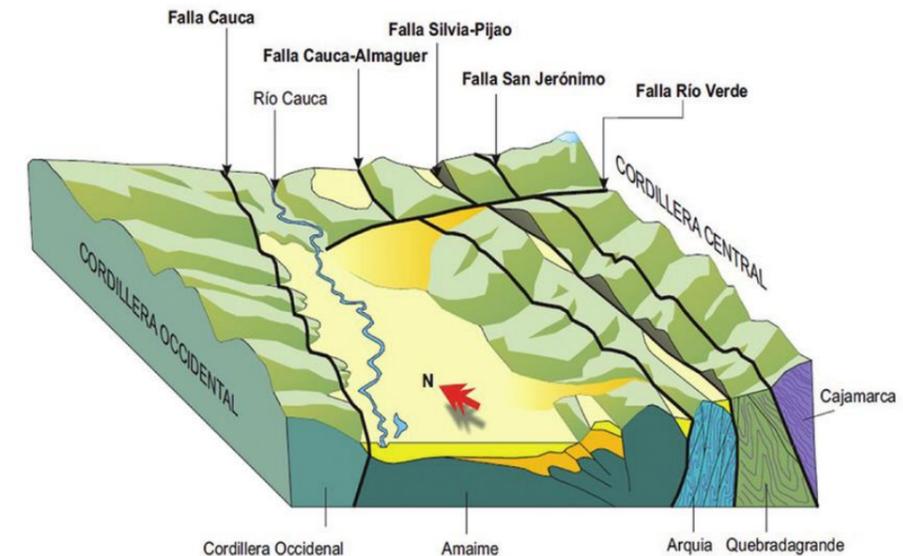


Figura 3. Esquema del sistema de fallas en la Cordillera Central. (Tomado de López, 2006.)

## 5.4. Hidrogeología

En el aspecto hidrológico, en el área donde se ubica el proyecto no se ha detectado, para ninguno de los sondeos realizados, la presencia de nivel freático, por lo que se puede considerar que la cota de este se encontrará a una profundidad mayor a la alcanzada por los sondeos, es decir, el nivel de agua se encontrará a más de 15 metros de profundidad.

## 5.5. Geomorfología

El Valle del Cauca presenta unidades geomorfológicas caracterizadas por contrastes marcadas en su fisiografía y unidades litológicas que las conforman. Dentro de la cuenca del Río Cauca pueden identificarse distintas unidades de paisaje. Al oeste de la vertiente montañosa de la Cordillera Occidental se identifica la unidad geomorfológica de la Llanura Costera del Pacífico.

### 5.5.1. Zonas de vertiente

Corresponde a las zonas montañosas que conforman las Cordilleras Central y Occidental y que delimitan el relleno aluvial del Río Cauca. Presentan pendientes moderadas a fuertes y laderas largas y/o coluviales. Estas zonas son las más complejas en cuanto a sus procesos de formación y extensión.

### 5.5.2. Zonas de colinas bajas

Ubicadas principalmente hacia los extremos norte y sur del departamento. Formadas por rocas sedimentarias dispuestas subhorizontalmente, formadas en ambientes fluviales.

### 5.5.3. Zonas de abanicos

Localizadas entre las zonas de vertiente y la planicie aluvial del Río Cauca y están formadas por los materiales que han sido transportados y depositados en la planicie aluvial.

### 5.5.4. Zona de planicie aluvial del Río Cauca

Desarrollada por la dinámica del Río Cauca durante el Cuaternario. Se encuentra delimitada hacia el este y el oeste los macizos rocosos de las Cordilleras Occidental y Central.

### 5.5.5. Zona de llanura costera del Pacífico

Esta zona se encuentra al oeste de la vertiente montañosa de la Cordillera Occidental. En esta unidad geomorfológica se pueden diferenciar tres zonas importantes (POT Buenaventura, 2001):

- Zona litoral baja de playa
- Zona media
- Zona litoral rocosa de acantilado: Donde se pueden identificar acantilados que llegan a alcanzar los 12 metros de altura.

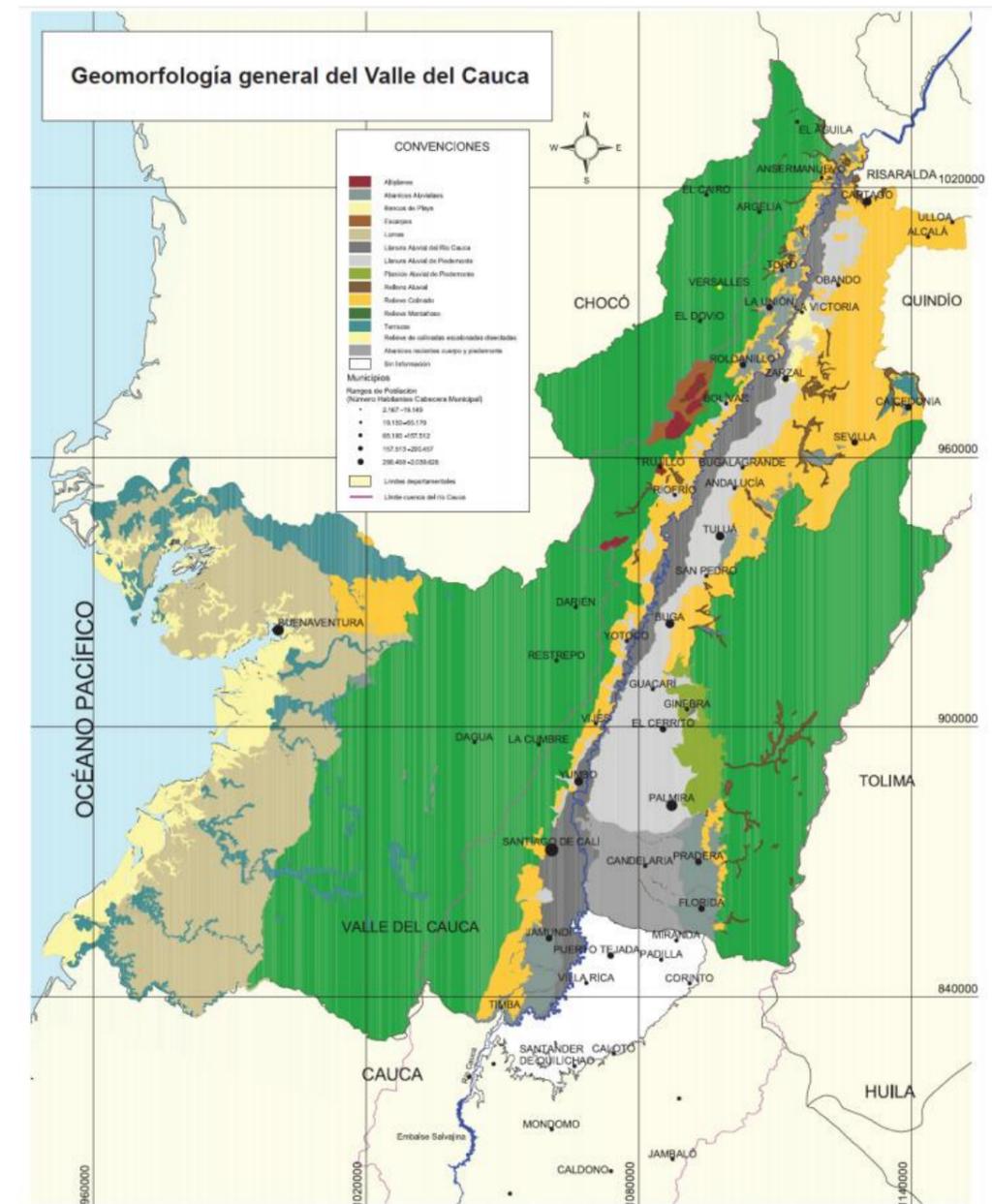


Figura 4. Mapa geomorfológico generalizado, departamento Valle del Cauca. Fuente: CVC (2007).

## 5.6. Sismotectónica

El territorio del departamento del Valle del Cauca está localizado al noroccidente de Suramérica, sobre los Andes Septentrionales, el cual es un sitio de interacción de tres placas tectónicas: **Suramericana, Nazca y Caribe.**

Dentro del territorio colombiano, el departamento del Valle del Cauca se encuentra formando parte, de este a oeste, de la Provincia Litosférica Continental Mesoproterozoica Greenvilliana (PLCMG), la Provincia Litosférica Oceánica Neoproterozoica Arquía (PLONA) y la Provincia Litosférica Oceánica Cretácica Occidental (PLOCO) (Gómez et al., 2007).

El marco tectónico de la esquina noroccidental de Suramérica a lo largo de la fosa Colombo-Ecuatoriana, es dominado por la subducción de la placa oceánica bajo la continental, donde se describe la existencia de, al menos, tres segmentos tectónicos sísmicamente activos. Cada uno de estos segmentos, Norte, Centro y Sur, se caracteriza por tener su propio régimen sísmico y procesos de liberación y acumulación de esfuerzos de manera diferente. Los segmentos Central y Sur son los que afectan en gran medida al departamento del Valle del Cauca y a las zonas próximas.

Desde el punto de vista sismotectónico, en el Valle del Cauca destacan tres tipos de fuentes sismogénicas (INGEOMINAS, 2005): **1) La trinchera, 2) La zona de Benioff, 3) Las fallas intercontinentales**, por ejemplo el sistema de fallas Cauca y el sistema de fallas Romeral.

En estas fuentes sismogénicas se han presentado terremotos históricos con profundidades desde superficiales hasta intermedias, que han dejado daños materiales considerables y numerosas víctimas en el occidente y centro del país. En la Figura 5 se muestran los sismos históricos más importantes de la región.

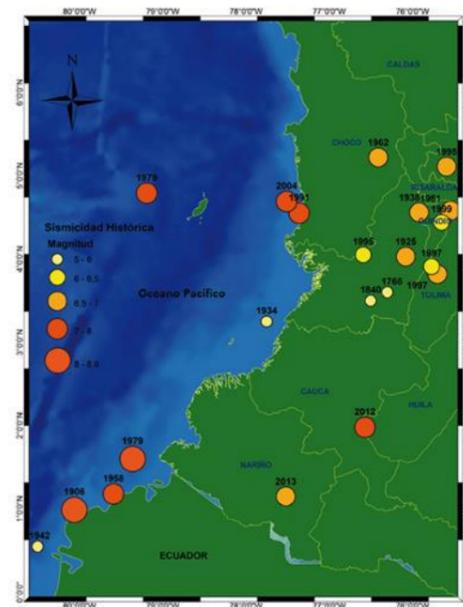


Figura 5. Localización de sismos históricos con efectos en la región del Suroccidente de Colombia.

## 6. Estudio geotécnico

### 6.1. Trabajos de campo

La campaña de reconocimiento del terreno para la redacción del estudio geotécnico se ha llevado a cabo mediante los trabajos indicados en la Tabla 1.

Los puntos de investigación se han posicionado mediante GPS, a partir de la información y el plano facilitado por el cliente.

Tipo de reconocimiento	Número	Profundidad alcanzada
Sondeos	4	Entre 15,00 y 15,50 m

Tabla 1. Resumen de los trabajos de reconocimiento del terreno realizados

#### 6.1.1. Sondeos

Se han realizado un total de 4 sondeos a rotación con extracción de muestra continua con un total de 60,5 metros perforados. La Tabla 2 indica la situación y profundidad de los sondeos:

Sondeo	Profundidad alcanzada	Coordenadas		
		X	Y	Z
S-1	15,00 m	874796,21	1060460,93	1006,30
S-2	15,00 m	874821,68	1060480,32	1006,20
S-3	15,00 m	874807,25	1060486,21	1011,80
S-4	15,50 m	874823,37	1060435,81	997,40

Tabla 2. Localización y profundidad de los sondeos realizados

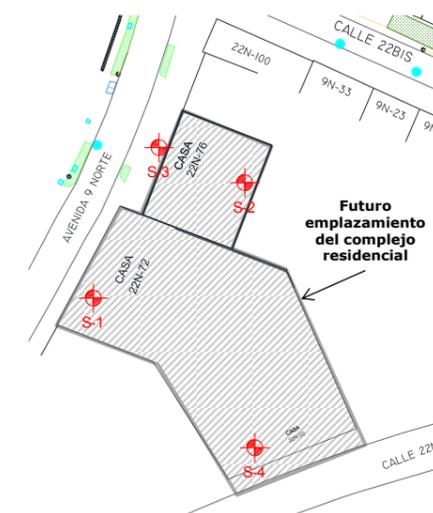


Figura 6. Localización de los sondeos en la zona de estudio.



En la Figura 6 se ha recogido la localización de los sondeos realizados en la zona de estudio. Para la realización de los sondeos se empleó una máquina de rotación, dotada de sistema *Wire Line*, con barrenas HQ de diámetro 63,5 mm.

En el interior de los sondeos, y con el fin de conocer la capacidad portante de los diferentes niveles del terreno atravesados, se realizaron ensayos de penetración dinámica estándar (Standard Penetration Test, SPT), cuyo procedimiento operatorio y resultado final se incluye más adelante.

Asimismo, se tomaron muestras alteradas para caracterizar geotécnicamente los materiales.

A continuación se describen los materiales atravesados en los sondeos, cuyas columnas estratigráficas se incluyen en el ANEXO II: *Columnas estratigráficas y fotografías de los sondeos realizados*.

### 🚧 Sondeo S-1

#### Profundidad: 0,00 – 2,90 m. Depósito Antrópico.

Material arenoso compuesto por un limo arenoso con presencia de materia orgánica y material antrópico, y fragmentos de roca de otras fuentes, angular y subangular de hasta 2 cm, en proporción inferior al 20%. Presenta humedad baja, compacidad suelta a muy suelta y plasticidad baja.

#### Profundidad: 2,90 – 14,00 m. Depósito Coluvial.

- **De 2,90 a 5,20 m:** Arena limosa con algo de arcilla de color pardo rojizo, con gravas de hasta 5 mm, en una proporción < 15%, con estructura desordenada, producto de la removilización de horizontes residuales y saprolíticos de la Fm Volcánica y la Fm Guanchinte, que conforman las zonas más elevadas de la ladera, cerca a la zona de estudio. Posee humedad media, compacidad densa y plasticidad baja.
- **De 5,20 a 7,80 m:** Se presenta una arcilla limosa con algo de arena de color pardo rojizo, con estructura desordenada. Presenta humedad media, consistencia moderadamente firme y plasticidad media.
- **De 7,80 a 9,10 m:** Se presenta un limo con algo de arena e indicios de arcilla de color pardo rojizo, correspondiente a removilización de material de la parte alta y media de la ladera. Posee humedad media a baja, compacidad medianamente densa a densa y plasticidad baja.
- **De 9,10 a 10,50 m:** Arena limosa con indicios de arcilla, de color pardo rojizo, con estructura desordenada. Presenta humedad de media a baja, compacidad medianamente densa a densa y baja plasticidad.
- **De 10,50 a 12,00 m:** Arcilla de color gris con intercalaciones rojizas, con gravas de arenisca y limolita de tonos claros, subangulares de 2 - 4 cm de tamaño, y algunas gravas redondeadas < 3 mm, matriz soportado en una relación 35/65. Humedad baja, consistencia firme a muy firme, plasticidad alta.
- **De 12,00 a 13,00 m:** Limo arcilloso de color rojizo a pardo café, presenta humedad media, consistencia moderadamente firme y plasticidad media a alta.

- **De 13,00 a 14,00 m:** Arena limosa de color pardo naranja con estructura desordenada. Presenta humedad baja, compacidad densa a muy densa y plasticidad baja.

#### Profundidad: 14,00 – 15,00 m. Saprolito Fm Volcánica.

Arcilla de color gris con intercalaciones rojizas, con estructura ordenada, correspondiente al perfil de meteorización de una roca volcánica tipo diabasa. Presenta humedad baja, consistencia de muy firme a dura y alta plasticidad.

### 🚧 Sondeo S-2

#### Profundidad: 0,00 – 3,50 m. Depósito Antrópico.

Material heterogéneo compuesto por gravas angulares al techo y por un limo algo arenoso de color pardo café con presencia de materia orgánica y material antrópico. Presenta humedad baja, compacidad suelta a muy suelta y plasticidad baja.

#### Profundidad: 3,50 – 15,00 m. Depósito Coluvial.

- **De 3,50 a 5,50 m:** Limo algo arenoso de color pardo café con intercalaciones amarillentas, con gravas subangulares de hasta 1 cm, en una proporción < 15%, con estructura desordenada. Posee humedad baja, compacidad medianamente densa y plasticidad baja.
- **De 5,50 a 8,20 m:** Se presenta una arena fina algo limosa de color pardo crema, matriz soportado, con bloques de arenisca de hasta 10 cm con bordes subangulares en una proporción <30%. Presenta humedad baja, compacidad densa a muy densa y plasticidad baja.
- **De 8,20 a 9,00 m:** Arcilla de color pardo rojizo y gris, con gravas de 3mm, matriz soportado en una relación 15/85. Posee humedad media a baja, consistencia firme y plasticidad alta.
- **De 9,00 a 10,00 m:** Bloque de arenisca fina de color pardo crema con oxidación y estartificación marcada.
- **De 10,0 a 10,50 m:** Arcilla con algo de limo, de color pardo naranja. Humedad alta, consistencia blanda y alta plasticidad
- **De 10,5 a 11,0 m:** Arena limosa pardo naranja, con humedad media, compacidad densa y sin plasticidad.
- **De 11,00 a 12,00 m:** Arcilla limosa pardo naranja, con fragmentos de arenisca de grano medio algo meteorizada, de tamaño > 6cm hacia el techo. Matriz soportado humedad media, consistencia moderadamente firme y plasticidad alta.



- De 12,00 a 15,00 m: Limo algo arenoso de color naranja a rojizo, con presencia de bloque de arenisca de color pardo crema > a 10 cm, matriz soportado en una relación 30/70. La matriz presenta humedad media a baja, compacidad densa a muy densa y plasticidad baja.

### ▣ Sondeo S-3

#### Profundidad: 0,00 – 4,00 m. Depósito Antrópico.

Material heterogéneo compuesto por capas de arena y limos con intercalaciones de arcilla hacia la base, de color pardo a pardo café con vetas amarillentas. Además, presentan gravas angulares de tamaño < 1 cm, en una proporción < 10%, y posee contenido de materia orgánica como hojas y raíces. Presenta humedad baja a media hacia la base, consistencia blanda y plasticidad de baja a media hacia la base.

#### Profundidad: 4,00 – 8,70 m. Depósito Coluvial.

- De 4,00 a 6,50 m: Limo arcilloso de color pardo rojizo a naranja, con fragmentos subangulares de roca de grano fino de color gris claro y arenisca de color crema, de tamaño hasta 1,5 cm y con una proporción < 15%, posee estructura desordenada, contiene materia orgánica. Presenta humedad media, consistencia blanda a moderadamente firme y alta plasticidad.
- De 6,50 a 8,70 m: Se presenta una arcilla de color parda rojiza, con estructura desordenada y fragmentos de arenisca de grano medio, subangular, en una proporción < 10%. Posee humedad alta, consistencia moderadamente firme, y plasticidad alta.

#### Profundidad: 8,70 – 15,00 m. Saprolito Fm Volcánica.

Se presenta una arcilla de color grisáceo con intercalaciones rojizas y amarillentas, con estructura ordenada y que corresponde al perfil de meteorización de una roca volcánica tipo diabasa que aflora hacia la zona montañoso en el costado occidental de el municipio de Cali. Dicho material presenta humedad baja, consistencia muy firme a dura y alta plasticidad.

### ▣ Sondeo S-4

#### Profundidad: 0,00 – 4,00 m. Depósito Antrópico.

Limo con algo de arcilla, de color pardo rojizo con trazas de materia orgánica, con gravas angulares de hasta 3 cm de tamaño en una proporción < 5%, además presenta material antrópico como adobe y hormigón. Presenta humedad baja, consistencia blanda a moderadamente firme y plasticidad media a baja.

#### Profundidad: 4,00 – 15,00 m. Saprolito Fm Volcánica.

- De 4,00 a 8,00 m: Arcilla de color rojizo con algunas intercalaciones de grisáceas, que corresponde al perfil de meteorización de una roca ígnea volcánica tipo diabasa que se ubica hacia los cerros occidentales de Cali en la zona de estudio. Presenta humedad baja, consistencia de muy firme a dura y alta plasticidad.
- De 8,00 a 11,00 m: Arcilla de color rojizo con algunas intercalaciones de grisáceas. Presenta humedad de media a alta, consistencia de moderadamente firme a firme y alta plasticidad.
- De 11,00 a 14,50 m: Arcilla de color rojizo con algunas intercalaciones de grisáceas. Presenta humedad de media a alta, consistencia de blanda a moderadamente firme y alta plasticidad.
- De 14,50 a 15,50 m: Se presenta una arcilla algo limosa de color pardo amarillenta con algunas trazas de color negro, que corresponde a un grado menor de meteorización de la roca volcánica con respecto al tramo anterior. Posee humedad baja, consistencia dura y plasticidad media a alta.

### 6.1.2. Ensayo de Penetración Dinámica Estándar (S.P.T)

El Ensayo de Penetración Dinámica Estándar (SPT) se define como el número de golpes necesarios para conseguir una penetración de treinta centímetros (30 cm) de un tomamuestras con una maza de 63,5 kg cayendo desde una altura de setenta y cinco centímetros (75 cm).

A continuación, en la Tabla 3, se recogen los resultados obtenidos en los ensayos SPT realizados en los sondeos mecánicos indicados anteriormente. La relación de los resultados del golpeo  $N_{30}$  con la profundidad del terreno se muestra en la Figura 7.

SONDEO	Profundidad (m)		Número de golpes				Litología
	Inicial	Final	$N_{15}$	$N_{15}$	$N_{15}$	$N_{30}$	
S-1	3,00	3,30	30	30	R	R	Limo algo arenoso
	9,00	—	R	-	-	R	Limo con algo de arena e indicios de arcilla
	14,00	—	R	-	-	R	Arcilla de color gris
S-2	11,00	—	R	-	-	R	Arcilla limosa con fragmentos de arenisca
S-3	4,00	4,45	15	25	40	65	Limo arcilloso
	10,00	—	R	-	-	R	Arcilla
S-4	6,00	—	R	-	-	R	Arcilla

Tabla 3. Resultados obtenidos en los ensayos SPT realizados.

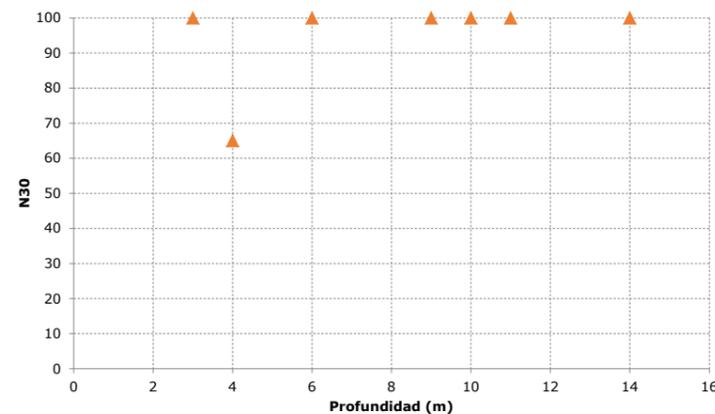


Figura 7. Relación de los resultados del golpe  $N_{30}$  con la profundidad (un valor de  $N_{30}$  igual a 100 indica rechazo).

## 6.2. Trabajos de laboratorio

### 6.2.1. Ensayos de laboratorio realizados

De los sondeos ejecutados, se extrajeron un total de 18 muestras alteradas, a partir de las cuales se realizaron los siguientes ensayos de identificación, resistencia y deformabilidad:

- Para el contenido de humedad de suelos y rocas: INV E 122-13
- Para la densidad y peso unitario de la muestra (Método balanza hidrostática): UNE 103301/9
- Para el análisis granulométrico de suelos por tamizado: INV E-123-13
- Para determinar el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad de suelos: INV E-125-13 / E-126-13
- Para la compresión inconfiada en muestras de suelos: INV E-152-13
- Ensayo de compresión inconfiada en muestras de suelos: INV E-152-13
- Ensayo de corte directo en muestras de suelo, CD: INV E-154-13
- Consolidación unidimensional de los suelos: INV E-151-13

Ensayo		Numero			
		S-1	S-2	S-3	S-4
Identificación	Análisis granulométrico por tamizado	4	4	4	4
	Límites de Atterberg	4	4	4	4
	Determinación de la humedad actual	4	4	4	4
	Densidad y peso unitario	4	4	3	4
Resistencia	Compresión inconfiada en suelo	1	1	1	1
	Corte directo - CD	0	2	1	2
Deformabilidad	Consolidación unidimensional	0	1	1	1

Tabla 4. Ensayos de laboratorio realizados.

En la anterior tabla (Tabla 4) se hace un resumen de los ensayos realizados. Las muestras, una vez ensayadas en el laboratorio, fueron examinadas por el personal especializado y agrupadas de modo conveniente.

Los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio se presentan en las siguientes tablas a modo resumen y los correspondientes boletines de ensayos se adjuntan en el ANEXO III: Boletines de Ensayos de laboratorio.

### 6.2.2. Resultados de los ensayos de laboratorio

Los resultados de los ensayos realizados en las muestras obtenidas del sondeo número 1 se muestran a continuación:

SONDEO S-1				
MUESTRA	1	2	3	4
Tipo muestra	SPT	BOLSA	BOLSA	SPT
Profundidad (m)	3-3,3	6-6,3	10-11	14-15
Clasificación USCS	CL	SC	CL	MH
Clasificación AASHTO	A-6 (6)	A-2-6 (1)	A-6 (6)	A-7-5 (29)
Fracción mayoritaria	ARCILLA	ARENA	ARCILLA	LIMO
HUMEDAD				
Contenido de humedad (%)	14,4	16,4	9,9	26,3
DENSIDAD				
Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	2,114	2,200	1,988	1,879
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	1,848	1,890	1,809	1,488
GRANULOMETRÍA TAMIZADO				
Pasa # 19 mm, %	100	100	100	100
Pasa # 4,75 mm, %	94,3	89,2	93,7	100
Pasa # 2 mm, %	89,7	80,5	90,8	100
Pasa # 0,425 mm, %	80,2	54,0	83,5	100
Pasa # 0,075 mm, %	59,4	34,5	58,2	94,1
LÍMITES DE ATTERBERG				
Límite líquido, LL (%)	31,9	30,4	32,0	55,6
Límite plástico, LP (%)	17,2	17,5	18,1	30,5
Índice de plasticidad, IP (%)	14,7	12,9	13,9	25,1
COMPRESIÓN INCONFINADA DE SUELOS				
Resistencia a compresión (kPa)	1463,89	-	-	-
Deformación (%)	2,80	-	-	-

Tabla 5. Resultado de los ensayos de laboratorio realizados en el sondeo S-1.



Para el sondeo número 2, se han tomado un total de 5 muestras y los resultados de los ensayos han sido los siguientes:

SONDEO S-2					
MUESTRA	1	2	3	4	5
Tipo muestra	SPT	SPT	BOLSA	BOLSA	BOLSA
Profundidad (m)	2-3,5	3,5-4,5	5,5-6,5	6,5-8	12-13
Clasificación USCS	SC	-	CL	SM	SC
Clasificación AASHTO	A-2-6 (0)	-	A-6 (9)	A-4 (0)	A-6 (3)
Fracción mayoritaria	ARENA	-	ARCILLA	ARENA	ARCILLA
HUMEDAD					
Contenido de humedad (%)	23	-	31,4	15,8	23,9
DENSIDAD					
Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	2,029	-	1,941	1,956	1,975
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	1,650	-	1,477	1,689	1,594
GRANULOMETRÍA TAMIZADO					
Pasa # 19 mm, %	91,5	-	100	100	88,1
Pasa # 4,75 mm, %	63,4	-	99,2	100	81,0
Pasa # 2 mm, %	60,7	-	97,9	100	78,5
Pasa # 0,425 mm, %	49,9	-	91,5	98,5	68,1
Pasa # 0,075 mm, %	19,9	-	68,2	49,5	44,1
LÍMITES DE ATTERBERG					
Límite líquido, LL (%)	27,0	-	33,6	-	33,7
Límite plástico, LP (%)	15,9	-	18,1	-	18,9
Índice de plasticidad, IP (%)	11,1	-	15,5	NO PLÁSTICO	14,8
COMPRESIÓN INCONFINADA DE SUELOS					
Resistencia a compresión (kPa)	-	20,89	-	-	-
Deformación (%)	-	6,59	-	-	-
CORTE DIRECTO SUELOS					
Tipo de ensayo	CD	-	CD	-	-
Φ (º)	16,8	-	12,6	-	-
C' (kPa)	0,0	-	13,1	-	-
CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL					
Método	B	-	-	-	-
Relación de vacíos inicial, e <sub>0</sub>	0,6061	-	-	-	-
Relación de vacíos final, e <sub>f</sub>	0,4916	-	-	-	-

Tabla 6. Resultado de los ensayos de laboratorio realizados en el sondeo S-2.

Para el sondeo número 3 se han tomado 4 muestras, y los resultados obtenidos de los distintos trabajos realizados han sido los siguientes:

SONDEO S-3				
MUESTRA	1	2	3	4
Tipo muestra	SPT	BOLSA	BOLSA	BOLSA
Profundidad (m)	4-4,45	4,45-5,5	6,5-7,5	10-11,5
Clasificación USCS	CL	CL	CL	CH
Clasificación AASHTO	A-6 (10)	A-6 (10)	A-7-6 (13)	A-7-5 (34)
Fracción mayoritaria	ARCILLA	ARCILLA	ARCILLA	ARCILLA
HUMEDAD				
Contenido de humedad (%)	22,9	49,6	69,8	26,3
DENSIDAD				
Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	2,054	2,013	1,577	-
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	1,671	1,346	0,929	-
GRANULOMETRÍA TAMIZADO				
Pasa # 19 mm, %	100	96,3	100	100
Pasa # 4,75 mm, %	94,7	92,2	98,5	96,4
Pasa # 2 mm, %	93,0	89,7	95,2	95,4
Pasa # 0,425 mm, %	86,1	84,7	91,9	91,3
Pasa # 0,075 mm, %	66,5	67,3	75,4	87,2
LÍMITES DE ATTERBERG				
Límite líquido, LL (%)	39,0	39,2	41,3	65,3
Límite plástico, LP (%)	21,2	21,1	22,6	32,2
Índice de plasticidad, IP (%)	17,8	18,1	18,7	33,1
COMPRESIÓN INCONFINADA DE SUELOS				
Resistencia a compresión (kPa)	1088,87	-	-	-
Deformación (%)	3,48	-	-	-
CORTE DIRECTO SUELOS				
Remoldeo probeta	-	-	-	SI
Tipo de ensayo	-	-	-	CD
Φ (º)	-	-	-	15,6
C' (kPa)	-	-	-	11,6
CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL				
Método	-	-	-	B
Remoldeo probeta	-	-	-	SI
Relación de vacíos inicial, e <sub>0</sub>	-	-	-	1,0949
Relación de vacíos final, e <sub>f</sub>	-	-	-	0,8937

Tabla 7. Resultado de los ensayos de laboratorio realizados en el sondeo S-3.



Por último, para el sondeo número 4, los resultados obtenidos se muestran a continuación:

SONDEO S-4					
MUESTRA	1	2	3	4	5
Tipo muestra	BOLSA	BOLSA	BOLSA	BOLSA	SPT
Profundidad (m)	-	-	8-9,5	14-15,5	12-12,5
Clasificación USCS	ML	MH	MH	MH	-
Clasificación AASHTO	A-7-6 (19)	A-7-5 (38)	A-7-5 (44)	A-7-5 (32)	-
Fracción mayoritaria	LIMO	LIMO	LIMO	LIMO	-
HUMEDAD					
Contenido de humedad (%)	23,9	19,0	46,4	50,4	-
DENSIDAD					
Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	1,710	1,597	1,774	1,635	-
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	1,380	1,342	1,212	1,087	-
GRANULOMETRÍA TAMIZADO					
Pasa # 19 mm, %	100	100	100	100	-
Pasa # 4,75 mm, %	96,9	100	100	100	-
Pasa # 2 mm, %	94,3	100	100	99,3	-
Pasa # 0,425 mm, %	89,2	99,5	99,5	95,6	-
Pasa # 0,075 mm, %	82,2	97,5	96,8	89,4	-
LÍMITES DE ATTERBERG					
Límite líquido, LL (%)	49,5	67,2	74,5	69,1	-
Límite plástico, LP (%)	28,8	36,4	38,5	41,8	-
Índice de plasticidad, IP (%)	20,7	30,8	36,0	27,3	-
COMPRESIÓN INCONFINADA DE SUELOS					
Resistencia a compresión (kPa)	-	-	-	-	97,87
Deformación (%)	-	-	-	-	7,99
CORTE DIRECTO SUELOS					
Tipo de ensayo	-	CD	CD	-	-
$\Phi$ (°)	-	15,7	16,6	-	-
C' (kPa)	-	6,7	5,2	-	-
CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL					
Método	-	B	-	-	-
Relación de vacíos inicial, e <sub>0</sub>	-	1,2669	-	-	-
Relación de vacíos final, e <sub>f</sub>	-	1,0395	-	-	-

Tabla 8. Resultado de los ensayos de laboratorio realizados en el sondeo S-4.

Por otro lado, se ha analizado, a partir de la normativa INV E-233, el **porcentaje de sulfatos (SO<sub>4</sub>)** en muestras tomadas a una profundidad de 7,80-9,00 metros, para el sondeo S-1, y a una profundidad de 14,00-15,00 metros, para el sondeo S-4, obteniéndose así los siguientes resultados:

	Sondeo S-1	Sondeo S-4
Profundidad (m)	7,80 - 9,00	14,00 - 15,00
Contenido en sulfatos, SO <sub>4</sub> (%)	0,018	0,014
Severidad	No aplicable	No aplicable

Tabla 9. Resultado del contenido de sulfatos (%) en muestras tomadas en P-1 y P-4.

De acuerdo al contenido en sulfatos (SO<sub>4</sub>), todas las muestras presentan **contenidos en sulfatos inferiores al 0,1%** y, por lo tanto, **no presentan severidad aplicable**.

### 6.2.3. Nivel freático

La Tabla 10 recoge, para cada uno de los sondeos ejecutados, la profundidad a la que se detectó la presencia del nivel freático.

Sondeo	Profundidad nivel freático
S-1	No detectado
S-2	No detectado
S-3	No detectado
S-4	No detectado

Tabla 10. Nivel freático

Como se puede observar, no se ha detectado, para ninguno de los sondeos realizados, la presencia de nivel freático, por lo que se puede considerar que la cota de este se encontrará a una profundidad mayor a la alcanzada por los sondeos, es decir, se encontrará a más de 15 metros de profundidad.

## 6.3. Características litológicas y geotécnicas del subsuelo

### 6.3.1. Perfil geotécnico del terreno

El perfil geotécnico del terreno donde se prevé que sea ejecutada la cimentación del edificio está formado por una alternancia de estratos formados por distintos materiales, a los que se ha clasificado en **tres unidades geotécnicas (UG)**, las cuales se representan en los perfiles litológicos correspondientes que se incluyen en el *ANEXO IV: Perfil geotécnico del terreno*.

A cada una de las unidades geotécnicas se le han asignado las características litológicas y geotécnicas correspondientes en función de los resultados obtenidos de los trabajos de campo y de los ensayos de laboratorio.

Las unidades geotécnicas definidas son las siguientes:

- **Unidad geotécnica 0:** Suelo vegetal y depósitos antrópicos
- **Unidad geotécnica 1:** Arenas limosas y limos arenosos con intercalaciones arcillosas
- **Unidad geotécnica 2:** Arcillas procedentes de la meteorización de rocas volcánicas

### 6.3.2. Descripción de las unidades geotécnicas

#### Unidad geotécnica 0: Suelo vegetal y depósitos antrópicos

##### Descripción general

Esta unidad está formada por un material heterogéneo compuesto por limos y arenas, con presencia de materia orgánica y material antrópico. En esta unidad se pueden encontrar fragmentos de roca, así como gravas angulares de hasta 3 centímetros de tamaño en una proporción de entre el 5% y el 20%.

La Figura 8 muestra el aspecto general de esta unidad.



Figura 8. Aspecto general de la Unidad Geotécnica UG-0.

La unidad presenta una potencia de entre 3,00 y 4,00 metros aproximadamente y, en general, se trata de un suelo que presenta humedad y plasticidad bajas y consistencia blanda.

##### Identificación

Para clasificar estos materiales se tienen los resultados de un ensayo realizado en el sondeo S-2 (Tabla 11):

Sondeo	Prof. (m)	Pasa (%)					Límites de Atterberg			Clasificación USCS
		3/4"	#4	#10	#40	#200	LL	LP	IP	
S-2	2,0-3,5	91,5	63,4	60,7	49,9	19,9	27,0	15,9	11,1	SC

Tabla 11. Ensayos de identificación en la Unidad geotécnica UG-0.

##### Estado

Para definir las propiedades elementales de los materiales de esta unidad, como son la humedad ( $w$ ), la densidad seca ( $\gamma_d$ ) y la densidad aparente ( $\gamma_{ap}$ ) se tienen los siguientes resultados, obtenidos de un ensayo de laboratorio (Tabla 12):

Sondeo	Prof. (m)	$w$ (%)	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{ap}$ (kN/m <sup>3</sup> )
S-2	2,0-3,5	23,0	16,5	20,3

Tabla 12. Ensayos de estado en la Unidad geotécnica UG-0.

Conocidos estos datos, se decide tomar como valores representativos para la Unidad Geotécnica UG-0 los siguientes valores:

- Humedad,  $w$ : 23,0%.
- Densidad seca,  $\gamma_d$ : 16,5 kN/m<sup>3</sup>.
- Densidad aparente,  $\gamma_{ap}$ : 20,0 kN/m<sup>3</sup>.

##### Resistencia y deformabilidad

Dada a la gran variabilidad (materiales heterogéneos) en cuanto a su naturaleza y composición, sería demasiado aventurado proporcionar unos parámetros geotécnicos para este tipo de terreno. Además, las características geotécnicas de esta unidad son muy bajas y la descomposición de la materia orgánica podría dar lugar a asentamientos significativos del terreno. Por lo tanto, este nivel debería ser retirado para la ejecución de cualquier estructura.

En cualquier caso, con objeto de poder modelizar esta unidad en posteriores análisis, como parámetros geotécnicos se recomienda tomar los siguientes valores (Sánchez-Alciturri *et al.*, 1993):

- Ángulo de rozamiento,  $\phi'$ : 20°.
- Cohesión,  $c'$ : 10 kPa.
- Módulo de deformación (Young),  $E$ : 10 MPa.

## Unidad geotécnica 1: Arenas limosas y limos arenosos con intercalaciones arcillosas

### Descripción general

Esta unidad está constituida por arenas limosas y limos arenosos de color pardo rojizo a naranja con algunas intercalaciones de arcilla de color pardo rojizo. Se pueden encontrar gravas subangulares de hasta 1,5 cm de tamaño, en una proporción inferior al 15%, así como fragmentos de arenisca de grano medio, subangular, de hasta 10 cm de tamaño, en una proporción en general inferior al 10%. En algunos de los sondeos se ha detectado la presencia de materia orgánica en la zona más superficial.

La Figura 9 muestra el aspecto general de esta unidad geotécnica.



Figura 9. Aspecto general de la Unidad Geotécnica UG-1.

Esta unidad tiene una potencia de entre 4,70 m y 11,00 m, y se extiende por debajo de la unidad anterior en los sondeos S-1, S-2 y S-3. En el sondeo S-4 no se ha detectado este tipo de material.

Geológicamente la unidad se corresponde con un depósito coluvial y los materiales que la forman son el producto de la removilización de horizontes residuales y saprolíticos de las formaciones Fm Volcánica y Fm Guanchinte que conforman las zonas más elevadas de la ladera cerca de la zona de estudio.

Por lo general, esta unidad geotécnica está formada por suelos con baja humedad, una compacidad densa y una baja plasticidad. Por otro lado, los subniveles de arcillas intercaladas presentan una consistencia de firme a muy firme y su plasticidad varía de media a alta.

Mediante el ensayo del SPT se ha obtenido en la mayoría de casos rechazo del ensayo (R), obteniéndose un valor distinto a este únicamente para un ensayo, siendo el valor de  $N_{30}$  de 65, considerado también como un valor elevado. De este modo, es evidente que el suelo presenta una compacidad densa y su capacidad portante es alta, por lo que **se considera conveniente adoptar un valor medio de  $N_{30}=65$  de cara a su empleo en los cálculos que se realizarán a continuación.**

A partir de este valor de  $N_{30}$  se puede obtener la densidad relativa del terreno, su ángulo de rozamiento interno y el módulo de deformación.

### Identificación

Para clasificar estos materiales se tienen los resultados de los siguientes ensayos (Tabla 13):

Sondeo	Prof. (m)	Pasa (%)					Límites de Atterberg			Clasificación USCS
		3/4"	#4	#10	#40	#200	LL	LP	IP	
S-1	3,0-3,3	100,0	94,3	89,7	80,2	59,4	31,9	17,2	14,7	CL
S-1	6,0-6,3	100,0	89,2	80,5	54,0	34,5	30,4	17,5	12,9	SC
S-1	10,0-11,0	100,0	93,7	90,8	83,5	58,2	32,0	18,1	13,9	CL
S-2	5,5-6,5	100,0	99,2	97,9	91,5	68,2	33,6	18,1	15,5	CL
S-2	6,5-8,0	100,0	100,0	100,0	98,5	49,5	NP	NP	NP	SM
S-2	12,0-13,0	88,1	81,0	78,5	68,1	44,1	33,7	18,9	14,8	SC
S-3	4,0-4,45	100,0	94,7	93,0	86,1	66,5	39,0	21,2	17,8	CL
S-3	4,45-5,5	96,3	92,2	89,7	84,7	67,3	39,2	21,1	18,1	CL
S-3	6,5-7,5	100,0	98,5	95,2	91,9	74,4	41,3	22,6	18,7	CL
Mínimo	-	88,1	81,0	78,5	54,0	34,5	30,4	17,2	12,9	-
Máximo	-	100,0	100,0	100,0	98,5	74,4	41,3	22,6	18,7	-
Media	-	98,3	93,6	90,6	82,1	58,0	35,1	19,3	15,8	-
Des. típica	-	3,8	5,6	6,8	12,8	12,3	3,8	1,9	2,0	-

Tabla 13. Ensayos de identificación en la Unidad geotécnica UG-1.

Una vez obtenidos los resultados de estos ensayos, se pueden clasificar geotécnicamente los distintos materiales de acuerdo con la clasificación USCS de Casagrande como arenas arcillosas (SC), arenas limosas (SM) y arcillas de baja plasticidad (CL).

El porcentaje de finos, partículas que pasan a través del tamiz 200 de la serie ASTM (0,08 mm en la ISO), varía entre el 35% y el 75%, como se puede observar en la Tabla 13.

### Estado

Para definir las propiedades elementales de los materiales de esta Unidad Geotécnica, como son la humedad ( $w$ ), densidad seca ( $\rho_{seca}$ ) y densidad aparente ( $\rho_{aparente}$ ), se tienen los resultados de 9 ensayos (Tabla 14):

Sondeo	Profundidad (m)	w (%)	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{ap}$ (kN/m <sup>3</sup> )
S-1	3,0–3,3	14,4	18,5	21,1
S-1	6,0–6,3	16,4	18,9	22,0
S-1	10,0–11,0	9,9	18,1	19,8
S-2	5,5–6,5	31,4	14,8	19,4
S-2	6,5–8,0	15,8	16,9	19,6
S-2	12,0–13,0	23,9	15,9	19,7
S-3	4,0–4,45	22,9	16,7	20,5
S-3	4,45–5,5	49,6	13,5	20,1
S-3	6,5–7,5	69,8	9,3	15,8
Mínimo	-	9,9	9,3	15,8
Máximo	-	69,8	18,9	22,0
Media	-	28,2	15,8	19,8
Des. típica	-	18,5	2,8	1,6

Tabla 14. Ensayos de estado en la Unidad geotécnica UG-1.

Como se puede observar en la tabla anterior, los valores de la humedad son, por lo general, bajos. En cuanto a las densidades seca y aparente, sus valores varían muy poco con la profundidad, por lo que se consideran bastante constantes. De este modo, como valores representativos del estado del suelo para la Unidad Geotécnica UG-1, se considera tomar los siguientes valores:

- Humedad,  $w$ : 20,0%.
- Densidad seca,  $\gamma_d$ : 17,0 kN/m<sup>3</sup>.
- Densidad aparente,  $\gamma_{ap}$ : 21,0 kN/m<sup>3</sup>.

Asumiendo que el valor del peso específico relativo de las partículas,  $G_s$ , es igual a 2,65 (valor habitual para una arena), se pueden correlacionar matemáticamente todas las propiedades elementales de la unidad, como se observa en la Tabla 15.

Propiedad elemental		Correlación	Valor
Humedad	$w$ (%)	-	20,0
Peso específico relativo de las partículas	$G_s$ (-)	-	2,65
Densidad seca	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	-	17,0
Densidad aparente	$\gamma_{ap}$ (kN/m <sup>3</sup> )	-	21,0
Densidad saturada	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat} = \gamma_w + \gamma_d \cdot (1 - 1/G_s)$	20,6
Porosidad	$n$ (-)	$n = (G_s \cdot \gamma_w - \gamma_d) / (G_s \cdot \gamma_w)$	0,358
Índice de huecos	$e$ (-)	$e = (G_s \cdot \gamma_w - \gamma_d) / \gamma_d$	0,559
Grado de saturación	$S_r$ (%)	$S_r = G_s \cdot w / e$	94,8

Nota:  $\gamma_w$  corresponde a la densidad del agua, igual a 10 kN/m<sup>3</sup>.

Tabla 15. Propiedades elementales de la Unidad geotécnica UG-1.

Como conclusión de los resultados anteriores, se puede considerar un suelo con elevada saturación, aproximadamente del 90%, donde hay una diferencia mínima entre las densidades saturada (20,6 kN/m<sup>3</sup>) y aparente (20 kN/m<sup>3</sup>).

En cuanto a la densidad relativa del suelo, esta puede calcularse mediante la expresión propuesta en el ISOPT-1 (Ruiter, 1988):

$$D_r = 25 \cdot N_{30}^{0,44} \cdot p_{vm}^{-0,13}$$

Donde:

$D_r$  = Densidad relativa

$N_{30}$  = Golpeo SPT

$p_{vm}$  = Presión vertical efectiva en el punto de ensayo, en kPa

Considerando  $N_{30}=65$  golpes y siendo  $p_{vm}$  la densidad aparente del terreno ( $\gamma_{ap}$ ) multiplicada por las profundidades de ensayo, se obtienen valores de densidad relativa superiores a  $D_r = 85\%$ .

#### ▪ Resistencia y deformabilidad

Los ensayos mecánicos realizados en esta unidad geotécnica UG-1 son los siguientes (Tabla 16):

Sondeo	Prof. (m)	$q_u$ (kPa)	Corte directo - CD	
			$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)
S-1	3,0–3,3	1464	-	-
S-2	5,5–6,5	-	12,6	13,1
S-3	4,0–4,45	1089	-	-

Tabla 16. Ensayos mecánicos en la Unidad geotécnica UG-1.

Es importante tener en cuenta que estos ensayos fueron realizados sobre muestras alteradas, por lo que los valores de estos parámetros son estimados y sirven como orientación para los próximos cálculos.

#### 1) ÁNGULO DE ROZAMIENTO INTERNO EFECTIVO ( $\phi'$ )

Por otra parte, a partir del valor  $N_{30}$  del SPT se puede estimar el valor del ángulo de rozamiento interno del suelo a través de distintas correlaciones:

1) Schmertmann (1977):

$$\phi' = 28 + 0,14 \cdot D_r$$

2) Kishida (1969):

$$\phi' = \sqrt{20 \cdot N_{30}} + 12$$



3) Gioliani y Nicoll (1982):

$$\tan \phi' = 0,575 + 0,361 \cdot D_r^{0,866}$$

4) Muromachi (1974):

$$\phi' = 20 + 3,5 \cdot \sqrt{N_{30}}$$

Considerando un valor de  $D_r = 85\%$  y de  $N_{30} = 65$  golpes se obtienen los siguientes resultados:

- 1)  $\phi' = 40^\circ$
- 2)  $\phi' = 48^\circ$
- 3)  $\phi' = 42^\circ$
- 4)  $\phi' = 48^\circ$

Se decide optar por el valor más conservador, por lo tanto el ángulo de rozamiento interno de la UG-1 es  $\phi' = 40^\circ$

## 2) MÓDULO DE DEFORMACIÓN (E)

Para el cálculo del módulo de deformación (E) se proponen las siguientes correlaciones, todas ellas dependientes del valor  $N_{30}$  del SPT:

1) Begueman (1974):

$$E = 40 + 12 \cdot (N_{30} - 6) \quad (\text{kg/cm}^2)$$

2) Wrech y Nuwatzki (1983):

$$E = 2,22 + N_{30}^{0,888} \quad (\text{MPa})$$

3) D'Appolonia et al. (1970):

$$E = 7,56 \cdot N_{30} + 187,5 \quad (\text{kg/cm}^2)$$

4) Angnostoupoulos (1984):

$$E = 7,5 + 0,8 \cdot N_{30} \quad (\text{MPa})$$

5) Bowles (1983):

$$E = 7,5 + 0,5 \cdot N_{30} \quad (\text{MPa})$$

Considerando un valor de  $N_{30} = 65$  golpes:

- 1)  $E = 748 \text{ kg/cm}^2$
- 2)  $E = 42,95 \text{ MPa}$
- 3)  $E = 678,9 \text{ kg/cm}^2$
- 4)  $E = 59,5 \text{ MPa}$
- 5)  $E = 40 \text{ MPa}$

Calculando un valor medio de entre los obtenidos de las anteriores correlaciones, el material se caracteriza por un módulo de deformación de  $E = 60 \text{ MPa}$  ( $600 \text{ kg/cm}^2$ )

### ▪ Expansividad

Los suelos expansivos experimentan cambios de volumen en función de la variación del grado de humedad. Cuando aumenta el contenido de humedad, el suelo se expande, aumenta de volumen y experimenta un hinchamiento, mientras que, cuando disminuye el contenido de humedad, el suelo se retrae, disminuyendo el volumen y experimenta retracciones por desecación.

La expansividad es una propiedad física de los suelos que puede evaluarse en una cimentación. En las estructuras constructivas existe hinchamiento del suelo cuando aumenta su cantidad de agua y se retraen cuando la disminuye.

Estos cambios producen importantes movimientos en las cimentaciones y pueden producir la rotura de las mismas (fisuras, despegues, etc.), deformaciones en el pavimento y la rotura de las conducciones.

Grado	Expansividad	Finos (%)	Límite líquido	Presión de hinchamiento (kPa)	Hinchamiento libre (%)
I	Baja	< 30	< 35	< 25	< 1
II	Baja a media	30 – 60	35 – 50	25 – 125	1 – 4
III	Media a alta	60 – 95	50 – 65	125 – 300	4 – 10
IV	Muy alta	> 95	> 65	> 300	> 10

Tabla 17. Expansividad de los suelos (Gonzalez de Vallejo et al., 2002)

Mediante los ensayos de identificación vistos anteriormente y de acuerdo a lo que indica la Tabla 17, **la expansividad que se espera de estos suelos es, en general, de baja a media, es decir, de grado II**, ya que el límite líquido (LL) no es superior al 42% en ningún caso y el contenido de finos nunca es mayor del 60%.



### Colapsabilidad

Son identificados como suelos colapsables las arenas y los limos, si bien en algunos casos pueden estar cimentados por arcillas y sales (carbonato de calcio). Estos suelos, en su estado seco, son capaces de soportar cargas considerables, pero cuando aumenta su contenido de humedad o se satura, estos se reducen considerablemente y pierden su capacidad portante, lo cual es un problema a tener en cuenta.

Entre estos suelos colapsables se pueden incluir tanto los suelos aluviales como los suelos coluviales, que son aquellos que han sido formados como resultado de los sedimentos depositados por las inundaciones periódicas de arroyos o ríos. Por otro lado, se encuentran los suelos eólicos depositados por el viento, las cenizas volcánicas y, por último, los suelos residuales, resultantes de la descomposición de los minerales que forman las rocas.

De acuerdo con la norma sismo resistente (NSR-10) en su Título H. Estudios geotécnicos, apartado H.9.3, Suelos colapsables, para identificar el potencial de colapso de un suelo se define una densidad seca crítica:

Se identifica la colapsabilidad de estos depósitos cuando el volumen de vacíos iguala la cantidad de agua en el punto del límite líquido. Para mayor cantidad de agua o menor volumen de vacíos el depósito es inestable.

La evaluación puede hacerse a partir de la siguiente formulación:

$$\gamma_{d,crit} = \frac{\gamma_w}{\frac{1}{G_s} + LL}$$

Donde:

$\gamma_{d,crit}$  = Densidad seca crítica (kN/m<sup>3</sup>)

$\gamma_d$  = Densidad del agua, igual 10 kN/m<sup>3</sup>

$G_s$  = Peso específico relativo de las partículas

LL = Límite líquido (en tanto por 1)

Si se cumple la condición:

$$\frac{\gamma_d}{\gamma_{d,critico}} > 1$$

El suelo se puede considerar estable. De lo contrario, el suelo presenta potencial de colapso.

A continuación, en la Tabla 18, se pueden observar los valores obtenidos de la densidad seca crítica (en kN/m<sup>3</sup>) para las diferentes muestras ensayadas de la unidad geotécnica UG-1.

Nota: Se considera un peso específico relativo de las partículas igual a  $G_s=2,65$  (valor habitual en arenas).

Sondeo	Prof. (m)	LL (%)	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{d,crit}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d / \gamma_{d,crit}$
S-1	3,0–3,3	31,9	18,5	14,4	1,29
S-1	6,0–6,3	30,4	18,9	14,7	1,29
S-1	10,0–11,0	32,0	18,1	14,3	1,26
S-2	5,5–6,5	33,6	14,8	14,0	1,06
S-2	6,5–8,0	NP	16,9	-	-
S-2	12,0–13,0	33,7	15,9	14,0	1,14
S-3	4,0–4,45	39,0	16,7	13,0	1,28
S-3	4,45–5,5	39,2	13,5	13,0	1,04
S-3	6,5–7,5	41,3	9,3	12,7	0,74

Tabla 18. Potencial de colapso en la unidad geotécnica UG-1.

Se puede observar que, exceptuando la muestra a una profundidad entre 6,5 y 7,5 metros del sondeo 3, la cual tiene un valor por debajo de 1, el mencionado ratio es siempre mayor a 1, por lo que, en general, **el suelo no presenta potencial de colapso y se considera estable.**

No obstante, dada la posibilidad de encontrar algún material del suelo potencialmente colapsable, se deberán tomar algunas medidas de precaución para mitigar los posibles efectos adversos que esto puede ocasionar.

### Unidad geotécnica 2: Arcillas procedentes de la meteorización de rocas volcánicas

#### Descripción general

Esta unidad está constituida por arcillas de color rojizo con algunas intercalaciones grisáceas, y de arcilla de color grisáceo con intercalaciones rojizas y amarillentas, ambas con estructura ordenada.

La unidad aparece a partir de los 8,70 m y 14,00 m en los sondeos S-1 y S-3, y se extiende por debajo de la Unidad Geotécnica UG-1. En el sondeo S-4 aparece a una profundidad de 4,00 m y se extiende por debajo de la unidad UG-0 (suelo vegetal y depósitos antrópicos)

Geológicamente, esta unidad se corresponde con el perfil de meteorización de una roca volcánica tipo diabasa que aflora hacia la zona montañosa en el costado occidental del municipio de Cali.

La Figura 10 muestra el aspecto general de esta unidad.



Figura 10. Aspecto general de la Unidad Geotécnica UG-2.

Esta unidad se trata de suelos que presentan, en general, una humedad baja, consistencia de muy firme a dura y alta plasticidad. Para esta unidad se tiene en su totalidad rechazo (R) en el ensayo SPT, lo cual indica una capacidad portante de media a alta para la arcilla.

#### Identificación

Para poder identificar los materiales de esta unidad se tienen los resultados de 6 ensayos (Tabla 19):

Sondeo	Prof. (m)	Pasa (%)					Límites de Atterberg			Clasificación USCS
		3/4"	#4	#10	#40	#200	LL	LP	IP	
S-1	14,0–15,0	100,0	100,0	100,0	100,0	94,1	55,6	30,5	25,1	MH
S-3	10,0–11,5	100,0	96,4	95,4	91,3	87,2	65,3	32,2	33,1	CH
S-4	-	100,0	96,9	94,3	89,2	82,2	49,5	28,8	20,7	ML
S-4	-	100,0	100,0	100,0	99,5	97,5	67,2	36,4	30,8	MH
S-4	8,0–9,5	100,0	100,0	100,0	99,5	96,8	74,5	38,5	36	MH
S-4	14,0–14,5	100,0	100,0	99,3	95,6	89,4	69,1	41,8	27,3	MH
Mínimo	-	100,0	96,4	94,3	89,2	82,2	49,5	28,8	20,7	-
Máximo	-	100,0	100,0	100,0	100,0	97,5	74,5	41,8	36,0	-
Media	-	100,0	98,9	98,2	95,9	91,2	63,5	34,7	28,8	-
Des. típica	-	0,0	1,6	2,4	4,3	5,5	8,4	4,6	5,1	-

Tabla 19. Ensayos de identificación en la Unidad geotécnica UG-2.

En base a los ensayos realizados, los materiales se clasifican geotécnicamente de acuerdo con la clasificación USCS de Casagrande como limos de alta plasticidad, MH, en su mayoría, si bien se identifican muestras de arcilla de alta plasticidad, CH, y de limos de baja plasticidad, ML, en menor proporción.

En esta unidad, el porcentaje de finos, partículas que pasan a través del tamiz 200 de la serie ASTM (0,08 mm en la ISO) se encuentra 80% y el 98%.

#### Estado

Para definir las propiedades elementales de los materiales de esta unidad geotécnica, como son la humedad ( $w$ ), densidad seca ( $\rho_{seca}$ ) y densidad aparente ( $\rho_{aparente}$ ), se tienen los resultados de 5 ensayos (Tabla 20):

Sondeo	Prof. (m)	$w$ (%)	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{ap}$ (kN/m <sup>3</sup> )
S-1	14,0–15,0	26,3	14,9	18,8
S-4	-	23,9	13,8	17,1
S-4	-	19,0	13,4	16,0
S-4	8,0–9,5	46,4	12,1	17,7
S-4	14,0–14,5	50,4	10,9	16,4
Mínimo	-	19,0	10,9	16,0
Máximo	-	50,4	14,9	18,8
Media	-	32,1	13,0	17,2
Des. típica	-	11,9	1,4	1,0

Tabla 20. Ensayos de estado en la Unidad geotécnica UG-2.

Como se puede observar en la Tabla 20, los valores de la humedad son, por lo general, bajos y, en algunos casos, medios. En cuanto a las densidades seca y aparente, sus valores varían muy poco con la profundidad, por lo que se consideran bastante constantes.

De este modo, como valores representativos del estado del suelo para la Unidad Geotécnica UG-2, se considera tomar los siguientes valores:

- Humedad,  $w$ : 30,0%.
- Densidad seca,  $\gamma_d$ : 13,0 kN/m<sup>3</sup>.
- Densidad aparente,  $\gamma_{ap}$ : 17,0 kN/m<sup>3</sup>.

Si se asume un valor del peso específico relativo de las partículas,  $G_s$ , igual a 2,70 (valor usual para una arcilla) es posible correlacionar matemáticamente todas las propiedades elementales de la unidad, como se observa en la Tabla 21.



Propiedad elemental		Correlación	Valor
Humedad	w (%)	-	30
Peso específico relativo de las partículas	$G_s$ (-)	-	2,70
Densidad seca	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	-	13,0
Densidad aparente	$\gamma_{ap}$ (kN/m <sup>3</sup> )	-	17,0
Densidad saturada	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat} = \gamma_w + \gamma_d \cdot (1 - 1/G_s)$	18,2
Porosidad	n (-)	$n = (G_s \cdot \gamma_w - \gamma_d) / (G_s \cdot \gamma_w)$	0,519
Índice de huecos	e (-)	$e = (G_s \cdot \gamma_w - \gamma_d) / \gamma_d$	1,077
Grado de saturación	$S_r$ (%)	$S_r = G_s \cdot w / e$	75,2

*Nota:  $\gamma_w$  corresponde a la densidad del agua, igual a 10 kN/m<sup>3</sup>.*

Tabla 21. Propiedades elementales de la Unidad geotécnica UG-2.

En vista a los datos obtenidos en la Tabla 21, se deduce que el suelo tiene una saturación elevada (aproximadamente del 75%), donde hay una diferencia muy poco significativa entre la densidad saturada (18,2 kN/m<sup>3</sup>) y la densidad aparente (17,0 kN/m<sup>3</sup>).

Por otro lado, el índice de huecos (e) es muy próximo a 1, por lo tanto, el suelo tendrá una consistencia que variará entre blanda y firme (González de Vallejo et al., 2002).

#### Resistencia y deformabilidad

Los ensayos mecánicos realizados en esta unidad geotécnica UG-2 son los siguientes (Tabla 22):

Sondeo	Prof. (m)	$q_u$ (kPa)	Corte directo - CD		Consolidación unidimensional			
			$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	$e_0$	$\sigma'_p$ (kPa)	$C_c$	$C_s$
S-3	10,0–11,5	-	11,6	15,6	1,095	75,0	0,198	0,010
S-4	-	-	6,7	15,7	1,266	109,0	0,139	0,015
S-4	8,0–9,5	-	5,2	16,6	-	-	-	-
S-4	12,0–12,5	98	-	-	-	-	-	-

Tabla 22. Ensayos mecánicos en la Unidad geotécnica UG-2.

Al igual que sucede con la unidad geotécnica UG-1, estos ensayos fueron realizados sobre muestras alteradas, por lo que los valores de estos parámetros son estimados y sirven como orientación para los próximos cálculos.

Por lo tanto, en base a los resultados anteriores se decide tomar como representativos los siguientes valores:

- Resistencia a corte sin drenaje,  $c_u$ : 50 kPa (mitad del valor de  $q_u$ )
- Cohesión efectiva,  $c'$ : 10,0 kN/m<sup>3</sup>.
- Ángulo de rozamiento interno efectivo,  $\phi'$ : 16°.

El módulo de deformación se puede estimar a partir de la expresión (Castanedo, 2000):

$$E = 220 \cdot c_u$$

Donde:

$E$  = Módulo de deformación (kPa)

$c_u$  = Resistencia a corte sin drenaje (kPa)

Así, el módulo de deformación de la unidad geotécnica UG-2 tendrá un valor de  $E = 11$  MPa (110 kg/cm<sup>2</sup>).

#### Expansividad

Como se ha comentado anteriormente, los suelos expansivos pueden experimentar cambios de volumen en función de la variación del grado de humedad, y esto puede producir importantes movimientos en las cimentaciones e incluso podría provocar su rotura.

Los ensayos de identificación realizados (granulometría y límites de Atterberg) en los materiales de esta unidad muestran que la expansividad esperable de los suelos es de media a alta a muy alta, de acuerdo a lo indicado en la Tabla 17 (González de Vallejo et al., 2002), dado que el límite líquido (LL) es, en general, mayor de 50, superando incluso el 65% en algunos casos y el contenido de finos varía entre 80% y el 98%.

Por lo que podemos clasificar estos suelos con un **grado de expansividad de III (expansividad media a alta)**.

#### Colapsabilidad

De acuerdo con la norma sismo resistente (NSR-10) en su Título H. Estudios geotécnicos, apartado H.9.3, Suelos colapsables, para identificar el potencial de colapso de un suelo se define una densidad seca crítica:

Se identifica la colapsabilidad de estos depósitos cuando el volumen de vacíos iguala la cantidad de agua en el punto del límite líquido. Para mayor cantidad de agua o menor volumen de vacíos el depósito es inestable.

La evaluación puede hacerse a partir de la siguiente formulación:

$$\gamma_{d,crit} = \frac{\gamma_w}{\frac{1}{G_s} + LL}$$



Donde:

$\gamma_{d,crit}$  = Densidad seca crítica (kN/m<sup>3</sup>)

$\gamma_d$  = Densidad del agua, igual 10 kN/m<sup>3</sup>

$G_s$  = Peso específico relativo de las partículas

LL = Límite líquido (en tanto por 1)

Si se cumple la condición:

$$\frac{\gamma_d}{\gamma_{d,critico}} > 1$$

El suelo se puede considerar estable. De lo contrario, el suelo presenta potencial de colapso.

A continuación, en la Tabla 23, se pueden observar los valores obtenidos de la densidad seca crítica (en kN/m<sup>3</sup>) para las diferentes muestras ensayadas de la unidad geotécnica UG-2.

*Nota: Se considera un peso específico relativo de las partículas igual a  $G_s=2,70$  (valor habitual en arcillas).*

Sondeo	Prof. (m)	LL (%)	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{d,crit}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d / \gamma_{d,crit}$
S-1	14,0–15,0	55,6	14,9	10,8	1,38
S-4	-	49,5	13,8	11,6	1,19
S-4	-	67,2	13,4	9,6	1,40
S-4	8,0–9,5	74,5	12,1	9,0	1,35
S-4	14,0–14,5	69,1	10,9	9,4	1,16

**Tabla 23.** Potencial de colapso en la unidad geotécnica UG-2.

A la vista de los resultados, se puede observar como el mencionado ratio es siempre mayor a 1 en todas las muestras ensayadas de esta unidad, por lo que, en general, **el suelo no presenta potencial de colapso y se considera estable.**

#### 6.4. Tabla resumen de los parámetros geotécnicos

A continuación, se recopila en la siguiente tabla, a modo resumen, los valores medios representativos de los parámetros geotécnicos para cada Unidad Geotécnica (UG):

PARÁMETRO GEOTÉCNICO	SÍMBOLO	UG-0: SUELO VEGETAL Y DEP. ANTRÓPICOS	UG-1: ARENAS Y LIMOS (SC, SM, CL)	UG-2: ARCILLAS (MH, CH)
Humedad	w (%)	23	20	30
Golpes SPT	$N_{30}=N_{SPT}$	65	65	65
Densidad seca	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	16,5	17,0	13,0
Densidad aparente	$\gamma_{ap}$ (kN/m <sup>3</sup> )	20,0	21,0	17,0
Densidad saturada	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	-	20,0	18,2
Porosidad	n (-)	-	0,358	0,519
Índice de huecos	e (-)	-	0,559	1,077
Grado de saturación	$S_r$ (%)	-	94,8	75,2
Ángulo rozamiento interno efectivo	$\phi'$ (°)	20	40	16
Cohesión efectiva	$c'$ (kN/m <sup>3</sup> )	10	0	10
Módulo deformación (Young)	E (MPa)	10	60	11
Densidad relativa	$D_r$ (%)	-	85	-
Resistencia a corte sin drenaje	$c_u$ (kPa)	-	-	50
Coefficiente de Poisson	$\nu$ (-)	0,3	0,3	0,3

**Tabla 24.** Resumen de los parámetros geotécnicos.

### 6.5. Sismicidad

Según la norma sismo resistente 2010 (NSR-10), la región de Cali, en el departamento del Valle del Cauca, presenta una **Amenaza sísmica alta**, como se puede ver en la Figura 11.

Debido a este tipo de amenaza, podemos considerar los siguiente coeficientes de aceleración sísmica, indicados en la Tabla 25.

Coeficiente		Valor
Coeficiente de la aceleración horizontal pico efectiva	$A_a$	0,25
Coeficiente de la velocidad horizontal pico efectiva	$A_v$	0,25

Tabla 25. Coeficientes de aceleración sísmica a considerar.

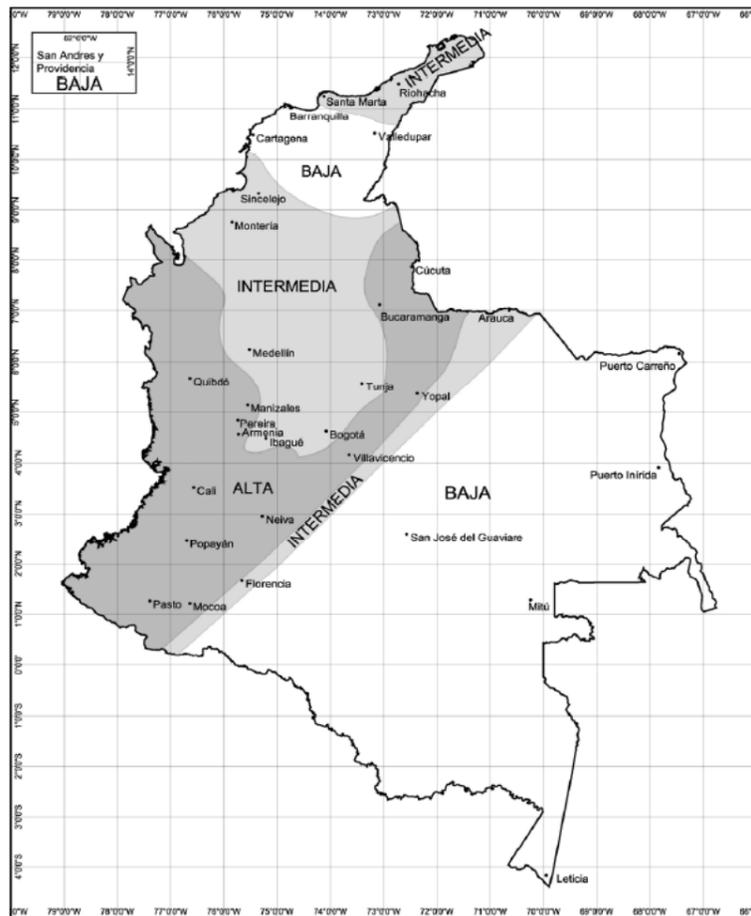


Figura 11. Zonas de amenaza sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de  $A_a$  y  $A_v$ .

El municipio de Cali cuenta con un estudio de microzonificación sísmica en el cual se realiza una clasificación geotécnica de los diferentes tipos de terreno existentes en el municipio, proponiendo el valor de aceleración máxima a considerar y el espectro elástico de aceleraciones a emplear en función del tipo de terreno que se tenga.

De acuerdo con la microzonificación sísmica de Cali, la cual se recoge en el ANEXO V: Mapas utilizados, la zona objeto del presente estudio se localiza en un área definida parcialmente como "Suelo coluvial" y como "Zona 1. Cerros", la cual no es susceptible a la licuación ni al corrimiento lateral.

Para el terreno localizado en "Zona 1. Cerros", el espectro de respuesta proporcionado indica un valor de la aceleración máxima del terreno ( $A_m$ ) igual a 0,22g y una aceleración espectral máxima ( $S_m$ ) igual a 0,45g. Asimismo, se indica que para esta zona debe consultarse de forma complementaria el "Mapa de Susceptibilidad Indicativa a Movimientos en Masa (MAPA MZSC-G5)", el cual también se adjunta en ANEXO V: Mapas utilizados. La zona de estudio presenta una susceptibilidad en general baja, aunque una parte presenta un riesgo moderado.

Por otro lado, la norma sismo resistente 2010 (NSR-10) en su Título A. Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente, apartado A.2.4, Definición del tipo de perfil de suelo insta a definir el tipo de perfil de suelo en base a los 30 m superiores del mismo. En función del tipo de suelo y de estos coeficientes de aceleración, se pueden establecer los factores de amplificación para los diferentes periodos del espectro, tanto corto como intermedio (ver Tabla 26).

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\bar{v}_s \geq 1500 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 760 \text{ m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 360 \text{ m/s}$
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$ , o $\bar{s}_u \geq 100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2)$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 180 \text{ m/s}$
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15$ , o $100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u \geq 50 \text{ kPa} (\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2)$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$180 \text{ m/s} > \bar{v}_s$
	perfil que contiene un espesor total $H$ mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $50 \text{ kPa} (\approx 0.50 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: $F_1$ — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. $F_2$ — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas ( $H > 3 \text{ m}$ para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). $F_3$ — Arcillas de muy alta plasticidad ( $H > 7.5 \text{ m}$ con Índice de Plasticidad $IP > 75$ ) $F_4$ — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda ( $H > 36 \text{ m}$ )	

Tabla 26. Clasificación de los perfiles del suelo.



Tal y como indica la norma citada, debe establecerse la existencia de estratos de arcilla blanda, la cual se define como aquella que tiene una resistencia al corte no drenado menor de 50 kPa, un contenido de agua (w) mayor del 40% y un índice de plasticidad (IP) mayor de 20. Por lo tanto, si en la zona de estudio existe un espesor de 3 metros de estratos de arcilla o más que cumplan estas condiciones, el perfil del suelo debe clasificarse como tipo E.

Dado que en los sondeos mecánicos ejecutados se ha localizado niveles de arcilla con las características indicadas anteriormente, en profundidades menores a 30 metros y con espesores mayores a 3 metros, se opta por clasificar el **perfil del suelo como tipo E**.

Consecuentemente, según las tablas A.2.4-3 y A.2.4-4 del *Título A. Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente, apartado A.2.4, Definición del tipo de perfil de suelo* (Figura 12), se tiene:

- Para un valor de aceleración horizontal pico  $A_a$  de 0,25 debe considerarse un **factor de amplificación  $F_a$  de 1,7** para periodos cortos del espectro.
- Para un valor de velocidad horizontal pico efectiva  $A_v$  de 0,25 debe considerarse un **factor de amplificación  $F_v$  de 3,2** para periodos intermedios del espectro.

**Tabla A.2.4-3**  
Valores del coeficiente  $F_a$ , para la zona de periodos cortos del espectro

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

**Nota:** Para el perfil tipo F debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

**Tabla A.2.4-4**  
Valores del coeficiente  $F_v$ , para la zona de periodos intermedios del espectro

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_v \leq 0.1$	$A_v = 0.2$	$A_v = 0.3$	$A_v = 0.4$	$A_v \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

**Nota:** Para el perfil tipo F debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

Figura 12. Tablas A.2.4-3 y A.2.4-4 de la norma sismo resistente NSR-10.

El proyecto de construcción del conjunto residencial Santa Mónica puede clasificarse según su **Coefficiente de Importancia** dentro del **Grupo I**, estructuras de ocupación normal, por no estar incluida dentro de los otros grupos. Por tanto, se le asigna un **coeficiente de importancia (I) de 1,0**, como se puede ver en la Tabla 27.

Grupo de Uso	Coefficiente de Importancia, I
IV	1.50
III	1.25
II	1.10
I	1.00

Tabla 27. Valores del coeficiente de importancia, I.

A continuación, se procede a definir la aceleración máxima del terreno y el espectro de diseño elástico.

La aceleración máxima del terreno para el periodo cero viene definida por:

$$a_{max} = A_a \cdot F_a \cdot I \cdot g$$

Donde:

- $a_{max}$  = Aceleración máxima del terreno para el periodo cero (m/s<sup>2</sup>)
- $A_a$  = Coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva
- $F_a$  = Coeficiente de amplificación del terreno para periodos cortos del espectro
- $I$  = Coeficiente de importancia
- $g$  = Aceleración de la gravedad

Por su parte, la forma del espectro elástico de aceleraciones ( $S_a$ ) expresada como la fracción de la gravedad, para un coeficiente del 5% de amortiguamiento crítico que se debe utilizar en el diseño, se define mediante la expresión:

$$S_a = \frac{1,2 \cdot A_v \cdot F_v \cdot I}{T}$$

Donde:

$S_a$	=	Espectro elástico de aceleraciones, como fracción de la gravedad
$A_v$	=	Coefficiente de la velocidad horizontal pico efectiva
$F_v$	=	Coefficiente de amplificación del terreno para periodos intermedios del espectro
$I$	=	Coefficiente de importancia
$T$	=	Periodo considerado

Se definen tres periodos de vibración,  $T_c$ ,  $T_L$  y  $T_0$ :

$$T_c = 0,48 \cdot \frac{A_v \cdot F_v}{A_a \cdot F_a}$$

$$T_L = 2,4 \cdot F_v$$

$$T_0 = 0,1 \cdot \frac{A_v \cdot F_v}{A_a \cdot F_a}$$

Donde:

$T_c$	=	Período de vibración correspondiente a la transición entre la zona de aceleración constante del espectro de diseño, para periodos cortos, y la parte descendiente del mismo (en segundos).
$T_L$	=	Período de vibración correspondiente al inicio de la zona de desplazamiento aproximadamente constante del espectro de diseño, para periodos largos (en segundos).
$T_0$	=	Período de vibración el cual inicia la zona de aceleraciones constantes del espectro de aceleraciones (en segundos).
$A_a$	=	Coefficiente de la velocidad horizontal pico efectiva
$F_a$	=	Coefficiente de amplificación del terreno para periodos cortos del espectro
$A_v$	=	Coefficiente de la velocidad horizontal pico efectiva
$F_v$	=	Coefficiente de amplificación del terreno para periodos intermedios del espectro
$I$	=	Coefficiente de importancia

Estos periodos limitan la expresión del espectro elástico vista anteriormente:

a) Para periodos de vibración menores de  $T_c$  el valor de  $S_a$  puede limitarse según se indica a continuación:

$$S_a = 2,5 \cdot A_a \cdot F_a \cdot I$$

b) Para periodos de vibración mayores de  $T_L$  el valor de  $S_a$  no puede ser menor que lo indicado a continuación:

$$S_a = \frac{1,2 \cdot A_v \cdot F_v \cdot T_L \cdot I}{T^2}$$

c) Cuando se realice el análisis dinámico, tal y como se define en el capítulo A.5 del Título A (NSR-10), para periodos de vibración diferentes del fundamental, menores de  $T_0$ , el espectro de diseño puede obtenerse a partir de la ecuación que se indica a continuación:

$$S_a = 2,5 \cdot A_a \cdot F_a \cdot I \cdot \left(0,4 + 0,6 \cdot \frac{T}{T_0}\right)$$

Visto todo lo anterior y de acuerdo con la norma sismo resistente NSR-10, el espectro de diseño elástico se define tal y como se muestra en la Figura 13.

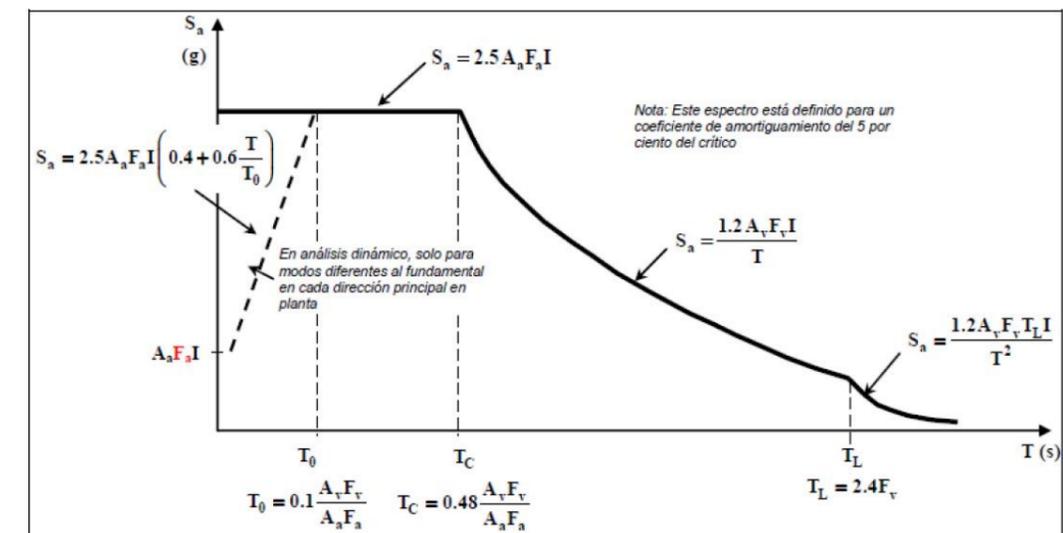


Figura 13. Definición del espectro elástico de aceleraciones de diseño como fracción de la gravedad, de acuerdo con la norma sismo resistente NSR-10 (Figura A.2.6-1).



De este modo, considerando como premisas de cálculo correspondientes a la zona de proyecto las definidas anteriormente, se tiene:

- Aceleración pico efectiva,  $A_a = 0,25$
- Velocidad pico efectiva,  $A_v = 0,25$
- Factor de amplificación para periodos cortos de tiempo,  $F_a = 1,7$
- Factor de amplificación para periodos intermedios de tiempo,  $F_v = 3,2$
- Coeficiente de importancia,  $I = 1,0$

Obteniéndose los siguientes resultados:

- Aceleración máxima horizontal  $a_{max} = 0,42g \text{ m/s}^2$
- Para  $T_0 = 0,188 \text{ s}$  se obtiene una aceleración horizontal de diseño de  $S_a = 1,063$
- Para  $T_c = 0,90 \text{ s}$  se obtiene una aceleración horizontal de diseño de  $S_a = 1,063$
- Para  $T_L = 7,68 \text{ s}$  se obtiene una aceleración horizontal de diseño de  $S_a = 0,125$

Con los resultados anteriores, se obtiene el siguiente espectro elástico de aceleraciones (ver Figura 14).

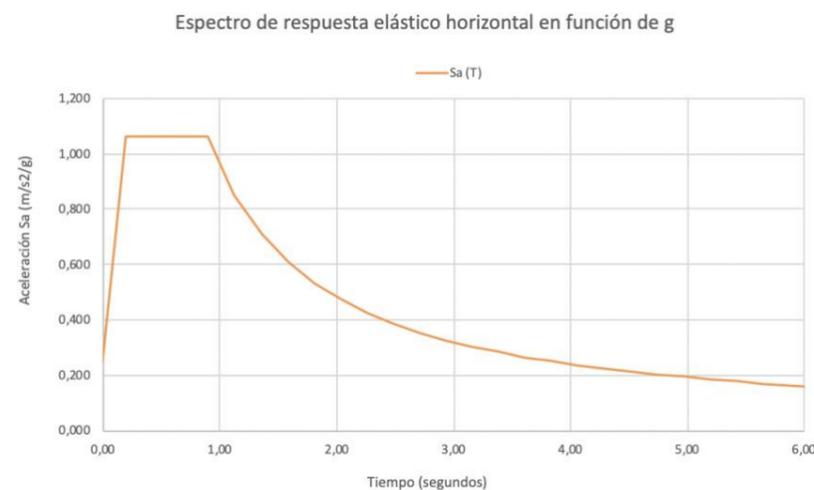


Figura 14. Espectro elástico de aceleraciones de diseño como fracción de la gravedad para la zona de proyecto, de acuerdo con la norma sismo resistente NSR-10.

A partir de esta gráfica se puede obtener el **valor máximo de la aceleración ( $S_{a_{máx}}$ )**, el cual se encuentra entre los periodos **0,188 y 0,900 segundos**, y cuyo valor es de  **$S_{a_{máx}} = 1,063 \text{ m/s}^2/g$** . Por lo tanto, será necesario incluir las acciones sísmicas en el diseño estructural de la cimentación a ejecutar.

## 7. Estudio de soluciones

### 7.1. Introducción

Una vez realizado el estudio geológico y el estudio geotécnico de la zona objeto del estudio, se procede a realizar el estudio de soluciones, el cual se basa en seleccionar la tipología de cimentación más adecuada para el edificio de viviendas que se va a construir.

Para la elección de la tipología de cimentación más óptima, se deben tener en cuenta varios criterios, entre ellos:

- Criterios económicos
- Criterios de viabilidad (que sea posible la ejecución de la cimentación)
- Criterios de disponibilidad (material, maquinaria...)
- Criterios de ejecución (adecuada mano de obra)

Además de estos criterios, también se pueden considerar otros factores, como por ejemplo:

- La región de Cali, en el departamento del Valle del Cauca, presenta una amenaza sísmica alta, según la norma sismo resistente 2010 (NSR-10).
- Desde el punto de vista hidrogeológico, cabe destacar que en la zona de estudio no se detectó nivel de agua en ninguno de los 4 sondeos realizados, alcanzándose una profundidad máxima de 15,5 m. Este punto se puede considerar favorable a la hora de la ejecución de la cimentación del edificio.
- Desde el punto de vista geotécnico, el perfil del terreno está constituido por tres Unidades Geotécnicas: suelo vegetal y depósitos antrópicos, arenas limosas y limos arenosos con intercalaciones de arcilla y arcillas procedentes de la meteorización de rocas volcánicas, cuyas características se resumen en la Tabla 24.
- En cuanto al aspecto geológico, la zona de estudio se emplaza en un área en la que se identifican materiales de la Fm Volcánica y de la Fm Guachinte, así como depósitos no consolidados del Cuaternario, en general depósitos coluviales y aluviales.
- Sobre el emplazamiento reconocido está prevista la ejecución de 3.888 m<sup>2</sup> construidos en un edificio de 8 plantas de altura con una planta inferior excavada para incluir un garaje subterráneo. De acuerdo con los datos disponibles, se desconoce la cota de excavación del garaje. Por tanto se desconoce la Unidad Geotécnica existente a cota de excavación.



## 7.2. Tipologías de cimentación

En primer lugar y para poder realizar el estudio de soluciones correctamente, es muy importante definir que tipología de cimentaciones existen y, de entre ellas, cuales son las más adecuadas para la zona donde se ubica el proyecto, atendiendo, además, a los diversos criterios mencionados anteriormente.

Las cimentaciones pueden ser clasificadas en dos grandes grupos: **cimentaciones superficiales y cimentaciones profundas**.

- **CIMENTACIONES SUPERFICIALES:** Una cimentación será considerada superficial cuando su profundidad no supere 2 veces su ancho. Dentro de este grupo de cimentaciones se encuentran las zapatas, los emparrillados de cimentación y las losas de cimentación.
- **CIMENTACIONES PROFUNDAS:** Se considerará una cimentación profunda si su extremo inferior, en el terreno, se encuentra a una profundidad 8 veces superior a su diámetro o a su ancho. Dentro de esta tipología se encuentran los pilotes, los cajones, los micropilotes y los pozos de cimentación, siendo estos últimos un tipo de **cimentación semiprofunda** (entre 3 y 6 metros).

Las cimentaciones superficiales suelen ser las más utilizadas, especialmente en edificación, debido a que presentan un menor coste por carga soportada y una mayor facilidad a la hora de ejecutarlas. Los esfuerzos se se transmiten a través de su base de contacto y origina en el terreno unas distribuciones consideradas normalmente planas.

Un aspecto a tener muy en cuenta es la presencia de agua, ya que su agotamiento supondría un incremento del coste y un aumento de plazo que podría hacer inviable la cimentación superficial.

Por otro lado, cuando se requiera una profundidad superior a 6-8 metros (donde no puede llegar una retroexcavadora), se debe realizar una cimentación profunda, la cual precisa de procedimientos constructivos especiales.

Además, en los casos en los que la ejecución de cimentaciones superficiales no sea viable, se contemplará, también, la posibilidad de realizar una cimentación profunda. Las cimentaciones profundas, en comparación con las superficiales, son más costosas económicamente, ya que utilizan más recursos como, por ejemplo, maquinaria o materiales de construcción. Asimismo, el proceso constructivo de las cimentaciones profundas es más complejo y requieren más tiempo de ejecución que las superficiales.

Antes de definir y desarrollar las distintas alternativas de cimentación, se descartan las siguientes tipologías:

- Pilotes hincados, donde se desplaza el terreno sin hacer excavaciones, debido a que este tipo de pilotes no es adecuado ejecutarlo en áreas urbanas, como lo es la zona de estudio.
- Pilotes metálicos, ya que estos son pilotes relativamente costosos y la hincada de estos puede ser ruidosa.
- Cimentaciones prefabricadas, al no disponer de una planta de prefabricados cercana a la zona donde se ubica el proyecto.
- Cimentación por cajones, ya que esta tipología no es la más idónea para edificación de este tipo.
- Micropilotes, debido a que la zona de estudio tiene una amenaza sísmica alta y un sismo provocaría una rotura, principalmente por cortante, de los mismos.

## 7.3. Estimación de las cargas de cimentación

Tratándose de un edificio residencial de 8 plantas más un sótano, es posible realizar una estimación de las cargas que recibirá cada pilar a la cota de cimentación.

Si se considera una carga de  $1 \text{ T/m}^2$  por cada forjado (esta carga estima tanto el peso propio y las cargas muertas como las cargas vivas verticales) cuyo valor es el más habitual en proyectos de edificación, un total de 10 forjados (las 8 plantas, más la cubierta y el garaje) y una distancia entre crujiás (separación entre pilares) de 4 m en ambas direcciones, se tiene que **cada pilar transmitirá una carga de 1600 kN a la cimentación**.

De tal modo, como se desconoce la Unidad Geotécnica sobre la que se va a cimentar, se proponen, a continuación, distintas tipologías de cimentación posibles. Una vez conocida la cota de excavación, se concretará la solución más óptima.

## 7.4. Alternativas de cimentación

A continuación, se procede a desarrollar las diferentes tipologías de cimentación que podrían ser adoptadas para resistir la carga del edificio y sujetar dicha estructura frente a acciones horizontales como el viento y el sismo.

### ✚ Alternativa 1: Zapatas

Este tipo de cimentación se realiza cuando el terreno es firme, competente y sin estratos blandos interpuestos. Las zapatas transmiten una tensión media-alta y los asientos esperados son pequeños o moderados. Es la cimentación más económica sobre roca o suelos con tensiones admisibles habituales superiores a  $0,15 \text{ N/mm}^2$ . Normalmente, la cimentación de los pilares de un edificio se realizará mediante zapatas aisladas o zapatas combinadas.

Una zapata aislada es una cimentación puntual que recibe un solo sistema como son los pilares. Las zapatas aisladas pueden ser centradas, medianeras o de esquina, según la columna se encuentre en el centro del cimiento, en el borde o en la esquina. Las zapatas de medianería transmiten la carga de soportes excéntricos situados en una de las caras de la zapata. La excentricidad de la carga sobre este tipo de zapatas provoca un momento de vuelco que tiende a levantarlas y, para evitarlo, se puede atar la cimentación al forjado o viga superior.

Una zapata combinada es aquella sobre la que descansan dos o más pilares, siempre que las cargas no sean muy grandes. Son empleadas cuando las zapatas están muy próximas y la excavación es complicada, o bien cuando se buscan asientos uniformes en los pilares, al tener un comportamiento rígido. Se recomienda que el canto sea constante por motivos económicos.

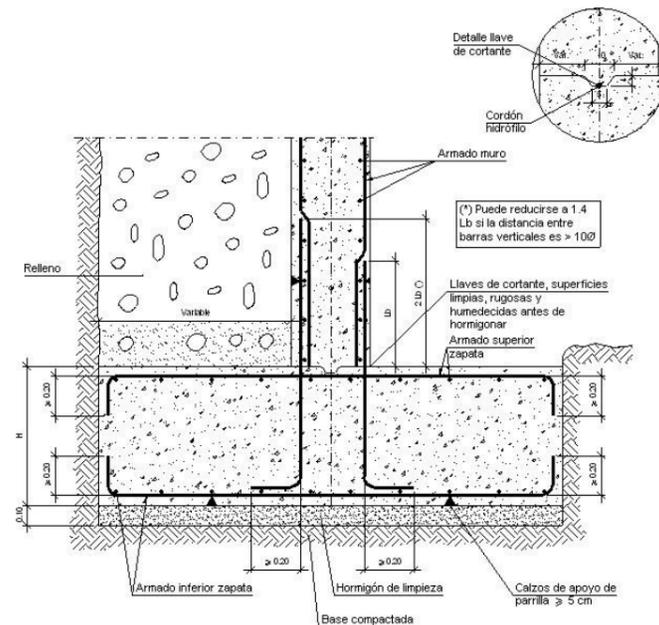


Figura 15. Zapata aislada centrada. Fuente: YEPES, V. (2016). Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención. Editorial Universitat Politècnica de València.

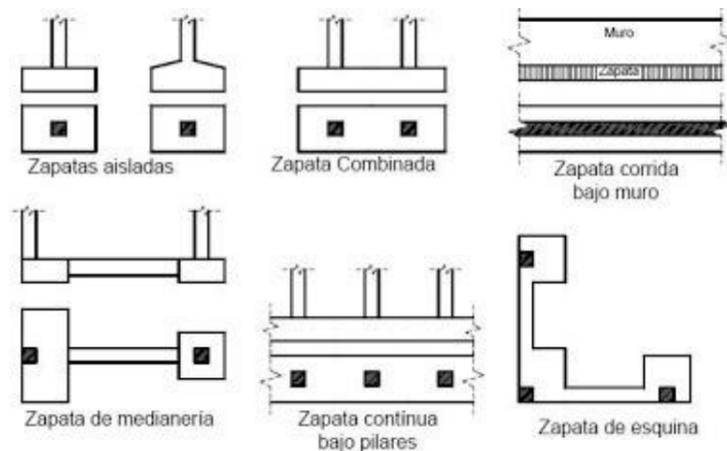


Figura 16. Tipología de zapatas atendiendo a su forma.. Fuente: <https://ingenieriacivilapuntes.blogspot.com/>

## Alternativa 2: Emparrillados de cimentación

Los emparrillados recogen los pilares de una estructura en una única cimentación, consistente en zapatas corridas entrecruzadas en malla, normalmente ortogonal, de gran rigidez.

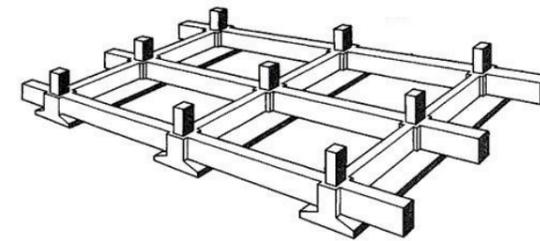


Figura 17. Esquema de un emparrillado de cimentación. Fuente: <https://www.victoryepes.blog.upv.es/>

Los emparrillados son poco sensibles a las heterogeneidades, oquedades o, en general, a los defectos locales del terreno.

Su empleo es adecuado cuando la presión admisible del terreno es baja, hay elevada deformabilidad o se esperan grandes asientos diferenciales. También son de gran importancia cuando existen acciones sísmicas o cuando es necesario contrarrestar el momento volcador generado por acciones horizontales (viento, sismos, etc.) La alternativa a los emparrillados son las losas de cimentación.



Figura 18. Detalle del armado de un emparrillado de cimentación. Fuente: YEPES, V. (2016). Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención. Editorial Universitat Politècnica de València.

### Alternativa 3: Losas de cimentación

Este tipo de cimentación superficial se utiliza cuando la superficie de las zapatas supera el 50% de la superficie de la planta.

Se aconseja su empleo cuando existen sótanos estancos cuya cota inferior se sitúe por debajo del nivel freático, así como para reducir los asentamientos diferenciales. Por otro lado, también son adecuadas cuando la capacidad portante del terreno es escasa ( $<150 \text{ kN/m}^2$ ) y en edificios de gran altura (más de 10 plantas) tales como rascacielos, donde la superficie es pequeña en relación al volumen.

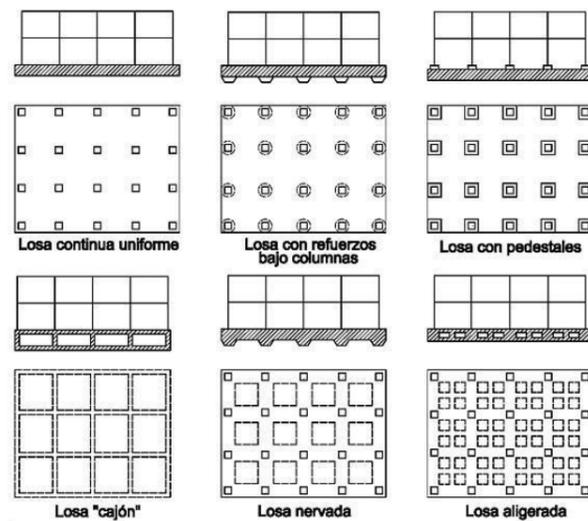


Figura 19. Tipología de losas de cimentación, según CTE DB SE-C. Fuente: <https://www.victorvapes.blogs.upv.es/>

### Alternativa 4: Pozos de cimentación

Se trata de una cimentación semiprofunda y su empleo es adecuado cuando el terreno es firme pero a una profundidad de entre 3 y 6 metros y, por lo tanto, el empleo de cimentaciones superficiales, como zapatas, emparrillados o losas, no es óptimo al precisar de entibaciones y apuntalamientos importantes.

Los pozos de cimentación son empleados, por tanto, cuando no es posible cimentar con zapatas, pues tendrían un canto demasiado elevado y se gastaría gran cantidad de hormigón innecesariamente, ni tampoco usar pilotes, por motivos económicos.

Luego esta solución es adecuada cuando las cargas verticales y horizontales no son excesivamente altas pero se debe alcanzar el estrato firme, el cual se encuentra entre una profundidad de entre 3 y 6 metros.

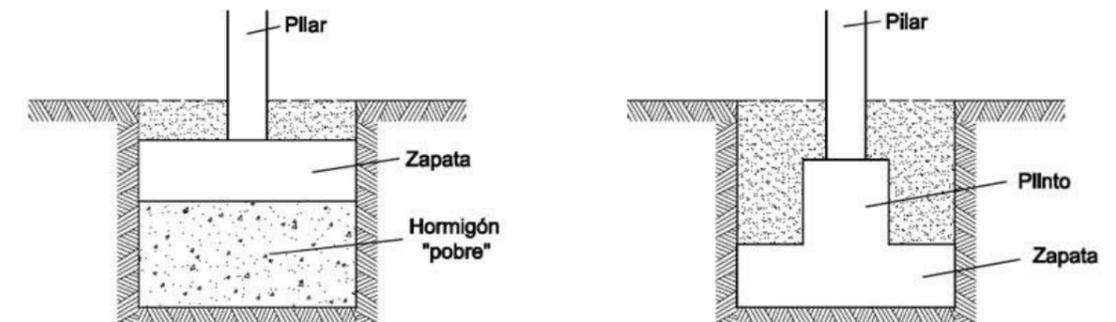


Figura 20. Tipos principales de pozos de cimentación. Fuente: Ministerio de fomento, 2008.

### Alternativa 5: Pilotes

Esta alternativa se trata de una cimentación profunda. El pilotaje se utiliza cuando el terreno firme y competente se encuentra a gran profundidad (más de 6 metros o bien más de 8 diámetros del pilote).

Los pilotes son piezas largas, a modo de pilares enclavados en el terreno, que alcanzan una profundidad suficiente para transmitir las cargas de la estructura. Se denomina fuste a la parte del pilote en contacto con el suelo, mientras que la altura libre es la longitud de la parte que emerge del suelo.

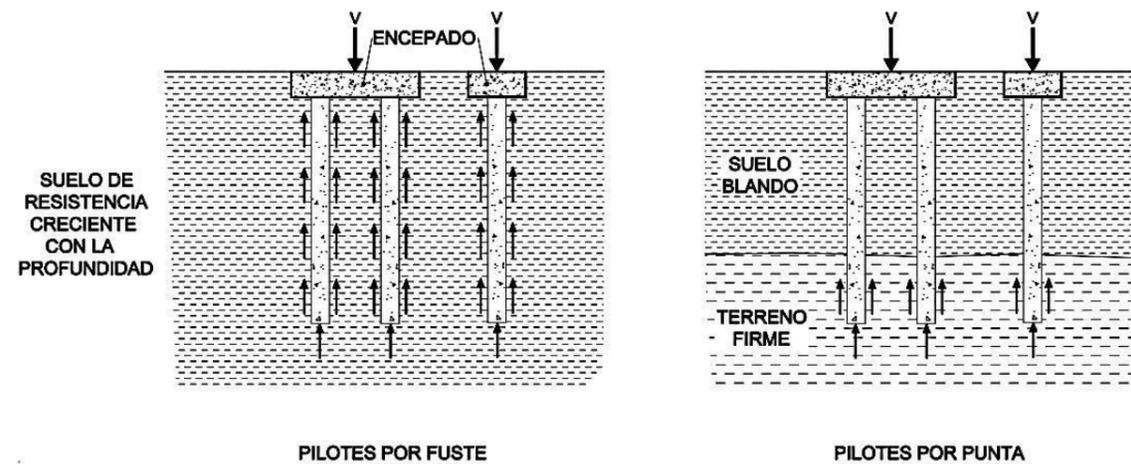
Por otro lado, el encepado es el encargado de transmitir los esfuerzos de la estructura a los pilotes (ver Figura 21).

En función de cómo se ejecute el encepado, los pilotes se clasifican como:

- **Pilote aislado:** se trata de un pilote suficientemente alejado de otros para no interactuar con estos. No se permiten pilotes aislados para diámetros menores a 45 centímetros. Pueden ser utilizados entre 45 y 100 cm de diámetro si son arriostrados lateralmente.
- **Grupo de pilotes:** conjunto de pilotes lo suficientemente próximos como para interactuar entre sí o mediante uniones a través de elementos estructurales.
- **Zonas pilotadas:** son pilotes de muy baja capacidad portante individual que sirven para reducir los asentamientos o mejorar la seguridad frente al hundimiento en las cimentaciones.
- **Micropilotes:** están compuestos por una armadura metálica formada por tubos o perfiles que se introducen en un taladro de pequeño diámetro, y pueden estar inyectados con lechada de mortero.

Por otra parte, y según la forma de trabajo, los pilotes pueden clasificarse en:

- **Pilotes por punta:** estos alcanzan el estrato resistente, transmitiendo las cargas por punta y comprimiéndose el pilote. La deformación del pilote es muy pequeña debido a la rigidez del mismo, de modo que el movimiento con el terreno no es significativo. En algunos casos, también son conocidos como pilotes columna.
- **Pilotes por fuste:** estos no alcanzan el estrato resistente, ya que transmiten la carga al terreno por rozamiento a través del fuste. También se conocen como pilotes flotantes o de fricción.



**Figura 21.** Clasificación de los pilotes según la forma de trabajar. Fuente: YEPES, V. (2016). *Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención*. Editorial Universitat Politècnica de València.

De este modo, esta tipología de cimentación profunda resulta muy adecuada en los siguientes casos:

- Cuando las cargas verticales y horizontales de la estructura sean importantes y concentradas.
- Cuando no existe un estrato firme a una profundidad alcanzable mediante zapatas o pozos de cimentación.
- La estructura sea sensible a movimientos absolutos o diferenciales.
- Los estratos sean de baja capacidad resistente.
- Se disponga de un terreno competente a gran profundidad (más de 6 metros o más de 8 diámetros del pilote).
- El nivel freático esté muy alto y no sea viable ejecutar losas de cimentación.

## Justificación y descarte de las alternativas propuestas

Una vez realizado un análisis más detallado de las diferentes tipologías de cimentación que podrían adoptarse como solución óptima para el estudio, se procede a justificar que alternativas se podrían proyectar y cuales, por distintos motivos que veremos a continuación, deben ser descartadas.

En el caso de la **Alternativa 1**, cimentación por zapatas, se descarta la solución de zapata aislada al tratarse, el área donde se ubica el proyecto, de una zona de alta sismicidad. En este caso, se deberá arriostrar o atar las zapatas para, de este modo, evitar los corrimientos o desplazamientos entre ellas y, a su vez, absorber las cargas horizontales generadas por los sismos o el viento, por lo que **la Alternativa 1: Zapatas y la Alternativa 2: Emparrillados de cimentación, es la misma.**

Por lo tanto, la solución más adecuada en caso de optar por una cimentación superficial sería mediante zapatas arriostradas o atadas, o bien mediante la **Alternativa 3**, losas de cimentación, las cuales aportan una gran rigidez a la estructura y son la opción más adecuada en caso de que la superficie de las zapatas supere la mitad de la superficie total de la planta del edificio o si existen sótanos estancos cuya cota inferior se sitúe por debajo del nivel freático.

Por otro lado, también sería interesante el empleo de una cimentación semiprofunda, como lo son los pozos de cimentación (**Alternativa 4**), ya que su empleo es adecuado cuando el terreno es firme a una profundidad de entre 3 y 6 metros.

Por último, se recurrirá a la **Alternativa 5**, el pilotaje, cuando no exista terreno firme a una profundidad alcanzable mediante zapatas o pozos de cimentación, normalmente suelen ser más de 5 metros.

De este modo, las alternativas de cimentación que se van a estudiar más detalladamente a continuación son:

- Alternativa 1: Cimentación directa por zapatas
- Alternativa 3: Cimentación directa mediante losa
- Alternativa 5: Cimentación mediante pilotes



## 7.5. Desglose de cada alternativa

### Alternativa 1: Cimentación directa por zapatas

#### Carga admisible por hundimiento según Brinch-Hansen

La carga de hundimiento de cimentaciones directas se puede calcular según la expresión de Brinch-Hansen (Torrijo y Garzón-Roca, 2018):

$$q_h = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c \cdot d_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q \cdot d_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \cdot d_\gamma$$

Donde:

$q_h$	=	Carga de hundimiento (kPa)
$N_c; N_q; N_\gamma$	=	Factores de capacidad de carga
$s_c; s_q; s_\gamma$	=	Factores de corrección por la geometría de la cimentación
$i_c; i_q; i_\gamma$	=	Factores de corrección por la inclinación de las cargas
$d_c; d_q; d_\gamma$	=	Factores de corrección por la profundidad de la cimentación Habitualmente, del lado de la seguridad $d_c = d_q = d_\gamma = 1$ .
$c$	=	Cohesión (kPa)
$q$	=	Carga a nivel del plano de cimentación (kPa); usualmente $q = \gamma \cdot D$
$\gamma$	=	Peso específico (densidad) del terreno (kN/m <sup>3</sup> )
$B$	=	Ancho de la cimentación (m)
$D$	=	Empotramiento de la cimentación (m)

Para el cálculo de la carga admisible (seguridad frente al hundimiento) se debe aplicar un factor de seguridad  $F = 3$  de acuerdo a lo indicado en la norma sismo resistente (NSR-10) en su Título H. Estudios geotécnicos, Tabla H.4.7-1, para Carga Muerta+Carga Viva Normal.

#### Unidad Geotécnica UG-1: Arenas y limos

La Unidad Geotécnica UG-1 está formada por arenas limosas y limos arenosos con intercalaciones arcillosas que presentan unas características que en general son asimilables a un suelo granular con finos.

Para un ángulo de rozamiento interno  $\phi' = 40^\circ$  los factores de capacidad de carga toman los valores (Rodríguez Ortiz et al., 1989):  $N_c = 75,31$ ;  $N_q = 64,20$ ;  $N_\gamma = 109,41$ . Con lo que la expresión de Brinch-Hansen resulta:

$$q_h = 75,31 \cdot c \cdot s_c \cdot i_c + 64,20 \cdot \gamma \cdot D \cdot s_q \cdot i_q + \frac{1}{2} \cdot 109,41 \cdot \gamma \cdot B \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$

Introduciendo el valor de la densidad aparente indicado en la Tabla 24, asumiendo una cohesión efectiva nula (lado de la seguridad), la ausencia de inclinación de cargas (o un valor muy reducido de éstas) y una geometría cuadrada de la cimentación ( $s_q = 1$ ,  $s_\gamma = 0,3$ ) se tiene:

$$q_h = 1348,2 \cdot D + 344,6 \cdot B$$

Con estos datos, la capacidad portante (aplicando un factor de seguridad  $F = 3$ ) vendría dada por la expresión (en kPa):

$$Q_{adm} = 449,4 \cdot D + 115 \cdot B$$

A partir de esta solución, la Tabla 28 recoge la carga admisible para diferentes anchos de cimentación y empotramiento:

D = 0,4 m							
B (m)	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50
Q <sub>adm</sub> (kPa)	295	323	352	381	410	438	467
D = 0,6 m							
B (m)	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50
Q <sub>adm</sub> (kPa)	384	413	442	471	499	528	557
D = 1,0 m							
B (m)	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50
Q <sub>adm</sub> (kPa)	564	593	622	650	679	708	737
D = 1,5 m							
B (m)	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50
Q <sub>adm</sub> (kPa)	789	817	846	875	904	932	961

Tabla 28. Carga admisible para diferentes anchos de cimentación y empotramiento, para la Unidad geotécnica UG-1.

#### Unidad Geotécnica UG-2: Arcillas

La Unidad Geotécnica UG-2 está formada por arcillas y limos de alta plasticidad, con características claras de un suelo cohesivo, presentando asimismo un grado de saturación elevado. En esta situación, la carga de hundimiento puede obtenerse (Bowles, 1996) considerando un ángulo de rozamiento interno nulo ( $\phi = 0^\circ$ ) y una cohesión igual a la resistencia a corte sin drenaje ( $c = c_u$ ).

Para un ángulo de rozamiento interno  $\phi = 0^\circ$  los factores de capacidad de carga toman los valores (Rodríguez Ortiz et al., 1989):  $N_c = 5,14$ ;  $N_q = 1$ ;  $N_\gamma = 0$ . Con lo que la expresión de Brinch-Hansen resulta:

$$q_h = 5,14 \cdot c_u \cdot s_c \cdot i_c + \gamma \cdot D \cdot s_q \cdot i_q$$



Como puede verse la carga de hundimiento es independiente del ancho de la zapata. Introduciendo los valores para la densidad aparente y de la resistencia a corte sin drenaje indicados en la Tabla 24, asumiendo la ausencia de inclinación de cargas (o un valor muy reducido de éstas) y una geometría cuadrada de la cimentación ( $s_c = 1,2$ ,  $s_q = 1$ ) se tiene:

$$q_h = 308,4 + 17,0 \cdot D$$

Con estos datos, la capacidad portante (aplicando un factor de seguridad  $F = 3$ ) vendría dada por la expresión (en kPa):

$$Q_{adm} = 102,8 + 5,7 \cdot D$$

Considerando un empotramiento  $D = 0,4$  m, se tiene que la carga admisible de una zapata cimentada sobre la unidad geotécnica UG-2 será de  $Q_{adm} = 105$  kPa.

#### ▪ Carga de trabajo en función del asiento

En lo que respecta a los asientos, éstos pueden valorarse según un modelo elástico e isótropo, de acuerdo con la expresión (Rodríguez Ortiz, 1989; Torrijo y Garzón-Roca, 2018):

$$s = \frac{q_0 \cdot B \cdot (1 - \nu^2)}{E} \cdot K$$

Donde:

- $s$  = Asiento (m)
- $q_0$  = Tensión de contacto (kPa)
- $B$  = Ancho de la cimentación (m)
- $E$  = Módulo de deformación elástico (kPa)
- $\nu$  = Coeficiente de Poisson
- $K$  = Factor de forma; su valor es de 0,88 para zapatas cuadradas y carga rígida

Se considera, de acuerdo a la normativa existente, un valor de asiento máximo de 2,5 cm.

#### Unidad Geotécnica UG-1: Arenas y limos

La Tabla 29 recoge la relación ante anchos de zapata y cargas de trabajo, así como los asientos esperables para las tensiones admisibles calculadas antes (Tabla 28), aplicando la expresión de estimación de asientos para los parámetros geotécnicos de la unidad UG-1 indicados en la Tabla 24.

B (m)	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50
$q_0$ (kPa) ; $s_{m\acute{a}x} = 2,5$ cm	1873	1530	1275	1093	956	850	765
$s$ (cm) ; $q_0 = Q_{adm}(D = 0,4$ m)	0,39	0,54	0,70	0,89	1,09	1,32	1,56
$s$ (cm) ; $q_0 = Q_{adm}(D = 0,6$ m)	0,51	0,69	0,88	1,10	1,33	1,59	1,86
$s$ (cm) ; $q_0 = Q_{adm}(D = 1,0$ m)	0,75	0,99	1,24	1,52	1,81	2,13	2,46
$s$ (cm) ; $q_0 = Q_{adm}(D = 1,5$ m)	1,05	1,36	1,69	2,04	2,41	2,80	3,21

Tabla 29. Carga de trabajo para diferentes anchos de cimentación, para la Unidad geotécnica UG-1.

En ningún caso, la carga admisible ( $Q_{adm}$ ) deberá superar los valores de carga de trabajo ( $q_0$ ) indicados en la tabla, debiéndose limitar los primeros de ser necesario, con el fin de no superar un asiento de 2,5 cm. Así, por ejemplo, si se resuelve la cimentación con zapatas cuadradas de 2,25 m de ancho empotradas 1,5 metros, la tensión admisible ( $Q_{adm}$ ) debe limitarse a 850 kPa, que es la correspondiente al asiento máximo ( $s_{m\acute{a}x}$ ), no pudiéndose alcanzar los 930 kPa indicados en la Tabla 28, ya que esto conllevaría a la formación de un asiento de 2,80 cm, superior al valor de asiento máximo de 2,5 cm.

#### Unidad Geotécnica UG-2: Arcillas

La Tabla 30 recoge la relación ante anchos de zapata ( $B$ ) y cargas de trabajo ( $q_0$ ), así como los asientos ( $s$ ) esperables para la tensión admisible calculada anteriormente de  $Q_{adm} = 105$  kPa, aplicando la expresión de estimación de asientos para los parámetros geotécnicos de la unidad UG-2 indicados en la Tabla 24.

B (m)	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50
$q_0$ (kPa) ; $s = 2,5$ cm	343	275	229	196	172	153	137
$s$ (cm) ; $q_0 = 105$ kPa	0,76	0,96	1,15	1,34	1,53	1,72	1,91

Tabla 30. Carga de trabajo para diferentes anchos de cimentación, para la Unidad geotécnica UG-2.

Como puede observarse la carga de trabajo que produce un asiento de 2,5 cm es en todos los casos considerados (ancho de zapata no superior a 2,50) superior a la carga admisible calculada, 105 kPa, por lo que esta última es el factor limitante de la cimentación, y no son de esperar asientos mayores a 2,5 cm.

#### ▪ Posibilidad de cimentación mediante zapatas

Como puede comprobarse, según las cargas supuestas, en la Unidad Geotécnica UG-1 (ver Tablas 28 y 29) es posible cimentar los pilares del edificio mediante zapatas cuadrada de menos de 2 m de lado (máxima dimensión lógica de las zapatas si se considera una distancia entre crujías de 4 m).



Sin embargo no es posible una cimentación mediante zapatas en la Unidad Geotécnica UG-2, pues dado que la carga admisible está limitada a 105 kPa, sería necesario ejecutar zapatas cuadradas de como mínimo 4 m de lado, lo cual, además de ser geoméricamente imposible (considerando una distancia entre crujías de 4 m), supondría tener unos asientos no admisibles (para un ancho de 4 m y una carga admisible de 105 kPa, el asiento sería de 3 cm, superior al asiento máximo de 2,5 cm).

### Alternativa 3: Cimentación directa mediante losa

En este caso, para el cálculo de la carga admisible, al desconocerse la cota de cimentación, se va a suponer que la losa de cimentación apoya únicamente sobre la Unidad Geotécnica UG-1: Arenas y limos.

La carga admisible ( $Q_{adm}$ ) de una cimentación superficial mediante losa en un suelo granular, suponiendo un asiento máximo ( $s_{m\acute{a}x}$ ) de 2,5 cm, se puede calcular, de acuerdo con Bowles (1996), como:

$$Q_{adm,UG1} = \frac{N_{55}}{8} \cdot \left(1 + 0,33 \cdot \frac{D}{B}\right) \cdot 10$$

Donde:

- $Q_{adm}$  = Carga admisible (kPa)
- $N_{55}$  = Valor del golpe del SPT corregido al 55%
- $B$  = Ancho de la losa (m)
- $D$  = Empotramiento de la losa en el terreno (m)

Puesto que a un valor de golpeo SPT  $N_{30}=65$  le corresponde un valor  $N_{55}=35$ , el cual es el 55% del valor de  $N_{30}$ , entrando en la expresión anterior con un empotramiento estimado de  $D=1$  m y considerando un ancho de losa de cimentación igual al ancho del edificio,  $B=32$  m, se puede estimar una carga admisible (resistencia frente al hundimiento) de  $Q_{adm}=44$  kPa.

Para el diseño estructural de la losa es necesario definir el coeficiente de balasto ( $k_{30}$ ), el cual se puede estimar en base a la correlación dada a continuación por la NAVFAC (1971):

$$k_{30} = 0,25 \cdot N_{30}$$

Donde:

- $k_{30}$  = Coeficiente de balasto ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ )
- $N_{30}$  = Valor del golpe del SPT

Considerando un valor de golpeo SPT  $N_{30}=65$ , se tiene un coeficiente de balasto  $k_{30} = 16,25 \text{ kg}/\text{cm}^3 = 0,163 \text{ N}/\text{mm}^3$ .

El valor obtenido se encuentra dentro del rango de valores propuesto por Calavera (1987) para arenas limosas y arenas arcillosas que normalmente se encuentra entre 0,11 y 0,20  $\text{N}/\text{mm}^3$ .

### Alternativa 5: Cimentación mediante pilotes

#### Carga de hundimiento de un pilote

La carga de hundimiento de un pilote se calcula según la siguiente fórmula:

$$Q_h = Q_p + Q_f$$

Donde:

- $Q_h$  = Carga de hundimiento (kN)
- $Q_p$  = Resistencia por punta, igual a  $r_p \cdot A_p$ , siendo  $r_p$  la resistencia unitaria por punta (kPa) y  $A_p$  el área de la punta ( $\text{m}^2$ )
- $Q_f$  = Resistencia por fuste, igual a  $r_f \cdot A_f$ , siendo  $r_f$  la resistencia unitaria por fuste (kPa) y  $A_f$  el área lateral del fuste ( $\text{m}^2$ )

#### 1) Resistencia unitaria del pilote por punta ( $r_p$ )

Para terrenos granulares o para terrenos cohesivos en condiciones drenadas (largo plazo) trabajando en términos efectivos de tensiones, la resistencia unitaria por punta ( $r_p$ ) viene dada por la siguiente expresión:

$$r_p = c \cdot N_c^* + N_q^* \cdot \sigma'_{v0} \leq 90 \text{ kPa}$$

Donde:

- $r_p$  = Resistencia unitaria por punta (kPa)
- $c$  = Cohesión (kPa)
- $\sigma'_v$  = Tensión vertical efectiva al nivel de la punta del pilote (kPa)
- $N_q^*; N_c^*$  = Factores de capacidad de carga para cimentaciones profundas, función del ángulo de rozamiento interno,  $\phi'$ , según las siguientes expresiones:

$$N_q^* = 1,5 \cdot \frac{1 + \sin \phi'}{1 - \sin \phi'} \cdot e^{\pi \cdot \tan \phi'} \cdot f_D \quad ; \quad N_c^* = \frac{N_q^* - 1}{\tan \phi'}$$

Para profundidades mayores a 20 veces el diámetro del pilote se utilizará como valor de  $\sigma'_{v0}$  la tensión vertical efectiva a una profundidad igual a 20 diámetros.



El factor  $f_D$  tiene en cuenta el efecto del diámetro del pilote en el coeficiente de capacidad de carga, y puede estimarse mediante la siguiente expresión:

$$f_D = 1 - \frac{1}{3} \cdot D \geq \frac{2}{3}$$

Siendo:

$D$  = Diámetro del pilote (m)

Para terrenos cohesivos en condiciones no drenadas (corto plazo) trabajando en términos totales de tensiones, la resistencia unitaria por punta ( $r_p$ ) viene dada por la expresión (Rodríguez Ortiz et al., 1989; González de Vallejo et al., 2002):

$$r_p = 9 \cdot c_u$$

Donde:

$r_p$  = Resistencia unitaria por punta (kPa)  
 $c_u$  = Cohesión sin drenaje, igual a la resistencia a corte sin drenaje (kPa)

## 2) Resistencia unitaria del pilote por fuste ( $r_f$ )

Para terrenos granulares o para terrenos cohesivos en condiciones drenadas (largo plazo) trabajando en términos efectivos de tensiones, la resistencia unitaria por fuste ( $r_f$ ) viene dada por la expresión:

$$r_f = c + \sigma'_v \cdot k_0 \cdot \tan \delta \leq 90 \text{ kPa}$$

Donde:

$r_f$  = Resistencia unitaria por fuste (kPa)  
 $c$  = Cohesión (kPa)  
 $\sigma'_v$  = Tensión vertical efectiva a lo largo del fuste (kPa)  
 $k_0$  = Coeficiente de empuje al reposo  
 $\delta$  = Ángulo de rozamiento del contacto pilote-terreno; a falta de información fehaciente se puede suponer que  $k_0 \cdot \tan \delta = 0,3$

Para terrenos cohesivos en condiciones no drenadas (corto plazo) trabajando en términos totales de tensiones, la resistencia unitaria por fuste viene dada por la expresión:

$$r_f = c_u \cdot \frac{p_0}{p_0 + c_u} \leq 70 \text{ kPa}$$

Donde:

$r_f$  = Resistencia unitaria por fuste (kPa)  
 $c_u$  = Cohesión sin drenaje, igual a la resistencia a corte sin drenaje (kPa)  
 $p_0$  = Tensión de referencia igual a 100 kPa

### ▪ Carga admisible de un pilote

La carga admisible de un único pilote se calcula aplicando un factor de seguridad  $F = 3$  para la punta y  $F = 2$  para el fuste, según la siguiente expresión:

$$Q_{adm} = \frac{Q_p}{3} + \frac{Q_f}{2}$$

Donde:

$Q_p$  = Resistencia por punta, igual a  $r_p \cdot A_p$ , siendo  $r_p$  la resistencia unitaria por punta (kPa) y  $A_p$  el área de la punta ( $m^2$ )  
 $Q_f$  = Resistencia por fuste, igual a  $r_f \cdot A_f$ , siendo  $r_f$  la resistencia unitaria por fuste (kPa) y  $A_f$  el área lateral del fuste ( $m^2$ )

### ▪ Tope estructural de un pilote

La norma sismo resistente (NSR-10) en su *Título C. Cimentaciones, capítulo 15 de concreto estructural, el apartado 11. Pilotes y cajones de cimentación, punto 3 de esfuerzos axiales máximos*, establece que los esfuerzos máximos para un pilote son los siguientes:



- a) Para esfuerzos de compresión causados por cargas gravitacionales (no incluye efectos de hincado):

$$D + L \leq 0,25 \cdot f'_c \cdot A_g$$

$$1,2 \cdot D + 1,6 \cdot L \leq 0,35 \cdot f'_c \cdot A_g$$

- b) Para esfuerzos de compresión causados por cargas gravitacionales más los efectos sísmicos:

$$D + L + 0,7 \cdot E \leq 0,33 \cdot f'_c \cdot A_g$$

$$1,2 \cdot D + L + E \leq 0,35 \cdot f'_c \cdot A_g$$

Donde:

$D$	=	Carga muerta (peso propio, peso material de construcción y peso permanente)
$L$	=	Carga viva, incluye objetos móviles
$E$	=	Fuerzas sísmicas reducidas de diseño
$f'_c$	=	Resistencia nominal del concreto
$A_g$	=	Área bruta de la sección de concreto

En ningún caso, la carga admisible de un pilote ( $Q_{adm}$ ) deberá superar el tope estructural de éste, debiéndose limitar esta carga en caso de ser necesario.

## 7.6. Elección de la solución

### 7.6.1. Introducción

Cabe destacar, en primer lugar, que en cualquier estructura a cimentar, no existe solamente una única solución, si no que muchas veces existen combinaciones entre distintas tipologías de cimentación.

Hay que tener en cuenta que la zona de proyecto donde va a cimentarse la estructura tiene acciones horizontales muy importantes, debido a que se trata de una zona con una alta amenaza sísmica (aceleración máxima del terreno 0,42g).

Por este motivo, en caso de cimentar con zapatas o pilotes, se deberán unir estas zapatas o encepados a partir de vigas de atado o riostras, cuya función principal es evitar corrimientos relativos y absorber los esfuerzos horizontales.

Por otro lado, los principales criterios que se deben tener en cuenta para la elección de la cimentación son el tipo de terreno (granular o cohesivo), su resistencia, deformabilidad, la influencia del nivel freático, el tipo de estructura a cimentar y su interacción con edificios próximos, además también de los criterios económicos.

Como se ha visto en apartados anteriores, el perfil del terreno está constituido tres unidades geotécnicas: suelo vegetal y rellenos antrópicos, arenas y limos y, por último, arcillas.

En cuanto a su resistencia, en base a los ensayos realizados de SPT, se ha visto que el terreno tiene una resistencia suficientemente elevada ( $N_{SPT}=65$ ), por lo que su deformabilidad será baja.

De acuerdo con los datos que se proporcionan para el estudio de soluciones, se desconoce la cota de excavación de los garajes a ejecutar, por lo que, de este modo, se desconoce la unidad geotécnica existente a cota de excavación.

Consecuentemente, al no conocer con exactitud el terreno sobre el que se va a cimentar, se proponen diferentes tipologías de cimentación posibles, a concretar una vez conocida la cota de excavación:

- En cuanto a las cargas de cimentación estimadas, se ha supuesto una carga a transmitir por cada pilar a la cimentación de 1600 kN (8 plantas más un sótano, 1 T/m<sup>2</sup> por cada forjado y 4 metros de distancia entre crujiás).
- Según las cargas estimadas supuestas, en la Unidad Geotécnica UG-1 (arenas y limos) es posible cimentar los pilares del edificio mediante zapatas cuadradas de menos de 2 m de lado, ya que con anchos de zapata mayores se formarían asientos de valores superiores al del asiento máximo ( $S_{m\acute{a}x}=2,5$  cm).
- Según las cargas supuestas, en la Unidad Geotécnica UG-2 (arcillas) no es posible cimentar los pilares del edificio mediante zapatas, pues se tendrían unos asientos no admisibles, superiores al asiento máximo ( $S_{m\acute{a}x}=2,5$  cm).
- Se plantea la posibilidad de cimentación directa mediante losa sobre el terreno natural.
- En caso de ejecutar la cimentación mediante pilotes, se han realizado las formulaciones necesarias para el cálculo de pilotes en las distintas unidades geotécnicas atravesadas.

De este modo, al no conocer el terreno sobre el que se va a cimentar, se va a considerar que la cota de cimentación se realizará a 4 metros de profundidad para la construcción del garaje subterráneo y que, por lo tanto, se cimentará sobre la Unidad Geotécnica UG-1: Arenas limosas y limos arenosos con intercalaciones arcillosas, con posibilidad también de apoyar sobre la Unidad Geotécnica UG-2: Arcillas procedentes de la meteorización de rocas volcánicas.

Así, como solución óptima, se decide cimentar los pilares del edificio mediante la Alternativa 3: Cimentación directa mediante losa. Si bien para el estudio de esta alternativa se había considerado únicamente la Unidad Geotécnica UG-1, ahora, al haber decidido una profundidad de excavación de 4 metros, se deberá estudiar, además, la Unidad Geotécnica 2.

### 7.6.2. Descripción de la solución adoptada

Las **losas o placas de cimentación** se caracterizan porque la dimensión en planta es mucho mayor que el canto. Esta solución es utilizada cuando la superficie de las zapatas supera el 50% de la superficie de la planta del edificio.

Estas losas llevan una armadura principal en la parte superior para contrarrestar la contrapresión del terreno y el empuje del agua subterránea, y una armadura inferior, debajo de las paredes portantes y pilares, para excluir en lo posible la producción de flechas desiguales (ver Figura 22).

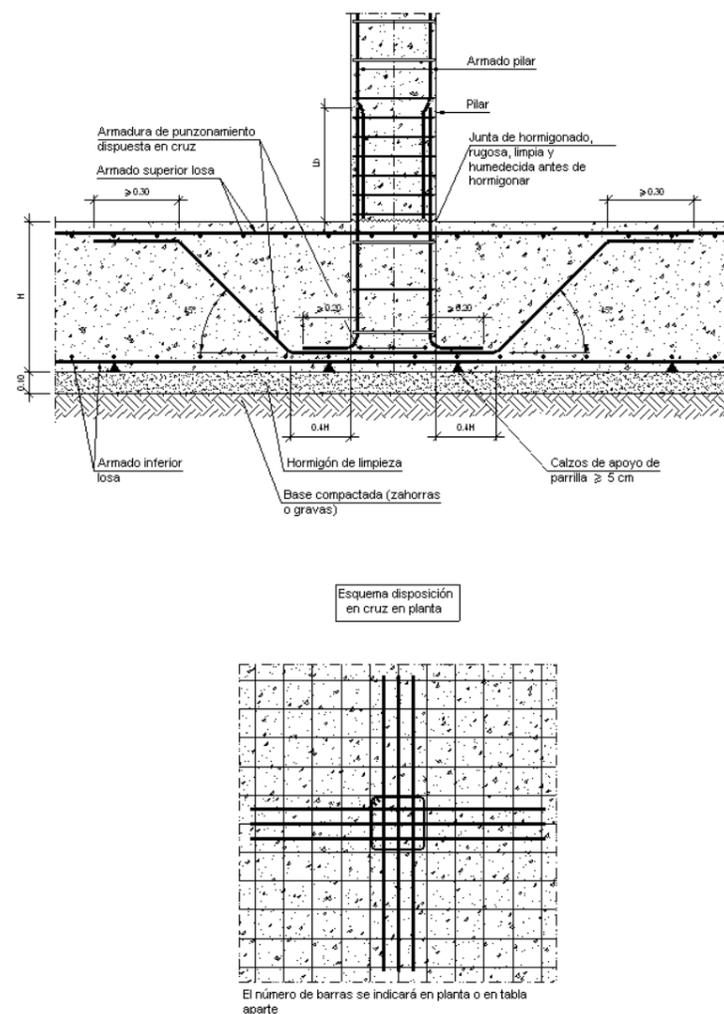


Figura 22. Armado típico de una losa de cimentación. Fuente: <http://detallesconstructivos.cype.es/>

Finalmente, se ha decidido escoger esta tipología de cimentación debido a que, normalmente, cuando se van a cimentar edificios con garajes subterráneos, esta solución suele ser más rentable económicamente que la cimentación directa mediante zapatas y, además, disminuye el riesgo de asiento de la estructura.

Además, el edificio a construir contará con 8 plantas de altura, por lo que se considera una buena alternativa en este tipo de casos, donde la superficie del edificio es pequeña en comparación a su volumen.

En cuanto a su diseño estructural, **se tratará de una cimentación directa mediante losa empotrada 1 metro en el terreno y con un ancho equivalente al de la superficie del edificio a construir, que será de 32 metros.** Referente a la carga admisible ( $Q_{adm}$ ), su valor medio representativo se decidirá en el apartado 8. *Definición geotécnica de la solución elegido.*

Por último, esta solución también se considera óptima atendiendo a los siguientes criterios:

- Facilidad de construcción, no es necesaria una mano de obra muy especializada.
- No es necesaria maquinaria de construcción especial.
- Es una solución más económica que las zapatas cuando la superficie de estas supera el 50% de la superficie de la planta.
- No requiere un gran consumo de materiales de construcción.
- Requiere menor tiempo de ejecución que la cimentación por pilotes.

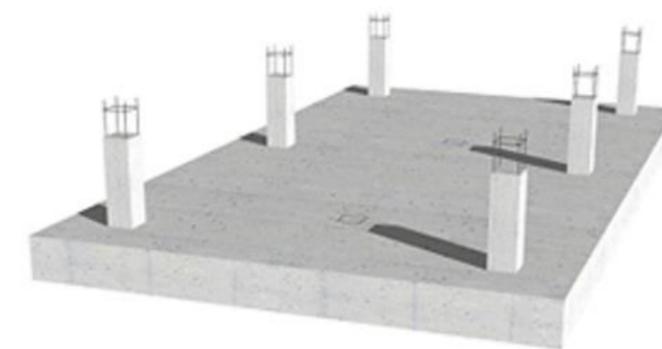


Figura 23. Losa de cimentación. Fuente: <http://www.diav.net/>

## 8. Definición geotécnica de la solución elegida

A continuación, se definirá geotécnicamente la solución de cimentación que se ha escogido como óptima para el presente estudio.

Como se ha considerado que la cota de cimentación tendrá 4 metros de profundidad, en primer lugar se va a definir geotécnicamente la cimentación en la Unidad Geotécnica UG-1: Arenas y limos, y en segundo lugar, en la Unidad Geotécnica UG-2: Arcillas.

La carga de hundimiento o carga admisible ( $Q_{adm}$ ) de una cimentación es la carga aplicada a partir de la cual las tensiones en el terreno sobrepasan la capacidad portante del mismo, produciéndose un fallo en el asentamiento o estabilidad de la cimentación que eventualmente puede causar el colapso total o parcial de la estructura. Dependiendo de la rigidez del terreno, este hundimiento será lento o rápido, localizado o distribuido, etc.

A continuación se calculará la carga admisible tanto para la UG-1 como para la UG-2, y aquella que presente el valor menor de carga, será la que se tomará como valor representativo, quedándonos así del lado más conservador.

### Unidad Geotécnica UG-1: Arenas y limos

De este modo y como se ha visto en el apartado 7.5. *Desglose de cada alternativa*, la carga admisible ( $Q_{adm}$ ) de una cimentación superficial mediante losa en un suelo granular (UG-1) y suponiendo un asiento máximo ( $s_{m\acute{a}x}$ ) de 2,5 cm, se puede calcular, de acuerdo con Bowles (1996), como:

$$Q_{adm,UG1} = \frac{N_{55}}{8} \cdot \left( 1 + 0,33 \cdot \frac{D}{B} \right) \cdot 10$$

Donde:

- $Q_{adm}$  = Carga admisible (kPa)
- $N_{55}$  = Valor del golpe del SPT corregido al 55%
- $B$  = Ancho de la losa (m)
- $D$  = Empotramiento de la losa en el terreno (m)

Puesto que a un valor de golpe SPT  $N_{30} = 65$  le corresponde un valor  $N_{55} = 35$ , el cual es el 55% del valor de  $N_{30}$ , entrando en la expresión anterior con un empotramiento estimado de  $D = 1$  m y un ancho de losa de  $B = 32$  m, se puede estimar una **carga admisible (seguridad frente al hundimiento) de  $Q_{adm,UG1} = 44$  kPa.**

Por lo tanto, se justifica que con una carga de hasta 44 kPa, el terreno no asentará más de 2,5 centímetros (1 pulgada).

### Unidad Geotécnica UG-2: Arcillas

Como se sabe, la resistencia de la arcilla varía en función de si se permite o no el drenaje del agua intersticial, es decir, según si el proceso de carga es rápido (velocidad habitual para la construcción de edificios) o lento.

En los casos en los que el proceso de carga es rápido, como es nuestro caso, se toman como habituales los siguiente parámetros de resistencia:

$$c_u = \frac{qu}{2} \text{ y } \phi = 0$$

con lo cual la fórmula general queda:

$$Q_h = c_u \cdot N_c + Q$$

Como se puede observar en la anterior formulación, la presión de hundimiento es independiente de las dimensiones de la cimentación.

En terrenos homogéneos, resulta muy interesante sustituir la anterior expresión por la siguiente:

$$Q_h = c_u \cdot N_c^*$$

En la que se tiene en cuenta la resistencia del terreno arcilloso situado por encima del nivel de cimentación mediante un factor de capacidad portante modificado ( $N_c^*$ ), en función de la profundidad de cimentación. En la Figura 24 se dan los valores de  $N_c^*$  propuestos por Skempton (1951):

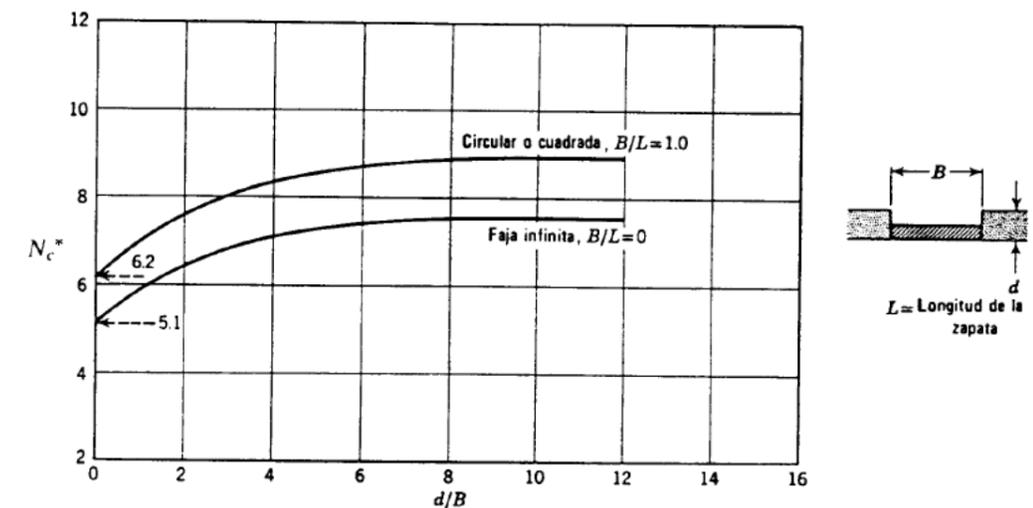


Figura 24. Factores de capacidad de carga para zapatas en arcilla (según Skempton, 1951)



Por lo tanto, y considerando que la losa se aproxima a una geometría cuadrada, se toma como valor del factor de capacidad portante modificado  $N_c^* = 6,2$ . Por otro lado, y atendiendo a los valores de la Tabla 24, se toma como valor de la resistencia a corte sin drenaje  $c_u = 50$  kPa.

Así, la presión que ejercerá la cimentación al terreno será:

$$Q_h = c_u \cdot N_c^* = 50 \cdot 6,2 = 310 \text{ kPa}$$

y, por consiguiente, en términos de presión de hundimiento y considerando un factor de seguridad de  $F=3$ , el valor de la carga admisible para la Unidad geotécnica UG-2, será:

$$Q_{adm,UG2} = \frac{Q_h}{F} = \frac{310}{3} = 103,3 \text{ kPa}$$

De este modo, y comparando los dos valores obtenidos de carga admisible ( $Q_{adm}$ ), se puede observar que el valor menor de esta carga se ha obtenido en la Unidad Geotécnica UG-1, 44 kPa, frente a los 103 kPa para la Unidad geotécnica UG-2. Por lo tanto, y para estar así del lado de la seguridad, se decide tomar como **valor representativo de la carga admisible del terreno**  $Q_{adm} = 44$  kPa.

Sin embargo, previamente a la ejecución de la losa, se va a proceder a excavar toda la superficie del edificio a cimentar, y es aquí donde aparece el término de cimentación compensada.

La **cimentación compensada** es aquella en la que se busca reducir el incremento de carga aplicado al suelo por el edificio o estructura a cimentar mediante la excavación del suelo, tal que el peso del suelo removido sea equivalente al peso de una parte sustancial de la cimentación a ejecutar o incluso de toda ella.

De este modo, sabiendo la profundidad de cimentación y la densidad del terreno donde se va a cimentar, podremos saber la carga que soporta el terreno a dicha profundidad, solamente teniendo en cuenta el peso del suelo que se vaya a excavar.

En nuestro caso, al tener la Unidad Geotécnica UG-0 una densidad de  $20 \text{ kN/m}^3$  (ver Tabla 24) y al considerarse una profundidad de cimentación de 4 metros, el terreno, a dicha profundidad, soportará una carga de  $80 \text{ kN/m}^2$  ( $8 \text{ T/m}^2$ ).

Es importante tener en cuenta que esta carga se debe únicamente al peso del terreno que está por encima de la base de cimentación. Es decir, el terreno, antes de recibir ninguna carga de cimentación, ya soporta, por estar a dicha profundidad,  $80 \text{ kPa}$  sin generar ningún tipo de asiento.

Por tanto, la **presión admisible total** ( $Q_{adm,total}$ ), será:

$$Q_{adm,total} = Q_{adm,UG1} + Q_{terreno} = 44 + 80 = 124 \text{ kPa}$$

Por otro lado y como se ha visto con anterioridad, para el diseño estructural de la losa es necesario definir el coeficiente de balasto ( $k_{30}$ ), el cual se puede estimar en base a la correlación dada a continuación por la NAVFAC (1971):

$$k_{30} = 0,25 \cdot N_{30}$$

Donde:

$$\begin{aligned} k_{30} &= \text{Coeficiente de balasto (kg/cm}^3\text{)} \\ N_{30} &= \text{Valor del golpe del SPT} \end{aligned}$$

Considerando un valor de golpeo SPT  $N_{30} = 65$ , se tiene un **coeficiente de balasto**  $k_{30} = 16,25 \text{ kg/cm}^3 = 0,163 \text{ N/mm}^3$ .

El valor obtenido se encuentra dentro del rango de valores propuesto por Calavera (1987) para arenas limosas y arenas arcillosas que normalmente se encuentra entre  $0,11$  y  $0,20 \text{ N/mm}^3$ .

## 9. Excavaciones

Dado que se desconoce la magnitud de las excavaciones a realizar se dan a modo orientativo los coeficientes de empuje a considerar en el caso de que se ejecuten muros de gravedad o muros pantalla.

Es importante indicar que para el futuro proyecto de excavación deberá realizarse un estudio específico de estabilidad de taludes.

Para el cálculo del empuje de tierras, se podrán adoptar los valores del coeficiente de empuje activo y pasivo calculados según el método de Rankine:

$$k_a = \frac{1 - \sin \phi'}{1 + \sin \phi'} ; \quad k_p = \frac{1 + \sin \phi'}{1 - \sin \phi'}$$

Donde:

$$\begin{aligned} k_a &= \text{Coeficiente de empuje activo} \\ k_p &= \text{Coeficiente de empuje pasivo} \\ \phi' &= \text{Ángulo de rozamiento interno efectivo} \end{aligned}$$

Para considerar el empuje al reposo podrá emplearse la siguiente expresión (Rodríguez Ortiz et al., 1989):

$$k_0 = 1 - \sin \phi'$$



La Tabla 31 resume los valores representativos de los coeficientes de empuje activo, pasivo y al reposo, tomando como valores del ángulo de rozamiento interno efectivo para las unidades geotécnicas UG-0, UG-1 y UG-2:  $\phi'$ : 20°,  $\phi'$ : 40° y  $\phi'$ : 16°, respectivamente.

Unidad geotécnica	Coefficiente de empuje activo ( $K_a$ )	Coefficiente de empuje pasivo ( $K_p$ )	Coefficiente de empuje al reposo ( $K_0$ )
UG-0	0,49	2,04	0,66
UG-1	0,22	4,60	0,38
UG-2	0,57	1,76	0,72

Tabla 31. Valores representativos de los coeficiente de empuje activo, pasivo y al reposo.

## 10. Valoración económica

La valoración económica del presente estudio viene recogida en el ANEXO VII: Valoración económica.

El coste aproximado de las obras según las estimaciones realizadas en relación a costes de desbroce y limpieza del terreno, excavación a cielo abierto con medios mecánicos, el coste de  $m^3$  de losa de cimentación y el coste del sistema de encofrado para la losa, es de **888.299,10 €**.

A continuación se recoge, en la siguiente tabla, el coste total aproximado de las obras:

	Coste unitario	$m^2$ de desbroce	Coste
Desbroce y limpieza del terreno	1,00 €/m <sup>2</sup>	3.888	3.888 €
	Coste unitario	$m^3$ de terreno excavado	Coste
Excavación a cielo abierto con medios mecánicos	4,30 €/m <sup>3</sup>	30.500	131.150 €
	Coste unitario	$m^3$ de losa de cimentación	Coste
Losa de cimentación	176,06 €/m <sup>3</sup>	3.888	684.521,30 €
	Coste unitario	$m^2$ de encofrado	Coste
Sistema de encofrado para losa	17,68 €/m <sup>2</sup>	3.888	68.739,80 €
<b>COSTE TOTAL ESTIMADO DE LA OBRA</b>			<b>888.299,10 €</b>

Tabla 32. Valoración económica estimada de la obra

## 11. Conclusiones

El emplazamiento donde se ha realizado la campaña geotécnica para el proyecto de construcción del complejo residencial Santa Mónica está localizado en el municipio de Cali, Departamento del Valle del Cauca, y presenta un área aproximada de 1.555,55  $m^2$  y se localiza entre la Avenida 9a Norte y la Calle 22 Norte. Sobre el emplazamiento reconocido está prevista la ejecución de 3.888  $m^2$  construidos de un edificio de viviendas de 8 plantas de altura con una planta inferior excavada para incluir un garaje subterráneo. El emplazamiento exhibe una topografía con una diferencia de cotas de hasta 14 m entre la cota máxima y mínima.

Se han realizado un total de 4 sondeos, tres de 15,0 m de profundidad y uno de 15,5 m de profundidad, con sus correspondientes ensayos de campo y laboratorio. A partir de los resultados de estos reconocimientos, se ha estudiado el subsuelo y las características geotécnicas de este. Además, también se han estudiado las condiciones de cimentación y las características sísmicas, así como otros aspectos práctico-constructivos relacionados con el terreno.

En base al trabajo realizado, se pueden hacer las siguientes observaciones:

- Estratigrafía.** En base a los materiales observados en cada sondeo y a partir de los ensayos realizados, se reconoce un **terreno constituido fundamentalmente por tres unidades geotécnicas (UG)**:
  - La **Unidad Geotécnica UG-0** está formada por **suelo vegetal y depósitos antrópicos**, con una potencia de entre 3,00 m y 4,00 m aproximadamente.
  - La **Unidad Geotécnica UG-1** la forman unas **arenas limosas y limos arenosos** de color pardo rojizo a naranja con algunas intercalaciones de arcillas de color pardo rojizo, y presenta una potencia de entre 4,70 m y 11,00 m.
  - La **Unidad Geotécnica UG-2** está constituida por **arcillas** procedentes de la meteorización de rocas volcánicas, de color rojizo con algunas intercalaciones grisáceas, y arcillas de color grisáceo con intercalaciones rojizas y amarillentas, y se localiza por debajo de las unidades anteriormente citadas.
- Nivel freático.** No se detectó nivel de agua en ninguno de los 4 sondeos realizados (alcanzándose una profundidad máxima de 15,5 m) por lo que se puede considerar que **se encontrará a una profundidad mayor a la alcanzada por los sondeos**.
- Agresividad del suelo.** Para determinar la agresividad del suelo frente al hormigón se han analizado 2 muestras de suelo. El resultado obtenido en el **contenido en sulfatos ha sido inferior al 0,1%** por lo que se considera que **estos suelos no presentan una severidad aplicable y no dañan al hormigón de la estructura**. De este modo, no se requieren condiciones específicas de relación agua/cemento o de resistencia del hormigón.



d) **Parámetros geotécnicos.** Se ha considerado oportuno tomar como representativos del terreno los siguientes valores:

UG	Potencia (m)	Clasificación USCS	w (%)	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{op}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c_u$ (kPa)	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	E (MPa)	$\nu$ (-)
UG-0	3,0 - 4,0	-	23	16,5	20,0	-	10,0	20,0	10,0	0.3
UG-1	4,7 - 11,0	SC; SM; CL	20	17,0	21,0	-	0,0	40,0	60,0	0.3
UG-2	11,0 - x	MH; CH	30,0	13,0	17,0	50,0	10,0	16,0	11,0	0.3

Tabla 33. Valores representativos de los parámetros geotécnicos

e) **Sismicidad.** La zona de estudio se localiza en una zona de **Amenaza sísmica alta**. De acuerdo con la microzonificación sísmica de Cali, **la zona objeto del presente informe se localiza en un área definida parcialmente como "Suelo coluvial" y como "Zona 1. Cerros"**, la cual no es susceptible a la licuación ni al corrimiento lateral. No obstante, dado que en los sondeos geotécnicos realizados se ha localizado niveles de arcilla que presentan una resistencia al corte no drenado menor de 50 kPa, un contenido de agua mayor del 40% y un índice de plasticidad mayor de 20 en profundidades menores a 30 m y con espesores mayores a 3 m, **se opta por clasificar el suelo como tipo E**.

Así pues, considerando las premisas de cálculo correspondientes a la zona de proyecto anteriores, se tienen los siguientes valores:

- Aceleración pico efectiva,  $A_a = 0,25$
- Velocidad pico efectiva,  $A_v = 0,25$
- Factor de amplificación para periodos cortos de tiempo,  $F_a = 1,7$
- Factor de amplificación para periodos intermedios de tiempo,  $F_v = 3,2$
- Coeficiente de importancia,  $I = 1,0$

Obteniéndose los siguientes resultados relativos a la **aceleración máxima y el espectro elástico de respuesta**, de acuerdo con la norma NSR-10:

- Aceleración máxima horizontal  $a_{max} = 0,42g$  m/s<sup>2</sup>.
- Para  $T_0 = 0,18$  se obtiene una aceleración horizontal de diseño de  $S_a = 1,063$ .
- Para  $T_c = 0,90$  se obtiene una aceleración horizontal de diseño de  $S_a = 1,063$ .
- Para  $T_L = 7,68$  se obtiene una aceleración horizontal de diseño de  $S_a = 0,125$ .
- El **valor máximo de la aceleración ( $S_{a,max}$ ) es de 1,063 m/s<sup>2</sup>/g**, por lo que se deberán incluir las acciones sísmicas en el diseño estructural de la cimentación a ejecutar.

f) **Tipología de la cimentación.** De acuerdo con los datos disponibles, se desconoce la cota de excavación del garaje subterráneo a ejecutar, por lo que se desconoce la unidad geotécnica existente a cota de excavación. Consecuentemente, como se desconoce el terreno sobre el que se va a cimentar, se proponen diferentes tipologías de cimentación posibles, a concretar una vez conocida la cota de excavación:

- Se ha supuesto una carga a transmitir por cada pilar a la cimentación de 1600 kN (8 plantas más un sótano, 1 T/m<sup>2</sup> por cada forjado, distancia de 4 metros entre crujías).
- Según las cargas supuestas, en la Unidad Geotécnica UG-1, es posible cimentar los pilares del edificio mediante zapatas cuadradas de menos de 2 m de ancho.
- Según las cargas supuestas, en la Unidad Geotécnica UG-2 no es posible cimentar los pilares del edificio mediante zapatas, pues se tendrían unos asientos no admisibles, superiores al asiento máximo de 2,5 cm (1 pulgada).
- Se plantea la posibilidad de cimentación mediante losa sobre el terreno natural.
- Se han dado las formulaciones necesarias para el cálculo de pilotes en los diversos terrenos atravesados.

De este modo, al no conocer el terreno sobre el que se va a cimentar, se considera que **la cota de cimentación se realizará a 4 metros de profundidad** para la construcción del garaje subterráneo y que, por lo tanto, la cimentación apoyará sobre la Unidad Geotécnica UG-1: Arenas y limos, y sobre la Unidad Geotécnica UG-2: Arcillas

Así, como solución óptima, se decide cimentar los pilares del edificio mediante la **Alternativa 3: Losa de cimentación**. Esta losa tendrá un canto de 1 metro y un ancho equivalente al del ancho del edificio a construir, es decir, de 32 metros. Por otro lado, el valor total de la carga admisible del terreno (seguridad frente al hundimiento), será de  $Q_{adm, total} = 124$  kPa, teniendo en cuenta el peso del suelo excavado previamente.

g) **Expansividad y colapso.** Se ha detectado la **presencia de suelos expansivos**, en especial los relacionados con la Unidad Geotécnica UG-2: Arcillas. Respecto a la colpasabilidad, como se puede observar en las Tablas 18 y 23, **no hay indicios de que los materiales presenten potencial de colapso**. No obstante, dada la posibilidad de encontrar algún material del suelo potencialmente colapsable, se deberán tomar algunas precauciones para mitigar los posibles efectos adversos que esto pueda ocasionar a la estructura.

h) **Excavaciones.** Dado que se desconoce la magnitud de las excavaciones a realizar se dan a modo orientativo los coeficientes de empuje a considerar en el caso de que se ejecuten muros de gravedad o muros pantalla. Es importante indicar que **para el futuro proyecto de excavación deberá realizarse un estudio específico de estabilidad de taludes**.

Para el **cálculo del empuje de tierras**, se podrán adoptar los valores del coeficiente de empuje activo ( $K_a$ ), empuje pasivo ( $K_p$ ) y al reposo ( $K_0$ ) representados en la Tabla 31.



## 12. Referencias

- i) **Valoración económica.** El coste aproximado de las obras según las estimaciones realizadas en relación a costes de desbroce y limpieza del terreno, excavación a cielo abierto con medios mecánicos, el coste de m<sup>3</sup> de losa de cimentación y del sistema de encofrado para dicha losa es de **888.299,10 €**.

Por último, y **relacionado con la finalidad del presente Trabajo Final de Grado**, cabe destacar el uso de una gran parte de conocimientos que se han ido adquiriendo durante el Grado en Ingeniería Civil, más específicamente aquellos relacionados con las ramas de la Geotécnica y la Geología.

Las conclusiones que se han conseguido tras haber desarrollado este trabajo son:

- 1) En primer lugar, se han adquirido los conocimientos de ingeniería geotécnica relacionados con el correcto dimensionamiento de cimentaciones para resistir el hundimiento y evitar la generación de asentamientos diferenciales excesivos o no admisibles.
- 2) Se ha aprendido a interpretar datos de laboratorio obtenidos de los boletines de ensayos y a aplicar correlaciones empíricas muy utilizadas en la vida profesional para la obtención de distintos parámetros geotécnicos.
- 3) Se ha consultado y aprendido a interpretar distintos mapas, como el de micro-zonificación sísmica de Cali o el de susceptibilidad de movimientos en masa.
- 4) Se ha estimado el asiento y las cargas admisibles de las distintas alternativas de cimentación propuestas.
- 5) Se han conocido tanto los trabajos de campo como los trabajos de laboratorio que son más habituales en la vida profesional para caracterizar el suelo donde se va a ejecutar la cimentación.
- 6) Se han realizado planos de ejecución para la cimentación propuesta.
- 7) Por último, se ha aprendido a realizar una valoración económica del coste de una cimentación, compuesta por hormigón armado, barras corrugadas de acero, hormigón de limpieza y encofrados.

1. Joan Franch; Javier Torrijo (2013). Descriptores geotécnicos: plasticidad, límites de Atterberg y consistencia. Estudios geotécnicos. Disponible en: <http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/descriptores-geotecnicos-5-plasticidad-limites-de-atterberg-y-consistencia/>
2. Ministerio de Fomento (2008) CTE-SE-C-Seguridad estructural Cimientos, Boletín Oficial del Estado.
3. INGEOMINAS (2005). Estudio de microzonificación sísmica de Santiago de Cali. Disponible en: <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/19833/MicrozonificacionSismicaCali%28Ingeominas%2005%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
4. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). NSR-10. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
5. Javier Torrijo (2019). Obtención de parámetros geotécnicos para su aplicación en Mecánica de suelos. Disponible en: [https://poliformat.upv.es/access/content/group/GRA\\_12834\\_2019/BLOQUE%20IV%3A%20TÉCNICAS%20DE%20RECONOCIMIENTO/Obtención%20parámetros.pdf](https://poliformat.upv.es/access/content/group/GRA_12834_2019/BLOQUE%20IV%3A%20TÉCNICAS%20DE%20RECONOCIMIENTO/Obtención%20parámetros.pdf)
6. Diseño geotécnico de cimentaciones y de muros de contención. Unidad 2. Cimentaciones directas: Losas de cimentación. [https://poliformat.upv.es/access/content/group/GRA\\_12864\\_2019/05%20Losas%2017.pdf](https://poliformat.upv.es/access/content/group/GRA_12864_2019/05%20Losas%2017.pdf)
7. Yepes, V. (2016). Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención. Colección Manual de Referencia. Editorial Universitat Politècnica de València, 202 pp. Ref. 328.
8. Geotécnica y cimientos. Bloque III: Geotecnología. Capítulo 10: Cimentaciones. Apuntes de la Universitat Politècnica de València, Valencia, España.
9. Regalado, F.; Farré, B.; Castell, V. (2004). Biblioteca de Detalles constructivos, metálicos, de hormigón y mixtos. 4ª edición. Disponible en: <http://detallesconstructivos.cype.es>
10. Torrijo, F.J. & Garzón-Roca, J. (2018). Shallow and deep foundations in geotechnical engineering. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València.
11. Bowles, J. E. (1996). Foundation analysis and design. Singapore: McGraw-Hill.
12. Calavera, J. (1987). Muros de contención y muros de sótano. Madrid: INTEMAC.
13. González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. & Oteo, C. (2002). Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson Education.
14. Giuliani, F. & Nicoll, F.L. (1982). New analytical correlations between SPT, overburden pressure and relative density. 2nd European Symposium on Penetration Testing (ESOPT), Amsterdam.



### 13. Anexos

A continuación, se recogen los anexos correspondientes al presente estudio de soluciones:

15. Muromachi, T. (1974). Experimental Study on Application of Static Cone Penetrometer to Subsurface Investigation of Weak Cohesive Soils. 1st European Symposium on Penetration Testing (ESOPT), Stockholm.
16. Rodríguez Ortíz, J.M., Serra Gesta, J. & Oteo, C. (1989). Curso Aplicado de Cimentaciones. Madrid: Servicio de Publicaciones del Colegio de Arquitectos de Madrid.
17. Ruitter, J. (1988). Penetration testing 1988. 1st International Symposium on Penetration Testing (ISOPT), Orlando.
18. Sánchez-Alciturri, J.M., Palma, J., Sagasetta, C. & Cañizal, J. (1993). Mechanical properties of wastes in sanitary landfill. Proceedings of the Green'93 Symposium, Geotechnics related to the environment, Bolton, UK.
19. Wrench, B.P. & Nowatzki, E.A. (1986). A Relationship between Deformation Modulus and SPT-N for Gravels. Proceedings of the ASCE Special Conference on In-situ Test. Blacksburg, Virginia.
20. Begeman, H. (1974). General report for central and western Europe. 1st European Symposium on Penetration Testing (ESOPT), Stockholm.
21. Kishida, H. (1969). Characteristics of liquefied sands during Mino-Owari, Tohnankai and Fukui earthquakes. Soils Foundations, 9 (1), 75-92.
22. Schmertmann, J.H. (1977). Guidelines for CPT Performance and Design. Publication nº FHWA-TS-78-209. Washington D.C.: Federal Highway Administration.

- **ANEXO I:** SITUACIÓN DE LOS RECONOCIMIENTOS REALIZADOS
- **ANEXO II:** COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS Y FOTOGRAFÍAS DE LOS SONDEOS REALIZADOS
- **ANEXO III:** BOLETINES DE ENSAYOS DE LABORATORIO
- **ANEXO IV:** PERFIL GEOTÉCNICO DEL TERRENO
- **ANEXO V:** MAPAS UTILIZADOS
- **ANEXO VI:** PLANOS DE CIMENTACIÓN PROPUESTA
- **ANEXO VII:** VALORACIÓN ECONÓMICA

Valencia, septiembre de 2020.

Fdo:

Joan Josep Sillero Cortijo



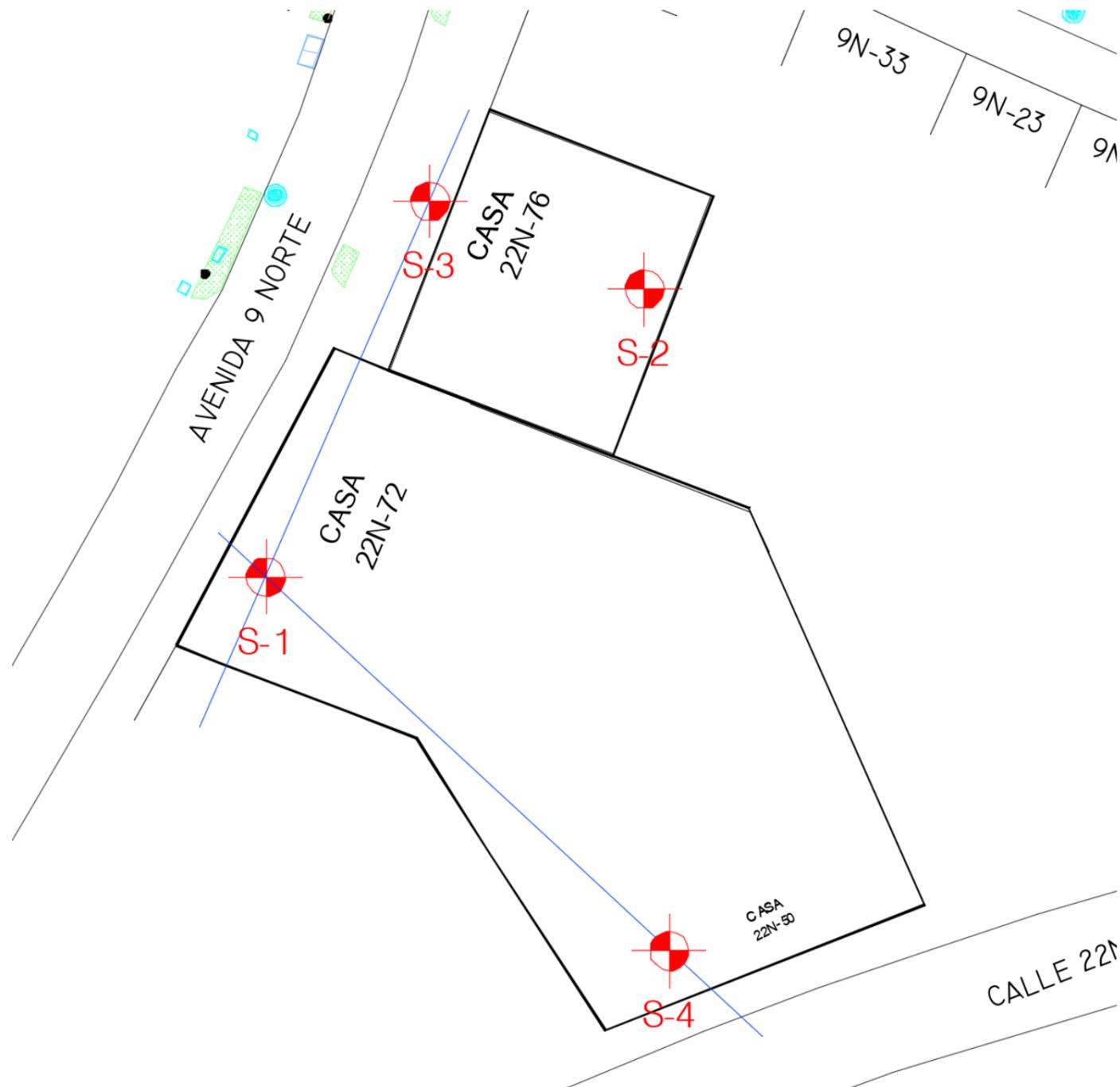
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

*Estudio de soluciones para la cimentación de un edificio de viviendas de uso residencial en Cali, Colombia*



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

## ANEXO I: SITUACIÓN DE LOS RECONOCIMIENTOS REALIZADOS



Leyenda:

 S-3    Sondeo mecánico a rotación



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

*Estudio de soluciones para la cimentación de un edificio de viviendas de uso residencial en Cali, Colombia*



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

## ANEXO II: COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS Y FOTOGRAFÍAS DE LOS SONDEOS REALIZADOS



## Columna estratigráfica Sondeo N° 1

LITOLOGÍA	NATURALEZA DEL TERRENO
	<p align="center"><b>0,00 - 2,90 m. Deposito Antropico</b></p> <p>De 0,00 a 2,90 m. Deposito Antropico. Material heterogeneo compuesto por un limo arenoso con presencia de materia organica y material antropico, y fragmentos de roca de otras fuentes, angular y subangular de hasta 2 cm, en una proporcion &lt; 20%. Presenta humedad baja, compacidad suelta a muy suelta y plasticidad baja.</p>
	<p align="center"><b>2,90 - 14,00 m. Deposito Coluvial.</b></p> <p>De 2,90 a 5,20 m. Arena limosa con algo de arcilla de color pardo rojizo, con gravas de hasta 5 mm, en una proporcion &lt; 15%, con estructura desordenada, producto de la removilizacion de horizontes residuales y saproliticos de la Fm Volcanica y la Fm Guanchinte, que conforman las zonas mas elevadas de la ladera, cerca a la zona de estudio. Posee humedad media, compacidad densa y plasticidad baja</p> <p>De 5,20 a 7,80 m. Se presenta una arcilla limosa con algo de arena de color pardo rojizo, con estructura desordenada. Presenta humedad media, consistencia moderadamente firme y plasticidad media.</p> <p>De 7,80 a 9,10 m. Se presenta un limo con algo de arena e indicios de arcilla de color pardo rojizo, correspondiente a removilizacion de material de la parte alta y media de la ladera. Posee humedad media a baja, compacidad medianamente densa a densa y plasticidad baja.</p> <p>De 9,10 a 10,50 m. Arena limosa con indicios de arcilla, de color pardo rojizo, con estructura desordenada. Presenta humedad de media a baja, compacidad medianamente densa a densa y baja plasticidad.</p> <p>De 10,50 a 12,00 m. Arcilla de color gris con intercalaciones rojizas, con gravas</p>



## Columna estratigráfica sondeo N° 1 (continuación)

LITOLOGÍA	NATURALEZA DEL TERRENO
	de arenisca y limolita de tonos claros, subangulares de 2 - 4 cm de tamaño, y algunas gravas redondeadas < 3 mm, matriz soportado en una relación 35/65. Humedad baja, consistencia firme a muy firme, plasticidad alta.
	de 12,00 a 13,00 m. Limo arcilloso de color rojizo a pardo café, presenta humedad media, consistencia moderadamente firme y plasticidad media a alta.
	De 13,00 a 14,00m. Arena limosa de color pardo naranja con estructura desordenada. Presenta humedad baja, compacidad densa a muy densa y plasticidad baja.
	<b>14,00 - 15,00 Saprolito Fm Volcanica</b>
	Arcilla de color gris con intercalaciones rojizas, con estructura ordenada, correspondiente al perfil de meteorización de una roca volcánica tipo diabasa. Presenta humedad baja, consistencia de muy firme a dura y alta plasticidad.

## FOTOGRAFÍAS CAJAS SONDEO N° 1

CAJA N°1. Profundidad: 0,00-3,00 m



CAJA N°2. Profundidad: 3,00-7,80 m



CAJA N°3. Profundidad: 7,80-13,00 m



CAJA N°4. Profundidad: 13,00-15,00 m





## Columna estratigráfica Sondeo N° 2

LITOLÓGIA	NATURALEZA DEL TERRENO
	<p><b>0,00 - 3,50 m. Deposito Antropico</b></p> <p>De 0,00 a 3,50 m. Deposito Antropico. Material heterogeneo compuesto por gravas angulares al techo y por un limo algo arenoso de color pardo cafe con presencia de materia organica y material antropico,. Presenta humedad baja , compacidad suelta a muy suelta y plasticidad baja.</p>
	<p><b>3,50 - 15,00 m. Deposito Coluvial.</b></p> <p>De 3,50 a 5,50 m.limo algo arenoso de color pardo cafe con intercalaciones amarillentas, con gravas subangulares de hasta 1 cm, en una proporcion &lt; 15%, con estructura desordenada. Posee humedad baja, compacidad medianamente densa y plasticidad baja</p> <p>De 5,50 a 8,20 m. Se presenta una arena fina algo limosa de color pardo crema, matriz soportado, con bloques de arenisca de hasta 10 cm con bordes subangulares en una proporcion &lt;30%. Presenta humedad baja, compacidad densa a muy densa y plasticidad baja.</p> <p>De 8,200 a 9,00 m. Arcilla de color pardo rojizo y gris, con gravas de 3mm, matriz soportado en una relacion 15/85. Posee humedad media a baja, consistencia firme y plasticidad alta.</p> <p>De 9,00 a 10,00 m. Bloque de arenisca fina de color pardo crema con oxidacion y estartificacion marcada</p> <p>De 10,0 a 10,50 m. Arcilla con algo de limo, color pardo naranja. Humedad alta, consistencia blanda.</p> <p>de 10,5 a 11,0. Arena limosa pardo nadaranja, humedadmedia compacidad densa,sin plasticidad</p>

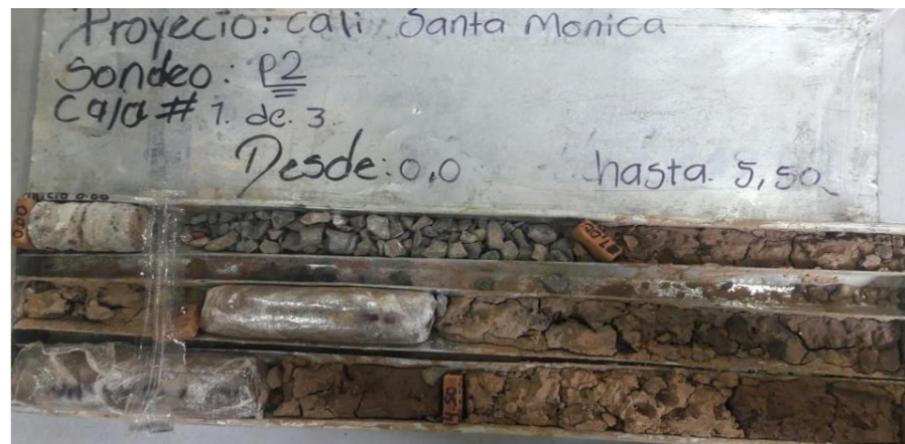


## Columna estratigráfica sondeo N° 2 (continuación)

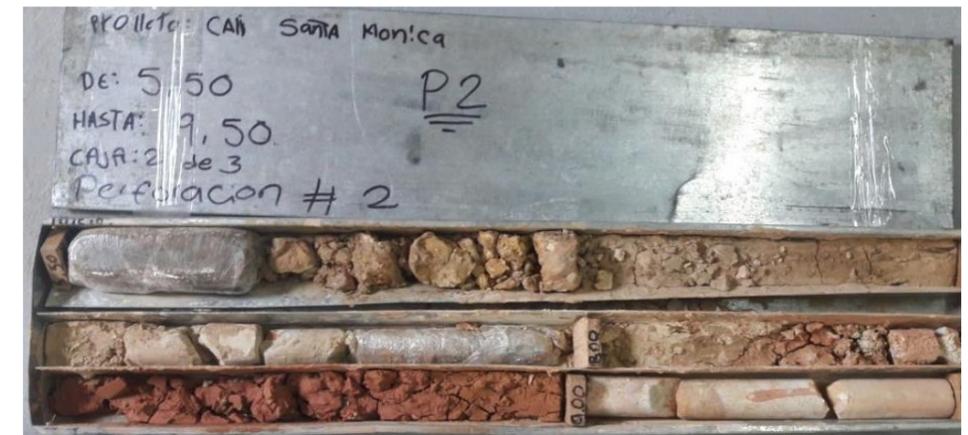
LITOLOGÍA	NATURALEZA DEL TERRENO
	De 11,00 a 12,00 m. Arcilla limosa pardo naranja, con fragmentos de arenisca de grano medio algo meteorizada, de tamaño > 6cm hacia el techo. Matriz soportado humedad media, consistencia moderadamente firme y plasticidad alta.
	de 12,00 a 15,00 m. Limo algo arenoso de color naranja a rojizo, con presencia de bloque de arenisca de color pardo crema > a 10 cm, matriz soportado en una relación 30/70. la matriz presenta humedad media a baja, compactación densa a muy densa y plasticidad baja

## FOTOGRAFÍAS CAJAS SONDEO Nº 2

CAJA Nº1. Profundidad: 0,00-5,50 m



CAJA Nº2. Profundidad: 5,50-9,50 m



CAJA Nº3. Profundidad: 9,50-15,00 m





## Columna estratigráfica Sondeo N° 3

LITOLOGÍA	NATURALEZA DEL TERRENO
	<p><b>0,00 - 4,00 m. Deposito Antropico</b></p> <p>De 0,00 a 4,00 m. Deposito Antropico. Material heterogeneo compuesto por capas de arena y limos con intercalaciones de arcilla hacia la base, de color pardo a pardo cafe con vetas amarillentas. Ademas presentan gravas angulares de tamaño &lt; 1 cm, en una proporcion &lt; 10%, ademas posee contenido de materia organica como hojas y raices. Presenta humedad baja a media hacia la base, consistencia blanda y plasticidad de baja a media hacia la base.</p>
	<p><b>4,00 - 8,70 m. Deposito Coluvial.</b></p> <p>De 4,00 a 6,50 m. Limo arcilloso de color pardo rojizo a naranja, con fragmentos subangulares de roca de grano fino de color gris claro y arenisca de color crema, de tamaño hasta 1,5 cm y con una proporcion &lt; 15%, posee estructura desordenada, contiene materia organica. Presenta Humedad media, consistencia blanda a moderadamente firme y alta plasticidad.</p> <p>De 6,50 a 8,70 m. Se presenta una arcilla de color parda rojiza, con estructura desordenada y fragmentos de arenisca de grano medio, subangular, en una proporcion &lt; 10%. Posee humedad alta, consistencia moderadamente firme, y plasticidad alta.</p>
	<p><b>8,70 - 15,00 m. Saprolito Fm Volcanica</b></p> <p>De 8,70 a 15,00 m. Se presenta una arcilla de color grisaceo con intercalaciones rojizas y amarillentas, con estructura ordenada y que corresponde al perfil de meteorizacion de una roca volcanica tipo diabasa que aflora hacia la zona montañoso en el costado occidental de el municipio de Cali. Dicho material presenta humedad baja, consistencia muy firme a dura y alta plasticidad.</p>

## FOTOGRAFÍAS CAJAS SONDEO Nº 3

CAJA Nº1. Profundidad: 0,00-5,50 m



CAJA Nº2. Profundidad: 5,50-13,00 m



CAJA Nº3. Profundidad: 13,00-15,00 m





## Columna estratigráfica Sondeo N° 4

LITOLÓGIA	NATURALEZA DEL TERRENO
	<b>0,00 - 4,00 m. Deposito Antropico</b>
	De 0,00 a 4,00 m. Deposito Antropico. Limo con algo de arcilla, de color pardo rojizo con trazas de materia organica, con gravas angulares de hasta 3 cm de tamaño en una proporcion < 5%, ademas presenta material antropico como adobe y concreto. Presenta humedad baja, consistencia blando a moderadamente firme y plasticidad media a baja.
	<b>4,00 - 15,00 m. Saprolito Formacion Volcanica.</b>
	De 4,00 a 8,00 m. Arcilla de color rojizo con algunas intercalaciones de grisaceas, que corresponde al perfil de meteorizacion de una roca ignea volcanica tipo diabasa que se ubica hacia los cerros occidentales de cali en la zona de estudio. Presenta Humedad baja, consistencia de muy firme a dura y alta plasticidad.
	De 8,00 a 11,00 m. Arcilla de color rojizo con algunas intercalaciones de grisaceas., Presenta Humedad de media a alta, consistencia de moderadamente firme a firme y alta plasticidad.



## Columna estratigráfica Sondeo N° 4 (continuación)

LITOLOGÍA	NATURALEZA DEL TERRENO
	De 11,00 a 14,50 m. Arcilla de color rojizo con algunas intercalaciones de grisáceas. Presenta Humedad de media a alta, consistencia de blanda a moderadamente firme y alta plasticidad.
	De 14,50 a 15,50 m. Se presenta una arcilla algo limosa de color pardo amarillenta con algunas trazas de color negro, que corresponde a un grado menor de meteorización de la roca volcánica con respecto al tramo anterior. Posee humedad baja, consistencia dura y plasticidad media a alta.

## FOTOGRAFÍAS CAJAS SONDEO Nº4

CAJA Nº1. Profundidad: 0,00-5,00 m



CAJA Nº2. Profundidad: 5,00-8,00 m



CAJA Nº3. Profundidad: 8,00-12,00 m



CAJA Nº4. Profundidad: 12,00-15,50 m





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

*Estudio de soluciones para la cimentación de un edificio de viviendas de uso residencial en Cali, Colombia*



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

## ANEXO III: BOLETINES DE ENSAYOS DE LABORATORIO



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

*Estudio de soluciones para la cimentación de un edificio de viviendas de uso residencial en Cali, Colombia*



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

## SONDEO Nº1

## RESUMEN DE ENSAYOS

1 / 1

SOLUM CONSTRUCCIONES SAS  
PROYECTO SANTA MONICA - CALI P1

CM0016-18-0005

MUESTRAS N°	MM18-0108	MM18-0109	MM18-0110	MM18-0111
Situación	P - 1	P - 1	P - 1	P - 1
Tipo de muestra	SPT	BOLSA	BOLSA	SPT
Profundidad (m)	3-3,3	6-6,3	10-11	14-15
Clasificación USCS	CL	SC	CL	MH
Clasificación AASHTO	A-6 (6)	A-2-6 (1)	A-6 (6)	A-7-5 (29)
Fracción mayoritaria	ARCILLA	ARENA	ARCILLA	LIMO
<b>HUMEDAD</b>				
Contenido de humedad, w (%)	14,4	16,4	9,9	26,3
<b>DENSIDAD</b>				
Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	2,114	2,200	1,988	1,879
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	1,848	1,890	1,809	1,488
<b>GRANULOMETRÍA TAMIZADO</b>				
Pasa # 19 mm, %	100,0	100,0	100,0	100,0
Pasa # 4,75 mm, %	94,3	89,2	93,7	100,0
Pasa # 2 mm, %	89,7	80,5	90,8	100,0
Pasa # 0,425 mm, %	80,2	54,0	83,5	100,0
Pasa # 0,075 mm, %	59,4	34,5	58,2	94,1
<b>LÍMITES DE ATTERBERG</b>				
Límite Líquido, LL (%)	31,9	30,4	32,0	55,6
Límite Plástico, LP (%)	17,2	17,5	18,1	30,5
Índice de Plasticidad, IP (%)	14,7	12,9	13,9	25,1
<b>COMPRESIÓN INCONFINADA SUELOS</b>				
Resistencia a compresión (kPa)	1463,89			
Deformación (%)	2,80			

Informe n°.: CM0016-18-0005  
Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 1 SPT / Prof.: 3-3,3 m

1 / 6

## APERTURA, DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS - INV E-102-13 / INV E-180-13 / INV E-181-13

Muestra referencia

MM18-0108

Código: CC-OL-RA-0001 Rv.00

### Datos generales

Peticionario  
Cliente  
Proyecto

SOLUM CONSTRUCCIONES SAS  
PROYECTO SANTA MONICA - CALI P1

### Datos de la muestra

Referencia cliente  
Situación

P - 1

Profundidad sup., m  
Profundidad inf., m  
Tipo de muestra  
Diámetro, cm  
Longitud, cm  
Fecha de toma  
Fecha de recepción

3  
3,3  
SPT  
3-4-18

### Datos de la apertura y preparación

Fecha de apertura  
Operador  
Medio de apertura  
Almacenamiento  
Entorno de ensayo

26-3-18  
VERONICA TERMAL  
MANUAL  
LABORATORIO  
LAB. GEOTECNIA

### Tipo de suelo

Clasificación USCS  
Litología grupo USCS  
Clasific. AASHTO

CL  
ARCILLA DE BAJA COMPRESIBILIDAD  
A-6 (6)

### Descripción de la muestra

Litología	Prof. m	Observaciones P- penetrómetro V- vane-test (kPa)
ARCILLA CON BASTANTE ARENA Y CON INDICIOS DE GRAVA. COLOR CAFÉ ROJIZO CON BEIGE.	3	
	3,3	

### ENSAYOS REALIZADOS

CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13  
DENSIDAD Y PESO UNITARIO. MÉTODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA - UNE 103301/94  
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13  
LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS - INV E-125-13 - INV E-126-13  
COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS - INV E-152-13

### OBSERVACIONES

Informe n°.: CM0016-18-0005  
Fecha edición: 05-04-18

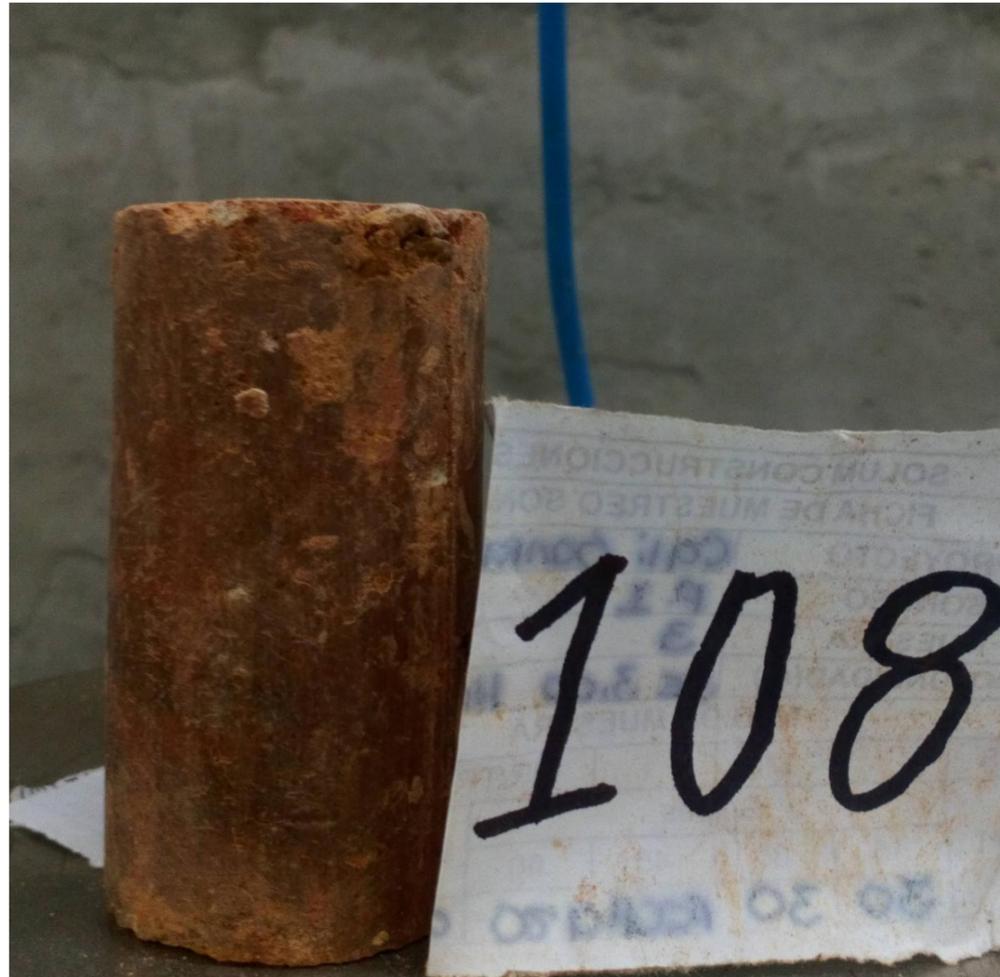
LOCALIZACIÓN: P - 1 SPT / Prof.: 3-3,3 m

2 / 6

Muestra referencia

**ANEXO FOTOGRÁFICO -**

**MM18-0108**



OBSERVACIONES:



Informe n°.: CM0016-18-0005  
 Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 1 SPT / Prof.: 3-3,3 m

3 / 6

**CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13**  
**DENSIDAD Y PESO UNITARIO. MÉTODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA - UNE 103301/94**

Referencia muestra

**MM18-0108**

**Equipos utilizados**

BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
 HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)

Temperatura de secado (°C) 110

**Datos del ensayo de humedad**

Tara (g)	36,87
Tara + suelo + agua (g)	96,79
Tara + suelo (g)	89,26
Agua (g)	7,53
Suelo (g)	52,39
Humedad, w (%)	14,4

Operador: VERONICA TERMAL  
 Fecha final ensayo: 27/03/2018

**Resultados**

Contenido de humedad, w (%)	<b>14,4</b>
-----------------------------	-------------

**Equipos utilizados**

BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
 HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)

(\*) Densidad de la parafina = 0,9 Tn/m<sup>3</sup>

**Datos del ensayo densidad**

Peso suelo (g)	44,92
Peso suelo+parafina (g)	46,74
Peso parafina (g)	1,82
Peso en agua (g)	23,47
Volumen parafina (cm <sup>3</sup> )	2,02
Volumen suelo+parafina (cm <sup>3</sup> )	23,27

Operador: YICELLY VALENCIA  
 Fecha final ensayo: 27/03/2017

Volumen suelo (cm <sup>3</sup> )	21,25
Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	2,114
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	1,848

**Resultados**

Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	<b>2,114</b>
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	<b>1,848</b>
Peso unitario aparente (kN/m <sup>3</sup> )	<b>20,73</b>
Peso unitario seco (kN/m <sup>3</sup> )	<b>18,12</b>

OBSERVACIONES



Informe n°.: CM0016-18-0005  
 Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 1 SPT / Prof.: 3-3,3 m

4 / 6

Referencia muestra

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13**

**MM18-0108**

**Equipos utilizados**

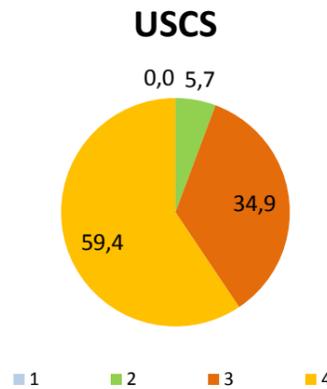
SERIE DE TAMICES PINZUAR  
 BALANZA RADWAG PS4500.R1  
 HORNO DE DESECACIÓN PROETI P0203

**Resultados**

N°	Abertura mm	Retenido tamices		Pasa muestra total		
		Parcial g	Total g	Total %	g	%
3/8"	9,5		3,32	2,7	120,80	97,3
1/4"	6,3		1,61	4,0	119,19	96,0
N°4	4,75		2,16	5,7	117,03	94,3
N°10	2		5,71	10,3	111,32	89,7
N°30	0,6		6,75	15,8	104,57	84,2
N°40	0,425		4,98	19,8	99,59	80,2
N°60	0,25		7,92	26,1	91,67	73,9
N°100	0,15		9,12	33,5	82,55	66,5
N°200	0,075		8,77	40,6	73,78	59,4

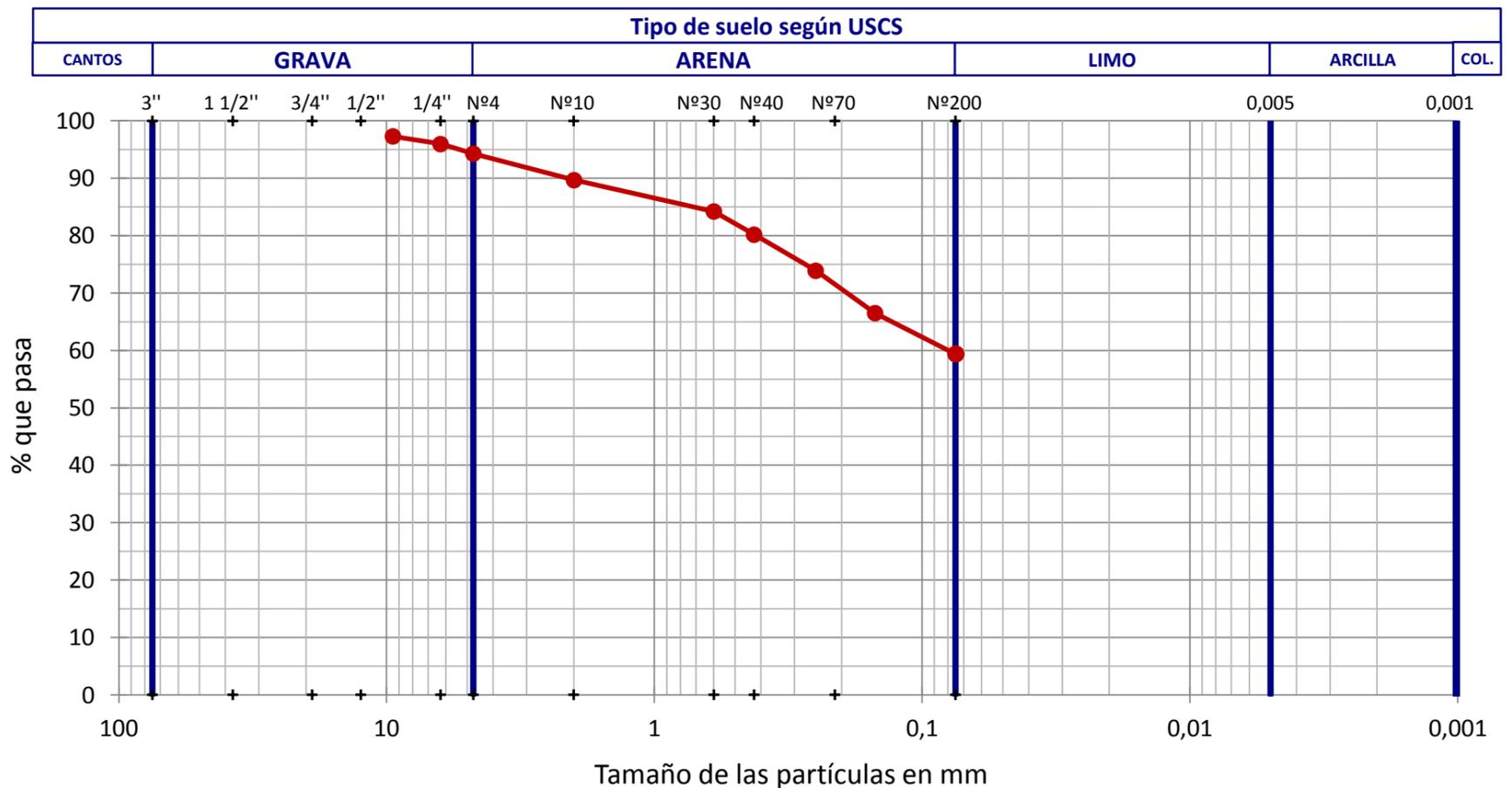
**Cálculos previos**

Temperatura de secado previo (°C)	110
Muestra total seca (g)	124,12
M.>19 mm (3/4"), total lav. y seca (g)	0,00
M.<19 mm (3/4"), seca ensay. (g)	124,12
M. 19-2 mm (3/4"-N°10), lavada y seca (g)	12,80
M. 19-2 mm (3/4"-N°10), total lav. y seca (g)	12,80
M.>2 mm (N°10), lavada y seca (g)	12,80
M.<2 mm (N°10), ensay. seca (g)	111,32
M.<2 mm (N°10), ensayada y seca (g)	111,32
M.<2 mm (N°10), total y seca (g)	111,32
Muestra total seca (g)	124,12
Humedad higrosc., % (fracción<2 mm, N°10)	0,0
Factor corr., f (fracción<2 mm, N°10)	1,0000



**Tipo de suelo según USCS**

% CANTOS > 75 mm	% GRAVA 75-4,75 mm	% ARENA 4,75-0,075 mm	% FINOS <0,075 mm
0,0	5,7	34,9	59,4
	% Grava gruesa 75-19 mm: 0,0	% Arena gruesa 4,75-2 mm: 4,6	
	% Grava fina 19-4,75 mm: 5,7	% Arena media 2-0,425 mm: 9,5	
		% Arena fina 0,425-0,075 mm: 20,8	



**OBSERVACIONES**



Informe n°:	CM0016-18-0005
Fecha edición:	05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 1 SPT / Prof.: 3-3,3 m

5 / 6

**LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS -**  
**INV E-125-13 - INV E-126-13**

Referencia muestra

**MM18-0108**

**Datos Límite Líquido**

Número de golpes	35	25	15		
Agua (g)	3,11	3,39	3,93		
Tara+Suelo+Agua (g)	27,30	27,11	30,85		
Tara+Suelo (g)	24,19	23,72	26,92		
Tara (g)	14,03	13,09	15,32		
Suelo (g)	10,16	10,63	11,60		
Humedad (%)	<b>30,6</b>	<b>31,9</b>	<b>33,9</b>		

**Equipos utilizados**

APARATO DE LÍMITE LIQUIDO MANUAL SDE EM-0251  
 BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
 HORNO INGTEST 5054 (CAL. 17-8-16)

**Condiciones de ensayo**

Temp. de secado previo (°C) **AL AIRE**

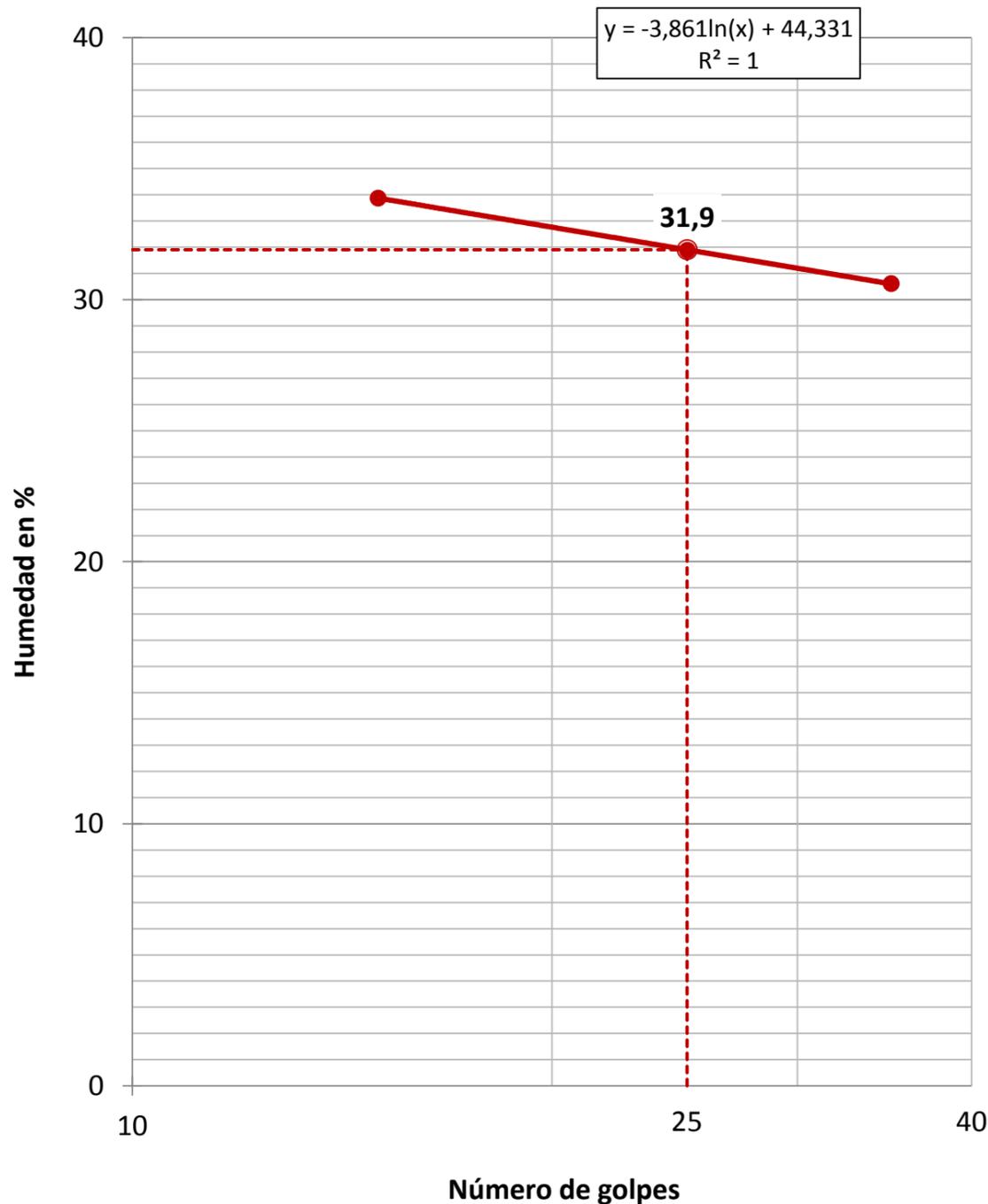
**Datos Límite Plástico**

Agua (g)	1,06	1,11			
Tara+Suelo+Agua (g)	21,71	22,08			
Tara+Suelo (g)	20,65	20,97			
Tara (g)	14,03	14,92			
Suelo (g)	6,62	6,05			
Humedad (%)	<b>16,0</b>	<b>18,3</b>			
Variación entre puntos (%)	6,9	6,7			

**Resultados**

**Límite Líquido, LL (%)** **31,9**  
**Límite Plástico, LP (%)** **17,2**  
**Índice de Plasticidad, IP (%)** **14,7**

Humedad Natural, w (%) **14,4**  
 Índice de Líquidez, IL **-0,2**  
 Índice de Consistencia, IC **1,2**



**OBSERVACIONES**

Informe n°.: CM0016-18-0005  
 Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 1 SPT / Prof.: 3-3,3 m

6 / 6

Referencia muestra

**COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS - INV E-152-13**

**MM18-0108**

**Equipos utilizados**

PRENSA PROETI S0358 UNITRONIC, 50 KN (CAL. 12-10-15)  
 BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
 HORNO INGTEST 5054 (CAL. 17-8-16)  
 EXTRACTOR DE MUESTRAS SDE MANUAL

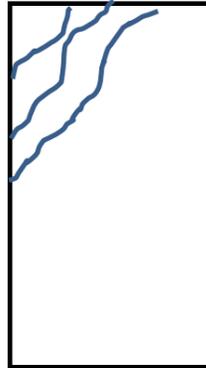
**Condiciones del suelo** **INALTERADO**

**Datos de la probeta ensayada**

Tallada a partir de bloque  
 Diámetro (cm) 3,554  
 Altura (cm) 7,138  
 Relación altura/diámetro 2,0  
 Sección (cm<sup>2</sup>) 9,92  
 Volumen (cm<sup>3</sup>) 70,81  
 Peso húmedo (g) 153,39  
 Densidad aparente (Tn/m<sup>3</sup>) 2,166  
 Densidad seca (Tn/m<sup>3</sup>) 1,900  
 Humedad inicial (%) 14,0  
 Humedad después rotura (%)  
 Grado de saturación (%) **93,99**

Nota: gravedad específica part. sól. estimada en 2.650

**Forma rotura**



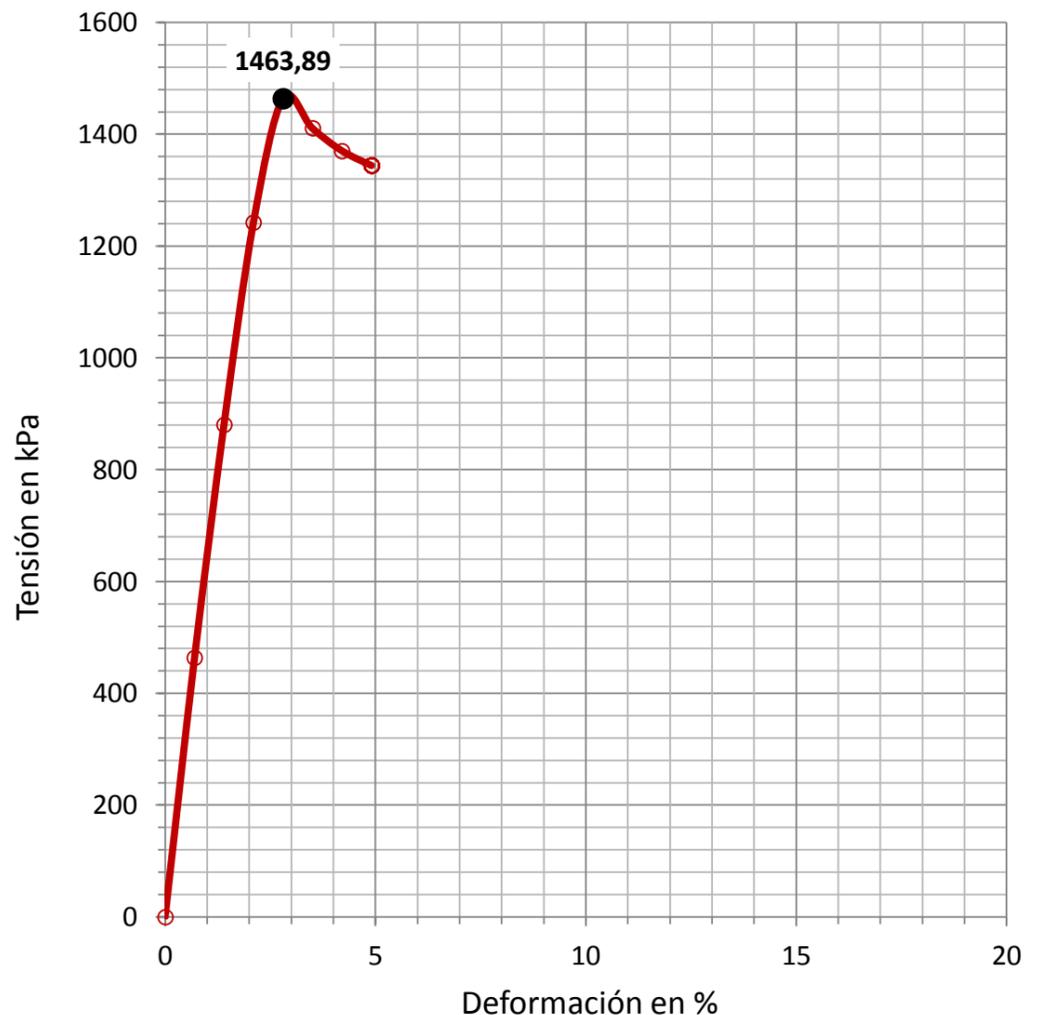
**Datos del proceso de rotura**

Velocidad de deformación (mm/min) 1,0  
 Velocidad de deformación (%/min) 1,4

Tiempo sg	Carga axial kN	Tensión correg. kp/cm <sup>2</sup>	Tensión correg. kPa	Deformación %	Deformación mm
0	0,0000	0,000	0,00	0,00	0,00
30	0,4630	4,726	463,48	0,70	0,50
60	0,8860	8,980	880,67	1,40	1,00
90	1,2590	12,670	1242,55	2,10	1,50
120	1,4940	14,927	1463,89	2,80	2,00
150	1,4500	14,383	1410,54	3,50	2,50
180	1,4190	13,973	1370,33	4,20	3,00
210	1,4020	13,705	1344,05	4,90	3,50

**Resultados**

**Resistencia a compresión inconfiada, qu (kPa) 1463,89**  
**Resistencia al corte, su (kPa) 731,95**  
**Deformación (%) 2,80**  
**Resistencia a compresión inconfiada, qu (kg/cm<sup>2</sup>) 14,927**  
**Resistencia al corte, su (kg/cm<sup>2</sup>) 7,463**



OBSERVACIONES

Informe n°.: CM0016-18-0005  
 Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 1 BOLSA / Prof.: 6-6,3 m

1 / 4

## APERTURA, DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS - INV E-102-13 / INV E-180-13 / INV E-181-13

Muestra referencia

MM18-0109

Código: CC-OL-RA-0001 Rv.00

### Datos generales

Peticionario  
 Cliente  
 Proyecto

SOLUM CONSTRUCCIONES SAS  
 PROYECTO SANTA MONICA - CALI P1

### Datos de la muestra

Referencia cliente  
 Situación

P - 1

Profundidad sup., m  
 Profundidad inf., m  
 Tipo de muestra  
 Diámetro, cm  
 Longitud, cm  
 Fecha de toma  
 Fecha de recepción

6  
 6,3  
 BOLSA  
 3-4-18

### Datos de la apertura y preparación

Fecha de apertura  
 Operador  
 Medio de apertura  
 Almacenamiento  
 Entorno de ensayo

26-3-18  
 VERONICA TERMAL  
 MANUAL  
 LABORATORIO  
 LAB. GEOTECNIA

### Tipo de suelo

Clasificación USCS  
 Litología grupo USCS  
 Clasific. AASHTO

SC  
 ARENA ARCILLOSA  
 A-2-6 (1)

### Descripción de la muestra

Litología	Prof. m	Observaciones P- penetrómetro V- vane-test (kPa)
ARENA CON BASTANTE ARCILLA Y CON ALGO DE GRAVA. COLOR CAFÉ OSCURO.	6	
	6,3	

### ENSAYOS REALIZADOS

CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13  
 DENSIDAD Y PESO UNITARIO. MÉTODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA - UNE 103301/94  
 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13  
 LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS - INV E-125-13 - INV E-126-13

### OBSERVACIONES

Informe n°.: CM0016-18-0005  
Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 1 BOLSA / Prof.: 6-6,3 m

2 / 4

**CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13**  
**DENSIDAD Y PESO UNITARIO. MÉTODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA - UNE 103301/94**

Referencia muestra

**MM18-0109**

**Equipos utilizados**

BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)

Temperatura de secado (°C) 110

**Datos del ensayo de humedad**

Tara (g)	29,07
Tara + suelo + agua (g)	86,35
Tara + suelo (g)	78,29
Agua (g)	8,06
Suelo (g)	49,22
Humedad, w (%)	16,4

Operador: VERONICA TERMAL  
Fecha final ensayo: 27/03/2018

**Resultados**

Contenido de humedad, w (%)	<b>16,4</b>
-----------------------------	-------------

**Equipos utilizados**

BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)

(\*) Densidad de la parafina = 0,9 Tn/m<sup>3</sup>

**Datos del ensayo densidad**

Peso suelo (g)	54,02
Peso suelo+parafina (g)	55,68
Peso parafina (g)	1,66
Peso en agua (g)	29,28
Volumen parafina (cm <sup>3</sup> )	1,84
Volumen suelo+parafina (cm <sup>3</sup> )	26,40

Operador: YICELLY VALENCIA  
Fecha final ensayo: 27/03/2017

Volumen suelo (cm <sup>3</sup> )	24,56
Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	2,200
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	1,890

**Resultados**

Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	<b>2,200</b>
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	<b>1,890</b>
Peso unitario aparente (kN/m <sup>3</sup> )	<b>21,57</b>
Peso unitario seco (kN/m <sup>3</sup> )	<b>18,53</b>

OBSERVACIONES



Informe n°.: CM0016-18-0005  
 Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 1 BOLSA / Prof.: 6-6,3 m

3 / 4

Referencia muestra

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13**

**MM18-0109**

**Equipos utilizados**

SERIE DE TAMICES PINZUAR  
 BALANZA RADWAG PS4500.R1  
 HORNO DE DESECACIÓN PROETI P0203

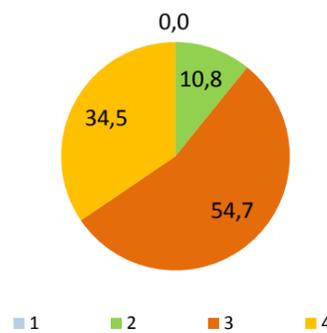
**Resultados**

N°	Abertura mm	Retenido tamices		Pasa muestra total		
		Parcial g	Total g	Total %	g	%
3/4"	19		0,00	0,0	285,67	100,0
1/2"	12,5		11,74	4,1	273,93	95,9
3/8"	9,5		3,34	5,3	270,59	94,7
1/4"	6,3		7,78	8,0	262,81	92,0
N°4	4,75		8,07	10,8	254,74	89,2
N°10	2		24,64	19,5	230,10	80,5
N°30	0,6		49,84	36,9	180,26	63,1
N°40	0,425		26,03	46,0	154,23	54,0
N°60	0,25		25,73	55,0	128,50	45,0
N°100	0,15		18,99	61,7	109,51	38,3
N°200	0,075		10,97	65,5	98,54	34,5

**Cálculos previos**

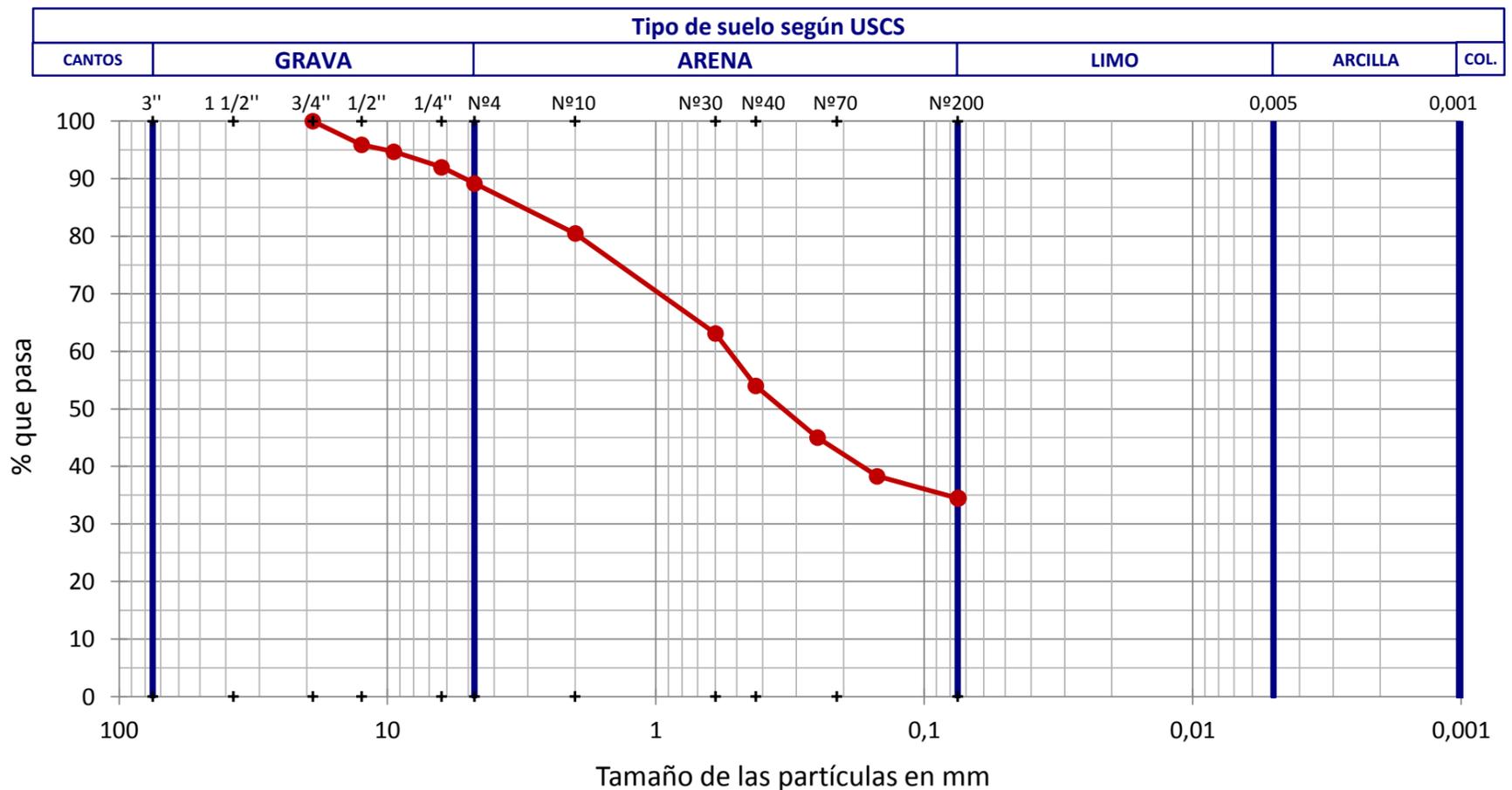
Temperatura de secado previo (°C)	110
Muestra total seca (g)	285,67
M.>19 mm (3/4"), total lav. y seca (g)	0,00
M.<19 mm (3/4"), seca ensay. (g)	285,67
M. 19-2 mm (3/4"-N°10), lavada y seca (g)	55,57
M. 19-2 mm (3/4"-N°10), total lav. y seca (g)	55,57
M.>2 mm (N°10), lavada y seca (g)	55,57
M.<2 mm (N°10), ensay. seca (g)	230,10
M.<2 mm (N°10), ensayada y seca (g)	230,10
M.<2 mm (N°10), total y seca (g)	230,10
Muestra total seca (g)	285,67
Humedad higrosc., % (fracción<2 mm, N°10)	0,0
Factor corr., f (fracción<2 mm, N°10)	1,0000

**USCS**



**Tipo de suelo según USCS**

% CANTOS > 75 mm	% GRAVA 75-4,75 mm	% ARENA 4,75-0,075 mm	% FINOS <0,075 mm
0,0	10,8	54,7	34,5
	% Grava gruesa 75-19 mm: 0,0	% Arena gruesa 4,75-2 mm: 8,7	
	% Grava fina 19-4,75 mm: 10,8	% Arena media 2-0,425 mm: 26,5	
		% Arena fina 0,425-0,075 mm: 19,5	



**OBSERVACIONES**



Informe n°:	CM0016-18-0005
Fecha edición:	05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 1 BOLSA / Prof.: 6-6,3 m

4 / 4

**LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS** - Referencia muestra  
**INV E-125-13 - INV E-126-13** **MM18-0109**

Datos Límite Líquido				
Número de golpes	33	25	15	
Agua (g)	3,53	3,80	3,94	
Tara+Suelo+Agua (g)	30,42	29,66	28,45	
Tara+Suelo (g)	26,89	25,86	24,51	
Tara (g)	14,87	13,37	12,32	
Suelo (g)	12,02	12,49	12,19	
Humedad (%)	<b>29,4</b>	<b>30,4</b>	<b>32,3</b>	

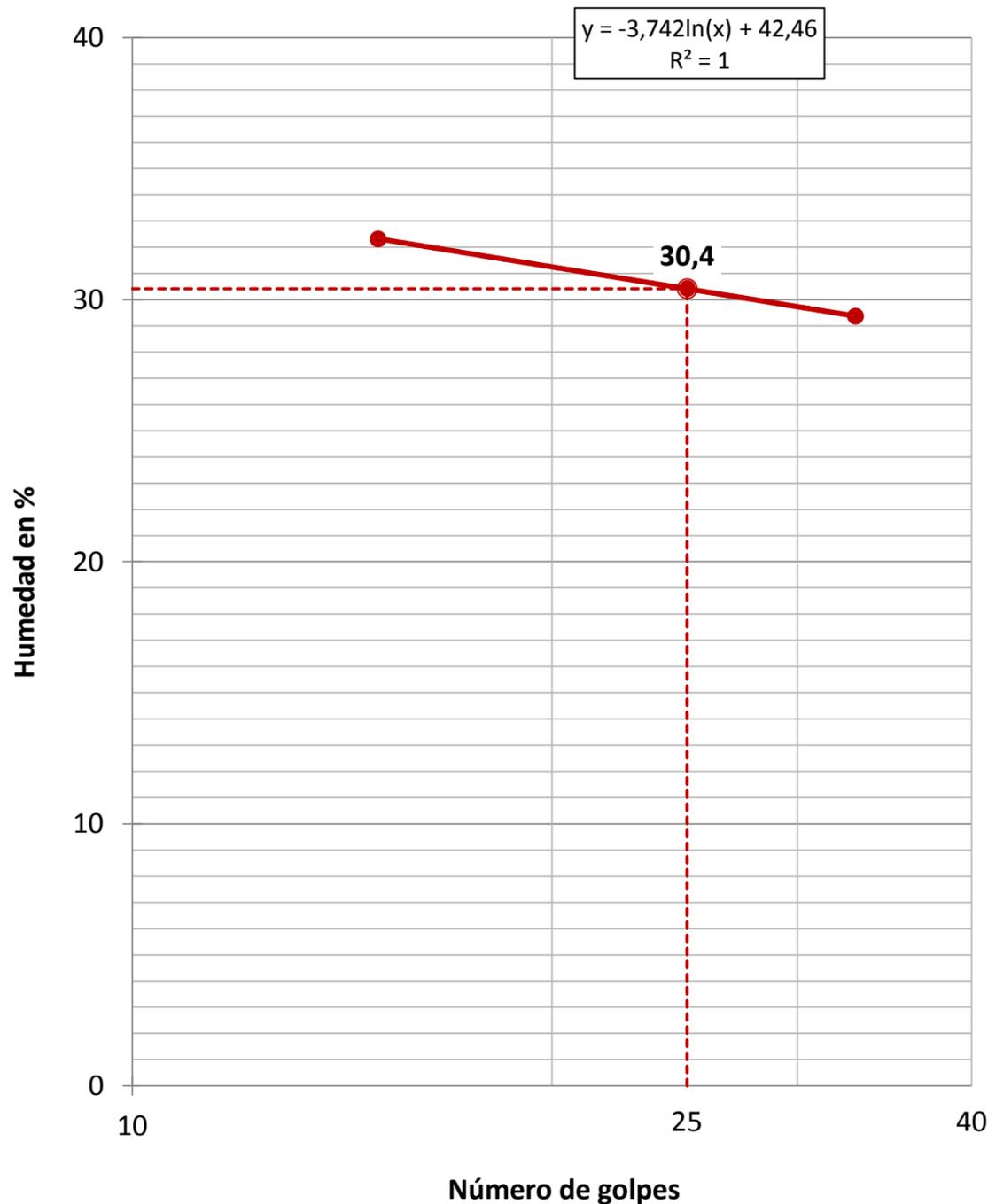
Equipos utilizados	
APARATO DE LÍMITE LIQUIDO MANUAL SDE EM-0251	
BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)	
HORNO INGTEST 5054 (CAL. 17-8-16)	

Condiciones de ensayo	
Temp. de secado previo (°C)	AL AIRE

Datos Límite Plástico				
Agua (g)	0,98	0,97		
Tara+Suelo+Agua (g)	20,84	20,89		
Tara+Suelo (g)	19,86	19,92		
Tara (g)	14,25	14,41		
Suelo (g)	5,61	5,51		
Humedad (%)	<b>17,5</b>	<b>17,6</b>		
Variación entre puntos (%)	0,2	0,6		

Resultados	
Límite Líquido, LL (%)	<b>30,4</b>
Límite Plástico, LP (%)	<b>17,5</b>
Índice de Plasticidad, IP (%)	<b>12,9</b>

Humedad Natural, w (%)	16,4
Índice de Líquidez, IL	-0,1
Índice de Consistencia, IC	1,1



OBSERVACIONES

Informe n°.: CM0016-18-0005  
Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 1 BOLSA / Prof.: 10-11 m

1 / 4

## APERTURA, DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS - INV E-102-13 / INV E-180-13 / INV E-181-13

Muestra referencia

MM18-0110

Código: CC-OL-RA-0001 Rv.00

### Datos generales

Peticionario  
Cliente  
Proyecto

SOLUM CONSTRUCCIONES SAS  
PROYECTO SANTA MONICA - CALI P1

### Datos de la muestra

Referencia cliente  
Situación

P - 1

Profundidad sup., m  
Profundidad inf., m  
Tipo de muestra  
Diámetro, cm  
Longitud, cm  
Fecha de toma  
Fecha de recepción

10  
11  
BOLSA  
  
  
  
3-4-18

### Datos de la apertura y preparación

Fecha de apertura  
Operador  
Medio de apertura  
Almacenamiento  
Entorno de ensayo

26-3-18  
VERONICA TERMAL  
MANUAL  
LABORATORIO  
LAB. GEOTECNIA

### Tipo de suelo

Clasificación USCS  
Litología grupo USCS  
Clasific. AASHTO

CL  
ARCILLA DE BAJA COMPRESIBILIDAD  
A-6 (6)

### Descripción de la muestra

Litología	Prof.	Observaciones
	m	P- penetrómetro V- vane-test (kPa)
	10	
	11	

### ENSAYOS REALIZADOS

CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13  
DENSIDAD Y PESO UNITARIO. MÉTODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA - UNE 103301/94  
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13  
LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS - INV E-125-13 - INV E-126-13

### OBSERVACIONES

Informe n°.: CM0016-18-0005  
Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 1 BOLSA / Prof.: 10-11 m

2 / 4

**CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13**  
**DENSIDAD Y PESO UNITARIO. MÉTODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA - UNE 103301/94**

Referencia muestra

**MM18-0110****Equipos utilizados**

BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)

Temperatura de secado (°C) 110

**Datos del ensayo de humedad**

Tara (g)	28,49
Tara + suelo + agua (g)	130,64
Tara + suelo (g)	121,46
Agua (g)	9,18
Suelo (g)	92,97
Humedad, w (%)	9,9

Operador: VERONICA TERMAL  
Fecha final ensayo: 27/03/2018

**Resultados**

Contenido de humedad, w (%)	<b>9,9</b>
-----------------------------	------------

**Equipos utilizados**

BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)

(\*) Densidad de la parafina = 0,9 Tn/m<sup>3</sup>

**Datos del ensayo densidad**

Peso suelo (g)	63,17
Peso suelo+parafina (g)	67,32
Peso parafina (g)	4,15
Peso en agua (g)	30,94
Volumen parafina (cm <sup>3</sup> )	4,61
Volumen suelo+parafina (cm <sup>3</sup> )	36,38

Operador: YICELLY VALENCIA  
Fecha final ensayo: 27/03/2017

Volumen suelo (cm <sup>3</sup> )	31,77
Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	1,988
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	1,809

**Resultados**

Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	<b>1,988</b>
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	<b>1,809</b>
Peso unitario aparente (kN/m <sup>3</sup> )	<b>19,50</b>
Peso unitario seco (kN/m <sup>3</sup> )	<b>17,74</b>

OBSERVACIONES



Informe n°.: CM0016-18-0005  
 Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 1 BOLSA / Prof.: 10-11 m

3 / 4

Referencia muestra

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13**

**MM18-0110**

**Equipos utilizados**

SERIE DE TAMICES PINZUAR  
 BALANZA RADWAG PS4500.R1  
 HORNO DE DESECACIÓN PROETI P0203

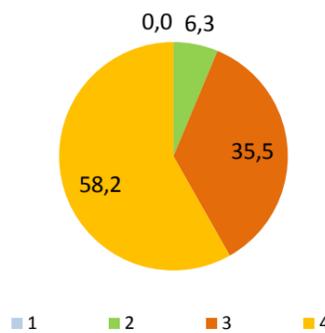
**Resultados**

N°	Abertura mm	Retenido tamices		Pasa muestra total		
		Parcial g	Total g	Total %	g	%
1/2"	12,5		0,00	0,0	196,26	100,0
3/8"	9,5		2,03	1,0	194,23	99,0
1/4"	6,3		6,61	4,4	187,62	95,6
Nº4	4,75		3,66	6,3	183,96	93,7
Nº10	2		5,66	9,2	178,30	90,8
Nº30	0,6		8,30	13,4	170,00	86,6
Nº40	0,425		6,10	16,5	163,90	83,5
Nº60	0,25		14,71	24,0	149,19	76,0
Nº100	0,15		19,18	33,8	130,01	66,2
Nº200	0,075		15,75	41,8	114,26	58,2

**Cálculos previos**

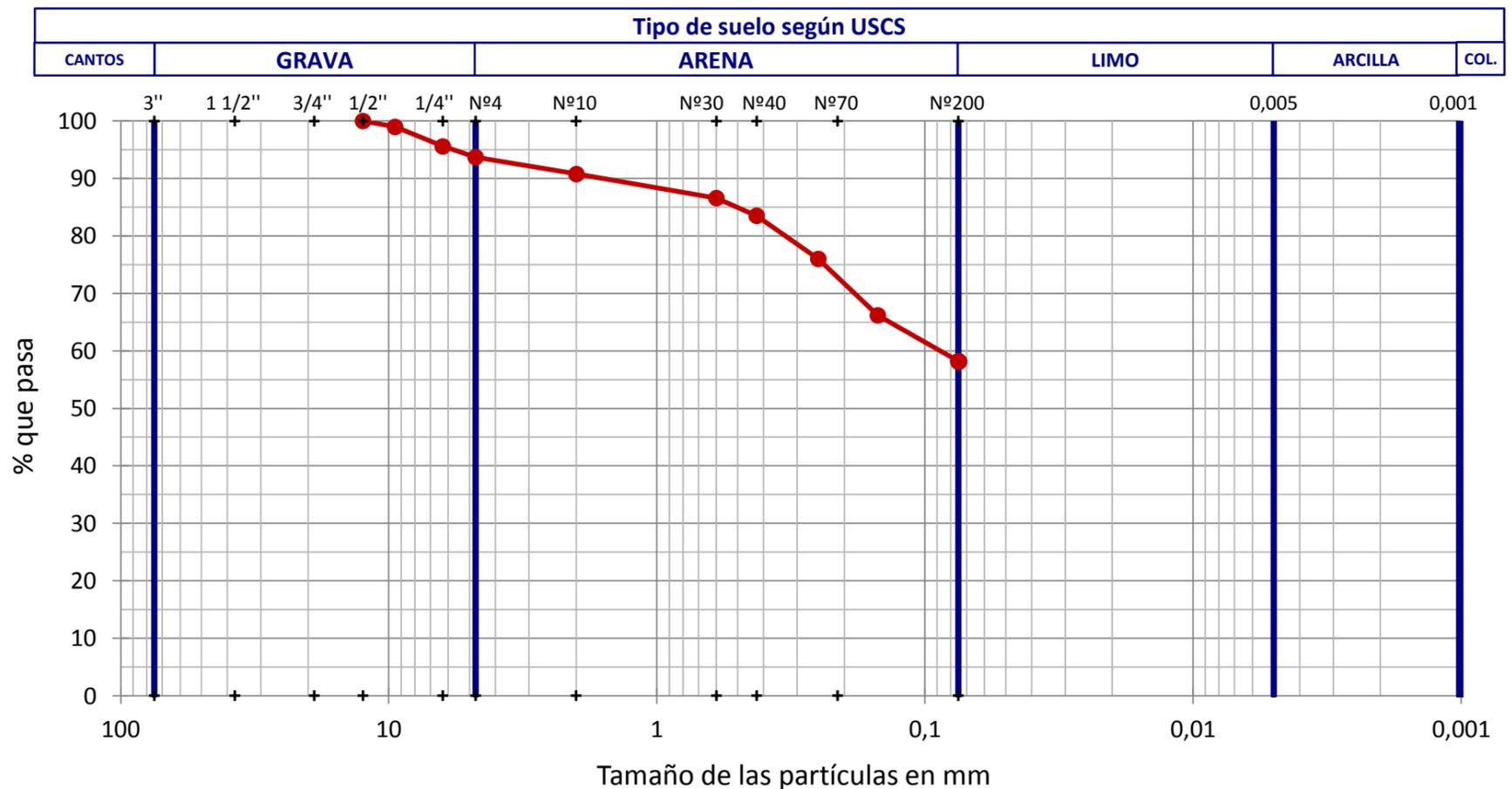
Temperatura de secado previo (°C)	110
Muestra total seca (g)	196,26
M.>19 mm (3/4"), total lav. y seca (g)	0,00
M.<19 mm (3/4"), seca ensay. (g)	196,26
M. 19-2 mm (3/4"-Nº10), lavada y seca (g)	17,96
M. 19-2 mm (3/4"-Nº10), total lav. y seca (g)	17,96
M.>2 mm (Nº10), lavada y seca (g)	17,96
M.<2 mm (Nº10), ensay. seca (g)	178,30
M.<2 mm (Nº10), ensayada y seca (g)	178,30
M.<2 mm (Nº10), total y seca (g)	178,30
Muestra total seca (g)	196,26
Humedad higrosc., % (fracción<2 mm, Nº10)	0,0
Factor corr., f (fracción<2 mm, Nº10)	1,0000

**USCS**



**Tipo de suelo según USCS**

% CANTOS > 75 mm	% GRAVA 75-4,75 mm	% ARENA 4,75-0,075 mm	% FINOS <0,075 mm
0,0	6,3	35,5	58,2
	% Grava gruesa 75-19 mm: 0,0	% Arena gruesa 4,75-2 mm: 2,9	
	% Grava fina 19-4,75 mm: 6,3	% Arena media 2-0,425 mm: 7,3	
		% Arena fina 0,425-0,075 mm: 25,3	



**OBSERVACIONES**



Informe n°:	CM0016-18-0005
Fecha edición:	05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 1 BOLSA / Prof.: 10-11 m

4 / 4

**LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS** - Referencia muestra  
**INV E-125-13 - INV E-126-13** **MM18-0110**

Datos Límite Líquido				
Número de golpes	34	23	15	
Agua (g)	3,54	3,71	3,90	
Tara+Suelo+Agua (g)	29,79	29,88	29,77	
Tara+Suelo (g)	26,25	26,17	25,87	
Tara (g)	14,90	14,57	14,28	
Suelo (g)	11,35	11,60	11,59	
Humedad (%)	<b>31,2</b>	<b>32,0</b>	<b>33,6</b>	

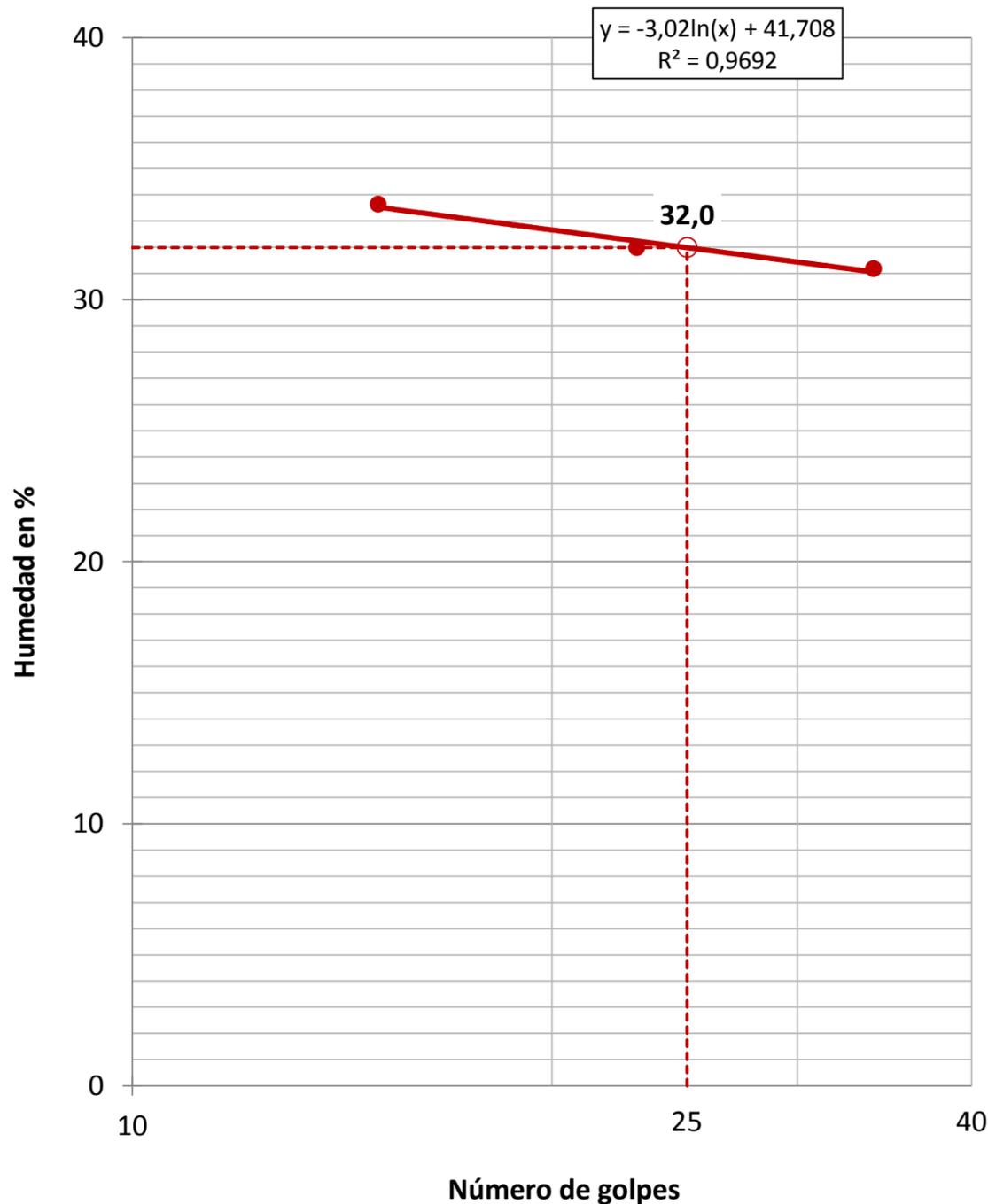
Equipos utilizados	
APARATO DE LÍMITE LIQUIDO MANUAL SDE EM-0251	
BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)	
HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)	

Condiciones de ensayo	
Temp. de secado previo (°C)	AL AIRE

Datos Límite Plástico				
Agua (g)	1,03	1,03		
Tara+Suelo+Agua (g)	19,84	19,84		
Tara+Suelo (g)	18,81	18,81		
Tara (g)	13,09	13,16		
Suelo (g)	5,72	5,65		
Humedad (%)	<b>18,0</b>	<b>18,2</b>		
Variación entre puntos (%)	0,5	0,7		

Resultados	
Límite Líquido, LL (%)	<b>32,0</b>
Límite Plástico, LP (%)	<b>18,1</b>
Índice de Plasticidad, IP (%)	<b>13,9</b>

Humedad Natural, w (%)	9,9
Índice de Líquidez, IL	-0,6
Índice de Consistencia, IC	1,6



OBSERVACIONES

Informe n°.: CM0016-18-0005  
Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 1 SPT / Prof.: 14-15 m

1 / 5

## APERTURA, DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS - INV E-102-13 / INV E-180-13 / INV E-181-13

Muestra referencia

MM18-0111

Código: CC-OL-RA-0001 Rv.00

### Datos generales

Peticionario  
Cliente  
Proyecto

SOLUM CONSTRUCCIONES SAS  
PROYECTO SANTA MONICA - CALI P1

### Datos de la muestra

Referencia cliente  
Situación

P - 1

Profundidad sup., m  
Profundidad inf., m  
Tipo de muestra  
Diámetro, cm  
Longitud, cm  
Fecha de toma  
Fecha de recepción

14  
15  
SPT  
3-4-18

### Datos de la apertura y preparación

Fecha de apertura  
Operador  
Medio de apertura  
Almacenamiento  
Entorno de ensayo

26-3-18  
VERONICA TERMAL  
MANUAL  
LABORATORIO  
LAB. GEOTECNIA

### Tipo de suelo

Clasificación USCS  
Litología grupo USCS  
Clasific. AASHTO

MH  
LIMO DE ALTA COMPRESIBILIDAD  
A-7-5 (29)

### Descripción de la muestra

Litología	Prof. m	Observaciones P- penetrómetro V- vane-test (kPa)
LIMO CON INDICIOS DE ARENA, COLOR ROJIZO CON ZONAS BEIGE.	14	

15

### ENSAYOS REALIZADOS

CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13  
DENSIDAD Y PESO UNITARIO. MÉTODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA - UNE 103301/94  
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13  
LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS - INV E-125-13 - INV E-126-13

### OBSERVACIONES

MUESTRA NO CUMPLIO, PARA REALIZAR EL ENSAYO DE CORTE DIRECTO Y CONSOLIDACIÓN.

Informe n°.: CM0016-18-0005  
Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 1 SPT / Prof.: 14-15 m

2 / 5

Muestra referencia

**ANEXO FOTOGRÁFICO -**

**MM18-0111**



**OBSERVACIONES:**

Informe n°.: CM0016-18-0005  
Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 1 SPT / Prof.: 14-15 m

3 / 5

**CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13**  
**DENSIDAD Y PESO UNITARIO. MÉTODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA - UNE 103301/94**

Referencia muestra

**MM18-0111****Equipos utilizados**

BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)

Temperatura de secado (°C) 110

**Datos del ensayo de humedad**

Tara (g)	29,77
Tara + suelo + agua (g)	69,92
Tara + suelo (g)	61,55
Agua (g)	8,37
Suelo (g)	31,78
Humedad, w (%)	26,3

Operador: VERONICA TERMAL  
Fecha final ensayo: 27/03/2018

**Resultados**

Contenido de humedad, w (%)	26,3
-----------------------------	------

**Equipos utilizados**

BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)

(\*) Densidad de la parafina = 0,9 Tn/m<sup>3</sup>

**Datos del ensayo densidad**

Peso suelo (g)	70,46
Peso suelo+parafina (g)	72,33
Peso parafina (g)	1,87
Peso en agua (g)	32,76
Volumen parafina (cm <sup>3</sup> )	2,08
Volumen suelo+parafina (cm <sup>3</sup> )	39,57

Operador: YICELLY VALENCIA  
Fecha final ensayo: 27/03/2017

Volumen suelo (cm <sup>3</sup> )	37,49
Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	1,879
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	1,488

**Resultados**

Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	1,879
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	1,488
Peso unitario aparente (kN/m <sup>3</sup> )	18,43
Peso unitario seco (kN/m <sup>3</sup> )	14,59

OBSERVACIONES



Informe n°.: CM0016-18-0005  
 Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 1 SPT / Prof.: 14-15 m

4 / 5

Referencia muestra

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13**

**MM18-0111**

**Equipos utilizados**

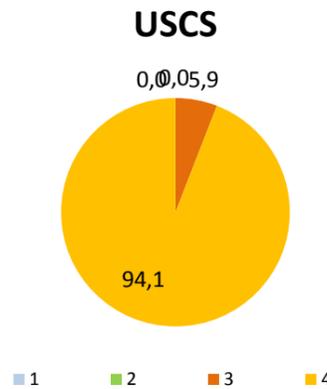
SERIE DE TAMICES PINZUAR  
 BALANZA RADWAG PS4500.R1  
 HORNO DE DESECACIÓN PROETI P0203

**Resultados**

N°	Abertura mm	Retenido tamices		Pasa muestra total		
		Parcial g	Total g	Total %	g	%
N°60	0,25		0,00	0,0	70,60	100,0
N°100	0,15		2,50	3,5	68,10	96,5
N°200	0,075		1,64	5,9	66,46	94,1

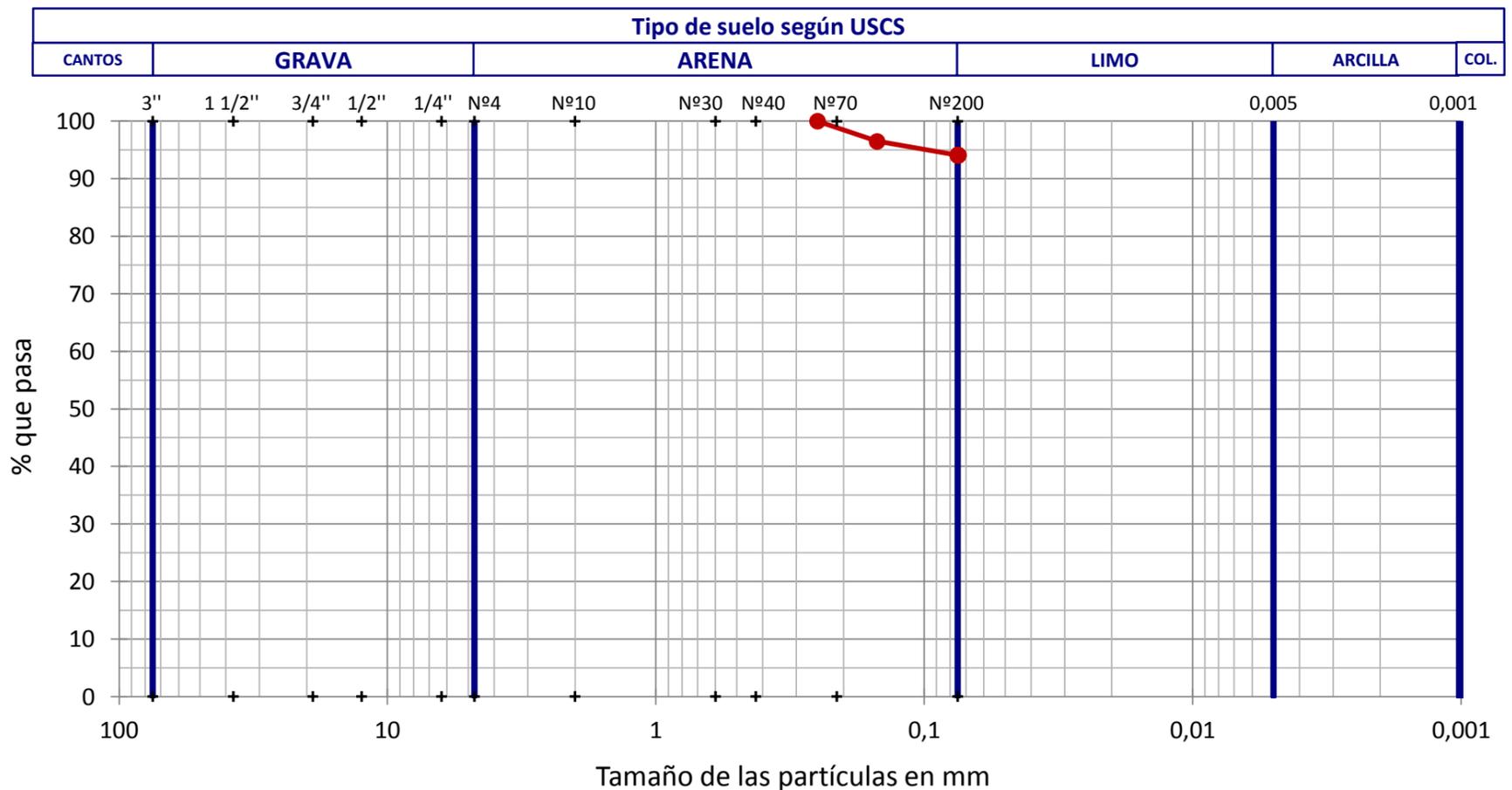
**Cálculos previos**

Temperatura de secado previo (°C)	110
Muestra total seca (g)	70,60
M.>19 mm (3/4"), total lav. y seca (g)	0,00
M.<19 mm (3/4"), seca ensay. (g)	70,60
M. 19-2 mm (3/4"-N°10), lavada y seca (g)	0,00
M. 19-2 mm (3/4"-N°10), total lav. y seca (g)	0,00
M.>2 mm (N°10), lavada y seca (g)	0,00
M.<2 mm (N°10), ensay. seca (g)	70,60
M.<2 mm (N°10), ensayada y seca (g)	70,60
M.<2 mm (N°10), total y seca (g)	70,60
Muestra total seca (g)	70,60
Humedad higrosc., % (fracción<2 mm, N°10)	0,0
Factor corr., f (fracción<2 mm, N°10)	1,0000



**Tipo de suelo según USCS**

% CANTOS > 75 mm	% GRAVA 75-4,75 mm	% ARENA 4,75-0,075 mm	% FINOS <0,075 mm
0,0	0,0	5,9	94,1
	% Grava gruesa 75-19 mm: 0,0	% Arena gruesa 4,75-2 mm: 0,0	
	% Grava fina 19-4,75 mm: 0,0	% Arena media 2-0,425 mm: 0,0	
		% Arena fina 0,425-0,075 mm: 5,9	



**OBSERVACIONES**



Informe n°:	CM0016-18-0005
Fecha edición:	05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 1 SPT / Prof.: 14-15 m

5 / 5

**LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS** - Referencia muestra  
**INV E-125-13 - INV E-126-13** **MM18-0111**

Datos Límite Líquido				
Número de golpes	36	23	15	
Agua (g)	3,61	4,39	4,21	
Tara+Suelo+Agua (g)	24,93	25,85	26,36	
Tara+Suelo (g)	21,32	21,46	22,15	
Tara (g)	14,61	13,62	14,92	
Suelo (g)	6,71	7,84	7,23	
Humedad (%)	<b>53,8</b>	<b>56,0</b>	<b>58,2</b>	

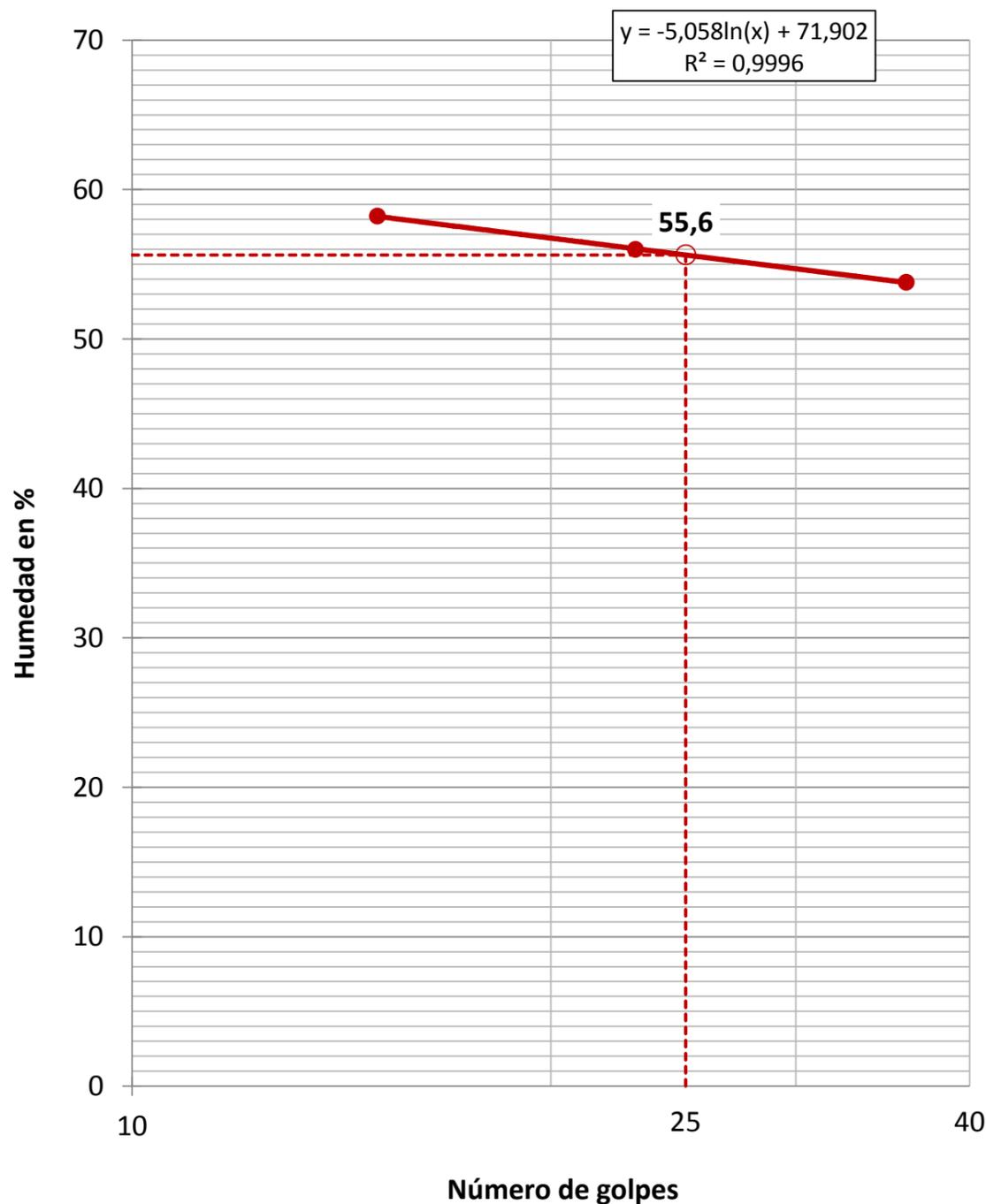
Equipos utilizados	
APARATO DE LÍMITE LIQUIDO MANUAL SDE EM-0251	
BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)	
HORNO INGTEST 5054 (CAL. 17-8-16)	

Condiciones de ensayo	
Temp. de secado previo (°C)	AL AIRE

Datos Límite Plástico				
Agua (g)	1,72	1,73		
Tara+Suelo+Agua (g)	19,09	20,05		
Tara+Suelo (g)	17,37	18,32		
Tara (g)	11,75	12,64		
Suelo (g)	5,62	5,68		
Humedad (%)	<b>30,6</b>	<b>30,5</b>		
Variación entre puntos (%)	0,3	0,1		

Resultados	
Límite Líquido, LL (%)	<b>55,6</b>
Límite Plástico, LP (%)	<b>30,5</b>
Índice de Plasticidad, IP (%)	<b>25,1</b>

Humedad Natural, w (%)	26,3
Índice de Líquidez, IL	-0,2
Índice de Consistencia, IC	1,2



OBSERVACIONES



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

*Estudio de soluciones para la cimentación de un edificio de viviendas de uso residencial en Cali, Colombia*



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

## SONDEO Nº2

## RESUMEN DE ENSAYOS

1 / 1

SOLUM CONSTRUCCIONES SAS  
PROYECTO SANTA MONICA - CALI P2

CM0016-18-0006

MUESTRAS N°	MM18-0112	MM18-0113	MM18-0114	MM18-0115	MM18-0116
Situación	P - 2	P - 2	P - 2	P - 2	P - 2
Tipo de muestra	SPT	SPT	BOLSA	BOLSA	BOLSA
Profundidad (m)	2-3,5	3,5-4,5	5,5-6,5	6,5-8	12-13
Clasificación USCS	SC		CL	SM	SC
Clasificación AASHTO	A-2-6 (0)		A-6 (9)	A-4 (0)	A-6 (3)
Fracción mayoritaria	ARENA		ARCILLA	ARENA	ARCILLA
<b>HUMEDAD</b>					
Contenido de humedad, w (%)	23,0		31,4	15,8	23,9
<b>DENSIDAD</b>					
Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	2,029		1,941	1,956	1,975
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	1,650		1,477	1,689	1,594
<b>GRANULOMETRÍA TAMIZADO</b>					
Pasa # 19 mm, %	91,5		100,0	100,0	88,1
Pasa # 4,75 mm, %	63,4		99,2	100,0	81,0
Pasa # 2 mm, %	60,7		97,9	100,0	78,5
Pasa # 0,425 mm, %	49,9		91,5	98,5	68,1
Pasa # 0,075 mm, %	19,9		68,2	49,5	44,1
<b>LÍMITES DE ATTERBERG</b>					
Límite Líquido, LL (%)	27,0		33,6		33,7
Límite Plástico, LP (%)	15,9		18,1		18,9
Índice de Plasticidad, IP (%)	11,1		15,5	NO PLÁSTICO	14,8
<b>COMPRESIÓN INCONFINADA SUELOS</b>					
Resistencia a compresión (kPa)		20,89			
Deformación (%)		6,59			
<b>CORTE DIRECTO SUELOS</b>					
Tipo de ensayo	CD		CD		
$\Phi'$ (°)	16,8		12,6		
C' (kPa)	0,0		13,1		
<b>CONSOLIDACIÓN UNIDIM.</b>					
Método	B				
Relación de vacíos inicial, e <sub>0</sub>	0,6061				
Relación de vacíos final, e <sub>f</sub>	0,4916				

Informe n°.: CM0016-18-0006  
Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 2 SPT / Prof.: 2-3,5 m

1 / 15

## APERTURA, DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS - INV E-102-13 / INV E-180-13 / INV E-181-13

Muestra referencia

MM18-0112

Código: CC-OL-RA-0001 Rv.00

**Datos generales**

Peticionario  
Cliente  
Proyecto

SOLUM CONSTRUCCIONES SAS  
PROYECTO SANTA MONICA - CALI P2

**Datos de la muestra**

Referencia cliente  
Situación

P - 2

Profundidad sup., m  
Profundidad inf., m  
Tipo de muestra  
Diámetro, cm  
Longitud, cm  
Fecha de toma  
Fecha de recepción

2  
3,5  
SPT  
3-4-18

**Datos de la apertura y preparación**

Fecha de apertura  
Operador  
Medio de apertura  
Almacenamiento  
Entorno de ensayo

26-3-18  
VERONICA TERMAL  
MANUAL  
LABORATORIO  
LAB. GEOTECNIA

**Tipo de suelo**

Clasificación USCS  
Litología grupo USCS  
Clasific. AASHTO

SC  
ARENA ARCILLOSA  
A-2-6 (0)

**Descripción de la muestra**

Litología	Prof. m	Observaciones P- penetrómetro V- vane-test (kPa)
ARENA CON ABUNDANTE GRAVA Y CON ALGO DE ARCILLA. COLOR CAFÉ.	2	
	3,5	

**ENSAYOS REALIZADOS**

CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13  
DENSIDAD Y PESO UNITARIO. MÉTODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA - UNE 103301/94  
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13  
LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS - INV E-125-13 - INV E-126-13  
ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN MUESTRAS DE SUELO, CD - INV E-154-13  
CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS - INV E-151-13 (MÉTODO B)

**OBSERVACIONES**

Informe n°.: CM0016-18-0006  
Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 2 SPT / Prof.: 2-3,5 m

2 / 15

Muestra referencia

**ANEXO FOTOGRÁFICO -**

**MM18-0112**



OBSERVACIONES:

Informe n°.: CM0016-18-0006  
Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 2 SPT / Prof.: 2-3,5 m

3 / 15

**CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13**  
**DENSIDAD Y PESO UNITARIO. MÉTODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA - UNE 103301/94**

Referencia muestra

**MM18-0112****Equipos utilizados**

BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)

**Temperatura de secado (°C)** 110

**Datos del ensayo de humedad**

Tara (g)	27,84
Tara + suelo + agua (g)	129,42
Tara + suelo (g)	110,40
Agua (g)	19,02
Suelo (g)	82,56
Humedad, w (%)	23,0

**Operador:** VERONICA TERMAL  
**Fecha final ensayo:** 27/03/2018

**Resultados**

<b>Contenido de humedad, w (%)</b>	<b>23,0</b>
------------------------------------	-------------

**Equipos utilizados**

BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)

(\*) Densidad de la parafina = 0,9 Tn/m<sup>3</sup>

**Datos del ensayo densidad**

Peso suelo (g)	132,67
Peso suelo+parafina (g)	136,37
Peso parafina (g)	3,70
Peso en agua (g)	66,86
Volumen parafina (cm <sup>3</sup> )	4,11
Volumen suelo+parafina (cm <sup>3</sup> )	69,51

**Operador:** YICELLY VALENCIA  
**Fecha final ensayo:** 27/03/2018

Volumen suelo (cm <sup>3</sup> )	65,40
Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	2,029
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	1,650

**Resultados**

<b>Densidad aparente (Tn/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2,029</b>
<b>Densidad seca (Tn/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1,650</b>
<b>Peso unitario aparente (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>19,90</b>
<b>Peso unitario seco (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>16,18</b>

OBSERVACIONES



Informe n°.: CM0016-18-0006  
 Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 2 SPT / Prof.: 2-3,5 m

4 / 15

Referencia muestra

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13**

**MM18-0112**

**Equipos utilizados**

SERIE DE TAMICES PINZUAR  
 BALANZA RADWAG PS4500.R1  
 HORNO DE DESECACIÓN PROETI P0203

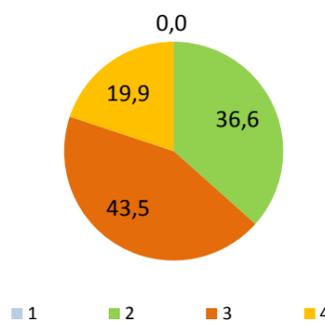
**Cálculos previos**

Temperatura de secado previo (°C)	110
Muestra total seca (g)	208,19
M. >19 mm (3/4"), total lav. y seca (g)	17,77
M. <19 mm (3/4"), seca ensay. (g)	190,42
M. 19-2 mm (3/4"-N°10), lavada y seca (g)	64,06
M. 19-2 mm (3/4"-N°10), total lav. y seca (g)	64,06
M. >2 mm (N°10), lavada y seca (g)	81,83
M. <2 mm (N°10), ensay. seca (g)	75,88
M. <2 mm (N°10), ensayada y seca (g)	75,88
M. <2 mm (N°10), total y seca (g)	126,36
Muestra total seca (g)	208,19
Humedad higrosc., % (fracción <2 mm, N°10)	0,0
Factor corr., f (fracción <2 mm, N°10)	1,0000
Factor de corr., f2 (fracción <2 mm, N°10)	1,6653

**Resultados**

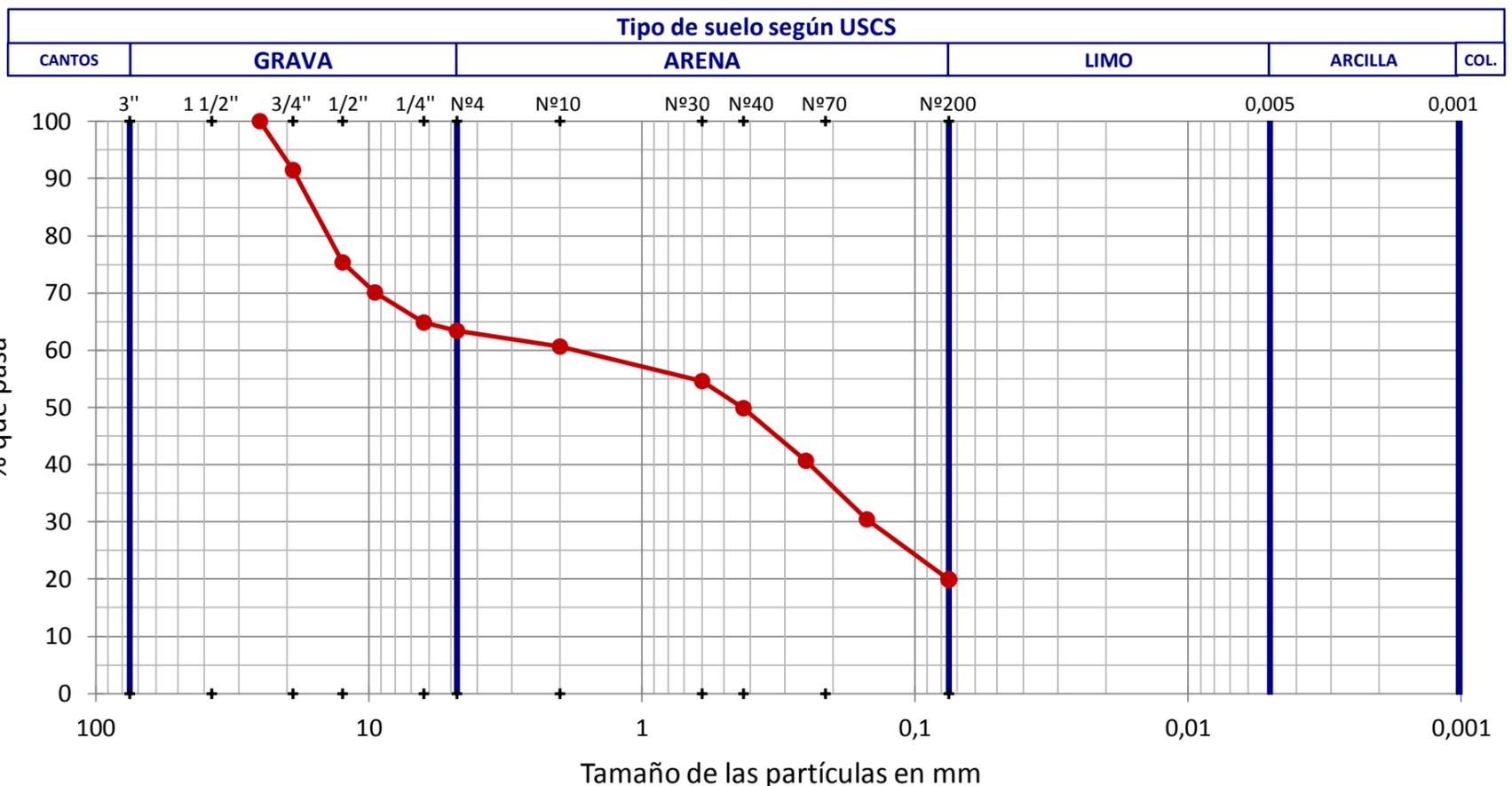
N°	Abertura mm	Retenido tamices		Pasa muestra total		
		Parcial g	Total g	Total %	g	%
1"	25		0,00	0,0	208,19	100,0
3/4"	19		17,77	8,5	190,42	91,5
1/2"	12,5		33,52	24,6	156,90	75,4
3/8"	9,5		10,97	29,9	145,93	70,1
1/4"	6,3		11,01	35,2	134,92	64,8
N°4	4,75		2,90	36,6	132,02	63,4
N°10	2		5,66	39,3	126,36	60,7
N°30	0,6	7,65		45,4	113,62	54,6
N°40	0,425	5,79		50,1	103,98	49,9
N°60	0,25	11,55		59,3	84,75	40,7
N°100	0,15	12,85		69,6	63,35	30,4
N°200	0,075	13,17		80,1	41,42	19,9

**USCS**



**Tipo de suelo según USCS**

% CANTOS > 75 mm	% GRAVA 75-4,75 mm	% ARENA 4,75-0,075 mm	% FINOS <0,075 mm
0,0	36,6	43,5	19,9
	% Grava gruesa 75-19 mm: 8,5	% Arena gruesa 4,75-2 mm: 2,7	
	% Grava fina 19-4,75 mm: 28,1	% Arena media 2-0,425 mm: 10,8	
		% Arena fina 0,425-0,075 mm: 30,0	



**OBSERVACIONES**

Operador: VERONICA TERMAL

Código: CC-OL-RA-0005 Rv.00

Fecha final ensayo: 26/03/2018



Informe n°:	CM0016-18-0006
Fecha edición:	05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 2 SPT / Prof.: 2-3,5 m

5 / 15

**LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS - INV E-125-13 - INV E-126-13**

Referencia muestra

**MM18-0112**

Datos Límite Líquido				
Número de golpes	33	22	16	
Agua (g)	3,17	3,28	3,36	
Tara+Suelo+Agua (g)	26,89	27,47	27,40	
Tara+Suelo (g)	23,72	24,19	24,04	
Tara (g)	11,65	12,09	12,36	
Suelo (g)	12,07	12,10	11,68	
Humedad (%)	<b>26,3</b>	<b>27,1</b>	<b>28,8</b>	

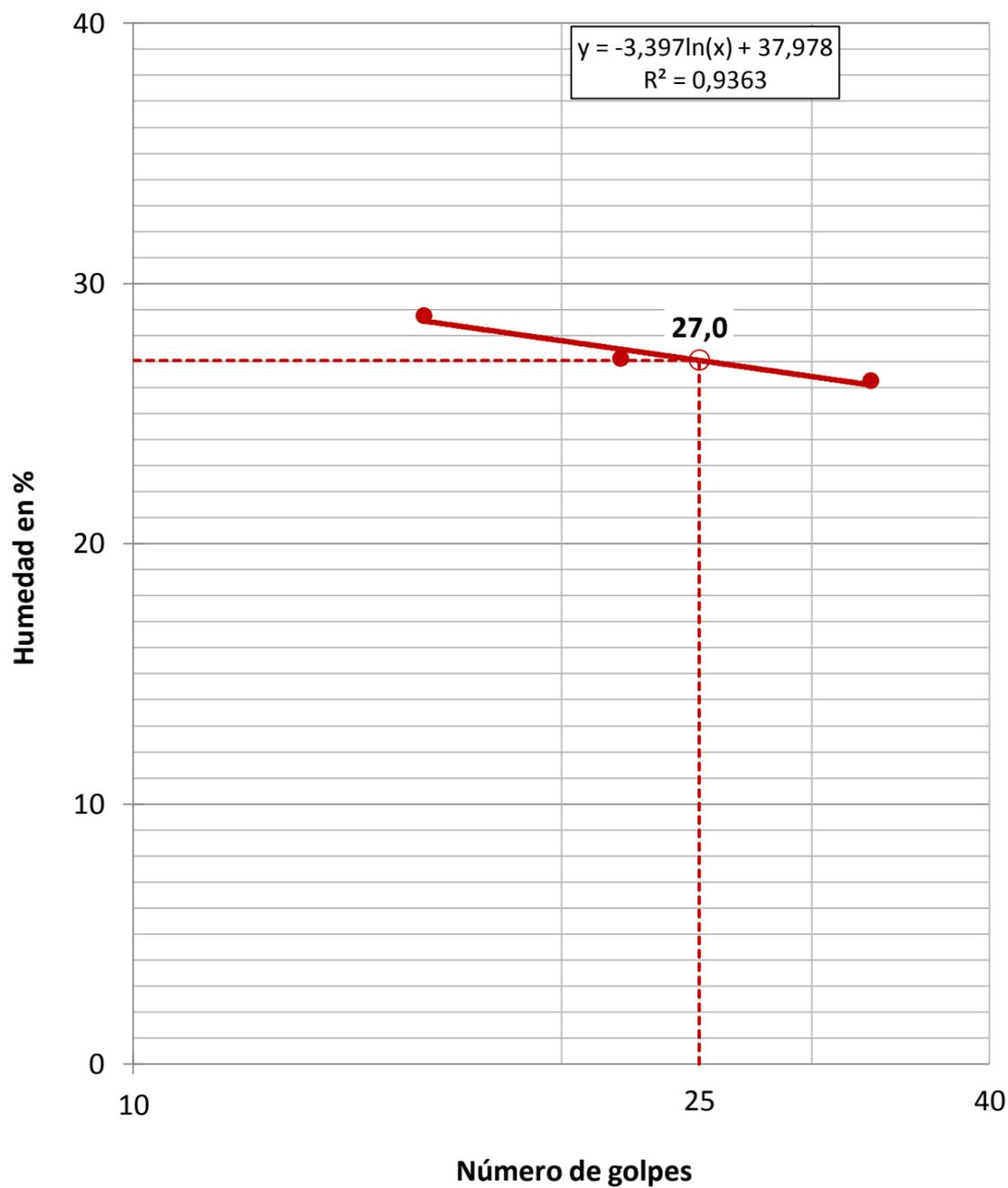
Equipos utilizados	
APARATO DE LÍMITE LIQUIDO MANUAL SDE EM-0251	
BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)	
HORNO INGATEST 5054 (CAL. 17-8-16)	

Condiciones de ensayo	
Temp. de secado previo (°C)	AL AIRE

Datos Límite Plástico				
Agua (g)	1,54	1,43		
Tara+Suelo+Agua (g)	23,22	25,25		
Tara+Suelo (g)	21,68	23,82		
Tara (g)	12,12	14,75		
Suelo (g)	9,56	9,07		
Humedad (%)	<b>16,1</b>	<b>15,8</b>		
Variación entre puntos (%)	1,3	0,8		

Resultados	
Límite Líquido, LL (%)	<b>27,0</b>
Límite Plástico, LP (%)	<b>15,9</b>
Índice de Plasticidad, IP (%)	<b>11,1</b>

Humedad Natural, w (%)	23,0
Índice de Líquidez, IL	0,6
Índice de Consistencia, IC	0,4



OBSERVACIONES



Informe n°.: CM0016-18-0006  
Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 2 SPT / Prof.: 2-3,5 m

6 / 15

Referencia muestra

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN MUESTRAS DE SUELO - INV E-154-13**

**MM18-0112**

<b>Tipo de ensayo</b>	<b>CD</b>	<b>Condiciones del suelo</b>	<b>INALTERADO</b>
-----------------------	-----------	------------------------------	-------------------

**Equipos utilizados**  
 APARATO DE CORTE DIRECTO PROETI S0125 - 3 KN  
 CAJA DE CORTE CIRCULAR  
 BALANZA RADWAG PS4500.R1  
 HORNO DE DESECACIÓN PROETI P0203

**Condiciones ensayo**

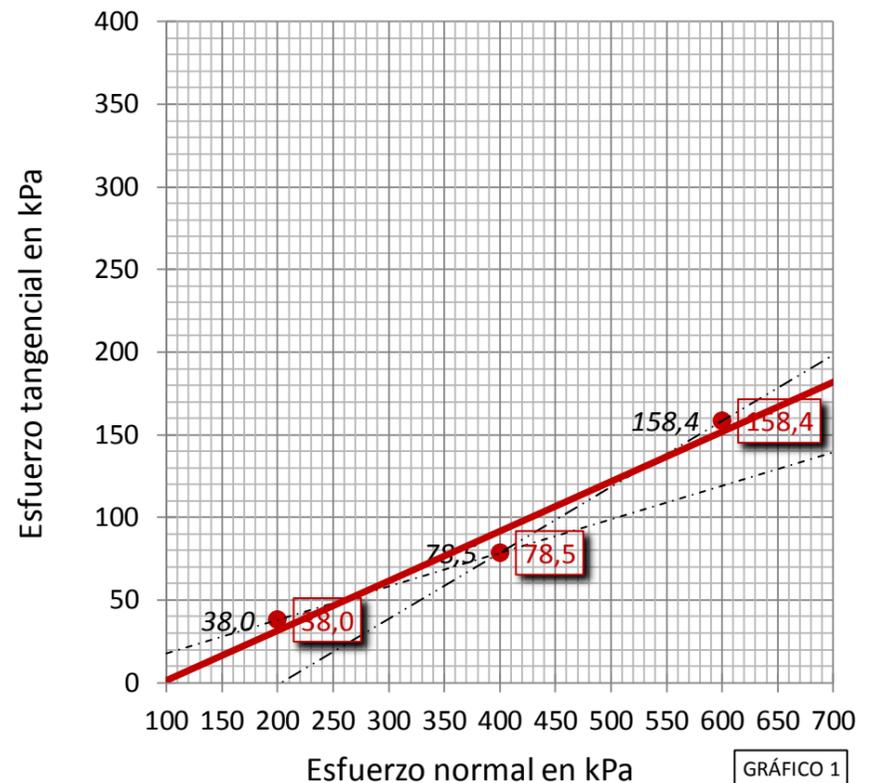
Suelo sumergido	SI
Saturación previa	NO
Consolid. previa	SI
Rotura drenada	SI
Parám. residuales	NO

**Símbolos en gráficos 2 a 4 (tens. normal, kPa)**

●	▲	■	◆	+	✱
200	400	600			

**Datos del ensayo**

Tensión normal (kPa)	200	400	600
Área inicial (cm <sup>2</sup> )	19,682	19,682	19,682
Área final corr. (cm <sup>2</sup> ) (*)	17,183	17,183	17,183
Volumen inicial (cm <sup>3</sup> )	37,36	37,36	37,36
Humedad inicial (%)	22,3	22,3	22,3
Humedad final (%)	20,2	21,4	21,1
Dens. apar. ini. (Tn/m <sup>3</sup> )	2,019	2,022	1,964
Dens. seca ini. (Tn/m <sup>3</sup> )	1,651	1,653	1,606
Consolid. previa (mm)	1,558	2,560	3,200
Consolid. final (mm)	1,768	2,875	3,425
Índ. poros inicial	0,6051	0,6031	0,6501
Í. poros final cons. previa	0,4733	0,3869	0,3719
Í. poros final ensayo	0,4556	0,3603	0,3523
Grado satur. ini. (%)	97,66	97,99	90,90
Grado satur. final ens. (%)	100,00	100,00	100,00
Esfuerzo tang. máx. (kPa)	<b>38,0</b>	<b>78,5</b>	<b>158,4</b>
Esfuerzo tang. adop. (kPa)	<b>38,0</b>	<b>78,5</b>	<b>158,4</b>
Veloc. Horizontal (mm/min)	0,08300	0,08300	0,08300
Gravedad específica part. sólidas	2.650 (estimada)		

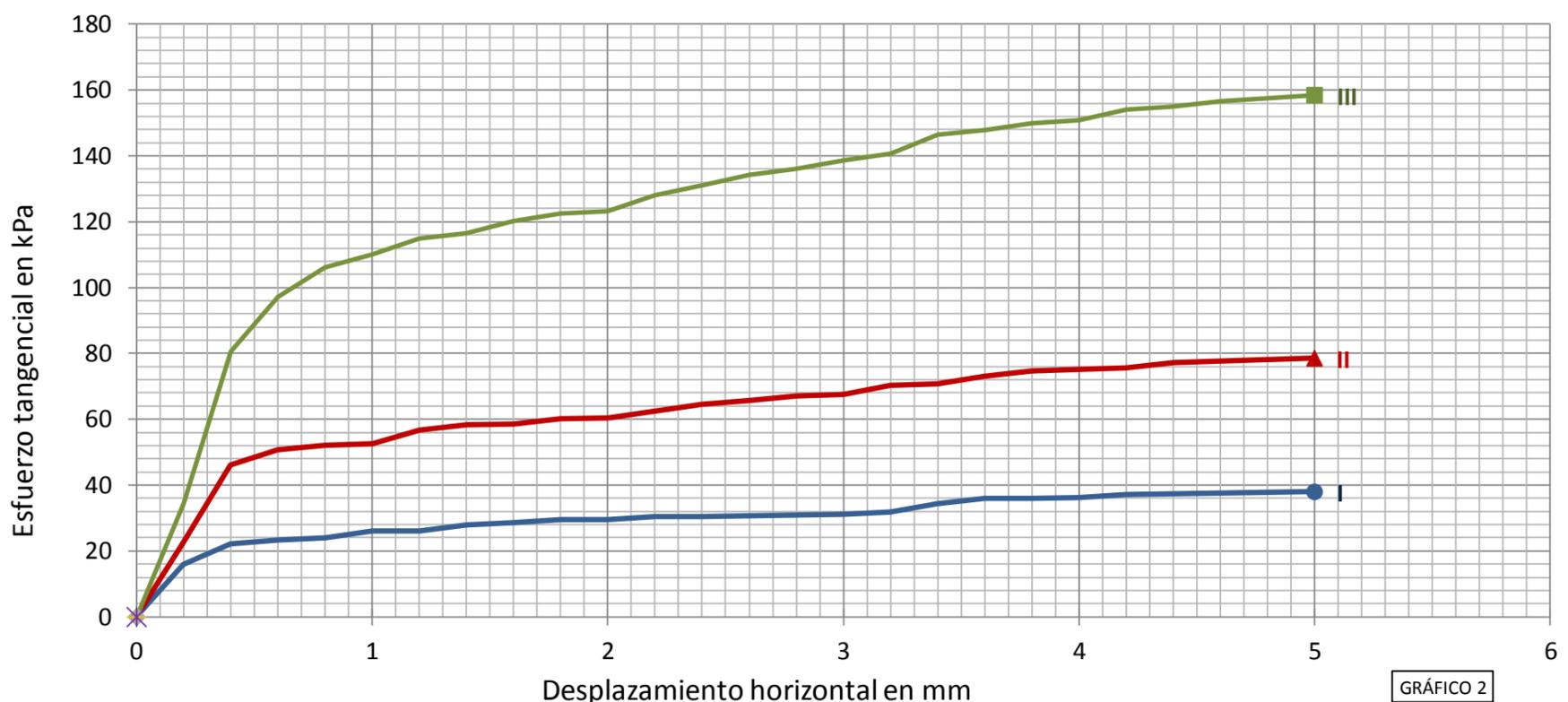


**Símbolos en gráfico 1**

●	◆	---	---	○
158,372	158,372			
INTERPRETACIÓN LABORATORIO	ESTIMACIÓN CON ESFUERZOS MÁXIMOS	ESTIMACIÓN ENTRE PUNTOS 1 Y 2	ESTIMACIÓN ENTRE PUNTOS 2 Y 3	PARÁMETROS RESIDUALES

**Resultados**

Áng. fricción int. (°)	<b>16,8</b>	16,8	11,5	21,8	
Cohesión (kPa)	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0	
(kp/cm <sup>2</sup> )	<b>0,00</b>	0,00	0,00	0,00	



**OBSERVACIONES**

Operador: VERONICA TERMAL

Código: CC-COL-RA-0015 Rv.00

Fecha final ensayo: 03/04/2018

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN MUESTRAS DE SUELO - INV E-154-13**

**MM18-0112**

**Curvas de consolidación**

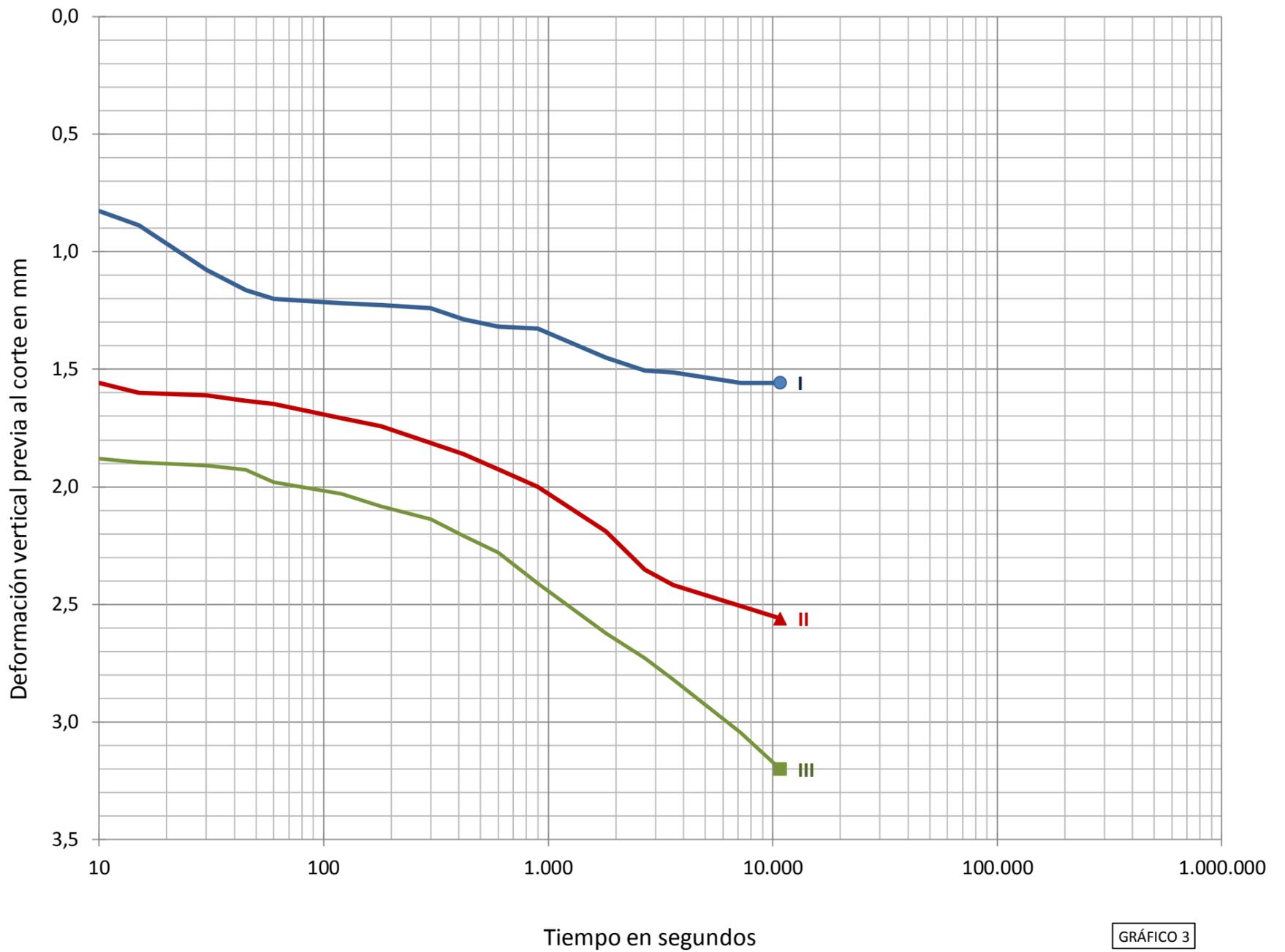


GRÁFICO 3

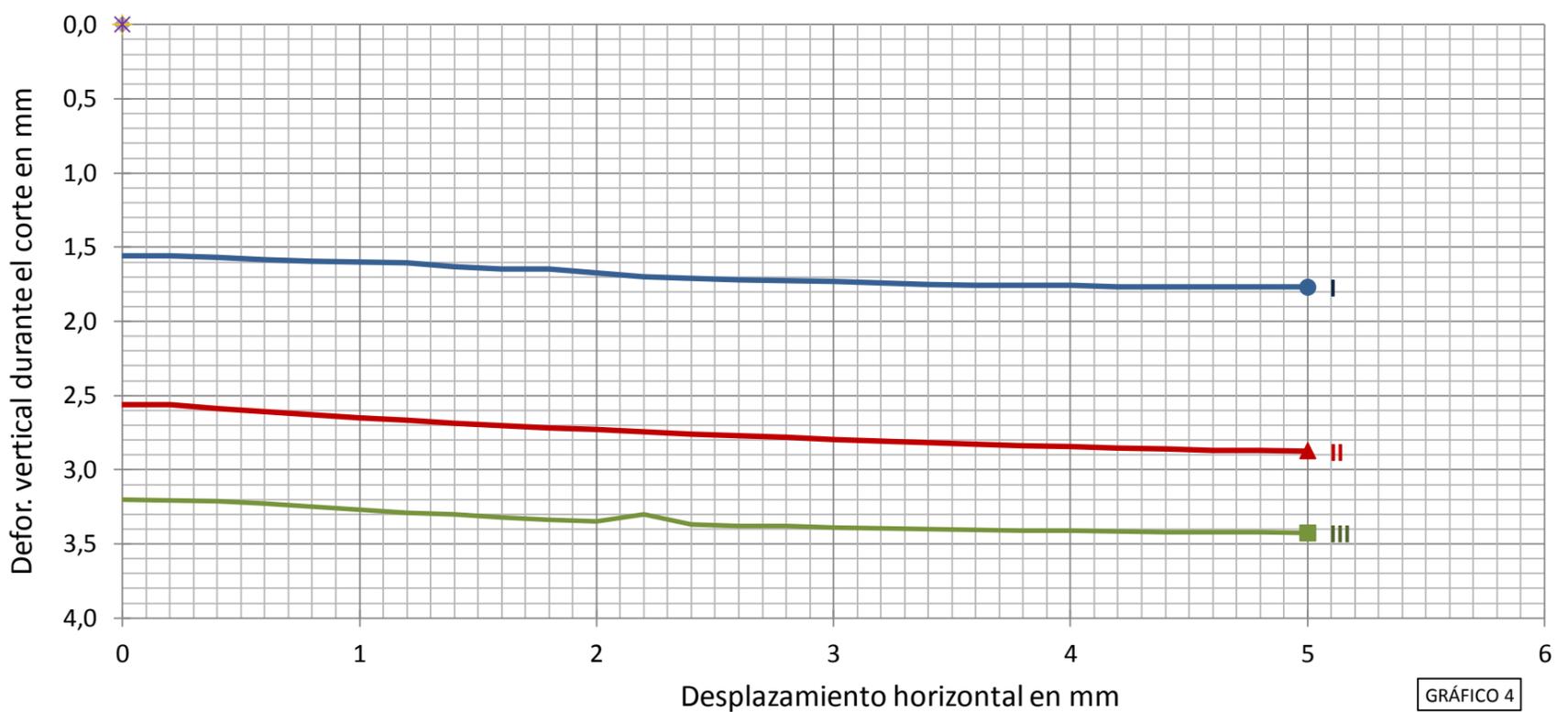


GRÁFICO 4

Informe n°.: CM0016-18-0006  
Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 2 SPT / Prof.: 2-3,5 m

8 / 15

Referencia muestra

**CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS - INV E-151-13 (MÉTODO B)****MM18-0112****Datos del ensayo**

Tipo de anillo empleado	
Altura (cm)	1,994
Diámetro (cm)	5,004
Volumen (cm <sup>3</sup> )	39,22
Peso anillo (g)	85,35
Peso anillo+suelo (g)	165,87
(*) Peso ini. suelo húmedo (g)	80,52
Gravedad esp. part. sól.	2,650
Humedad inicial (%)	24,4
Densidad apar. inicial (Tn/m <sup>3</sup> )	2,053
Densidad seca inicial (Tn/m <sup>3</sup> )	1,650
Grado saturación inicial (%)	100,00
Humedad final (%)	14,9
Densidad apar. final (Tn/m <sup>3</sup> )	2,182
Densidad seca final (Tn/m <sup>3</sup> )	1,899
Grado saturación final (%)	99,84

Nota: Gravedad esp. part. sól. estimada en 2.650

**Resultados**

Relación de vacíos inicial, e <sub>0</sub>	0,6061
Relación de vacíos final, e <sub>f</sub>	0,3960
Altura sólido, H <sub>s</sub> (cm)	1,2415
Altura vacíos final, H <sub>ps</sub> (cm)	0,4916

**Equipos utilizados**

CONSOLIDÓMETRO PROETI 2  
BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
HORNO INGTEST 5054 (CAL. 17-8-16)

**Condiciones del suelo****INALTERADO****Resultados**

Estado de presión kPa	Fecha carga	Tiempo final sg	Asiento instantáneo mm	Lectura t=10 sg mm	L <sub>0</sub> (Mét. Casagrande) mm	Lectura final mm	Altura muestra final cm	Relación de vacíos en L <sub>0</sub> e <sub>L0</sub>	Relación de vacíos final e <sub>f</sub>	Índ. compresión (*) c <sub>c</sub>	Ind. Hinchamiento (*) c <sub>s</sub>	Mód. Edométrico Em kPa	Coef. compresibilidad av 1/kPa	Coef. consolidación cv cm <sup>2</sup> /s	Coef. compresibilidad m <sub>v</sub> 1/kPa
12,5	05-04-18	900	0,051	0,051	0,041	0,070	1,9870	0,6028	0,6005						
25	05-04-18	2.700	0,007	0,095	0,077	0,172	1,9768	0,5999	0,5923	0,0272		2.440	6,56E-04		4,10E-04
50	05-04-18	3.600	0,016	0,213	0,188	0,530	1,9410	0,5910	0,5634	0,0960		1.377	1,16E-03		7,26E-04
100	05-04-18	7.200	0,033	0,617	0,563	1,090	1,8850	0,5608	0,5183	0,1498		1.733	9,02E-04		5,77E-04
200	05-04-18	73.200	0,052	1,186	1,142	1,739	1,8201	0,5141	0,4660	0,1737		2.903	5,23E-04	2,91E-04	3,44E-04
400	06-04-18	174.000	0,032	1,801	1,771	2,280	1,7660	0,4635	0,4225	0,1445		6.740	2,18E-04	1,87E-04	1,48E-04
800	09-04-18	105.900	0,039	2,351	2,319	2,805	1,7135	0,4193	0,3802	0,1405		13.452	1,06E-04	3,61E-04	7,43E-05
200	10-04-18	78.900	-0,042	2,759	2,763	2,731	1,7209	0,3836	0,3861		0,0098	140.359	9,83E-06		7,12E-06
50	11-04-18	25.200	-0,011	2,719	2,720	2,708	1,7232	0,3870	0,3880		0,0032	109.429	1,27E-05		9,14E-06
12,5	11-04-18	73.260	-0,022	2,680	2,686	2,609	1,7331	0,3898	0,3960		0,0133	6.506	2,13E-04		1,54E-04

NOTA: Los índices de compresión (C<sub>c</sub>) y de hinchamiento (C<sub>s</sub>), así como los módulos edométricos (E<sub>m</sub>) y los coeficientes de compresibilidad (a<sub>v</sub>), se estiman entre un escalón de presión y el inmediatamente anterior como primera aproximación, tomando para el cálculo los valores de índice de poros obtenidos al final de los escalones de presión considerados.

**OBSERVACIONES**

Operador: YICELLY VALENCIA

Código: CC-OL-RA-0013 Rv.00

Fecha final ensayo: 12/04/2018



Informe n°.: CM0016-18-0006  
 Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 2 SPT / Prof.: 2-3,5 m

9 / 15

**CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS - INV E-151-13 (MÉTODO B)**

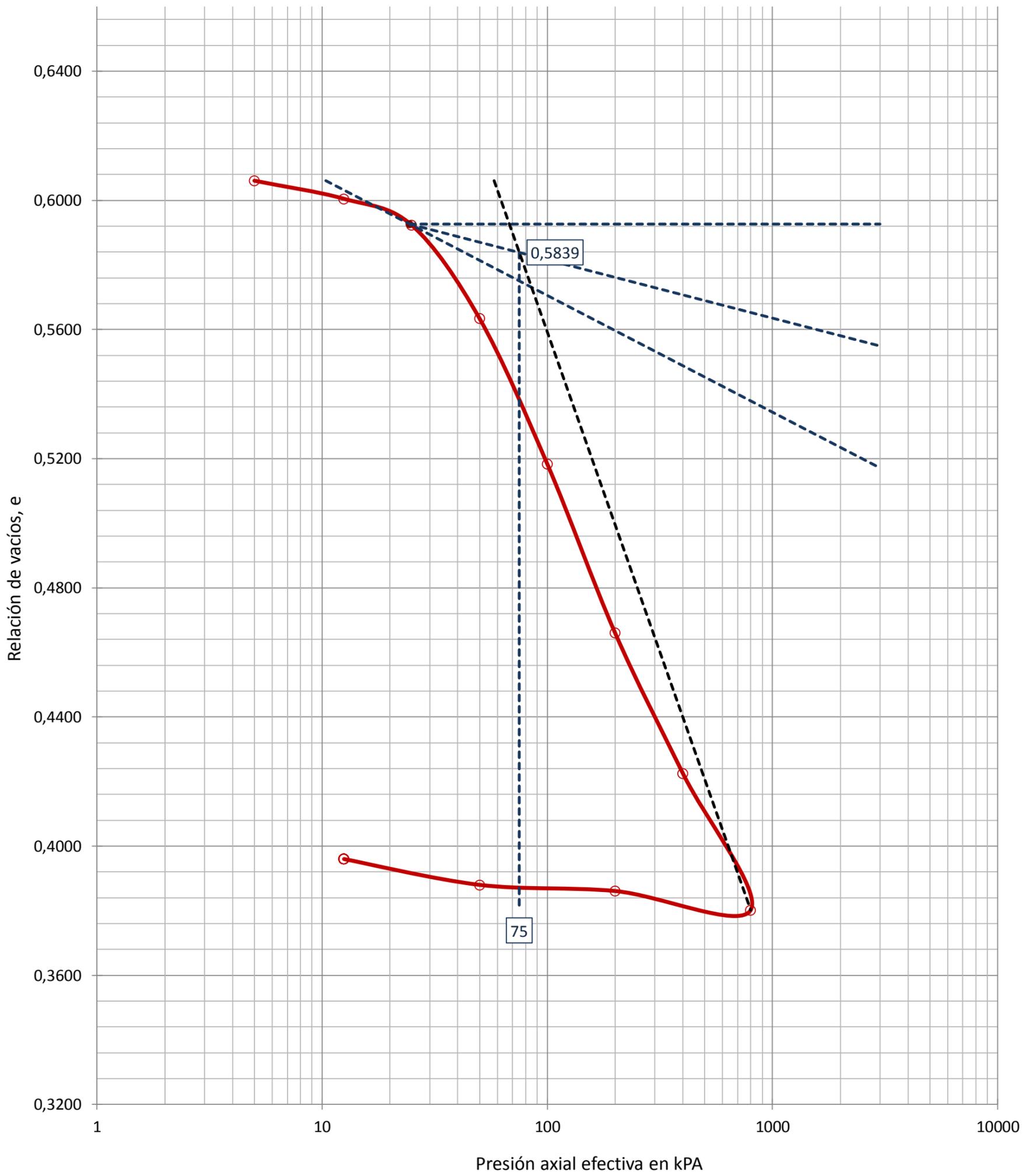
Referencia muestra

**MM18-0112**

**CURVA EDOMÉTRICA**

Relación de vacíos inicial **0,6061**  
 Relación de vacíos final **0,3960**  
 Humedad inicial (%) **24,4**  
 Humedad final (%) **14,9**

P. preconsolidación,  $\sigma'_p$  (kPa) **75**  
 relación de vacíos **0,5839**  
 Método de determinación **Casagrande**  
 Índice de compresión, cc **0,1982**







Informe n°.: CM0016-18-0006  
 Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 2 SPT / Prof.: 2-3,5 m

11 / 15

**CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS - INV E-151-13 (MÉTODO B)**

Referencia muestra

**CURVAS DE CONSOLIDACIÓN**

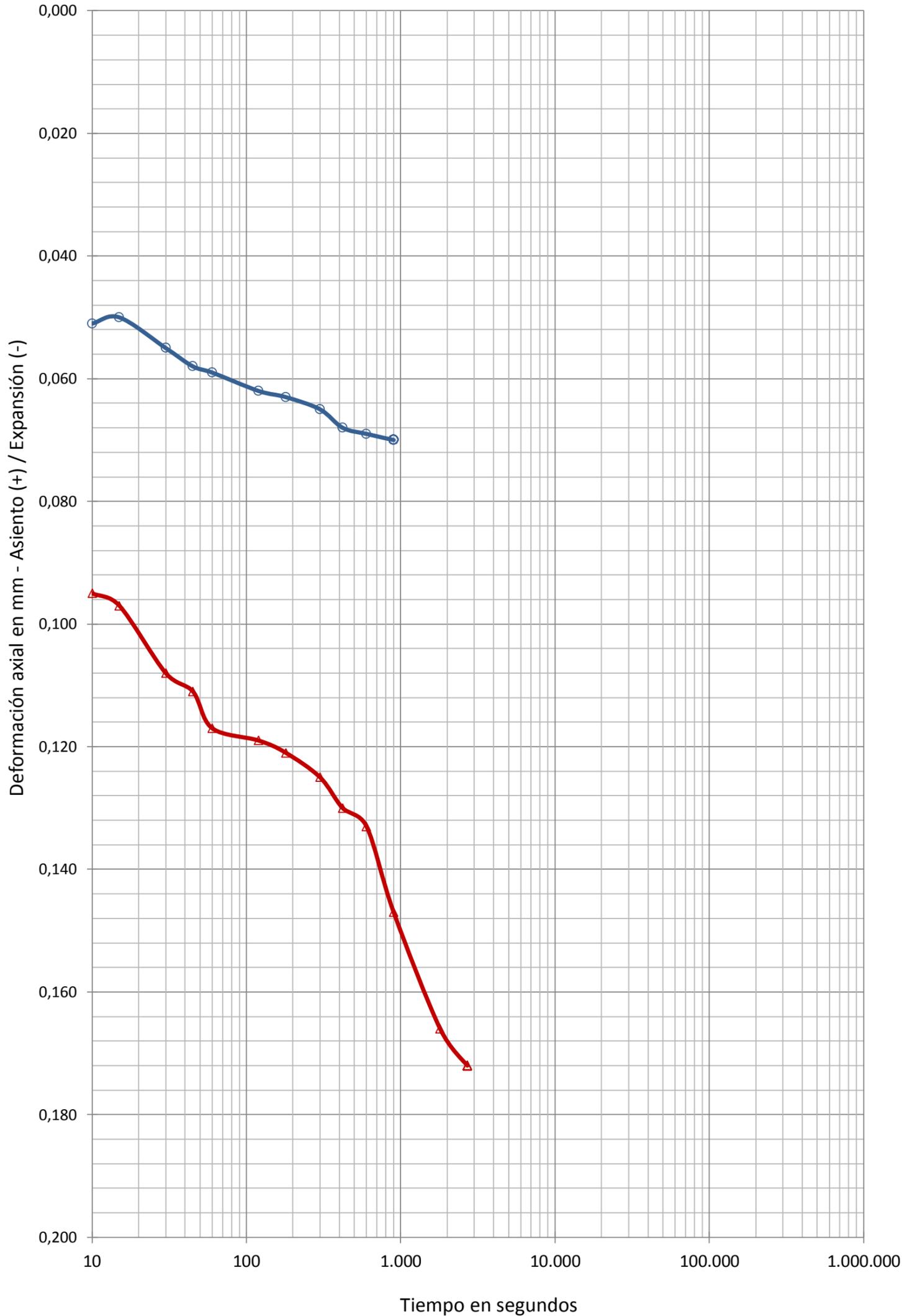
**MM18-0112**

**Estados de presión**

Estado de presión (kPa)	—○—	<b>12,5</b>	—△—	<b>25</b>	Diámetro probeta (cm)	<b>5,004</b>
L0 (método de Casagrande)		<b>0,041</b>		<b>0,077</b>	Altura inicial probeta (cm)	<b>1,994</b>

Fecha	Fecha
05-abr-18	05-abr-18

Presión (kPa)	Presión (kPa)
<b>12,5</b>	<b>25</b>



Lecturas asiento (+)			Rel. vacío	Lecturas asiento (+)			Rel. vacío
sg	mm	e		sg	mm	e	
10	0,051	0,6020		10	0,095	0,5985	
15	0,050	0,6021		15	0,097	0,5983	
30	0,055	0,6017		30	0,108	0,5974	
45	0,058	0,6014		45	0,111	0,5972	
60	0,059	0,6014		60	0,117	0,5967	
120	0,062	0,6011		120	0,119	0,5965	
180	0,063	0,6010		180	0,121	0,5964	
300	0,065	0,6009		300	0,125	0,5961	
420	0,068	0,6008		420	0,130	0,5957	
600	0,069	0,6006		600	0,133	0,5954	
900	0,070	0,6005		900	0,147	0,5943	
				1.800	0,166	0,5928	
				2.700	0,172	0,5923	

Código: CC-OL-RA-0013 Rv.00



Informe n°.: CM0016-18-0006  
Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 2 SPT / Prof.: 2-3,5 m

12 / 15

**CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS - INV E-151-13 (MÉTODO B)**

Referencia muestra

**CURVAS DE CONSOLIDACIÓN**

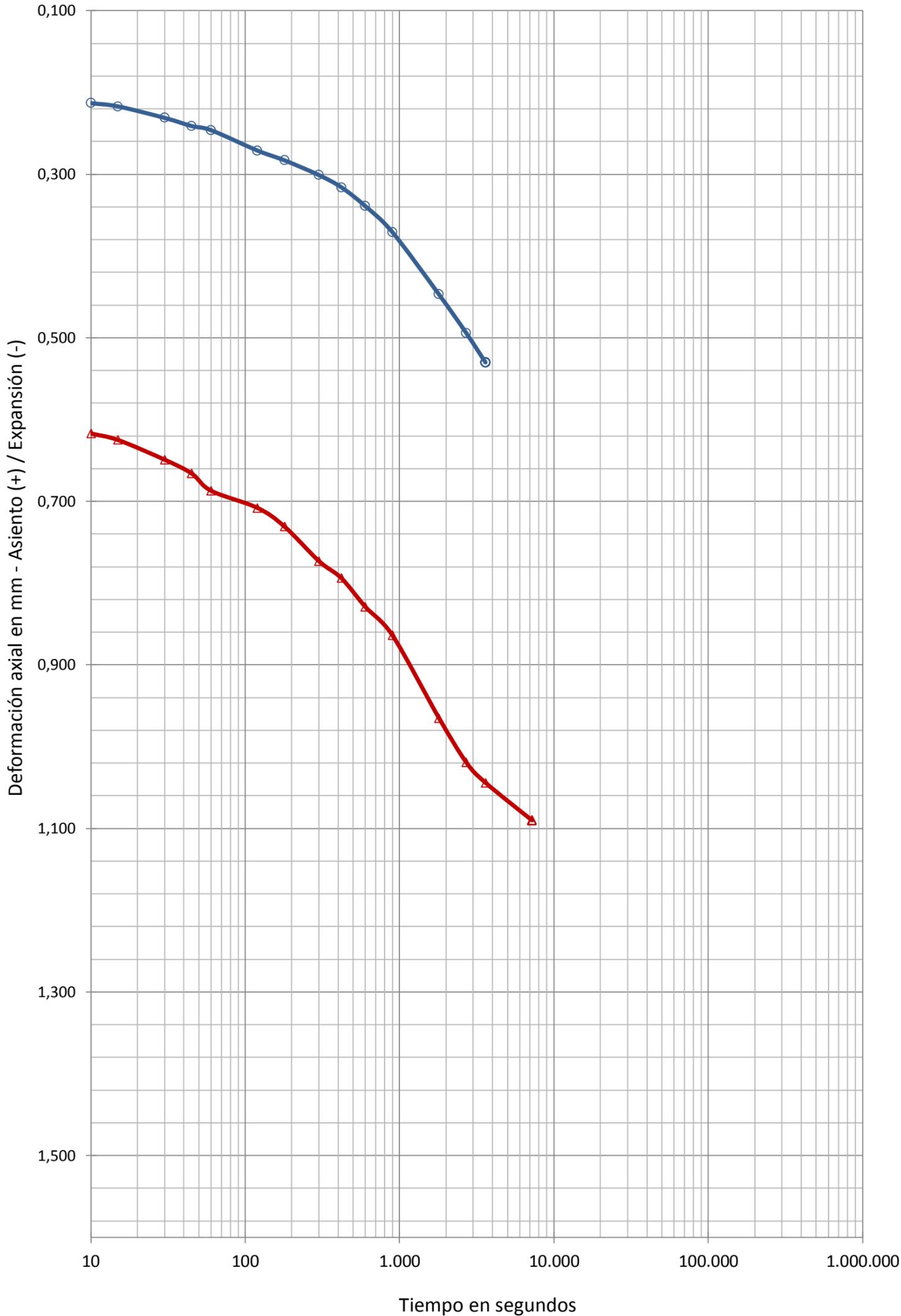
**MM18-0112**

**Estados de presión**

Estado de presión (kPa) ○ 50 △ 100 Diámetro probeta (cm) 5,004  
L0 (método de Casagrande) 0,188 0,563 Altura inicial probeta (cm) 1,994

Fecha	Fecha
05-abr-18	05-abr-18

Presión (kPa)	Presión (kPa)
50	100



Lecturas asiento (+)	Rel. vacío s	Lecturas asiento (+)	Rel. vacío s
sg	mm	sg	mm

0	0,172	0,5923	0	0,530	0,5634
10	0,213	0,5890	10	0,617	0,5564
15	0,217	0,5886	15	0,625	0,5558
30	0,231	0,5875	30	0,649	0,5538
45	0,241	0,5867	45	0,666	0,5525
60	0,246	0,5863	60	0,687	0,5508
120	0,271	0,5843	120	0,708	0,5491
180	0,283	0,5833	180	0,731	0,5472
300	0,301	0,5819	300	0,773	0,5439
420	0,316	0,5807	420	0,794	0,5422
600	0,339	0,5788	600	0,829	0,5393
900	0,371	0,5762	900	0,864	0,5365
1.800	0,447	0,5701	1.800	0,965	0,5284
2.700	0,494	0,5663	2.700	1,019	0,5240
3.600	0,530	0,5634	3.600	1,044	0,5220
			7.200	1,090	0,5183

Código: CC-OL-RA-0013 Rv.00



Informe n°.: CM0016-18-0006  
 Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 2 SPT / Prof.: 2-3,5 m

13 / 15

**CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS - INV E-151-13 (MÉTODO B)**

Referencia muestra

**CURVAS DE CONSOLIDACIÓN**

**MM18-0112**

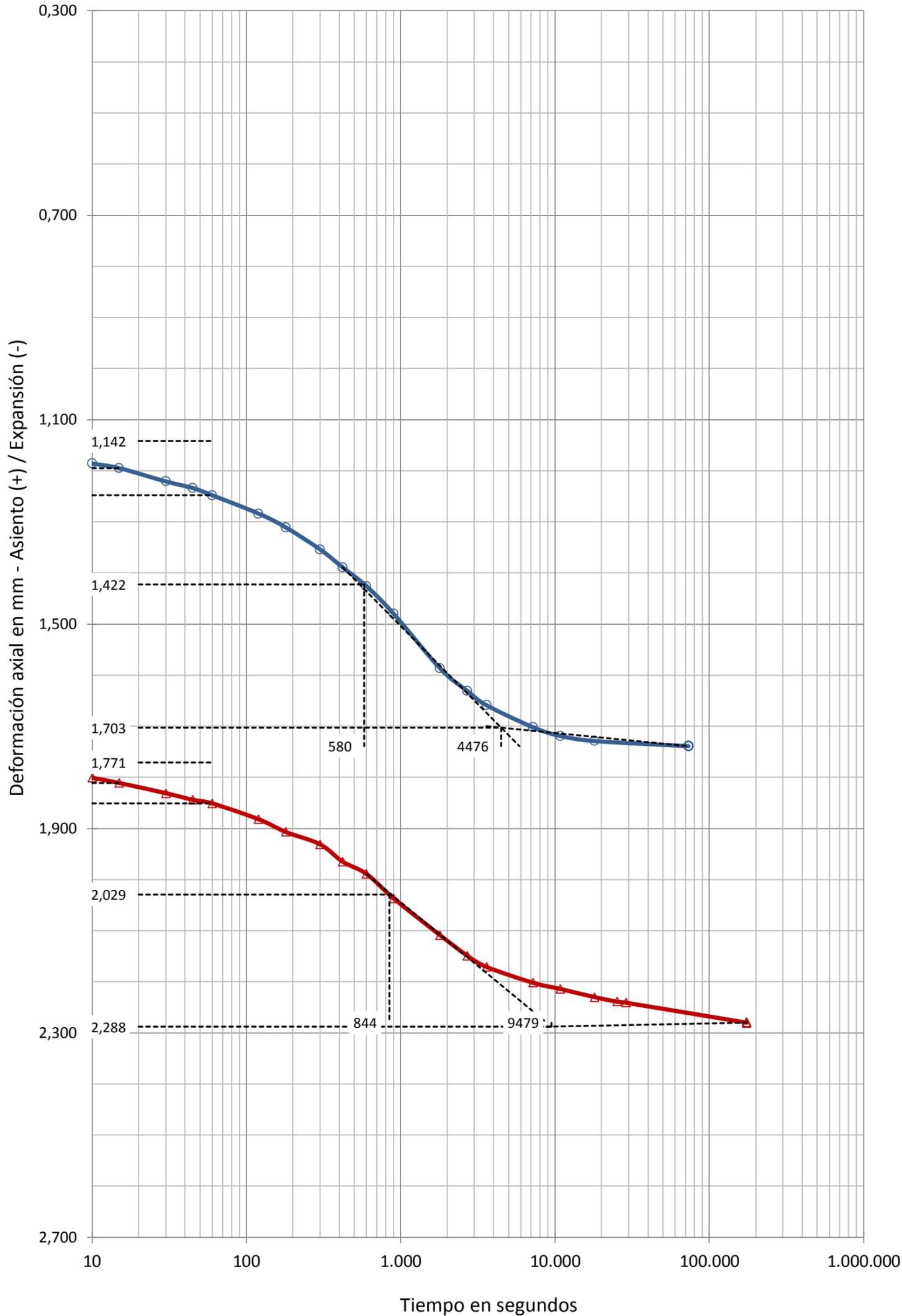
**Estados de presión**

Estado de presión (kPa) —○— **200** —△— **400**  
 L0 (método de Casagrande) —○— **1,142** —△— **1,771**

Diámetro probeta (cm) **5,004**  
 Altura inicial probeta (cm) **1,994**

Fecha	Fecha
05-abr-18	06-abr-18

Presión (kPa)	Presión (kPa)
<b>200</b>	<b>400</b>



Lecturas asiento (+)	Rel. vacíos	Lecturas asiento (+)	Rel. vacíos
sg	mm e	sg	mm e

0	1,090	0,5183	0	1,739	0,4660
10	1,186	0,5106	10	1,801	0,4611
15	1,195	0,5099	15	1,811	0,4602
30	1,221	0,5078	30	1,831	0,4586
45	1,234	0,5067	45	1,844	0,4576
60	1,248	0,5056	60	1,851	0,4570
120	1,284	0,5027	120	1,882	0,4545
180	1,311	0,5005	180	1,907	0,4525
300	1,354	0,4971	300	1,931	0,4506
420	1,389	0,4942	420	1,965	0,4478
600	1,426	0,4913	600	1,989	0,4459
900	1,480	0,4869	900	2,037	0,4420
1.800	1,587	0,4783	1.800	2,109	0,4362
2.700	1,631	0,4747	2.700	2,149	0,4330
3.600	1,659	0,4725	3.600	2,171	0,4313
7.200	1,702	0,4690	7.200	2,202	0,4288
10.800	1,719	0,4677	10.800	2,214	0,4278
18.000	1,729	0,4669	18.000	2,230	0,4265
73.200	1,739	0,4660	25.200	2,239	0,4258
			28.800	2,241	0,4256
			174.000	2,280	0,4225

Código: CC-OL-RA-0013 Rv.00



Informe n°.: CM0016-18-0006  
 Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 2 SPT / Prof.: 2-3,5 m

14 / 15

**CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS - INV E-151-13 (MÉTODO B)**

Referencia muestra

**CURVAS DE CONSOLIDACIÓN**

**MM18-0112**

**Estados de presión**

Estado de presión (kPa) —○— **800** —△— **200**      Diámetro probeta (cm) **5,004**  
 L0 (método de Casagrande) **2,319** **2,763**      Altura inicial probeta (cm) **1,994**

Fecha      Fecha

09-abr-18      10-abr-18

Presión (kPa)      Presión (kPa)

**800**      **200**

Lecturas      Rel.      Lecturas      Rel.  
 asiento (+)      vacío      asiento (+)      vacío

sg      mm      e      sg      mm      e

0      2,280      0,4225      0      2,805      0,3802

10      2,351      0,4168      10      2,759      0,3839

15      2,366      0,4155      15      2,757      0,3841

30      2,388      0,4138      30      2,752      0,3845

45      2,401      0,4127      45      2,751      0,3845

60      2,413      0,4118      60      2,751      0,3845

120      2,449      0,4089      120      2,747      0,3849

180      2,471      0,4071      180      2,745      0,3850

300      2,498      0,4049      300      2,743      0,3852

420      2,543      0,4013      420      2,743      0,3852

600      2,562      0,3998      600      2,741      0,3853

900      2,594      0,3972      900      2,741      0,3853

1.800      2,676      0,3906      1.800      2,740      0,3854

2.700      2,701      0,3886      2.700      2,739      0,3855

3.600      2,707      0,3881      3.600      2,739      0,3855

7.200      2,744      0,3851      7.200      2,737      0,3857

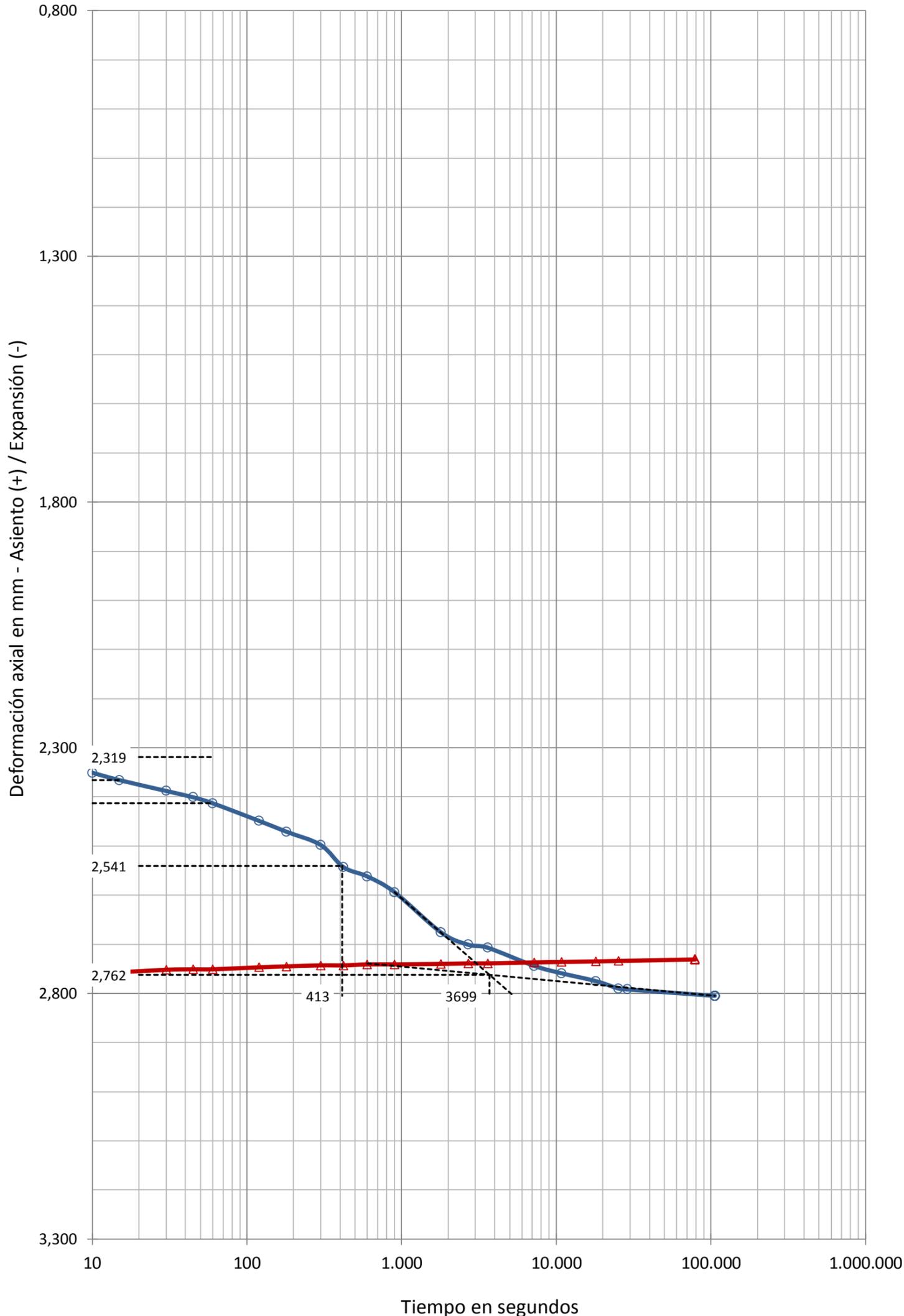
10.800      2,759      0,3839      10.800      2,736      0,3857

18.000      2,775      0,3826      18.000      2,735      0,3858

25.200      2,790      0,3814      25.200      2,734      0,3859

28.800      2,792      0,3812      28.800      2,731      0,3861

105.900      2,805      0,3802



Código: CC-OL-RA-0013 Rv.00



Informe n°.: CM0016-18-0006  
 Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 2 SPT / Prof.: 2-3,5 m

15 / 15

**CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS - INV E-151-13 (MÉTODO B)**

Referencia muestra

**CURVAS DE CONSOLIDACIÓN**

**MM18-0112**

**Estados de presión**

Estado de presión (kPa) —○— 50 —△— 12,5 Diámetro probeta (cm) 5,004  
 L0 (método de Casagrande) 2,720 2,686 Altura inicial probeta (cm) 1,994

Fecha Fecha

11-abr-18 11-abr-18

Presión (kPa) Presión (kPa)

50 12,5

Lecturas Rel. Lecturas Rel.  
 asiento (+) vacío asiento (+) vacío

sg mm e sg mm e

0 2,731:0,3861 0 2,708:0,3880

10 2,719:0,3871 10 2,680:0,3903

15 2,719:0,3871 15 2,679:0,3903

30 2,718:0,3872 30 2,676:0,3906

45 2,718:0,3872 45 2,674:0,3907

60 2,718:0,3872 60 2,672:0,3909

120 2,716:0,3874 120 2,670:0,3911

180 2,716:0,3874 180 2,667:0,3913

300 2,714:0,3875 300 2,662:0,3917

420 2,714:0,3875 420 2,660:0,3919

600 2,713:0,3876 600 2,656:0,3922

900 2,712:0,3877 900 2,654:0,3923

1.800 2,710:0,3878 1.800 2,641:0,3934

2.700 2,711:0,3878 2.700 2,637:0,3937

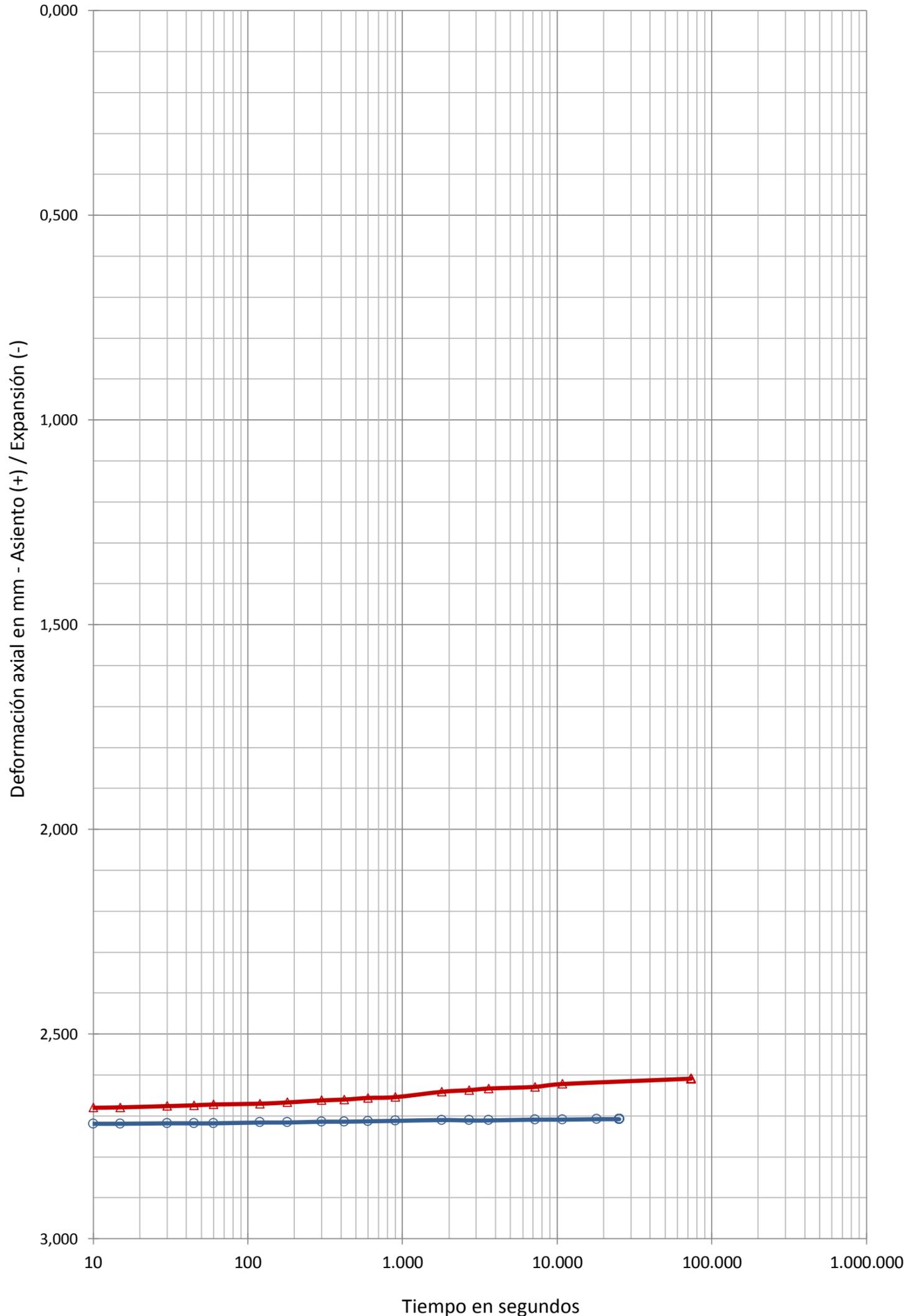
3.600 2,711:0,3878 3.600 2,633:0,3940

7.200 2,709:0,3879 7.200 2,629:0,3944

10.800 2,709:0,3879 10.800 2,622:0,3949

18.000 2,708:0,3880 73.260 2,609:0,3960

25.200 2,708:0,3880



Código: CC-OL-RA-0013 Rv.00

Informe n°.: CM0016-18-0006  
Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 2 SPT / Prof.: 3,5-4,5 m

1 / 3

## APERTURA, DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS - INV E-102-13 / INV E-180-13 / INV E-181-13

Muestra referencia

MM18-0113

Código: CC-OL-RA-0001 Rv.00

**Datos generales**

Peticionario  
Cliente  
Proyecto

SOLUM CONSTRUCCIONES SAS  
PROYECTO SANTA MONICA - CALI P2

**Datos de la muestra**

Referencia cliente  
Situación

P - 2

Profundidad sup., m  
Profundidad inf., m  
Tipo de muestra  
Diámetro, cm  
Longitud, cm  
Fecha de toma  
Fecha de recepción

3,5  
4,5  
SPT  
3-4-18

**Datos de la apertura y preparación**

Fecha de apertura  
Operador  
Medio de apertura  
Almacenamiento  
Entorno de ensayo

26-3-18  
VERONICA TERMAL  
MANUAL  
LABORATORIO  
LAB. GEOTECNIA

**Tipo de suelo**

Clasificación USCS  
  
Clasific. AASHTO

**Descripción de la muestra**

Litología	Prof. m	Observaciones P- penetrómetro V- vane-test (kPa)
LIMO ARENOSO, COLOR CAFÉ.	3,5	
	4,5	

**ENSAYOS REALIZADOS**

COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS - INV E-152-13

**OBSERVACIONES**

Informe n°.: CM0016-18-0006  
Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 2 SPT / Prof.: 3,5-4,5 m

2 / 3

Muestra referencia

**ANEXO FOTOGRÁFICO -**

**MM18-0113**



OBSERVACIONES:

Informe n°.: CM0016-18-0006  
 Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 2 SPT / Prof.: 3,5-4,5 m

3 / 3

Referencia muestra

**COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS - INV E-152-13**

**MM18-0113**

**Equipos utilizados**

PRENSA PROETI S0358 UNITRONIC, 50 KN (CAL. 12-10-15)  
 BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
 HORNO INGATEST 5054 (CAL. 17-8-16)  
 EXTRACTOR DE MUESTRAS SDE MANUAL

**Condiciones del suelo**

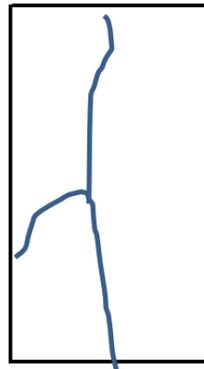
**INALTERADO**

**Datos de la probeta ensayada**

Tallada a partir de bloque  
 Diámetro (cm) 7,730  
 Altura (cm) 15,172  
 Relación altura/diámetro 2,0  
 Sección (cm<sup>2</sup>) 46,93  
 Volumen (cm<sup>3</sup>) 712,02  
 Peso húmedo (g) 1443,34  
 Densidad aparente (Tn/m<sup>3</sup>) 2,027  
 Densidad seca (Tn/m<sup>3</sup>) 1,689  
 Humedad inicial (%) 20,0  
 Humedad después rotura (%)  
 Grado de saturación (%) 93,15

Nota: gravedad específica part. sól. estimada en 2.650

**Forma rotura**



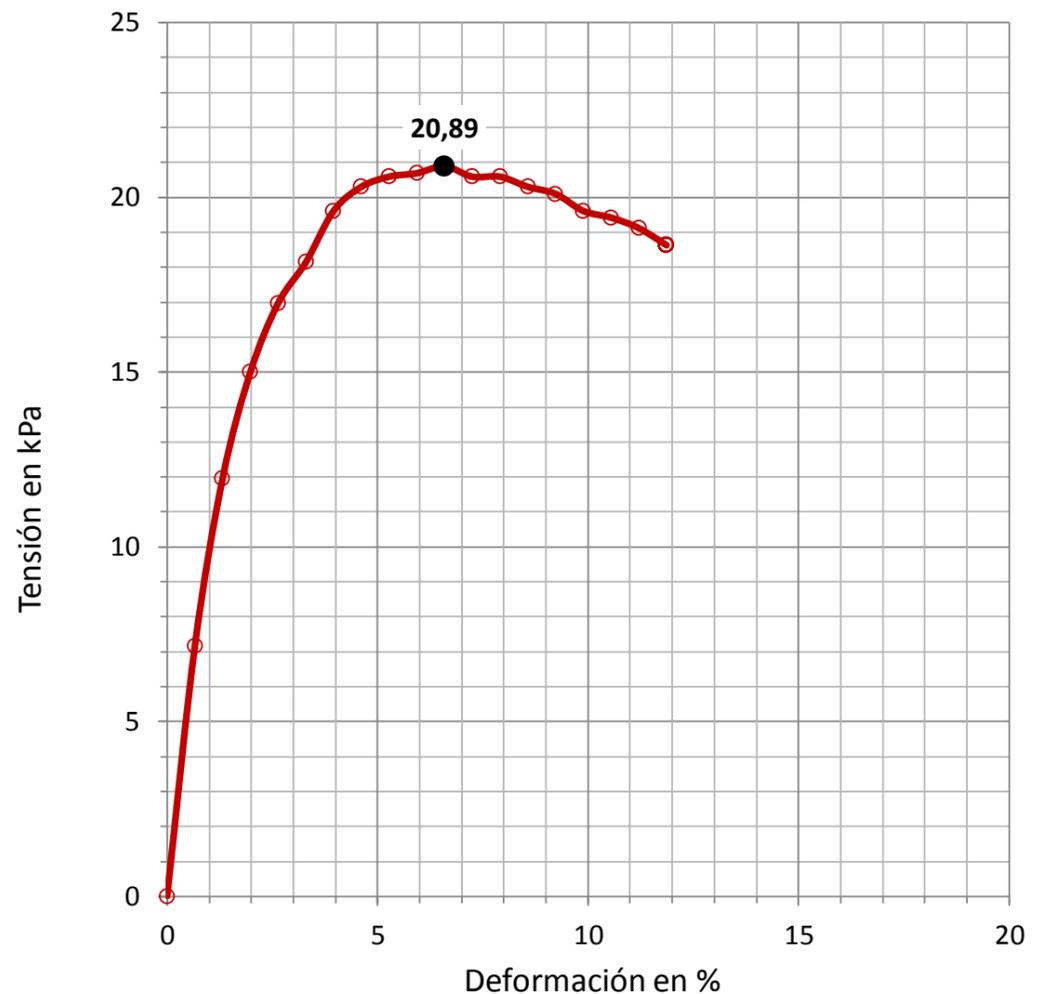
**Datos del proceso de rotura**

Velocidad de deformación (mm/min) 2,0  
 Velocidad de deformación (%/min) 1,3

Tiempo sg	Carga axial kN	Tensión correg. kp/cm <sup>2</sup>	Tensión correg. kPa	Deformación %	Deformación mm
0	0,0000	0,000	0,00	0,00	0,00
30	0,0340	0,073	7,16	0,66	1,00
60	0,0570	0,122	11,96	1,32	2,00
90	0,0720	0,153	15,00	1,98	3,00
120	0,0820	0,173	16,97	2,64	4,00
150	0,0880	0,185	18,14	3,30	5,00
180	0,0960	0,200	19,61	3,95	6,00
210	0,1000	0,207	20,30	4,61	7,00
240	0,1020	0,210	20,59	5,27	8,00
270	0,1030	0,211	20,69	5,93	9,00
300	0,1050	0,213	20,89	6,59	10,00
330	0,1040	0,210	20,59	7,25	11,00
360	0,1050	0,210	20,59	7,91	12,00
390	0,1040	0,207	20,30	8,57	13,00
420	0,1040	0,205	20,10	9,23	14,00
450	0,1020	0,200	19,61	9,89	15,00
480	0,1020	0,198	19,42	10,55	16,00
510	0,1010	0,195	19,12	11,20	17,00
540	0,0990	0,190	18,63	11,86	18,00

**Resultados**

Resistencia a compresión inconfiada, qu (kPa) **20,89**  
 Resistencia al corte, su (kPa) **10,45**  
 Deformación (%) **6,59**  
 Resistencia a compresión inconfiada, qu (kg/cm<sup>2</sup>) **0,213**  
 Resistencia al corte, su (kg/cm<sup>2</sup>) **0,107**



**OBSERVACIONES**

NO SE HA PODIDO DAR A LA PROBETA LA RELACIÓN DE ALTURA/DIÁMETRO INDICADA EN LA NORMA DE ENSAYO (2.5 > h/d > 2)

Informe n°.: CM0016-18-0006  
Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 2 BOLSA / Prof.: 5,5-6,5 m

1 / 7

## APERTURA, DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS - INV E-102-13 / INV E-180-13 / INV E-181-13

Muestra referencia

MM18-0114

Código: CC-OL-RA-0001 Rv.00

### Datos generales

Peticionario  
Cliente  
Proyecto

SOLUM CONSTRUCCIONES SAS  
PROYECTO SANTA MONICA - CALI P2

### Datos de la muestra

Referencia cliente  
Situación

P - 2

Profundidad sup., m  
Profundidad inf., m  
Tipo de muestra  
Diámetro, cm  
Longitud, cm  
Fecha de toma  
Fecha de recepción

5,5  
6,5  
BOLSA

### Datos de la apertura y preparación

Fecha de apertura  
Operador  
Medio de apertura  
Almacenamiento  
Entorno de ensayo

26-3-18  
VERONICA TERMAL  
MANUAL  
LABORATORIO  
LAB. GEOTECNIA

### Tipo de suelo

Clasificación USCS  
Litología grupo USCS  
Clasific. AASHTO

CL  
ARCILLA DE BAJA COMPRESIBILIDAD  
A-6 (9)

### Descripción de la muestra

Litología	Prof. m	Observaciones P- penetrómetro V- vane-test (kPa)
ARCILLA CON BASTANTE ARENA, COLOR CAFÉ ROJIZO. CON ZONAS BEIGE.	5,5	
	6,5	

### ENSAYOS REALIZADOS

CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13  
DENSIDAD Y PESO UNITARIO. MÉTODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA - UNE 103301/94  
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13  
LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS - INV E-125-13 - INV E-126-13  
ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN MUESTRAS DE SUELO, CD - INV E-154-13

### OBSERVACIONES

Informe n°.: CM0016-18-0006  
Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 2 BOLSA / Prof.: 5,5-6,5 m

2 / 7

Muestra referencia

**ANEXO FOTOGRÁFICO -**

**MM18-0114**



OBSERVACIONES:

Informe n°.: CM0016-18-0006  
Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 2 BOLSA / Prof.: 5,5-6,5 m

3 / 7

**CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13**  
**DENSIDAD Y PESO UNITARIO. MÉTODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA - UNE 103301/94**

Referencia muestra

**MM18-0114****Equipos utilizados**

BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)

**Temperatura de secado (°C)** 110

**Datos del ensayo de humedad**

Tara (g)	32,00
Tara + suelo + agua (g)	102,85
Tara + suelo (g)	85,93
Agua (g)	16,92
Suelo (g)	53,93
Humedad, w (%)	31,4

**Operador:** VERONICA TERMAL  
**Fecha final ensayo:** 27/03/2018

**Resultados**

<b>Contenido de humedad, w (%)</b>	<b>31,4</b>
------------------------------------	-------------

**Equipos utilizados**

BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)

(\*) Densidad de la parafina = 0,9 Tn/m<sup>3</sup>

**Datos del ensayo densidad**

Peso suelo (g)	123,94
Peso suelo+parafina (g)	129,72
Peso parafina (g)	5,78
Peso en agua (g)	59,44
Volumen parafina (cm <sup>3</sup> )	6,42
Volumen suelo+parafina (cm <sup>3</sup> )	70,28

**Operador:** YICELLY VALENCIA  
**Fecha final ensayo:** 27/03/2018

Volumen suelo (cm <sup>3</sup> )	63,86
Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	1,941
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	1,477

**Resultados**

<b>Densidad aparente (Tn/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1,941</b>
<b>Densidad seca (Tn/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1,477</b>
<b>Peso unitario aparente (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>19,03</b>
<b>Peso unitario seco (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>14,48</b>

OBSERVACIONES



Informe n°.: CM0016-18-0006  
 Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 2 BOLSA / Prof.: 5,5-6,5 m

4 / 7

Referencia muestra

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13**

**MM18-0114**

**Equipos utilizados**

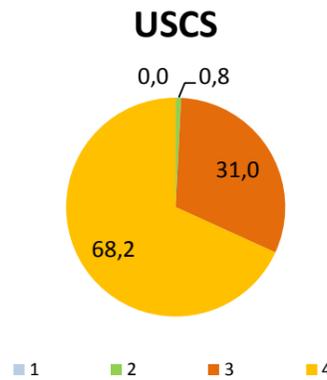
SERIE DE TAMICES PINZUAR  
 BALANZA RADWAG PS4500.R1  
 HORNO DE DESECACIÓN PROETI P0203

**Cálculos previos**

Temperatura de secado previo (°C)	110
Muestra total seca (g)	238,13
M. >19 mm (3/4"), total lav. y seca (g)	0,00
M. <19 mm (3/4"), seca ensay. (g)	238,13
M. 19-2 mm (3/4"-N°10), lavada y seca (g)	5,01
M. 19-2 mm (3/4"-N°10), total lav. y seca (g)	5,01
M. >2 mm (N°10), lavada y seca (g)	5,01
M. <2 mm (N°10), ensay. seca (g)	233,12
M. <2 mm (N°10), ensayada y seca (g)	233,12
M. <2 mm (N°10), total y seca (g)	233,12
Muestra total seca (g)	238,13
Humedad higrosc., % (fracción <2 mm, N°10)	0,0
Factor corr., f (fracción <2 mm, N°10)	1,0000

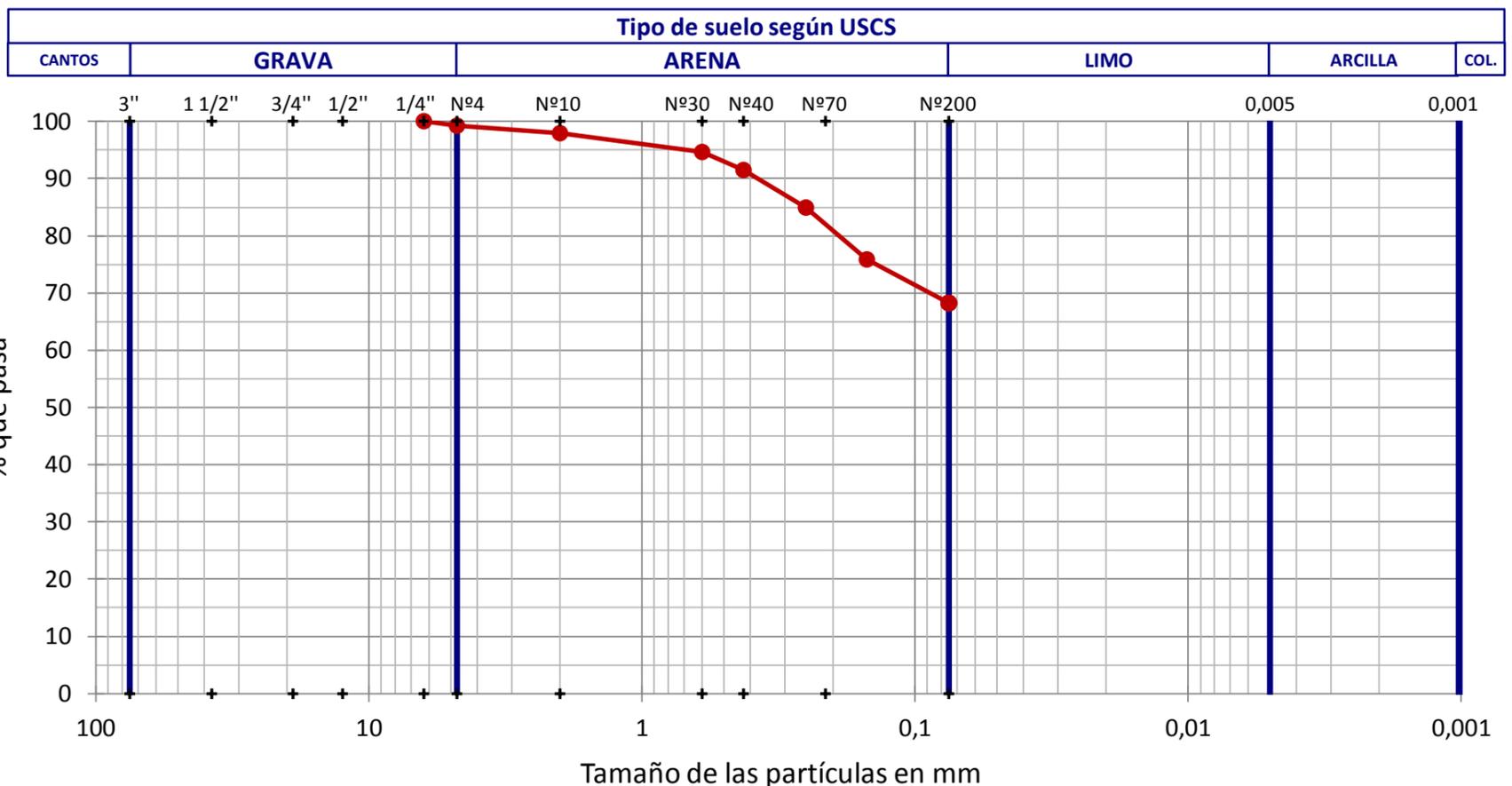
**Resultados**

N°	Abertura mm	Retenido tamices		Pasa muestra total		
		Parcial g	Total g	Total %	g	%
1/4"	6,3		0,00	0,0	238,13	100,0
N°4	4,75		1,84	0,8	236,29	99,2
N°10	2		3,17	2,1	233,12	97,9
N°30	0,6		7,72	5,3	225,40	94,7
N°40	0,425		7,47	8,5	217,93	91,5
N°60	0,25		15,49	15,0	202,44	85,0
N°100	0,15		21,72	24,1	180,72	75,9
N°200	0,075		18,35	31,8	162,37	68,2



**Tipo de suelo según USCS**

% CANTOS > 75 mm	% GRAVA 75-4,75 mm	% ARENA 4,75-0,075 mm	% FINOS <0,075 mm
0,0	0,8	31,0	68,2
	% Grava gruesa 75-19 mm: 0,0	% Arena gruesa 4,75-2 mm: 1,3	
	% Grava fina 19-4,75 mm: 0,8	% Arena media 2-0,425 mm: 6,4	
		% Arena fina 0,425-0,075 mm: 23,3	



**OBSERVACIONES**



Informe n°:	CM0016-18-0006
Fecha edición:	05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 2 BOLSA / Prof.: 5,5-6,5 m

5 / 7

**LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS - INV E-125-13 - INV E-126-13**

Referencia muestra

**MM18-0114**

Datos Límite Líquido				
Número de golpes	35	25	15	
Agua (g)	3,79	3,36	4,02	
Tara+Suelo+Agua (g)	30,54	27,78	27,77	
Tara+Suelo (g)	26,75	24,42	23,75	
Tara (g)	15,03	14,44	12,45	
Suelo (g)	11,72	9,98	11,30	
Humedad (%)	<b>32,3</b>	<b>33,7</b>	<b>35,6</b>	

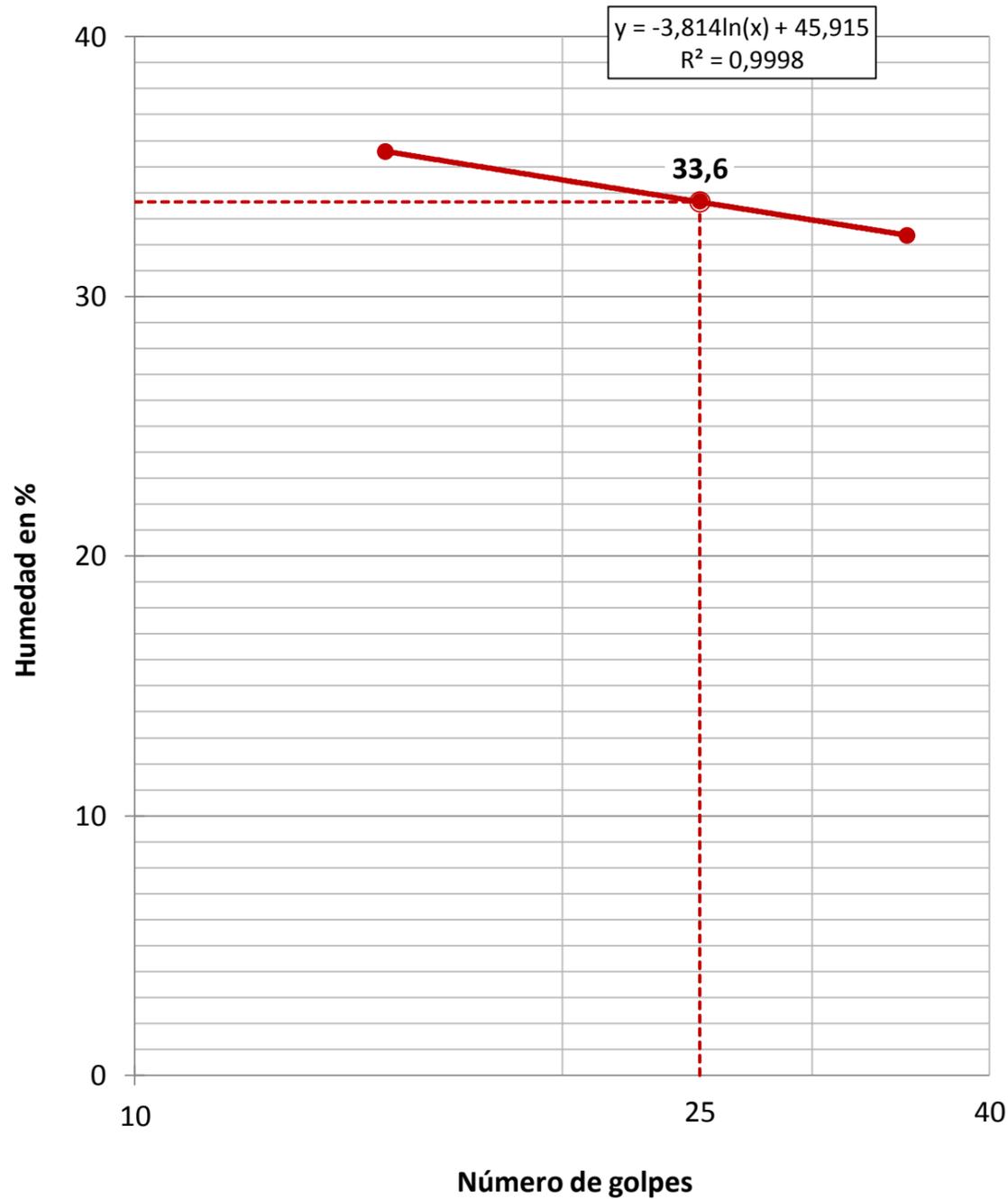
Equipos utilizados	
APARATO DE LÍMITE LIQUIDO MANUAL SDE EM-0251	
BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)	
HORNO INGATEST 5054 (CAL. 17-8-16)	

Condiciones de ensayo	
Temp. de secado previo (°C)	AL AIRE

Datos Límite Plástico				
Agua (g)	1,21	1,32		
Tara+Suelo+Agua (g)	21,68	22,67		
Tara+Suelo (g)	20,47	21,35		
Tara (g)	13,81	14,03		
Suelo (g)	6,66	7,32		
Humedad (%)	<b>18,2</b>	<b>18,0</b>		
Variación entre puntos (%)	0,4	0,4		

Resultados	
Límite Líquido, LL (%)	<b>33,6</b>
Límite Plástico, LP (%)	<b>18,1</b>
Índice de Plasticidad, IP (%)	<b>15,5</b>

Humedad Natural, w (%)	31,4
Índice de Líquidez, IL	0,9
Índice de Consistencia, IC	0,1



OBSERVACIONES



Informe n°.: CM0016-18-0006  
 Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 2 BOLSA / Prof.: 5,5-6,5 m

6 / 7

Referencia muestra

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN MUESTRAS DE SUELO - INV E-154-13**

**MM18-0114**

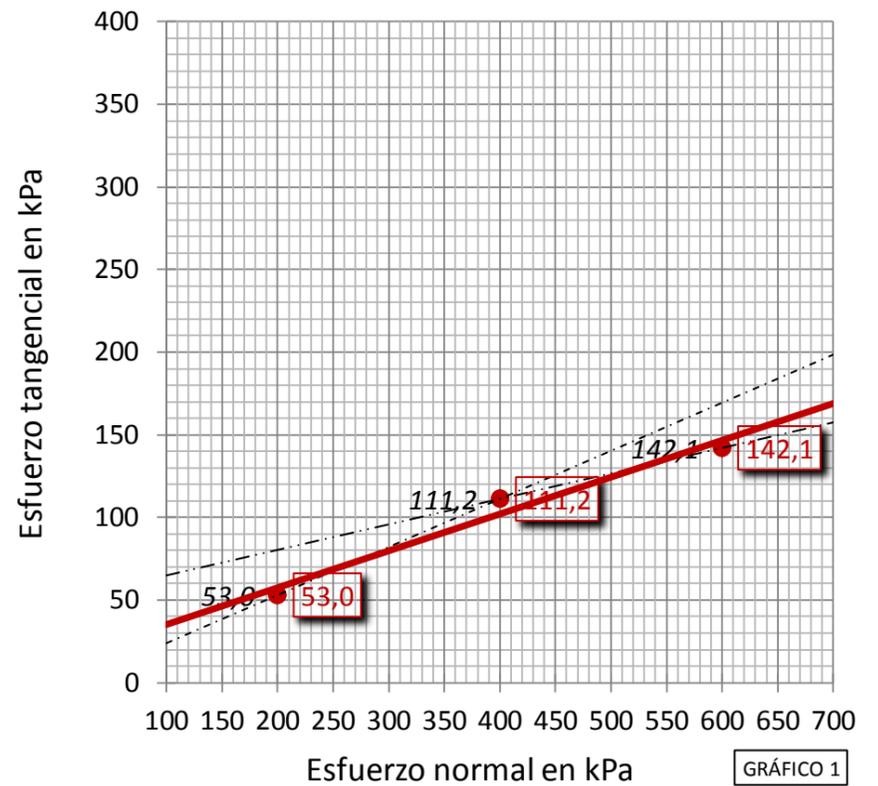
Tipo de ensayo **CD** Condiciones del suelo **INALTERADO**

**Equipos utilizados**  
 APARATO DE CORTE DIRECTO PROETI S0125 - 3 KN  
 CAJA DE CORTE CIRCULAR  
 BALANZA RADWAG PS4500.R1  
 HORNO DE DESECACIÓN PROETI P0203

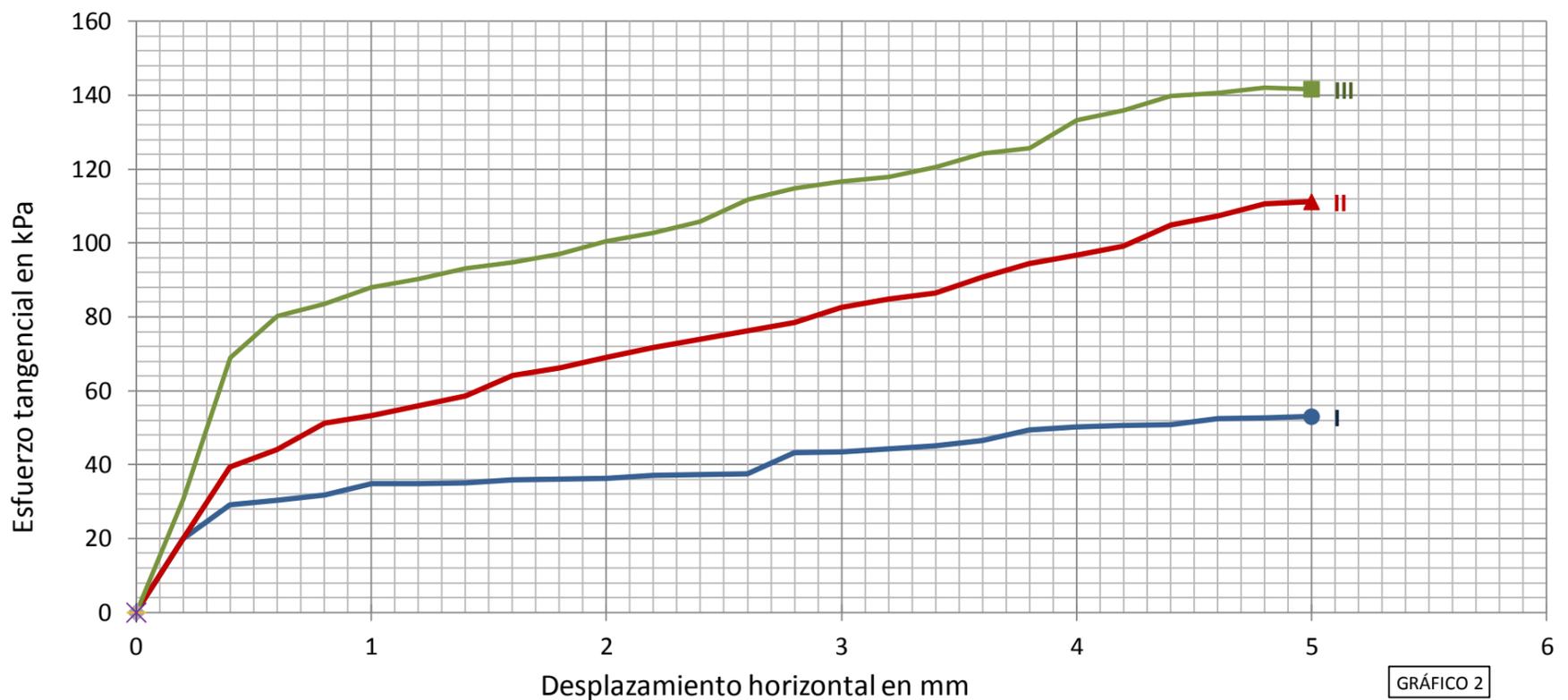
**Condiciones ensayo**  
 Suelo sumergido SI  
 Saturación previa NO  
 Consolid. previa SI  
 Rotura drenada SI  
 Parám. residuales NO

**Símbolos en gráficos 2 a 4 (tens. normal, kPa)**  
 ● 200 ▲ 400 ■ 600

Datos del ensayo	200	400	600
Tensión normal (kPa)	200	400	600
Área inicial (cm <sup>2</sup> )	19,604	19,604	19,604
Área final corr. (cm <sup>2</sup> ) (*)	17,110	17,110	17,110
Volumen inicial (cm <sup>3</sup> )	36,95	36,95	36,95
Humedad inicial (%)	26,0	26,0	26,0
Humedad final (%)	24,0	23,5	23,0
Dens. apar. ini. (Tn/m <sup>3</sup> )	1,983	1,998	1,992
Dens. seca ini. (Tn/m <sup>3</sup> )	1,574	1,586	1,581
Consolid. previa (mm)	1,000	2,670	3,325
Consolid. final (mm)	1,455	3,024	3,551
Índ. poros inicial	0,6836	0,6709	0,6762
Í. poros final cons. previa	0,5943	0,4342	0,3805
Í. poros final ensayo	0,5536	0,4028	0,3604
Grado satur. ini. (%)	100,00	100,00	100,00
Grado satur. final ens. (%)	100,00	100,00	100,00
Esfuerzo tang. máx. (kPa)	53,0	111,2	142,1
Esfuerzo tang. adop. (kPa)	53,0	111,2	142,1
Veloc. Horizontal (mm/min)	0,08300	0,08300	0,08300
Gravedad específica part. sólidas	2.650 (estimada)		



Símbolos en gráfico 1	● 142,063	◆ 142,063	---	---	○
Resultados	INTERPRETACIÓN LABORATORIO	ESTIMACIÓN CON ESFUERZOS MÁXIMOS	ESTIMACIÓN ENTRE PUNTOS 1 Y 2	ESTIMACIÓN ENTRE PUNTOS 2 Y 3	PARÁMETROS RESIDUALES
Áng. fricción int. (°)	12,6	12,6	16,2	8,8	
Cohesión (kPa)	13,1	13,1	0,0	49,5	
(kp/cm <sup>2</sup> )	0,13	0,13	0,00	0,50	



**OBSERVACIONES**

Operador: VERONICA TERMAL

Código: CC-COL-RA-0015 Rv.00

Fecha final ensayo: 02/04/2018

Informe n°.: CM0016-18-0006  
 Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 2 BOLSA / Prof.: 5,5-6,5 m

7 / 7

Referencia muestra

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN MUESTRAS DE SUELO - INV E-154-13**

**MM18-0114**

**Curvas de consolidación**

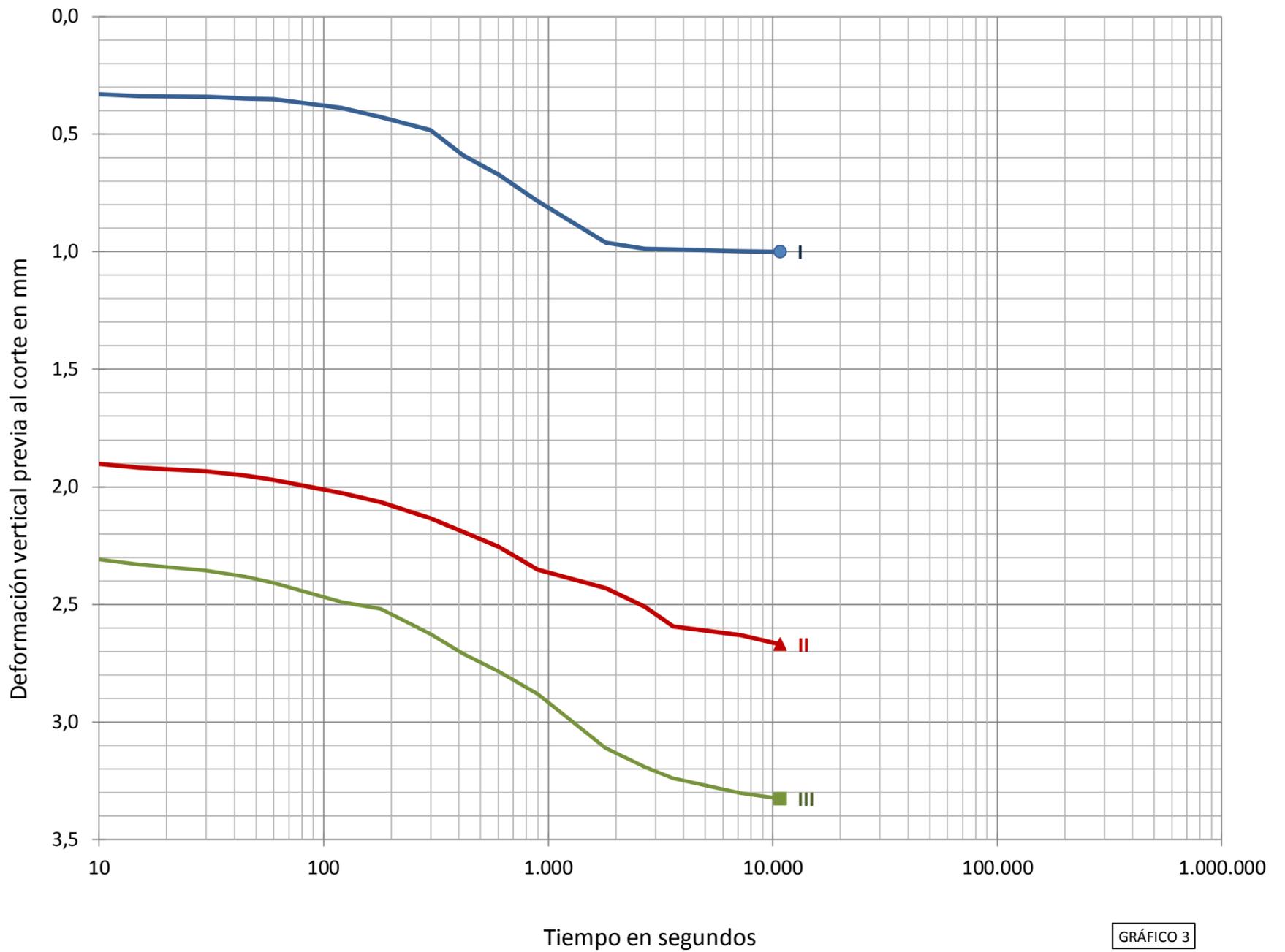


GRÁFICO 3

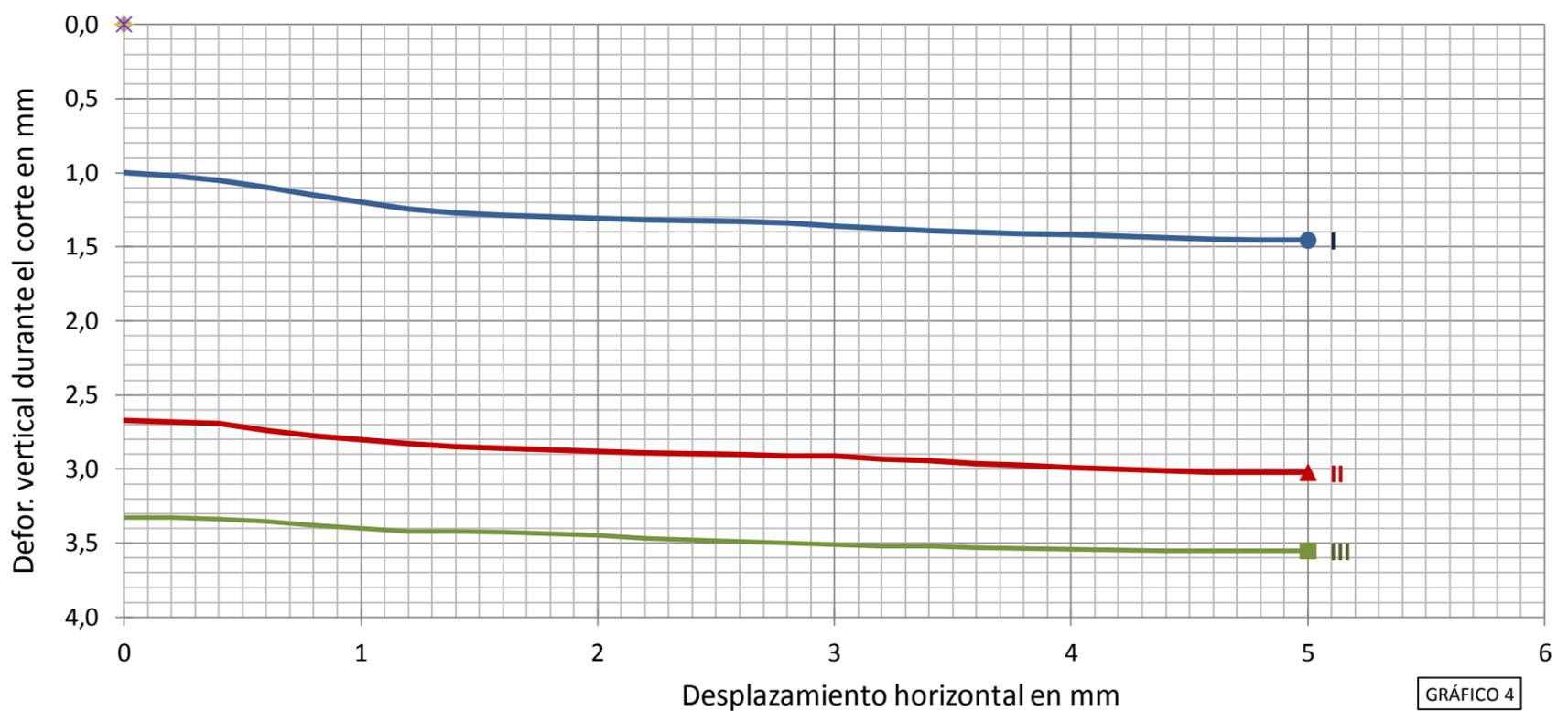


GRÁFICO 4

Informe n°.: CM0016-18-0006  
 Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 2 BOLSA / Prof.: 6,5-8 m

1 / 4

**APERTURA, DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS - INV E-102-13 / INV E-180-13 / INV E-181-13**

Muestra referencia

**MM18-0115**

Código: **CC-OL-RA-0001 Rv.00**

**Datos generales**

Peticionario	SOLUM CONSTRUCCIONES SAS PROYECTO SANTA MONICA - CALI P2
Cliente	
Proyecto	

**Datos de la muestra**

Referencia cliente	P - 2
Situación	
Profundidad sup., m	6,5
Profundidad inf., m	8
Tipo de muestra	BOLSA
Diámetro, cm	
Longitud, cm	
Fecha de toma	
Fecha de recepción	3-4-18

**Datos de la apertura y preparación**

Fecha de apertura	26-3-18
Operador	VERONICA TERMAL
Medio de apertura	MANUAL
Almacenamiento	LABORATORIO
Entorno de ensayo	LAB. GEOTECNIA

**Tipo de suelo**

Clasificación USCS	SM
Litología grupo USCS	ARENA LIMOSA
Clasific. AASHTO	A-4 (0)

**Descripción de la muestra**

Litología	Prof. m	Observaciones
ARENA LIMOSA, COLOR BEIGE.	6,5	P- penetrómetro V- vane-test (kPa)

8

**ENSAYOS REALIZADOS**

CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13  
 DENSIDAD Y PESO UNITARIO. MÉTODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA - UNE 103301/94  
 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13  
 LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS - INV E-125-13 - INV E-126-13

**OBSERVACIONES**

Informe n°.: CM0016-18-0006  
Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 2 BOLSA / Prof.: 6,5-8 m

2 / 4

**CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13**  
**DENSIDAD Y PESO UNITARIO. MÉTODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA - UNE 103301/94**

Referencia muestra

**MM18-0115****Equipos utilizados**

BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)

**Temperatura de secado (°C)** 110

**Datos del ensayo de humedad**

Tara (g)	29,46
Tara + suelo + agua (g)	89,03
Tara + suelo (g)	80,89
Agua (g)	8,14
Suelo (g)	51,43
Humedad, w (%)	15,8

**Operador:** VERONICA TERMAL  
**Fecha final ensayo:** 27/03/2018

**Resultados**

<b>Contenido de humedad, w (%)</b>	<b>15,8</b>
------------------------------------	-------------

**Equipos utilizados**

BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)

(\*) Densidad de la parafina = 0,9 Tn/m<sup>3</sup>

**Datos del ensayo densidad**

Peso suelo (g)	100,60
Peso suelo+parafina (g)	105,38
Peso parafina (g)	4,78
Peso en agua (g)	48,65
Volumen parafina (cm <sup>3</sup> )	5,31
Volumen suelo+parafina (cm <sup>3</sup> )	56,73

**Operador:** YICELLY VALENCIA  
**Fecha final ensayo:** 27/03/2018

Volumen suelo (cm <sup>3</sup> )	51,42
Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	1,956
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	1,689

**Resultados**

<b>Densidad aparente (Tn/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1,956</b>
<b>Densidad seca (Tn/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1,689</b>
<b>Peso unitario aparente (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>19,18</b>
<b>Peso unitario seco (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>16,56</b>

OBSERVACIONES



Informe n°.: CM0016-18-0006  
 Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 2 BOLSA / Prof.: 6,5-8 m

3 / 4

Referencia muestra

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13**

**MM18-0115**

**Equipos utilizados**

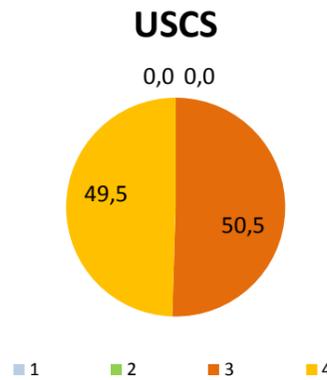
SERIE DE TAMICES PINZUAR  
 BALANZA RADWAG PS4500.R1  
 HORNO DE DESECACIÓN PROETI P0203

**Cálculos previos**

Temperatura de secado previo (°C)	110
Muestra total seca (g)	147,13
M. >19 mm (3/4"), total lav. y seca (g)	0,00
M. <19 mm (3/4"), seca ensay. (g)	147,13
M. 19-2 mm (3/4"-N°10), lavada y seca (g)	0,00
M. 19-2 mm (3/4"-N°10), total lav. y seca (g)	0,00
M. >2 mm (N°10), lavada y seca (g)	0,00
M. <2 mm (N°10), ensay. seca (g)	147,13
M. <2 mm (N°10), ensayada y seca (g)	147,13
M. <2 mm (N°10), total y seca (g)	147,13
Muestra total seca (g)	147,13
Humedad higrosc., % (fracción <2 mm, N°10)	0,0
Factor corr., f (fracción <2 mm, N°10)	1,0000

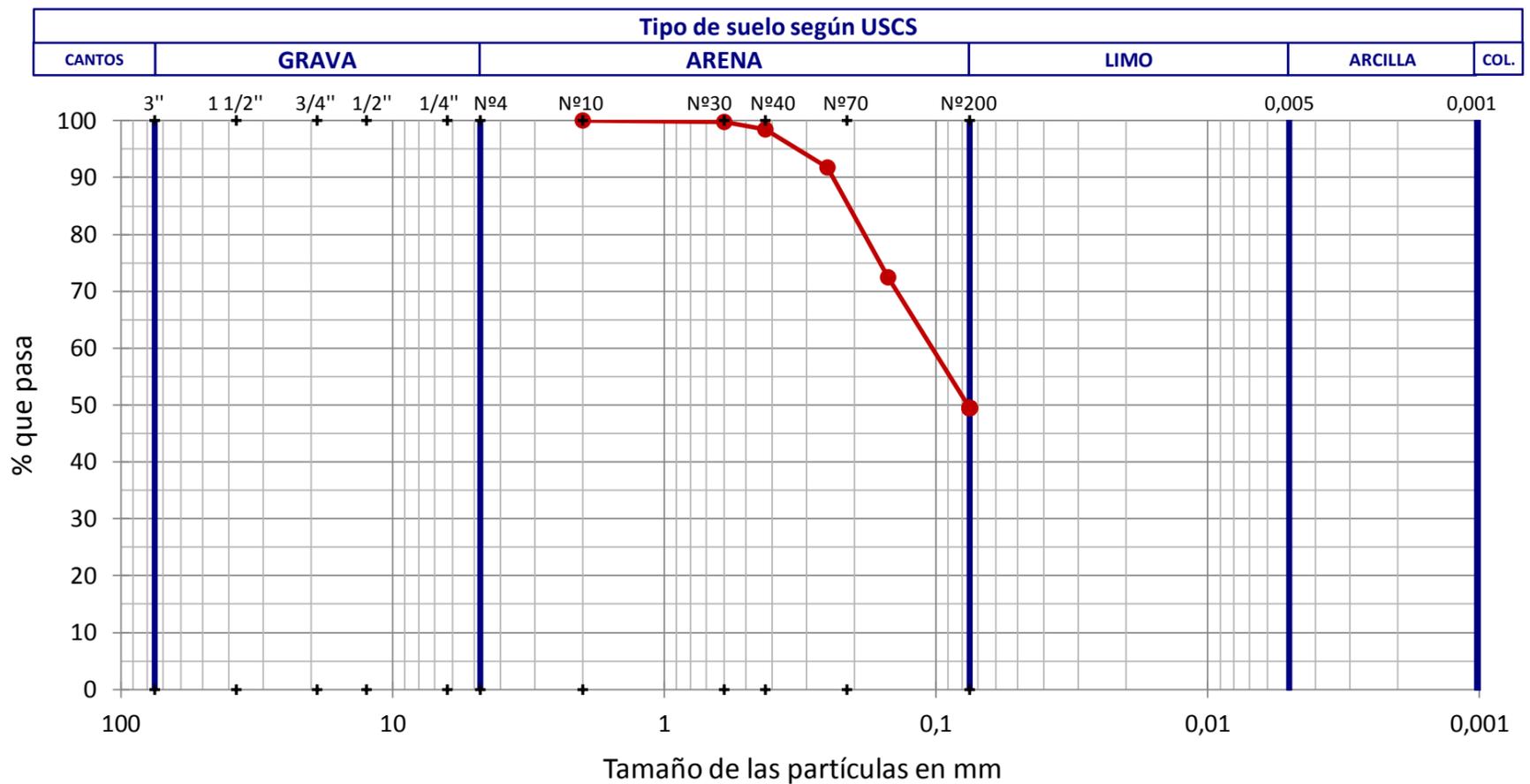
**Resultados**

N°	Abertura mm	Retenido tamices		Pasa muestra total		
		Parcial g	Total g	Total %	g	%
N°10	2		0,00	0,0	147,13	100,0
N°30	0,6		0,31	0,2	146,82	99,8
N°40	0,425		1,86	1,5	144,96	98,5
N°60	0,25		9,95	8,2	135,01	91,8
N°100	0,15		28,31	27,5	106,70	72,5
N°200	0,075		33,91	50,5	72,79	49,5



**Tipo de suelo según USCS**

% CANTOS > 75 mm	% GRAVA 75-4,75 mm	% ARENA 4,75-0,075 mm	% FINOS <0,075 mm
0,0	0,0	50,5	49,5
	% Grava gruesa 75-19 mm: 0,0	% Arena gruesa 4,75-2 mm: 0,0	
	% Grava fina 19-4,75 mm: 0,0	% Arena media 2-0,425 mm: 1,5	
		% Arena fina 0,425-0,075 mm: 49,0	



**OBSERVACIONES**



Informe n°.: CM0016-18-0006  
 Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 2 BOLSA / Prof.: 6,5-8 m

**LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS - INV E-125-13 - INV E-126-13**

Referencia muestra

**MM18-0115**

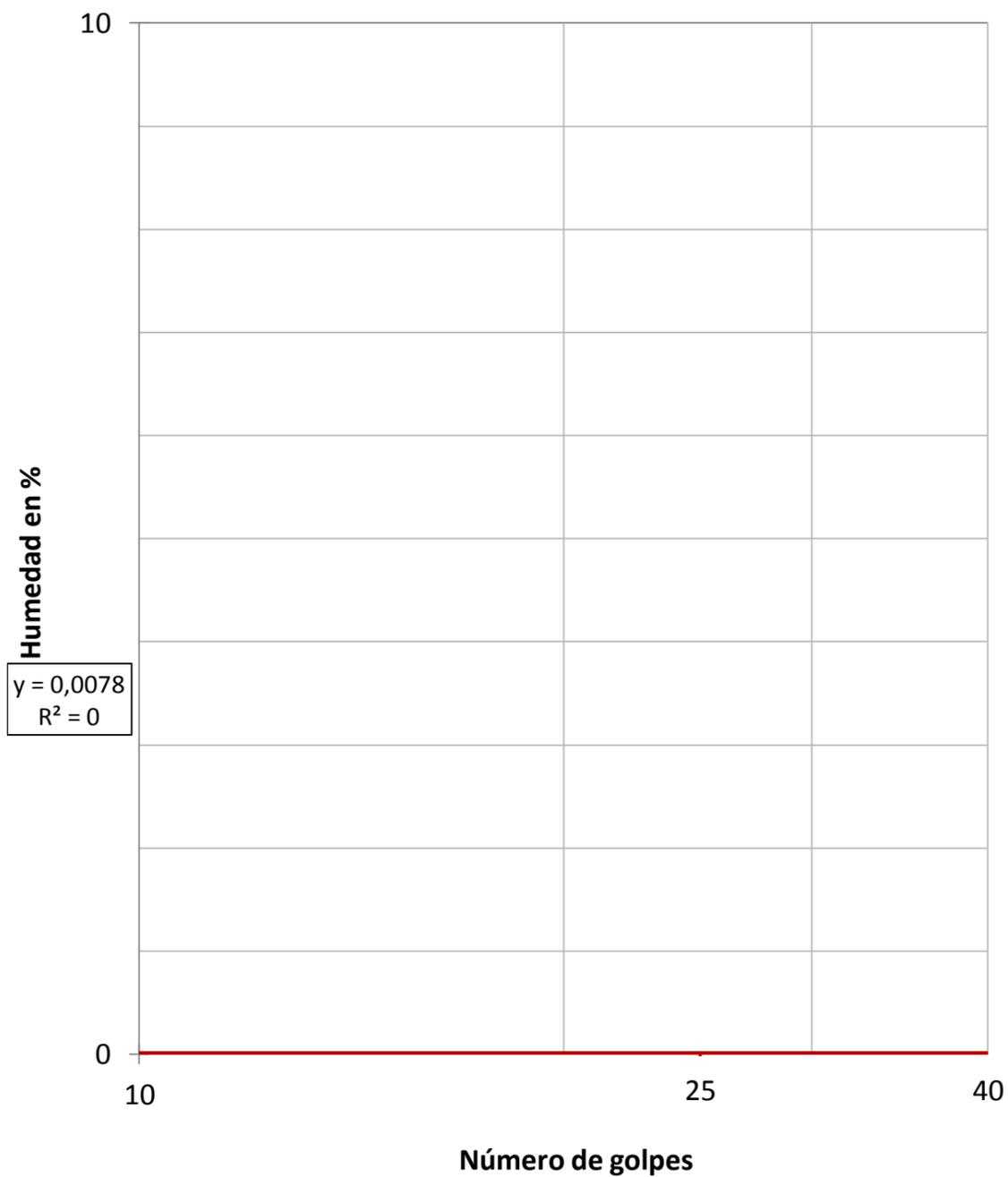
Datos Límite Líquido					
Número de golpes					
Agua (g)					
Tara+Suelo+Agua (g)					
Tara+Suelo (g)					
Tara (g)					
Suelo (g)					
Humedad (%)					

Equipos utilizados
APARATO DE LÍMITE LIQUIDO MANUAL SDE EM-0251
BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)
HORNO INGATEST 5054 (CAL. 17-8-16)

Condiciones de ensayo	
Temp. de secado previo (°C)	AL AIRE

Datos Límite Plástico					
Agua (g)					
Tara+Suelo+Agua (g)					
Tara+Suelo (g)					
Tara (g)					
Suelo (g)					
Humedad (%)					
Variación entre puntos (%)					

Resultados	
Límite Líquido, LL (%)	
Límite Plástico, LP (%)	
Índice de Plasticidad, IP (%)	<b>NO PLÁSTICO</b>
Humedad Natural, w (%)	15,8
Índice de Líquidez, IL	
Índice de Consistencia, IC	



OBSERVACIONES

Informe n°.: CM0016-18-0006  
Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 2 BOLSA / Prof.: 12-13 m

1 / 4

## APERTURA, DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS - INV E-102-13 / INV E-180-13 / INV E-181-13

Muestra referencia

MM18-0116

Código: CC-OL-RA-0001 Rv.00

### Datos generales

Peticionario  
Cliente  
Proyecto

SOLUM CONSTRUCCIONES SAS  
PROYECTO SANTA MONICA - CALI P2

### Datos de la muestra

Referencia cliente  
Situación

P - 2

Profundidad sup., m  
Profundidad inf., m  
Tipo de muestra  
Diámetro, cm  
Longitud, cm  
Fecha de toma  
Fecha de recepción

12  
13  
BOLSA  
3-4-18

### Datos de la apertura y preparación

Fecha de apertura  
Operador  
Medio de apertura  
Almacenamiento  
Entorno de ensayo

26-3-18  
VERONICA TERMAL  
MANUAL  
LABORATORIO  
LAB. GEOTECNIA

### Tipo de suelo

Clasificación USCS  
Litología grupo USCS  
Clasific. AASHTO

SC  
ARENA ARCILLOSA  
A-6 (3)

### Descripción de la muestra

Litología	Prof. m	Observaciones P- penetrómetro V- vane-test (kPa)
ARCILLA ARENOSA Y CON ALGO DE GRAVA. COLOR CAFÉ AMARILLENTO.	12	
	13	

### ENSAYOS REALIZADOS

CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13  
DENSIDAD Y PESO UNITARIO. MÉTODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA - UNE 103301/94  
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13  
LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS - INV E-125-13 - INV E-126-13

### OBSERVACIONES

Informe n°.: CM0016-18-0006  
 Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 2 BOLSA / Prof.: 12-13 m

2 / 4

**CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13**  
**DENSIDAD Y PESO UNITARIO. MÉTODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA - UNE 103301/94**

Referencia muestra

**MM18-0116****Equipos utilizados**

BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
 HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)

**Temperatura de secado (°C)** 110

**Datos del ensayo de humedad**

Tara (g)	29,16
Tara + suelo + agua (g)	89,76
Tara + suelo (g)	78,09
Agua (g)	11,67
Suelo (g)	48,93
Humedad, w (%)	23,9

**Operador:** VERONICA TERMAL  
**Fecha final ensayo:** 27/03/2018

**Resultados**

<b>Contenido de humedad, w (%)</b>	<b>23,9</b>
------------------------------------	-------------

**Equipos utilizados**

BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
 HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)

(\*) Densidad de la parafina = 0,9 Tn/m<sup>3</sup>

**Datos del ensayo densidad**

Peso suelo (g)	59,94
Peso suelo+parafina (g)	62,43
Peso parafina (g)	2,49
Peso en agua (g)	29,31
Volumen parafina (cm <sup>3</sup> )	2,77
Volumen suelo+parafina (cm <sup>3</sup> )	33,12

**Operador:** YICELLY VALENCIA  
**Fecha final ensayo:** 27/03/2018

Volumen suelo (cm <sup>3</sup> )	30,35
Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	1,975
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	1,594

**Resultados**

<b>Densidad aparente (Tn/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1,975</b>
<b>Densidad seca (Tn/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1,594</b>
<b>Peso unitario aparente (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>19,37</b>
<b>Peso unitario seco (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>15,63</b>

OBSERVACIONES



Informe n°.: CM0016-18-0006  
Fecha edición: 05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 2 BOLSA / Prof.: 12-13 m

3 / 4

Referencia muestra

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13**

**MM18-0116**

**Equipos utilizados**

SERIE DE TAMICES PINZUAR  
BALANZA RADWAG PS4500.R1  
HORNO DE DESECACIÓN PROETI P0203

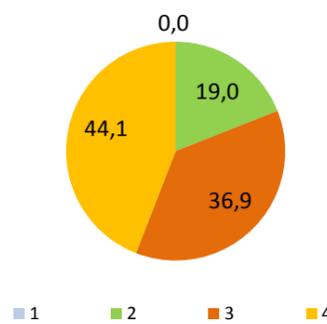
**Cálculos previos**

Temperatura de secado previo (°C)	110
Muestra total seca (g)	401,50
M.>19 mm (3/4"), total lav. y seca (g)	47,61
M.<19 mm (3/4"), seca ensay. (g)	353,89
M. 19-2 mm (3/4"-N°10), lavada y seca (g)	38,55
M. 19-2 mm (3/4"-N°10), total lav. y seca (g)	38,55
M.>2 mm (N°10), lavada y seca (g)	86,16
M.<2 mm (N°10), ensay. seca (g)	315,34
M.<2 mm (N°10), ensayada y seca (g)	315,34
M.<2 mm (N°10), total y seca (g)	315,34
Muestra total seca (g)	401,50
Humedad higrosc., % (fracción<2 mm, N°10)	0,0
Factor corr., f (fracción<2 mm, N°10)	1,0000

**Resultados**

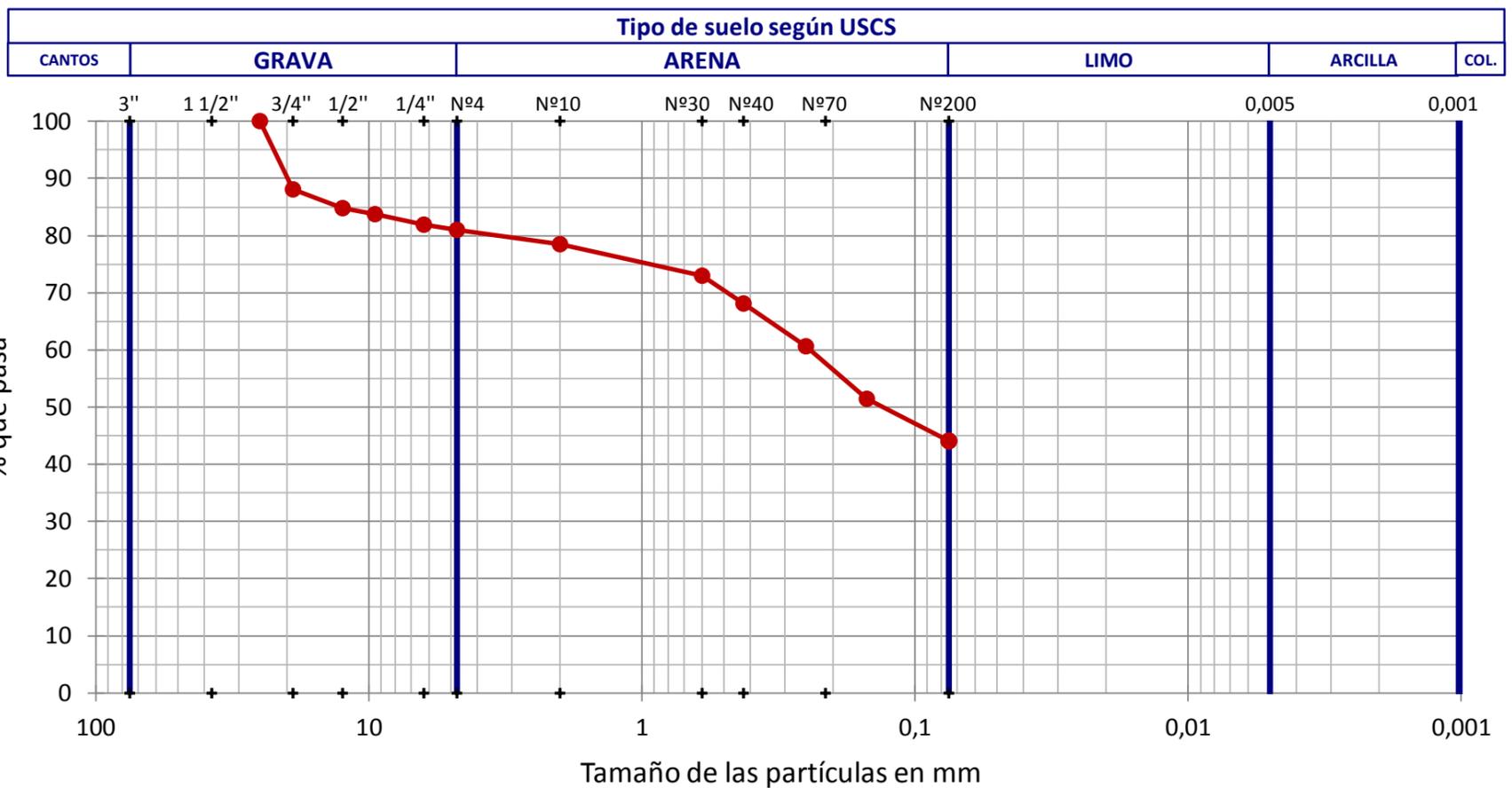
N°	Abertura mm	Retenido tamices		Pasa muestra total		
		Parcial g	Total g	Total %	g	%
1"	25		0,00	0,0	401,50	100,0
3/4"	19		47,61	11,9	353,89	88,1
1/2"	12,5		13,59	15,2	340,30	84,8
3/8"	9,5		3,91	16,2	336,39	83,8
1/4"	6,3		7,38	18,1	329,01	81,9
N°4	4,75		3,93	19,0	325,08	81,0
N°10	2		9,74	21,5	315,34	78,5
N°30	0,6		22,15	27,0	293,19	73,0
N°40	0,425		19,80	31,9	273,39	68,1
N°60	0,25		30,18	39,4	243,21	60,6
N°100	0,15		36,86	48,6	206,35	51,4
N°200	0,075		29,22	55,9	177,13	44,1

**USCS**



**Tipo de suelo según USCS**

% CANTOS > 75 mm	0,0	% GRAVA 75-4,75 mm	19,0	% ARENA 4,75-0,075 mm	36,9	% FINOS <0,075 mm	44,1
		% Grava gruesa 75-19 mm	11,9	% Arena gruesa 4,75-2 mm	2,5		
		% Grava fina 19-4,75 mm	7,1	% Arena media 2-0,425 mm	10,4		
				% Arena fina 0,425-0,075 mm	24,0		



**OBSERVACIONES**



Informe n°:	CM0016-18-0006
Fecha edición:	05-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 2 BOLSA / Prof.: 12-13 m

4 / 4

**LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS - INV E-125-13 - INV E-126-13**

Referencia muestra

**MM18-0116**

Datos Límite Líquido				
Número de golpes	36	24	16	
Agua (g)	2,65	2,24	2,67	
Tara+Suelo+Agua (g)	23,67	21,83	23,12	
Tara+Suelo (g)	21,02	19,59	20,45	
Tara (g)	12,82	12,87	13,06	
Suelo (g)	8,20	6,72	7,39	
Humedad (%)	<b>32,3</b>	<b>33,3</b>	<b>36,1</b>	

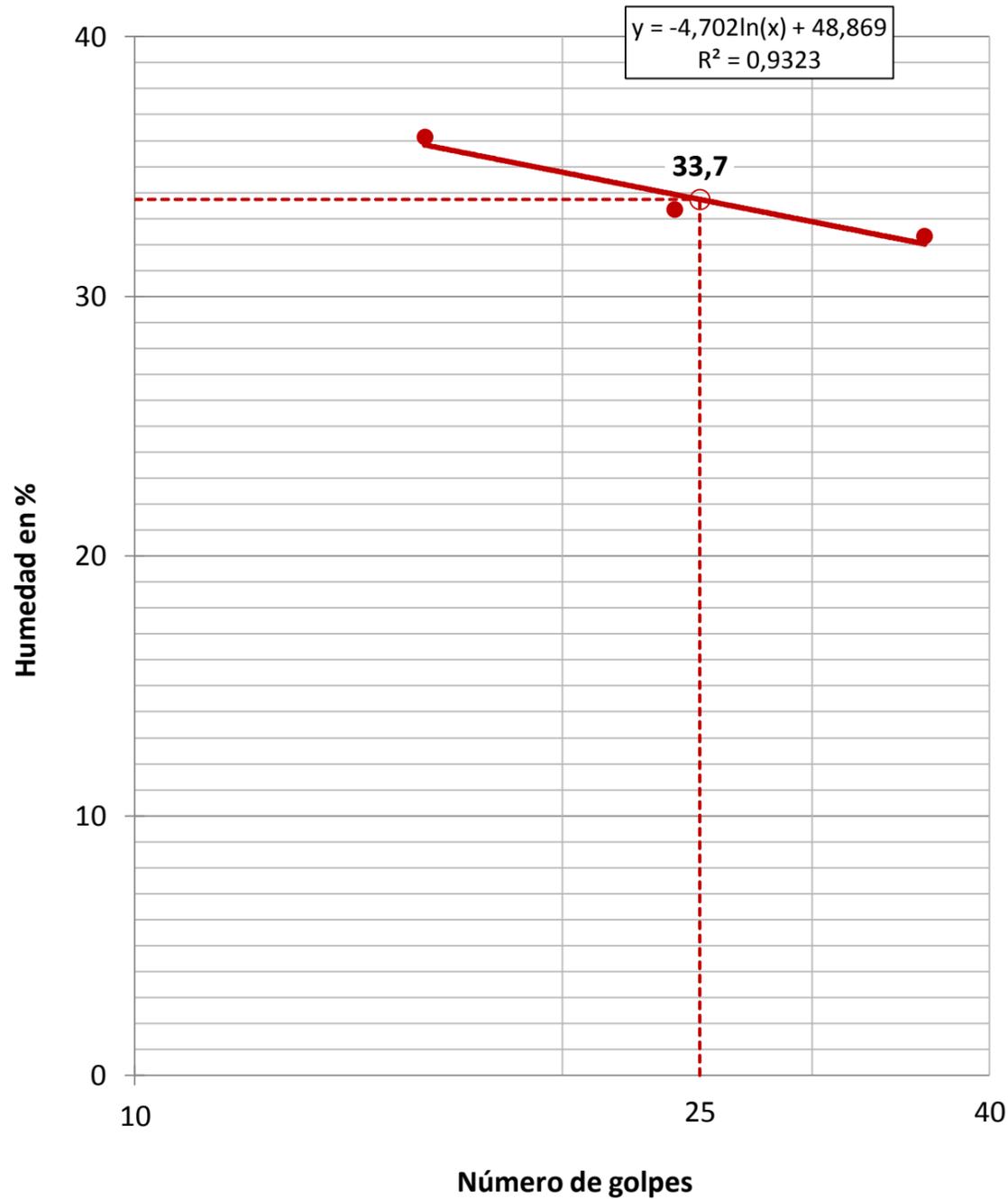
Equipos utilizados	
APARATO DE LÍMITE LIQUIDO MANUAL SDE EM-0251	
BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)	
HORNO INGTEST 5054 (CAL. 17-8-16)	

Condiciones de ensayo	
Temp. de secado previo (°C)	AL AIRE

Datos Límite Plástico				
Agua (g)	1,04	1,02		
Tara+Suelo+Agua (g)	18,59	19,57		
Tara+Suelo (g)	17,55	18,55		
Tara (g)	12,10	13,10		
Suelo (g)	5,45	5,45		
Humedad (%)	<b>19,1</b>	<b>18,7</b>		
Variación entre puntos (%)	1,0	1,0		

Resultados	
Límite Líquido, LL (%)	<b>33,7</b>
Límite Plástico, LP (%)	<b>18,9</b>
Índice de Plasticidad, IP (%)	<b>14,8</b>

Humedad Natural, w (%)	23,9
Índice de Líquidez, IL	0,3
Índice de Consistencia, IC	0,7



OBSERVACIONES



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

*Estudio de soluciones para la cimentación de un edificio de viviendas de uso residencial en Cali, Colombia*



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

## SONDEO Nº3

## RESUMEN DE ENSAYOS

1 / 1

SOLUM CONSTRUCCIONES SAS  
PROYECTO SANTA MONICA - CALI P3

CM0016-18-0007

MUESTRAS N°	MM18-0117	MM18-0118	MM18-0119	MM18-0120
Situación	P - 3	P - 3	P - 3	P - 3
Tipo de muestra	SPT	BOLSA	BOLSA	BOLSA
Profundidad (m)	4-4,45	4,45-5,5	6,5-7,5	10-11,5
Clasificación USCS	CL	CL	CL	CH
Clasificación AASHTO	A-6 (10)	A-6 (10)	A-7-6 (13)	A-7-5 (34)
Fracción mayoritaria	ARCILLA	ARCILLA	ARCILLA	ARCILLA
<b>HUMEDAD</b>				
Contenido de humedad, w (%)	22,9	49,6	69,8	26,3
<b>DENSIDAD</b>				
Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	2,054	2,013	1,577	
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	1,671	1,346	0,929	
<b>GRANULOMETRÍA TAMIZADO</b>				
Pasa # 19 mm, %	100,0	96,3	100,0	100,0
Pasa # 4,75 mm, %	94,7	92,2	98,5	96,4
Pasa # 2 mm, %	93,0	89,7	95,2	95,4
Pasa # 0,425 mm, %	86,1	84,7	91,9	91,3
Pasa # 0,075 mm, %	66,5	67,3	74,4	87,2
<b>LÍMITES DE ATTERBERG</b>				
Límite Líquido, LL (%)	39,0	39,2	41,3	65,3
Límite Plástico, LP (%)	21,2	21,1	22,6	32,2
Índice de Plasticidad, IP (%)	17,8	18,1	18,7	33,1
<b>COMPRESIÓN INCONFINADA SUELOS</b>				
Resistencia a compresión (kPa)	1088,87			
Deformación (%)	3,48			
<b>CORTE DIRECTO SUELOS</b>				
Remoldeo probeta				SI
Tipo de ensayo				CD
$\Phi'$ (°)				15,6
C' (kPa)				11,6
<b>CONSOLIDACIÓN UNIDIM.</b>				
Método				B
Remoldeo probeta				SI
Relación de vacíos inicial, e <sub>0</sub>				1,0949
Relación de vacíos final, e <sub>f</sub>				0,8937

Informe n°.: CM0016-18-0007  
Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 3 SPT / Prof.: 4-4,45 m

1 / 6

## APERTURA, DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS - INV E-102-13 / INV E-180-13 / INV E-181-13

Muestra referencia

MM18-0117

Código: CC-OL-RA-0001 Rv.00

### Datos generales

Peticionario  
Cliente  
Proyecto

SOLUM CONSTRUCCIONES SAS  
PROYECTO SANTA MONICA - CALI P3

### Datos de la muestra

Referencia cliente  
Situación

P - 3

Profundidad sup., m  
Profundidad inf., m  
Tipo de muestra  
Diámetro, cm  
Longitud, cm  
Fecha de toma  
Fecha de recepción

4  
4,45  
SPT  
  
  
  
3-4-18

### Datos de la apertura y preparación

Fecha de apertura  
Operador  
Medio de apertura  
Almacenamiento  
Entorno de ensayo

26-2-18  
VERONICA TERMAL  
MANUAL  
LABORATORIO  
LAB. GEOTECNIA

### Tipo de suelo

Clasificación USCS  
Litología grupo USCS  
Clasific. AASHTO

CL  
ARCILLA DE BAJA COMPRESIBILIDAD  
A-6 (10)

### Descripción de la muestra

Litología	Prof. m	Observaciones P- penetrómetro V- vane-test (kPa)
ARCILLA CON BASTANTE ARENA Y CON INDICIOS DE GRAVA. COLOR CAFÉ CON MOTAS ROJIZAS Y BEIGE.	4	
	4,45	

### ENSAYOS REALIZADOS

CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13  
DENSIDAD Y PESO UNITARIO. MÉTODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA - UNE 103301/94  
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13  
LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS - INV E-125-13 - INV E-126-13  
COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS - INV E-152-13

### OBSERVACIONES

Informe n°.: CM0016-18-0007  
Fecha edición: 06-04-18

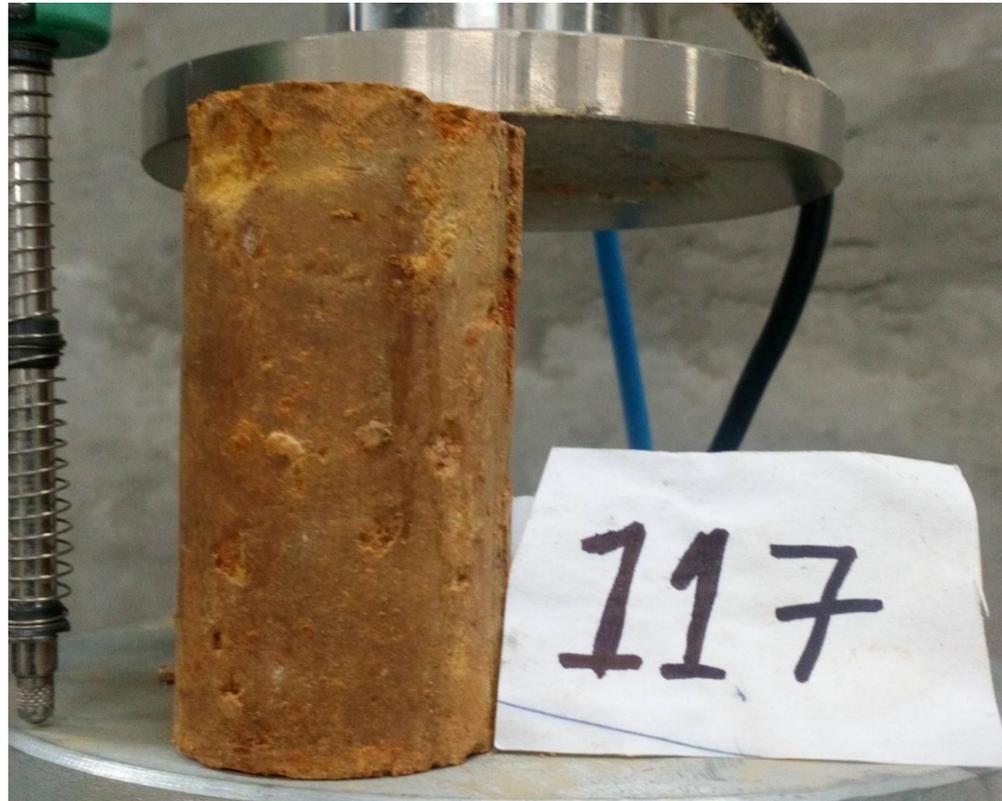
LOCALIZACIÓN: P - 3 SPT / Prof.: 4-4,45 m

2 / 6

Muestra referencia

**ANEXO FOTOGRÁFICO -**

**MM18-0117**



**OBSERVACIONES:**

Informe n°.: CM0016-18-0007  
 Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 3 SPT / Prof.: 4-4,45 m

3 / 6

**CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13**  
**DENSIDAD Y PESO UNITARIO. MÉTODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA - UNE 103301/94**

Referencia muestra

**MM18-0117**

**Equipos utilizados**

BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
 HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)

Temperatura de secado (°C) 110

**Datos del ensayo de humedad**

Tara (g)	28,68
Tara + suelo + agua (g)	83,04
Tara + suelo (g)	72,92
Agua (g)	10,12
Suelo (g)	44,24
Humedad, w (%)	22,9

Operador: VERONICA TERMAL  
 Fecha final ensayo: 27/03/2018

**Resultados**

Contenido de humedad, w (%)	<b>22,9</b>
-----------------------------	-------------

**Equipos utilizados**

BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
 HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)

(\*) Densidad de la parafina = 0,9 Tn/m<sup>3</sup>

**Datos del ensayo densidad**

Peso suelo (g)	61,85
Peso suelo+parafina (g)	63,85
Peso parafina (g)	2,00
Peso en agua (g)	31,51
Volumen parafina (cm <sup>3</sup> )	2,22
Volumen suelo+parafina (cm <sup>3</sup> )	32,34

Operador: YICELLY VALENCIA  
 Fecha final ensayo: 27/03/2018

Volumen suelo (cm <sup>3</sup> )	30,12
Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	2,054
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	1,671

**Resultados**

Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	<b>2,054</b>
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	<b>1,671</b>
Peso unitario aparente (kN/m <sup>3</sup> )	<b>20,14</b>
Peso unitario seco (kN/m <sup>3</sup> )	<b>16,39</b>

OBSERVACIONES



Informe n°.: CM0016-18-0007  
 Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 3 SPT / Prof.: 4-4,45 m

4 / 6

Referencia muestra

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13**

**MM18-0117**

**Equipos utilizados**

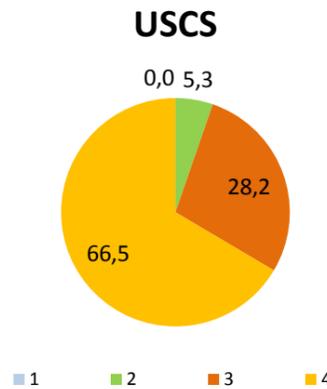
SERIE DE TAMICES PINZUAR  
 BALANZA RADWAG PS4500.R1  
 HORNO DE DESECACIÓN PROETI P0203

**Resultados**

N°	Abertura mm	Retenido tamices		Pasa muestra total		
		Parcial g	Total g	Total %	g	%
3/4"	19		0,00	0,0	262,74	100,0
1/2"	12,5		6,12	2,3	256,62	97,7
3/8"	9,5		4,63	4,1	251,99	95,9
1/4"	6,3		0,76	4,4	251,23	95,6
N°4	4,75		2,54	5,3	248,69	94,7
N°10	2		4,35	7,0	244,34	93,0
N°30	0,6		9,57	10,6	234,77	89,4
N°40	0,425		8,47	13,9	226,30	86,1
N°60	0,25		12,78	18,7	213,52	81,3
N°100	0,15		19,37	26,1	194,15	73,9
N°200	0,075		19,31	33,5	174,84	66,5

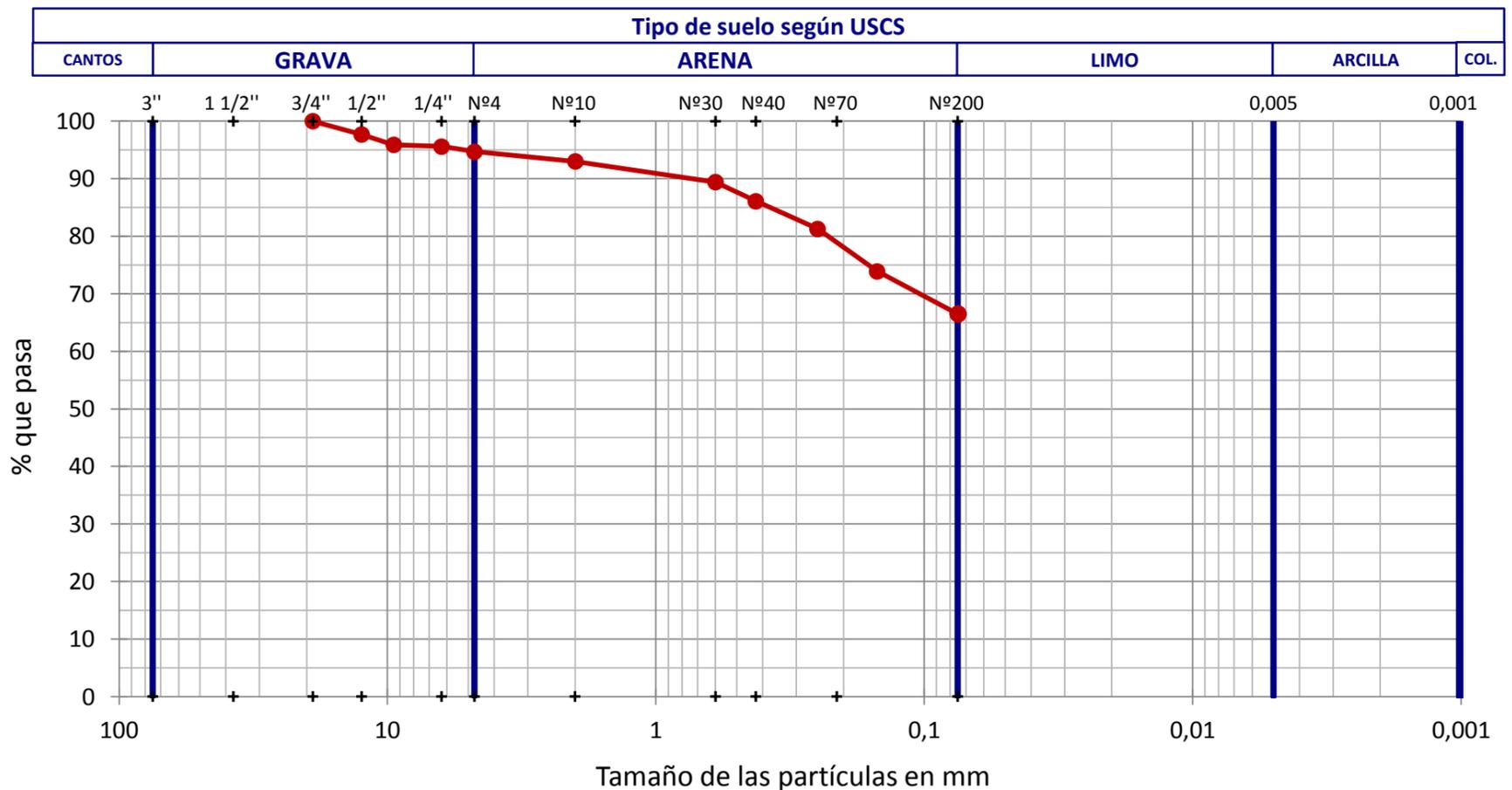
**Cálculos previos**

Temperatura de secado previo (°C)	110
Muestra total seca (g)	262,74
M.>19 mm (3/4"), total lav. y seca (g)	0,00
M.<19 mm (3/4"), seca ensay. (g)	262,74
M. 19-2 mm (3/4"-N°10), lavada y seca (g)	18,40
M. 19-2 mm (3/4"-N°10), total lav. y seca (g)	18,40
M.>2 mm (N°10), lavada y seca (g)	18,40
M.<2 mm (N°10), ensay. seca (g)	244,34
M.<2 mm (N°10), ensayada y seca (g)	244,34
M.<2 mm (N°10), total y seca (g)	244,34
Muestra total seca (g)	262,74
Humedad higrosc., % (fracción<2 mm, N°10)	0,0
Factor corr., f (fracción<2 mm, N°10)	1,0000



**Tipo de suelo según USCS**

% CANTOS > 75 mm	% GRAVA 75-4,75 mm	% ARENA 4,75-0,075 mm	% FINOS <0,075 mm
0,0	5,3	28,2	66,5
	% Grava gruesa 75-19 mm: 0,0	% Arena gruesa 4,75-2 mm: 1,7	
	% Grava fina 19-4,75 mm: 5,3	% Arena media 2-0,425 mm: 6,9	
		% Arena fina 0,425-0,075 mm: 19,6	



**OBSERVACIONES**



Informe n°:	CM0016-18-0007
Fecha edición:	06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 3 SPT / Prof.: 4-4,45 m

**LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS** - Referencia muestra  
**INV E-125-13 - INV E-126-13** **MM18-0117**

Datos Límite Líquido				
Número de golpes	36	25	15	
Agua (g)	2,74	2,71	3,22	
Tara+Suelo+Agua (g)	25,20	21,35	24,47	
Tara+Suelo (g)	22,46	18,64	21,25	
Tara (g)	15,03	11,68	13,57	
Suelo (g)	7,43	6,96	7,68	
Humedad (%)	<b>36,9</b>	<b>38,9</b>	<b>41,9</b>	

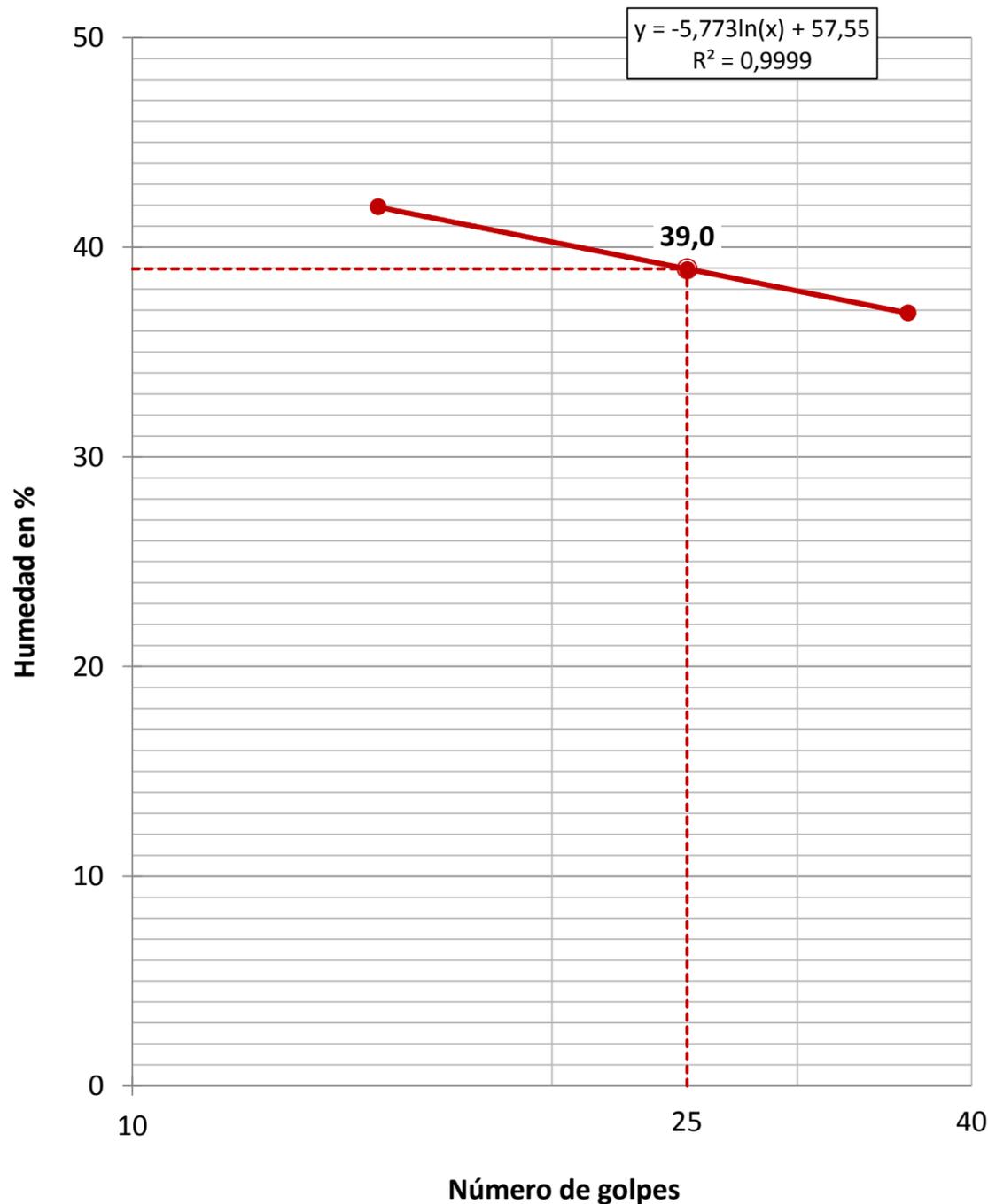
Equipos utilizados	
APARATO DE LÍMITE LIQUIDO MANUAL SDE EM-0251	
BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)	
HORNO INGTEST 5054 (CAL. 17-8-16)	

Condiciones de ensayo	
Temp. de secado previo (°C)	AL AIRE

Datos Límite Plástico				
Agua (g)	1,23	1,18		
Tara+Suelo+Agua (g)	19,19	20,33		
Tara+Suelo (g)	17,96	19,15		
Tara (g)	12,11	13,62		
Suelo (g)	5,85	5,53		
Humedad (%)	<b>21,0</b>	<b>21,3</b>		
Variación entre puntos (%)	0,8	0,7		

Resultados	
Límite Líquido, LL (%)	<b>39,0</b>
Límite Plástico, LP (%)	<b>21,2</b>
Índice de Plasticidad, IP (%)	<b>17,8</b>

Humedad Natural, w (%)	22,9
Índice de Líquidez, IL	0,1
Índice de Consistencia, IC	0,9



OBSERVACIONES

Informe n°.: CM0016-18-0007  
 Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 3 SPT / Prof.: 4-4,45 m

Referencia muestra

**COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS - INV E-152-13**

**MM18-0117**

**Equipos utilizados**

PRENSA PROETI S0358 UNITRONIC, 50 KN (CAL. 12-10-15)  
 BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
 HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)  
 EXTRACTOR DE MUESTRAS SDE MANUAL

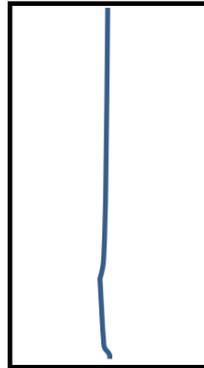
**Condiciones del suelo** **INALTERADO**

**Datos de la probeta ensayada**

Tallada a partir de bloque  
 Diámetro (cm) 3,595  
 Altura (cm) 7,194  
 Relación altura/diámetro 2,0  
 Sección (cm<sup>2</sup>) 10,15  
 Volumen (cm<sup>3</sup>) 73,02  
 Peso húmedo (g) 146,09  
 Densidad aparente (Tn/m<sup>3</sup>) 2,001  
 Densidad seca (Tn/m<sup>3</sup>) 1,666  
 Humedad inicial (%) 20,1  
 Humedad después rotura (%)  
 Grado de saturación (%) **90,18**

Nota: gravedad específica part. sól. estimada en 2.650

**Forma rotura**



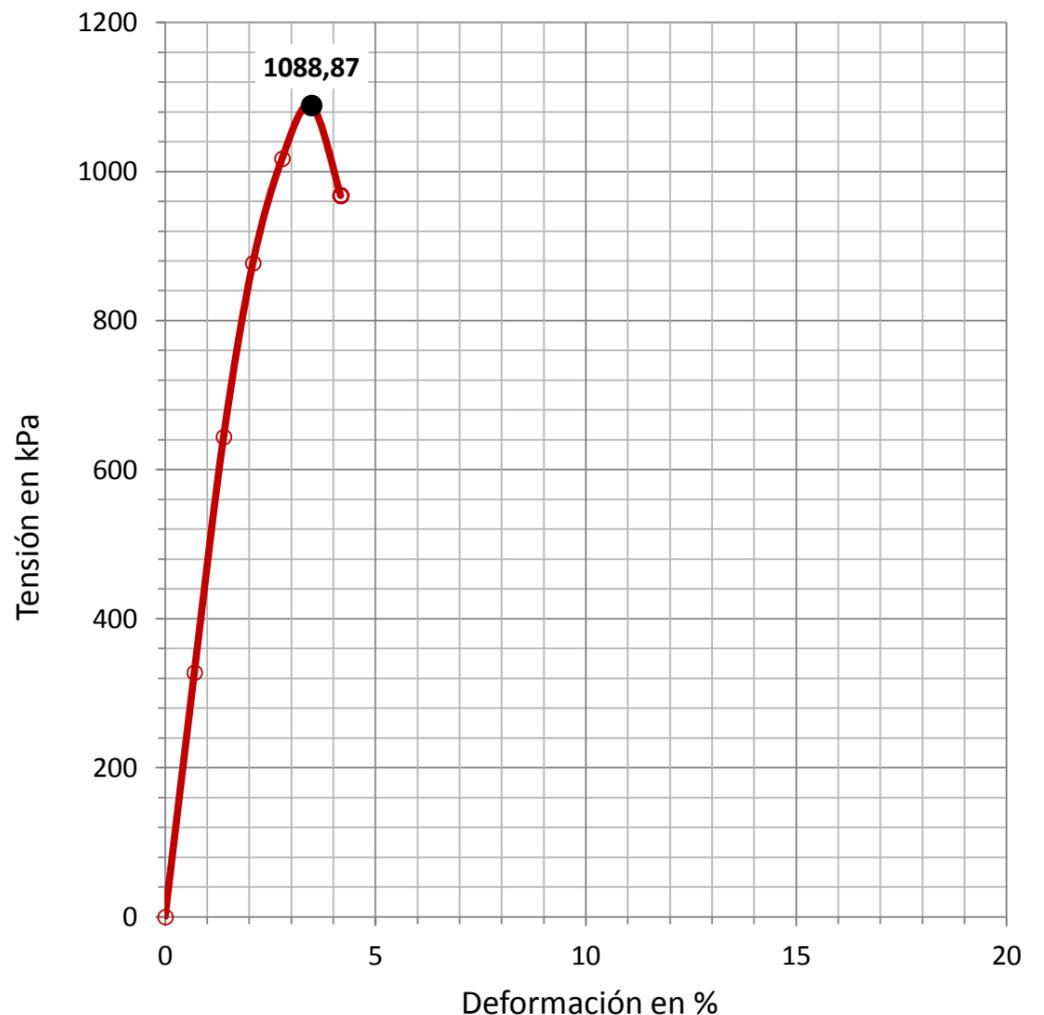
**Datos del proceso de rotura**

Velocidad de deformación (mm/min) 1,0  
 Velocidad de deformación (%/min) 1,4

Tiempo sg	Carga axial kN	Tensión correg. kp/cm <sup>2</sup>	Tensión correg. kPa	Deformación	
				%	mm
0	0,0000	0,000	0,00	0,00	0,00
30	0,3350	3,342	327,75	0,70	0,50
60	0,6630	6,568	644,12	1,39	1,00
90	0,9090	8,942	876,94	2,09	1,50
120	1,0620	10,373	1017,28	2,78	2,00
150	1,1450	11,103	1088,87	3,48	2,50
180	1,0250	9,868	967,75	4,17	3,00

**Resultados**

**Resistencia a compresión inconfiada, qu (kPa) 1088,87**  
**Resistencia al corte, su (kPa) 544,44**  
**Deformación (%) 3,48**  
**Resistencia a compresión inconfiada, qu (kg/cm<sup>2</sup>) 11,103**  
**Resistencia al corte, su (kg/cm<sup>2</sup>) 5,551**



OBSERVACIONES

Informe n°.: CM0016-18-0007  
 Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 3 BOLSA / Prof.: 4,45-5,5 m

1 / 4

**APERTURA, DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS - INV E-102-13 / INV E-180-13 / INV E-181-13**

Muestra referencia

**MM18-0118**

Código: CC-OL-RA-0001 Rv.00

**Datos generales**

Peticionario  
 Cliente  
 Proyecto

SOLUM CONSTRUCCIONES SAS  
 PROYECTO SANTA MONICA - CALI P3

**Datos de la muestra**

Referencia cliente  
 Situación

P - 3

Profundidad sup., m  
 Profundidad inf., m  
 Tipo de muestra  
 Diámetro, cm  
 Longitud, cm  
 Fecha de toma  
 Fecha de recepción

4,45  
 5,5  
 BOLSA  
 3-4-18

**Datos de la apertura y preparación**

Fecha de apertura  
 Operador  
 Medio de apertura  
 Almacenamiento  
 Entorno de ensayo

26-2-18  
 VERONICA TERMAL  
 MANUAL  
 LABORATORIO  
 LAB. GEOTECNIA

**Tipo de suelo**

Clasificación USCS  
 Litología grupo USCS  
 Clasific. AASHTO

CL  
 ARCILLA DE BAJA COMPRESIBILIDAD  
 A-6 (10)

**Descripción de la muestra**

Litología	Prof. m	Observaciones P- penetrómetro V- vane-test (kPa)
ARCILLA CON BASTANTE ARENA Y CON INDICIOS DE GRAVA. COLOR CAFÉ AMARILLENTO CON ZONAS ROJIZAS.	4,45	
	5,5	

**ENSAYOS REALIZADOS**

CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13  
 DENSIDAD Y PESO UNITARIO. MÉTODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA - UNE 103301/94  
 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13  
 LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS - INV E-125-13 - INV E-126-13

**OBSERVACIONES**

Informe n°.: CM0016-18-0007  
Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 3 BOLSA / Prof.: 4,45-5,5 m

2 / 4

**CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13**  
**DENSIDAD Y PESO UNITARIO. MÉTODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA - UNE 103301/94**

Referencia muestra

**MM18-0118**

**Equipos utilizados**

BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)

Temperatura de secado (°C) 110

**Datos del ensayo de humedad**

Tara (g)	35,27
Tara + suelo + agua (g)	136,87
Tara + suelo (g)	103,19
Agua (g)	33,68
Suelo (g)	67,92
Humedad, w (%)	49,6

Operador: VERONICA TERMAL  
Fecha final ensayo: 27/03/2018

**Resultados**

Contenido de humedad, w (%)	<b>49,6</b>
-----------------------------	-------------

**Equipos utilizados**

BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)

(\*) Densidad de la parafina = 0,9 Tn/m<sup>3</sup>

**Datos del ensayo densidad**

Peso suelo (g)	126,82
Peso suelo+parafina (g)	132,43
Peso parafina (g)	5,61
Peso en agua (g)	63,20
Volumen parafina (cm <sup>3</sup> )	6,23
Volumen suelo+parafina (cm <sup>3</sup> )	69,23

Operador: YICELLY VALENCIA  
Fecha final ensayo: 27/03/2018

Volumen suelo (cm <sup>3</sup> )	63,00
Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	2,013
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	1,346

**Resultados**

Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	<b>2,013</b>
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	<b>1,346</b>
Peso unitario aparente (kN/m <sup>3</sup> )	<b>19,74</b>
Peso unitario seco (kN/m <sup>3</sup> )	<b>13,20</b>

OBSERVACIONES



Informe n°.: CM0016-18-0007  
 Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 3 BOLSA / Prof.: 4,45-5,5 m

3 / 4

Referencia muestra

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13**

**MM18-0118**

**Equipos utilizados**

SERIE DE TAMICES PINZUAR  
 BALANZA RADWAG PS4500.R1  
 HORNO DE DESECACIÓN PROETI P0203

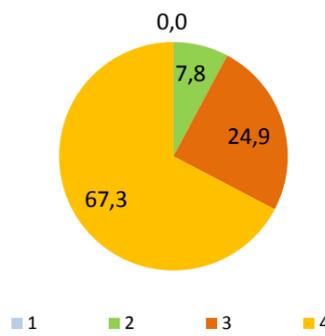
**Resultados**

N°	Abertura mm	Retenido tamices		Pasa muestra total		
		Parcial g	Total g	Total %	g	%
1"	25		0,00	0,0	413,05	100,0
3/4"	19		15,15	3,7	397,90	96,3
1/2"	12,5		0,00	3,7	397,90	96,3
3/8"	9,5		5,85	5,1	392,05	94,9
1/4"	6,3		6,84	6,7	385,21	93,3
N°4	4,75		4,56	7,8	380,65	92,2
N°10	2		10,03	10,3	370,62	89,7
N°30	0,6		12,06	13,2	358,56	86,8
N°40	0,425		8,75	15,3	349,81	84,7
N°60	0,25		15,96	19,2	333,85	80,8
N°100	0,15		29,93	26,4	303,92	73,6
N°200	0,075		25,90	32,7	278,02	67,3

**Cálculos previos**

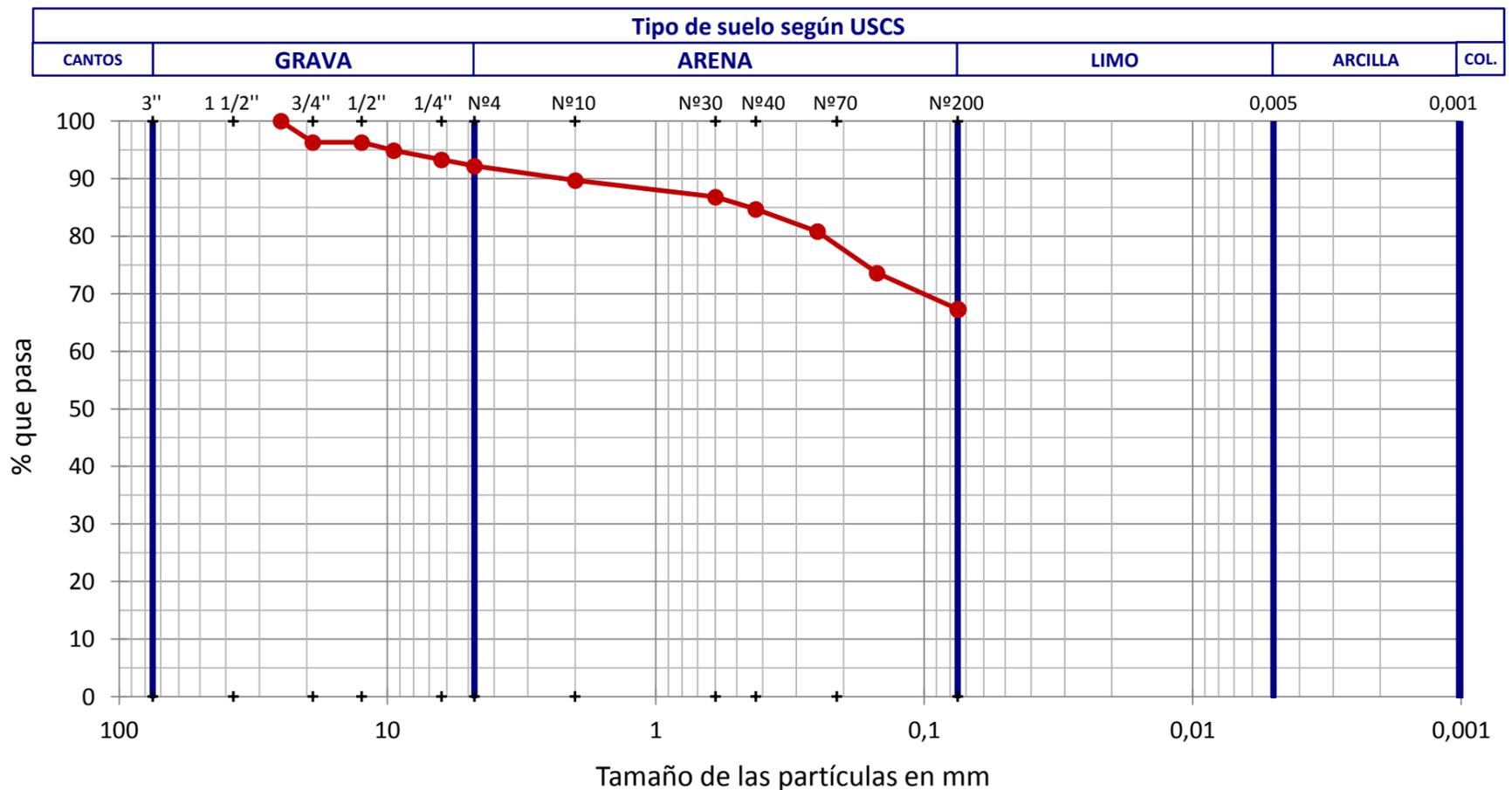
Temperatura de secado previo (°C)	110
Muestra total seca (g)	413,05
M.>19 mm (3/4"), total lav. y seca (g)	15,15
M.<19 mm (3/4"), seca ensay. (g)	397,90
M. 19-2 mm (3/4"-N°10), lavada y seca (g)	27,28
M. 19-2 mm (3/4"-N°10), total lav. y seca (g)	27,28
M.>2 mm (N°10), lavada y seca (g)	42,43
M.<2 mm (N°10), ensay. seca (g)	370,62
M.<2 mm (N°10), ensayada y seca (g)	370,62
M.<2 mm (N°10), total y seca (g)	370,62
Muestra total seca (g)	413,05
Humedad higrosc., % (fracción<2 mm, N°10)	0,0
Factor corr., f (fracción<2 mm, N°10)	1,0000

**USCS**



**Tipo de suelo según USCS**

% CANTOS > 75 mm	% GRAVA 75-4,75 mm	% ARENA 4,75-0,075 mm	% FINOS <0,075 mm
0,0	7,8	24,9	67,3
	% Grava gruesa 75-19 mm: 3,7 % Grava fina 19-4,75 mm: 4,1	% Arena gruesa 4,75-2 mm: 2,5 % Arena media 2-0,425 mm: 5,0 % Arena fina 0,425-0,075 mm: 17,4	



**OBSERVACIONES**



Informe n°:	CM0016-18-0007
Fecha edición:	06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 3 BOLSA / Prof.: 4,45-5,5 m

4 / 4

**LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS** - Referencia muestra  
**INV E-125-13 - INV E-126-13** **MM18-0118**

Datos Límite Líquido				
Número de golpes	36	26	14	
Agua (g)	2,56	2,69	3,84	
Tara+Suelo+Agua (g)	23,39	21,36	27,20	
Tara+Suelo (g)	20,83	18,67	23,36	
Tara (g)	14,02	11,74	14,24	
Suelo (g)	6,81	6,93	9,12	
Humedad (%)	<b>37,6</b>	<b>38,8</b>	<b>42,1</b>	

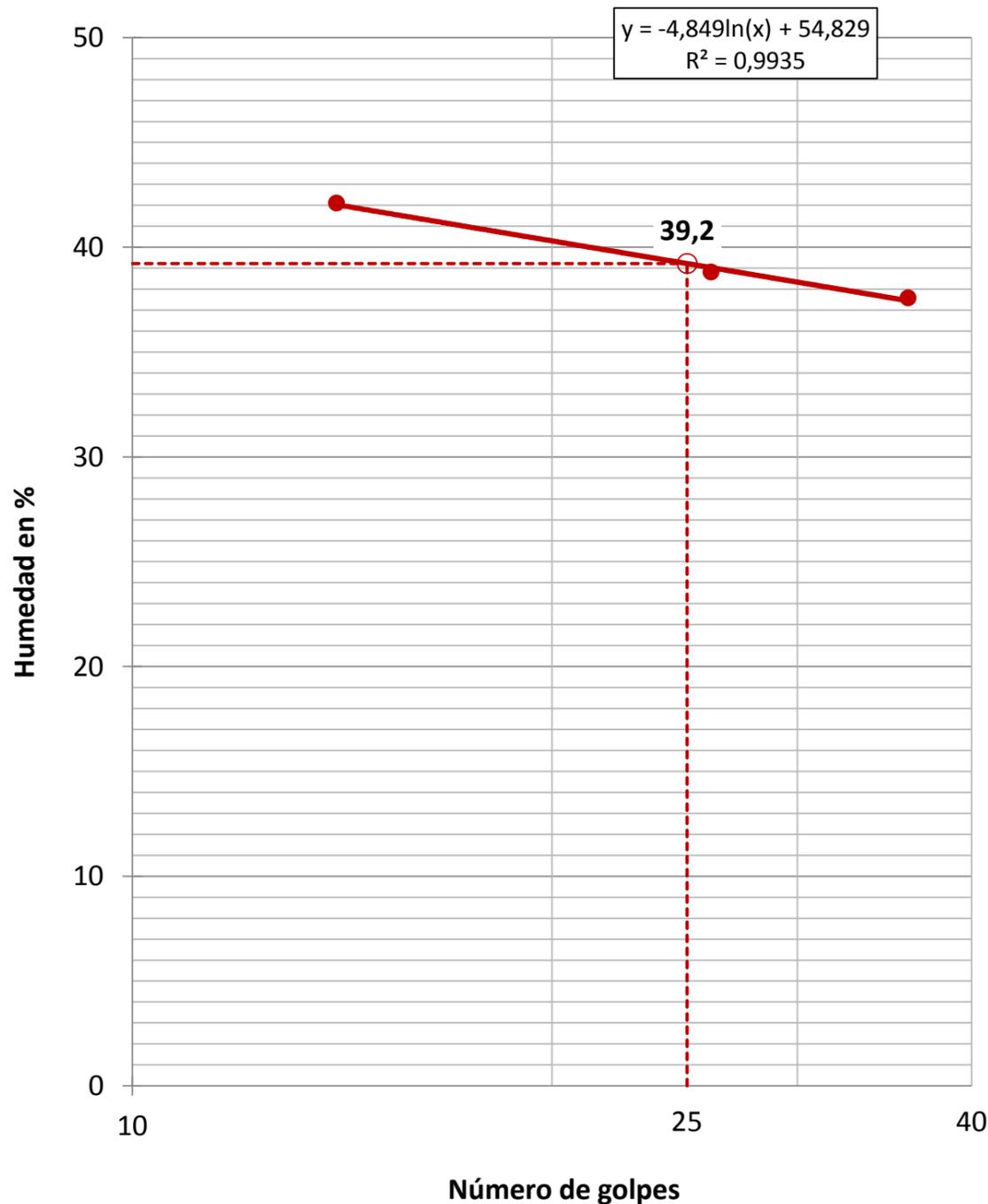
Equipos utilizados	
APARATO DE LÍMITE LIQUIDO MANUAL SDE EM-0251	
BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)	
HORNO INGTEST 5054 (CAL. 17-8-16)	

Condiciones de ensayo	
Temp. de secado previo (°C)	AL AIRE

Datos Límite Plástico				
Agua (g)	1,46	1,51		
Tara+Suelo+Agua (g)	22,70	20,97		
Tara+Suelo (g)	21,24	19,46		
Tara (g)	14,29	12,35		
Suelo (g)	6,95	7,11		
Humedad (%)	<b>21,0</b>	<b>21,2</b>		
Variación entre puntos (%)	0,4	0,7		

Resultados	
Límite Líquido, LL (%)	<b>39,2</b>
Límite Plástico, LP (%)	<b>21,1</b>
Índice de Plasticidad, IP (%)	<b>18,1</b>

Humedad Natural, w (%)	49,6
Índice de Líquidez, IL	1,6
Índice de Consistencia, IC	-0,6



OBSERVACIONES

Informe n°.: CM0016-18-0007  
Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 3 BOLSA / Prof.: 6,5-7,5 m

1 / 4

## APERTURA, DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS - INV E-102-13 / INV E-180-13 / INV E-181-13

Muestra referencia

MM18-0119

Código: CC-OL-RA-0001 Rv.00

### Datos generales

Peticionario  
Cliente  
Proyecto

SOLUM CONSTRUCCIONES SAS  
PROYECTO SANTA MONICA - CALI P3

### Datos de la muestra

Referencia cliente  
Situación

P - 3

Profundidad sup., m  
Profundidad inf., m  
Tipo de muestra  
Diámetro, cm  
Longitud, cm  
Fecha de toma  
Fecha de recepción

6,5  
7,5  
BOLSA  
3-4-18

### Datos de la apertura y preparación

Fecha de apertura  
Operador  
Medio de apertura  
Almacenamiento  
Entorno de ensayo

26-2-18  
VERONICA TERMAL  
MANUAL  
LABORATORIO  
LAB. GEOTECNIA

### Tipo de suelo

Clasificación USCS  
Litología grupo USCS  
Clasific. AASHTO

CL  
ARCILLA DE BAJA COMPRESIBILIDAD  
A-7-6 (13)

### Descripción de la muestra

Litología	Prof. m	Observaciones P- penetrómetro V- vane-test (kPa)
ARCILLA CON BASTANTE ARENA, COLOR CAFÉ ROJIZO.	6,5	
	7,5	

### ENSAYOS REALIZADOS

CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13  
DENSIDAD Y PESO UNITARIO. MÉTODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA - UNE 103301/94  
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13  
LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS - INV E-125-13 - INV E-126-13

### OBSERVACIONES

Informe n°.: CM0016-18-0007  
Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 3 BOLSA / Prof.: 6,5-7,5 m

2 / 4

**CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13**  
**DENSIDAD Y PESO UNITARIO. MÉTODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA - UNE 103301/94**

Referencia muestra

**MM18-0119****Equipos utilizados**

BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)

Temperatura de secado (°C) 110

**Datos del ensayo de humedad**

Tara (g)	32,42
Tara + suelo + agua (g)	115,62
Tara + suelo (g)	81,42
Agua (g)	34,20
Suelo (g)	49,00
Humedad, w (%)	69,8

Operador: VERONICA TERMAL  
Fecha final ensayo: 27/03/2018

**Resultados**

Contenido de humedad, w (%)	69,8
-----------------------------	------

**Equipos utilizados**

BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)

(\*) Densidad de la parafina = 0,9 Tn/m<sup>3</sup>

**Datos del ensayo densidad**

Peso suelo (g)	72,06
Peso suelo+parafina (g)	75,83
Peso parafina (g)	3,77
Peso en agua (g)	25,96
Volumen parafina (cm <sup>3</sup> )	4,19
Volumen suelo+parafina (cm <sup>3</sup> )	49,87

Operador: YICELLY VALENCIA  
Fecha final ensayo: 27/03/2018

Volumen suelo (cm <sup>3</sup> )	45,68
Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	1,577
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	0,929

**Resultados**

Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	1,577
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	0,929
Peso unitario aparente (kN/m <sup>3</sup> )	15,47
Peso unitario seco (kN/m <sup>3</sup> )	9,11

OBSERVACIONES



Informe n°.: CM0016-18-0007  
 Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 3 BOLSA / Prof.: 6,5-7,5 m

3 / 4

Referencia muestra

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13**

**MM18-0119**

**Equipos utilizados**

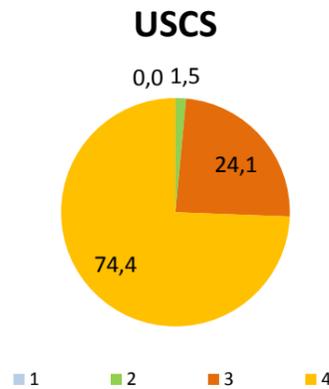
SERIE DE TAMICES PINZUAR  
 BALANZA RADWAG PS4500.R1  
 HORNO DE DESECACIÓN PROETI P0203

**Resultados**

N°	Abertura mm	Retenido tamices		Pasa muestra total		
		Parcial g	Total g	Total %	g	%
1/4"	6,3		0,00	0,0	285,35	100,0
N°4	4,75		4,18	1,5	281,17	98,5
N°10	2		9,49	4,8	271,68	95,2
N°30	0,6		5,64	6,8	266,04	93,2
N°40	0,425		3,85	8,1	262,19	91,9
N°60	0,25		10,51	11,8	251,68	88,2
N°100	0,15		21,10	19,2	230,58	80,8
N°200	0,075		18,27	25,6	212,31	74,4

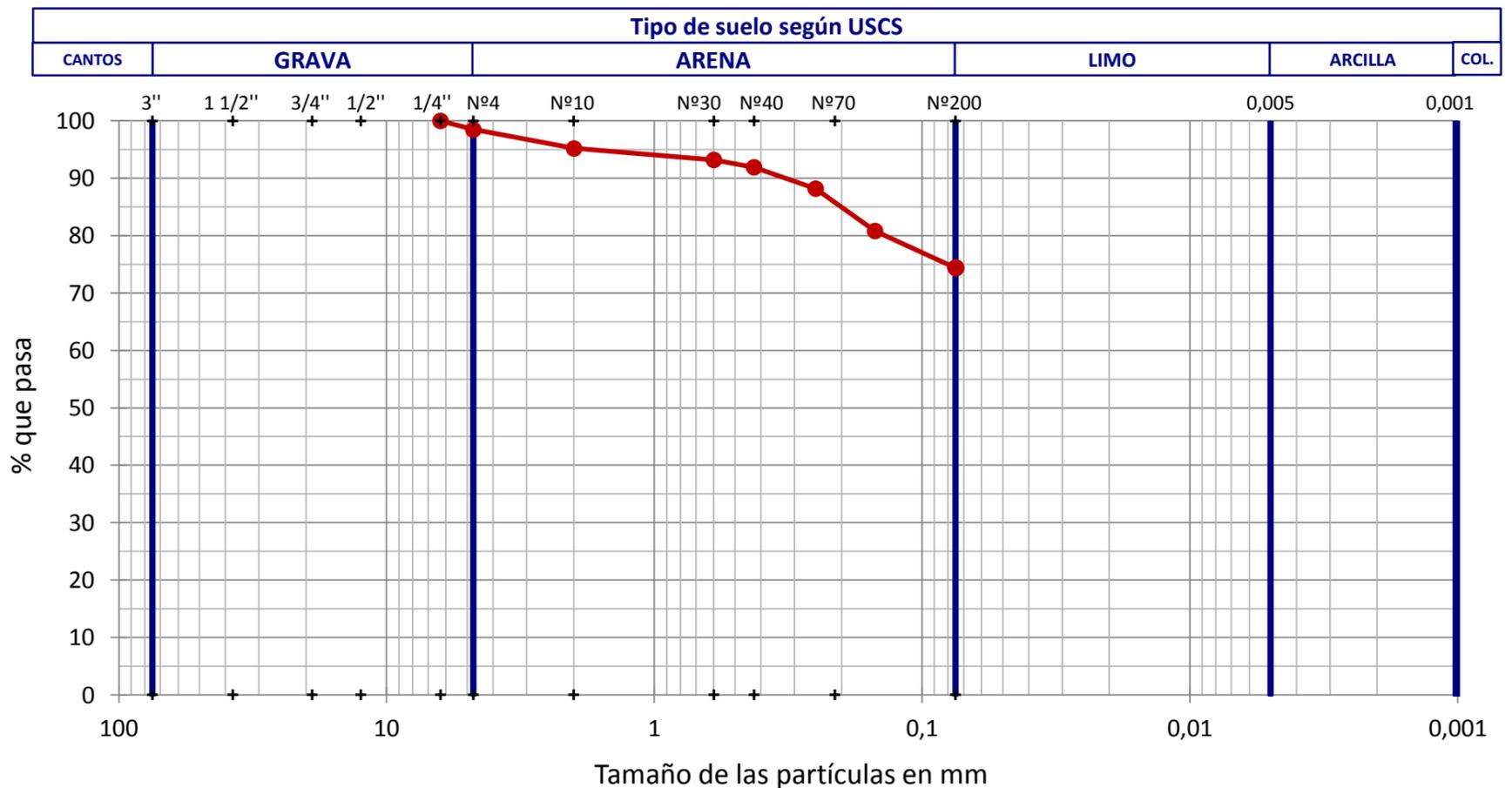
**Cálculos previos**

Temperatura de secado previo (°C)	110
Muestra total seca (g)	285,35
M.>19 mm (3/4"), total lav. y seca (g)	0,00
M.<19 mm (3/4"), seca ensay. (g)	285,35
M. 19-2 mm (3/4"-N°10), lavada y seca (g)	13,67
M. 19-2 mm (3/4"-N°10), total lav. y seca (g)	13,67
M.>2 mm (N°10), lavada y seca (g)	13,67
M.<2 mm (N°10), ensay. seca (g)	271,68
M.<2 mm (N°10), ensayada y seca (g)	271,68
M.<2 mm (N°10), total y seca (g)	271,68
Muestra total seca (g)	285,35
Humedad higrosc., % (fracción<2 mm, N°10)	0,0
Factor corr., f (fracción<2 mm, N°10)	1,0000



**Tipo de suelo según USCS**

% CANTOS > 75 mm	% GRAVA 75-4,75 mm	% ARENA 4,75-0,075 mm	% FINOS <0,075 mm
0,0	1,5	24,1	74,4
	% Grava gruesa 75-19 mm: 0,0	% Arena gruesa 4,75-2 mm: 3,3	
	% Grava fina 19-4,75 mm: 1,5	% Arena media 2-0,425 mm: 3,3	
		% Arena fina 0,425-0,075 mm: 17,5	



**OBSERVACIONES**



Informe n°:	CM0016-18-0007
Fecha edición:	06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 3 BOLSA / Prof.: 6,5-7,5 m

4 / 4

**LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS** - Referencia muestra  
**INV E-125-13 - INV E-126-13** **MM18-0119**

Datos Límite Líquido				
Número de golpes	32	22	14	
Agua (g)	2,61	3,37	3,46	
Tara+Suelo+Agua (g)	23,70	24,57	25,52	
Tara+Suelo (g)	21,09	21,20	22,06	
Tara (g)	14,58	13,08	14,39	
Suelo (g)	6,51	8,12	7,67	
Humedad (%)	<b>40,1</b>	<b>41,5</b>	<b>45,1</b>	

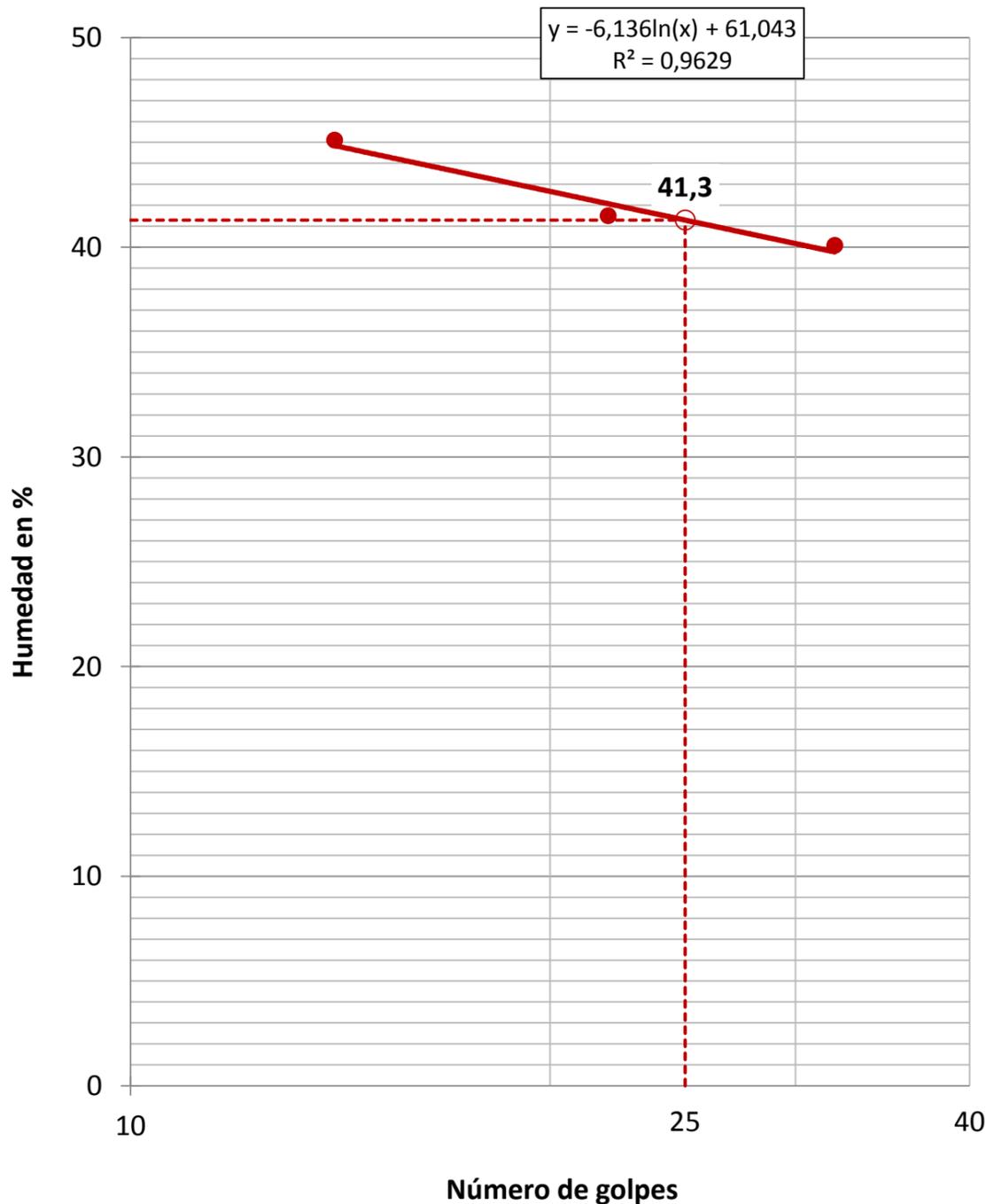
Equipos utilizados	
APARATO DE LÍMITE LIQUIDO MANUAL SDE EM-0251	
BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)	
HORNO INGATEST 5054 (CAL. 17-8-16)	

Condiciones de ensayo	
Temp. de secado previo (°C)	AL AIRE

Datos Límite Plástico				
Agua (g)	1,52	1,68		
Tara+Suelo+Agua (g)	23,31	21,41		
Tara+Suelo (g)	21,79	19,73		
Tara (g)	15,03	12,32		
Suelo (g)	6,76	7,41		
Humedad (%)	<b>22,5</b>	<b>22,7</b>		
Variación entre puntos (%)	0,5	0,3		

Resultados	
Límite Líquido, LL (%)	<b>41,3</b>
Límite Plástico, LP (%)	<b>22,6</b>
Índice de Plasticidad, IP (%)	<b>18,7</b>

Humedad Natural, w (%)	69,8
Índice de Líquidez, IL	2,5
Índice de Consistencia, IC	-1,5



OBSERVACIONES

Informe n°.: CM0016-18-0007  
Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 3 BOLSA / Prof.: 10-11,5 m

1 / 14

## APERTURA, DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS - INV E-102-13 / INV E-180-13 / INV E-181-13

Muestra referencia

MM18-0120

Código: CC-OL-RA-0001 Rv.00

### Datos generales

Peticionario  
Cliente  
Proyecto

SOLUM CONSTRUCCIONES SAS  
PROYECTO SANTA MONICA - CALI P3

### Datos de la muestra

Referencia cliente  
Situación

P - 3

Profundidad sup., m  
Profundidad inf., m  
Tipo de muestra  
Diámetro, cm  
Longitud, cm  
Fecha de toma  
Fecha de recepción

10  
11,5  
BOLSA  
3-4-18

### Datos de la apertura y preparación

Fecha de apertura  
Operador  
Medio de apertura  
Almacenamiento  
Entorno de ensayo

26-2-18  
VERONICA TERMAL  
MANUAL  
LABORATORIO  
LAB. GEOTECNIA

### Tipo de suelo

Clasificación USCS  
Litología grupo USCS  
Clasific. AASHTO

CH  
ARCILLA DE ALTA COMPRESIBILIDAD  
A-7-5 (34)

### Descripción de la muestra

Litología	Prof. m	Observaciones P- penetrómetro V- vane-test (kPa)
ARCILLA CON INDICIOS DE ARENA, COLOR CAFÉ ROJIZO. CON ZONAS BEIGE.	10	
	11,5	

### ENSAYOS REALIZADOS

CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13  
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13  
LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS - INV E-125-13 - INV E-126-13  
ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN MUESTRAS DE SUELO, CD - INV E-154-13  
CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS - INV E-151-13 (MÉTODO B)

### OBSERVACIONES

MUESTRA NO APLICO, PARA REALIZAR EL ENSAYO DE DENSIDAD ( PESO UNITARIO).



Informe n°.: CM0016-18-0007  
 Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 3 BOLSA / Prof.: 10-11,5 m

2 / 14

## CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13

Referencia muestra

**MM18-0120**

### Equipos utilizados

BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
 HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)

Temperatura de secado (°C) 110

### Datos del ensayo de humedad

Tara (g)	32,79
Tara + suelo + agua (g)	122,55
Tara + suelo (g)	103,85
Agua (g)	18,70
Suelo (g)	71,06
Humedad, w (%)	26,3

Operador: VERONICA TERMAL

Fecha final ensayo: 27/03/2018

### Resultados

Contenido de humedad, w (%)	<b>26,3</b>
-----------------------------	-------------

OBSERVACIONES



Informe n°.: CM0016-18-0007  
 Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 3 BOLSA / Prof.: 10-11,5 m

3 / 14

Referencia muestra

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13**

**MM18-0120**

**Equipos utilizados**

SERIE DE TAMICES PINZUAR  
 BALANZA RADWAG PS4500.R1  
 HORNO DE DESECACIÓN PROETI P0203

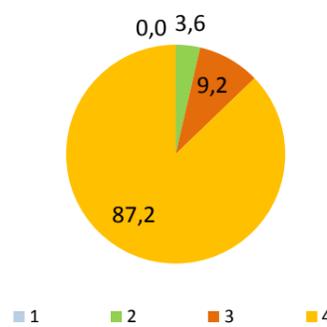
**Resultados**

Nº	Abertura mm	Retenido tamices		Pasa muestra total		
		Parcial g	Total g	Total %	g	%
3/4"	19		0,00	0,0	252,25	100,0
1/2"	12,5		3,80	1,5	248,45	98,5
3/8"	9,5		3,48	2,9	244,97	97,1
1/4"	6,3		0,83	3,2	244,14	96,8
Nº4	4,75		1,09	3,6	243,05	96,4
Nº10	2		2,33	4,6	240,72	95,4
Nº30	0,6		7,35	7,5	233,37	92,5
Nº40	0,425		3,17	8,7	230,20	91,3
Nº60	0,25		3,13	10,0	227,07	90,0
Nº100	0,15		2,64	11,0	224,43	89,0
Nº200	0,075		4,48	12,8	219,95	87,2

**Cálculos previos**

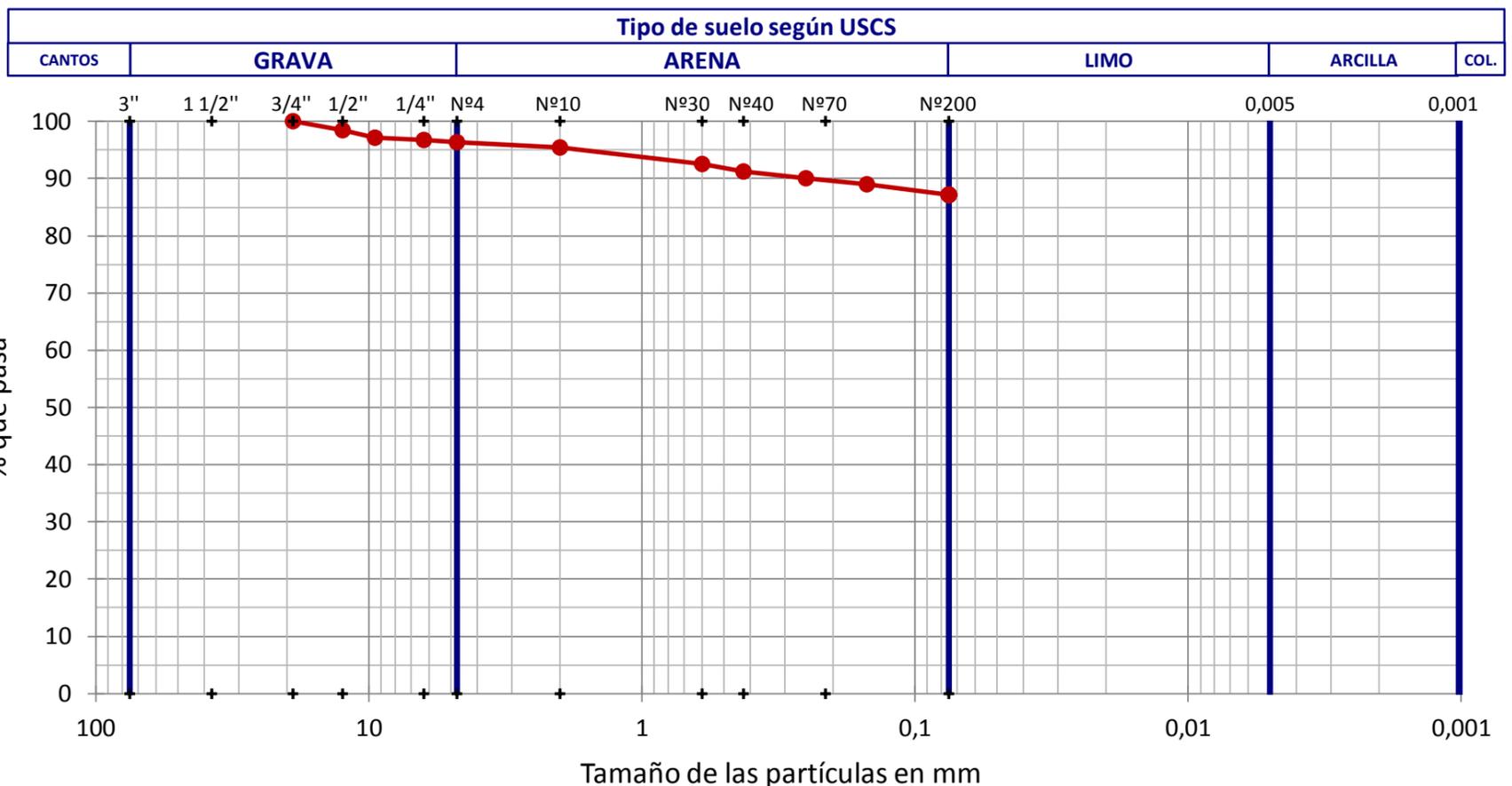
Temperatura de secado previo (°C)	110
Muestra total seca (g)	252,25
M.>19 mm (3/4"), total lav. y seca (g)	0,00
M.<19 mm (3/4"), seca ensay. (g)	252,25
M. 19-2 mm (3/4"-Nº10), lavada y seca (g)	11,53
M. 19-2 mm (3/4"-Nº10), total lav. y seca (g)	11,53
M.>2 mm (Nº10), lavada y seca (g)	11,53
M.<2 mm (Nº10), ensay. seca (g)	240,72
M.<2 mm (Nº10), ensayada y seca (g)	240,72
M.<2 mm (Nº10), total y seca (g)	240,72
Muestra total seca (g)	252,25
Humedad higrosc., % (fracción<2 mm, Nº10)	0,0
Factor corr., f (fracción<2 mm, Nº10)	1,0000

**USCS**



**Tipo de suelo según USCS**

% CANTOS > 75 mm	% GRAVA 75-4,75 mm	% ARENA 4,75-0,075 mm	% FINOS <0,075 mm
0,0	3,6	9,2	87,2
	% Grava gruesa 75-19 mm: 0,0	% Arena gruesa 4,75-2 mm: 1,0	
	% Grava fina 19-4,75 mm: 3,6	% Arena media 2-0,425 mm: 4,1	
		% Arena fina 0,425-0,075 mm: 4,1	



**OBSERVACIONES**



Informe n°:	CM0016-18-0007
Fecha edición:	06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 3 BOLSA / Prof.: 10-11,5 m

4 / 14

**LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS - INV E-125-13 - INV E-126-13**

Referencia muestra

**MM18-0120**

Datos Límite Líquido				
Número de golpes	32	22	14	
Agua (g)	3,83	4,21	4,55	
Tara+Suelo+Agua (g)	24,78	23,94	24,26	
Tara+Suelo (g)	20,95	19,73	19,71	
Tara (g)	14,91	13,38	13,16	
Suelo (g)	6,04	6,35	6,55	
Humedad (%)	<b>63,4</b>	<b>66,3</b>	<b>69,5</b>	

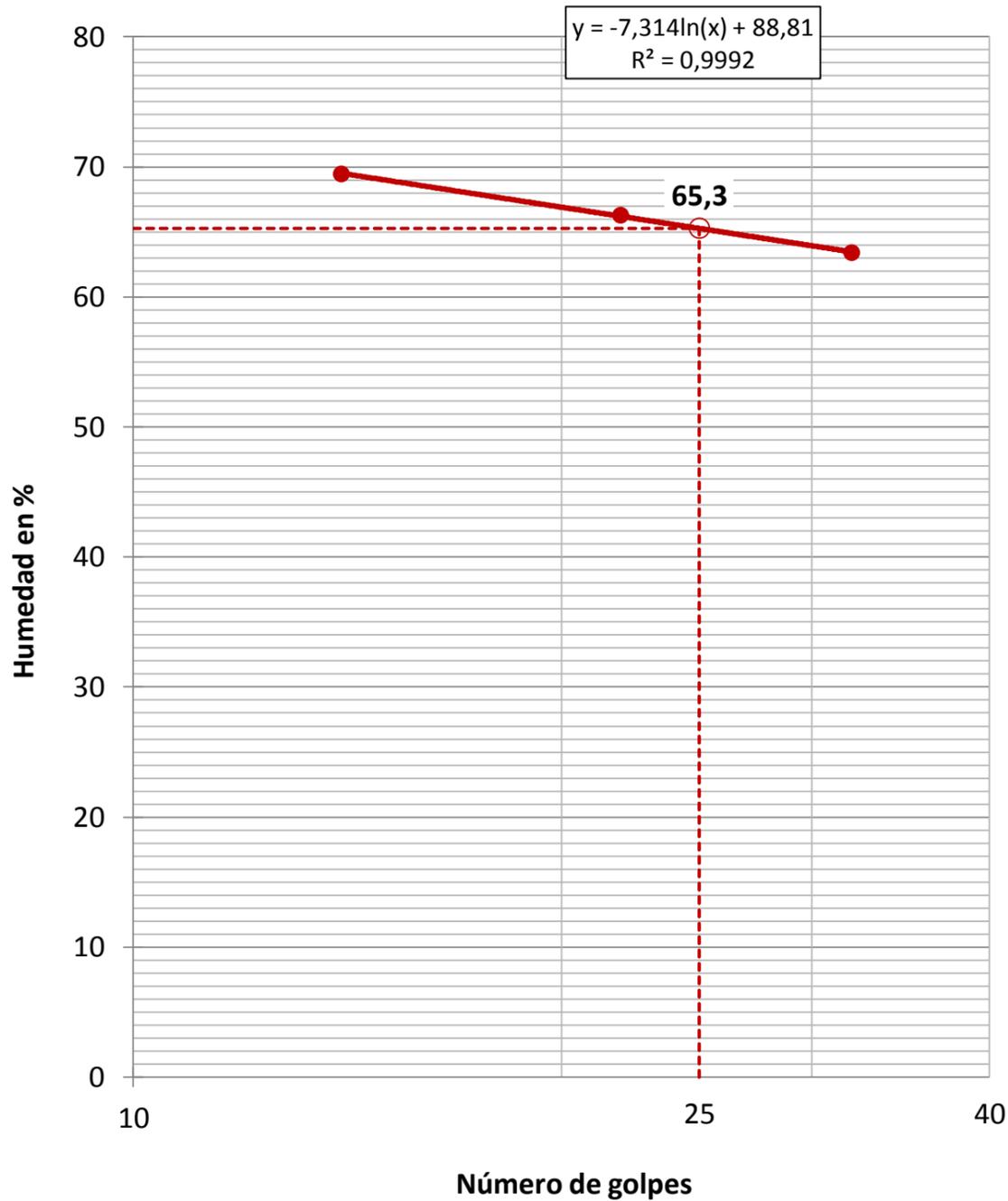
Equipos utilizados	
APARATO DE LÍMITE LIQUIDO MANUAL SDE EM-0251	
BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)	
HORNO INGATEST 5054 (CAL. 17-8-16)	

Condiciones de ensayo	
Temp. de secado previo (°C)	AL AIRE

Datos Límite Plástico				
Agua (g)	1,71	1,66		
Tara+Suelo+Agua (g)	21,79	21,75		
Tara+Suelo (g)	20,08	20,09		
Tara (g)	14,75	14,94		
Suelo (g)	5,33	5,15		
Humedad (%)	<b>32,1</b>	<b>32,2</b>		
Variación entre puntos (%)	0,4	0,1		

Resultados	
Límite Líquido, LL (%)	<b>65,3</b>
Límite Plástico, LP (%)	<b>32,2</b>
Índice de Plasticidad, IP (%)	<b>33,1</b>

Humedad Natural, w (%)	26,3
Índice de Líquidez, IL	-0,2
Índice de Consistencia, IC	1,2



OBSERVACIONES



Informe n°:	CM0016-18-0007
Fecha edición:	06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 3 BOLSA / Prof.: 10-11,5 m

5 / 14

Referencia muestra

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN MUESTRAS DE SUELO - INV E-154-13**

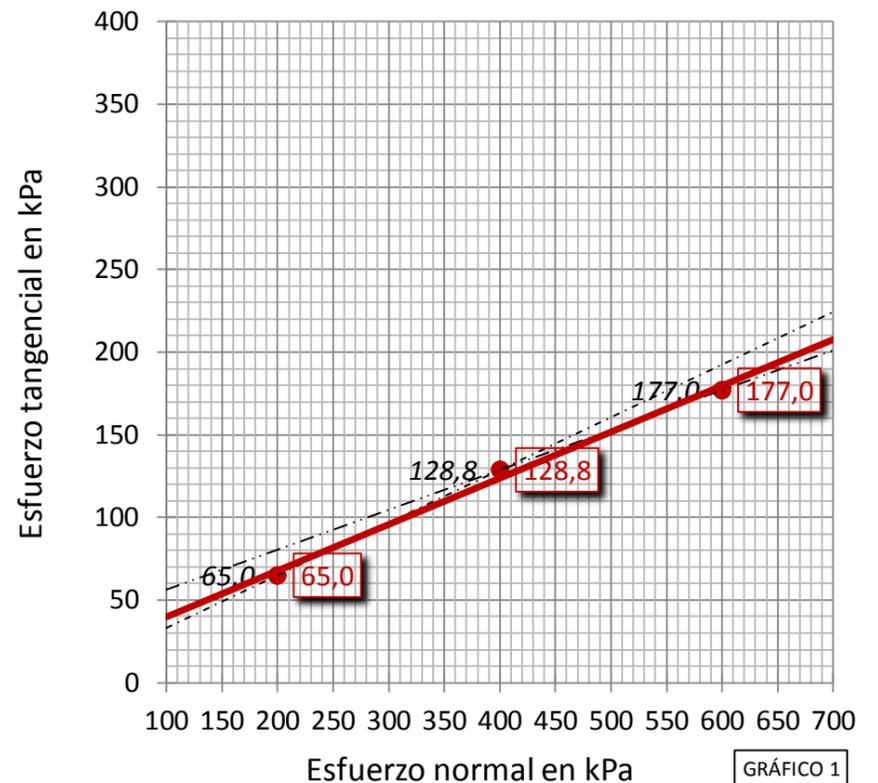
**MM18-0120**

<b>Tipo de ensayo</b>	<b>CD</b>	<b>Condiciones del suelo</b>	REMOLDEADO
<b>Equipos utilizados</b>	APARATO DE CORTE DIRECTO PROETI S0125 - 3 KN CAJA DE CORTE CIRCULAR BALANZA RADWAG PS4500.R1 HORNO DE DESECACIÓN PROETI P0203		
<b>Condiciones ensayo</b>	Suelo sumergido SI Saturación previa NO Consolid. previa SI Rotura drenada SI Parám. residuales NO		
<b>Condiciones remoldeo probeta</b>	Fracción inferior tamiz, cm 4,75 Datos referencia para reamasado PROCTOR MOD. Densidad seca máx., kN/m3 --- Humedad óptima, % --- Grado de compactación (%) 100		

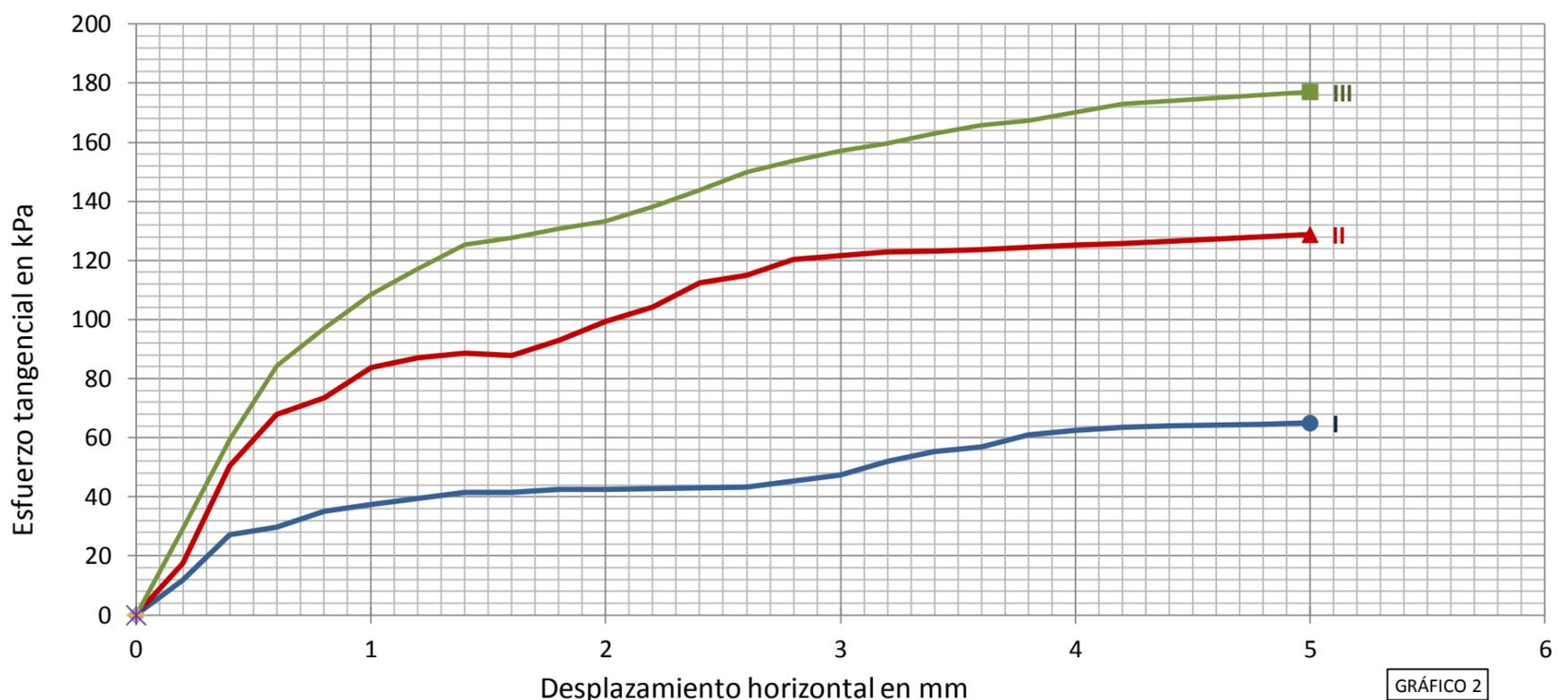
**Símbolos en gráficos 2 a 4 (tens. normal, kPa)**



Datos del ensayo	200	400	600
Tensión normal (kPa)	200	400	600
Área inicial (cm2)	19,682	19,682	19,682
Área final corr. (cm2) (*)	17,183	17,183	17,183
Volumen inicial (cm3)	37,36	37,36	37,36
Humedad inicial (%)	38,9	38,9	38,9
Humedad final (%)	43,1	41,5	40,9
Dens. apar. ini. (Tn/m3)	1,778	1,786	1,773
Dens. seca ini. (Tn/m3)	1,280	1,286	1,276
Consolid. previa (mm)	1,078	1,778	2,309
Consolid. final (mm)	1,409	2,062	2,608
Índ. poros inicial	1,0703	1,0607	1,0768
Í. poros final cons. previa	0,9527	0,8677	0,8241
Í. poros final ensayo	0,9166	0,8368	0,7914
Grado satur. ini. (%)	96,31	97,19	95,73
Grado satur. final ens. (%)	100,00	100,00	100,00
Esfuerzo tang. máx. (kPa)	65,0	128,8	177,0
Esfuerzo tang. adop. (kPa)	65,0	128,8	177,0
Veloc. Horizontal (mm/min)	0,08300	0,08300	0,08300
Gravedad específica part. sólidas	2.650 (estimada)		



Símbolos en gráfico 1	177,042	177,042	177,042	177,042	177,042
Resultados	INTERPRETACIÓN LABORATORIO	ESTIMACIÓN CON ESFUERZOS MÁXIMOS	ESTIMACIÓN ENTRE PUNTOS 1 Y 2	ESTIMACIÓN ENTRE PUNTOS 2 Y 3	PARÁMETROS RESIDUALES
Áng. fricción int. (°)	15,6	15,6	17,7	13,6	
Cohesión (kPa)	11,6	11,6	1,3	32,2	
(kp/cm2)	0,12	0,12	0,01	0,33	



**OBSERVACIONES**

Operador: VERONICA TERMAL

Código: CC-COL-RA-0015 Rv.00

Fecha final ensayo: 10/04/2018

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN MUESTRAS DE SUELO - INV E-154-13**

**MM18-0120**

**Curvas de consolidación**

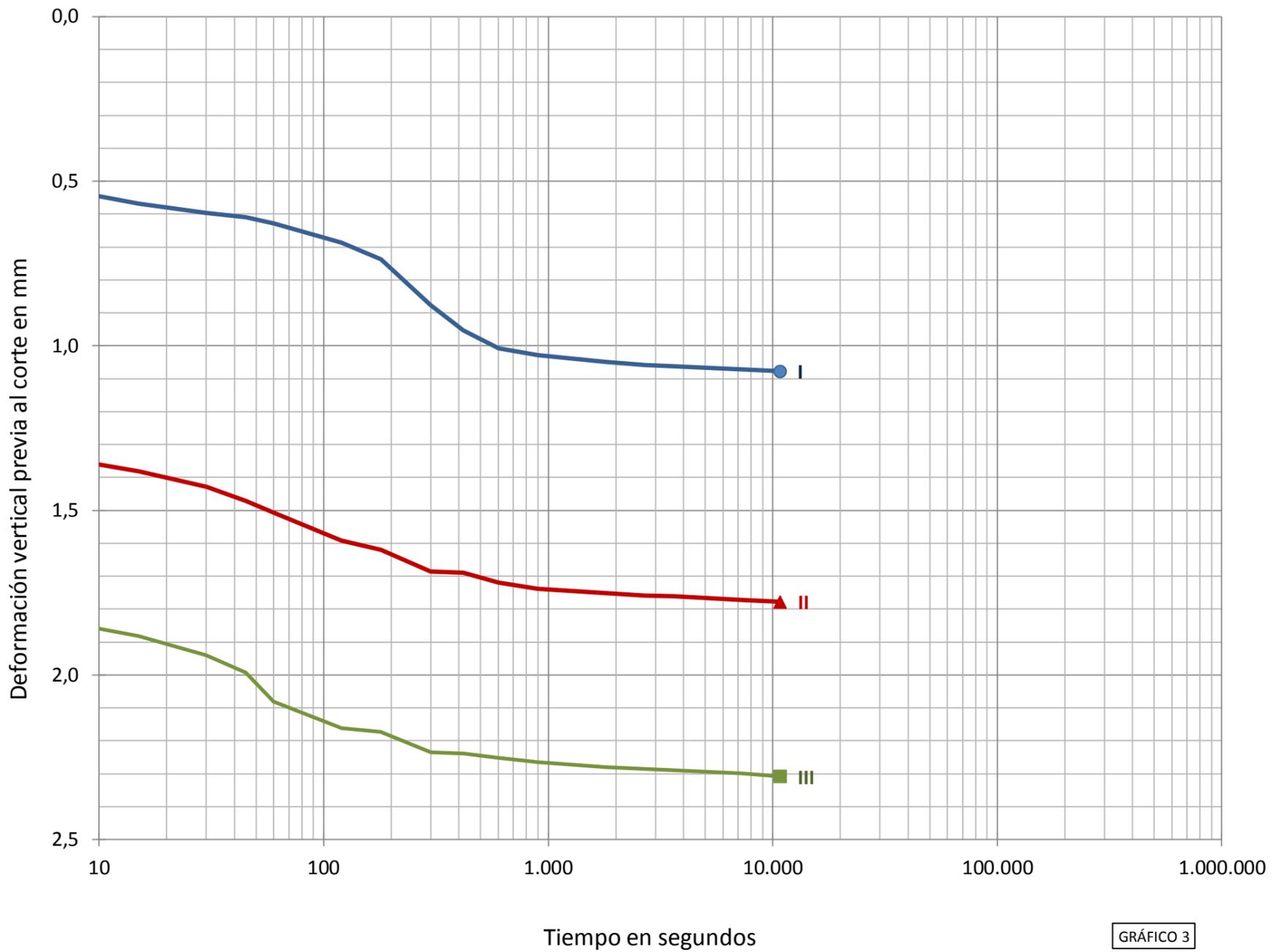


GRÁFICO 3

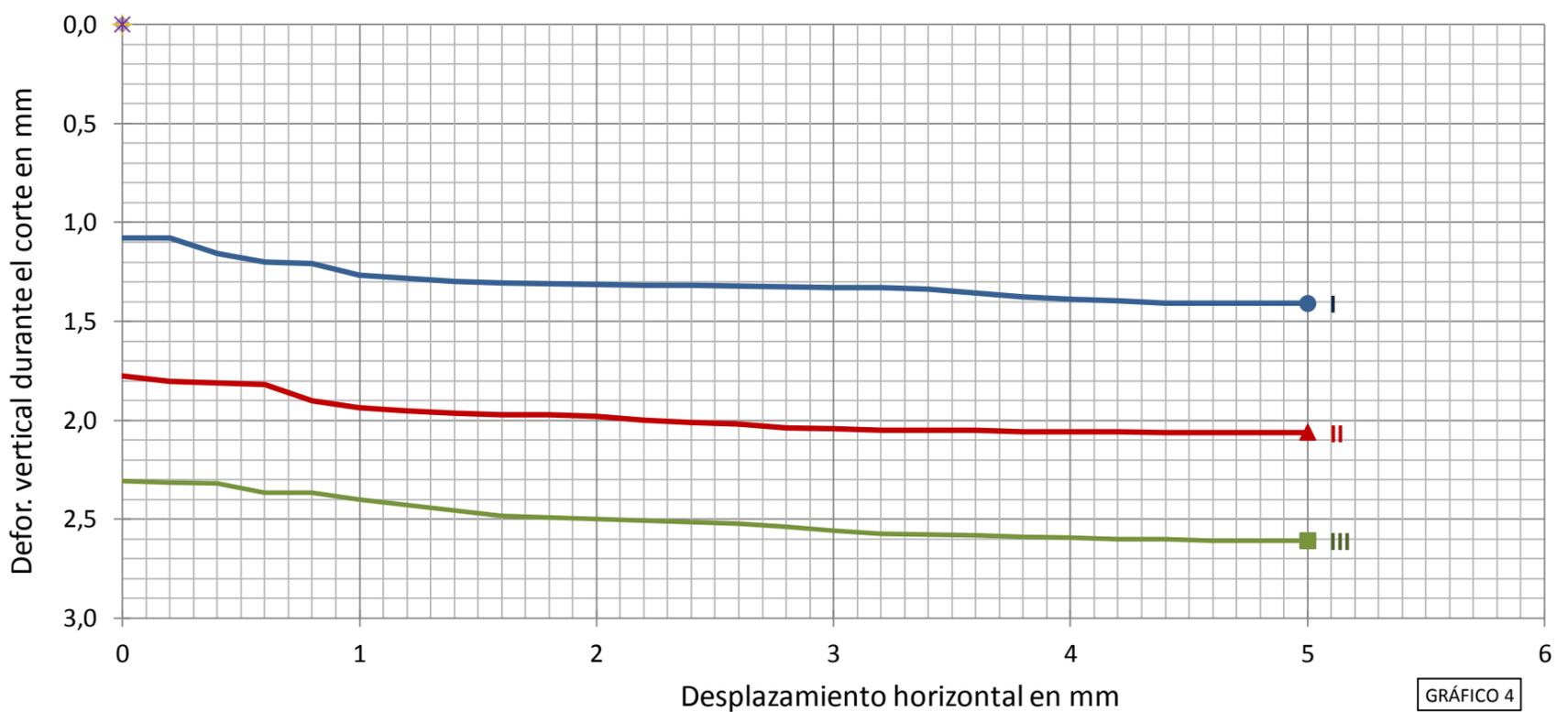


GRÁFICO 4

Informe n°.: CM0016-18-0007  
Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 3 BOLSA / Prof.: 10-11,5 m

7 / 14

Referencia muestra

**CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS - INV E-151-13 (MÉTODO B)****MM18-0120****Datos del ensayo**

Tipo de anillo empleado	
Altura (cm)	1,938
Diámetro (cm)	4,996
Volumen (cm <sup>3</sup> )	37,98
Peso anillo (g)	82,39
Peso anillo+suelo (g)	149,75
(*) Peso ini. suelo húmedo (g)	67,36
Gravedad esp. part. sól.	2,650
Humedad inicial (%)	40,2
Densidad apar. inicial (Tn/m <sup>3</sup> )	1,774
Densidad seca inicial (Tn/m <sup>3</sup> )	1,265
Grado saturación inicial (%)	97,30
Humedad final (%)	36,5
Densidad apar. final (Tn/m <sup>3</sup> )	1,839
Densidad seca final (Tn/m <sup>3</sup> )	1,347
Grado saturación final (%)	99,99

Nota: Gravedad esp. part. sól. estimada en 2.650

**Resultados**

Relación de vacíos inicial, e <sub>0</sub>	1,0949
Relación de vacíos final, e <sub>f</sub>	0,9661
Altura sólido, H <sub>s</sub> (cm)	0,9251
Altura vacíos final, H <sub>ps</sub> (cm)	0,8937

**Equipos utilizados**

CONSOLIDÓMETRO PROETI 2  
BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
HORNO INGTEST 5054 (CAL. 17-8-16)

**Condiciones del suelo****REAMASADO****Condiciones para el remoldeo de la probeta**

Fracción inferior tamiz (mm)	4,75
Datos referencia para el remoldeo	PROCTOR NOR.
Densidad seca máx. (kN/m <sup>3</sup> )	
Humedad óptima (%)	
Grado de compactación (%)	100

**Resultados**

Estado de presión kPa	Fecha carga	Tiempo final sg	Asiento instantáneo mm	Lectura t=10 sg mm	L <sub>0</sub> (Mét. Casagrande) mm	Lectura final mm	Altura muestra final cm	Relación de vacíos en L <sub>0</sub> e <sub>L0</sub>	Relación de vacíos final e <sub>f</sub>	Índ. compresión (*) C <sub>c</sub>	Ind. Hinchamiento (*) C <sub>s</sub>	Mód. Edométrico Em kPa	Coef. compresibilidad av 1/kPa	Coef. consolidación cv cm <sup>2</sup> /s	Coef. compresibilidad m <sub>v</sub> 1/kPa
12,5	05-04-18	120	0,019	0,019	0,020	0,009	1,9371	1,0927	1,0939						
25	05-04-18	300	0,011	0,020	0,020	0,020	1,9360	1,0927	1,0927	0,0040		21.811	9,60E-05		4,58E-05
50	05-04-18	1.800	0,067	0,089	0,087	0,102	1,9278	1,0855	1,0839	0,0292		5.945	3,52E-04		1,68E-04
100	05-04-18	3.600	0,086	0,197	0,188	0,260	1,9120	1,0746	1,0668	0,0568		6.093	3,42E-04	1,00E-03	1,64E-04
200	05-04-18	10.800	0,119	0,407	0,379	0,630	1,8750	1,0539	1,0268	0,1329		5.167	4,00E-04	1,10E-03	1,94E-04
400	05-04-18	73.500	0,104	0,794	0,734	1,209	1,8171	1,0156	0,9642	0,2080		6.475	3,13E-04	1,11E-03	1,54E-04
800	06-04-18	217.800	0,096	1,384	1,305	1,904	1,7476	0,9538	0,8891	0,2495		10.462	1,88E-04	1,34E-03	9,56E-05
200	09-04-18	7.200	-0,054	1,829	1,850	1,727	1,7653	0,8949	0,9082		0,0317	59.343	3,18E-05		1,69E-05
50	09-04-18	10.800	-0,011	1,700	1,716	1,593	1,7787	0,9094	0,9227		0,0241	19.740	9,67E-05		5,07E-05
12,5	09-04-18	41.400	-0,020	1,549	1,573	1,192	1,8188	0,9249	0,9661		0,0721	1.661	1,16E-03		6,02E-04

NOTA: Los índices de compresión (C<sub>c</sub>) y de hinchamiento (C<sub>s</sub>), así como los módulos edométricos (Em) y los coeficientes de compresibilidad (av), se estiman entre un escalón de presión y el inmediatamente anterior como primera aproximación, tomando para el cálculo los valores de índice de poros obtenidos al final de los escalones de presión considerados.

**OBSERVACIONES**

Operador: YICELLY VALENCIA

Código: CC-OL-RA-0013 Rv.00

Fecha final ensayo: 10/04/2018



Informe n°.: CM0016-18-0007  
 Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 3 BOLSA / Prof.: 10-11,5 m

8 / 14

**CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS - INV E-151-13 (MÉTODO B)**

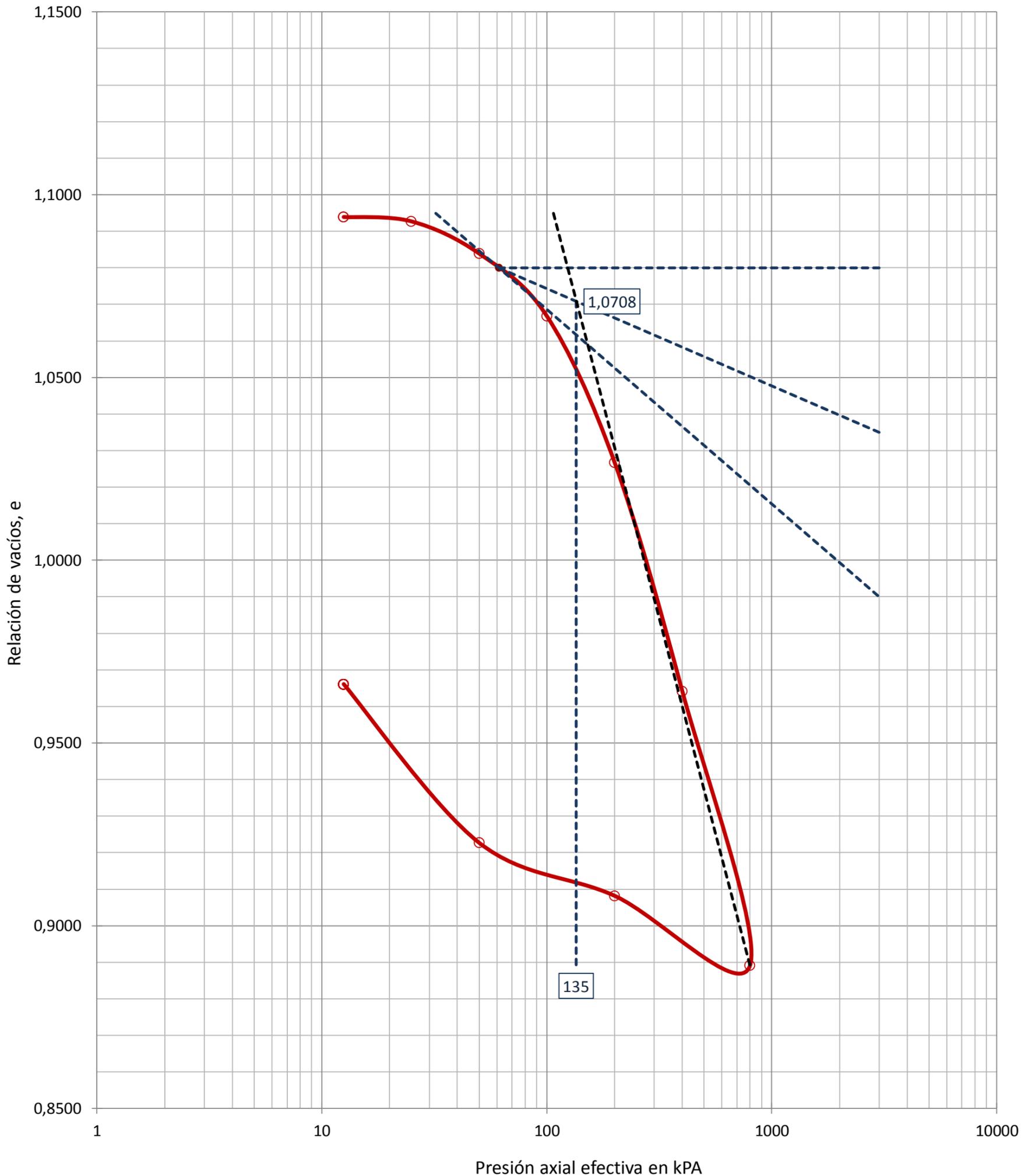
Referencia muestra

**MM18-0120**

**CURVA EDOMÉTRICA**

Relación de vacíos inicial	<b>1,0949</b>
Relación de vacíos final	<b>0,9661</b>
Humedad inicial (%)	<b>40,2</b>
Humedad final (%)	<b>36,5</b>

P. preconsolidación, $\sigma'_p$ (kPa)	<b>135</b>
relación de vacíos	<b>1,0708</b>
Método de determinación	<b>Casagrande</b>
Índice de compresión, cc	<b>0,2355</b>



Informe n°.: CM0016-18-0007  
 Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 3 BOLSA / Prof.: 10-11,5 m

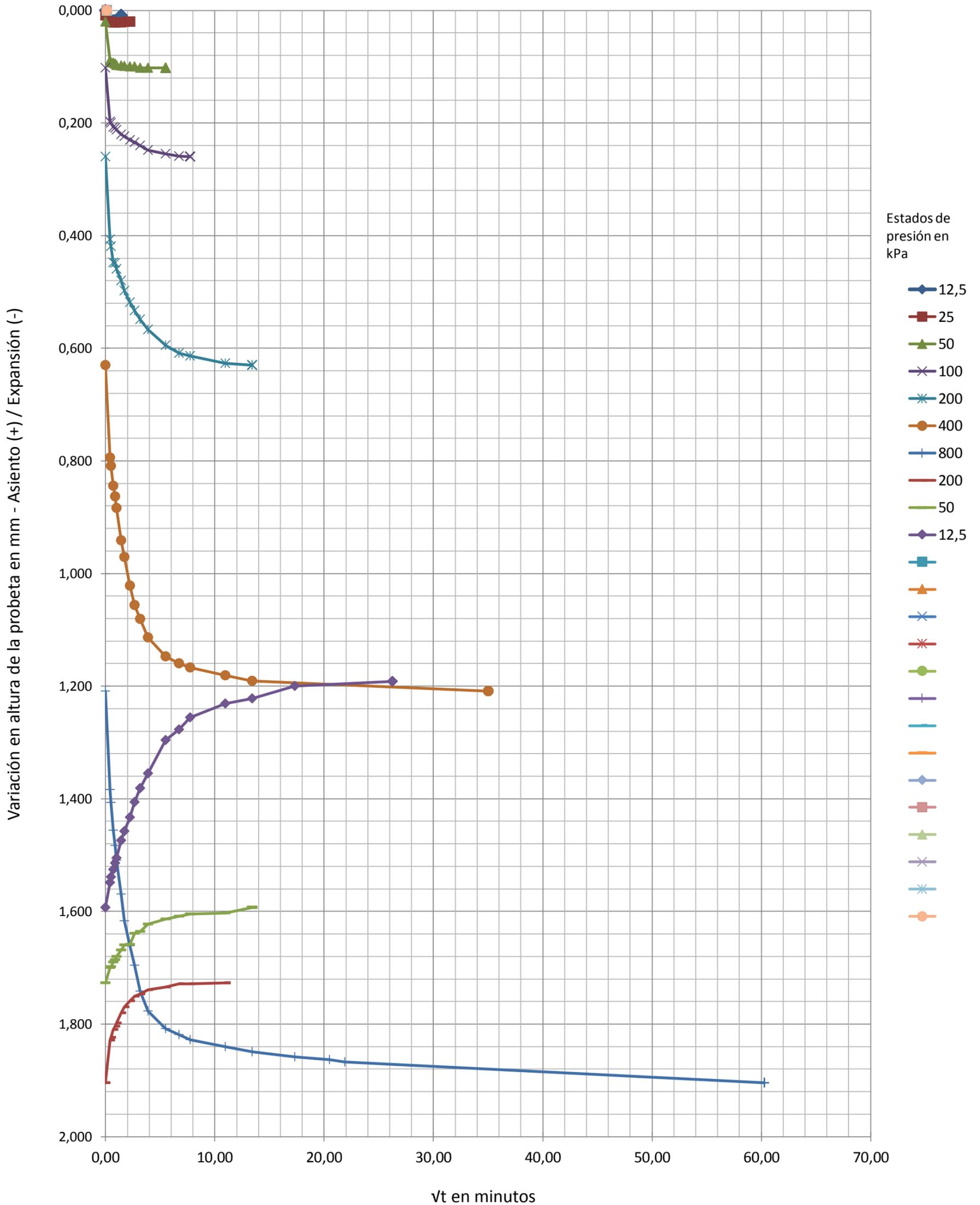
9 / 14

**CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS - INV E-151-13 (MÉTODO B)**

Referencia muestra

**MM18-0120**

**CURVAS DE CONSOLIDACIÓN**



Código: CC-OL-RA-0013 Rv.00



Informe n°.: CM0016-18-0007  
 Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 3 BOLSA / Prof.: 10-11,5 m

10 / 14

**CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS - INV E-151-13 (MÉTODO B)**

Referencia muestra

**CURVAS DE CONSOLIDACIÓN**

**MM18-0120**

**Estados de presión**

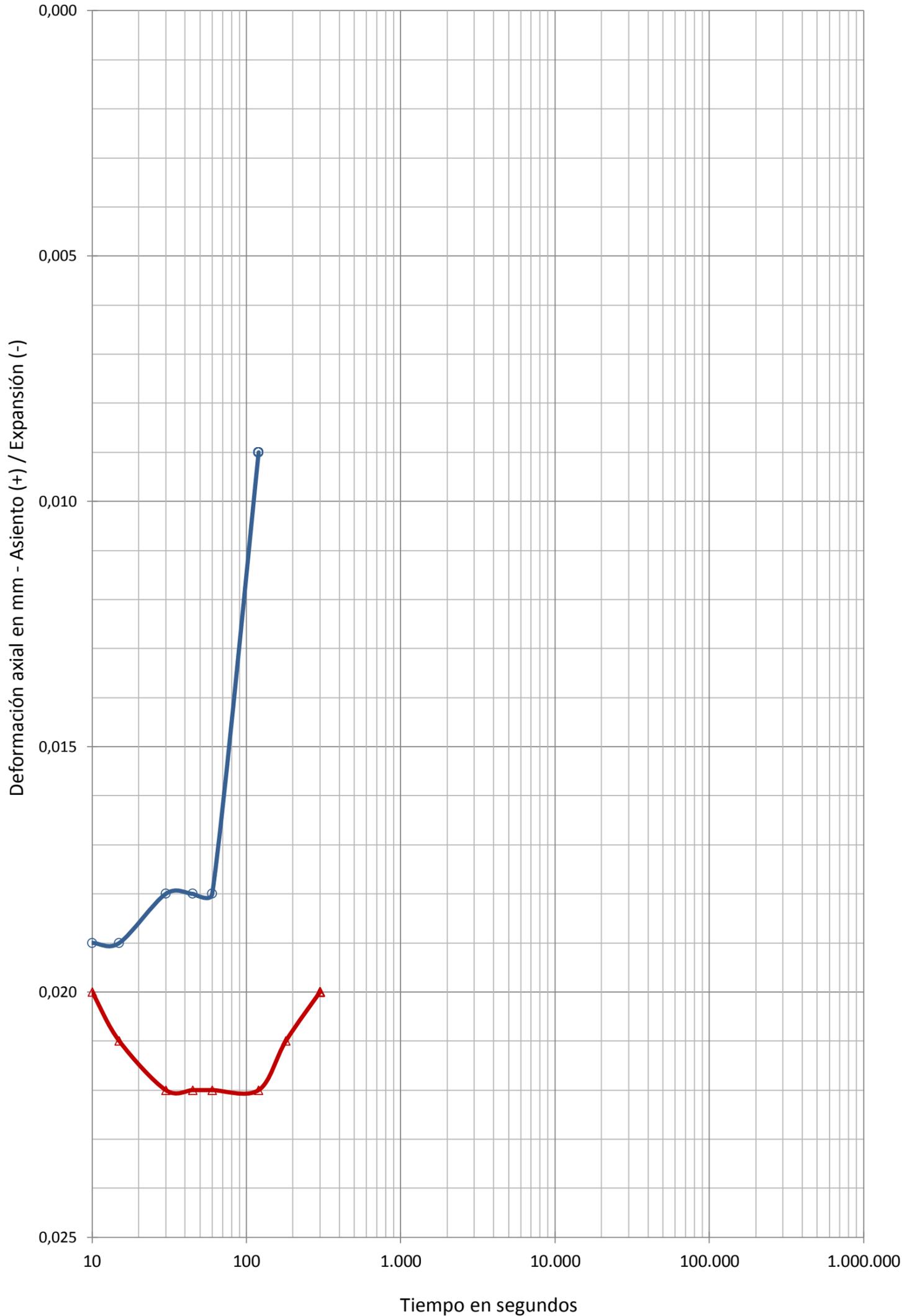
Estado de presión (kPa)    —○— **12,5**    —△— **25**    Diámetro probeta (cm) **4,996**  
 L0 (método de Casagrande)    **0,020**    **0,020**    Altura inicial probeta (cm) **1,938**

Fecha	Fecha
05-abr-18	05-abr-18

Presión (kPa)	Presión (kPa)
<b>12,5</b>	<b>25</b>

Lecturas asiento (+)	Rel. vacíos		Lecturas asiento (+)	Rel. vacíos	
	sg	mm e		sg	mm e

10	0,019	1,0929	10	0,020	1,0927
15	0,019	1,0929	15	0,021	1,0926
30	0,018	1,0930	30	0,022	1,0925
45	0,018	1,0930	45	0,022	1,0925
60	0,018	1,0930	60	0,022	1,0925
120	0,009	1,0939	120	0,022	1,0925
			180	0,021	1,0926
			300	0,020	1,0927



Código: CC-OL-RA-0013 Rv.00



Informe n°.: CM0016-18-0007  
 Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 3 BOLSA / Prof.: 10-11,5 m

11 / 14

**CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS - INV E-151-13 (MÉTODO B)**

Referencia muestra

**CURVAS DE CONSOLIDACIÓN**

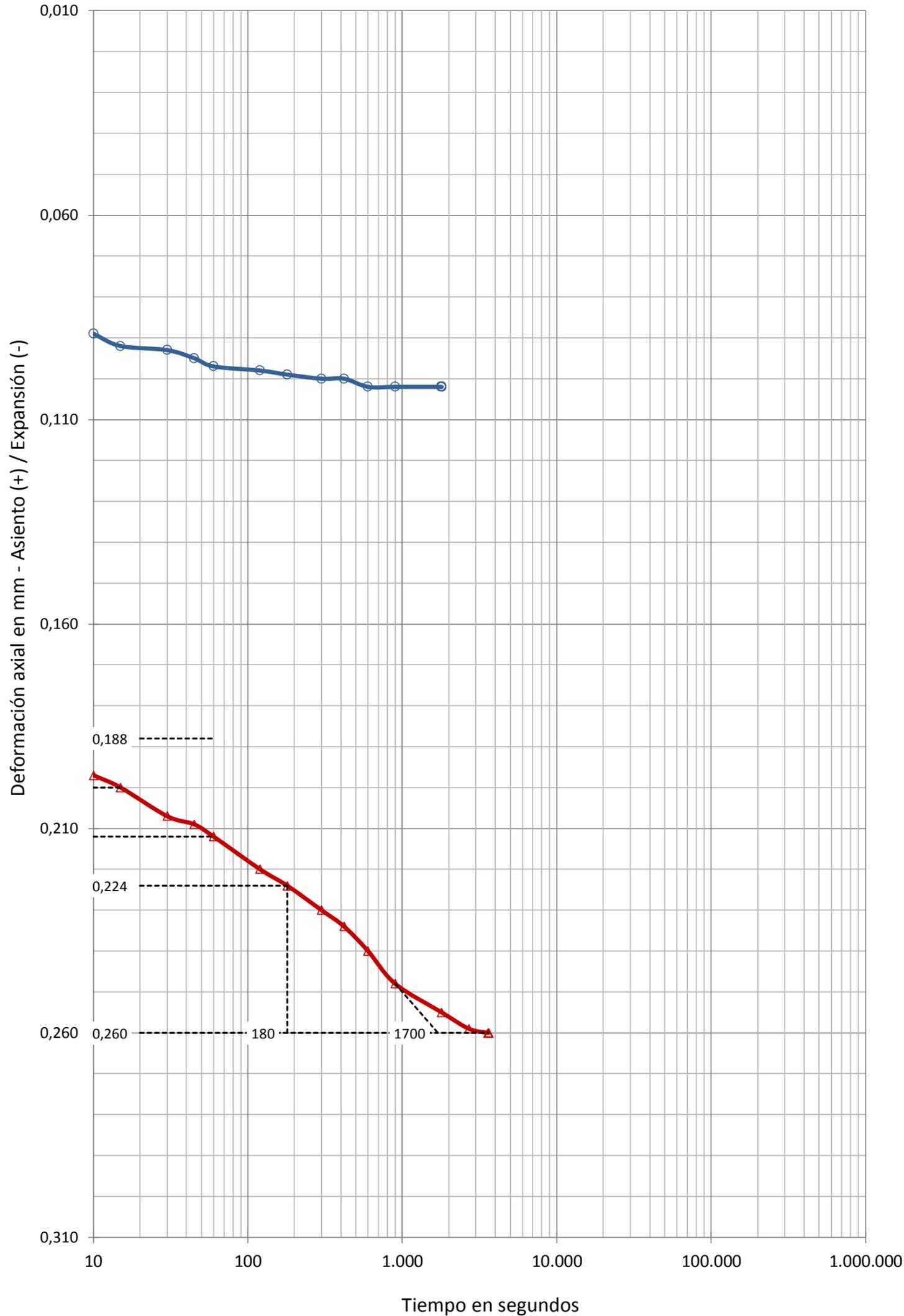
**MM18-0120**

**Estados de presión**

Estado de presión (kPa) —○— 50 —△— 100 Diámetro probeta (cm) **4,996**  
 L0 (método de Casagrande) **0,087** **0,188** Altura inicial probeta (cm) **1,938**

Fecha	Fecha
05-abr-18	05-abr-18

Presión (kPa)	Presión (kPa)
<b>50</b>	<b>100</b>



50			100		
Lecturas asiento (+)	Rel. vacíos		Lecturas asiento (+)	Rel. vacíos	
sg	mm	e	sg	mm	e
0	0,020	1,0927	0	0,102	1,0839
10	0,089	1,0853	10	0,197	1,0736
15	0,092	1,0850	15	0,200	1,0733
30	0,093	1,0849	30	0,207	1,0725
45	0,095	1,0846	45	0,209	1,0723
60	0,097	1,0844	60	0,212	1,0720
120	0,098	1,0843	120	0,220	1,0711
180	0,099	1,0842	180	0,224	1,0707
300	0,100	1,0841	300	0,230	1,0700
420	0,100	1,0841	420	0,234	1,0696
600	0,102	1,0839	600	0,240	1,0690
900	0,102	1,0839	900	0,248	1,0681
1.800	0,102	1,0839	1.800	0,255	1,0673
			2.700	0,259	1,0669
			3.600	0,260	1,0668

Código: CC-OL-RA-0013 Rv.00



Informe n°.: CM0016-18-0007  
 Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 3 BOLSA / Prof.: 10-11,5 m

12 / 14

**CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS - INV E-151-13 (MÉTODO B)**

Referencia muestra

**CURVAS DE CONSOLIDACIÓN**

**MM18-0120**

**Estados de presión**

Estado de presión (kPa) ○ 200 △ 400  
 L0 (método de Casagrande) **0,379** **0,734**

Diámetro probeta (cm) **4,996**  
 Altura inicial probeta (cm) **1,938**

Fecha Fecha

05-abr-18 05-abr-18

Presión (kPa) Presión (kPa)

**200** **400**

Lecturas Rel. Lecturas Rel.  
 asiento (+) vacío asiento (+) vacío

sg mm e sg mm e

0 0,260 1,0668 0 0,630 1,0268

10 0,407 1,0509 10 0,794 1,0091

15 0,419 1,0496 15 0,809 1,0075

30 0,448 1,0465 30 0,844 1,0037

45 0,449 1,0464 45 0,863 1,0016

60 0,459 1,0453 60 0,884 0,9994

120 0,480 1,0430 120 0,941 0,9932

180 0,498 1,0411 180 0,971 0,9899

300 0,518 1,0389 300 1,022 0,9844

420 0,533 1,0373 420 1,056 0,9808

600 0,549 1,0356 600 1,081 0,9781

900 0,567 1,0336 900 1,114 0,9745

1.800 0,595 1,0306 1.800 1,147 0,9709

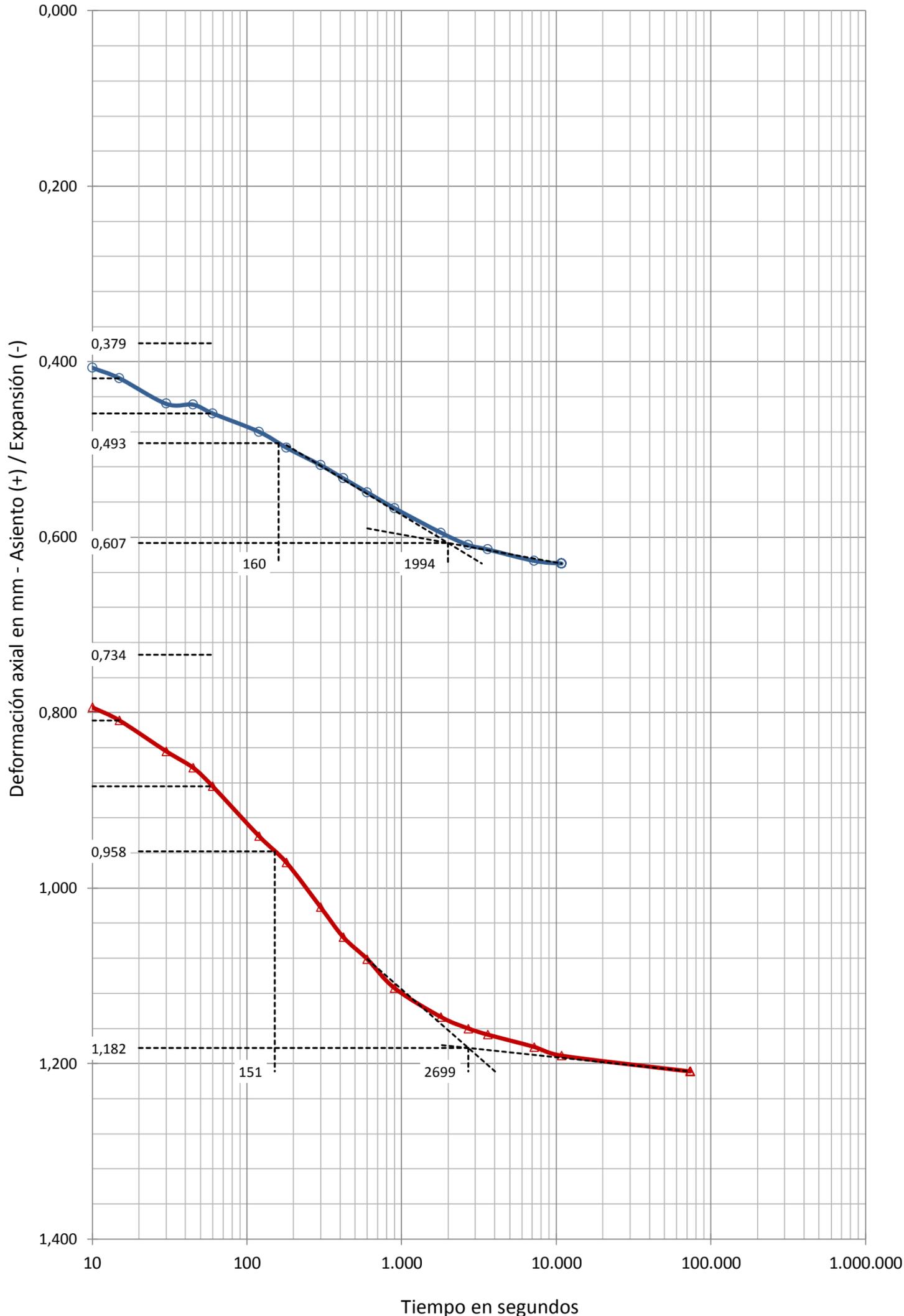
2.700 0,609 1,0291 2.700 1,160 0,9695

3.600 0,614 1,0285 3.600 1,167 0,9688

7.200 0,627 1,0271 7.200 1,181 0,9672

10.800 0,630 1,0268 10.800 1,191 0,9662

73.500 1,209 0,9642



Código: CC-OL-RA-0013 Rv.00

Informe n°.: CM0016-18-0007  
 Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 3 BOLSA / Prof.: 10-11,5 m

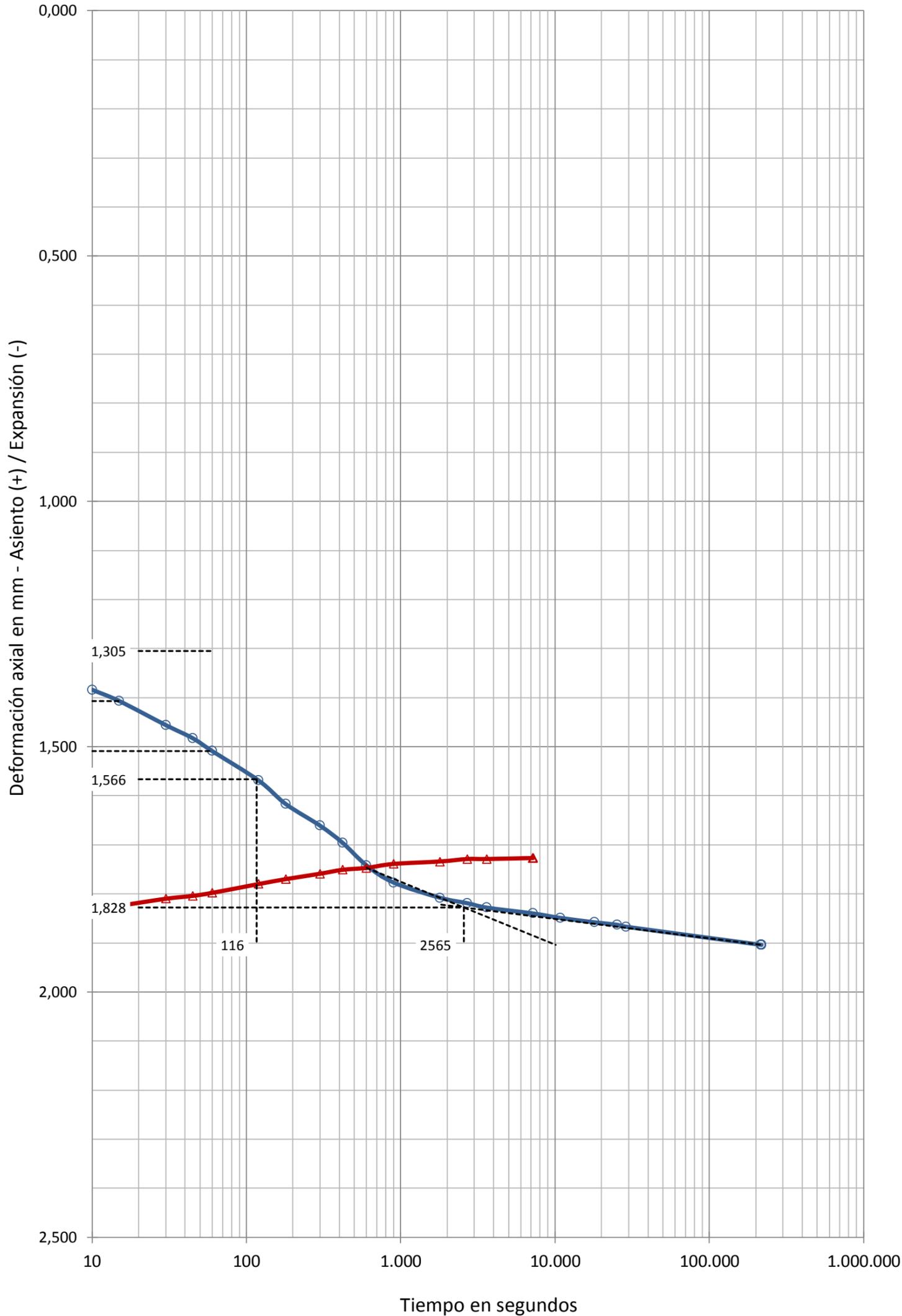
13 / 14

**CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS - INV E-151-13 (MÉTODO B)**

Referencia muestra

**CURVAS DE CONSOLIDACIÓN**

Estado de presión (kPa)	—○—	<b>800</b>	—△—	<b>200</b>	Diámetro probeta (cm)	<b>4,996</b>
L0 (método de Casagrande)		<b>1,305</b>		<b>1,850</b>	Altura inicial probeta (cm)	<b>1,938</b>



MM18-0120					
Estados de presión					
Fecha			Fecha		
06-abr-18			09-abr-18		
Presión (kPa)			Presión (kPa)		
800			200		
Lecturas asiento (+)	Rel. vacíos			Lecturas asiento (+)	Rel. vacíos
sg	mm	e	sg	mm	e
0	1,209	0,9642	0	1,904	0,8891
10	1,384	0,9453	10	1,829	0,8972
15	1,407	0,9428	15	1,824	0,8977
30	1,456	0,9375	30	1,810	0,8993
45	1,483	0,9346	45	1,804	0,8999
60	1,509	0,9318	60	1,798	0,9006
120	1,569	0,9253	120	1,780	0,9025
180	1,617	0,9201	180	1,770	0,9036
300	1,661	0,9154	300	1,759	0,9048
420	1,696	0,9116	420	1,751	0,9056
600	1,742	0,9066	600	1,747	0,9061
900	1,777	0,9028	900	1,739	0,9069
1.800	1,808	0,8995	1.800	1,734	0,9075
2.700	1,819	0,8983	2.700	1,729	0,9080
3.600	1,828	0,8973	3.600	1,729	0,9080
7.200	1,840	0,8960	7.200	1,727	0,9082
10.800	1,849	0,8950			
18.000	1,858	0,8941			
25.200	1,863	0,8935			
28.800	1,867	0,8931			
217.800	1,904	0,8891			

Código: CC-OL-RA-0013 Rv.00



Informe n°.: CM0016-18-0007  
 Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 3 BOLSA / Prof.: 10-11,5 m

14 / 14

**CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS - INV E-151-13 (MÉTODO B)**

Referencia muestra

**CURVAS DE CONSOLIDACIÓN**

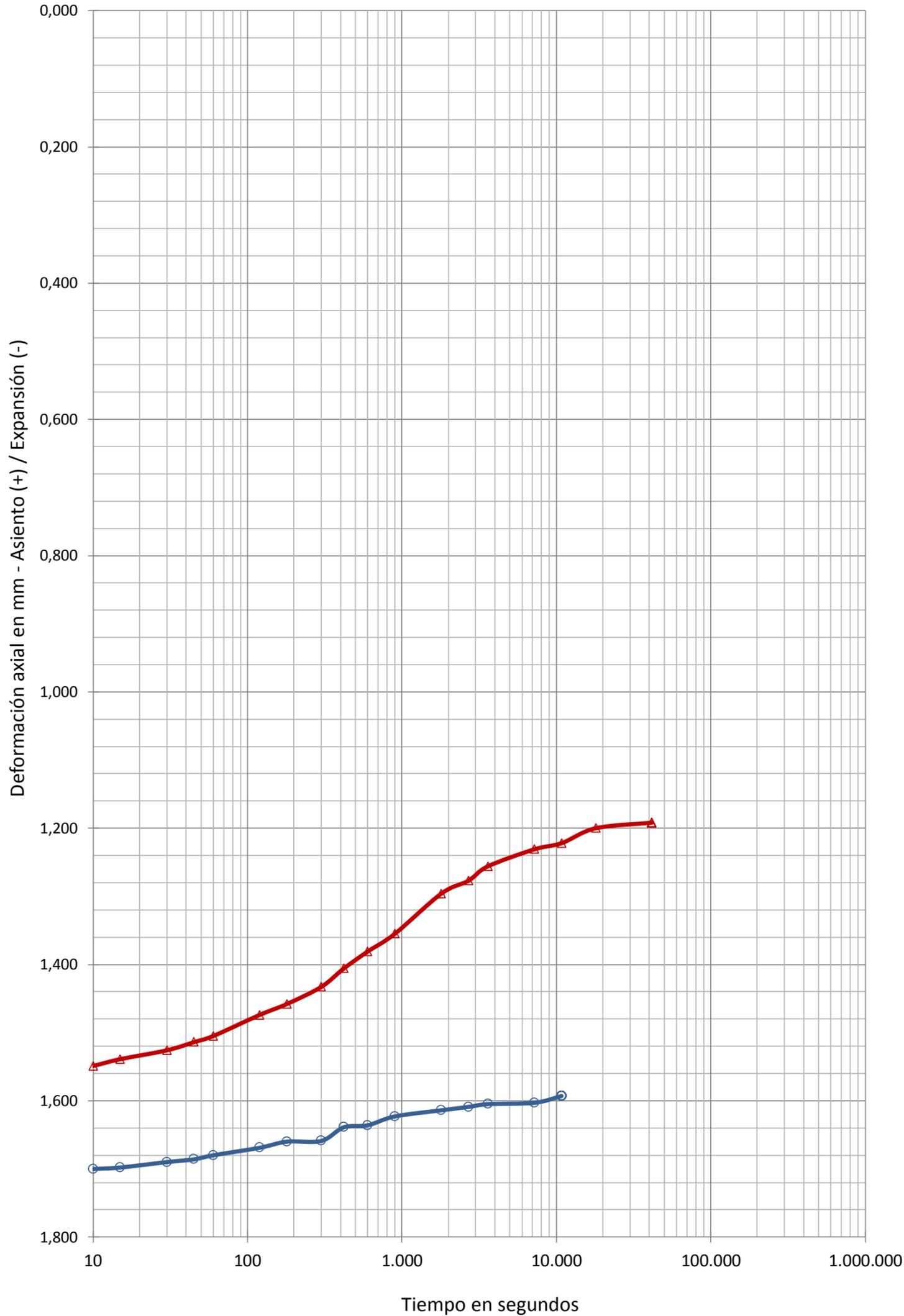
**MM18-0120**

**Estados de presión**

Estado de presión (kPa)	—○—	<b>50</b>	—△—	<b>12,5</b>	Diámetro probeta (cm)	<b>4,996</b>
L0 (método de Casagrande)		<b>1,716</b>		<b>1,573</b>	Altura inicial probeta (cm)	<b>1,938</b>

Fecha	Fecha
09-abr-18	09-abr-18

Presión (kPa)	Presión (kPa)
<b>50</b>	<b>12,5</b>



Lecturas asiento (+)	Rel. vacíos	Lecturas asiento (+)	Rel. vacíos
sg	mm e	sg	mm e

0	1,727	0,9082	0	1,593	0,9227
10	1,700	0,9111	10	1,549	0,9275
15	1,698	0,9114	15	1,539	0,9285
30	1,690	0,9122	30	1,526	0,9300
45	1,686	0,9127	45	1,514	0,9313
60	1,680	0,9133	60	1,505	0,9322
120	1,669	0,9145	120	1,474	0,9356
180	1,660	0,9155	180	1,458	0,9373
300	1,659	0,9156	300	1,433	0,9400
420	1,639	0,9177	420	1,406	0,9429
600	1,636	0,9181	600	1,381	0,9456
900	1,623	0,9195	900	1,355	0,9484
1.800	1,614	0,9204	1.800	1,296	0,9548
2.700	1,609	0,9210	2.700	1,277	0,9569
3.600	1,605	0,9214	3.600	1,256	0,9591
7.200	1,603	0,9216	7.200	1,231	0,9618
10.800	1,593	0,9227	10.800	1,222	0,9628
			18.000	1,200	0,9652
			41.400	1,192	0,9661

Código: CC-OL-RA-0013 Rv.00



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

*Estudio de soluciones para la cimentación de un edificio de viviendas de uso residencial en Cali, Colombia*



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

## SONDEO Nº4

## RESUMEN DE ENSAYOS

1 / 1

SOLUM CONSTRUCCIONES SAS  
PROYECTO SANTA MONICA - CALI P4

CM0016-18-0008

MUESTRAS N°	MM18-0121	MM18-0122	MM18-0123	MM18-0124	MM18-0125
Situación	P - 4	P - 4	P - 4	P - 4	P - 4
Tipo de muestra	BOLSA	BOLSA	BOLSA	BOLSA	SPT
Profundidad (m)	04-mar	07-jun	8-9,5	14-15,5	12-12,5
Clasificación USCS	ML	MH	MH	MH	
Clasificación AASHTO	A-7-6 (19)	A-7-5 (38)	A-7-5 (44)	A-7-5 (32)	
Fracción mayoritaria	LIMO	LIMO	LIMO	LIMO	
<b>HUMEDAD</b>					
Contenido de humedad, w (%)	23,9	19,0	46,4	50,4	
<b>DENSIDAD</b>					
Densidad aparente (Tn/m3)	1,710	1,597	1,774	1,635	
Densidad seca (Tn/m3)	1,380	1,342	1,212	1,087	
<b>GRANULOMETRÍA TAMIZADO</b>					
Pasa # 19 mm, %	100,0	100,0	100,0	100,0	
Pasa # 4,75 mm, %	96,9	100,0	100,0	100,0	
Pasa # 2 mm, %	94,3	100,0	100,0	99,3	
Pasa # 0,425 mm, %	89,2	99,5	99,5	95,6	
Pasa # 0,075 mm, %	82,2	97,5	96,8	89,4	
<b>LÍMITES DE ATTERBERG</b>					
Límite Líquido, LL (%)	49,5	67,2	74,5	69,1	
Límite Plástico, LP (%)	28,8	36,4	38,5	41,8	
Índice de Plasticidad, IP (%)	20,7	30,8	36,0	27,3	
<b>COMPRESIÓN INCONFINADA SUELOS</b>					
Resistencia a compresión (kPa)					97,87
Deformación (%)					7,99
<b>CORTE DIRECTO SUELOS</b>					
Tipo de ensayo		CD	CD		
$\Phi'$ (°)		15,7	16,6		
C' (kPa)		6,7	5,2		
<b>CONSOLIDACIÓN UNIDIM.</b>					
Método		B			
Relación de vacíos inicial, e0		1,2669			
Relación de vacíos final, ef		1,0395			

Informe n°.: CM0016-18-0008  
Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 4 BOLSA / Prof.: 3-4 m

1 / 4

## APERTURA, DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS - INV E-102-13 / INV E-180-13 / INV E-181-13

Muestra referencia

MM18-0121

Código: CC-OL-RA-0001 Rv.00

### Datos generales

Peticionario  
Cliente  
Proyecto

SOLUM CONSTRUCCIONES SAS  
PROYECTO SANTA MONICA - CALI P4

### Datos de la muestra

Referencia cliente  
Situación

P - 4

Profundidad sup., m  
Profundidad inf., m  
Tipo de muestra  
Diámetro, cm  
Longitud, cm  
Fecha de toma  
Fecha de recepción

3  
4  
BOLSA  
  
  
  
3-4-18

### Datos de la apertura y preparación

Fecha de apertura  
Operador  
Medio de apertura  
Almacenamiento  
Entorno de ensayo

2-4-18  
VERONICA TERMAL  
MANUAL  
LABORATORIO  
LAB. GEOTECNIA

### Tipo de suelo

Clasificación USCS  
Litología grupo USCS  
Clasific. AASHTO

ML  
LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD  
A-7-6 (19)

### Descripción de la muestra

Litología	Prof. m	Observaciones P- penetrómetro V- vane-test (kPa)
LIMO CON ALGO DE ARENA, COLOR CAFÉ ROJIZO.	3	

4

### ENSAYOS REALIZADOS

CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13  
DENSIDAD Y PESO UNITARIO. MÉTODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA - UNE 103301/94  
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13  
LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS - INV E-125-13 - INV E-126-13

### OBSERVACIONES

Informe n°.: CM0016-18-0008  
Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 4 BOLSA / Prof.: 3-4 m

2 / 4

**CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13**  
**DENSIDAD Y PESO UNITARIO. MÉTODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA - UNE 103301/94**

Referencia muestra

**MM18-0121****Equipos utilizados**

BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)

Temperatura de secado (°C) 110

**Datos del ensayo de humedad**

Tara (g)	42,67
Tara + suelo + agua (g)	112,34
Tara + suelo (g)	98,88
Agua (g)	13,46
Suelo (g)	56,21
Humedad, w (%)	23,9

Operador: VERONICA TERMAL  
Fecha final ensayo: 03/04/2018

**Resultados**

Contenido de humedad, w (%)	23,9
-----------------------------	------

**Equipos utilizados**

BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)

(\*) Densidad de la parafina = 0,9 Tn/m<sup>3</sup>

**Datos del ensayo densidad**

Peso suelo (g)	281,15
Peso suelo+parafina (g)	282,06
Peso parafina (g)	0,91
Peso en agua (g)	116,68
Volumen parafina (cm <sup>3</sup> )	1,01
Volumen suelo+parafina (cm <sup>3</sup> )	165,38

Operador: VERONICA TERMAL  
Fecha final ensayo: 03/04/2018

Volumen suelo (cm <sup>3</sup> )	164,37
Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	1,710
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	1,380

**Resultados**

Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	1,710
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	1,380
Peso unitario aparente (kN/m <sup>3</sup> )	16,77
Peso unitario seco (kN/m <sup>3</sup> )	13,53

OBSERVACIONES



Informe n°.: CM0016-18-0008  
 Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 4 BOLSA / Prof.: 3-4 m

3 / 4

Referencia muestra

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13**

**MM18-0121**

**Equipos utilizados**

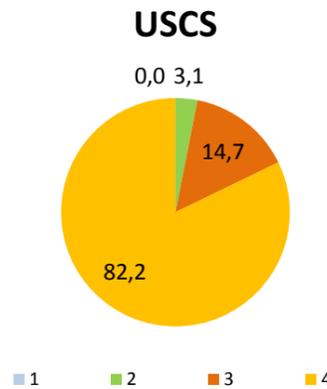
SERIE DE TAMICES PINZUAR  
 BALANZA RADWAG PS4500.R1  
 HORNO DE DESECACIÓN PROETI P0203

**Resultados**

N°	Abertura mm	Retenido tamices		Pasa muestra total		
		Parcial g	Total g	Total %	g	%
1/4"	6,3		0,00	0,0	191,17	100,0
N°4	4,75		5,91	3,1	185,26	96,9
N°10	2		5,07	5,7	180,19	94,3
N°30	0,6		6,96	9,4	173,23	90,6
N°40	0,425		2,70	10,8	170,53	89,2
N°60	0,25		4,48	13,1	166,05	86,9
N°100	0,15		4,53	15,5	161,52	84,5
N°200	0,075		4,41	17,8	157,11	82,2

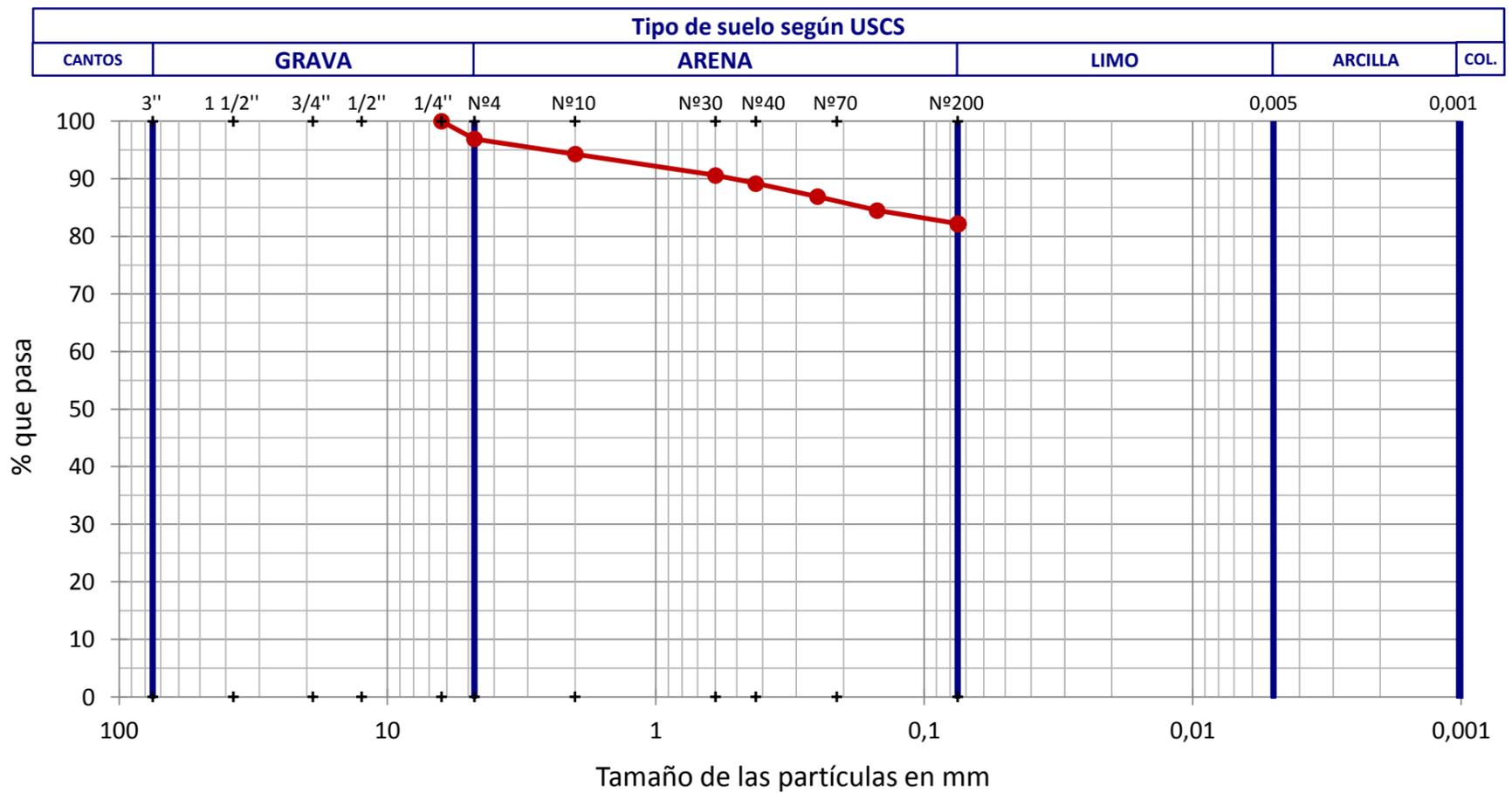
**Cálculos previos**

Temperatura de secado previo (°C)	110
Muestra total seca (g)	191,17
M.>19 mm (3/4"), total lav. y seca (g)	0,00
M.<19 mm (3/4"), seca ensay. (g)	191,17
M. 19-2 mm (3/4"-N°10), lavada y seca (g)	10,98
M. 19-2 mm (3/4"-N°10), total lav. y seca (g)	10,98
M.>2 mm (N°10), lavada y seca (g)	10,98
M.<2 mm (N°10), ensay. seca (g)	180,19
M.<2 mm (N°10), ensayada y seca (g)	180,19
M.<2 mm (N°10), total y seca (g)	180,19
Muestra total seca (g)	191,17
Humedad higrosc., % (fracción<2 mm, N°10)	0,0
Factor corr., f (fracción<2 mm, N°10)	1,0000



**Tipo de suelo según USCS**

% CANTOS > 75 mm	% GRAVA 75-4,75 mm	% ARENA 4,75-0,075 mm	% FINOS <0,075 mm
0,0	3,1	14,7	82,2
	% Grava gruesa 75-19 mm: 0,0	% Arena gruesa 4,75-2 mm: 2,6	
	% Grava fina 19-4,75 mm: 3,1	% Arena media 2-0,425 mm: 5,1	
		% Arena fina 0,425-0,075 mm: 7,0	



**OBSERVACIONES**



Informe n°:	CM0016-18-0008
Fecha edición:	06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 4 BOLSA / Prof.: 3-4 m

4 / 4

**LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS** - Referencia muestra  
**INV E-125-13 - INV E-126-13** **MM18-0121**

Datos Límite Líquido				
Número de golpes	36	26	16	
Agua (g)	2,31	2,83	2,91	
Tara+Suelo+Agua (g)	21,61	20,94	22,12	
Tara+Suelo (g)	19,30	18,11	19,21	
Tara (g)	14,42	12,43	13,58	
Suelo (g)	4,88	5,68	5,63	
Humedad (%)	<b>47,3</b>	<b>49,8</b>	<b>51,7</b>	

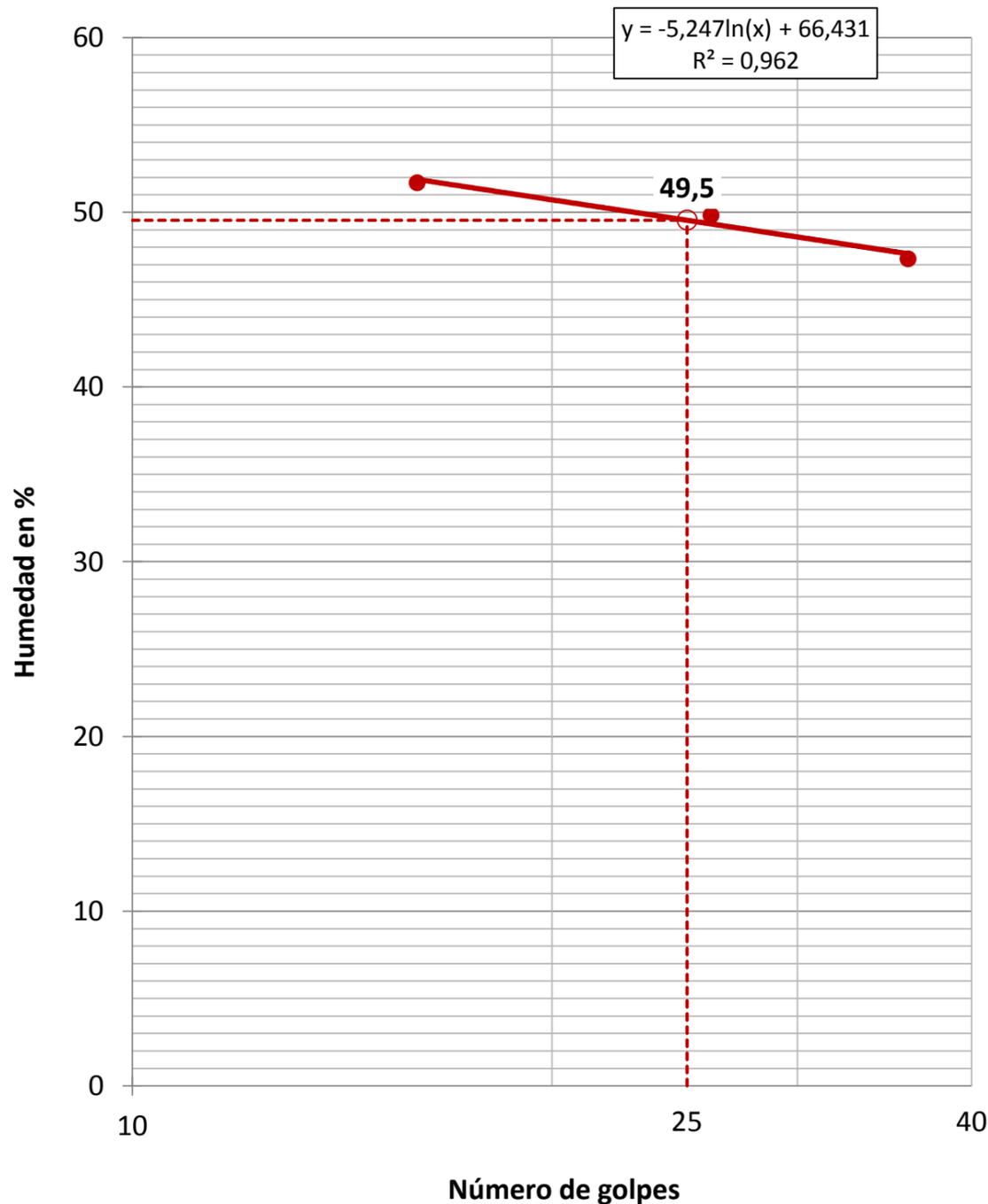
Equipos utilizados	
APARATO DE LÍMITE LIQUIDO MANUAL SDE EM-0251	
BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)	
HORNO INGTEST 5054 (CAL. 17-8-16)	

Condiciones de ensayo	
Temp. de secado previo (°C)	AL AIRE

Datos Límite Plástico				
Agua (g)	1,26	1,43		
Tara+Suelo+Agua (g)	28,22	28,48		
Tara+Suelo (g)	26,96	27,05		
Tara (g)	22,58	22,08		
Suelo (g)	4,38	4,97		
Humedad (%)	<b>28,8</b>	<b>28,8</b>		
Variación entre puntos (%)	0,1	0,1		

Resultados	
Límite Líquido, LL (%)	<b>49,5</b>
Límite Plástico, LP (%)	<b>28,8</b>
Índice de Plasticidad, IP (%)	<b>20,7</b>

Humedad Natural, w (%)	23,9
Índice de Líquidez, IL	-0,2
Índice de Consistencia, IC	1,2



OBSERVACIONES

Informe n°.: CM0016-18-0008  
Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 4 BOLSA / Prof.: 6-7 m

1 / 14

## APERTURA, DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS - INV E-102-13 / INV E-180-13 / INV E-181-13

Muestra referencia

MM18-0122

Código: CC-OL-RA-0001 Rv.00

### Datos generales

Peticionario  
Cliente  
Proyecto

SOLUM CONSTRUCCIONES SAS  
PROYECTO SANTA MONICA - CALI P4

### Datos de la muestra

Referencia cliente  
Situación

P - 4

Profundidad sup., m  
Profundidad inf., m  
Tipo de muestra  
Diámetro, cm  
Longitud, cm  
Fecha de toma  
Fecha de recepción

6  
7  
BOLSA  
3-4-18

### Datos de la apertura y preparación

Fecha de apertura  
Operador  
Medio de apertura  
Almacenamiento  
Entorno de ensayo

2-4-18  
VERONICA TERMAL  
MANUAL  
LABORATORIO  
LAB. GEOTECNIA

### Tipo de suelo

Clasificación USCS  
Litología grupo USCS  
Clasific. AASHTO

MH  
LIMO DE ALTA COMPRESIBILIDAD  
A-7-5 (38)

### Descripción de la muestra

Litología	Prof. m	Observaciones P- penetrómetro V- vane-test (kPa)
LIMO, COLOR CAFÉ ROJIZO CON MOTAS BEIGE.	6	

7

### ENSAYOS REALIZADOS

CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13  
DENSIDAD Y PESO UNITARIO. MÉTODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA - UNE 103301/94  
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13  
LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS - INV E-125-13 - INV E-126-13  
ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN MUESTRAS DE SUELO, CD - INV E-154-13  
CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS - INV E-151-13 (MÉTODO B)

### OBSERVACIONES

Informe n°.: CM0016-18-0008  
Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 4 BOLSA / Prof.: 6-7 m

2 / 14

**CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13**  
**DENSIDAD Y PESO UNITARIO. MÉTODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA - UNE 103301/94**

Referencia muestra

**MM18-0122****Equipos utilizados**

BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)

**Temperatura de secado (°C)** 110

**Datos del ensayo de humedad**

Tara (g)	28,72
Tara + suelo + agua (g)	80,34
Tara + suelo (g)	72,09
Agua (g)	8,25
Suelo (g)	43,37
Humedad, w (%)	19,0

**Operador:** VERONICA TERMAL  
**Fecha final ensayo:** 03/04/2018

**Resultados**

<b>Contenido de humedad, w (%)</b>	<b>19,0</b>
------------------------------------	-------------

**Equipos utilizados**

BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)

(\*) Densidad de la parafina = 0,9 Tn/m<sup>3</sup>

**Datos del ensayo densidad**

Peso suelo (g)	179,06
Peso suelo+parafina (g)	182,16
Peso parafina (g)	3,10
Peso en agua (g)	66,58
Volumen parafina (cm <sup>3</sup> )	3,44
Volumen suelo+parafina (cm <sup>3</sup> )	115,58

**Operador:** VERONICA TERMAL  
**Fecha final ensayo:** 03/04/2018

Volumen suelo (cm <sup>3</sup> )	112,14
Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	1,597
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	1,342

**Resultados**

<b>Densidad aparente (Tn/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1,597</b>
<b>Densidad seca (Tn/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1,342</b>
<b>Peso unitario aparente (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>15,66</b>
<b>Peso unitario seco (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>13,16</b>

OBSERVACIONES



Informe n°.: CM0016-18-0008  
 Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 4 BOLSA / Prof.: 6-7 m

3 / 14

Referencia muestra

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13**

**MM18-0122**

**Equipos utilizados**

SERIE DE TAMICES PINZUAR  
 BALANZA RADWAG PS4500.R1  
 HORNO DE DESECACIÓN PROETI P0203

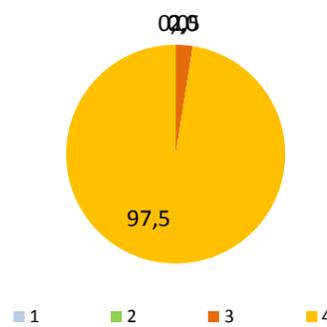
**Resultados**

N°	Abertura mm	Retenido tamices		Pasa muestra total		
		Parcial g	Total g	Total %	g	%
N°30	0,6		0,00	0,0	130,09	100,0
N°40	0,425		0,67	0,5	129,42	99,5
N°60	0,25		0,51	0,9	128,91	99,1
N°100	0,15		0,82	1,5	128,09	98,5
N°200	0,075		1,22	2,5	126,87	97,5

**Cálculos previos**

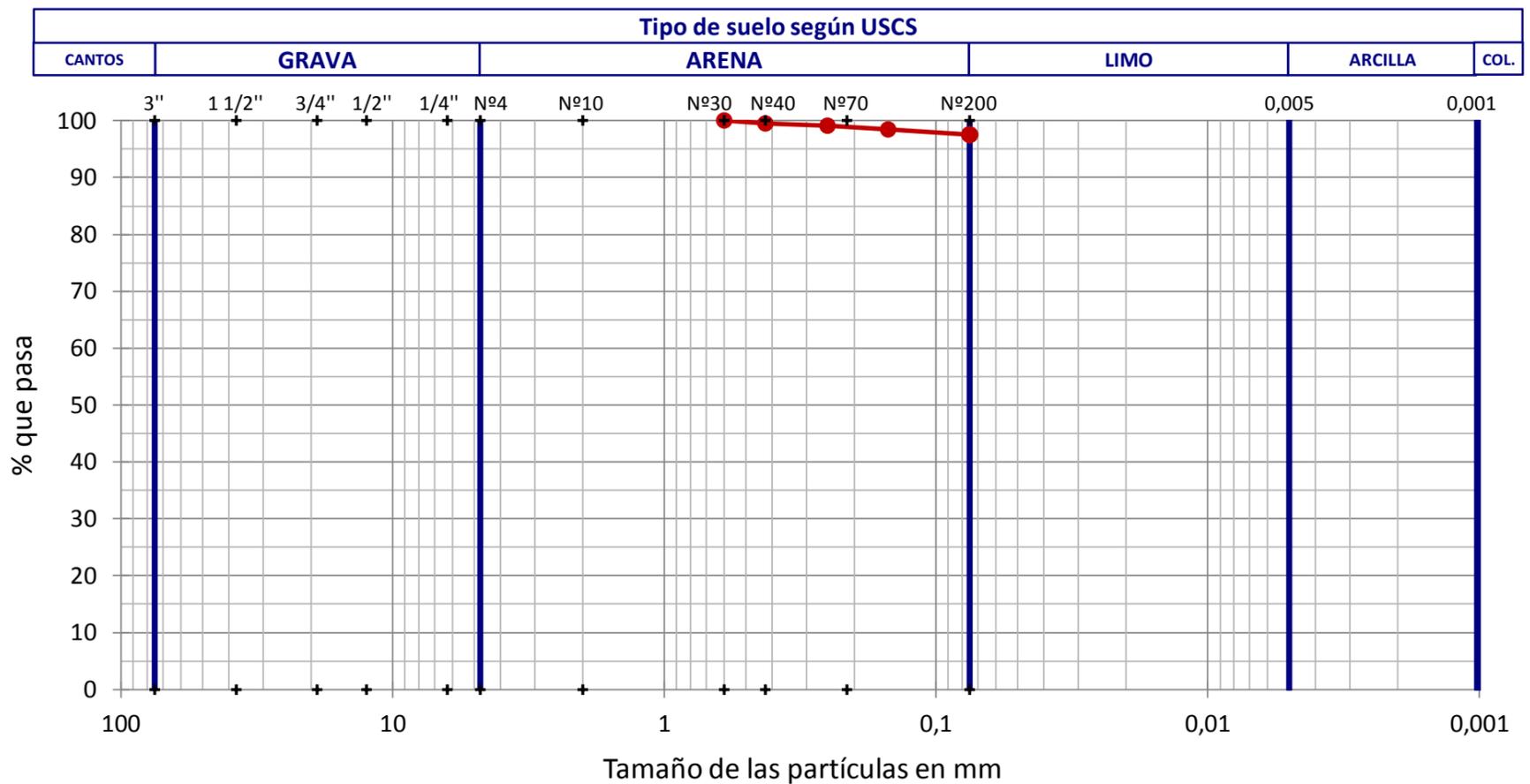
Temperatura de secado previo (°C)	110
Muestra total seca (g)	130,09
M. >19 mm (3/4"), total lav. y seca (g)	0,00
M. <19 mm (3/4"), seca ensay. (g)	130,09
M. 19-2 mm (3/4"-N°10), lavada y seca (g)	0,00
M. 19-2 mm (3/4"-N°10), total lav. y seca (g)	0,00
M. >2 mm (N°10), lavada y seca (g)	0,00
M. <2 mm (N°10), ensay. seca (g)	130,09
M. <2 mm (N°10), ensayada y seca (g)	130,09
M. <2 mm (N°10), total y seca (g)	130,09
Muestra total seca (g)	130,09
Humedad higrosc., % (fracción <2 mm, N°10)	0,0
Factor corr., f (fracción <2 mm, N°10)	1,0000

**USCS**



**Tipo de suelo según USCS**

% CANTOS > 75 mm	% GRAVA 75-4,75 mm	% ARENA 4,75-0,075 mm	% FINOS <0,075 mm
0,0	0,0	2,5	97,5
	% Grava gruesa 75-19 mm: 0,0	% Arena gruesa 4,75-2 mm: 0,0	
	% Grava fina 19-4,75 mm: 0,0	% Arena media 2-0,425 mm: 0,5	
		% Arena fina 0,425-0,075 mm: 2,0	



**OBSERVACIONES**

Operador: VERONICA TERMAL

Código: CC-OL-RA-0005 Rv.00

Fecha final ensayo: 03/04/2018



Informe n°:	CM0016-18-0008
Fecha edición:	06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 4 BOLSA / Prof.: 6-7 m

4 / 14

**LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS - INV E-125-13 - INV E-126-13**

Referencia muestra

**MM18-0122**

Datos Límite Líquido				
Número de golpes	36	25	15	
Agua (g)	4,30	3,90	4,07	
Tara+Suelo+Agua (g)	22,60	22,74	23,69	
Tara+Suelo (g)	18,30	18,84	19,62	
Tara (g)	11,67	13,05	13,83	
Suelo (g)	6,63	5,79	5,79	
Humedad (%)	<b>64,9</b>	<b>67,4</b>	<b>70,3</b>	

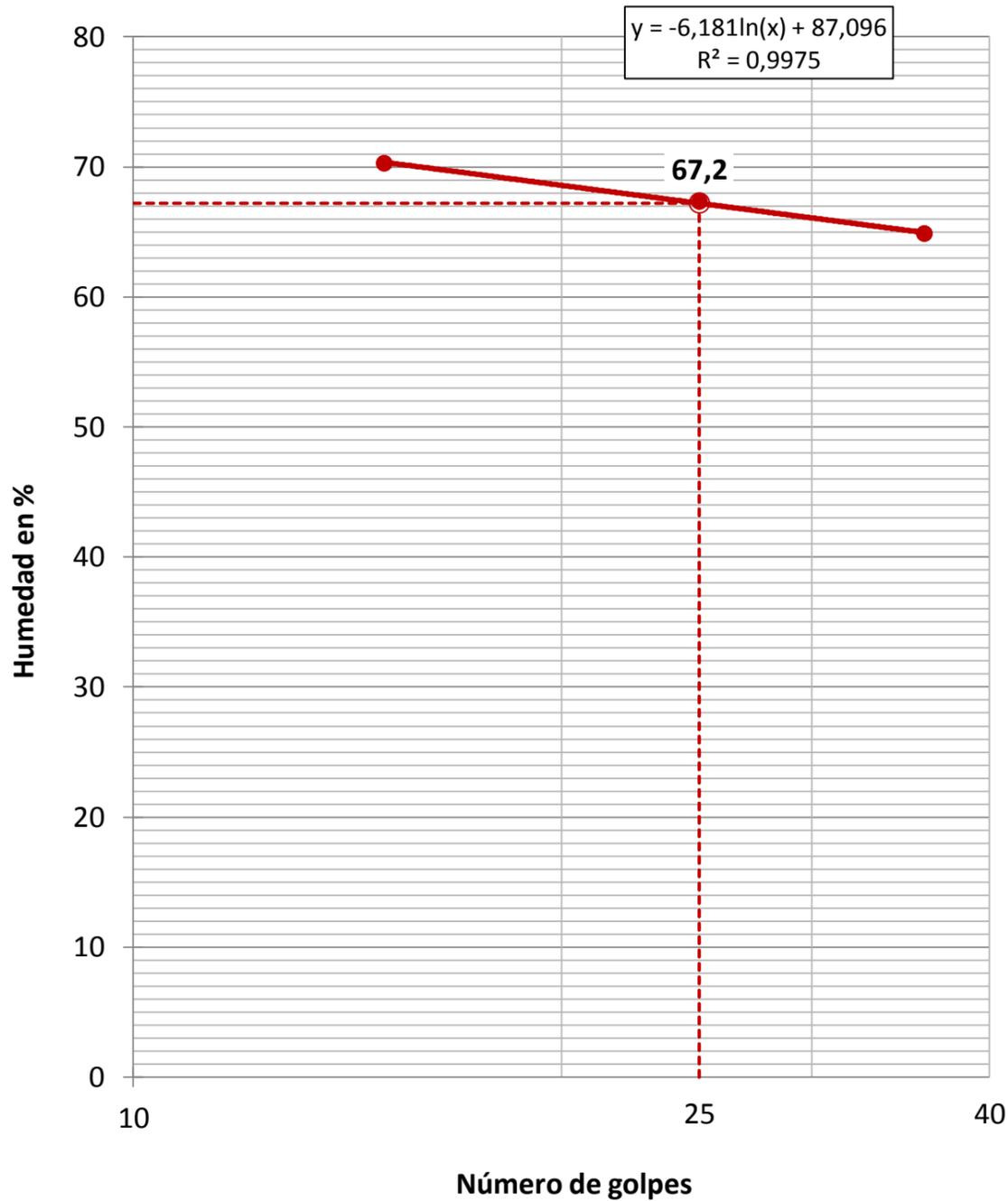
Equipos utilizados	
APARATO DE LÍMITE LIQUIDO MANUAL SDE EM-0251	
BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)	
HORNO INGTEST 5054 (CAL. 17-8-16)	

Condiciones de ensayo	
Temp. de secado previo (°C)	AL AIRE

Datos Límite Plástico				
Agua (g)	2,07	2,18		
Tara+Suelo+Agua (g)	28,49	30,21		
Tara+Suelo (g)	26,42	28,03		
Tara (g)	20,73	22,06		
Suelo (g)	5,69	5,97		
Humedad (%)	<b>36,4</b>	<b>36,5</b>		
Variación entre puntos (%)	0,1	0,3		

Resultados	
Límite Líquido, LL (%)	<b>67,2</b>
Límite Plástico, LP (%)	<b>36,4</b>
Índice de Plasticidad, IP (%)	<b>30,8</b>

Humedad Natural, w (%)	19,0
Índice de Líquidez, IL	-0,6
Índice de Consistencia, IC	1,6



OBSERVACIONES



Informe n°.: CM0016-18-0008  
Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 4 BOLSA / Prof.: 6-7 m

5 / 14

Referencia muestra

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN MUESTRAS DE SUELO - INV E-154-13**

**MM18-0122**

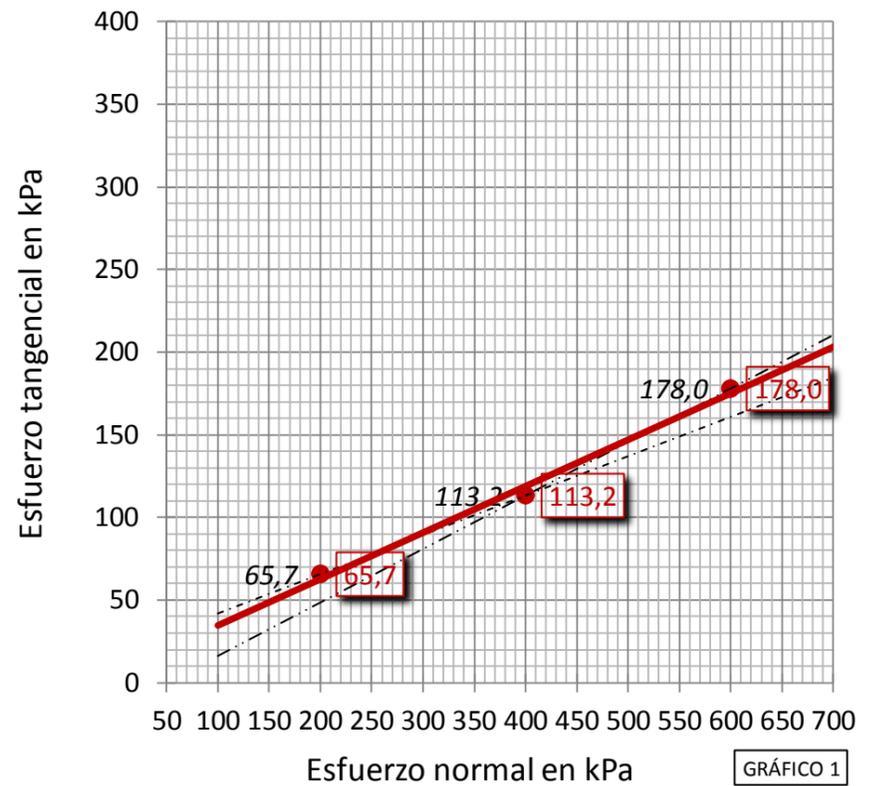
Tipo de ensayo **CD** Condiciones del suelo **INALTERADO**

**Equipos utilizados**  
 APARATO DE CORTE DIRECTO PROETI S0125 - 3 KN  
 CAJA DE CORTE CIRCULAR  
 BALANZA RADWAG PS4500.R1  
 HORNO DE DESECACIÓN PROETI P0203

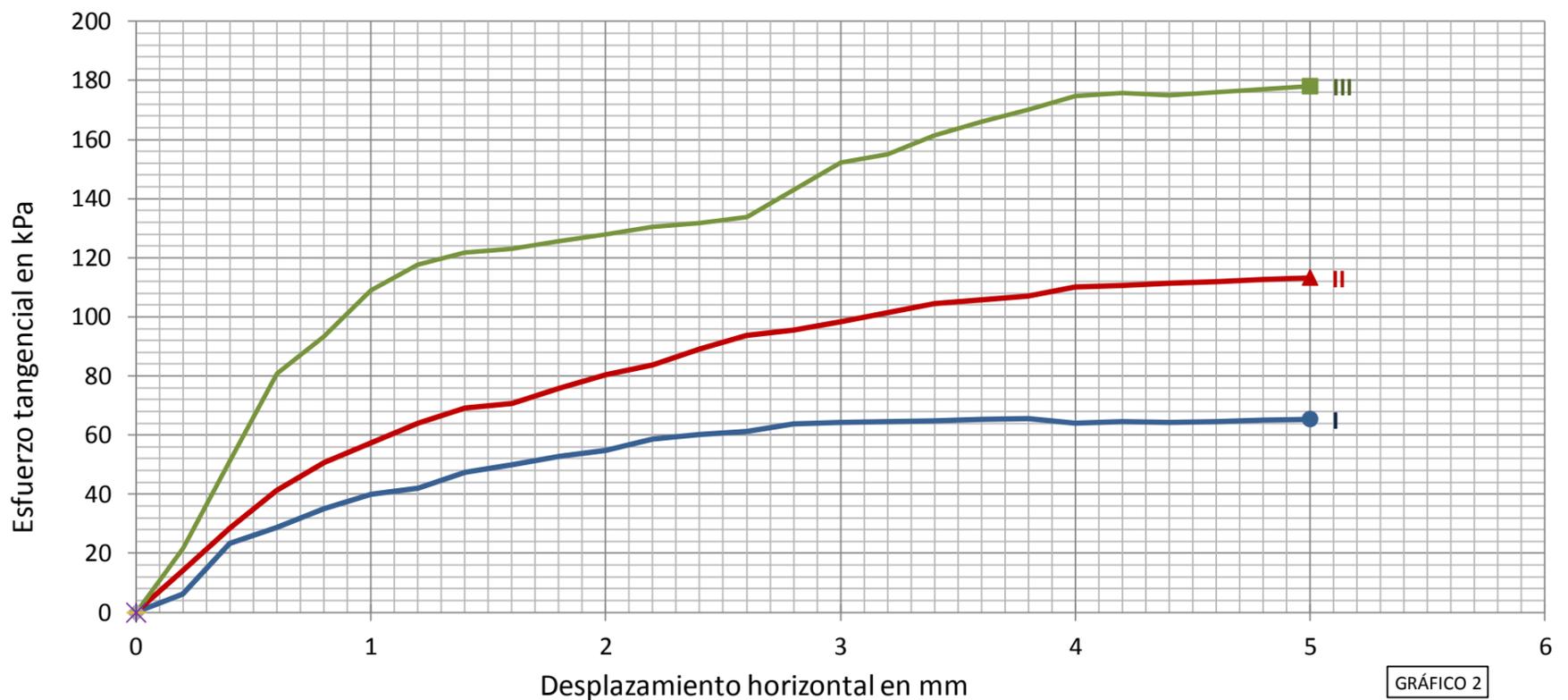
**Condiciones ensayo**  
 Suelo sumergido **SI**  
 Saturación previa **NO**  
 Consolid. previa **SI**  
 Rotura drenada **SI**  
 Parám. residuales **NO**

**Símbolos en gráficos 2 a 4 (tens. normal, kPa)**  
 ● 200 ▲ 400 ■ 600

Datos del ensayo	200	400	600
Tensión normal (kPa)	200	400	600
Área inicial (cm <sup>2</sup> )	19,588	19,588	19,588
Área final corr. (cm <sup>2</sup> ) (*)	17,095	17,095	17,095
Volumen inicial (cm <sup>3</sup> )	37,16	37,16	37,16
Humedad inicial (%)	43,7	43,7	43,7
Humedad final (%)	48,4	44,5	36,2
Dens. apar. ini. (Tn/m <sup>3</sup> )	1,623	1,639	1,629
Dens. seca ini. (Tn/m <sup>3</sup> )	1,129	1,141	1,134
Consolid. previa (mm)	0,850	1,620	2,123
Consolid. final (mm)	1,150	2,087	2,512
Índ. poros inicial	1,3472	1,3225	1,3369
Í. poros final cons. previa	1,2420	1,1242	1,0754
Í. poros final ensayo	1,2049	1,0670	1,0274
Grado satur. ini. (%)	85,96	87,57	86,62
Grado satur. final ens. (%)	100,00	100,00	93,37
Esfuerzo tang. máx. (kPa)	<b>65,7</b>	<b>113,2</b>	<b>178,0</b>
Esfuerzo tang. adop. (kPa)	<b>65,7</b>	<b>113,2</b>	<b>178,0</b>
Veloc. Horizontal (mm/min)	0,08300	0,08300	0,08300
Gravedad específica part. sólidas	2.650 (estimada)		



Símbolos en gráfico 1	● 177,956	◆ 177,956	---	---	○
Resultados	INTERPRETACIÓN LABORATORIO	ESTIMACIÓN CON ESFUERZOS MÁXIMOS	ESTIMACIÓN ENTRE PUNTOS 1 Y 2	ESTIMACIÓN ENTRE PUNTOS 2 Y 3	PARÁMETROS RESIDUALES
Áng. fricción int. (°)	<b>15,7</b>	15,7	13,4	17,9	
Cohesión (kPa)	<b>6,7</b>	6,7	18,1	0,0	
(kp/cm <sup>2</sup> )	<b>0,07</b>	0,07	0,18	0,00	



**OBSERVACIONES**

Operador: VERONICA TERMAL

Código: CC-COL-RA-0015 Rv.00

Fecha final ensayo: 11/04/2018

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN MUESTRAS DE SUELO - INV E-154-13**

**MM18-0122**

**Curvas de consolidación**

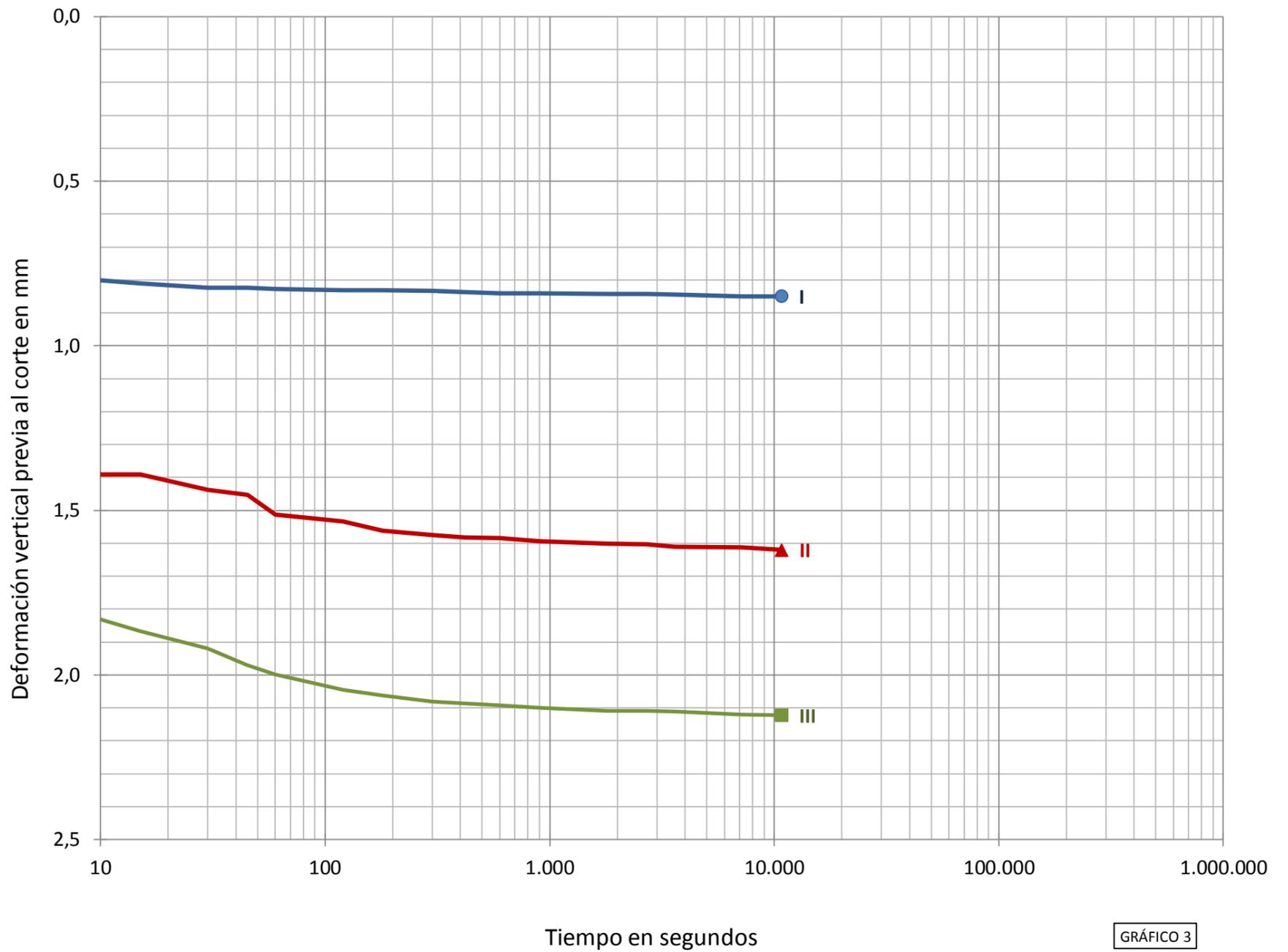


GRÁFICO 3

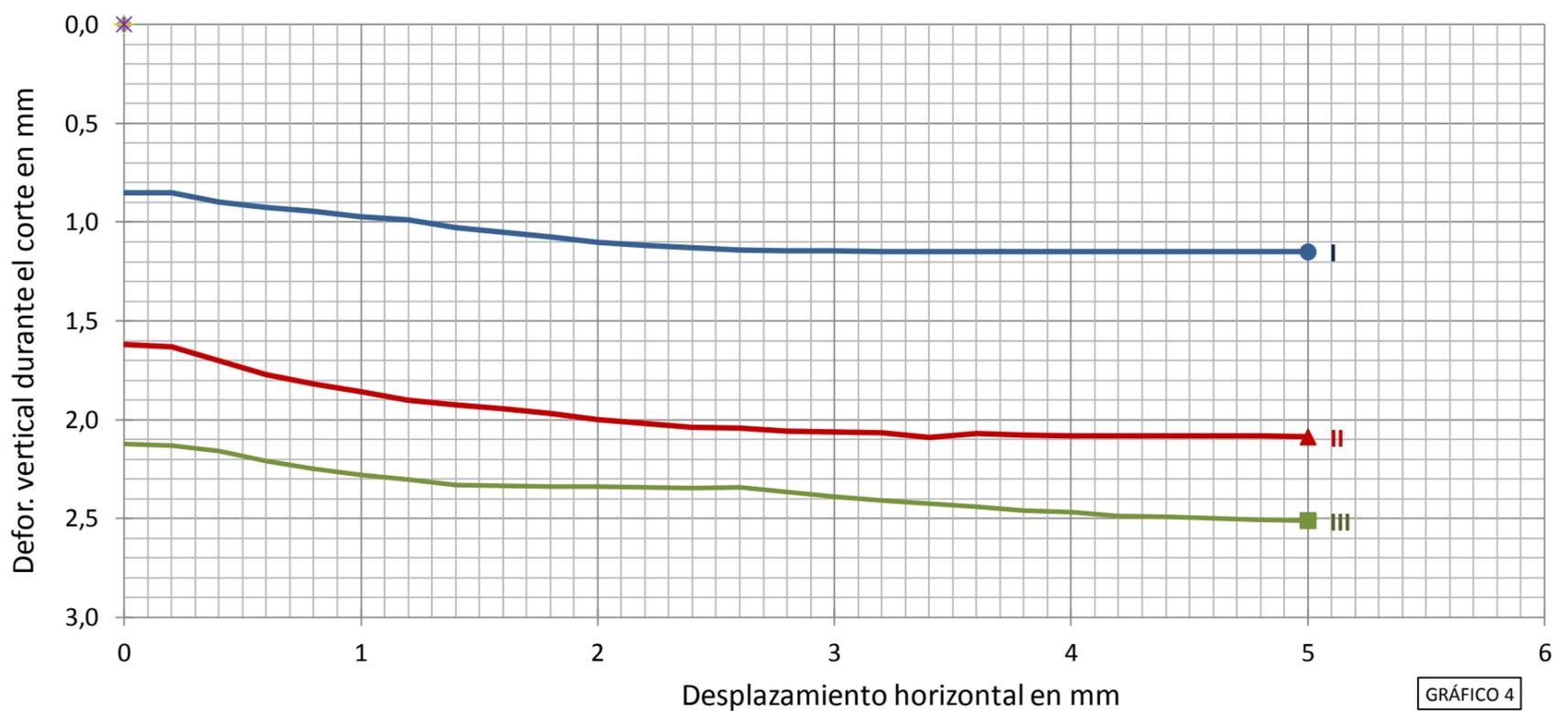


GRÁFICO 4

Informe n°.: CM0016-18-0008  
Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 4 BOLSA / Prof.: 6-7 m

7 / 14

Referencia muestra

**CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS - INV E-151-13 (MÉTODO B)****MM18-0122****Datos del ensayo**

Tipo de anillo empleado	
Altura (cm)	1,987
Diámetro (cm)	4,995
Volumen (cm <sup>3</sup> )	38,95
Peso anillo (g)	83,15
Peso anillo+suelo (g)	148,67
(*) Peso ini. suelo húmedo (g)	65,52
Gravedad esp. part. sól.	2,650
Humedad inicial (%)	43,9
Densidad apar. inicial (Tn/m <sup>3</sup> )	1,682
Densidad seca inicial (Tn/m <sup>3</sup> )	1,169
Grado saturación inicial (%)	91,83
Humedad final (%)	44,7
Densidad apar. final (Tn/m <sup>3</sup> )	1,755
Densidad seca final (Tn/m <sup>3</sup> )	1,213
Grado saturación final (%)	99,99

Nota: Gravedad esp. part. sól. estimada en 2.650

**Resultados**

Relación de vacíos inicial, e <sub>0</sub>	1,2669
Relación de vacíos final, e <sub>f</sub>	1,1860
Altura sólido, H <sub>s</sub> (cm)	0,8765
Altura vacíos final, H <sub>ps</sub> (cm)	1,0395

**Equipos utilizados**

CONSOLIDÓMETRO PROETI 2  
BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
HORNO INGTEST 5054 (CAL. 17-8-16)

**Condiciones del suelo****INALTERADO****Resultados**

Estado de presión kPa	Fecha carga	Tiempo final sg	Asiento instantáneo mm	Lectura t=10 sg mm	L <sub>0</sub> (Mét. Casagrande) mm	Lectura final mm	Altura muestra final cm	Relación de vacíos en L <sub>0</sub> e <sub>L0</sub>	Relación de vacíos final e <sub>f</sub>	Índ. compresión (*) C <sub>c</sub>	Ind. Hinchamiento (*) C <sub>s</sub>	Mód. Edométrico E <sub>m</sub> kPa	Coef. compresibilidad a <sub>v</sub> 1/kPa	Coef. consolidación C <sub>v</sub> cm <sup>2</sup> /s	Coef. compresibilidad m <sub>v</sub> 1/kPa
12,5	05-04-18	120	0,009	0,009	0,010	-0,008	1,9878	1,2658	1,2679						
25	05-04-18	120	0,013	0,005	0,005	0,005	1,9865	1,2664	1,2664	0,0050		18.899	1,20E-04		5,29E-05
50	05-04-18	900	0,028	0,034	0,033	0,039	1,9831	1,2632	1,2625	0,0130		14.528	1,56E-04		6,88E-05
100	05-04-18	3.600	0,090	0,134	0,129	0,155	1,9715	1,2523	1,2493	0,0438		8.570	2,64E-04	6,19E-03	1,17E-04
200	05-04-18	7.200	0,123	0,284	0,278	0,314	1,9556	1,2353	1,2311	0,0605		12.359	1,82E-04		8,09E-05
400	05-04-18	73.800	0,326	0,651	0,640	0,706	1,9164	1,1940	1,1864	0,1485		9.983	2,24E-04		1,00E-04
800	06-04-18	207.300	0,008	0,796	0,714	1,092	1,8778	1,1855	1,1424	0,1462		19.876	1,10E-04	7,11E-03	5,03E-05
200	09-04-18	7.200	-0,068	1,019	1,024	1,004	1,8866	1,1501	1,1524		0,0166	128.544	1,67E-05		7,78E-06
50	09-04-18	10.800	-0,040	0,959	0,964	0,930	1,8940	1,1570	1,1609		0,0141	37.984	5,67E-05		2,63E-05
12,5	09-04-18	84.900	-0,076	0,834	0,854	0,710	1,9160	1,1695	1,1860		0,0417	3.228	6,69E-04		3,10E-04

NOTA: Los índices de compresión (C<sub>c</sub>) y de hinchamiento (C<sub>s</sub>), así como los módulos edométricos (E<sub>m</sub>) y los coeficientes de compresibilidad (a<sub>v</sub>), se estiman entre un escalón de presión y el inmediatamente anterior como primera aproximación, tomando para el cálculo los valores de índice de poros obtenidos al final de los escalones de presión considerados.

**OBSERVACIONES**

Operador: YICELLY VALENCIA

Código: CC-OL-RA-0013 Rv.00

Fecha final ensayo: 10/04/2018



Informe n°.: CM0016-18-0008  
 Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 4 BOLSA / Prof.: 6-7 m

8 / 14

**CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS - INV E-151-13 (MÉTODO B)**

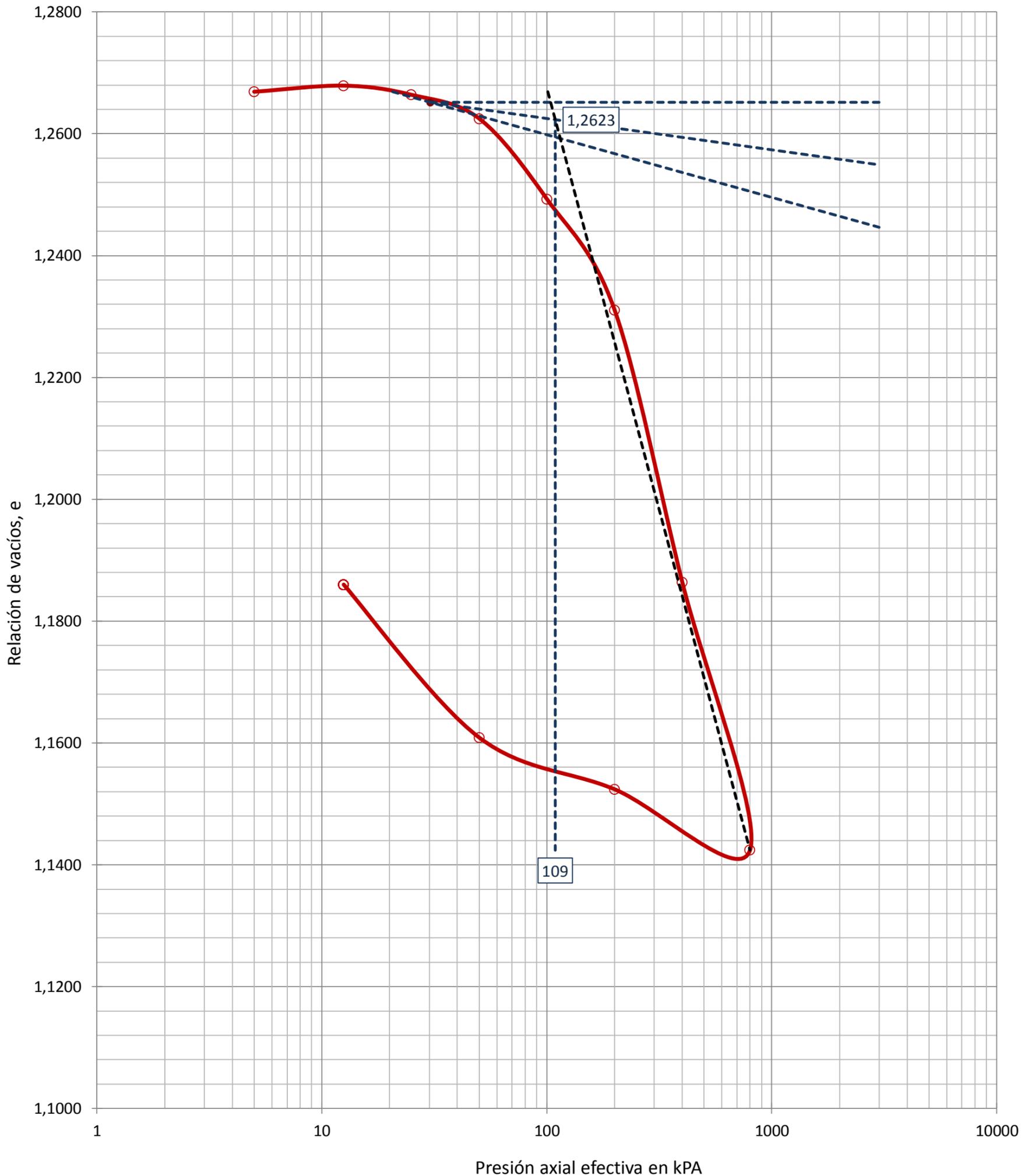
Referencia muestra

**MM18-0122**

**CURVA EDMÉTRICA**

Relación de vacíos inicial	<b>1,2669</b>
Relación de vacíos final	<b>1,1860</b>
Humedad inicial (%)	<b>43,9</b>
Humedad final (%)	<b>44,7</b>

P. preconsolidación, $\sigma'_p$ (kPa)	<b>109</b>
relación de vacíos	<b>1,2623</b>
Método de determinación	<b>Casagrande</b>
Índice de compresión, cc	<b>0,1385</b>



Informe n°.: CM0016-18-0008  
 Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 4 BOLSA / Prof.: 6-7 m

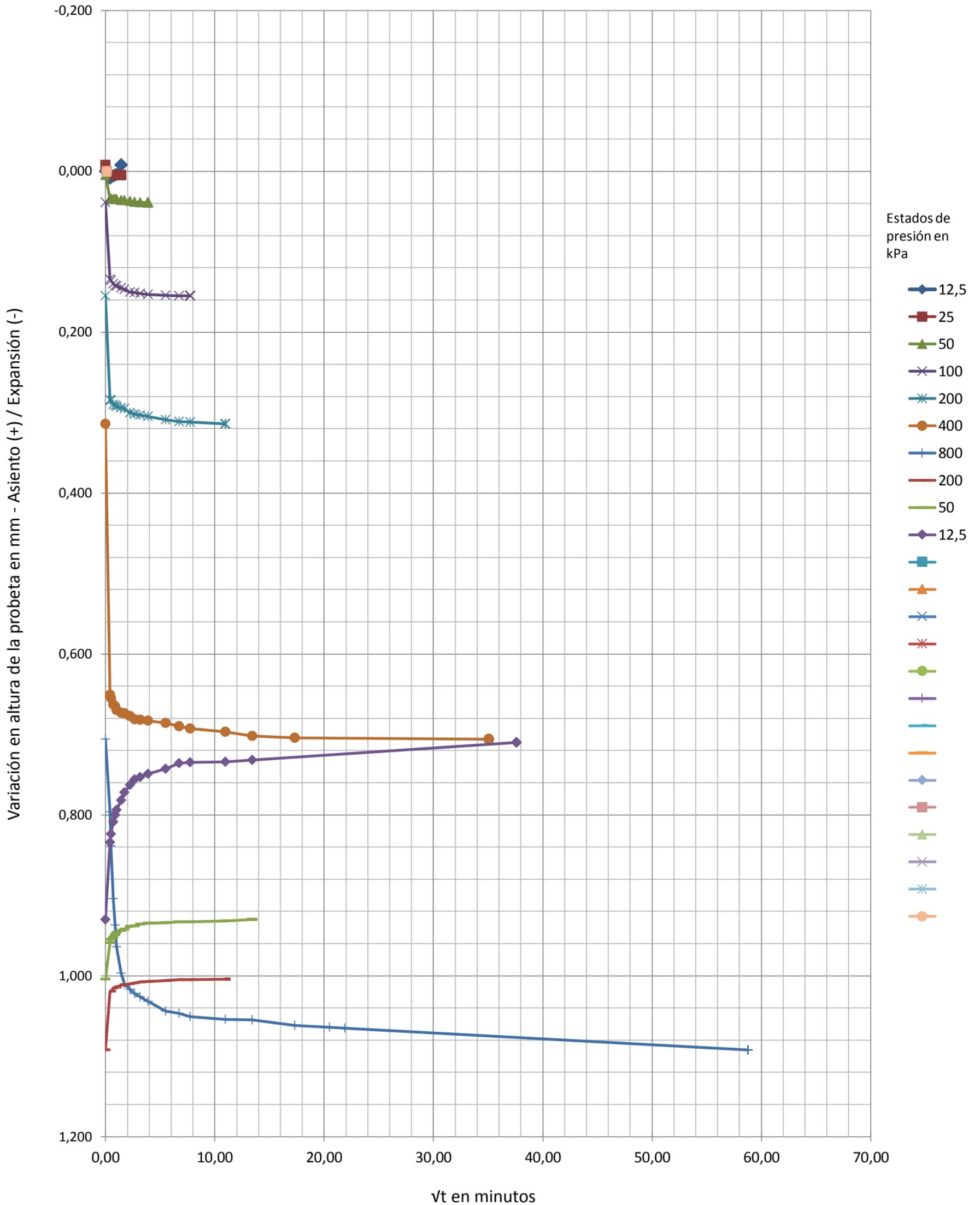
9 / 14

**CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS - INV E-151-13 (MÉTODO B)**

Referencia muestra

**MM18-0122**

**CURVAS DE CONSOLIDACIÓN**





Informe n°.: CM0016-18-0008  
 Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 4 BOLSA / Prof.: 6-7 m

10 / 14

**CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS - INV E-151-13 (MÉTODO B)**

Referencia muestra

**CURVAS DE CONSOLIDACIÓN**

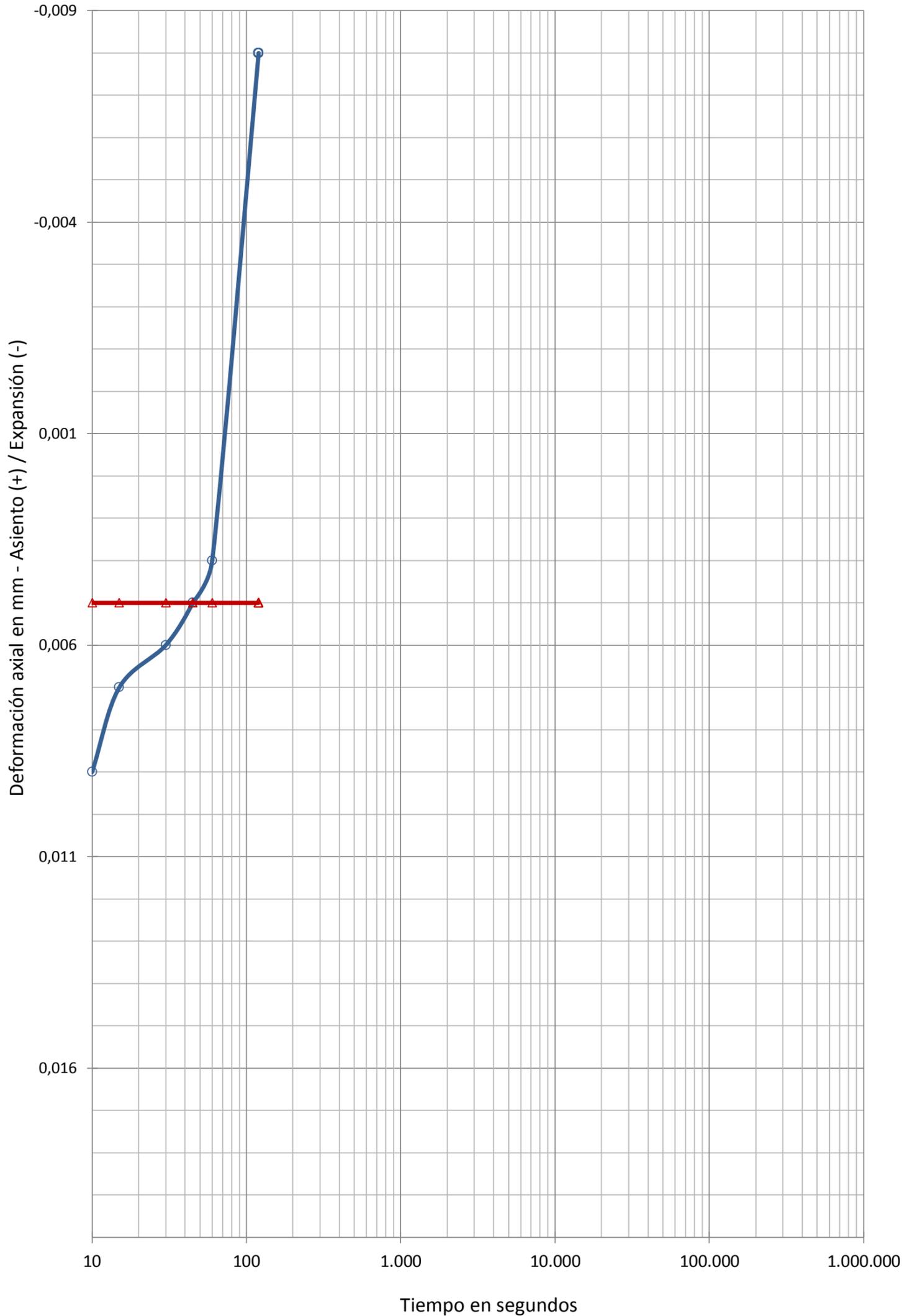
**MM18-0122**

**Estados de presión**

Estado de presión (kPa) ○ 12,5 △ 25 Diámetro probeta (cm) 4,995  
 L0 (método de Casagrande) 0,010 0,005 Altura inicial probeta (cm) 1,987

Fecha	Fecha
05-abr-18	05-abr-18

Presión (kPa)	Presión (kPa)
12,5	25



Lecturas asiento (+)			Lecturas asiento (+)		
sg	mm	Rel. vacío	sg	mm	Rel. vacío
10	0,009	1,2659	10	0,005	1,2664
15	0,007	1,2662	15	0,005	1,2664
30	0,006	1,2663	30	0,005	1,2664
45	0,005	1,2664	45	0,005	1,2664
60	0,004	1,2665	60	0,005	1,2664
120	-0,008	1,2679	120	0,005	1,2664

Código: CC-OL-RA-0013 Rv.00



Informe n°.: CM0016-18-0008  
 Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 4 BOLSA / Prof.: 6-7 m

11 / 14

**CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS - INV E-151-13 (MÉTODO B)**

Referencia muestra

**CURVAS DE CONSOLIDACIÓN**

**MM18-0122**

**Estados de presión**

Estado de presión (kPa)	—○—	<b>50</b>	—△—	<b>100</b>	Diámetro probeta (cm)	<b>4,995</b>
L0 (método de Casagrande)		<b>0,033</b>		<b>0,129</b>	Altura inicial probeta (cm)	<b>1,987</b>

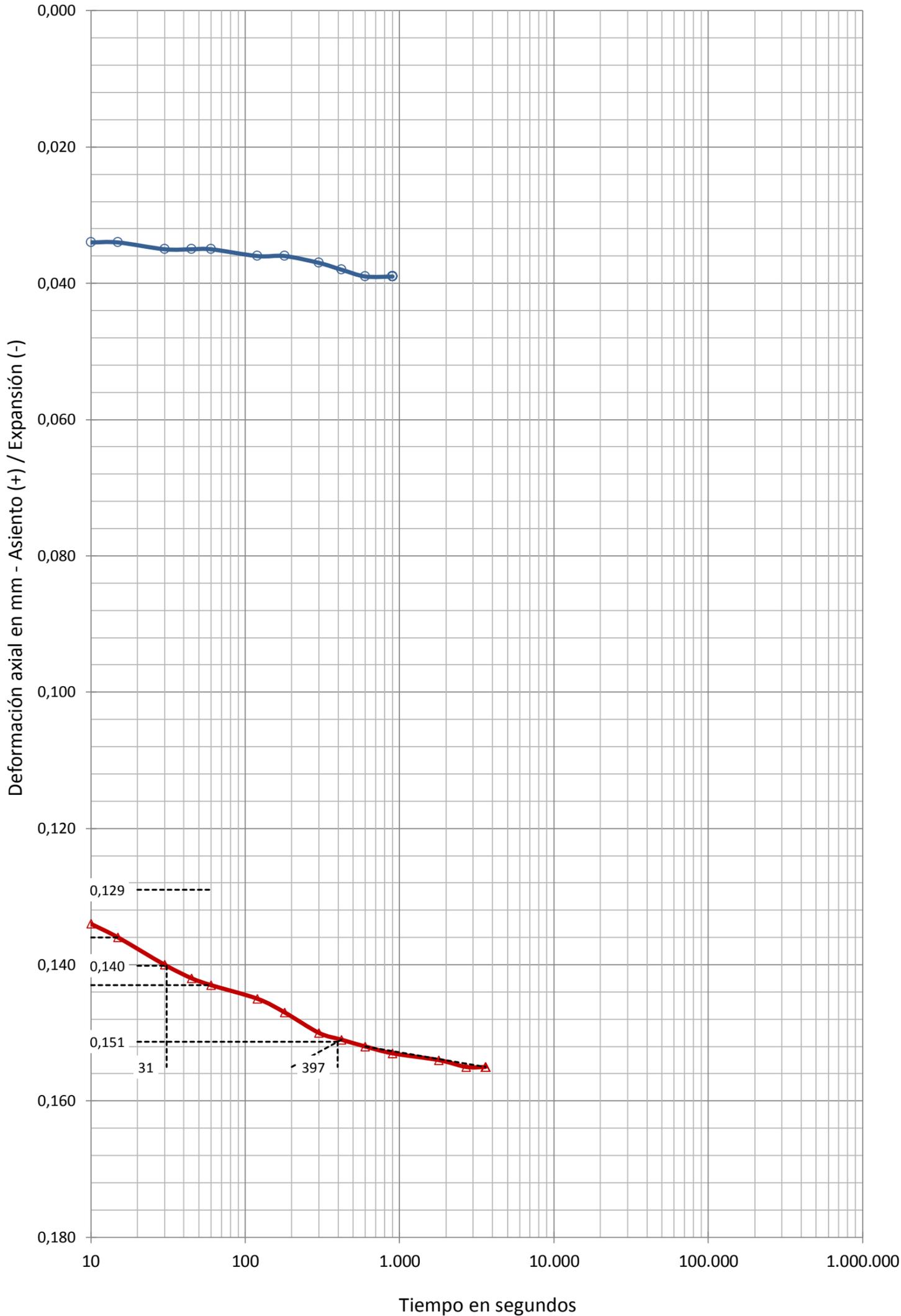
Fecha	Fecha
05-abr-18	05-abr-18

Presión (kPa) Presión (kPa)

**50** **100**

Lecturas asiento (+)	Rel. vacíos	Lecturas asiento (+)	Rel. vacíos
sg	mm	sg	mm

0	0,005	1,2664	0	0,039	1,2625
10	0,034	1,2631	10	0,134	1,2517
15	0,034	1,2631	15	0,136	1,2515
30	0,035	1,2630	30	0,140	1,2510
45	0,035	1,2630	45	0,142	1,2508
60	0,035	1,2630	60	0,143	1,2507
120	0,036	1,2629	120	0,145	1,2504
180	0,036	1,2629	180	0,147	1,2502
300	0,037	1,2627	300	0,150	1,2499
420	0,038	1,2626	420	0,151	1,2497
600	0,039	1,2625	600	0,152	1,2496
900	0,039	1,2625	900	0,153	1,2495
			1.800	0,154	1,2494
			2.700	0,155	1,2493
			3.600	0,155	1,2493



Código: CC-OL-RA-0013 Rv.00



Informe n°.: CM0016-18-0008  
 Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 4 BOLSA / Prof.: 6-7 m

12 / 14

**CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS - INV E-151-13 (MÉTODO B)**

Referencia muestra

**CURVAS DE CONSOLIDACIÓN**

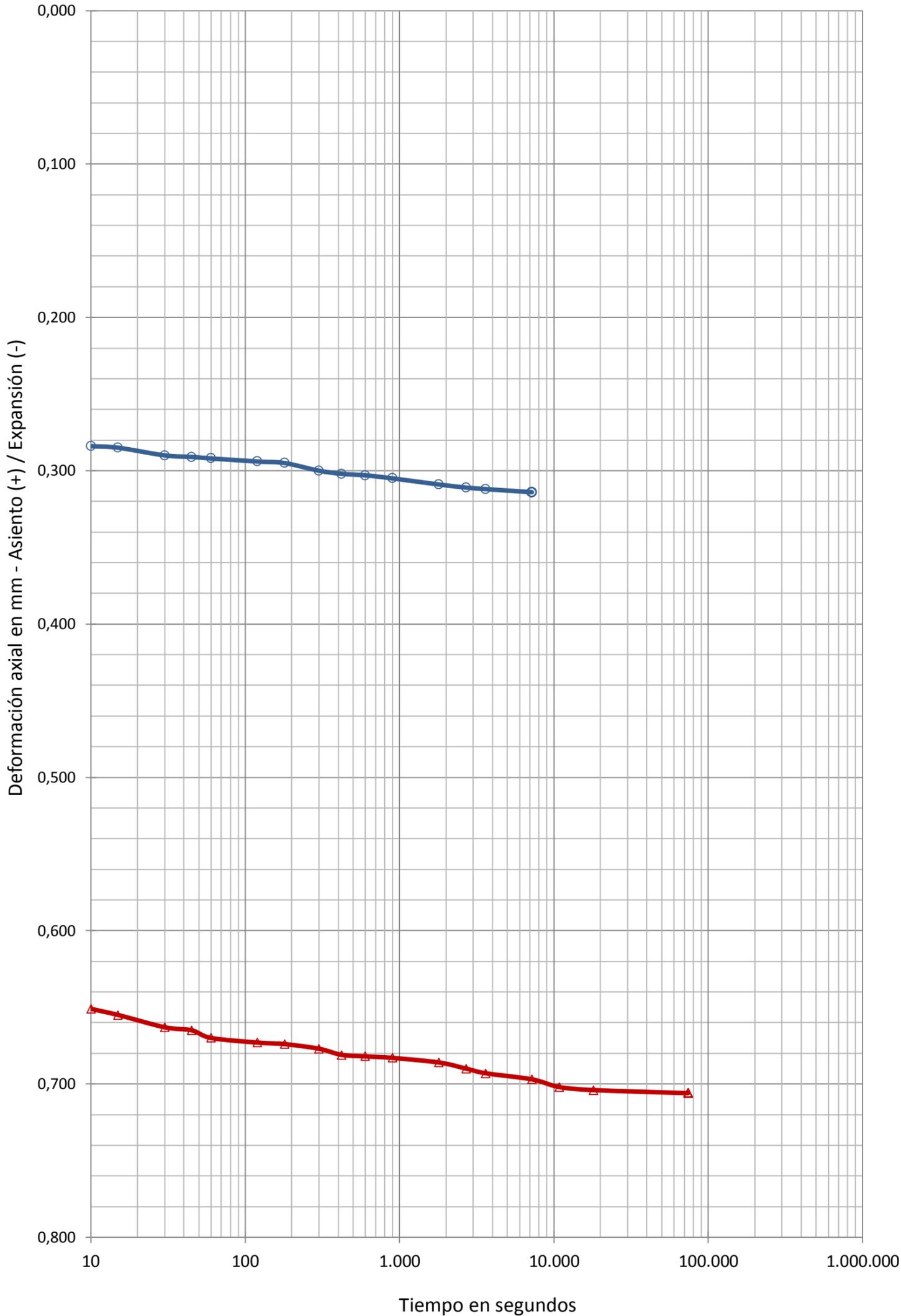
**MM18-0122**

**Estados de presión**

Estado de presión (kPa) ○ 200 △ 400 Diámetro probeta (cm) **4,995**  
 L0 (método de Casagrande) **0,278** **0,640** Altura inicial probeta (cm) **1,987**

Fecha	Fecha
05-abr-18	05-abr-18

Presión (kPa)	Presión (kPa)
<b>200</b>	<b>400</b>



Lecturas asiento (+)			Lecturas asiento (+)		
sg	mm	Rel. vacío e	sg	mm	Rel. vacío e
0	0,155	1,2493	0	0,314	1,2311
10	0,284	1,2346	10	0,651	1,1927
15	0,285	1,2345	15	0,655	1,1922
30	0,290	1,2339	30	0,663	1,1913
45	0,291	1,2338	45	0,665	1,1911
60	0,292	1,2337	60	0,670	1,1905
120	0,294	1,2334	120	0,673	1,1902
180	0,295	1,2333	180	0,674	1,1901
300	0,300	1,2327	300	0,677	1,1897
420	0,302	1,2325	420	0,681	1,1893
600	0,303	1,2324	600	0,682	1,1892
900	0,305	1,2322	900	0,683	1,1890
1.800	0,309	1,2317	1.800	0,686	1,1887
2.700	0,311	1,2315	2.700	0,690	1,1882
3.600	0,312	1,2314	3.600	0,693	1,1879
7.200	0,314	1,2311	7.200	0,697	1,1875
			10.800	0,702	1,1869
			18.000	0,704	1,1867
			73.800	0,706	1,1864

Código: CC-OL-RA-0013 Rv.00



Informe n°.: CM0016-18-0008  
 Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 4 BOLSA / Prof.: 6-7 m

13 / 14

**CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS - INV E-151-13 (MÉTODO B)**

Referencia muestra

**CURVAS DE CONSOLIDACIÓN**

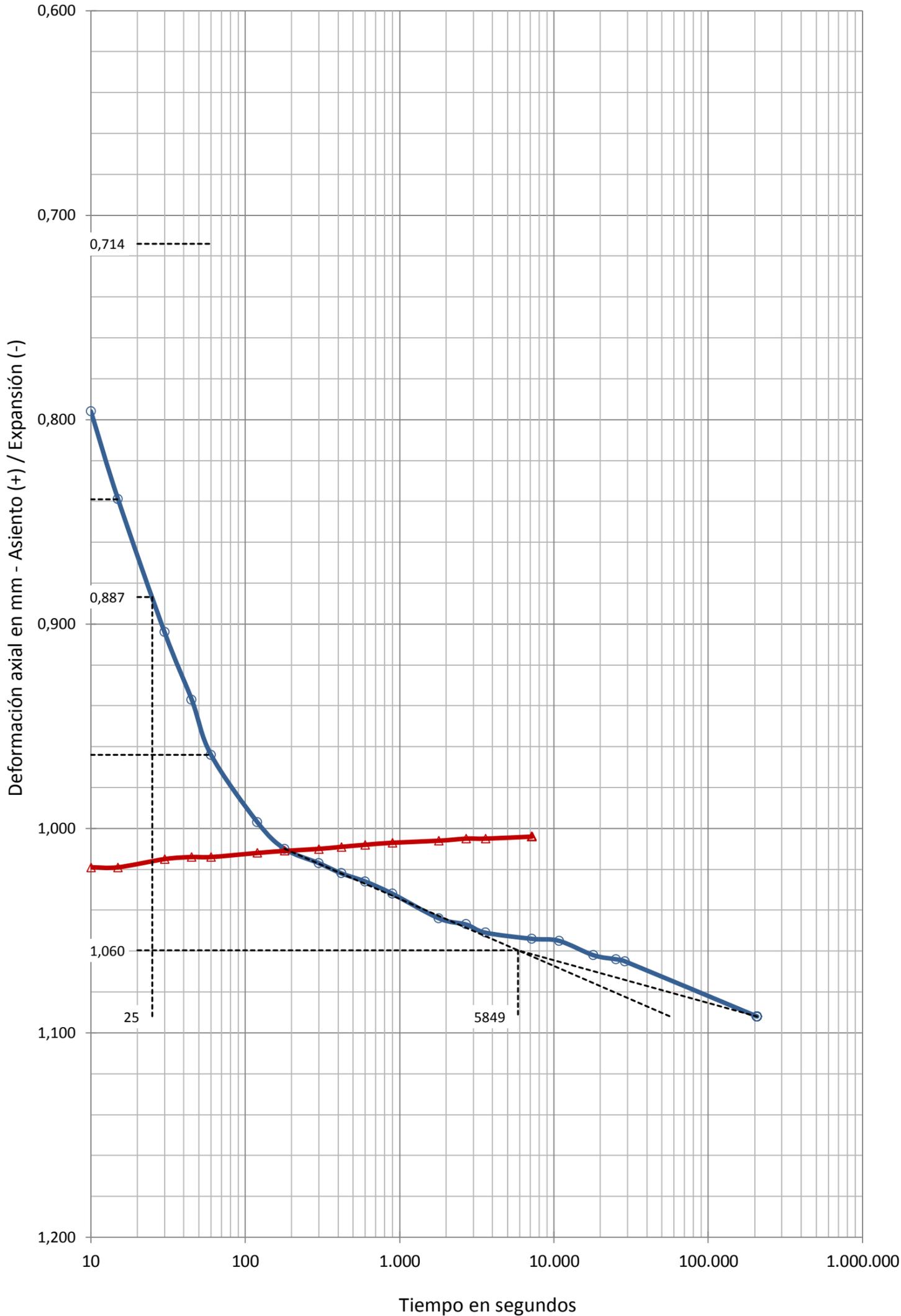
**MM18-0122**

**Estados de presión**

Estado de presión (kPa)      —○—    **800**    —△—    **200**  
 L0 (método de Casagrande)      **0,714**      **1,024**  
 Diámetro probeta (cm) **4,995**  
 Altura inicial probeta (cm) **1,987**

Fecha	Fecha
06-abr-18	09-abr-18

Presión (kPa)	Presión (kPa)
<b>800</b>	<b>200</b>



Lecturas asiento (+)			Lecturas asiento (+)		
sg	mm	Rel. vacío e	sg	mm	Rel. vacío e
0	0,706	1,1864	0	1,092	1,1424
10	0,796	1,1762	10	1,019	1,1507
15	0,839	1,1712	15	1,019	1,1507
30	0,904	1,1638	30	1,015	1,1512
45	0,937	1,1601	45	1,014	1,1513
60	0,964	1,1570	60	1,014	1,1513
120	0,997	1,1532	120	1,012	1,1515
180	1,010	1,1517	180	1,011	1,1516
300	1,017	1,1509	300	1,010	1,1517
420	1,022	1,1504	420	1,009	1,1519
600	1,026	1,1499	600	1,008	1,1520
900	1,032	1,1492	900	1,007	1,1521
1.800	1,044	1,1479	1.800	1,006	1,1522
2.700	1,047	1,1475	2.700	1,005	1,1523
3.600	1,051	1,1471	3.600	1,005	1,1523
7.200	1,054	1,1467	7.200	1,004	1,1524
10.800	1,055	1,1466			
18.000	1,062	1,1458			
25.200	1,064	1,1456			
28.800	1,065	1,1455			
207.300	1,092	1,1424			

Código: CC-OL-RA-0013 Rv.00



Informe n°.: CM0016-18-0008  
 Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 4 BOLSA / Prof.: 6-7 m

14 / 14

**CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS - INV E-151-13 (MÉTODO B)**

Referencia muestra

**CURVAS DE CONSOLIDACIÓN**

**MM18-0122**

**Estados de presión**

Estado de presión (kPa) —○— 50 —△— 12,5 Diámetro probeta (cm) **4,995**  
 L0 (método de Casagrande) **0,964** **0,854** Altura inicial probeta (cm) **1,987**

Fecha Fecha

09-abr-18 09-abr-18

Presión (kPa) Presión (kPa)

**50** **12,5**

Lecturas Rel. Lecturas Rel.  
 asiento (+) vacío asiento (+) vacío

sg mm e sg mm e

0 1,004 1,1524 0 0,930 1,1609

10 0,959 1,1576 10 0,834 1,1718

15 0,955 1,1580 15 0,824 1,1730

30 0,952 1,1584 30 0,809 1,1747

45 0,949 1,1587 45 0,800 1,1757

60 0,946 1,1590 60 0,794 1,1764

120 0,944 1,1593 120 0,782 1,1778

180 0,942 1,1595 180 0,772 1,1789

300 0,939 1,1598 300 0,763 1,1799

420 0,938 1,1600 420 0,756 1,1807

600 0,936 1,1602 600 0,753 1,1811

900 0,935 1,1603 900 0,749 1,1815

1.800 0,934 1,1604 1.800 0,743 1,1822

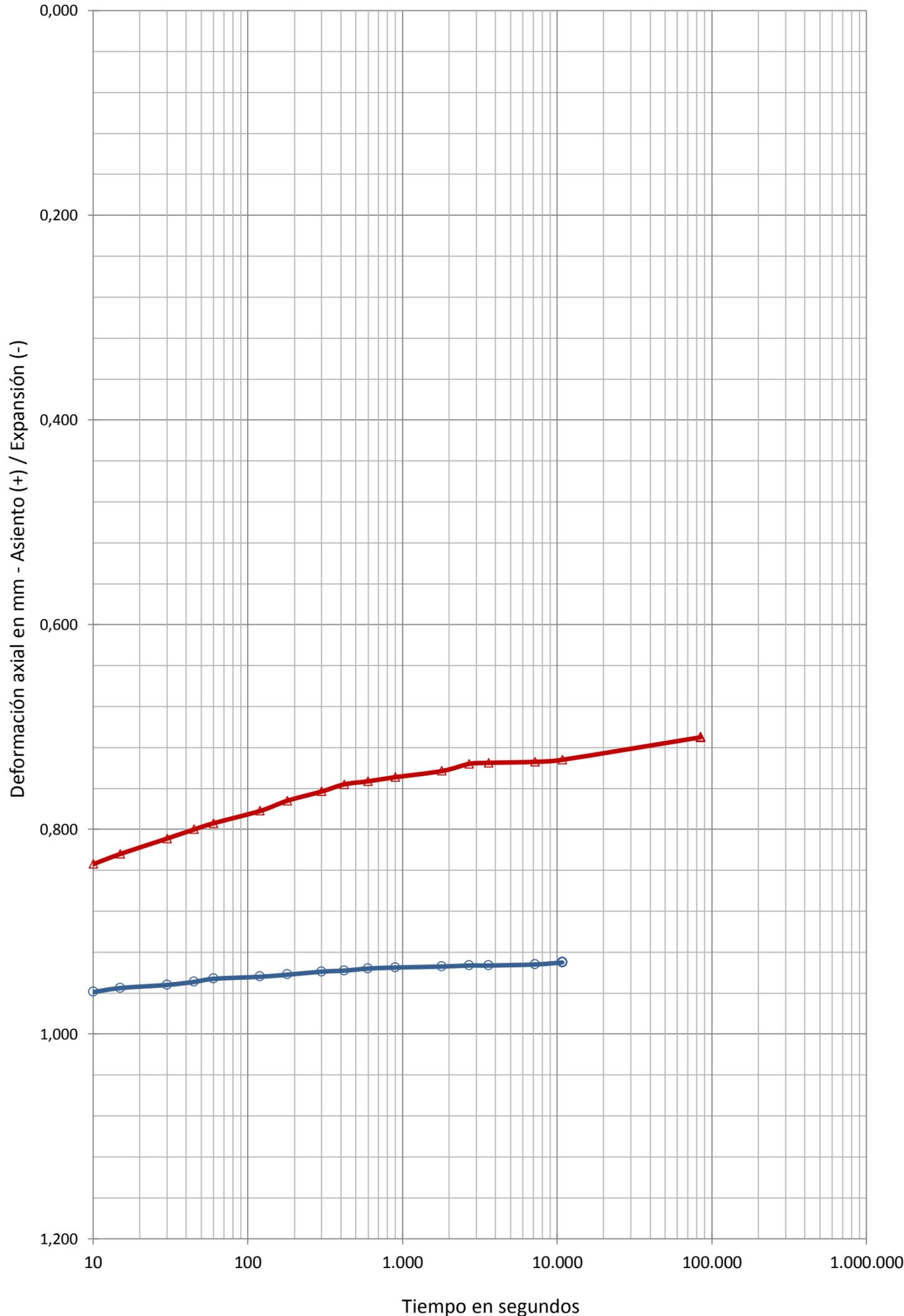
2.700 0,933 1,1605 2.700 0,736 1,1830

3.600 0,933 1,1605 3.600 0,735 1,1831

7.200 0,932 1,1606 7.200 0,734 1,1832

10.800 0,930 1,1609 10.800 0,732 1,1835

84.900 0,710 1,1860



Código: CC-OL-RA-0013 Rv.00

Informe n°.: CM0016-18-0008  
Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 4 BOLSA / Prof.: 8-9,5 m

1 / 6

## APERTURA, DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS - INV E-102-13 / INV E-180-13 / INV E-181-13

Muestra referencia

MM18-0123

Código: CC-OL-RA-0001 Rv.00

### Datos generales

Peticionario  
Cliente  
Proyecto

SOLUM CONSTRUCCIONES SAS  
PROYECTO SANTA MONICA - CALI P4

### Datos de la muestra

Referencia cliente  
Situación

P - 4

Profundidad sup., m  
Profundidad inf., m  
Tipo de muestra  
Diámetro, cm  
Longitud, cm  
Fecha de toma  
Fecha de recepción

8  
9,5  
BOLSA  
3-4-18

### Datos de la apertura y preparación

Fecha de apertura  
Operador  
Medio de apertura  
Almacenamiento  
Entorno de ensayo

2-4-18  
VERONICA TERMAL  
MANUAL  
LABORATORIO  
LAB. GEOTECNIA

### Tipo de suelo

Clasificación USCS  
Litología grupo USCS  
Clasific. AASHTO

MH  
LIMO DE ALTA COMPRESIBILIDAD  
A-7-5 (44)

### Descripción de la muestra

Litología	Prof. m	Observaciones P- penetrómetro V- vane-test (kPa)
LIMO, COLOR CAFÉ ROJIZO CON MOTAS BEIGE.	8	
	9,5	

### ENSAYOS REALIZADOS

CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13  
DENSIDAD Y PESO UNITARIO. MÉTODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA - UNE 103301/94  
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13  
LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS - INV E-125-13 - INV E-126-13  
ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN MUESTRAS DE SUELO, CD - INV E-154-13

### OBSERVACIONES

Informe n°.: CM0016-18-0008  
Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 4 BOLSA / Prof.: 8-9,5 m

2 / 6

**CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13**  
**DENSIDAD Y PESO UNITARIO. MÉTODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA - UNE 103301/94**

Referencia muestra

**MM18-0123**

**Equipos utilizados**

BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)

Temperatura de secado (°C) 110

**Datos del ensayo de humedad**

Tara (g)	36,88
Tara + suelo + agua (g)	97,48
Tara + suelo (g)	78,26
Agua (g)	19,22
Suelo (g)	41,38
Humedad, w (%)	46,4

Operador: VERONICA TERMAL  
Fecha final ensayo: 03/04/2018

**Resultados**

Contenido de humedad, w (%)	<b>46,4</b>
-----------------------------	-------------

**Equipos utilizados**

BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)

(\*) Densidad de la parafina = 0,9 Tn/m<sup>3</sup>

**Datos del ensayo densidad**

Peso suelo (g)	93,15
Peso suelo+parafina (g)	95,15
Peso parafina (g)	2,00
Peso en agua (g)	40,43
Volumen parafina (cm <sup>3</sup> )	2,22
Volumen suelo+parafina (cm <sup>3</sup> )	54,72

Operador: VERONICA TERMAL  
Fecha final ensayo: 03/04/2018

Volumen suelo (cm <sup>3</sup> )	52,50
Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	1,774
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	1,212

**Resultados**

Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	<b>1,774</b>
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	<b>1,212</b>
Peso unitario aparente (kN/m <sup>3</sup> )	<b>17,40</b>
Peso unitario seco (kN/m <sup>3</sup> )	<b>11,89</b>

OBSERVACIONES



Informe n°.: CM0016-18-0008  
 Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 4 BOLSA / Prof.: 8-9,5 m

3 / 6

Referencia muestra

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13**

**MM18-0123**

**Equipos utilizados**

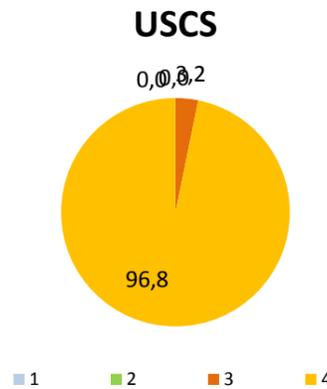
SERIE DE TAMICES PINZUAR  
 BALANZA RADWAG PS4500.R1  
 HORNO DE DESECACIÓN PROETI P0203

**Resultados**

N°	Abertura mm	Retenido tamices		Pasa muestra total		
		Parcial g	Total g	Total %	g	%
N°30	0,6		0,00	0,0	109,52	100,0
N°40	0,425		0,60	0,5	108,92	99,5
N°60	0,25		0,48	1,0	108,44	99,0
N°100	0,15		0,82	1,7	107,62	98,3
N°200	0,075		1,62	3,2	106,00	96,8

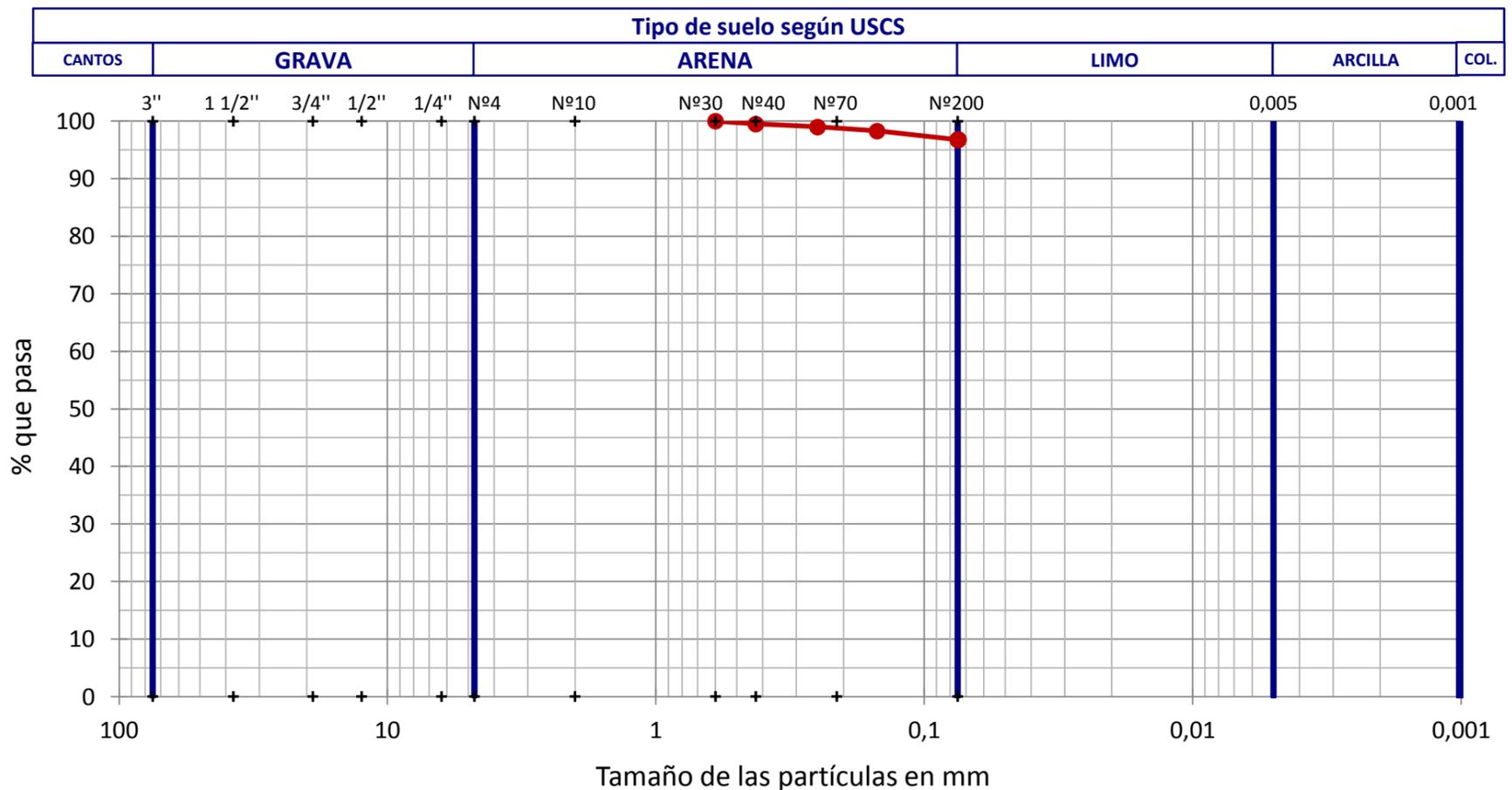
**Cálculos previos**

Temperatura de secado previo (°C)	110
Muestra total seca (g)	109,52
M.>19 mm (3/4"), total lav. y seca (g)	0,00
M.<19 mm (3/4"), seca ensay. (g)	109,52
M. 19-2 mm (3/4"-N°10), lavada y seca (g)	0,00
M. 19-2 mm (3/4"-N°10), total lav. y seca (g)	0,00
M.>2 mm (N°10), lavada y seca (g)	0,00
M.<2 mm (N°10), ensay. seca (g)	109,52
M.<2 mm (N°10), ensayada y seca (g)	109,52
M.<2 mm (N°10), total y seca (g)	109,52
Muestra total seca (g)	109,52
Humedad higrosc., % (fracción<2 mm, N°10)	0,0
Factor corr., f (fracción<2 mm, N°10)	1,0000



**Tipo de suelo según USCS**

% CANTOS > 75 mm	% GRAVA 75-4,75 mm	% ARENA 4,75-0,075 mm	% FINOS <0,075 mm
0,0	0,0	3,2	96,8
	% Grava gruesa 75-19 mm: 0,0	% Arena gruesa 4,75-2 mm: 0,0	
	% Grava fina 19-4,75 mm: 0,0	% Arena media 2-0,425 mm: 0,5	
		% Arena fina 0,425-0,075 mm: 2,7	



**OBSERVACIONES**



Informe n°:	CM0016-18-0008
Fecha edición:	06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 4 BOLSA / Prof.: 8-9,5 m

**LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS** - Referencia muestra  
**INV E-125-13 - INV E-126-13** **MM18-0123**

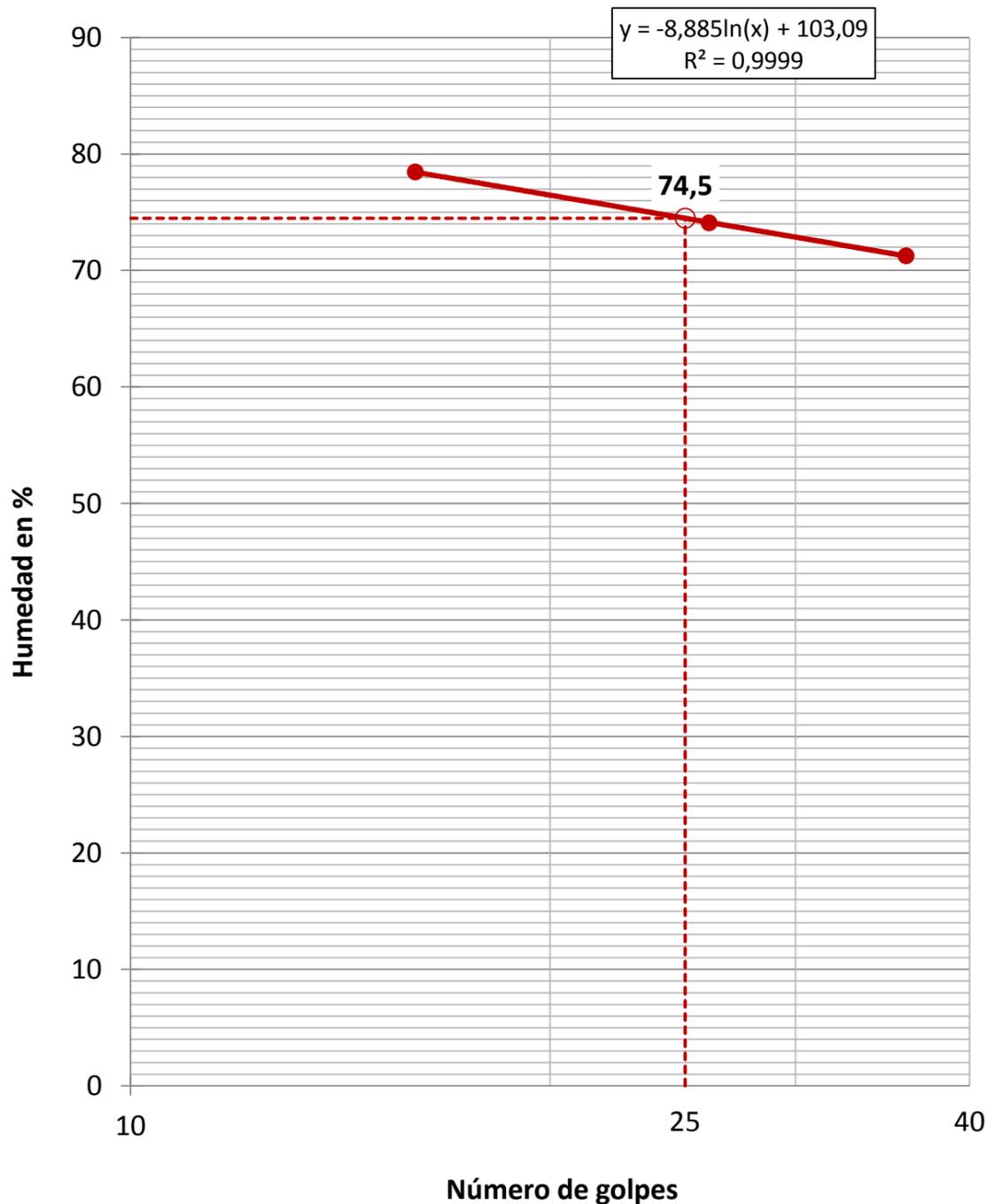
Datos Límite Líquido				
Número de golpes	36	26	16	
Agua (g)	3,20	3,09	4,30	
Tara+Suelo+Agua (g)	20,02	21,30	22,95	
Tara+Suelo (g)	16,82	18,21	18,65	
Tara (g)	12,33	14,04	13,17	
Suelo (g)	4,49	4,17	5,48	
Humedad (%)	<b>71,3</b>	<b>74,1</b>	<b>78,5</b>	

Equipos utilizados	
APARATO DE LÍMITE LIQUIDO MANUAL SDE EM-0251	
BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)	
HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)	

Condiciones de ensayo	
Temp. de secado previo (°C)	AL AIRE

Datos Límite Plástico				
Agua (g)	1,86	1,98		
Tara+Suelo+Agua (g)	28,21	26,20		
Tara+Suelo (g)	26,35	24,22		
Tara (g)	21,53	19,06		
Suelo (g)	4,82	5,16		
Humedad (%)	<b>38,6</b>	<b>38,4</b>		
Variación entre puntos (%)	0,2	0,3		

Resultados	
Límite Líquido, LL (%)	<b>74,5</b>
Límite Plástico, LP (%)	<b>38,5</b>
Índice de Plasticidad, IP (%)	<b>36,0</b>
Humedad Natural, w (%)	46,4
Índice de Líquidez, IL	0,2
Índice de Consistencia, IC	0,8



OBSERVACIONES



Informe n°:	CM0016-18-0008
Fecha edición:	06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 4 BOLSA / Prof.: 8-9,5 m

5 / 6

Referencia muestra

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN MUESTRAS DE SUELO - INV E-154-13**

**MM18-0123**

**Tipo de ensayo** **CD**

**Condiciones del suelo** **INALTERADO**

**Equipos utilizados**  
 APARATO DE CORTE DIRECTO PROETI S0125 - 3 KN  
 CAJA DE CORTE CIRCULAR  
 BALANZA RADWAG PS4500.R1  
 HORNO DE DESECACIÓN PROETI P0203

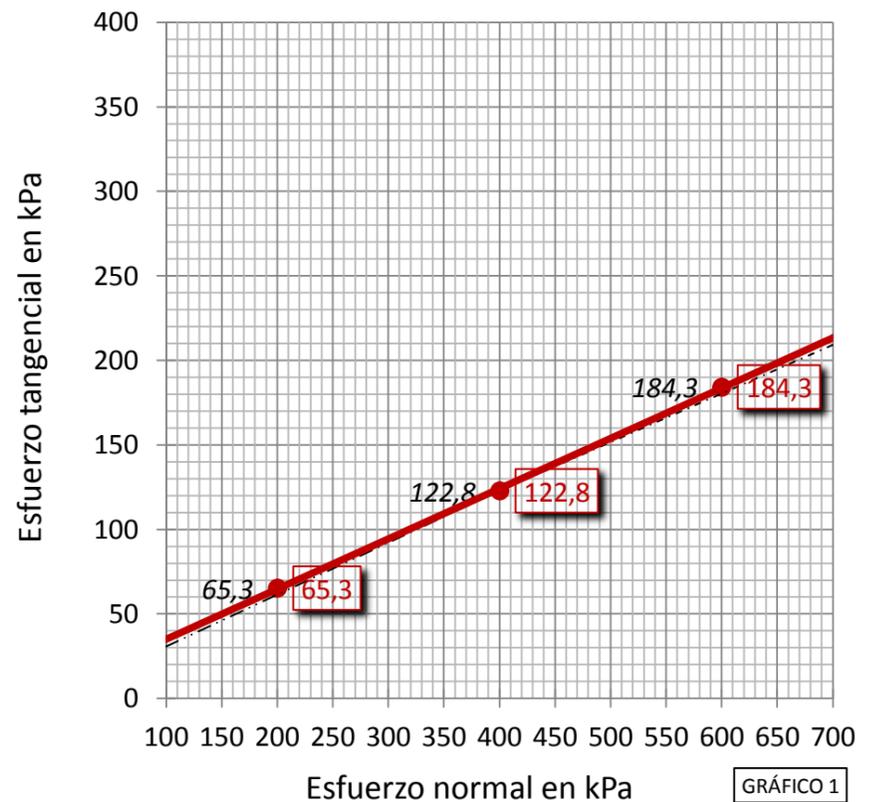
**Condiciones ensayo**

Suelo sumergido	SI
Saturación previa	NO
Consolid. previa	SI
Rotura drenada	SI
Parám. residuales	NO

**Símbolos en gráficos 2 a 4 (tens. normal, kPa)**  
 ● 200    ▲ 400    ■ 600

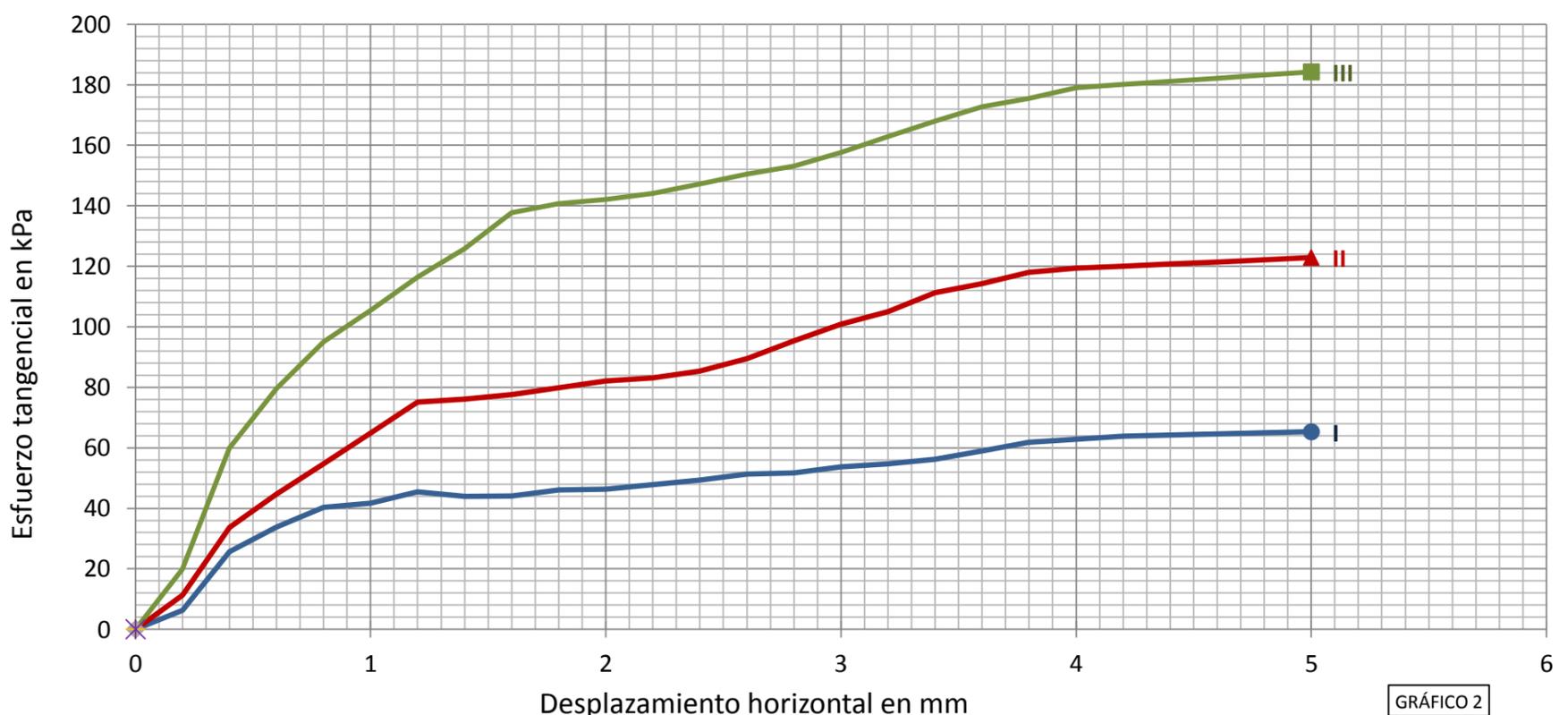
**Datos del ensayo**

Tensión normal (kPa)	200	400	600
Área inicial (cm <sup>2</sup> )	19,604	19,604	19,604
Área final corr. (cm <sup>2</sup> ) (*)	17,110	17,110	17,110
Volumen inicial (cm <sup>3</sup> )	36,95	36,95	36,95
Humedad inicial (%)	53,3	53,3	53,3
Humedad final (%)	42,0	49,5	41,6
Dens. apar. ini. (Tn/m <sup>3</sup> )	1,726	1,736	1,716
Dens. seca ini. (Tn/m <sup>3</sup> )	1,126	1,132	1,119
Consolid. previa (mm)	0,842	1,640	2,298
Consolid. final (mm)	1,353	2,022	2,560
Índ. poros inicial	1,3535	1,3410	1,3682
Í. poros final cons. previa	1,2484	1,1373	1,0795
Í. poros final ensayo	1,1846	1,0899	1,0466
Grado satur. ini. (%)	100,00	100,00	100,00
Grado satur. final ens. (%)	93,96	100,00	100,00
Esfuerzo tang. máx. (kPa)	<b>65,3</b>	<b>122,8</b>	<b>184,3</b>
Esfuerzo tang. adop. (kPa)	<b>65,3</b>	<b>122,8</b>	<b>184,3</b>
Veloc. Horizontal (mm/min)	0,08300	0,08300	0,08300
Gravedad específica part. sólidas	2.650 (estimada)		



**Símbolos en gráfico 1**

● 184,268	◆ 184,268	---	---	○
INTERPRETACIÓN LABORATORIO	ESTIMACIÓN CON ESFUERZOS MÁXIMOS	ESTIMACIÓN ENTRE PUNTOS 1 Y 2	ESTIMACIÓN ENTRE PUNTOS 2 Y 3	PARÁMETROS RESIDUALES
<b>Áng. fricción int. (°)</b>	<b>16,6</b>	16,6	16,1	17,1
<b>Cohesión (kPa)</b>	<b>5,2</b>	5,2	7,8	0,0
<b>(kp/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>0,05</b>	0,05	0,08	0,00



**OBSERVACIONES**

### Curvas de consolidación

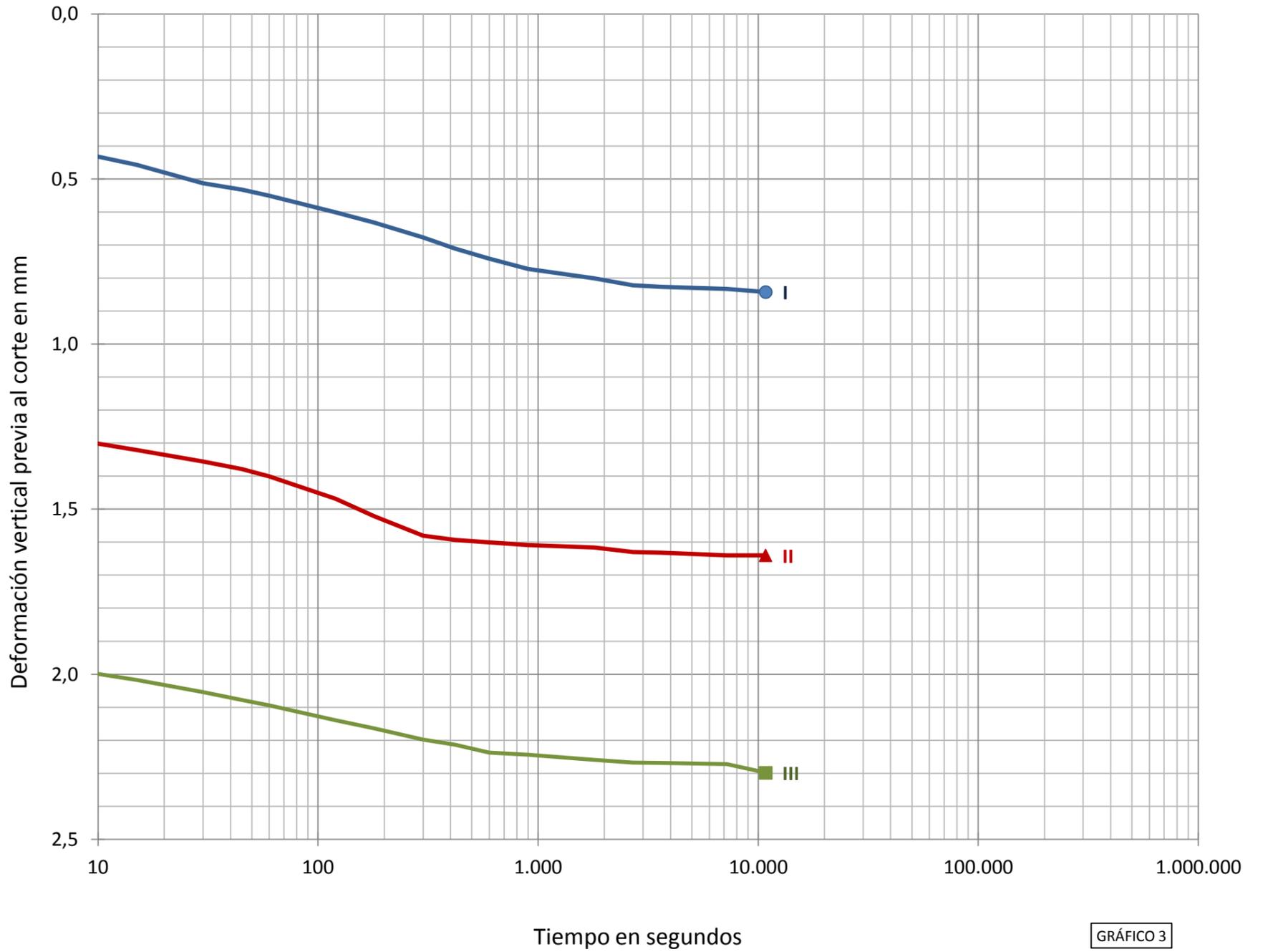


GRÁFICO 3

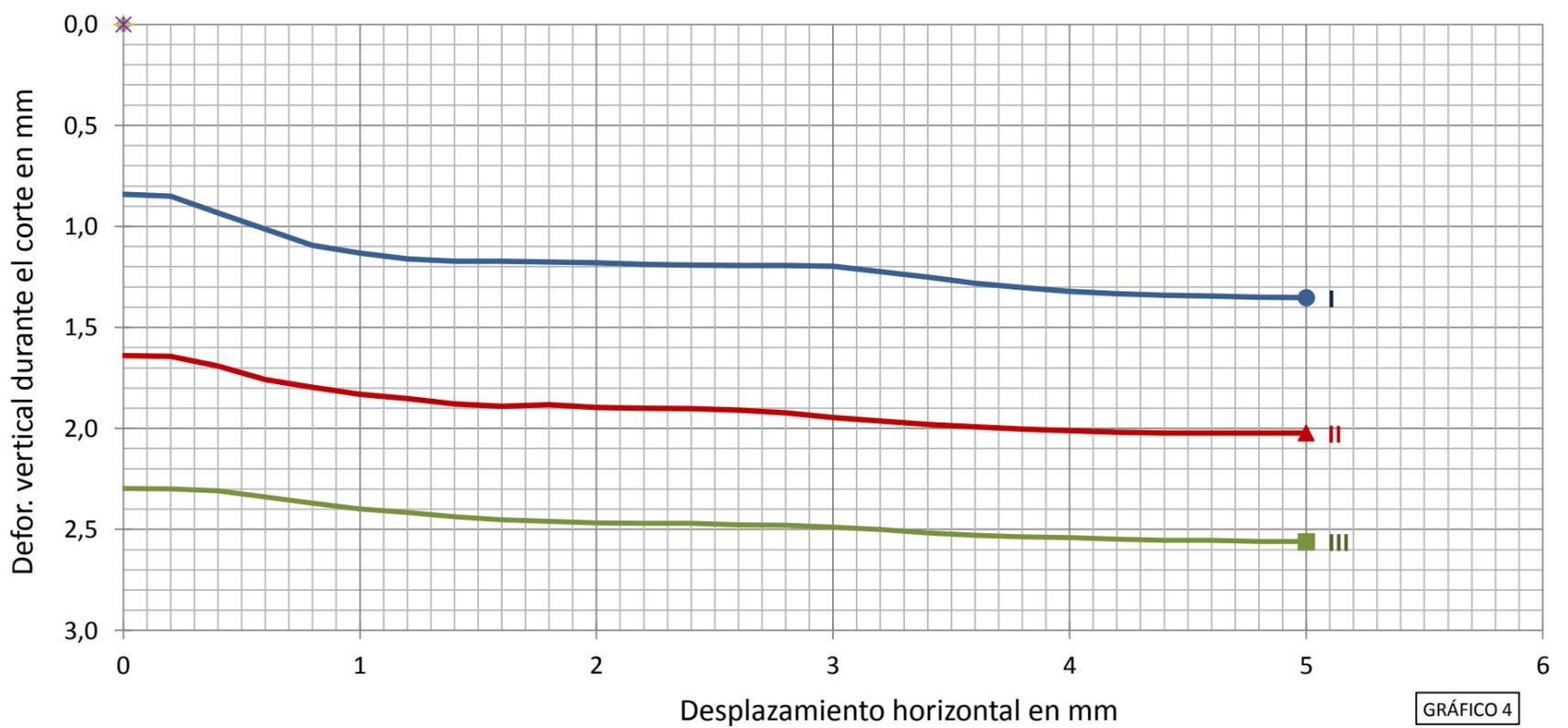


GRÁFICO 4

Informe n°.: CM0016-18-0008  
Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 4 BOLSA / Prof.: 14-15,5 m

1 / 4

## APERTURA, DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS - INV E-102-13 / INV E-180-13 / INV E-181-13

Muestra referencia

MM18-0124

Código: CC-OL-RA-0001 Rv.00

### Datos generales

Peticionario  
Cliente  
Proyecto

SOLUM CONSTRUCCIONES SAS  
PROYECTO SANTA MONICA - CALI P4

### Datos de la muestra

Referencia cliente  
Situación

P - 4

Profundidad sup., m  
Profundidad inf., m  
Tipo de muestra  
Diámetro, cm  
Longitud, cm  
Fecha de toma  
Fecha de recepción

14  
15,5  
BOLSA  
  
  
  
3-4-18

### Datos de la apertura y preparación

Fecha de apertura  
Operador  
Medio de apertura  
Almacenamiento  
Entorno de ensayo

2-4-18  
VERONICA TERMAL  
MANUAL  
LABORATORIO  
LAB. GEOTECNIA

### Tipo de suelo

Clasificación USCS  
Litología grupo USCS  
Clasific. AASHTO

MH  
LIMO DE ALTA COMPRESIBILIDAD  
A-7-5 (32)

### Descripción de la muestra

Litología	Prof. m	Observaciones P- penetrómetro V- vane-test (kPa)
LIMO CON ALGO DE ARENA, COLOR CAFÉ AMARILLENTO. CON PINTAS ROJIZAS Y BEIGE.	14	
	15,5	

### ENSAYOS REALIZADOS

CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13  
DENSIDAD Y PESO UNITARIO. MÉTODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA - UNE 103301/94  
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13  
LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS - INV E-125-13 - INV E-126-13

### OBSERVACIONES

Informe n°.: CM0016-18-0008  
Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 4 BOLSA / Prof.: 14-15,5 m

2 / 4

**CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS (MÉTODO B) - INV E-122-13**  
**DENSIDAD Y PESO UNITARIO. MÉTODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA - UNE 103301/94**

Referencia muestra

**MM18-0124**

**Equipos utilizados**

BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)

Temperatura de secado (°C) 110

**Datos del ensayo de humedad**

Tara (g)	33,61
Tara + suelo + agua (g)	94,91
Tara + suelo (g)	74,36
Agua (g)	20,55
Suelo (g)	40,75
Humedad, w (%)	50,4

Operador: VERONICA TERMAL  
Fecha final ensayo: 03/04/2018

**Resultados**

Contenido de humedad, w (%)	<b>50,4</b>
-----------------------------	-------------

**Equipos utilizados**

BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)

(\*) Densidad de la parafina = 0,9 Tn/m<sup>3</sup>

**Datos del ensayo densidad**

Peso suelo (g)	104,78
Peso suelo+parafina (g)	105,91
Peso parafina (g)	1,13
Peso en agua (g)	40,56
Volumen parafina (cm <sup>3</sup> )	1,26
Volumen suelo+parafina (cm <sup>3</sup> )	65,35

Operador: VERONICA TERMAL  
Fecha final ensayo: 03/04/2018

Volumen suelo (cm <sup>3</sup> )	64,09
Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	1,635
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	1,087

**Resultados**

Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	<b>1,635</b>
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	<b>1,087</b>
Peso unitario aparente (kN/m <sup>3</sup> )	<b>16,03</b>
Peso unitario seco (kN/m <sup>3</sup> )	<b>10,66</b>

OBSERVACIONES



Informe n°.: CM0016-18-0008  
 Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 4 BOLSA / Prof.: 14-15,5 m

3 / 4

Referencia muestra

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - INV E-123-13**

**MM18-0124**

**Equipos utilizados**

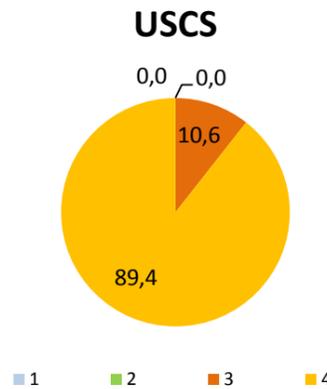
SERIE DE TAMICES PINZUAR  
 BALANZA RADWAG PS4500.R1  
 HORNO DE DESECACIÓN PROETI P0203

**Resultados**

N°	Abertura mm	Retenido tamices		Pasa muestra total		
		Parcial g	Total g	Total %	g	%
N°4	4,75		0,00	0,0	109,52	100,0
N°10	2		0,74	0,7	108,78	99,3
N°30	0,6		3,08	3,5	105,70	96,5
N°40	0,425		0,96	4,4	104,74	95,6
N°60	0,25		1,28	5,5	103,46	94,5
N°100	0,15		2,42	7,7	101,04	92,3
N°200	0,075		3,09	10,6	97,95	89,4

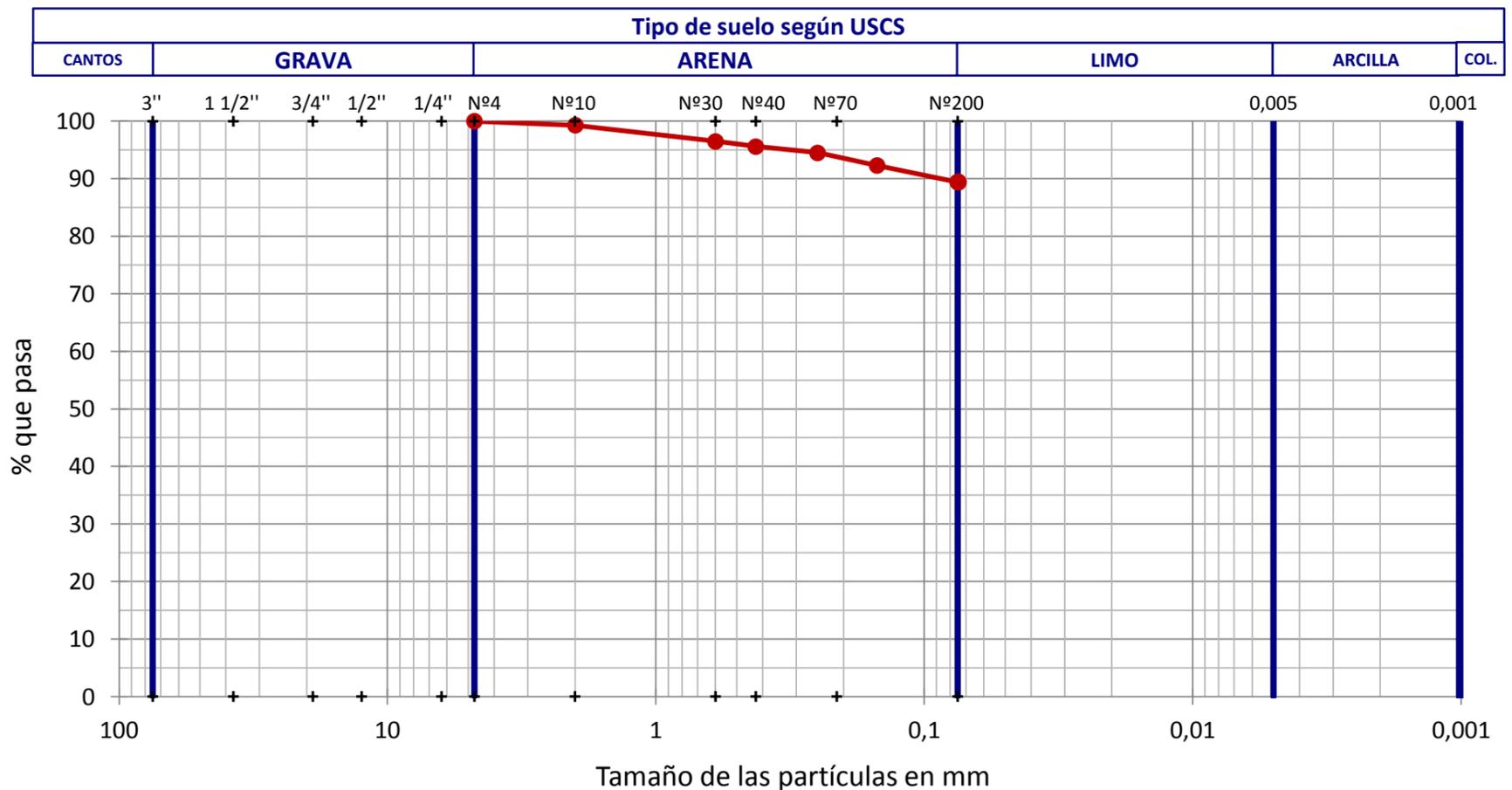
**Cálculos previos**

Temperatura de secado previo (°C)	110
Muestra total seca (g)	109,52
M.>19 mm (3/4"), total lav. y seca (g)	0,00
M.<19 mm (3/4"), seca ensay. (g)	109,52
M. 19-2 mm (3/4"-N°10), lavada y seca (g)	0,74
M. 19-2 mm (3/4"-N°10), total lav. y seca (g)	0,74
M.>2 mm (N°10), lavada y seca (g)	0,74
M.<2 mm (N°10), ensay. seca (g)	108,78
M.<2 mm (N°10), ensayada y seca (g)	108,78
M.<2 mm (N°10), total y seca (g)	108,78
Muestra total seca (g)	109,52
Humedad higrosc., % (fracción<2 mm, N°10)	0,0
Factor corr., f (fracción<2 mm, N°10)	1,0000



**Tipo de suelo según USCS**

% CANTOS > 75 mm	% GRAVA 75-4,75 mm	% ARENA 4,75-0,075 mm	% FINOS <0,075 mm
0,0	0,0	10,6	89,4
	% Grava gruesa 75-19 mm: 0,0	% Arena gruesa 4,75-2 mm: 0,7	
	% Grava fina 19-4,75 mm: 0,0	% Arena media 2-0,425 mm: 3,7	
		% Arena fina 0,425-0,075 mm: 6,2	



**OBSERVACIONES**



Informe n°:	CM0016-18-0008
Fecha edición:	06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 4 BOLSA / Prof.: 14-15,5 m

4 / 4

**LÍMITE LÍQUIDO (MÉTODO A), LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS** - Referencia muestra  
**INV E-125-13 - INV E-126-13** **MM18-0124**

Datos Límite Líquido				
Número de golpes	32	22	15	
Agua (g)	4,12	3,74	3,61	
Tara+Suelo+Agua (g)	25,37	23,35	23,26	
Tara+Suelo (g)	21,25	19,61	19,65	
Tara (g)	15,04	14,28	14,89	
Suelo (g)	6,21	5,33	4,76	
Humedad (%)	<b>66,3</b>	<b>70,2</b>	<b>75,8</b>	

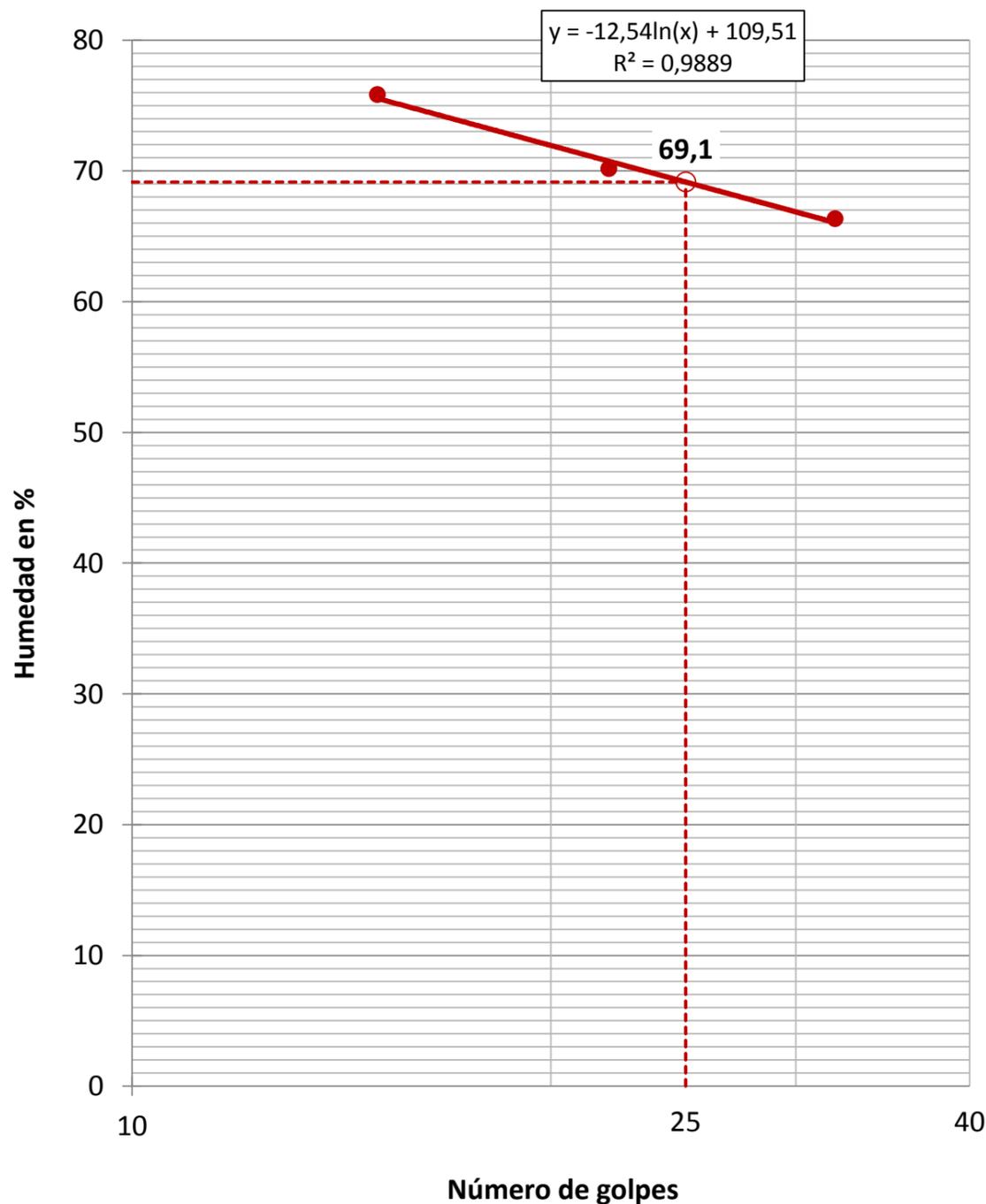
Equipos utilizados	
APARATO DE LÍMITE LIQUIDO MANUAL SDE EM-0251	
BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)	
HORNO INGETEST 5054 (CAL. 17-8-16)	

Condiciones de ensayo	
Temp. de secado previo (°C)	AL AIRE

Datos Límite Plástico				
Agua (g)	2,22	2,77		
Tara+Suelo+Agua (g)	30,41	32,46		
Tara+Suelo (g)	28,19	29,69		
Tara (g)	22,81	23,14		
Suelo (g)	5,38	6,55		
Humedad (%)	<b>41,3</b>	<b>42,3</b>		
Variación entre puntos (%)	1,3	1,2		

Resultados	
Límite Líquido, LL (%)	<b>69,1</b>
Límite Plástico, LP (%)	<b>41,8</b>
Índice de Plasticidad, IP (%)	<b>27,3</b>

Humedad Natural, w (%)	50,4
Índice de Líquidez, IL	0,3
Índice de Consistencia, IC	0,7



OBSERVACIONES

Informe n°.: CM0016-18-0008  
 Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 4 SPT / Prof.: 12-12,5 m

1 / 3

## APERTURA, DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS - INV E-102-13 / INV E-180-13 / INV E-181-13

Muestra referencia

MM18-0125

Código: CC-OL-RA-0001 Rv.00

### Datos generales

Peticionario  
 Cliente  
 Proyecto

SOLUM CONSTRUCCIONES SAS  
 PROYECTO SANTA MONICA - CALI P4

### Datos de la muestra

Referencia cliente  
 Situación

P - 4

Profundidad sup., m  
 Profundidad inf., m  
 Tipo de muestra  
 Diámetro, cm  
 Longitud, cm  
 Fecha de toma  
 Fecha de recepción

12  
 12,5  
 SPT  
 3-4-18

### Datos de la apertura y preparación

Fecha de apertura  
 Operador  
 Medio de apertura  
 Almacenamiento  
 Entorno de ensayo

2-4-18  
 VERONICA TERMAL  
 MANUAL  
 LABORATORIO  
 LAB. GEOTECNIA

### Tipo de suelo

Clasificación USCS

Clasific. AASHTO

### Descripción de la muestra

Litología	Prof. m	Observaciones P- penetrómetro V- vane-test (kPa)
LIMO, COLOR CAFÉ ROJIZO. CON PINTAS ROJIZAS Y BEIGE.	12	
	12,5	

### ENSAYOS REALIZADOS

COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS - INV E-152-13

### OBSERVACIONES

Informe n°.: CM0016-18-0008  
Fecha edición: 06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 4 SPT / Prof.: 12-12,5 m

2 / 3

Muestra referencia

**ANEXO FOTOGRÁFICO -**

**MM18-0125**



**OBSERVACIONES:**

Informe n°:	CM0016-18-0008
Fecha edición:	06-04-18

LOCALIZACIÓN: P - 4 SPT / Prof.: 12-12,5 m

3 / 3

Referencia muestra

**COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS - INV E-152-13**

**MM18-0125**

**Equipos utilizados**

PRENSA PROETI S0358 UNITRONIC, 50 KN (CAL. 12-10-15)  
 BALANZA RADWAG PS4500.R1 (CAL. 27-7-16)  
 HORNO INGATEST 5054 (CAL. 17-8-16)  
 EXTRACTOR DE MUESTRAS SDE MANUAL

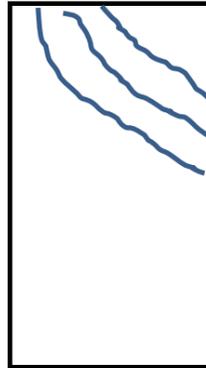
**Condiciones del suelo** **INALTERADO**

**Datos de la probeta ensayada**

Tallada a partir de bloque	
Diámetro (cm)	4,668
Altura (cm)	9,388
Relación altura/diámetro	2,0
Sección (cm <sup>2</sup> )	17,11
Volumen (cm <sup>3</sup> )	160,63
Peso húmedo (g)	269,96
Densidad aparente (Tn/m <sup>3</sup> )	1,681
Densidad seca (Tn/m <sup>3</sup> )	1,095
Humedad inicial (%)	53,5
Humedad después rotura (%)	
Grado de saturación (%)	99,84

Nota: gravedad específica part. sól. estimada en 2.650

**Forma rotura**



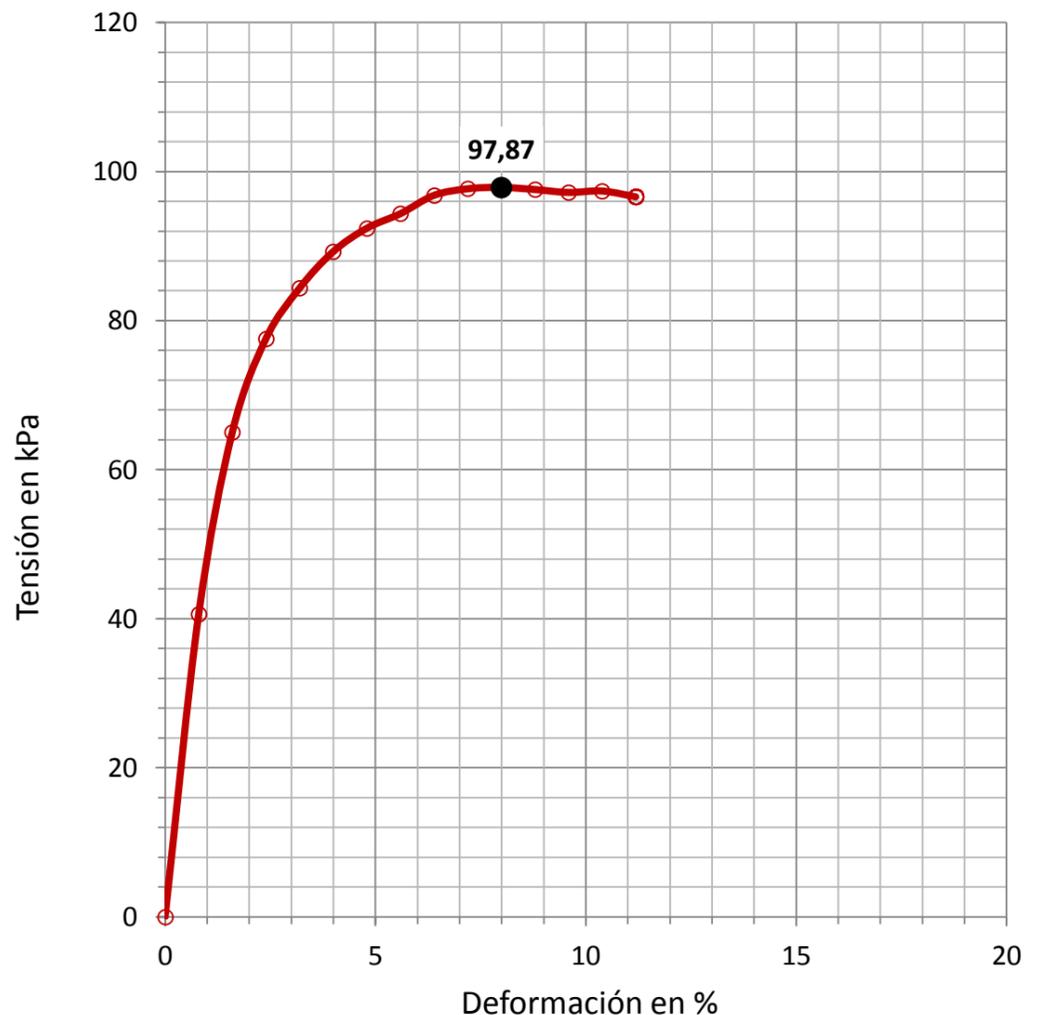
**Datos del proceso de rotura**

Velocidad de deformación (mm/min)	1,5
Velocidad de deformación (%/min)	1,6

Tiempo sg	Carga axial kN	Tensión correg. kp/cm <sup>2</sup>	Tensión correg. kPa	Deformación %	Deformación mm
0	0,0000	0,000	0,00	0,00	0,00
30	0,0700	0,414	40,60	0,80	0,75
60	0,1130	0,663	65,02	1,60	1,50
90	0,1360	0,791	77,57	2,40	2,25
120	0,1490	0,860	84,34	3,20	3,00
150	0,1590	0,910	89,24	3,99	3,75
180	0,1660	0,942	92,38	4,79	4,50
210	0,1710	0,962	94,34	5,59	5,25
240	0,1770	0,987	96,80	6,39	6,00
270	0,1800	0,996	97,68	7,19	6,75
300	0,1820	0,998	97,87	7,99	7,50
330	0,1830	0,995	97,58	8,79	8,25
360	0,1840	0,991	97,19	9,59	9,00
390	0,1860	0,993	97,38	10,39	9,75
420	0,1860	0,985	96,60	11,18	10,50

**Resultados**

Resistencia a compresión inconfiada, qu (kPa)	<b>97,87</b>
Resistencia al corte, su (kPa)	<b>48,94</b>
Deformación (%)	<b>7,99</b>
Resistencia a compresión inconfiada, qu (kg/cm <sup>2</sup> )	<b>0,998</b>
Resistencia al corte, su (kg/cm <sup>2</sup> )	<b>0,499</b>



**OBSERVACIONES**



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

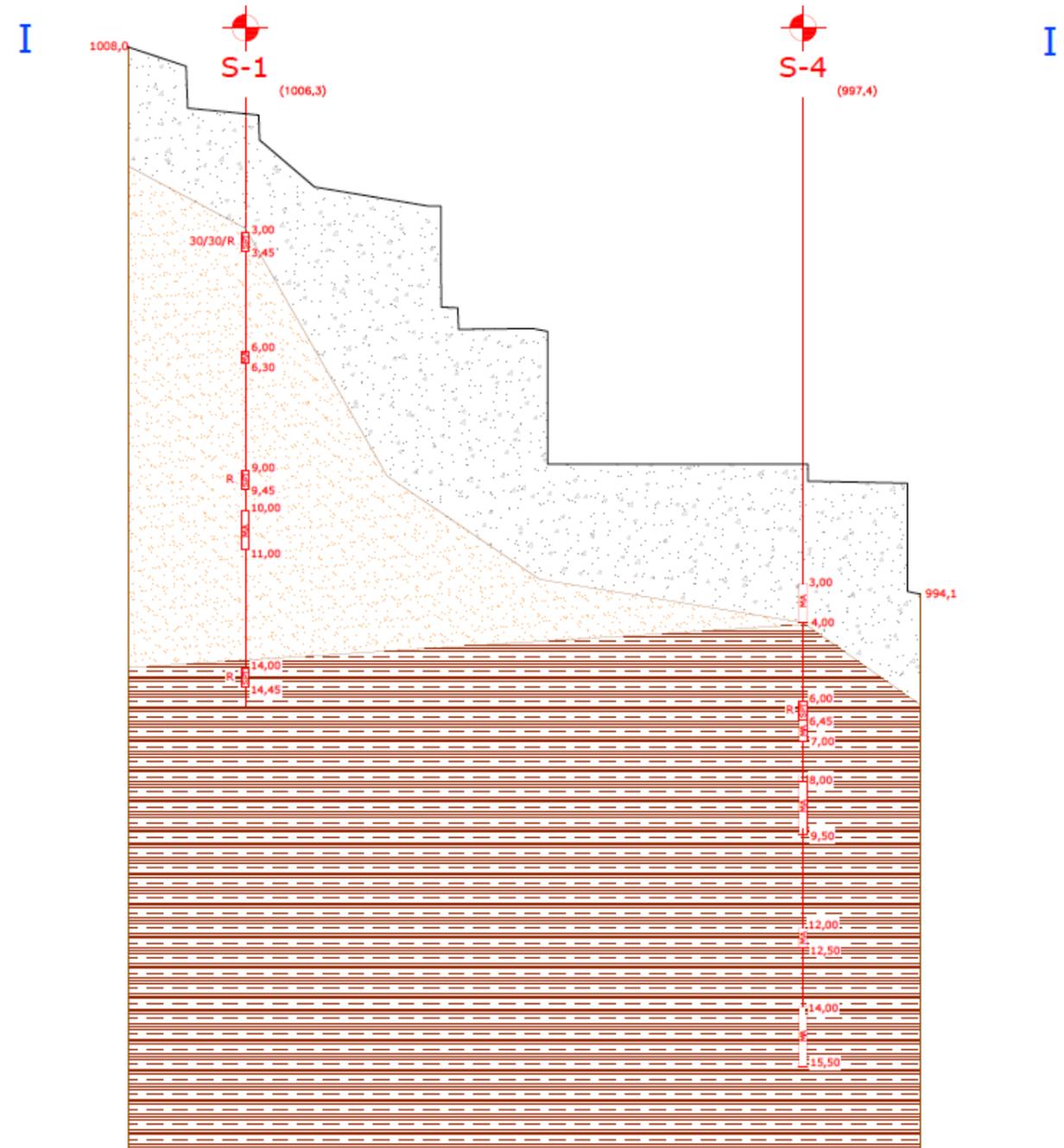
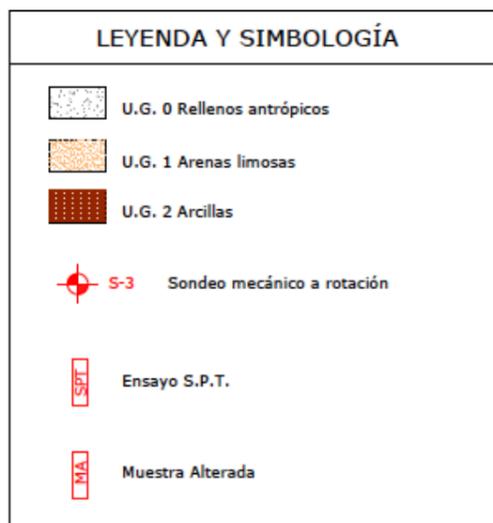
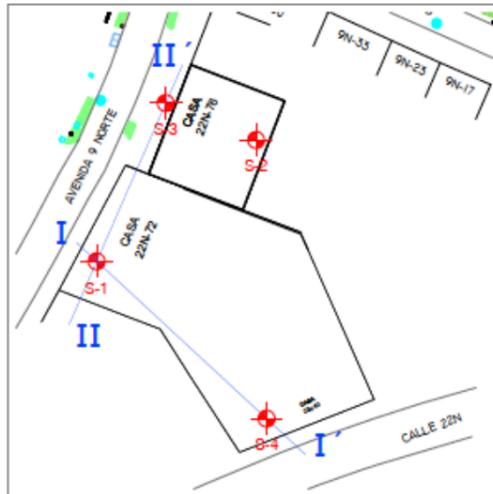
*Estudio de soluciones para la cimentación de un edificio de viviendas de uso residencial en Cali, Colombia*



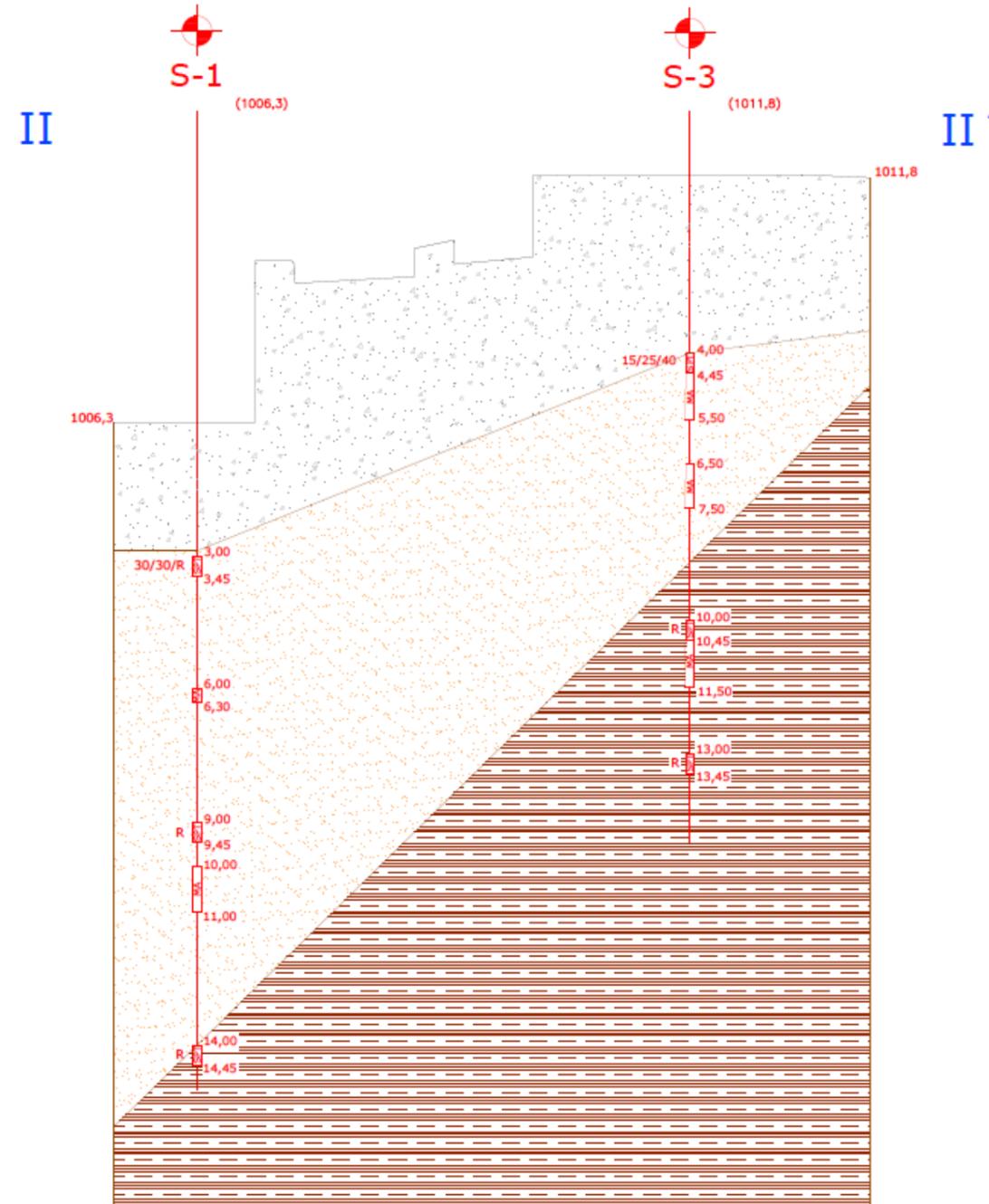
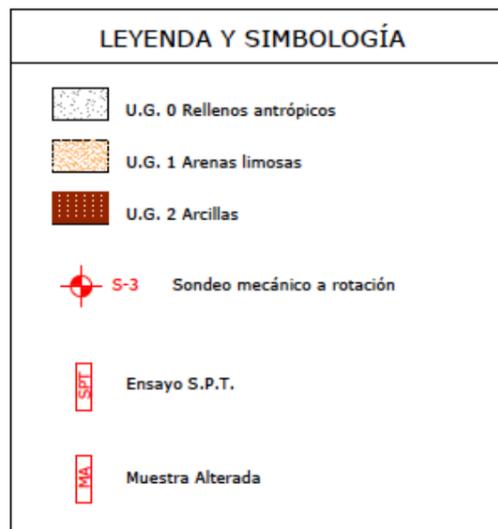
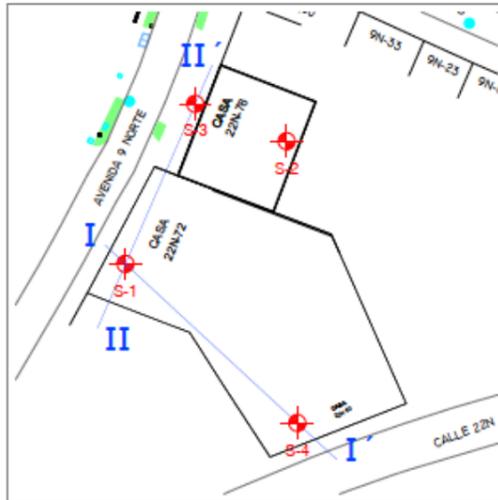
ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

## ANEXO IV: PERFIL GEOTÉCNICO DEL TERRENO

## PERFIL GEOTÉCNICO I-I'



## PERFIL GEOTÉCNICO II-II'





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

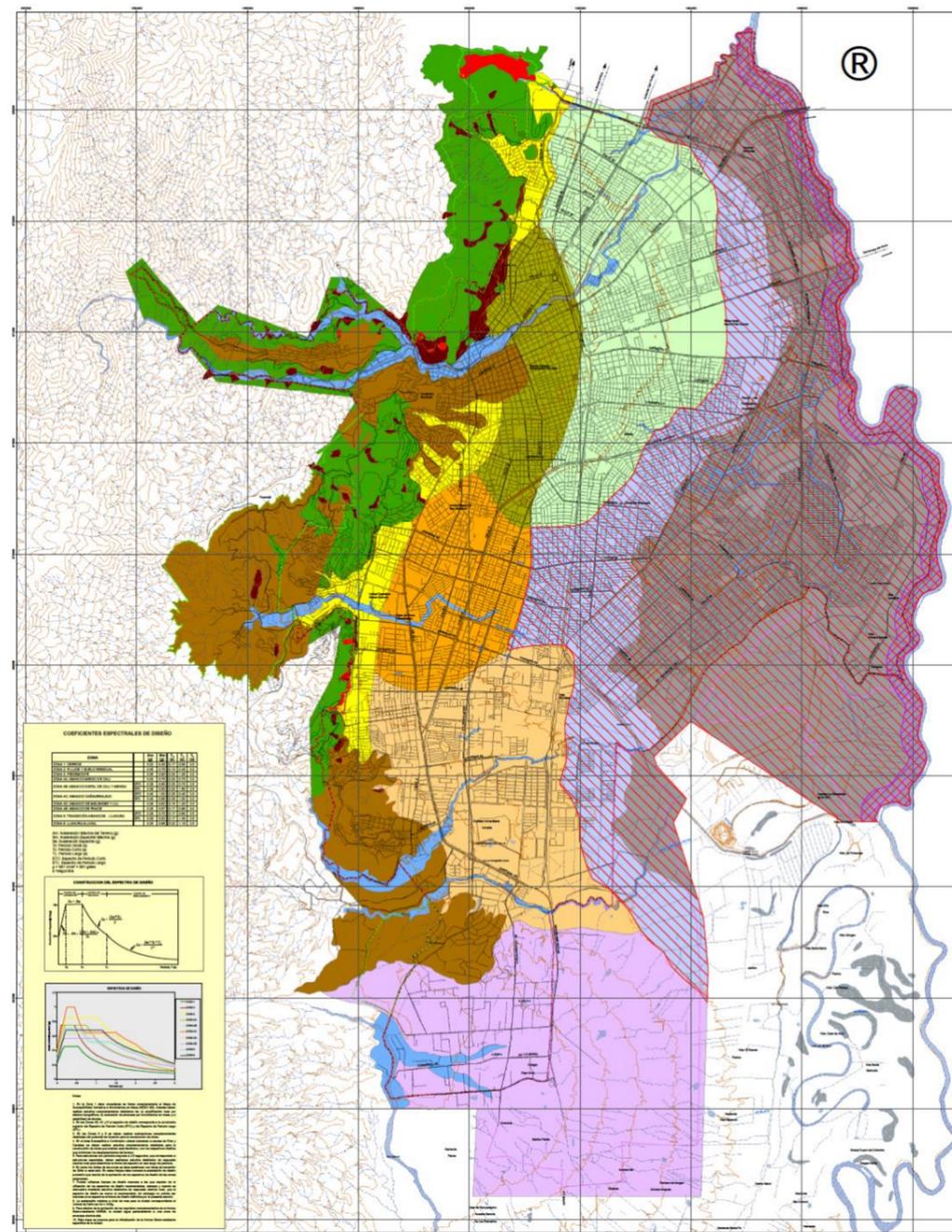
*Estudio de soluciones para la cimentación de un edificio de viviendas de uso residencial en Cali, Colombia*



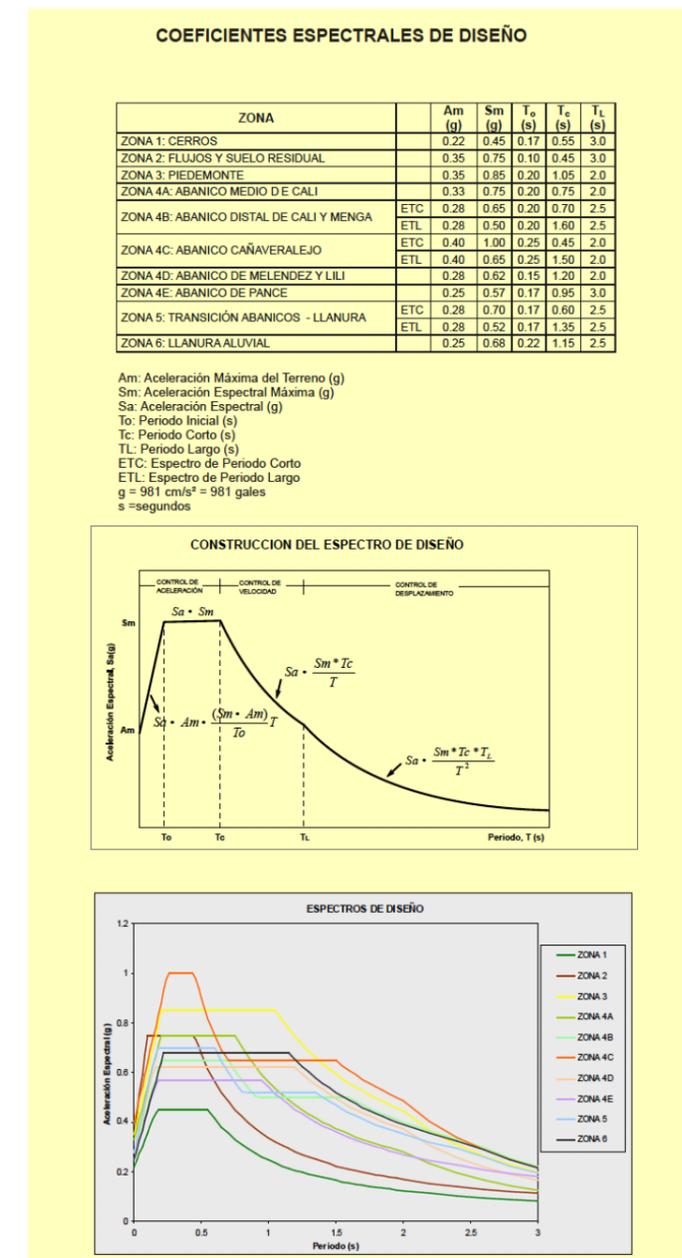
ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

## ANEXO V: MAPAS UTILIZADOS

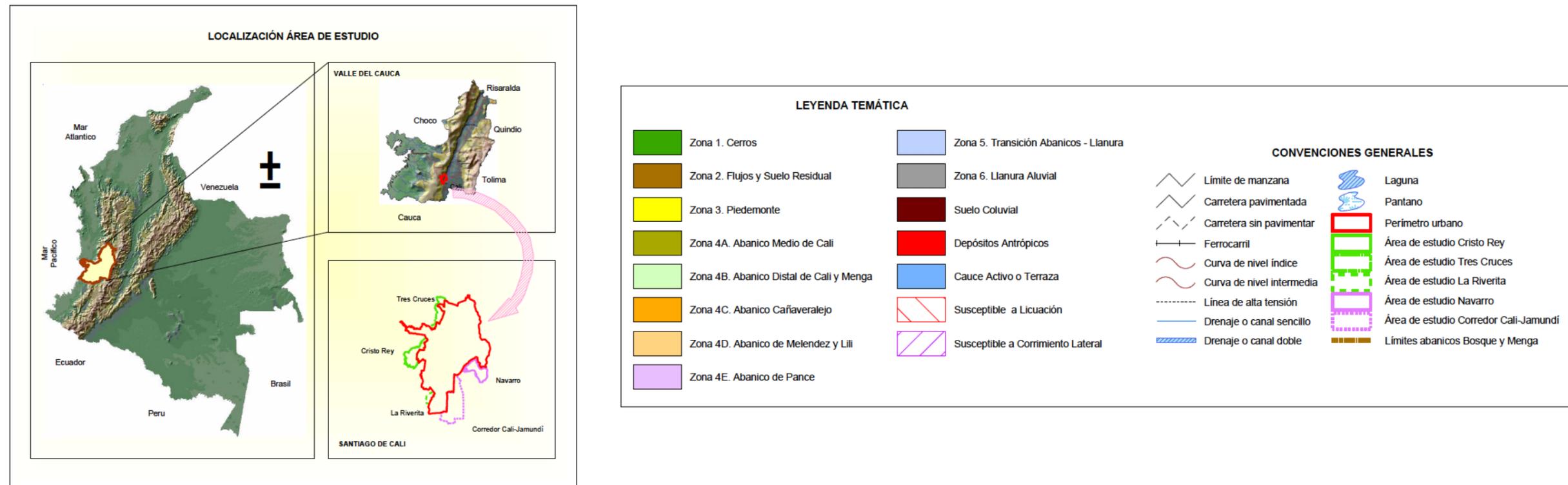
### Mapa de microzonificación sísmica de Cali



### Coeficientes espectrales de diseño

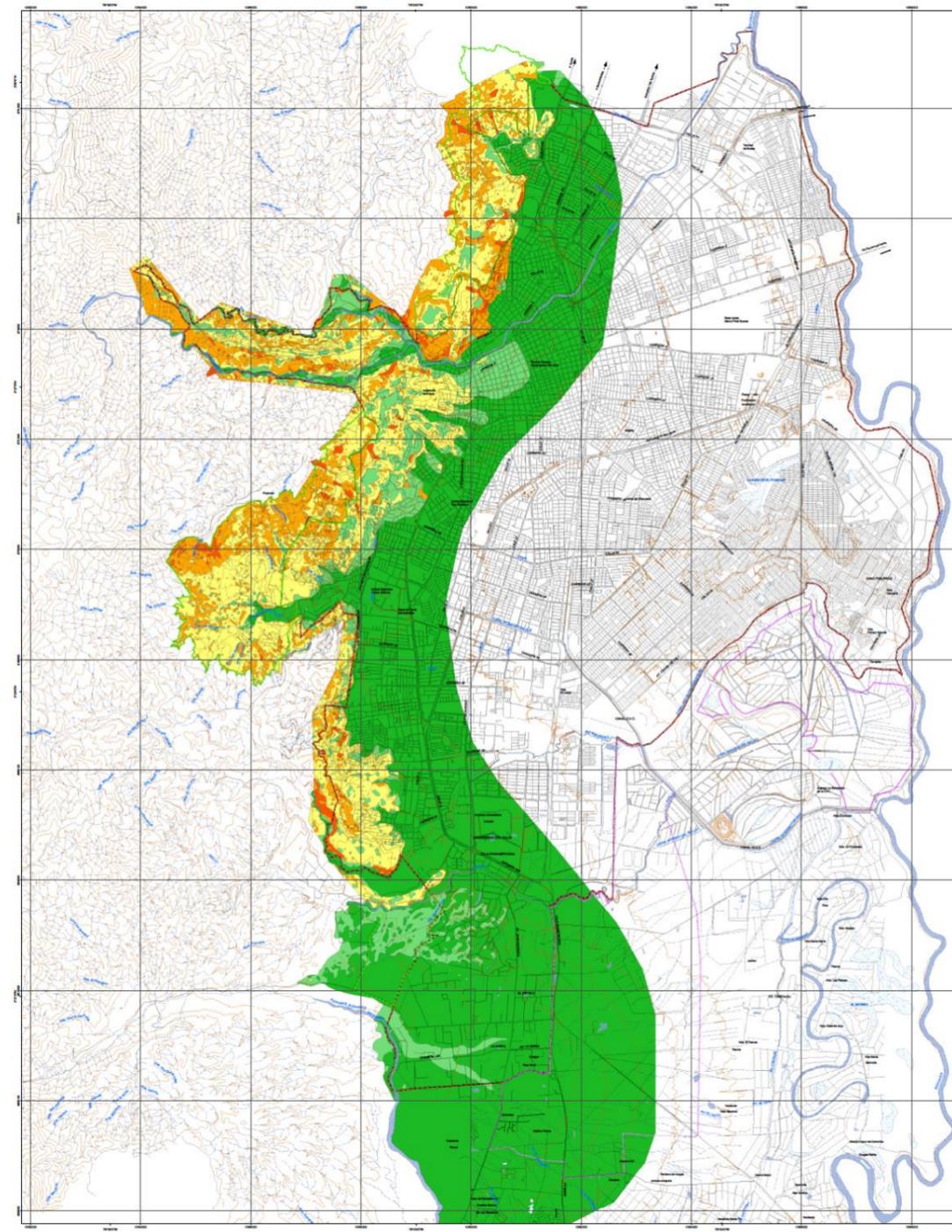


Leyenda y simbología del Mapa de microzonificación sísmica de Cali

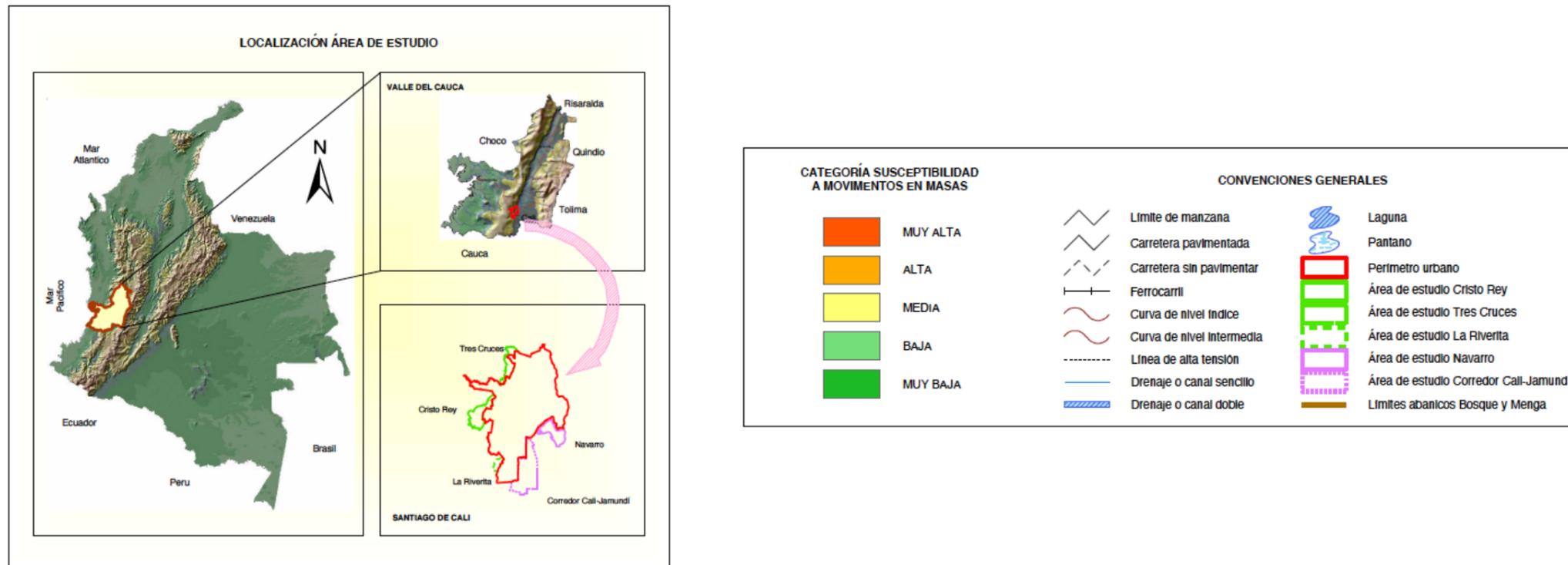




Mapa de susceptibilidad indicativa a movimientos en masa de Cali



Leyenda y simbología del Mapa de susceptibilidad indicativa a movimientos en masa de Cali





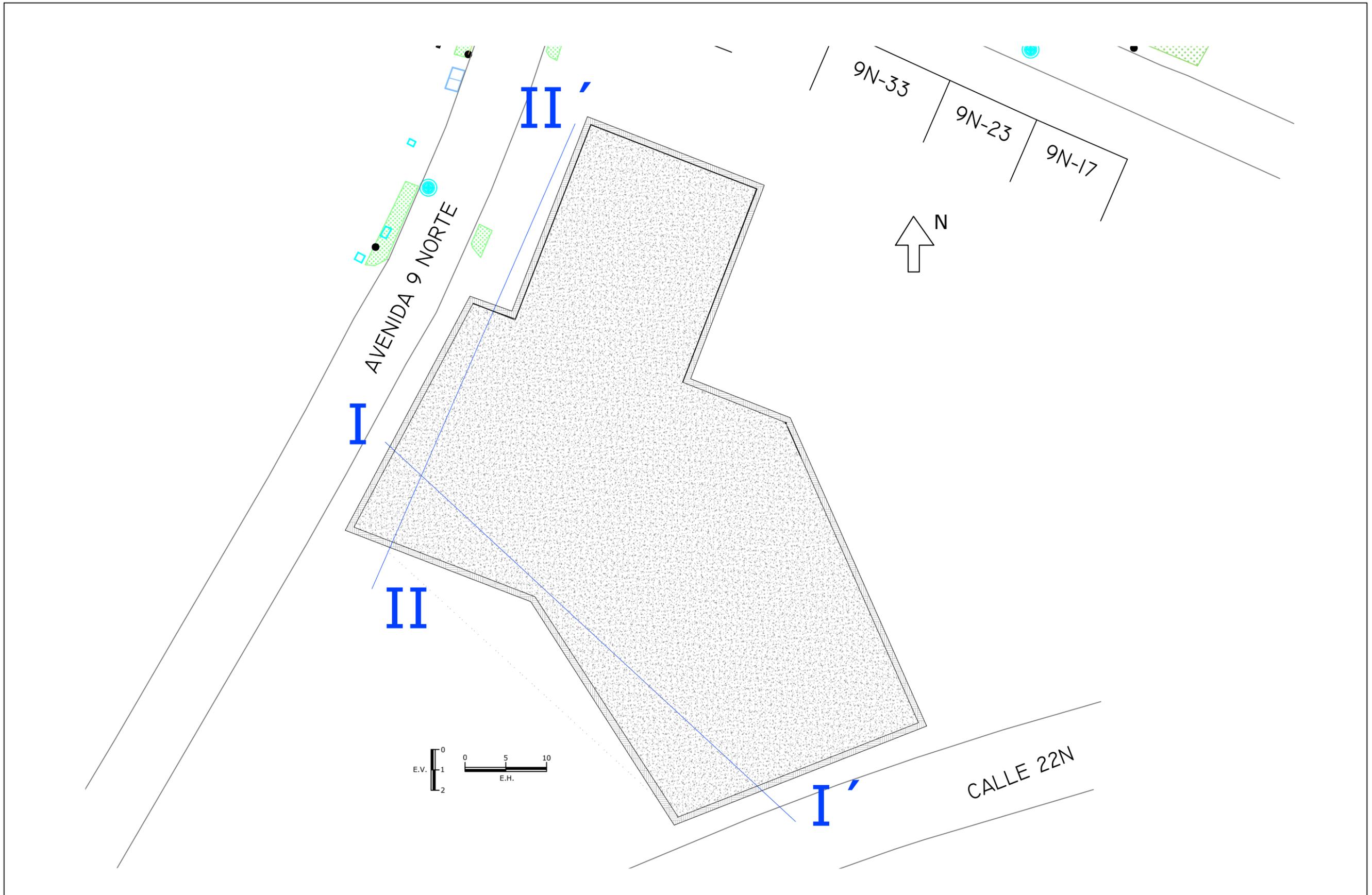
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

*Estudio de soluciones para la cimentación de un edificio de viviendas de uso residencial en Cali, Colombia*

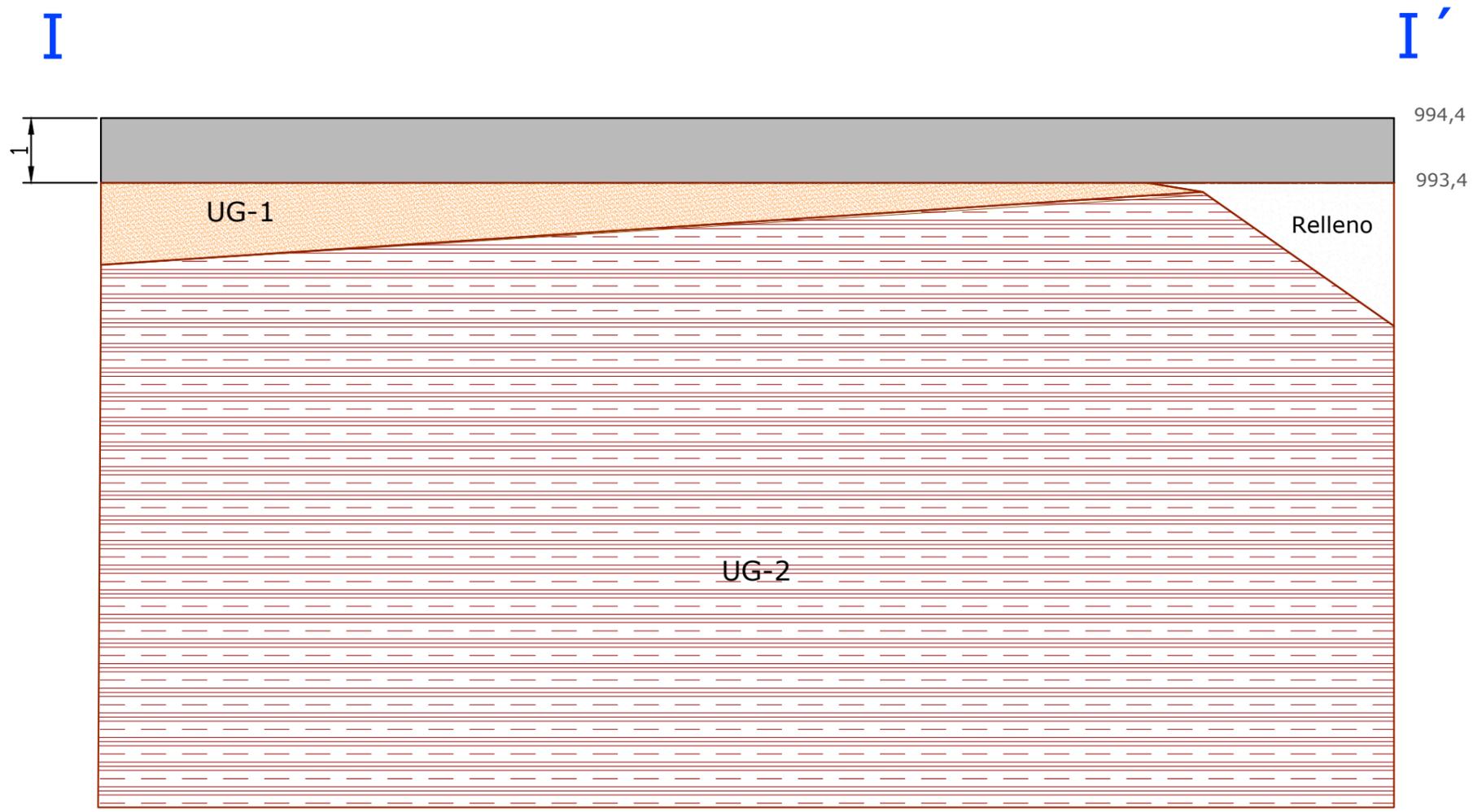


ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

## ANEXO VI: PLANOS DE CIMENTACIÓN PROPUESTA



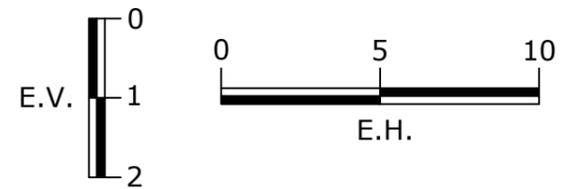
<p>AUTOR</p> <p>JOAN JOSEP SILLERO CORTIJO</p>		<p>TUTOR</p> <p>FRANCISCO JAVIER TORRIJO ECHARRI</p>	<p>DESIGNACIÓN PLANO</p> <p>PLANTA DE LA LOSA DE CIMENTACIÓN</p>	<p>FECHA</p> <p>MAYO 2020</p>	<p>Nº DE PLANO</p> <p>1/3</p>
--	---	--	--	-------------------------------	-------------------------------



**LEYENDA Y SIMBOLOGÍA**

	Relleno controlado
	U.G. 1 Arenas limosas
	U.G. 2 Arcillas
	Losa de cimentación

Cotas en metros.



TRABAJO FINAL DE GRADO

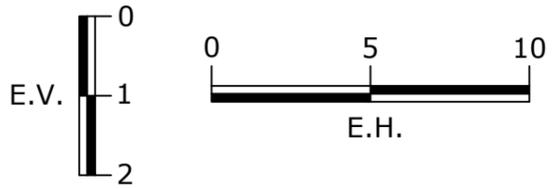
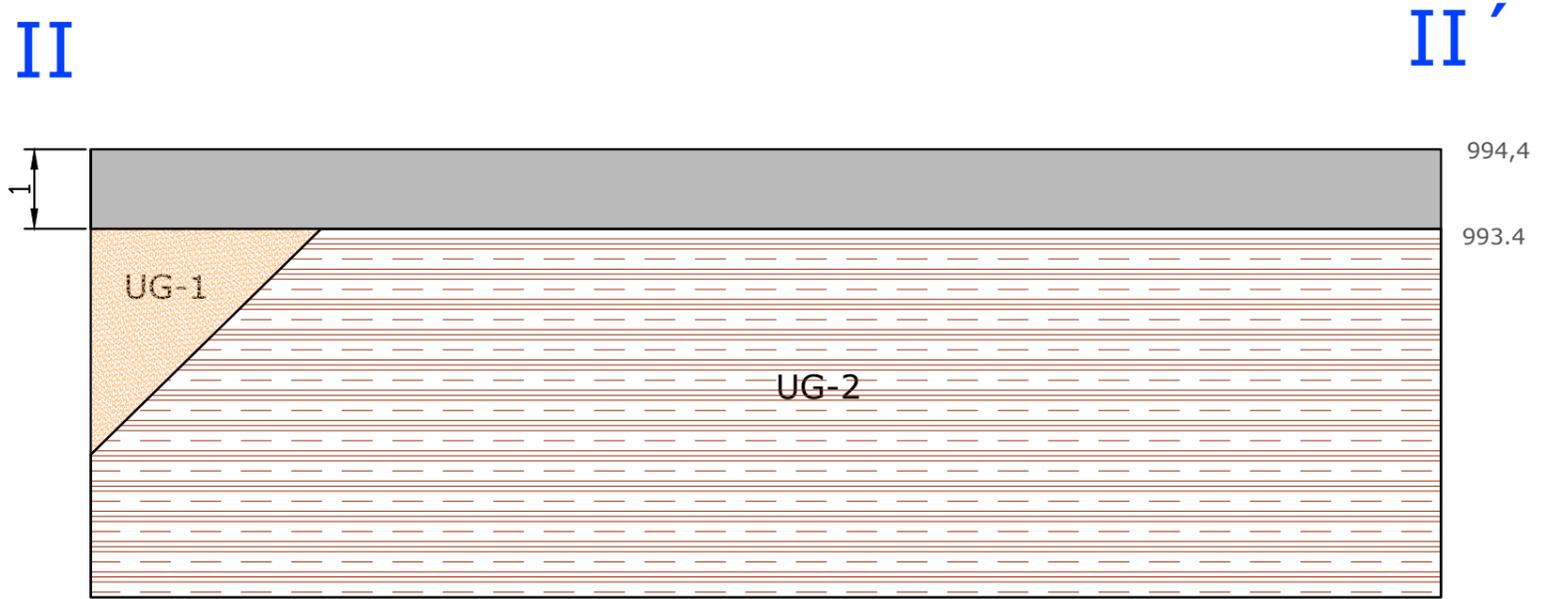
ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA CIMENTACIÓN DE UN EDIFICIO DE VIVIENDAS DE USO RESIDENCIAL EN CALI, COLOMBIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

AUTOR JOAN JOSEP SILLERO CORTIJO		TUTOR FRANCISCO JAVIER TORRIJO ECHARRI	DESIGNACIÓN PLANO ALZADO I-I' LOSA DE CIMENTACIÓN	FECHA MAYO 2020	Nº DE PLANO 2/3
-------------------------------------	--	---	--	--------------------	--------------------

LEYENDA Y SIMBOLOGÍA	
	Relleno controlado
	U.G. 1 Arenas limosas
	U.G. 2 Arcillas
	Losa de cimentación
Cotas en metros.	



TRABAJO FINAL DE GRADO

ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA CIMENTACIÓN DE UN EDIFICIO DE VIVIENDAS DE USO RESIDENCIAL EN CALI, COLOMBIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

AUTOR JOAN JOSEP SILLERO CORTIJO		TUTOR FRANCISCO JAVIER TORRIJO ECHARRI	DESIGNACIÓN PLANO ALZADO II-II' LOSA DE CIMENTACIÓN	FECHA MAYO 2020	Nº DE PLANO 3/3
-------------------------------------	--	---	--	--------------------	--------------------



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

*Estudio de soluciones para la cimentación de un edificio de viviendas de uso residencial en Cali, Colombia*



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

## ANEXO VII: VALORACIÓN ECONÓMICA



En el presente anejo se va a realizar una valoración económica estimada de las obras a ejecutar, la cual incluirá el cuadro de precios unitario de desbroce y limpieza, el de excavación a cielo abierto con medios mecánicos del terreno y el cuadro de precios de la tipología de cimentación escogida, así como sus correspondientes pliegos de condiciones:

CUADRO DE PRECIOS UNITARIO DESBROCE Y LIMPIEZA DEL TERRENO

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>ADL005 m<sup>2</sup> Desbroce y limpieza del terreno.</b> 1,00€					
Desbroce y limpieza del terreno, con medios mecánicos. Comprende los trabajos necesarios para retirar de las zonas previstas para la edificación o urbanización: pequeñas plantas, maleza, broza, maderas caídas, escombros, basuras o cualquier otro material existente, hasta una profundidad no menor que el espesor de la capa de tierra vegetal, considerando como mínima 25 cm; y carga a camión. El precio no incluye la tala de árboles ni el transporte de los materiales retirados.					
<b>1 Equipo y maquinaria</b>					
mq01pan010a	h	Pala cargadora sobre neumáticos de 120 kW/1,9 m <sup>3</sup> .	0,021	40,23	0,84
<b>Subtotal equipo y maquinaria:</b>					<b>0,84</b>
<b>2 Mano de obra</b>					
mo113	h	Peón ordinario construcción.	0,008	17,67	0,14
<b>Subtotal mano de obra:</b>					<b>0,14</b>
<b>3 Costes directos complementarios</b>					
	%	Costes directos complementarios	2,000	0,98	0,02
<b>Costes directos (1+2+3):</b>					<b>1,00</b>

CUADRO DE PRECIOS UNITARIO EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO CON MEDIOS MECÁNICOS

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>DE002 m<sup>3</sup> Excavación a cielo abierto, con medios mecánicos.</b> 4,30€					
Excavación a cielo abierto, en suelo de limo, con medios mecánicos, y carga a camión. El precio no incluye el transporte de los materiales excavados.					
<b>1 Equipo y maquinaria</b>					
mq01ret020b	h	Retrocargadora sobre neumáticos, de 70 kW.	0,096	36,52	3,51
<b>Subtotal equipo y maquinaria:</b>					<b>3,51</b>
<b>2 Mano de obra</b>					
mo113	h	Peón ordinario construcción.	0,040	17,67	0,71
<b>Subtotal mano de obra:</b>					<b>0,71</b>
<b>3 Costes directos complementarios</b>					
	%	Costes directos complementarios	2,000	4,22	0,08
<b>Costes directos (1+2+3):</b>					<b>4,30</b>

CUADRO DE PRECIOS UNITARIO LOSA DE CIMENTACIÓN

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>CSL010 m<sup>3</sup> Losa de cimentación.</b> 176,06€					
Losa de cimentación de hormigón armado, realizada con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central, y vertido con bomba, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 85 kg/m <sup>3</sup> ; acabado superficial liso mediante regla vibrante. Incluso armaduras para formación de foso de ascensor, refuerzos, pliegues, encuentros, arranques y esperas en muros, escaleras y rampas, cambios de nivel, alambre de atar, y separadores. El precio incluye la elaboración y el montaje de la ferralla en el lugar definitivo de su colocación en obra, pero no incluye el encofrado.					
<b>1 Materiales</b>					
mt07aco020a	Ud	Separador homologado para cimentaciones.	5,000	0,13	0,65
mt07aco010g	kg	Acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, suministrado en obra en barras sin elaborar, de varios diámetros.	86,700	0,62	53,75
mt08var050	kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0,425	1,10	0,47
mt10haf010nga	m <sup>3</sup>	Hormigón HA-25/B/20/IIa, fabricado en central.	1,050	76,88	80,72
<b>Subtotal materiales:</b>					<b>135,59</b>
<b>2 Equipo y maquinaria</b>					
mq06vib020	h	Regla vibrante de 3 m.	0,333	4,67	1,56
mq06bhe010	h	Camión bomba estacionado en obra, para bombeo de hormigón.	0,042	170,00	7,14
<b>Subtotal equipo y maquinaria:</b>					<b>8,70</b>
<b>3 Mano de obra</b>					
mo043	h	Oficial 1ª ferrallista.	0,544	19,67	10,70
mo090	h	Ayudante ferrallista.	0,816	18,63	15,20
mo045	h	Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,009	19,67	0,18
mo092	h	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,120	18,63	2,24
<b>Subtotal mano de obra:</b>					<b>28,32</b>
<b>4 Costes directos complementarios</b>					
	%	Costes directos complementarios	2,000	172,61	3,45
<b>Coste de mantenimiento decenal: 5,28€ en los primeros 10 años.</b>					<b>Costes directos (1+2+3+4): 176,06</b>



CUADRO DE PRECIOS UNITARIO ENCOFRADO PARA LOSA DE CIMENTACIÓN

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>CSL020 m<sup>2</sup> Sistema de encofrado para losa de cimentación.</b>					17,68€
Montaje de sistema de encofrado recuperable metálico, para losa de cimentación, formado por paneles metálicos, amortizables en 200 usos, y posterior desmontaje del sistema de encofrado. Incluso elementos de sustentación, fijación y acodamientos necesarios para su estabilidad y líquido desencofrante para evitar la adherencia del hormigón al encofrado.					
<b>1 Materiales</b>					
mt08eme040	m <sup>2</sup>	Paneles metálicos de varias dimensiones, para encofrar elementos de hormigón.	0,005	52,00	0,26
mt50spa052b	m	Tablón de madera de pino, de 20x7,2 cm.	0,020	4,39	0,09
mt50spa081a	Ud	Puntal metálico telescópico, de hasta 3 m de altura.	0,013	13,37	0,17
mt08eme051a	m	Fleje de acero galvanizado, para encofrado metálico.	0,500	0,29	0,15
mt08var050	kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0,050	1,10	0,06
mt08var060	kg	Puntas de acero de 20x100 mm.	0,040	7,00	0,28
mt08dba010d	l	Agente desmoldeante, a base de aceites especiales, emulsionable en agua para encofrados metálicos, fenólicos o de madera.	0,030	2,19	0,07
				<b>Subtotal materiales:</b>	<b>1,08</b>
<b>2 Mano de obra</b>					
mo044	h	Oficial 1ª encofrador.	0,400	19,67	7,87
mo091	h	Ayudante encofrador.	0,450	18,63	8,38
				<b>Subtotal mano de obra:</b>	<b>16,25</b>
<b>3 Costes directos complementarios</b>					
	%	Costes directos complementarios	2,000	17,33	0,35
				<b>Costes directos (1+2+3):</b>	<b>17,68</b>

A modo de resumen, se representa, en la siguiente tabla, el coste total estimado de las obras a ejecutar, siendo este un total de **888.299,10 €**.

	Coste unitario	m <sup>2</sup> de desbroce	Coste
Desbroce y limpieza del terreno	1,00 €/m <sup>2</sup>	3.888	3.888 €
	Coste unitario	m <sup>3</sup> de terreno excavado	Coste
Excavación a cielo abierto con medios mecánicos	4,30 €/m <sup>3</sup>	30.500	131.150 €
	Coste unitario	m <sup>3</sup> de losa de cimentación	Coste
Losa de cimentación	176,06 €/m <sup>3</sup>	3.888	684.521,30 €
	Coste unitario	m <sup>2</sup> de encofrado	Coste
Sistema de encofrado para losa	17,68 €/m <sup>2</sup>	3.888	68.739,80 €
<b>COSTE TOTAL ESTIMADO DE LA OBRA</b>			<b>888.299,10 €</b>

Por último, se presentan los pliegos de condiciones correspondientes a cada uno de los cuadros de precios unitarios vistos anteriormente:

**Pliego de condiciones**

**UNIDAD DE OBRA ADL005: DESBROCE Y LIMPIEZA DEL TERRENO.**

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Desbroce y limpieza del terreno, con medios mecánicos. Comprende los trabajos necesarios para retirar de las zonas previstas para la edificación o urbanización: pequeñas plantas, maleza, broza, maderas caídas, escombros, basuras o cualquier otro material existente, hasta una profundidad no menor que el espesor de la capa de tierra vegetal, considerando como mínima 25 cm; y carga a camión.

**NORMATIVA DE APLICACIÓN**

Ejecución: NTE-ADE. Acondicionamiento del terreno. Desmontes: Explanaciones.

**CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Superficie medida en proyección horizontal, según documentación gráfica de Proyecto.

**CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA**

**DEL SOPORTE.**

Inspección ocular del terreno. Se comprobará la posible existencia de servidumbres, elementos enterrados, redes de servicio o cualquier tipo de instalaciones que puedan resultar afectadas por las obras a iniciar.

**DEL CONTRATISTA.**

Si existieran instalaciones en servicio que pudieran verse afectadas por los trabajos a realizar, solicitará de las correspondientes compañías suministradoras su situación y, en su caso, la solución a adoptar, así como las distancias de seguridad a tendidos aéreos de conducción de energía eléctrica.

**PROCESO DE EJECUCIÓN**

**FASES DE EJECUCIÓN.**

Replanteo en el terreno. Remoción mecánica de los materiales de desbroce. Retirada y disposición mecánica de los materiales objeto de desbroce. Carga a camión.

**CONDICIONES DE TERMINACIÓN.**

La superficie del terreno quedará limpia y en condiciones adecuadas para poder realizar el replanteo definitivo de la obra.

**CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se medirá, en proyección horizontal, la superficie realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto, sin incluir los incrementos por excesos de excavación no autorizados.

**CRITERIO DE VALORACIÓN ECONÓMICA**

El precio no incluye la tala de árboles ni el transporte de los materiales retirados.



### Pliego de condiciones

#### UNIDAD DE OBRA ADE002: EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO, CON MEDIOS MECÁNICOS.

##### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Excavación a cielo abierto, en suelo de limo, con medios mecánicos, y carga a camión.

##### NORMATIVA DE APLICACIÓN

Ejecución:

- CTE. DB-SE-C Seguridad estructural: Cimientos.
- NTE-ADV. Acondicionamiento del terreno. Desmontes: Vaciados.

##### CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO

Volumen medido sobre las secciones teóricas de la excavación, según documentación gráfica de Proyecto.

#### CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA

##### DEL SOPORTE.

Se comprobará la posible existencia de servidumbres, elementos enterrados, redes de servicio o cualquier tipo de instalaciones que puedan resultar afectadas por las obras a iniciar. Se dispondrá de la información topográfica y geotécnica necesaria, recogida en el correspondiente estudio geotécnico del terreno realizado por un laboratorio acreditado en el área técnica correspondiente, y que incluirá, entre otros datos: plano alimétrico de la zona, cota del nivel freático y tipo de terreno que se va a excavar a efecto de su trabajabilidad. Se dispondrán puntos fijos de referencia en lugares que puedan verse afectados por el vaciado, a los cuales se referirán todas las lecturas de cotas de nivel y desplazamientos horizontales y verticales de los puntos del terreno. Se comprobará el estado de conservación de los edificios medianeros y de las construcciones próximas que puedan verse afectadas por el vaciado.

##### DEL CONTRATISTA.

Si existieran instalaciones en servicio que pudieran verse afectadas por los trabajos a realizar, solicitará de las correspondientes compañías suministradoras su situación y, en su caso, la solución a adoptar, así como las distancias de seguridad a tendidos aéreos de conducción de energía eléctrica. Notificará al director de la ejecución de la obra, con la antelación suficiente, el comienzo de las excavaciones.

#### PROCESO DE EJECUCIÓN

##### FASES DE EJECUCIÓN.

Replanteo general y fijación de los puntos y niveles de referencia. Colocación de las camillas en las esquinas y extremos de las alineaciones. Excavación en sucesivas franjas horizontales y extracción de tierras. Refinado de fondos y laterales a mano, con extracción de las tierras. Carga a camión de los materiales excavados.

##### CONDICIONES DE TERMINACIÓN.

La excavación quedará limpia y a los niveles previstos, cumpliéndose las exigencias de estabilidad de los cortes de tierras, taludes y edificaciones próximas.

##### CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO.

Las excavaciones quedarán protegidas frente a filtraciones y acciones de erosión o desmoronamiento por parte de las aguas de escorrentía. Se tomarán las medidas oportunas para asegurar que las características geométricas permanecen inamovibles.

##### CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO

Se medirá el volumen teórico ejecutado según especificaciones de Proyecto, sin incluir los incrementos por excesos de excavación no autorizados, ni el relleno necesario para reconstruir la sección teórica por defectos imputables al Contratista. Se medirá la excavación una vez realizada y antes de que sobre ella se efectúe ningún tipo de relleno. Si el Contratista cerrase la excavación antes de conformada la medición, se entenderá que se aviene a lo que unilateralmente determine el director de la ejecución de la obra.

##### CRITERIO DE VALORACIÓN ECONÓMICA

El precio no incluye el transporte de los materiales excavados.

### Pliego de condiciones

#### UNIDAD DE OBRA CSL010: LOSA DE CIMENTACIÓN.

##### MEDIDAS PARA ASEGURAR LA COMPATIBILIDAD ENTRE LOS DIFERENTES PRODUCTOS, ELEMENTOS Y SISTEMAS CONSTRUCTIVOS QUE COMPONEN LA UNIDAD DE OBRA.

Dependiendo de la agresividad del terreno o la presencia de agua con sustancias agresivas, se elegirá el cemento adecuado para la fabricación del hormigón, así como su dosificación y permeabilidad y el espesor de recubrimiento de las armaduras.

##### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Losa de cimentación de hormigón armado, realizada con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central, y vertido con bomba, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 85 kg/m<sup>3</sup>; acabado superficial liso mediante regla vibrante. Incluso armaduras para formación de foso de ascensor, refuerzos, pliegues, encuentros, arranques y esperas en muros, escaleras y rampas, cambios de nivel, alambre de atar, y separadores.

##### NORMATIVA DE APLICACIÓN

Elaboración, transporte y puesta en obra del hormigón:

- Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08).

Ejecución:

- CTE. DB-SE-C Seguridad estructural: Cimientos.
- NTE-CSL. Cimentaciones superficiales: Losas.

##### CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO

Volumen medido sobre las secciones teóricas de la excavación, según documentación gráfica de Proyecto.

#### CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA

##### DEL SOPORTE.

Se comprobará la existencia de la capa de hormigón de limpieza, que presentará un plano de apoyo horizontal y una superficie limpia.

##### AMBIENTALES.

Se suspenderán los trabajos de hormigonado cuando llueva con intensidad, nieve, exista viento excesivo, una temperatura ambiente superior a 40°C o se prevea que dentro de las 48 horas siguientes pueda descender la temperatura ambiente por debajo de los 0°C.

##### DEL CONTRATISTA.

Dispondrá en obra de una serie de medios, en previsión de que se produzcan cambios bruscos de las condiciones ambientales durante el hormigonado o posterior periodo de fraguado, no pudiendo comenzarse el hormigonado de los diferentes elementos sin la autorización por escrito del director de la ejecución de la obra.

#### PROCESO DE EJECUCIÓN

##### FASES DE EJECUCIÓN.

Replanteo y trazado de la losa y de los pilares u otros elementos estructurales que apoyen en la misma. Colocación de separadores y fijación de las armaduras. Conexiónado, anclaje y emboquillado de las redes de instalaciones proyectadas. Vertido y compactación del hormigón. Coronación y enrase de cimientos. Curado del hormigón.

##### CONDICIONES DE TERMINACIÓN.

El conjunto será monolítico y transmitirá correctamente las cargas al terreno.

##### CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO.

Se dejará la superficie de hormigón preparada para la realización de juntas de retracción y se protegerá la superficie acabada.

##### CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO

Se medirá el volumen teórico ejecutado según especificaciones de Proyecto, sin incluir los incrementos por excesos de excavación no autorizados.

##### CRITERIO DE VALORACIÓN ECONÓMICA

El precio incluye la elaboración y el montaje de la ferralla en el lugar definitivo de su colocación en obra, pero no incluye el encofrado.



## Pliego de condiciones

### **UNIDAD DE OBRA CSL020: SISTEMA DE ENCOFRADO PARA LOSA DE CIMENTACIÓN.**

#### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Montaje de sistema de encofrado recuperable metálico, para losa de cimentación, formado por paneles metálicos, amortizables en 200 usos, y posterior desmontaje del sistema de encofrado. Incluso elementos de sustentación, fijación y acodamientos necesarios para su estabilidad y líquido desencofrante para evitar la adherencia del hormigón al encofrado.

#### **NORMATIVA DE APLICACIÓN**

Ejecución: Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08).

#### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Superficie de encofrado en contacto con el hormigón, medida según documentación gráfica de Proyecto.

#### **CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA**

##### **DEL SOPORTE.**

Antes de proceder a la ejecución de los encofrados hay que asegurarse de que las excavaciones están no sólo abiertas, sino en las condiciones que convenga a las características y dimensiones del encofrado.

##### **DEL CONTRATISTA.**

No podrá comenzar el montaje del encofrado sin la autorización por escrito del director de la ejecución de la obra, quien comprobará que el estado de conservación de su superficie y de las uniones, se ajusta al acabado del hormigón previsto en el proyecto.

#### **PROCESO DE EJECUCIÓN**

##### **FASES DE EJECUCIÓN.**

Limpieza y preparación del plano de apoyo. Replanteo. Aplicación del líquido desencofrante. Montaje del sistema de encofrado. Colocación de elementos de sustentación, fijación y acodamiento. Aplomado y nivelación del encofrado. Desmontaje del sistema de encofrado. Limpieza y almacenamiento del encofrado.

##### **CONDICIONES DE TERMINACIÓN.**

Las superficies que vayan a quedar vistas no presentarán imperfecciones.

#### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se medirá la superficie de encofrado en contacto con el hormigón realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto.