



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Facultade de Ciencias

Grao en Química

Memoria do Traballo de Fin de Grao

**Determinación de parámetros físicos y químicos para la
construcción**

**Determinación de parámetros físicos e químicos para a
construcción**

**Determination of physical and chemical parameters for
construction**

María Rocha Sánchez

Curso: 2021-2022

Convocatoria: Junio

Director: Jorge Moreda Piñeiro

Contenido

LISTADO DE ABREVIATURAS.....	1
1. RESUMEN.....	2
2. INTRODUCCIÓN.....	3
2.1. ANTECEDENTES Y OBJETO DE ESTUDIO.....	3
2.2. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL SUELO.....	4
2.3. REALIZACIÓN DE LA TOMA DE MUESTRA.....	5
2.4. MUESTRAS INALTERADAS.....	6
2.5. ENSAYOS DE LABORATORIO.....	8
3. PARTE EXPERIMENTAL.....	9
3.1. MATERIAL E INSTRUMENTACIÓN.....	9
3.2. GRANULOMETRÍA.....	10
3.2.1. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS.....	10
3.2.2. PROCEDIMIENTO.....	10
3.3. DENSIDAD APARENTE HÚMEDA.....	11
3.3.1. PROCEDIMIENTO.....	11
3.4. HUMEDAD MEDIANTE SECADO EN ESTUFA.....	12
3.4.1. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS.....	12
3.4.2. PROCEDIMIENTO.....	13
3.5. LÍMITES DE ATTERBERG.....	13
3.5.1. DEFINICIONES.....	14
3.5.2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	14
3.5.3. PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DEL LÍMITE LÍQUIDO.....	14
3.5.4. PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DEL LÍMITE PLÁSTICO.....	15
3.6. DETERMINACIÓN CUALITATIVA DE SULFATOS SOLUBLES.....	17
3.6.1. REACTIVOS.....	17
3.6.2. PROCEDIMIENTO.....	18
3.7. ACIDEZ BAUMANN-GULLY.....	19
3.7.1. REACTIVOS.....	19
3.7.2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	19
3.7.3. PROCEDIMIENTO.....	19

4. RESULTADOS.....	21
4.1. GRANULOMETRÍA Y HUMEDAD HIGROSCÓPICA.....	21
4.2. DENSIDAD Y HUMEDAD DE LA MUESTRA.....	23
4.3. LÍMITE LÍQUIDO POR EL MÉTODO DE CASAGRANDE.....	24
4.4. CONTENIDO EN SULFATOS.....	26
4.5. ACIDEZ DE BAUMANN-GULLY.....	27
5. CONCLUSIONES.....	28
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30

LISTADO DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
CTE	Código Técnico de la Edificación
MI ₁	Muestra Inalterada 1
MI ₂	Muestra Inalterada 2
PD	Penetrómetro Dinámico
UNE	Norma Europea
USCD	Sistema Uniforme de Clasificación de Suelos
PVC	Cloruro de Polivinilo

1. RESUMEN

Un estudio de suelo también conocido como Estudio Geotécnico, es un conjunto de actividades que nos permite obtener la información de un determinado terreno. Es una de las informaciones más importantes para la planificación, diseño y ejecución de un proyecto de construcción.

Este estudio se hace previo al proyecto de edificación y tiene por objeto determinar la naturaleza y propiedades del terreno, necesarias para definir el tipo y condiciones de cimentación. *“Es importante saber que la casa debe adaptarse al tipo de suelo y no el suelo al tipo de diseño de la casa”*. Para ello es necesario conocer las propiedades físicas, químicas y mecánicas del suelo.

Un estudo do solo tamén coñecido como Estudo Geotécnico, é un conxunto de actividades que nos permiten obter a información dun determinado terreo. É unha das informacións mais importantes para a planificación, diseño e execución dun proxecto de construción.

Este estudo faise previo ó proxecto de edificación e ten por obxecto determinar a natureza e propiedades do terreo, necesarias para definir o tipo e condicións de cimentación. *“É importante saber que a casa debe adaptarse o tipo de solo e non o solo ó tipo de deseño da casa”*. Para o que resulta importante coñecer as propiedades físicas, químicas e mecánicas do solo

A soil study, known as a Geotechnical Study, is a set of activities that allows us to obtain information on a certain piece of land. It is one of the most important information for the planning, design and execution of a construction project.

This study is done prior to the building project develop and is intended to determine the nature and properties of the land, necessary to define the type and conditions of the base. *“It is important to know that the house must adapt to the type of soil and not the soil to the house design”*. For this it is necessary to know the physical, chemical and mechanical properties of the soil.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. ANTECEDENTES Y OBJETO DEL ESTUDIO

Dos promotores se han puesto en contacto con GEONOR Servicios Técnicos S.L; Polígono industrial Espíritu Santo, 15650-Cambre (A Coruña), para la ejecución de un Estudio Geotécnico para una vivienda unifamiliar en San Isidro, Bergondo (A Coruña).

Antes de construir cualquier edificación es de vital importancia, verificar el estudio del suelo. Cuando se analiza el suelo en el cual se va a construir se le hacen varios ensayos o pruebas para verificar su resistencia, en definitiva, si el terreno es bueno o malo para construir.

Geológicamente, la Hoja de A Coruña se sitúa en la Zona Centro-Ibérica (Complejo de Órdenes) establecida por Lotze (LOTZE, 1945), y posteriormente revisada por Matte (MATTE, 1968), al que denomina zona IV, Galicia Media-Tras os Montes. Más recientemente JULIVERT, FONTBOTE, RIBEIRO y CONDE se adopta la división y terminología de LOTZE al establecer la división de la Península Ibérica (JULIVERT y cols., 1972).

El objetivo de este trabajo es el Estudio de las características físico-químicas del suelo para la construcción de una vivienda unifamiliar. La edificación presenta una superficie en planta de unos 142m² (Figura 1). La tipología de la edificación proyectada es la siguiente: Semisótano (55,95 m²) + Planta Baja y Planta (142,05 m²).



Figura 1. Vista general de la parcela en estudio

2.2. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL SUELO

En el solar objeto de estudio se identificaron fundamentalmente dos niveles en el subsuelo. Estos niveles corresponden con el nivel superficial de Tierra vegetal y con Esquistos Grado V-VI (Limos algo arenosos).

- *Tierra Vegetal*

Se trata de Limos arenosos de color marrón oscuro.

Dadas sus pobres y heterogéneas características geotécnicas estos materiales se descartan como sustrato de cimentación.

Su excavación puede ser abordada con facilidad mediante métodos mecánicos convencionales tipo retroexcavadora o pala mixta.

- *Esquistos Grado V-VI. Limos algo arenoso*

Este nivel procede de la alteración “*in situ*” del sustrato rocoso conformado por Esquistos. Se trata de Limos algo arenosos de color beige anaranjado de plasticidad baja y compacidad floja.

Estos materiales son excavables mediante métodos mecánicos convencionales tipo retroexcavadora o pala mixta.

Se han extraído varias muestras inalteradas de este nivel las cuales se han trasladado al laboratorio con objeto de su identificación y caracterización.

2.3. REALIZACIÓN DE LA TOMA DE MUESTRA

Según los estudios del terreno realizados por el geólogo, se estima necesaria la ejecución de una campaña de ensayos de penetración dinámica, los cuales se situaron de manera que la parcela quedase lo mejor definida por los mismos. Los ensayos penetrómetros realizados se hicieron siguiendo la normativa (UNE 22476-2:11), con un penetrómetro marca Rolatec ML-76A (Figura 2).

El ensayo consiste en la hincada en el terreno de una puntaza de acero cilíndrica que termina en forma cónica, con ángulo de 90° y un área nominal de 20 cm², mediante el golpe sucesivo de una maza de 63,5 Kg que cae libremente desde una altura de 76 cm hasta un yunque que transmite la energía hasta la puntaza, a través de las varillas.

La puntaza penetra en el terreno determinándose el número de golpes necesarios para hincarla 20 cm.



Figura 2. Penetrómetro dinámico DPSH

El ensayo finaliza cuando se satisfagan algunas de las siguientes condiciones:

- Se alcance la profundidad que previamente se haya establecido.
- Se superen los 100 golpes para una penetración de 20 cm. Es decir, $N_{20} > 100$.
- Cuando tres valores consecutivos de N_{20} sean iguales o superiores a 75 golpes.
- El valor del par de rozamiento supere los 200 N.m.

En la zona de objeto de estudio se han realizado un total de tres ensayos de penetración, PD1, PD2 y PD3. La cuota de inicio aproximada de cada uno de estos ensayos, tomando en consideración el plano topográfico de la parcela, así como la profundidad que se alcanzó en estos ensayos se detalla a continuación (Tabla 1).

Tabla 1. Profundidad de los ensayos

ENSAYO	PD ₁	PD ₂	PD ₃
COTA INICIO (m)	97,2	96,7	95,7
PROFUNDIDAD (m)	9,15	8,20	10,0

2.4. MUESTRAS INALTERADAS

Se llevaron a cabo la extracción de varias muestras inalteradas de forma continua en profundidad. Estas se han denominado MI₁ de 0,00 a 0,60 m y MI₂ de 0,60 a 1,20 m.



Figura 3. Toma-muestras de pared gruesa

Estas fueron obtenidas con el equipo de penetración dinámica mediante un toma-muestras bipartido de pared gruesa provisto de una camisa interna de PVC, el cual se puede extraer fácilmente sin alterar la muestra alojada en su interior (Figura 3). Salvo la muestra o tramo ensayado en el laboratorio, las muestras inalteradas tomadas se extraen del PVC y se disponen en una caja de testigos para la descripción y almacenamiento (Figura 4). Se dejará bien etiquetada por si en algún momento es necesario recurrir a ella para la repetición de algún ensayo o incorporar algún tipo de ensayo a mayores, que determine el geólogo.

En la figura que se muestra a continuación (Figura 4), se representan detalladamente las zonas de la parcela donde se han hecho los penetrómetros (Tabla 1) y las muestras Inalteradas (Figura 3).



Figura 4: Caja de testigo de Muestra Inalterada

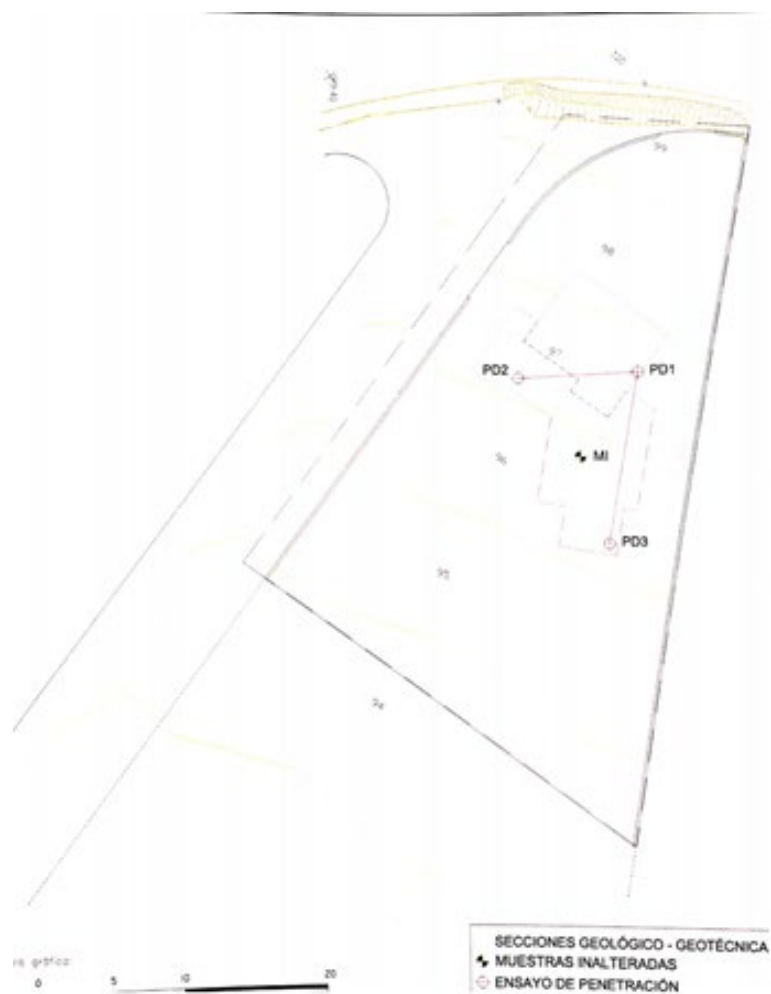


Figura 5. Localización de los lugares de toma de muestra

2.5. ENSAYOS DE LABORATORIO

Las muestras tomadas durante la campaña de campo se trasladan al laboratorio a efectos de identificación y caracterización. Los ensayos de laboratorio realizados fueron los siguientes:

Granulometría de suelos por tamizado (UNE -103101:94)

Densidad aparente húmeda (UNE-103301:94)

Humedad mediante secado en estufa (UNE-103300:93)

Límites de Atterberg (UNE-103103/103104:94)

Contenido en sulfatos solubles en los suelos (UNE-103202:95)

Acidez Baumann-Gully (EHE y UNE 83962:08)

3. PARTE EXPERIMENTAL

3.1. MATERIAL E INSTRUMENTACIÓN

- Tamices de 0.08, 0.125, 0.4, 2, 5, 10, 12.5, 20, 25, 40, 50, 63, 80, 100 mm Ref: ASTM
- Bandejas y recipientes de acero (Recipientes resistentes a la corrosión y que no cambie su masa con repetidos calentamientos y enfriamientos).
- Estufa que alcance los $105\pm 5^{\circ}\text{C}$
- Maza de madera
- Balanza granataria ($\pm 0.01\text{g}$)
- Pinzas para manipular recipientes calientes
- Maquina de Casagrande Ref: ASTM a D 4318-95a
- Acanalador Ref: ASTM a D 4318-95a
- Cortadora con agua – 2000W 350mm Ref: MSW modelo: S-SAW350
- Calibrador vernier ($\pm 0,05\text{mm}$). Longitud: 235mm. Ref: KS TOOLS300.0510
- Espátula de acero flexible (200 mm) A2Z-WHS3
- Embudo de vidrio de 75 mm vástago corto de 10cm
- Papel de filtro SKU 1240
- Varilla de vidrio para agitación con borde redondeado $\varnothing 7\text{mm}$ x L 200mm
- Tiras de pH
- Agitador magnético Sh-2 180W
- Matraz Erlenmeyer 500ml
- Bureta 50ml

3.2. GRANULOMETRÍA

El análisis granulométrico (UNE-103101:94) de una muestra de suelo consiste en determinar la proporción relativa en peso de los diferentes tamaños grano, definidos por los orificios de los tamices utilizados.

El análisis granulométrico al que se somete un suelo es de mucha ayuda porque, con éste se puede conocer la permeabilidad y cohesión del suelo. La permeabilidad es la propiedad que tiene el suelo de transmitir el agua.

Mientras más permeable sea el suelo, mayor será la filtración.

3.2.1. Preparación de las muestras

Tomamos una cantidad representativa de muestra, sobre 500g y se lleva a la estufa.

Una vez que la muestra esté seca, se la coloca en un recipiente grande para proceder a desmenuzarla empleando para ello una maza. Hay que conseguir que la muestra esté totalmente desecha.

3.2.2. Procedimiento

- 1) Una vez que la muestra esté seca, colocamos los tamices de abajo a arriba (de menor a mayor tamaño); vamos dejando caer la muestra desde arriba al mismo tiempo que vamos agitando para favorecer el paso de la muestra a través de los orificios de los tamices.
- 2) Posteriormente, sacamos el primer tamiz de 100mm, hacemos unos lavados con agua de manera que ésta arrastre los finos, haciéndolos pasar por los orificios del tamiz. Este lavado se mantiene hasta que el agua que pase a través del tamiz mantenga su transparencia.
- 3) Vertemos el contenido del tamiz en un recipiente y lo dejamos reposar, hasta que el agua en la parte superior de la suspensión se vuelva transparente. Eliminamos esta agua transparente sobrante por decantación.
- 4) Colocamos el recipiente con la suspensión suelo y agua remanentes en la estufa para su secado.
- 5) Al día siguiente, sacamos el recipiente y pesamos
- 6) Repetimos el procedimiento (1 a 5), para cada uno de los tamaños de tamiz. A fin de determinar posteriormente el porcentaje de muestra retenida en cada tamiz.

3.3. DENSIDAD APARANTE HÚMEDA

La densidad (UNE-103301: 94) aparente de un material es la relación entre el volumen y su peso seco, incluyendo huecos y poros que tengan, aparentes o no.

Los factores que afectan a la densidad aparente son la composición y estructura. Por ejemplo, suelos arenosos tienden a tener densidades mayores que los suelos finos, al mismo tiempo que en suelos bien estructurados los valores suelen ser menores.

La densidad aparente del suelo es un buen indicador de importantes características del suelo, tales como porosidad, grado de aireación y capacidad de drenaje.

Los valores bajos de densidad implican suelos porosos, bien aireados y con buen drenaje.

Por otro lado, si los valores son altos, quiere decir que el suelo es compacto, que tiene poca porosidad en su composición, que la infiltración del agua es lenta, lo cual puede provocar anegamientos.

3.3.1. Procedimiento

- 1) Primeramente cortamos un trozo de tubo que contiene la muestra inalterada (Figura
- 2) Se extrae la muestra inalterada contenida en este trozo de tubo, se pesa y se lleva a la estufa a 110°C durante 24 h.
- 3) Con el trozo de tubo de donde hemos sacado la muestra se determina el volumen del cilindro, midiendo el diámetro y la altura del mismo (medidas internas), utilizando las ecuaciones indicadas a continuación:

$$A = 2\pi \times R(H + R) \quad \text{Ecuación 1}$$

$$V = \pi \times R^2 \times H \quad \text{Ecuación 2}$$

donde R es el radio del tubo, H es la altura del tubo, V el volumen del tubo calculado

- 4) Una vez transcurridas las 24h la muestra se saca de la estufa y se pesa de nuevo.

- 5) Por último, se determinará la densidad por diferencia de pesada, aplicando la fórmula:

$$d = \frac{m}{V} (m/s^2) \quad \text{Ecuación 3}$$

donde d es la densidad, m es la masa y V es el volumen calculado del tubo

3.4. HUMEDAD MEDIANTE SECADO EN ESTUFA

La humedad es el cociente, expresado en tanto por ciento, entre la masa de agua que pierde el suelo al secarlo y la masa del suelo seco (UNE 103300:93).

Contenido de agua o humedad representa el porcentaje de peso de agua en una determinada masa de suelo respecto al peso de partículas sólidas.

La humedad del suelo influye en muchas propiedades físicas, tales como la densidad aparente, espacio poroso, compactación, penetrabilidad, resistencia al corte, consistencia, succión total del agua y color del suelo. La humedad del suelo es muy dinámica y depende del clima, vegetación, profundidad del suelo, y de las características y condiciones físicas del perfil.

3.4.1. Preparación de las muestras

Se toma una cantidad de muestra representativa de suelo húmedo 11092804-MI. La masa mínima necesaria se elegirá en función de la norma UNE 7-050.

Tabla 2. Cantidad de muestra en función del tamaño de partícula

Tamaño máximo de partículas Tamiz según norma UNE 7-050	Masa mínima de muestra (g)
400 μm	30
5,0 mm	300
12,5 mm	900
25,0 mm	1500
50,0 mm	3000
80,0 mm	5000
100,0 mm	7000

Se desmenuza la muestra con la maza de madera de manera que se consiga que la muestra esté lo más molida y homogénea posible.

3.4.2. Procedimiento

1) Pesamos el recipiente con tapa en el que vayamos a meter la muestra y anotamos su peso. Posteriormente, meteremos la muestra y pesaremos y anotamos lo que pesa el recipiente con la muestra húmeda.

2) Sacamos la tapa del recipiente y colocamos el recipiente con la muestra húmeda en la estufa 105-115°C hasta alcanzar peso constante. Esto suele conseguirse transcurridas 24h.

NOTA: En suelos con yeso u otros minerales que contiene agua de hidratación fácilmente eliminable o en suelos que contiene materia orgánica, en cantidad significativa, no se debe emplear una temperatura superior a 60° C.

3) Inmediatamente después de sacar la muestra de la estufa, volvemos a colocar la tapa y dejamos que la muestra se enfríe a temperatura ambiente.

4) Una vez que la muestra se enfríe, se coge el recipiente con tapa que contiene la muestra seca, se pesa y se anota su valor.

3.5. LÍMITES DE ATTERBERG

Los límites de Atterberg son ensayos de laboratorio normalizados que permiten obtener los límites del rango de humedad dentro del cual el suelo se mantiene en estado plástico. Con ellos, es posible clasificar el suelo en la Clasificación Unificada de Suelos (Unified Soil Classification System, USCS) (UNE- 103103/103104:94).

Estos límites fueron originalmente ideados por un sueco de nombre Atterberg especialista en agronomía y posteriormente redefinidos por Casagrande para fines de mecánica de suelos de la manera que hoy se conocen.

Para obtener estos límites se requiere remoldear (manipular) la muestra de suelo destruyendo su estructura original y por ello es que una descripción del suelo en sus condiciones naturales es absolutamente necesaria y complementaria. Para realizar los límites de Atterberg se trabaja con todo el material menor que la malla 0.40mm. Esto quiere decir que no solo se trabaja con la parte fina del suelo, sino que se incluye igualmente la fracción de arena fina.

3.5.1. Definiciones

a) *Contenido de humedad (W)*: Razón entre peso del agua y peso del suelo seco de una muestra.

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad \text{Ecuación 4}$$

donde W_w es el peso de agua y W_s es el peso de suelo seco.

b) *Límite Líquido (W_L ó L_L) (UNE-103103)*: contenido de humedad del suelo en el límite entre el estado semi-líquido y plástico.

c) *Límite Plástico (W_p ó L_p) (UNE-103104)*: es el contenido de humedad del suelo en el límite entre los estados semi-sólido y plástico.

d) *Índice de Plasticidad (IP)*: es la diferencia entre los límites líquido y plástico, es decir, el rango de humedad dentro del cual el suelo se mantiene plástico:

$$IP = L_L - L_p \quad \text{Ecuación 5}$$

3.5.2. Preparación de la muestra

Se toma una cantidad de muestra que haya pasado por el tamiz 0.40 mm y procedemos a agregarle agua según sea necesario y revolver la muestra hasta obtener una pasta semi-líquida homogénea en términos de humedad.

Para los limos y suelos arenosos con poco contenido de arcilla el ensayo se podrá realizar inmediatamente después de agregar agua, siguiendo el procedimiento indicado (Límite líquido).

Para los limos arcillosos será necesario conservar la pasta aproximadamente 4 horas en un recipiente cubierto. Para las arcillas este tiempo deberá aumentarse a 15 o más horas para asegurar una humedad uniforme de la muestra.

3.5.3. Procedimiento para el cálculo del límite líquido

En la práctica, el límite líquido se determina sabiendo que el suelo remoldeado a $W = W_L$ tiene una pequeña resistencia al corte (aprox. 0.02 kg/cm²) de tal modo que la muestra de suelo remoldeado necesita de 25 golpes para cerrar las dos secciones de una pasta de suelo (Figura 6).

- 1) De la pasta preparada se cogen unos 100 g para este procedimiento.
- 2) Desmontar y secar la cápsula de la máquina de Casagrande, asegurándose que ella se encuentre perfectamente limpia y seca antes de iniciar el procedimiento (Figura 6).



Figura 6. Máquina de Casagrande con su acanalador

3) Colocar entre 50 y 70g de suelo húmedo en la cápsula, alisando la superficie a una altura de 1 cm con la espátula, cuidando de no dejar burbujas de aire en la masa de suelo.

4) Usando el acanalador separar el suelo en dos mitades según el eje de simetría de la cápsula (Figura 7); para una arcilla, el surco se puede hacer de una vez; los limos pueden exigir 2 o 3 pasadas suaves antes de completarlo, siendo este procedimiento aún más complejo cuando se trata de suelos orgánicos con raicillas.



Figura 7. Máquina de Casagrande con la muestra de suelo (etapa 4 del procedimiento)

5) Girar la manivela de manera uniforme a una velocidad de dos revoluciones/seg; continuar hasta que el surco se cierre; anotar el número de golpes, cuando éste sea inferior a 40, entre 25-35.

6) Tomar una muestra de aproximadamente 5g de suelo en la zona donde se cerró el surco, meterla en el recipiente y pesarla de inmediato para obtener su contenido de humedad.

7) Llevarla a la estufa hasta el día siguiente

8) Retirar el suelo de la máquina de Casagrande y removerlo nuevamente y repetir los pasos 3) a 5) hasta que el número de golpes esté comprendido entre 15-25.

9) Tomar otros 5g de muestra donde se cerró el surco para el caso de los 15-25 golpes, nuevamente pesarla y llevarla a la estufa.

3.5.4. Procedimiento para el cálculo del límite plástico

El límite plástico es el contenido de humedad para el cual el suelo se fractura al ser amasado en bastoncitos de diámetro (3mm) cuando se amasa una pequeña porción de suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa.



3.6.

Figura 8. Procedimiento límite plástico

1) Utilizar una porción del material que queda del ensayo del límite líquido

2) Tomar una bolita de suelo de 1 cm^3 y amasarla sobre el vidrio con la palma de la mano hasta formar bastoncitos de 3 mm de diámetro (Figura 8).

3) Reconstruir la bolita de suelo, uniendo el material con fuerte presión de las puntas de los dedos y amasar nuevamente un bastoncito hasta llegar al límite plástico. El límite plástico, W_p , corresponde al contenido de humedad para el cual un bastoncito de 3 mm, así formado, se rompe en trozos. Si no se está seguro de haber alcanzado W_p , es recomendable amasar una vez más el bastoncito.

- 4) Pesar inmediatamente el bastoncito e introducir en la estufa hasta el día siguiente.
- 5) Realizar dos o tres ensayos repitiendo los pasos 2) al 4).
- 6) Al día siguiente se sacan los recipientes de la estufa y se procede a su pesada para calcular su contenido de humedad.

3.6. DETERMINACIÓN CUALITATIVA DE SULFATOS SOLUBLES

Los sulfatos en el suelo se hayan usualmente en solución en agua de lluvia o por flujos en suelos. Por lo general consisten en sulfatos de sodio, potasio, calcio o magnesio.

Los suelos con sulfatos se hallan normalmente en zonas áridas, y pese a que no suelen estar en muy alta concentración, si se producen ciclos de humedecimiento y secado sobre el suelo, la concentración puede incrementarse y causar deterioro de la construcción.

El ataque se presenta cuando a través del agua concentraciones altas de sulfatos entran en contacto con los compuestos hidratados de la pasta de cemento. Este contacto hace que se produzca una reacción química que genera expansión en la pasta y crea una presión capaz de romperla y finalmente desintegrar el suelo.

Los mecanismos que intervienen en el ataque del suelo por sulfatos son dos:

- Reacción del sulfato con el hidróxido de calcio liberado durante la hidratación del cemento formando sulfato de calcio (Yeso).
- Reacción del sulfato de calcio con el Aluminato de calcio hidratado formando sulfato aluminato de calcio (ettringita).

Ambas reacciones dan como resultado un aumento del volumen del sólido, pero la segunda genera expansiones, rupturas y ablandamiento.

El ataque de sulfatos también produce una reducción en la resistencia mecánica debido a la pérdida de cohesión en la pasta de cemento y pérdida de adherencia entre la pasta y las partículas de los agregados.

3.6.1. Reactivos

- Disolución de ácido clorhídrico concentrado 37% y densidad 1,12 g/ml (Panreac).
- Disolución de dicloruro de bario dihidratado 10% (Panreac).

3.6.2. Procedimiento

- 1) Se pasa una porción de muestra de suelo por un tamiz de 0,4 mm y se cogen 2 g.
- 2) Se le añaden 50 ml de agua destilada y se agita con varilla.
- 3) Añadimos unas gotas de ácido clorhídrico para acidificar la muestra. Con unas tiras de pH se comprueba pH ácido.
- 4) Se calienta la disolución mediante agitación magnética durante aproximadamente 2 min y una vez transcurrido el tiempo nuevamente se comprueba mediante las tiras si continúa a pH ácido.
- 5) Posteriormente realizamos el montaje de filtración a gravedad (Figura 9) y hacemos pasar la muestra por el embudo.



Figura 9. Filtración a gravedad

- 6) Por último añadimos el dicloruro de bario y comprobamos si efectivamente encontramos sulfatos.



Si por el contrario la disolución continúa transparente el ensayo arrojaría resultado Negativo.

3.7. ACIDEZ BAUMANN-GULLY

El procedimiento para la determinación del grado de acidez Baumann-Gully (EHE, 2008), es una medida para determinar el contenido de iones hidrógeno intercambiables que el “Humus” del suelo es capaz de liberar.

Esta terminación es aplicable para evaluar el grado de agresividad al hormigón ocasionado por la acidez total del suelo.

El método se basa en una valoración ácido-base a partir del “humus” de una muestra de suelo secado al aire.

3.7.1. Reactivos

- Disolución de acetato sódico anhidro 1N
- Hidróxido de sodio 1N
- Fenoftaleína
- Etanol (96%)

3.7.2. Preparación de la muestra

Se toma una porción de muestra superior a la que vamos a necesitar y se coloca en una bandeja para que seque a temperatura ambiente.

El secado en estufa sólo debe efectuarse sobre muestras con un alto contenido en humedad y elevada capacidad de retención de agua.

3.7.3. Procedimiento

- 1) Una vez que la muestra esté seca, se desmenuza con la maza de madera.
- 2) Seguidamente, se toman sobre 500g de muestra de suelo y se pasan por el tamiz de 2mm y se recoge la muestra que haya pasado por el tamiz en un recipiente.
- 3) Se lava la muestra hasta que los elementos gruesos queden exentos de finos, se seca en estufa y se pesa.
- 4) Se pesan sobre 100g de muestra preparada y se les añade 200ml de disolución de acetato de sodio 1N. Se mantiene la disolución en continua agitación durante 1 h.

5) Se filtra la suspensión formada, sin lavar, sobre un Erlenmenyer de 500ml (Figura 9).

6) A la muestra filtrada le añadimos 2-3 gotas de fonoftaleína y se valora con hidróxido de sodio 0,1N hasta viraje a color violeta rosáceo (Figura 10).

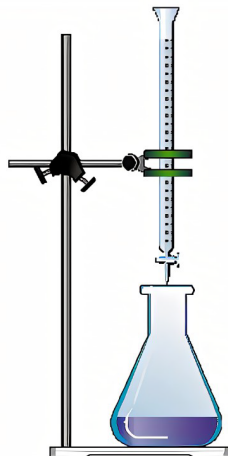


Figura 10: Valoración Acido- base

El grado de acidez Bauman-Gully, expresado como ml/kg de suelo seco, se calcula por medio de la expresión:

$$\text{Grado} = 10 \times V_1 \times V_2 / V_0 \quad \text{Ecuación 6}$$

donde V_0 es el Volumen de porción de disolución filtrada sobre la que se ha realizado la valoración, en ml; V_1 es el Volumen de la disolución de hidróxido sódico 0,1N, empleado en la valoración, en ml; y V_2 es el Volumen de la disolución de acetato sódico 1N añadido en la muestra (200ml).

4. RESULTADOS

Datos de la obra

Expediente: GEO-11081801.

Obra: Estudio Geotécnico vivienda unifamiliar en Bergondo (A Coruña).

Peticionario: Promotores de la obra.

Datos de la muestra

Muestra N°: 11092804-MI.

Descripción de la muestra: Inalterada de suelo.

Localización: PD (0,60-1,20m).

Procedencia: Bergondo.

Ensayos realizados/ Normativa

UNE 103100:95 Preparación de muestra para los ensayos de suelo.

UNE10301:94 Análisis granulométrico de suelos por tamizado.

UNE103103/4:94 Determinación del límite líquido de suelo por el método de Casagrande. Determinación del límite plástico de un suelo.

UNE 103300:93 Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa.

UNE 103301:94 Determinación de la densidad de un suelo. Método de la balanza hidroestática.

UNE 103202:95 Determinación cualitativa del contenido en sulfatos.

4.1. GRANULOMETRÍA Y HUMEDAD HIGROSCÓPICA

El análisis granulométrico como se ha comentado anteriormente, se define como el porcentaje que pasa por el tamiz 0,08 mm y mide el contenido en finos, proporción de arcilla y limos. Nos indica el grado de retención de agua, cuanto mayor sea su valor, mayor será la dificultad de expulsar el agua bajo esfuerzos (comportamiento no drenante de los materiales).

Siguiendo el procedimiento UNE 103101:94, obtenemos los resultados mostrados en las Tablas 3-4:

Tabla 3. Resultados humedad higroscópica

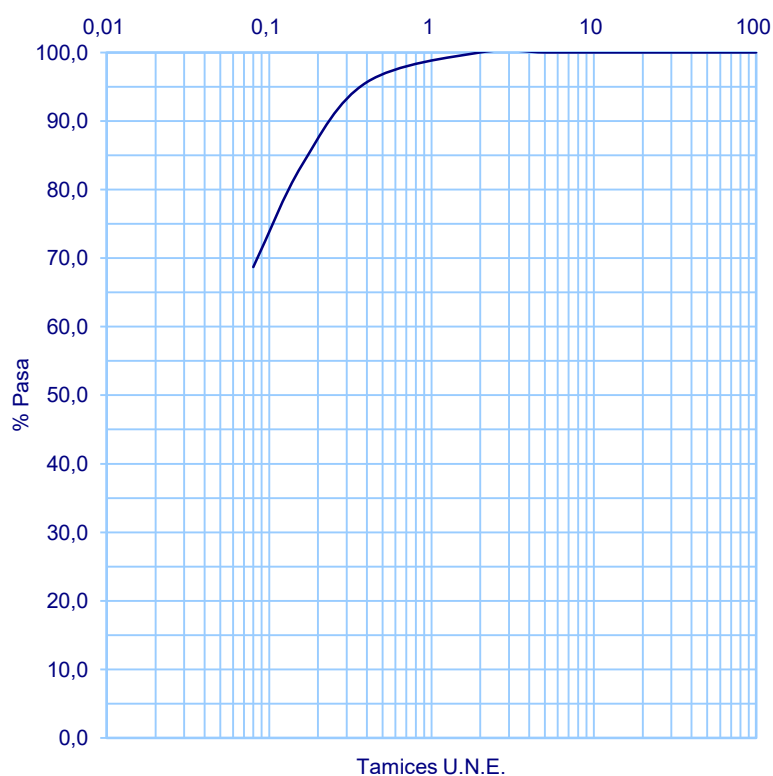
Humedad higroscópica		
$f=100/(100+h)$	Factor de correccion por humedad higroscopica	0,9948
$h=(a/s)*100$	Humedad higroscopica	0,52
a	Agua	0,23
t+s+a	Tara+suelo+agua	75,89
t+s	Tara+suelo	75,66
t	Tara	31,47
s	Suelo	44,19
E/H		3,25

Tabla 4. Resultados granulometría

A	Cantidad inicial	492,0
B	Gruesos sin lavar	
C	Gruesos lavados	0,0
$D=(B-C).100/B$	% de perdida por lavado	
$E=(A-C)*f$	Fracción fina seca total	489,5
$F=C+E$	Muestra total seca	489,5
G	Fraccion fina ensayada secada al aire	151,6
$H=G*f$	Fraccion fina ensayada seca	150,8

TAMICES UNE	RETENIDO ENTRE TAMICES		PASA	
	grs. en parte	grs. en muestra	grs.	%
	fina ensayada	total		
100			489,5	100,0
80			489,5	100,0
63			489,5	100,0
50			489,5	100,0
40			489,5	100,0
25			489,5	100,0
20			489,5	100,0
12,5			489,5	100,0
10			489,5	100,0
5			489,5	100,0
2			489,5	100,0
0,4	6,6	21,3	468,2	95,7
0,16	18,2	58,9	409,3	83,6
0,08	22,5	73,0	336,2	68,7

La curva granulométrica (Gráfica 1), es representativa de la distribución de los tamaños de las partículas. Curvas muy verticales indica reducida variabilidad en los tamaños mientras que curvas inclinadas muestran una gradación importante del tamaño de las partículas.



Grafica 1. Representación de curva granulométrica

En nuestro caso $> 50\%$ pasa por la malla # 200 (0.08 mm), por lo tanto, tendremos que analizar los valores de Límite Líquido e Índice de plasticidad.

4.2. DENSIDAD Y HUMEDAD DE LA MUESTRA

Según lo enunciado anteriormente en el procedimiento UNE 103300:93 y 103301:94; primeramente, calcularemos la superficie y el volumen del cilindro que contenía nuestra muestra Inalterada según las ecuaciones 1 y 2. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados medidas del tubo

Diámetro interior del tubo	6,05	6,05	Diámetro medio
	6,00		
	6,09		
	6,06		
Altura	12,53	12,60	Altura media
	12,65		
	12,65		
	12,58		
Radio de tubo	3,02		
Superficie	28,75		
Volumen	362,26		

Una vez obtenido el volumen, calculamos los valores de la masa para poder calcular la densidad (Ecuación 3). Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6: Resultados de densidad y Humedad

DENSIDAD	T+s+a	Tubo+suelo húmedo	655,60
	T	Tubo	84,11
	$s+a=(T+s+a)-T$	Suelo húmedo	571,49
	s	Suelo seco	492,42
	$dh=(s+a)/v$	Densidad húmeda	1,58
	$ds=s/v$	Densidad seca	1,36
HUMEDAD	t+s+a	Tara + suelo húmedo	1653,00
	t+s	Tara + suelo seco	1574,00
	t	Tara	1082,00
	$s=(t+s)-t$	Suelo	492,00
	$(t+s+a)-(t+s)$	Agua	79,00
	$h=(a/s)*100$	% Humedad	16,1

Según los valores bajos de densidad aparente obtenidos, la tipología del suelo se correspondería a Limos algo arenosos.

En cuanto al contenido de humedad debe de estar entre el 5 – 50% para que el suelo esté en su máxima capacidad de retención. Por lo tanto, se trata de un suelo ya que se encuentra dentro de este rango.

4.3. LÍMITE LÍQUIDO POR EL MÉTODO DE CASAGRANDE

Presentamos en la Tabla 7 los resultados para el Límite Líquido y Plástico siguiendo el procedimiento UNE 103103/04:94.

Tabla 7. Resultados de límite líquido y plástico

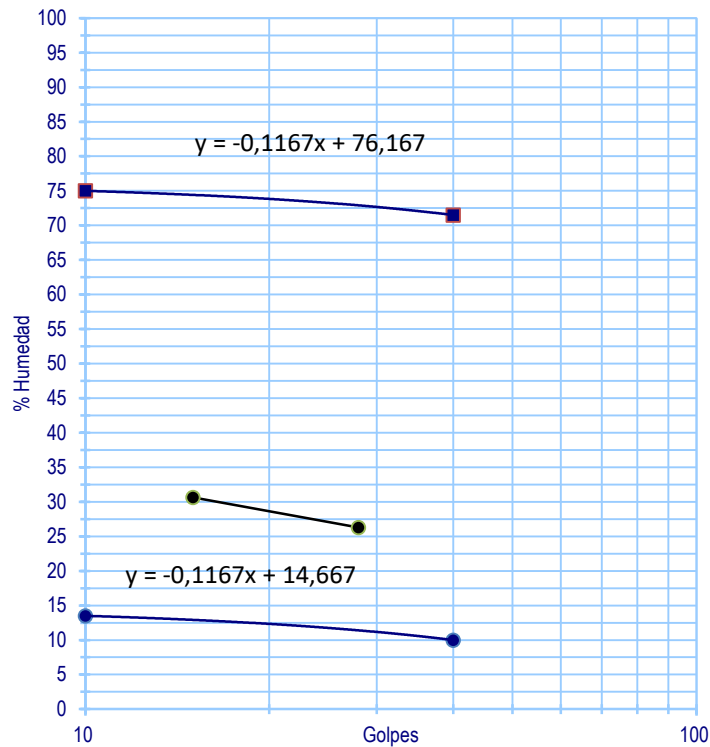
LIMITE LIQUIDO					
	Nº de golpes	28	15		
	Tara número	25	40		
t+s+a	Tara+suelo+agua	47,02	47,96		
t+s	Tara+suelo	43,52	43,65		
t	Tara	30,21	29,58		
(t+s)-t	Suelo	13,31	14,07		
(t+s+a)-(t+s)	Agua	3,50	4,31		
(a/s)*100	% Humedad	26,30	30,63		

LIMITE PLASTICO					
	Tara número	13,00			
t+s+a	Tara+suelo+agua	27,72			
t+s	Tara+suelo	26,91			
t	Tara	23,85			
(t+s)-t	Suelo	3,06			
(t+s+s)-(t+s)	Agua	0,81			
(a/s)*100	% Humedad	26,47			

LIMITE LIQUIDO	27,5
LIMITE PLASTICO	26,5
INDICE DE PLASTICIDAD	1,0

Elaboramos el gráfico que representa la humedad frente a la cantidad de golpes requeridos. Y trazamos los puntos que se corresponden con los resultados de cada una de las pruebas realizadas y dibujamos una recta (curva de flujo) que discorra lo más próximo posible por dichos puntos (Gráfica 2).

El Límite Líquido del suelo medido como % de humedad, se corresponde a la intersección de la curva de flujo con los puntos correspondientes a la abscisa de 25 golpes, aproximando el valor al número entero más próximo.



Gráfica 2. Representación límites

Según el sistema USCS, finos $\geq 50\%$ que pasan por el tamiz 0,08 mm (dato aportado por la granulometría), tenemos Limos Inorgánicos (L) y ahora teniendo en cuenta los resultados del Límite Líquido se dividen en dos grupos cuya frontera es el $W_L = 50\%$. Menor del 50% sería ML y mayor del 50 MH.

En nuestro caso los valores son $W_L < 50\%$ y un $IP < 0,75\% \rightarrow ML$

4.4. CONTENIDO EN SULFATOS

A continuación, y teniendo en cuenta el procedimiento anteriormente señalado UNE 103202:95, mostramos los resultados para la determinación de sulfatos (Tabla 8).

Tabla 8. Resultados sulfatos

Tara	T	
Tara + Precipitado	T + P	
Precipitado	P	0
Masa del suelo analizado	M	1,5

Sulfatos (mg/Kg) SO ₄	0,00	Sulfatos	Negativo
----------------------------------	-------------	----------	-----------------

No se ha observado la presencia de precipitado por lo tanto el suelo será apto con referente a éste parámetro.

4.5. ACIDEZ DE BAUMANN-GULLY

Siguiendo el procedimiento reflejado en la UNE 83962:08 y EHE obtenemos los siguientes resultados (Ecuación 6) mostrados en la Tabla 9.

Tabla 9. Resultados de acidez Baumann-Gully

Vaso nº		
Peso de la muestra total, g	M	489,50
Peso de los gruesos lavados, g	M1	0,00
Pasa por el tamiz 2 mm, %	$A=(M-M1)/M*100$	100,0
Volumen inicial, ml	V0	200,0
Volumen filtrado, ml	Vf	65,0
Volumen NaOH valoración, ml	Vv	3,3
Volumen NaOH real, ml	$V1=Vv*V0/Vf$	10,2

Acidez Baumann-Gully (ml/Kg): $V1*ΔV10$	101,5
AGRESIVIDAD EHE	No agresivo

Según la clasificación de la EHE:

Suelos poco agresivos	> 20 ml/Kg
Suelos medio agresivos	No se dan
Suelos muy agresivos	No se dan

Por lo tanto, en nuestro caso tenemos un valor de 102 ml/Kg, estamos ante un suelo no agresivo frente al hormigón.

5. CONCLUSIONES

Dos promotores se han puesto en contacto con GEONOR Servicios Técnicos S.L. para la ejecución de un Estudio geotécnico para una vivienda unifamiliar en Bergono (A Coruña).

La edificación presenta una superficie de ocupación en planta de unos 142 m². La tipología de la edificación proyectada es la siguiente: Semisótano (55,95m²) + Planta Baja (142,05 m²).

A efectos de programación de la campaña de investigación geotécnica en el marco del Código Técnico de la Edificación (CTE), se ha considerado un Tipo de Construcción C-0 (Construcciones de menos de 4 plantas y superficie inferior a 300 m²) y un grupo de terreno T-1 (Terrenos favorables).

Para este estudio geotécnico se estimó necesaria la ejecución de una campaña de investigación consistente en la ejecución de tres ensayos de penetración dinámica continua tipo DPSH y la extracción de muestras inalteradas de forma continua en profundidad. Estos ensayos se complementaron con la realización de ensayos de laboratorio a fin de identificar y caracterizar el material presente en el subsuelo. El resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio se resume en la Tabla 10.

En la parcela objeto de estudio se identificaron fundamentalmente dos niveles generales en el subsuelo los cuales presentan características geotécnicas muy diferentes. Estos niveles se corresponden con el nivel superficial de Tierra vegetal y con Esquistos Grado V-VI (Limos algo arenoso).

Los niveles de Tierra vegetal y Esquistos V-VI son excavables mediante métodos mecánicos tipo retroexcavadora o pala mixta.

No se ha detectado la presencia de agua durante la realización de los reconocimientos de campo por lo que se estima que no habrá interferencia del nivel freático con la excavación y cimentación previas.

La información suministrada por la campaña de reconocimientos es sólo totalmente fidedigna en los puntos explorados y en la fecha de su ejecución, de modo que su extrapolación al resto del terreno objeto de estudio no es más que una interpretación razonable según es estado actual de la técnica. En consecuencia, conviene que al inicio de la construcción algún técnico confirme que el subsuelo hallado (terreno y agua), está en consonancia con lo expuesto en este Informe Geotécnico.

Tabla 10. Resultados de los ensayos

MUESTRA		11092804-MI
TIPO DE MUESTRA		Inalterada de suelo
LOCALIZACIÓN		MI ₂ (0,60 – 1,20 m)
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO UNE 103101:94	Tamaño máximo, mm % Pasa 0,08 mm	0,4 68,7
LÍMITES DE ATTENGER UNE 103103/104	Límite Líquido Límite Plástico Índice de plasticidad	27,5 26,5 1,0
HUMEDAD, % UNE 103300		16,1
DENSIDAD APARENTE, g/cm ³ UNE103301		1,58
DENSIDAD SECA, g/ cm ³ UNE 103301		1,36
AGRESIVIDAD EHE	Sulfatos Acidez Baumann Grado de agresividad	Negativos 102 No agresivo
CLASIFICACIÓN DE CASAGRANDE		Limos arenosos ML Baja plasticidad

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- EHE. 2008. Determinación del grado de acidez Baumann-Gully. ANEJO 5º - URL <https://www.cgatehttp://www.cgate-coaat.com> (acceso 20/06/22).
- JULIVERT, M.; FONTBOTE, J.M.; RIBEIRO, A.; CONDE, L. 1974. Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares, 1:1000000. Memoria explicativa.
- LOTZE, F. 1945. Observaciones respecto a la división de las Variscides de la Meseta Ibérica. Public. Extr. Sobre geología de España. T.V, pp. 149-166. Madrid.
- MATE, Ph. 1968. La structure de la virgation hercynienne de Galice (Espagne). These Montpellier Geol. Alpine, t.44, pp.1-128.
- UNE- 103100:95. Preparación de muestras para los ensayos de suelos
- UNE 103101:94. Análisis granulométrico de suelo por tamizado
- UNE 103103/4:94. Determinación del Límite Líquido de un suelo por el método de Casagrande
- UNE 103300:93. Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa.
- UNE 103301:94. Determinación de la densidad de un suelo.
- UNE 103202:95. Determinación cualitativa del contenido en sulfatos.
- UNE 83962:08. Durabilidad del hormigón. Suelos agresivos. Determinación del grado de acidez Baumann-Gully.
- UNE 2246-2:11. Investigación y ensayos Geotécnicos. Ensayos de campo.
- https://www.construmatica.com/construpedia/Densidad_Aparente. (acceso 20/06/22).
- <https://geotecniaymecanicasuelosabc.com> (acceso 20/06/22).
- <https://geotecniafacil.com/granulometria-de-suelos-por-tamizado/> (acceso 20/06/22).