

EJERCICIOS RESUELTOS

Se ha tomado una muestra de suelo de volumen $16'88 \text{ cm}^3$. En estado natural su masa era $35'45 \text{ g}$ y una vez desecada en estufa completamente, disminuyó hasta $29'63 \text{ g}$. Además, se determinó que la densidad relativa de las partículas sólidas era $2'68$. Se pide calcular:

- 1) Peso específico aparente de la muestra.
- 2) Peso específico de la muestra seca.
- 3) Humedad natural.
- 4) Porosidad e índice de huecos.
- 5) Indicar si la muestra estaba saturada o no lo estaba, razonando la respuesta.

A continuación se llevó a cabo un análisis granulométrico por tamizado, de donde se extrajeron los siguientes datos:

Pasa nº 4 = 65 %; Pasa nº 200 = 15 %

A partir de estos valores y utilizando el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.) se pide:

- 6) Determinar los porcentajes de grava, arena y partículas finas del suelo.
- 7) Indicar si se trata de un suelo de partículas gruesas o de un suelo de partículas finas, razonando la respuesta.
- 8) ¿Cuál sería la primera letra de este suelo? ¿Y la segunda? Razonar las dos respuestas.

-
-
1. El peso específico aparente de la muestra responde a la expresión

$$\gamma = \frac{M \cdot g}{V}$$

En este caso, $M = 35'45 \text{ g}$, $V = 16'88 \text{ cm}^3$ y la aceleración de la gravedad se puede tomar $g = 9'8 \text{ m/s}^2$. Sustituyendo valores se tiene $\gamma = 20'58 \text{ kN/m}^3$.

2. De forma análoga se puede determinar el peso específico de la muestra seca, γ_d , como

$$\gamma_d = \frac{M_s \cdot g}{V}$$

en donde $M_s = 29'63 \text{ g}$. Sustituyendo valores se tiene $\gamma_d = 17'20 \text{ kN/m}^3$.

3. También es inmediato el cálculo de la humedad natural, w , que por definición es

$$w = \frac{M_w}{M_s} = \frac{M - M_s}{M_s}$$

Con los datos previamente indicados se obtiene $w = 0'196 = 19'6 \%$.

4. Para calcular la porosidad, n , y el índice de huecos, e , es preciso conocer previamente γ_s , peso específico de las partículas sólidas. Teniendo en cuenta que es dato del problema el valor de la densidad relativa de las partículas sólidas ($G = 2'68$), se puede escribir

$$G = \frac{\rho_s}{\rho_w} = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \Rightarrow \gamma_s = G \cdot \gamma_w$$

y tomando para el peso específico del agua $\gamma_w = 9'8 \text{ kN/m}^3$, se obtiene $\gamma_s = 26,26 \text{ kN/m}^3$.

Conocido γ_s , ya se puede obtener n y e según

$$n = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_s} = 0'345$$

$$e = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_d} = 0'527$$

5. Para saber si la muestra estaba o no saturada se puede obtener su grado de saturación; por ejemplo, utilizando la expresión

$$S_r = \frac{w}{n} \cdot \frac{\gamma_d}{\gamma_w}$$

que puesto que todos los valores son conocidos, da como resultado $S_r = 0'997 = 99'7 \%$.

Por lo tanto, se puede decir que la muestra estaba prácticamente saturada y, probablemente, si se hubiese trabajado con los números completos, es decir, sin limitarlos a los dos primeros decimales, se hubiera obtenido que la muestra se encontraba saturada.

6. Para calcular los porcentajes de grava, arena y partículas finas del suelo, en primer lugar se determinan las fracciones fina y gruesa como sigue

$$\text{Fracción Fina (F.F.)} = \% \text{ pasa n}^\circ 200 = 15 \%$$

$$\text{Fracción Gruesa (F.G.)} = 100 - (\text{F.F.}) = 85 \%$$

La proporción de arena y grava se calcula según

$$\% \text{ pasa n}^\circ 4 = \% \text{ arena} + (\text{F.F.}) \Rightarrow \% \text{ arena} = 65 - 15 = 50 \%$$

$$(\text{F.G.}) = \% \text{ arena} + \% \text{ grava} \Rightarrow \% \text{ grava} = 85 - 50 = 35 \%$$

En definitiva,

$\% \text{ grava} = 35 \%; \% \text{ arena} = 50 \%; (\text{F.F.}) = 15 \%$

7. Puesto que se cumple que $(\text{F.G.}) = 85 \% > (\text{F.F.}) = 15 \%$, se trata de un **suelo de partículas gruesas** según el S.U.C.S.
8. Puesto que se cumple que $\% \text{ arena} = 50 \% > \% \text{ grava} = 35 \%$, el suelo es una arena y la primera letra será una **S**.

Para fijar la segunda letra, y puesto que la fracción fina es superior al 12 %, es necesario conocer qué partículas predominan en dicha fracción, y eso sólo es posible si se tienen datos de los límites de Atterberg. Como no se dispone de esos datos, lo único que se puede decir es que la segunda letra será **M** o **C**.

EJERCICIOS RESUELTOS

Se ha extraído una muestra inalterada de suelo por encima del nivel freático sobre la que se han llevado a cabo distintos ensayos de laboratorio, obteniéndose:

- Masa de la muestra: 641'2 g
- Volumen de la muestra: 308'2 cm³
- Masa seca de la muestra: 530'1 g
- Densidad relativa de las partículas sólidas: 2'69

Se pide:

1. Determinar el grado de saturación del suelo. Comentar el resultado.

A continuación, con la muestra seca se realizó un análisis granulométrico por tamizado del que se obtuvieron los siguientes datos:

Pasa nº 4 = 95 %, Pasa nº 10 = 90 %, Pasa nº 40 = 80 %, Pasa nº 200: 65 %

Debido a la cantidad de fracción fina de este suelo se llevaron a cabo los ensayos de límite plástico y de límite líquido. El primero se consiguió con 10'07 g de suelo que una vez desecados completamente se convirtieron en 8'25 g.

Los ensayos en cuchara de Casagrande arrojaron los siguientes resultados:

Golpes	Masa	Masa seca
35	11'13 g	7'37 g
30	11'02 g	7'25 g
26	11'25 g	7'31 g
20	11'31 g	7'18 g

Además, también se determinó el límite líquido antes del secado completo resultando un valor del 62'3 %. Se pide:

2. Clasificar el suelo según el S.U.C.S. Se debe indicar esquemáticamente el proceso seguido para llegar a la simbología internacional y al nombre completo del suelo.

1. Grado de saturación, S_r

Con los datos del enunciado se pueden obtener los siguientes parámetros

$$w = \frac{M - M_s}{M_s} = \frac{641.2 - 530.1}{530.1} = 0.210 = 21.0\%$$

$$\gamma_s = G \cdot \gamma_w = 2.69 \cdot 9.8 = 26.36 \text{ kN/m}^3$$

$$\rho_s = \frac{M_s}{V} = \frac{530.1 \cdot 9.8}{2.82} = 1836 \text{ kg/m}^3$$

$$e = \frac{\gamma_s - \rho_s}{\rho_s} = 0.503$$

Y de aquí el grado de saturación del suelo como

$$S_r = \frac{w}{e} \cdot \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{w}{e} \cdot G = \frac{0.210}{0.503} \cdot 2.69 = 1.00 = 100\%$$

La muestra de suelo se encuentra saturada y por lo tanto se encuentra por encima del N.F. Esto podría deberse a que se ha saturado por capilaridad o por una lluvia reciente.

2. Tipo de suelo según el S.U.C.S

Con los datos del análisis granulométrico se pueden obtener los porcentajes de arena, grava y partículas finas

$$\left. \begin{array}{l} F.F. = \text{Pasa n}^\circ 200 = 65\% \\ F.G. = 100 - F.F. = 35\% \end{array} \right\} \Rightarrow \text{Suelo de partículas finas (C.M.U.)}$$

$$\text{Pasa n}^\circ 4 = \% \text{ arena} + F.F. \Rightarrow \% \text{ arena} = 95 - 65 = 30\%$$

$$\% \text{ grava} = F.G. - \% \text{ arena} = 5\%$$

Es decir, se trata de un suelo de partículas finas, es decir, puede ser arcillo o limo, orgánicos o inorgánicos (C, M, U).

3. Clasificación del suelo según el S.U.C.S

Al tratarse de un suelo de partículas finas hay que calcular los Límites de Atterberg.

$$w_p = \frac{10.07 - 8.25}{8.25} = 0.221 = 22.1\%$$

El límite líquido después del secado completo se define a pul. de Bromeyer e incluso a Casagrande, en este caso 9

$$w_{30} = \frac{11.13 - 7.37}{7.37} = 51.5\%$$

$$w_L = \frac{11.02 - 7.25}{7.25} = 52.0\%$$

$$w_{20} = \frac{11.25 - 7.31}{7.31} = 53.9\%$$

$$w_{25} = \frac{11.31 - 7.12}{7.12} = 57.5\%$$

que llevamos a la gráfica adjunta proporcionando un valor de $w_L = 54.7\%$

Por tanto si se trata de un suelo argiloso se divide B) del valor 3 del límite líquido

$$\frac{w_L}{w_L^*} = \frac{54.7}{62.3} = 0.87 > 0.75 \Rightarrow \text{Suelo marginoso (C.M)} \Rightarrow w_L = w_L^* = 54.7\%$$

HOJA 6 $w_L > 50 \Rightarrow$ HOJA 7 Carta de Casagrande

$$I_p = w_L - w_p = 54.7 - 22.1 = 32.6 \Rightarrow$$

$\Rightarrow$ B. como de la "línea A" $\Rightarrow$ CH, Arcilla pastosa

HOJA 8

$$50\% > F.O. = 35\% > 30\%$$

$$\% \text{ arena} = 30\% > \% \text{ grava} = 5\% < 15\%$$

CH
Arcilla pastosa arenosa

4. Clasificación del suelo según A.A.S.H.T.

Según esta clasificación se trata de un suelo de partículas finas, ya que $F.F. = 65\% > 35\%$, es decir, puede pertenecer a los grupos A-4, A-5, A-6 o A-7.

$$\text{Además, } W_L = 54.7\% > 41\% \Rightarrow \text{A-5 ó A-7}$$

$$I_p = 32.6 > 31 \Rightarrow \text{A-7}$$

Dado de este grupo se comprueba

$$W_L - 30 = 54.7 - 30 = 24.7 < I_p = 32.6 \Rightarrow \text{A-7-6}$$

Por último, la calidad del suelo se determina mediante el índice de grupo, es donde

$$F = F_f = 65\%, \quad W_L = 54.7\%, \quad I_p = 32.6$$

es decir,

$$GI = (65 - 35) \left[0.2 + 0.005 (54.7 - 40) \right] + 0.01 (65 - 15) (32.6 - 10) = 19.51 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow GI = 20 \quad (\text{calidad muy mala})$$

En definitiva, según el SUCS, el suelo sería A-7-6 (20)

EJERCICIOS RESUELTOS

Se ha extraído una muestra inalterada de un terreno para realizar una serie de ensayos. Al llegar al laboratorio, la masa de la muestra era 2.257'1 g y tras secarla completamente en estufa su masa se redujo hasta 1.929'2 g.

Tras llevar a cabo un análisis granulométrico por tamizado, en el que el tamiz de abertura menor era el nº 200 de la serie ASTM, se recogieron en la bandeja del fondo 173'79 g. En función de este dato se observó la necesidad de determinar los límites líquido y plástico de la fracción fina del suelo para poder realizar su clasificación mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.).

El límite plástico se obtuvo con 12'33 g de muestra, que desecados después completamente pasaron a ser 10'38 g.

Por último, para obtener el límite líquido se realizó un primer ensayo en cuchara de Casagrande con 26 golpes. Se extrajeron 13'87 g y se secaron completamente en estufa, quedando con una masa de 8'51 g. Se intentó repetir el ensayo añadiendo suelo seco y agua en proporción similar a la existente en los 13'87 g retirados, y amasando después. En este caso, se finalizó el ensayo en 24 golpes, se extrajeron 14'25 g y tras su completo secado pasaron a tener una masa de 8'72 g.

Se pide:

3. Determinar la humedad natural del terreno.
4. Según el S.U.C.S., ¿se trata de un suelo de partículas gruesas o de un suelo de partículas finas?. Razonar la respuesta.
5. ¿Por qué se decidió que era necesario determinar w_L y w_p para clasificar el suelo?
6. Determinar el límite plástico.
7. Determinar el límite líquido mediante dos métodos.
8. Calcular el índice de consistencia. A la vista del resultado obtenido, ¿cuál sería la consistencia de la fracción fina del suelo: fluida, plástica, semisólida o sólida?. Razonar la respuesta.

1. La humedad natural del terreno se determina directamente puesto que son datos conocidos la masa inicial de la muestra y la masa final obtenida tras proceder a su secado completo en estufa. Por tanto,

$$w = \frac{M - M_s}{M_s} = \frac{2.257'1 - 1.929'2}{1.929'2} = 0'170 = 17'0 \%$$

2. La fracción fina del suelo se puede calcular, puesto que es conocida la masa que pasa a través del tamiz nº 200, como

$$(F.F.) = \frac{\text{Pasa n}^\circ 200}{M_s} = \frac{173'79}{1.929'2} = 0'0901 = 9'01 \%$$

y de aquí la fracción gruesa es inmediata, ya que

$$(F.G.) = 100 - (F.F.) = 90'99 \%$$

Como se cumple que $(F.G.) > (F.F.)$ se trata de un suelo de partículas gruesas.

3. La fracción fina de este suelo cumple la siguiente expresión

$$5 \% < (F.F.) < 12 \%$$

Cuando esto ocurre el suelo presenta simbología doble según el S.U.C.S. La última letra indica qué tipo de partículas predomina en la fracción fina, limos o arcillas, que se distinguen mediante la obtención de los límites de Atterberg y la subsiguiente representación en la carta de plasticidad de Casagrande. Esa es la razón por la que es necesario obtener w_L y w_P .

4. Para obtener el límite plástico hay que basarse en qué el ensayo correspondiente se obtuvo con 12'33 g de muestra, que desecados después completamente pasaron a ser 10'38 g. La humedad de esa muestra, que es w_P , es

$$w_P = \frac{12'33 - 10'38}{10'38} = 0'188 = 18'8 \%$$

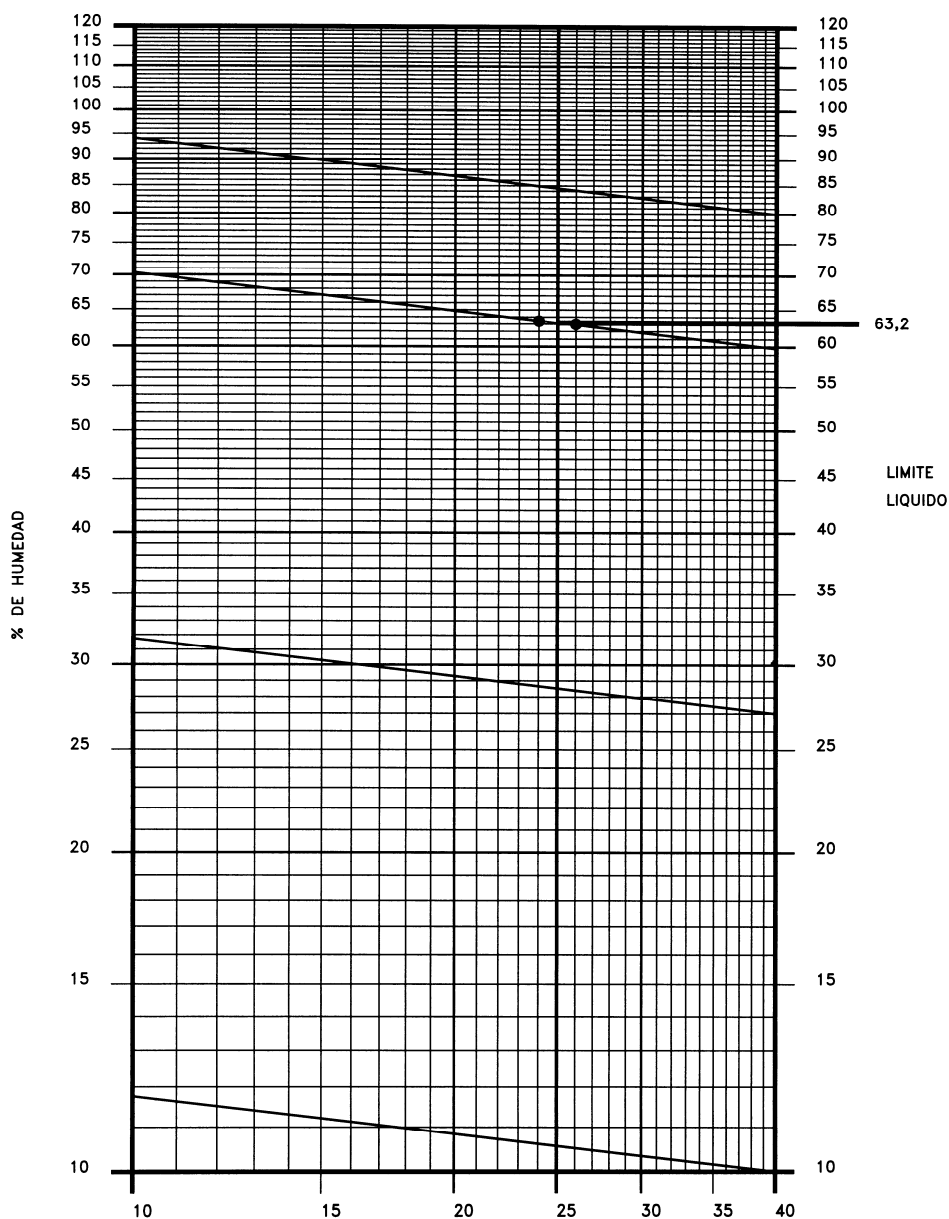
5. Para obtener el límite líquido, en primer lugar hay que calcular la humedad de cada una de las muestras con las que se consiguió realizar el ensayo en cuchara de Casagrande. Para la que precisó 26 golpes

$$w_{26} = \frac{13'87 - 8'51}{8'51} = 0'630 = 63'0\%$$

mientras que para la que se necesitaron 24 golpes la humedad era

$$w_{24} = \frac{14'25 - 8'72}{8'72} = 0'634 = 63'4\%$$

Utilizando el método dado por la norma UNE 103103:1994 se obtiene el límite líquido como se indica en la figura 2.1, de valor de $w_L = 63'2\%$ aproximadamente.



Obtención del límite líquido según la normativa española

Otra forma de determinar w_L viene dada en la norma ASTM D4318-00. Para ello se obtiene el límite líquido correspondiente a cada una de las dos muestras ensayadas mediante

$$w_{L26} = w_{26} \cdot \left(\frac{26}{25} \right)^{0.121} = 63.3 \%$$

$$w_{L24} = w_{26} \cdot \left(\frac{24}{25} \right)^{0.121} = 63.1 \%$$

con lo que w_L será

$$w_L = \frac{w_{L24} + w_{L26}}{2} = 63.2 \%$$

6. Por último, el índice de consistencia se calcula mediante la expresión

$$I_C = \frac{w_L - w}{w_L - w_p} = \frac{63.2 - 17.0}{63.2 - 18.8} = 1.04$$

valor superior a la unidad, lo que es lógico puesto que se cumple que $w < w_p$. Por lo tanto, el suelo presenta una consistencia semisólida o sólida. Para concretarla sería necesario determinar el límite de retracción, aunque por la cercanía entre w y w_p , **la consistencia será semisólida**, probablemente.

EJERCICIOS RESUELTOS

Clasificar los siguientes suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

Pasa nº 200	Pasa nº 4	C_U	C_C	w_L	w_P
9 %	75 %	5	2	55 %	25 %
55 %	78 %	-	-	45 %	10 %

Suelo 1

En primer lugar, con los porcentajes que pasan a través de los tamices nº 200 y nº 4 se determinan las fracciones fina y gruesa, como sigue

$$\left. \begin{aligned} \text{Fracción Fina (F.F.)} &= \% \text{ pasa nº 200} = 9 \% \\ \text{Fracción Gruesa (F.G.)} &= 100 - (\text{F.F.}) = 91 \% \end{aligned} \right\}$$

y puesto que se cumple que $(\text{F.G.}) > (\text{F.F.})$ se trata de un suelo de partículas gruesas. Su primera letra según el S.U.C.S. será **G** o **S**. Para fijarla se opera según

$$\% \text{ pasa nº 4} = \% \text{ arena} + (\text{F.F.}) \Rightarrow \% \text{ arena} = 75 - 9 = 66 \%$$

Además,

$$(\text{F.G.}) = \% \text{ arena} + \% \text{ grava} \Rightarrow \% \text{ grava} = 91 - 66 = 25 \%$$

En este caso $\% \text{ arena} > \% \text{ grava}$, por lo que se trata de una **Arena (S)**.

A continuación se analiza la importancia que tiene la fracción fina en este suelo de partículas gruesas. Se cumple que

$$5 \% < (\text{F.F.}) < 12 \%$$

por lo que se tiene un suelo que dispondrá de simbología doble y recogerá, por un lado, su uniformidad y graduación y, por otro, las partículas predominantes dentro de la fracción fina.

Para definir si se trata de un suelo bien o mal graduado hay que analizar los valores de los coeficientes de uniformidad, C_U , y de curvatura, C_C . Será una arena bien graduada si cumple

simultáneamente las dos condiciones siguientes

$$C_U > 6 \text{ y } 1 \leq C_C \leq 3$$

y en este caso la primera de ellas no se cumple, puesto que el valor del coeficiente de uniformidad de este suelo es $C_U = 5 < 6$. Es decir, el suelo está mal graduado, por lo que la segunda letra de su simbología según el S.U.C.S. es **P**.

Para determinar el tipo de partícula fina que predomina en el suelo hay que acudir a la carta de plasticidad de Casagrande con los valores siguientes

$$\left. \begin{array}{l} w_L = 55 \% \\ I_P = w_L - w_P = 55 - 25 = 30 \% \end{array} \right\}$$

que llevados a la carta de Casagrande proporcionan un punto por encima de la “línea A”. Es decir, predomina la arcilla, **C**, en la fracción fina del suelo.

En definitiva, la simbología internacional del suelo es **SP-SC**, y su denominación extendida

Arena mal graduada con arcilla y con grava

en donde se ha añadido “con grava” porque $\% \text{ grava} > 15 \%$.

Suelo 2

En primer lugar, con los porcentajes que pasan a través de los tamices nº 200 y nº 4 se determinan las fracciones fina y gruesa, como sigue

$$\left. \begin{array}{l} \text{Fracción Fina (F.F.)} = \% \text{ pasa nº 200} = 55 \% \\ \text{Fracción Gruesa (F.G.)} = 100 - (\text{F.F.}) = 45 \% \end{array} \right\}$$

y puesto que se cumple que $(\text{F.F.}) > (\text{F.G.})$ se trata de un suelo de partículas finas. Su primera letra según el S.U.C.S. será **M** o **C** y se determinará más adelante. No se contempla la opción de fracción fina orgánica porque únicamente se ha determinado un límite líquido. Ahora se pueden obtener los porcentajes de arena y grava de este suelo según

$$\% \text{ pasa nº 4} = \% \text{ arena} + (\text{F.F.}) \quad \Rightarrow \quad \% \text{ arena} = 78 - 55 = 23 \%$$

Además,

$$(F.G.) = \% \text{ arena} + \% \text{ grava} \Rightarrow \% \text{ grava} = 45 - 23 = 22 \%$$

Para definir si en este suelo de partículas finas predomina el limo, **M**, o la arcilla, **C**, se acude a la carta de plasticidad de Casagrande con los valores siguientes

$$\left. \begin{array}{l} w_L = 45 \% \\ I_p = w_L - w_p = 45 - 10 = 35 \% \end{array} \right\}$$

que llevados a la carta de Casagrande proporcionan un punto por encima de la “línea A”. Es decir, predomina la arcilla, **C**, en la fracción fina del suelo.

Además, como $w_L = 45 \% < 50 \%$, el símbolo internacional del suelo es **CL**. Para acabar de definir su denominación extendida es necesario analizar en mayor detalle la fracción gruesa. En ella se cumple

$$50 \% > (F.G.) > 30 \%$$

Además,

$$\% \text{ arena} > \% \text{ grava} > 15 \%$$

por lo que finalmente, el suelo recibe el nombre de

Arcilla ligera arenosa con grava

EJERCICIOS RESUELTOS

Clasificar el siguiente suelo según el sistema A.A.S.H.T.O.

Pasa nº 200	w_L	w_p
40 %	70 %	30 %

La proporción de fracción fina (F.F.) de este suelo coincide con lo que pasa a través del tamiz nº 200, por lo que **(F.F.) = 40 %**, valor que, al ser superior al 35 %, indica que se trata de un suelo de partículas finas según la clasificación A.A.S.H.T.O., dentro de la cual se encuentran los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, este último dividido en dos subgrupos, A-7-5 y A-7-6.

Las diferencias entre los grupos vienen dadas por los valores del límite líquido, w_L , y del índice de plasticidad, I_p , que en este caso valen

$$\left. \begin{array}{l} w_L = 70 \% \\ I_p = w_L - w_p = 70 - 30 = 40 \end{array} \right\}$$

Con estos datos, el suelo únicamente puede pertenecer al grupo A-7. Además, como se cumple que

$$I_p = 40 = w_L - 30 = 70 - 30$$

se trata del subgrupo A-7-5.

El índice de grupo se determina mediante la expresión arriba indicada, en donde

$$F \equiv (F.F.) = 40 \%$$

con lo que sustituyendo valores se obtiene

$$GI = 9'25$$

que se redondea al entero más cercano. En definitiva, según la A.A.S.H.T.O., este suelo se clasifica como

A-7-5 (9)
