

1. Movimiento de suelos

1.1. Generalidades

Lo primero que debemos estudiar son dos características del suelo: la granulometría y los límites de Atterberg. Además se deben conocer las características geotécnicas del suelo, tales como la densidad de suelo seco D_{ss} , humedad del suelo, límite líquido LL , límite plástico LP y el índice de plasticidad $IP = LL - LP$.

Conociendo las propiedades anteriores podemos encontrar si el material es granular, sea canto rodado, grava, arena gruesa o arena fina, o si es un material cohesivo, sea un limo o una arcilla.

1.1.1. Límites de Atterberg

Existen tres límites de Atterberg, que nos permiten clasificar el suelo cohesivo.

Límite plástico se realiza con la porción de suelo que pasa el tamiz N°40. Se define como el más bajo contenido de humedad con el que al ser moldeado en barritas cilíndricas de menor diámetro cada vez, comienza a agrietarse cuando las barritas tienen 3 mm.

Límite líquido es la menor humedad a partir de la cual el suelo se comporta como un líquido. Se define como el más bajo contenido de humedad para que las dos mitades de una pasta de suelo de 1 cm de espesor fluyan y se unan en una longitud de 12 mm en el fondo de la muesca que separa las dos mitades cuando la cápsula que la contiene es golpeada 25 veces desde una altura de 1 cm a dos golpes por segundo.

Límite de contracción es la humedad para la cual el suelo no se contrae cuando la humedad baja de ese punto.

1.1.2. Clasificación de suelos HRB

Es equivalente al método AASHTO, y cuenta con siete grupos principales, que van desde el A-1 al A-7. Este método se desarrolló para la construcción de caminos. Los grupos están agrupados por granulometría, límite líquido e índice de plasticidad. También se puede obtener el índice de grupo con la siguiente fórmula:

$$IG = (F - 35) * (0,2 + 0,005 * (LL - 40)) + 0,01 * (F - 15) * (IP - 10).$$

Donde F es el porcentaje que pasa el tamiz N°200.

En general, podemos distinguir lo siguiente en cuanto a la calidad de los materiales para las tareas de caminos:

- **A-1 a A-3:** excelente a buen material para subrasante.
- **A-4 a A-7:** regular a pobre material para subrasante.

1.2. Reconocimiento del terreno

1.2.1. Zanjas y calicatas

Podemos dar como ejemplo las **calicatas, zanjas y pozos**. Son un sistema simple y efectivo que nos permite la observación *in situ* del terreno. Es un método válido para profundidades de hasta 5 m de profundidad. El método es ideal para terrenos duros y para arcillas expansivas, ya que permite la determinación del nivel freático con precisión. Este tipo de ejecución además requiere entibaciones para $h \geq 1.5$ m.

1.2.2. Sondeos

Por otro lado tenemos los **sondeos**, que son perforaciones de pequeño diámetro y de gran profundidad. Se pueden obtener por rotación, percusión o por presión.

Es un requisito un espaciamiento entre auscultaciones de 500 m para terraplenes y de 250 m para desmontes.

1.3. Compactación

La compactación consiste en la reducción del volumen del suelo mediante la aplicación de energía mecánica. Este tema requiere un punto especial de estudio mediante ensayos como el **Ensayo Proctor**, que nos permite la elaboración de un diagrama del que se pueden obtener los valores de la humedad óptima H_{opt} y la densidad Proctor máxima δ_{max} .

En este tema es importante el concepto de **valor soporte**, que será definitorio en la capacidad portante en el suelo como se ve en la imagen.

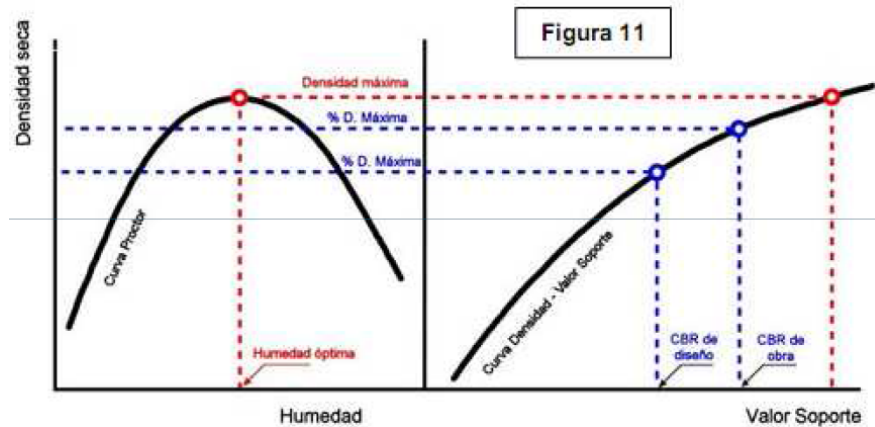


Figura 1: Relación entre Proctor y Valor Soporte

Esto muestra las grandes diferencias que pueden llegar a provocar pocos puntos de diferencia en la densidad deseada en la capacidad de soportar cargas del suelo.

1.3.1. Control de compactación

Algunos métodos para la verificación de la compactación del suelo es con el *método del cono de arena*, que consiste en obtener el volumen de un suelo en el lugar gracias a la comparación con una arena de densidad conocida.

El ensayo se esquematiza en la imagen.

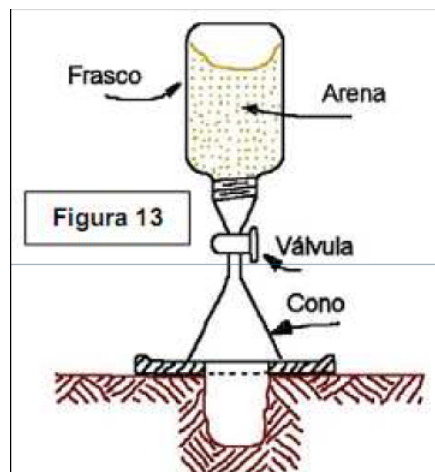


Figura 2: Cono de arena

Sin embargo, también existe otros **ensayos no destructivos**, como la medición directa o por retrodispersión.

1.4. Valor soporte CBR

El **CBR** de un suelo es la relación en % entre el esfuerzo necesario para penetrar un pistón de dimensiones dadas a una velocidad prefijada hasta una profundidad determinada en la muestra

del suelo analizado y la presión correspondiente para la penetración en una muestra patrón con características ideales. Su valor depende en gran manera de:

- Características físico químicas del suelo.
- Densidad seca.
- Forma de compactación.
- Humedad con el que fue compactado.
- Humedad al momento del ensayo.
- Sobrecarga aplicada en el momento del ensayo.

En principio, la **humedad de compactación** generará un cambio significativo en el valor de CBR, mientras que la **sobrecarga** aumenta el CBR en los suelos friccionales.

1.4.1. Correlación y valores orientativos

El valor del CBR nos permite hacer las siguientes correlaciones:

- Resistencia $kg/cm^2 \approx 100 * CBR$.
- Hinchamiento $\leq 2\%$ no presenta problemas.
- Se requieren ciertos valores para el paquete estructural:
 - Base: $CBR \geq 40\%$
 - Subbase: $CBR \geq 40\%$
 - Subrasante buena: $CBR \sim 8\%$
 - Subrasante regular: $1\% \leq CBR \leq 5\%$

1.4.2. Módulo de reacción de la subrasante k

El módulo de reacción de la subrasante se define como la **relación** entre la presión aplicada mediante un plato de sección dada, a la rasante y la penetración o deflexión resultante. Éste módulo mide la resistencia (o capacidad soporte) del material de subrasante a ser comprimido bajo la acción de las cargas transmitidas al suelo.

Para su determinación, la presión del plato debe ser **similar** a la utilizada en el pavimento en servicio. Además, el valor de k dependerá en gran medida del **diámetro del plato**.

1.5. Suelos expansivos

1.6. Rendimiento de los equipos

Comentario 1 los trabajos requieren varios equipos trabajando de forma simultánea. El ideal es que todos los equipos trabajen eficazmente y con continuidad, pero esto no es fácil, por lo que los valores obtenidos no son necesariamente reales. Esto nos indica que los rendimientos calculados de forma individual no son valores reales, sino que es necesario encontrar rendimientos para grupos de equipos.

Comentario 2 la organización de un *kit* de equipo de máquinas es el objetivo del ingeniero. Esta situación irá variando durante el transcurso de la obra.

Comentario 3 las empresas tienen los equipos que tienen. Esto implica que nos tenemos que ajustar a los rendimientos de equipos disponibles.

[Clase 20210422](#)