



## Preparación del suelo para pavimentar con euroadoquines

En primer lugar se debe identificar el tipo de suelo. Aunque un simple examen visual permita determinarlo con cierta aproximación, hay que completar la descripción con un examen granulométrico y una determinación de los límites de Atterberg.

Como el suelo está compuesto de partículas de dimensiones variables, el análisis granulométrico permite estudiar el tamaño de estas partículas y medir la importancia que tendrán según la fracción de suelo que representen.

Este tipo de análisis se realiza por tamizado, o por sedimentación cuando el tamaño es muy pequeño (por debajo de los 0,08 mm, tamiz N 200 según la serie A.S.T.M.). Según esto, puede haber elementos gruesos, gravas, arenas, limos y arcillas (fig. 1).

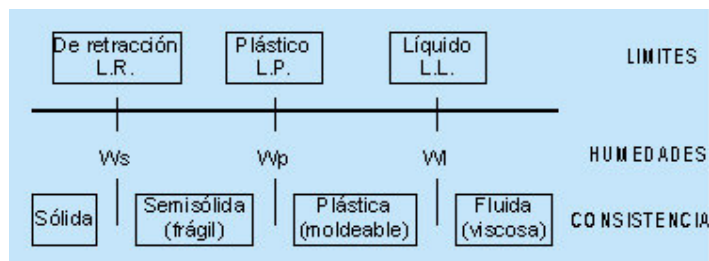
| Partículas | Bloques | Gravas | Arenas            |       |       | Limos             |       |       | Arcillas  |
|------------|---------|--------|-------------------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-----------|
|            |         |        | gruesa            | media | finas | grueso            | medio | fino  |           |
|            |         | 10     | 2                 | 0,6   | 0,2   | 0,06              | 0,02  | 0,006 | 0,002 (*) |
|            |         |        | Por tamizado 0,08 |       |       | Por sedimentación |       |       |           |

(\*) Tamaño de las partículas en mm. Tamices serie UNE.

Si bien es suficiente realizar un análisis granulométrico para gravas y arenas, cuando se trata de arcillas y limos, turbas y margas, el estudio se debe completar con ensayos que definan de una forma muy clara la plasticidad del material.

### Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg definen los contenidos de agua característicos por los que una arcilla determinada, triturada, alcanza diferentes estados de consistencia relativa (fig. 2)



y se expresan de la siguiente forma:

- Límite líquido, L.L.: contenido de agua de una pasta arcillosa por encima del cual pasa del estado plástico al líquido.
- Límite plástico, L.P.: contenido de agua de una pasta amasada por debajo del cual pasa del estado plástico al semisólido.
- Límite de retracción, L.R.: representa el contenido de agua de una pasta amasada por debajo del cual pasa del estado semisólido al sólido. Es poco utilizado.

En todos los puntos anteriores, el contenido de agua se expresa como agua natural de la muestra inalterada en tanto por ciento del peso seco ( $w$  (%)).

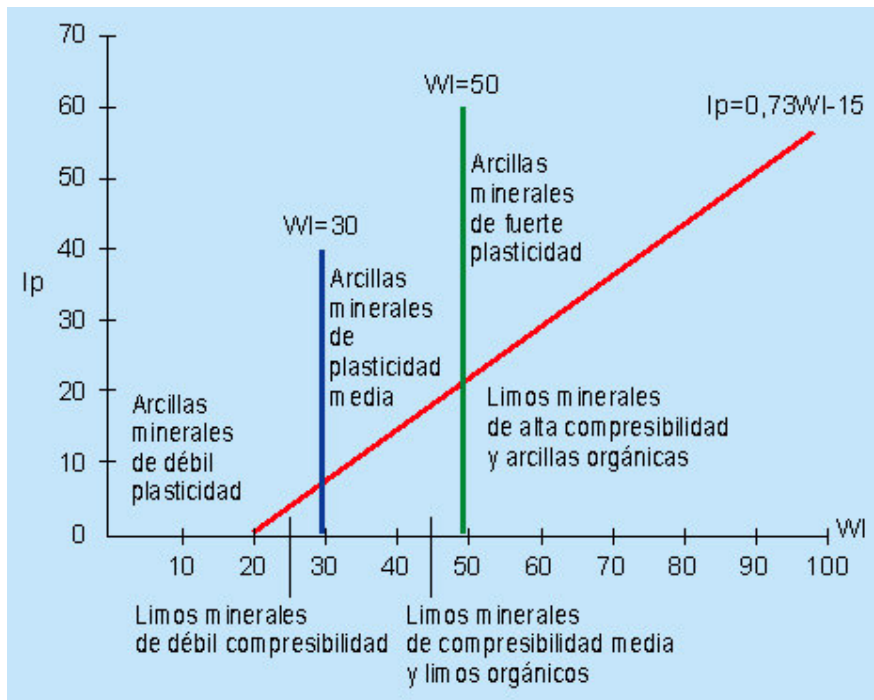
- Índice plástico,  $I_p$ : es la diferencia entre los límites líquido y plástico.

$$I_p = w_l - w_p$$

Según una primera aproximación a los límites de Atterberg, nos encontramos con la clasificación que se indica en la tabla 1.

|          | $w_l$           | $I_p$          |
|----------|-----------------|----------------|
| Arenas   | $w_l < 35$      | $I_p < 15$     |
| Limos    | $20 < w_l < 60$ | $5 < I_p < 25$ |
| Arcillas | $w_l > 30$      | $I_p > 15$     |

Asimismo, Casagrande confeccionó un ábaco de plasticidad (fig. 3) donde clasifica los suelos coherentes en ocho grandes grupos que, si bien es interesante, resulta insuficiente en la mayoría de los casos, porque los suelos naturales son mezclas, de forma que en los límites de Atterberg influyen diversos factores, como la presencia de materia orgánica o cales, que pueden hacerlos variar.



### Densidad del suelo

De la misma manera, en la ejecución de estas obras se requieren ensayos que indiquen la densidad del suelo o el grado de compactación necesario para obtener la combinación óptima de propiedades deseables para el problema.



Existen muchos y variados ensayos de laboratorio que determinan la densidad máxima (o el peso específico) y la influencia del contenido de la muestra en la obtención de los resultados, cada uno de los cuales tiene la finalidad de reproducir algún tipo de compactación "in situ". Por lo general, en los ensayos de laboratorio se suelen obtener humedades óptimas inferiores a las obtenidas "in situ", pero variando el método de laboratorio se puede conseguir una mejor correlación entre ambos.

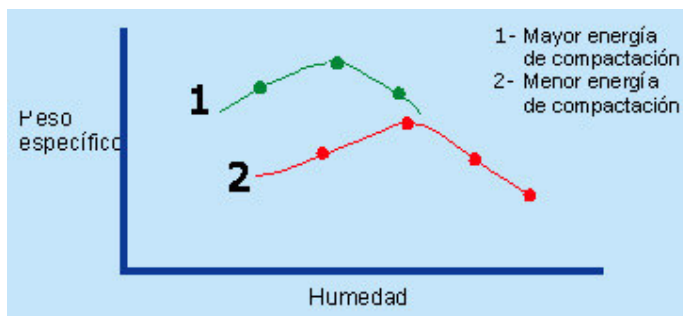
El "apisonado Próctor" es uno de ellos. Consiste en apisonar el suelo con un molde, extendiéndolo en dos capas o tongadas y compactando cada una con una maza metálica.

Si el ensayo se realiza varias veces y se trasladan los resultados calculados a la densidad seca y la humedad a un gráfico, en la curva obtenida se aprecia que, al aumentar la humedad de moldeo de la muestra, el peso específico seco aumenta hasta un máximo, disminuyendo después. El peso específico y el contenido de humedad para el punto máximo de la curva se denominan, respectivamente, peso específico seco máximo y humedad óptima (para este tipo concreto de compactación y la energía correspondiente).

### Importancia de la energía

Cuando la energía de compactación que se utiliza es mayor, el ensayo se conoce como de "apisonado Próctor modificado".

La relación humedad-peso específico para un suelo determinado depende del grado y el tipo de compactación como se aprecia en la figura 4, cuanto mayor es la energía de compactación (curva 1), mayor es el peso específico y menor la humedad óptima.



Tras numerosos ensayos con diferentes clases de materiales, se ha podido observar lo siguiente:

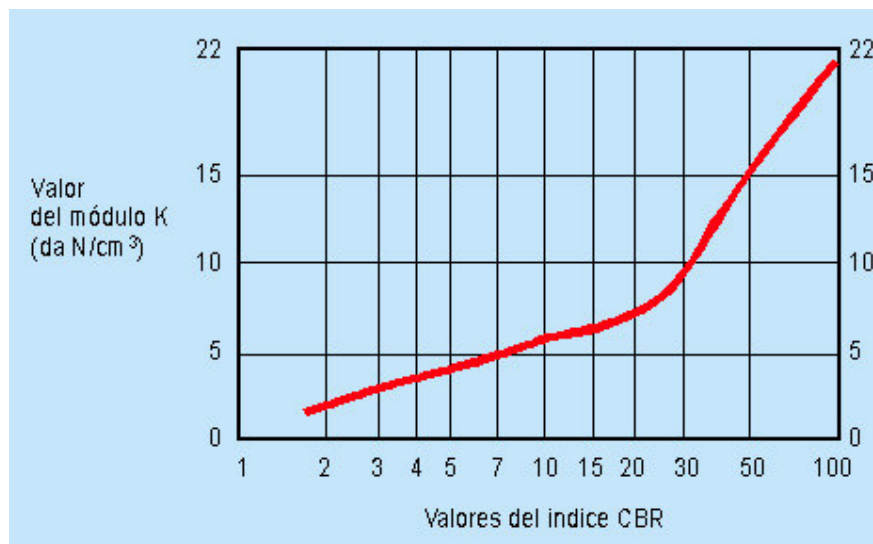
- Los suelos granulares no responden a las variaciones en la humedad y en la energía de compactación en la forma en que lo hacen los suelos de grano fino. En los suelos sin cohesión, para humedades bajas se obtienen pesos específicos muy bajos, debido a que las fuerzas capilares se oponen a la reorganización de los granos de arena.
- Aumentando la energía de compactación y con la humedad dada, se consigue que las partículas que conforman la estructura de un suelo se reorganicen de una forma más ordenada y con una distribución aproximadamente paralela.
- Los esfuerzos totales y las presiones intersticiales de un suelo pueden variar considerablemente por efecto de la compactación.
- Según pruebas realizadas por Lambe, el aumento de la energía de compactación en un suelo de grano fino reduce la permeabilidad, al aumentar el peso específico seco, disminuyendo así los vacíos disponibles para el flujo del agua.
- Cuando se ejecuta un pavimento o estructura cualquiera, se debería tener en cuenta no sólo el comportamiento del suelo compactado, sino también el comportamiento del suelo bajo el pavimento terminado.

## Indice de CBR

Otro factor importante, indicativo de la respuesta que puede dar un determinado tipo de suelo ante la colocación de un pavimento de euroadoquines, es el índice de CBR, que permite diseñar de acuerdo con los resultados que se obtengan.

El índice CBR (California Bearing Ratio) se utiliza para evaluar la capacidad portante de los suelos de explanaciones, aunque también es aplicable a capas de base y subbases de firmes. Se define como el tanto por ciento de presión ejercida por un pistón sobre el suelo, para una penetración determinada, con relación a la presión correspondiente a la misma penetración en una muestra (NLT-111/87).

Por otro lado, se puede llegar a relacionar módulos característicos del suelo, lo que permite conocer sus propiedades de una manera más concreta, como el módulo elástico E o el de deformación del suelo (K), con el índice CBR (Fig. 5).



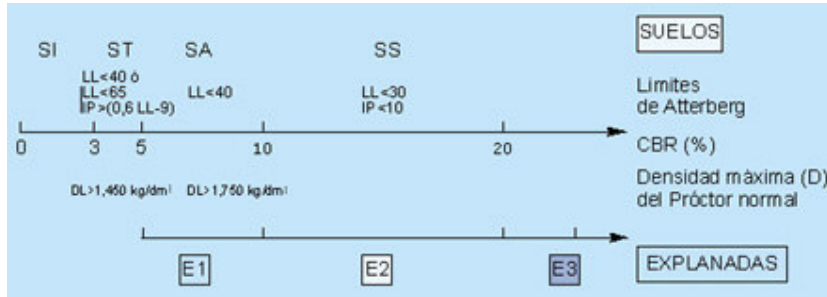
En la figura 5 se puede observar que el valor del módulo K aumenta considerablemente cuando el valor del índice CBR es mayor de 20. Es decir, cuando la explanada tiende a ser poco deformable.

## Conclusiones

De acuerdo con lo comentado, se pueden relacionar el tipo de explanada, el índice CBR, el ensayo Próctor y los límites de Atterberg, con los tipos de suelo, que según el PG 3 (1975) se clasifican en: suelos inadecuados (SI), tolerables (ST), adecuados (SA) y seleccionados (SS). Quedaría de la siguiente manera:

- Explanada deformable, E1: 5 menor o igual CBR <10
- Explanada poco deformable, E-2: 10 menor o igual CBR <20
- Explanada muy poco deformable, E3: 20 menor o igual CBR

En la fig. 6 se observa que las explanadas consideradas para el cálculo de secciones (E1, E2, E3), se relacionan con los suelos aceptables y seleccionados. Cuando el índice CBR correspondiente se encuentra por debajo del 5% se debe proceder a un tratamiento de mejora del mismo.



Con los resultados de estos ensayos se obtienen las características que deben cumplir las explanadas, las bases y las subbases que conforman un pavimento de euroadoquines para su correcto comportamiento bajo un tráfico determinado.