

## LA IMPORTANCIA DE CONTENIDO DE AGUA

### LOS PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA COMPACTACIÓN DE SUELOS

En el proceso de la compactación de suelos el agua es de suma importancia. Las características físicas de cada tipo definen cómo reacciona con la humedad. Por cada material hay un contenido de humedad que maximiza sus propiedades para diseñar cierta compactación. En general, mientras más pequeñas sean las partículas, mayor influirá el agua sobre la compactación.

Es difícil trabajar con el material de un suelo con poco contenido de humedad debido a que sus partículas carecen de la lubricación necesaria para reorganizarlas en un estado más denso. Además, las partículas no tendrán la cohesión suficiente para permanecer en donde se hayan asentado.

La adición de agua mejora la cohesión y lubricación; el exceso de ésta puede ocasionar la saturación.



Cuando el suelo se satura los vacíos se llenan con agua y debilitan la capacidad de resistencia a la carga de la estructura. Las partículas también se sobre lubrican y desplazan con facilidad.

Para dar un ejemplo de qué tanto el agua afecta las propiedades del diseño de un suelo, imagine que se encuentra construyendo un castillo de arena en la playa. El agua en la arena proporciona la cohesión suficiente que se requiere para moldear paredes gruesas y torres altas. Ahora imagine que se encuentra construyendo el mismo castillo en un desierto. La aridez de la arena desértica carece de cohesión y dificulta el manejo de los montículos de arena.



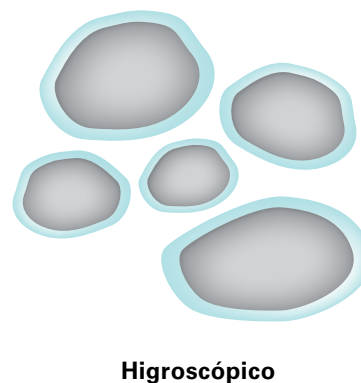
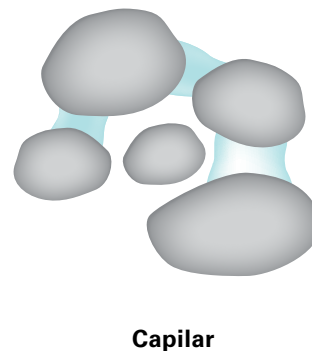
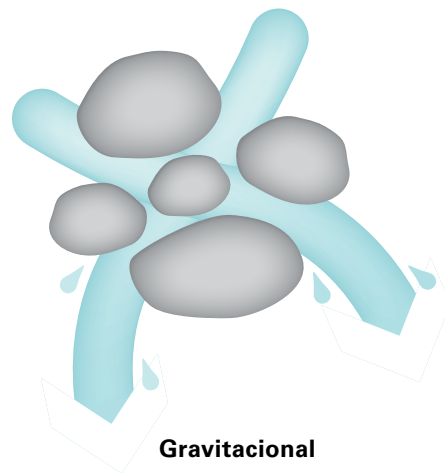
El agua también tiene otros efectos. Debido a que es resistente a la compresión, puede desplazar los materiales del suelo y ocasionar inestabilidad. El agua congelada expande y desplaza el suelo a su alrededor. Al derretirse ocupa menor volumen, crea espacio y permite que haya asentamiento.



El agua está presente en todos los suelos (en sus estados naturales) y en una de las siguientes tres maneras.

1. El agua gravitacional se desplaza libremente hacia abajo debido a la fuerza de gravedad y se drena del suelo de manera natural.
2. El agua capilar permanece en los poros o vacíos del suelo. Se le considera agua libre y solo se puede eliminar mediante la evaporación o reducción del nivel freático.
3. El agua higroscópica es la que permanece en el suelo después de haber eliminado el agua gravitacional y capilar. Esta agua es retenida por la afinidad física y química de los granos del suelo en forma de una película muy delgada. A este contenido de humedad también se le conoce como "aire-seco". La eliminación de humedad requiere que el suelo se hornee y de esta manera poder determinar el peso seco real.

La humedad en exceso sobre lubrica el suelo y lo hace inestable. La poca humedad reduce la cohesión y evita que las partículas se organicen fácilmente para lograr un estado más denso. Para cada tipo de suelo existe un contenido de humedad ideal para alcanzar la máxima densidad posible por medio de la cantidad adecuada de energía de compactación. El ensayo Proctor se desarrolló como medio para definir el contenido óptimo de humedad con base en los esfuerzos de compactación seleccionados.



## EL ENSAYO PROCTOR

Siempre se ha entendido la importancia que la compactación de la base y sub-base tienen. Pero no fue sino hasta en 1933 que Ralph R. Proctor de la Oficina de Servicios de Agua en Los Ángeles desarrolló un método estandarizado para determinar el contenido óptimo de humedad en el material y su correspondiente densidad seca máxima. El Ensayo Proctor utilizaba un ariete operado manualmente para compactar tres capas de suelo colocadas en un cilindro confinado.

El procedimiento Estándar determina el contenido óptimo de humedad en un material que permita producir la densidad seca máxima mediante la aplicación de fuerzas de compactación. El resultado obtenido se utiliza para crear especificaciones de la compactación en la obra. Debido a que las condiciones en campo no reúnen las condiciones ideales del laboratorio, a la compactación se le asigna un porcentaje de la densidad seca que se determina en el laboratorio. Tal porcentaje varía entre el 90 y el 100 por ciento.

Los Ensayos Modificados también se utilizan en relación con estructuras que requieren mayor resistencia para cargas extremadamente pesadas o limitar asentamientos. El Ensayo Modificado aplica cuando se requiere cuatro veces más energía que el ensayo Estándar y normalmente produce menor contenido "óptimo" de humedad.



Kit del Ensayo Proctor en el laboratorio

### Excediendo el 100% de densidad seca

¿Por qué la densidad que se pretende alcanzar excede el 100%? La densidad seca máxima que se establece mediante el Ensayo Proctor no es la densidad máxima en campo para un suelo en particular. La densidad seca del 100% representa la densidad máxima alcanzada en el laboratorio con base en una muestra particular, cantidad específica de fuerza de compactación y contenido ideal de humedad. Los Ensayos Proctor Estándar y Modificado utilizan diferentes pesos y producen diferentes densidades secas para la misma muestra. En campo, los "golpes" provienen de un compactador de suelos grande que aplica una fuerza diferente de la utilizada en los ensayos Proctor. No es raro que en campo se alcancen densidades entre el 100% y el 115% respecto de la densidad seca máxima que el ensayo Proctor arroja. Los ingenieros geotécnicos pueden determinar que se exceda el porcentaje de la densidad producida en el laboratorio según los requerimientos de resistencia a la carga y características del suelo.

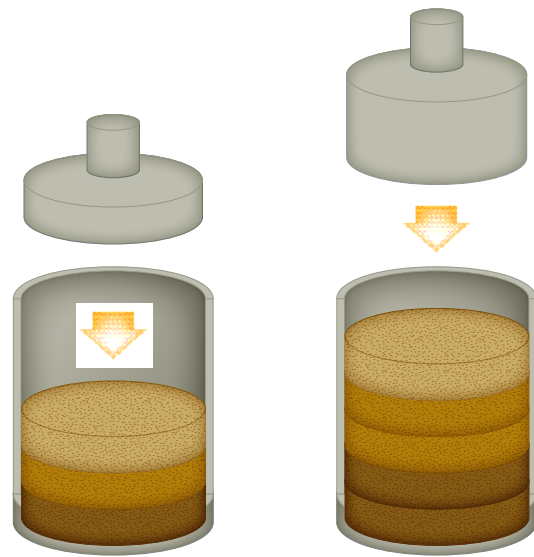
El ensayo Proctor, sea Estándar o Modificado, se efectúa cinco veces con la misma muestra de suelo. Cada ensayo que se efectúa se hace con base en el mismo procedimiento, pero con diferentes contenidos de humedad.

La serie comienza humedeciendo la muestra por debajo del contenido óptimo de humedad probable. Después de compactarla dentro de un envase cilíndrico, se mide el peso húmedo y retira una porción para colocarla en el horno. Cuando la porción queda completamente seca, se pesa nuevamente. La diferencia entre el peso húmedo y mojado produce el contenido de humedad que se expresa en porcentaje de peso seco.

La segunda muestra pasa por el mismo procedimiento (compactar, secar y pesar) pero con más contenido de humedad. Las demás pruebas se procesan de la misma manera pero con mayor contenido de humedad hasta que la unidad de peso húmedo se reduzca o que sea imposible trabajar con el suelo por exceso de humedad.

Los resultados obtenidos en cuanto a la densidad seca y contenido de humedad de cada muestra se trazan hasta formar una curva continua. El punto más alto de la curva representa la densidad seca máxima y el contenido óptimo de humedad para esa muestra.

## ENSAYOS PROCTOR



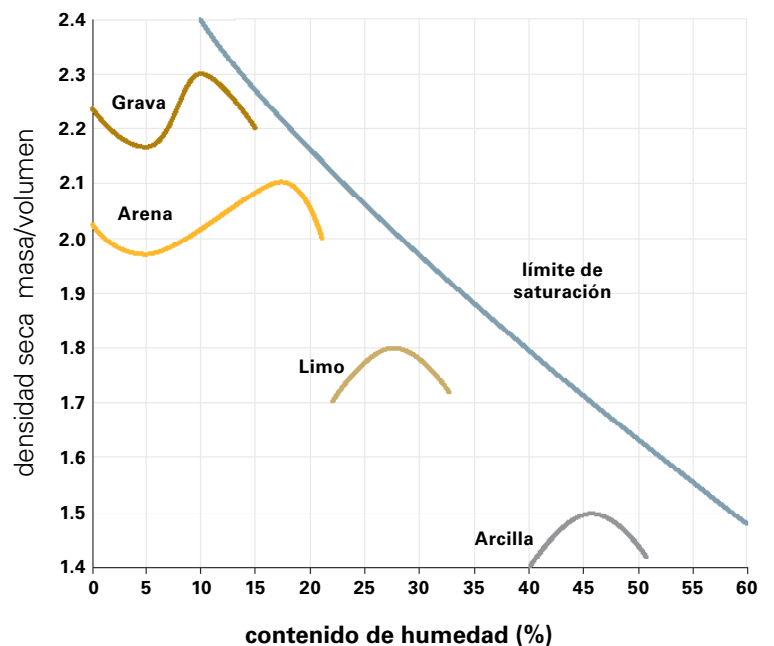
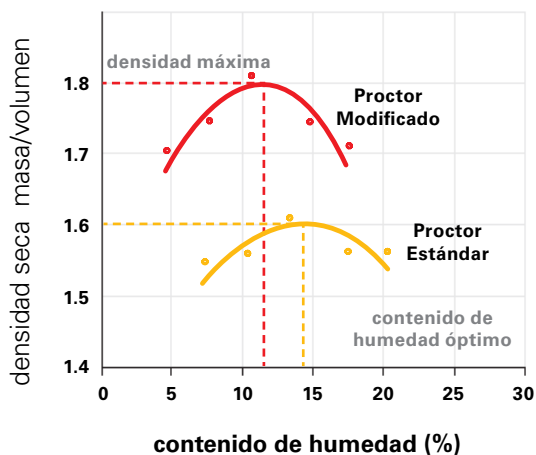
**Estándar**

Cada capa recibe 25 golpes de un martillo de 2.5 kg (5.5 lbs.) a una distancia de 305 mm (12 in.)

**Modificado**

Cada capa recibe 25 golpes de un martillo de 4.5 kg (10 lb) a una distancia de 457 mm (18 in.)

## CURVAS PROCTOR

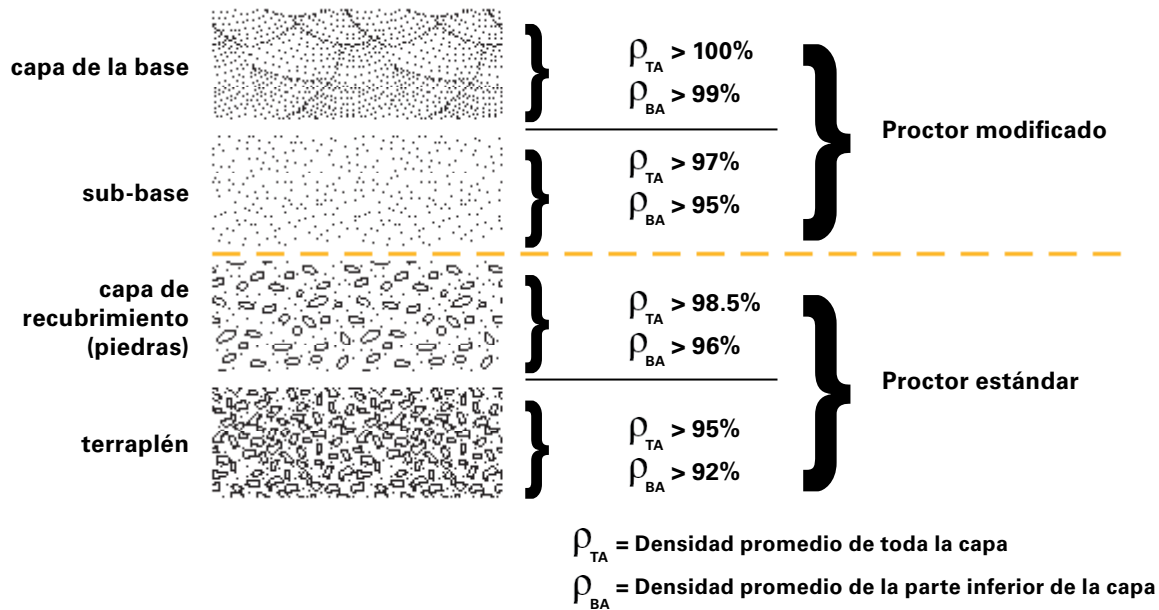


Las pruebas de laboratorio determinan el contenido de humedad que le permita a un material alcanzar su máxima densidad. Las densidades que se pretenden alcanzar en campo se especifican con base en los porcentajes obtenidos en laboratorio para las densidades secas máximas. En general,

las densidades requeridas en campo serán 95% del Ensayo Estándar para terraplenes y hasta 100% del Ensayo Estándar para terraplenes y hasta 100% del Ensayo Modificado para carreteras. Asimismo el contenido de humedad deberá estar dentro de un rango que determine el laboratorio.

## DENSIDADES A ALCANZAR

Este ejemplo muestra que a mayor cercanía del material a la superficie, mayor densidad.



Esta imagen de la gradiente de compactación compara la densidad promedio de toda la capa ( $\rho_{TA}$ ) con la densidad promedio de la parte inferior de la capa ( $\rho_{BA}$ ).

