

CONTROL DE COMPACTACION EN OBRAS DE TIERRA

Por F. GUARDIA JIMENEZ
Ingeniero de Caminos,

Propone el autor ciertas modificaciones en la aplicación del método de compactaciones, expuesto por D. Buenaventura Escario en nuestro número del pasado mes de junio.

En el número correspondiente al pasado mes de junio de la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, publica D. Buenaventura Escario un artículo en que se propone un método rápido de control de compactaciones, de extraordinario interés, por cuanto nos dispensa de la determinación de humedades, permitiendo la obtención de resultados muy rápidamente en obra. En aquel artículo reconoce Escario un pequeño error teórico en su método que evalúa con abundancia de ensayos, realizados en distintas obras, llegando a la conclusión de que el margen de error cometido es despreciable.

Se expone a continuación el método a seguir para suprimir aquel error y para mayor claridad seguiremos el desarrollo total del problema desde su iniciación en el ensayo de Proctor, haciendo resaltar lo elemental del razonamiento, que es puramente teórico a partir del empirismo de la curva de Proctor.

Método normal.

El primer paso para estudiar la estabilidad de terraplenes lo da el ensayo de Proctor, sobradamente conocido, que liga la densidad seca (la densidad seca mide la compactación para un suelo determinado) con la humedad de un suelo, para una energía de compactación constante. La curva obtenida en el ensayo presenta un máximo cuyas coordenadas son la humedad óptima y la densidad máxima Proctor, h_p y d_p , respectivamente. Si llamamos d a la densidad seca obtenida en obra (determinada normalmente por el método de la arena) la relación de compactación es:

$$100 \frac{d}{d_p}$$

se exige que esta relación esté comprendida entre 95 y 100; con estas cifras se ha comprobado que los terraplenes soportan el tráfico normal sin presentar asentamientos apreciables. Ahora bien, como señala Escario, este método, exige la realización del ensayo de Proctor para cada muestra, obteniéndose los resultados con un retraso incompatible con la buena marcha de las obras.

Método propuesto por Escario.

Consiste en obtener la relación de compactación en función de las densidades húmedas. Para ello se parte de la muestra de tierra con su humedad en obra:

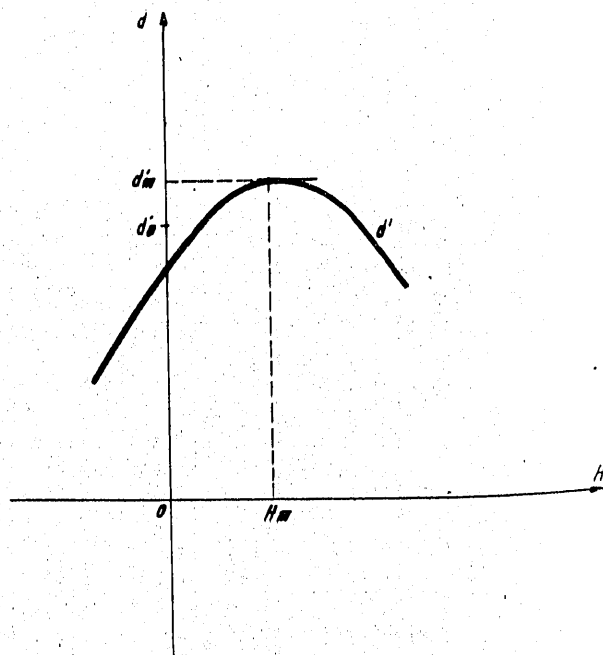
1.º Por el método de la arena se determina la densidad *in situ* húmeda: d'_0 ; las correspondientes densidad seca d_0 y humedad h_0 son desconocidas pero cumplen la igualdad:

$$d'_0 = (1 + h_0) \cdot d_0 \quad [1]$$

h_0 medida en tanto por uno referida a peso seco.

2.º Con muestras del mismo suelo y añadiendo distintas proporciones de agua, medida en humedad H (en tanto por uno respecto al peso del suelo con su humedad inicial h_0), se realiza el ensayo de compactación Proctor con el que se obtiene la curva de densidades húmedas d' en función de la humedad añadida H . La curva se representa en la figura 1.ª y presenta un máximo de coordenadas H_m y d'_m .

Por otra parte, si llamamos d a la densidad seca



que corresponde a la densidad húmeda d' , se verifica:

$$d' = (1 + h_0) \cdot (1 + H) \cdot d. \quad [2]$$

Dividiendo las igualdades [1] y [2] obtenemos:

$$\frac{d_0}{d} = (1 + H) \frac{d'_0}{d'},$$

igualdad que nos liga la relación de densidades secas con la relación de densidades húmedas; multiplicando por 100 y particularizando para la máxima densidad seca (desconocida) obtenemos:

$$100 \cdot \frac{d_0}{d_p} = 100 \cdot (1 + H_p) \cdot \frac{d'_0}{d'_p}, \quad [3]$$

fórmula que nos determina la relación de compacta-

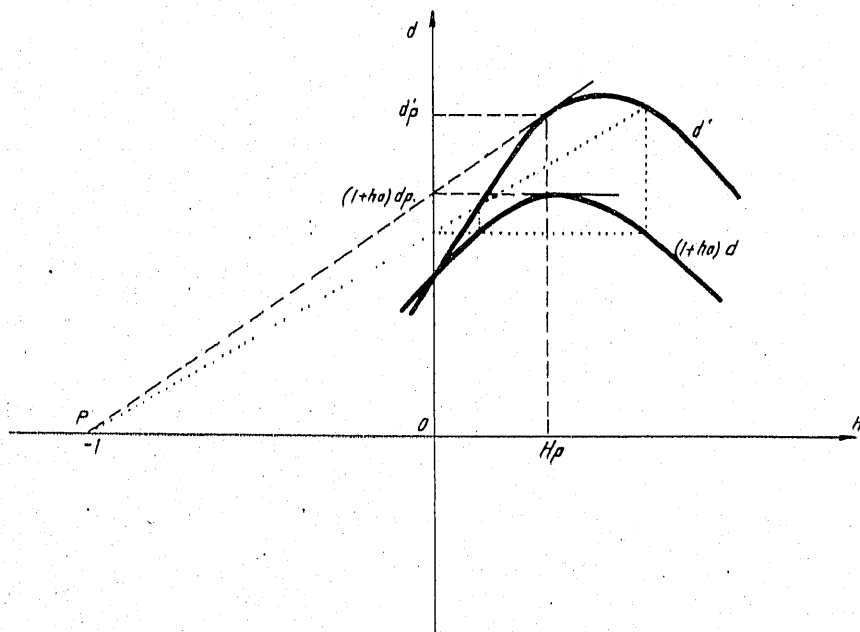
La construcción definitiva se reduce a trazar por el punto P de coordenadas $(-1, 0)$, la tangente a la curva d' ; el punto de tangencia tiene por coordenadas H_p, d'_p , que sustituidos en la fórmula [3] nos dan la relación de compactación buscada.

* * *

H puede tener valores negativos y, normalmente, interesará obtener algún punto con esta condición para poder dibujar correctamente la curva d' , pues hemos de suponer que h_0 estará próximo a la humedad óptima Proctor y, por tanto, H_p estará próximo a cero.

Como normalmente se medirá H en tanto por ciento, el punto P será el de coordenadas $(-100, 0)$.

En teoría sólo resta añadir que las curvas d fun-



ción buscada en función de d'_0, H_p, d'_p . La dificultad estriba en determinar H_p y d'_p , que son las coordenadas del punto de la curva d' que corresponde al máximo de densidad seca, al máximo de la curva d . Escario supone que el punto buscado coincide aproximadamente con el máximo de la curva d' y utiliza los valores H_m y d'_m .

Determinación exacta de H_p y d'_p .

La relación [2] nos liga d y d' ; en ella es variable H y constante h_0 . A partir de la curva d' podemos dibujar la $(1 + h_0) \cdot d$ mediante la construcción representada en la figura 2.^a; puesto que h_0 es constante, el máximo de esta curva será $(1 + h_0) \cdot d_p$; de la figura 2.^a se deduce que a este punto máximo corresponde en la curva d' el punto cuya tangente pasa por el punto fijo P .

ción de H que hemos utilizado se derivan de las normales función de h del método de Proctor por el cambio de variable

$$H = \frac{h - h_0}{1 + h_0}$$

En cuanto a la aplicación en obra del método lo estamos llevando a cabo en la Jefatura de Obras Públicas de Toledo, y en breve podremos juzgar de su eficacia. Normalmente el punto P se sale del dibujo, y en ese caso nos convendrá utilizar la curva $(1 + h_0) \cdot d$ poniendo la fórmula [3] en la siguiente forma:

$$100 \cdot \frac{d_0}{d_p} = 100 \cdot \frac{d'_0}{(1 + h_0) \cdot d_p}; \quad [4]$$

el denominador del segundo miembro es precisamente el máximo de aquella curva.