

## Densidad máxima y humedad óptima de compactación, mediante martillo vibrante, de materiales granulares con o sin productos de adición

### 1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION

Este método sirve para determinar las densidades que se pueden conseguir en los materiales granulares o estabilizados mediante el uso de un martillo vibrante en función de la humedad de compactación. En particular se determina la densidad seca máxima y la humedad óptima correspondiente, que servirán como patrón para el control de la densidad en obra, en construcción de carreteras.

### 2 APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

- 2.1 Los mismos descritos en el apartado 2 de la norma NLT-310.
- 2.2 Cápsulas para la determinación de la humedad.
- 2.3 Una estufa de desecación regulable a 105-110 °C.
- 2.4 Unas probetas graduadas para agua con capacidad de 250 cm<sup>3</sup>.
- 2.5 Un cuarteador.

### 3 PROCEDIMIENTO

#### 3.1 Preparación de la muestra

3.1.1 Operar como se indica en la Norma NLT-101.

Separar por cuarteo de la muestra original la cantidad necesaria para que contenga unos 40 kg de material inferior al tamiz 40 UNE (ASTM 1 1/2 pulgada y núm. 4). La muestra se tamizará por dicho tamiz. Si el material granular se va a estabilizar, la muestra se mezclará con el porcentaje en peso fijado del producto de adición hasta color uniforme.

3.1.2 Dividir por cuarteo el material así obtenido al menos en cinco fracciones aproximadamente iguales. Cada fracción se mezclará con distinta cantidad de agua a fin de conseguir mezclas con escalones de humedad crecientes (ver apartado 5.1).

#### 3.2 Ejecución del ensayo

3.2.1 Se tara y anota el peso del molde, con la base y sin el collarín superior.

3.2.2 Se llena el molde en tres tongadas, cada una de ellas de un espesor compactado aproximadamente igual al tercio de la altura del mismo. Se compacta cada una de estas tongadas con el martillo vibrante durante un tiempo de  $20 \pm 2$  segundos, según el procedimiento descrito en la Norma NLT-310.

3.2.3 Una vez enrasada la probeta, se pesa el conjunto y se anota su peso con aproximación de 1 g. A continuación se saca la probeta compactada del molde, haciendo uso de un extractor si es necesario. Se corta por la mitad y se toma de la zona central una muestra representativa de unos 500 g de peso, determinándose su humedad con arreglo al método de ensayo NLT-102.

### 4 RESULTADOS

4.1 La densidad seca del material compactado en cada molde y la humedad correspondiente de apisonado para conseguir dicha densidad, se calcula como sigue:

4.1.1 Primeramente se calcula la densidad del material expresada en gramos por centímetro cúbico (densidad real  $\gamma$ ), de cada probeta compactada y enrasada. Para ello se cumple la fórmula

$$\gamma = \frac{M_2 - M_1}{v}$$

$M_2$  = masa del conjunto (material recién compactado + molde + base) según 3.2.3 expresada en gramos.

$M_1$  = masa del molde con su base.

$v$  = Volumen del molde expresado en cm<sup>3</sup>.

4.1.2 A continuación se calcula la densidad seca por la fórmula

$$\gamma_s = \frac{\gamma \cdot 100}{100 + h} \text{ g/cm}^3$$

ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS ESTABILIZADOS

DENSIDAD MAXIMA: .....

HUMEDAD OPTIMA: .....

MOLDE: .....	
NUMERO DE CAPAS .....	SUELO { UTILIZADO: MENOR QUE EL TAMIZ .....
MAZA { PESO .....	{ % SUPERIOR AL TAMIZ INDICADO .....
{ ALTURA DE CAIDA .....	{ PESO ESPECIFICO «G» .....
{ GOLPES POR CAPA .....	PRODUCTO { TIPO .....
MARTILLO VIBRANTE: TIEMPO POR CAPA .....	{ % AÑADIDO .....
	{ % FRACCION FLUIDA NO ACUOSA «m» .....

DESCRIPCION DEL MATERIAL Y OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

h = al contenido de agua en el material compactado, expresado en tanto por ciento respecto al suelo seco según 3.2.3.

4.2 Si se emplea un producto de adición líquido la densidad del material seco se obtendrá por la fórmula

$$\gamma_s = \frac{100(M_2 - M_1)}{v(100 + h + m)}$$

siendo:

$\gamma_s$  = densidad de material seco, expresada en g/cm<sup>3</sup>

$M_1$  = masa del molde sin collarín, con su base, en g.

$M_2$  = masa del molde sin collarín con su base más la probeta compactada, en g.

h = Tanto por ciento de humedad de la mezcla, referido al material seco.

		PUNTO	
DENSIDAD		$P_2$ : AGUA AÑADIDA	
	S	PESO DE LA MUESTRA DE SUELO EN g	
	A	TOTAL AGUA AÑADIDA EN $cm^3$	
	B	TOTAL ESTABILIZADOR AÑADIDO EN g	
	T	TARA = PESO MOLDE + BASE	
	P	PESO DEL CONJUNTO TARA + MEZCLA COMPACTADA EN g	
	$D_H = \frac{P - T}{V}$	DENSIDAD HUMEDA (V = VOLUMEN MOLDE)	
	$D_s = \frac{D_H \times 100}{100 + h + m}$	DENSIDAD SECA	
	HUMEDAD		REFERENCIA TARA
$P_1$		PESO DE LA CAPSULA CON LA MUESTRA ANTES DE SECAR EN g	
$P_2$		PESO DE LA CAPSULA CON LA MUESTRA SECA EN g	
$o = P_1 - P_2$		PESO AGUA EN g	
T		TARA = PESO CAPSULA EN g	
$S = \frac{(P_2 - T) \cdot 100}{100 + m}$		PESO SUELO SECO EN g	
$h = \frac{o}{S} \times 100$		$h$ : HUMEDAD	

m = Tanto por ciento de contenido no acuoso del producto de adición líquido referido al material seco en peso.

v = Volumen del molde en  $cm^3$ .

#### 4.3 Figurarán en la hoja de resultados:

- El diagrama correspondiente a la relación densidad seca-humedad, indicando los valores correspondientes a la densidad seca máxima y a la humedad óptima correspondiente.
- La cantidad de árido retenido en el tamiz 40 UNE (1 1/2 pulgada ASTM), expresando en porcentaje de la muestra total.
- Tipo de cuantía del producto de adición usado, expresado en tanto por ciento en peso de suelo seco.

## 5 OBSERVACIONES

5.1 Las humedades obtenidas deben incluir la humedad óptima, y la cantidad de agua añadida a las muestras variará por tanto con el tipo de material

utilizado en el ensayo. En general el contenido de agua mínimo aconsejable es del 3 al 5 %, con incrementos de 1 al 2 % para cada muestra sucesiva ensayada. Para aumentar la aproximación del ensayo es a menudo aconsejable reducir los incrementos en la región de la humedad óptima.

## 6 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

BS 1924/1967 «Methods of test for stabilized soils».

## 7 NORMAS PARA CONSULTA

NLT-310 «Fabricación y curado de probetas cilíndricas de materiales granulares con productos de adición compactadas con martillo vibrante».

NLT-101 «Preparación de muestra para los ensayos de suelos».

NLT-102 «Humedad mediante secado en estufa».