

Guía Básica del Ensayo Proctor

El Ensayo Proctor es el método estándar para determinar la **densidad máxima seca** y el **contenido de humedad óptimo** de un suelo compactado. Esta guía recorre sus fundamentos, equipamiento, procedimiento de laboratorio y comparativa entre sus dos variantes principales.

GEOTECNIA

COMPACTACIÓN DE SUELOS

ASTM D698 · D1557



Orígenes del Ensayo

La historia del Proctor es la historia de la ingeniería geotécnica moderna, nacida de la necesidad de controlar la calidad de las obras de tierra.

1933

Ralph R. Proctor, del Departamento de Agua y Energía de Los Ángeles, publica el método para determinar la densidad máxima de suelos.

Hoy

La relación **humedad-densidad** se convierte en la base universal de la compactación moderna de suelos.

1

2

3

1958

ASTM adopta la **prueba Proctor modificada** (norma **D1557**) para condiciones de mayor energía de compactación.

Principios Físicos detrás del Proctor

¿Qué hace el agua?

El agua actúa como **lubricante**: al aumentar la humedad, las partículas se reacomodan y la densidad seca sube hasta alcanzar un pico máximo. El exceso de agua ocupa los vacíos, **disminuyendo** la densidad seca.

Energía Específica

La energía aplicada al suelo se calcula con:

$$E_e = \frac{N \cdot n \cdot W \cdot h}{V}$$

- **N** = golpes por capa
- **n** = número de capas
- **W** = peso del martillo
- **h** = altura de caída
- **V** = volumen del molde

Proctor Estándar (ASTM D698)

Martillo **2.5 kg** · Caída **305 mm**

Proctor Modificado (ASTM D1557)

Martillo **4.5 kg** · Caída **457 mm** ·
≈ **4.5x** más energía

Equipamiento y Normas Clave

La selección correcta del molde y el cumplimiento de las normas vigentes garantizan resultados reproducibles y comparables entre laboratorios.



Molde de 4 in (100 mm)

Para suelos que pasan el **tamiz #4** (4.75 mm). Se aplican **25 golpes** por capa (estándar) o **56** (modificado).



Molde de 6 in (150 mm)

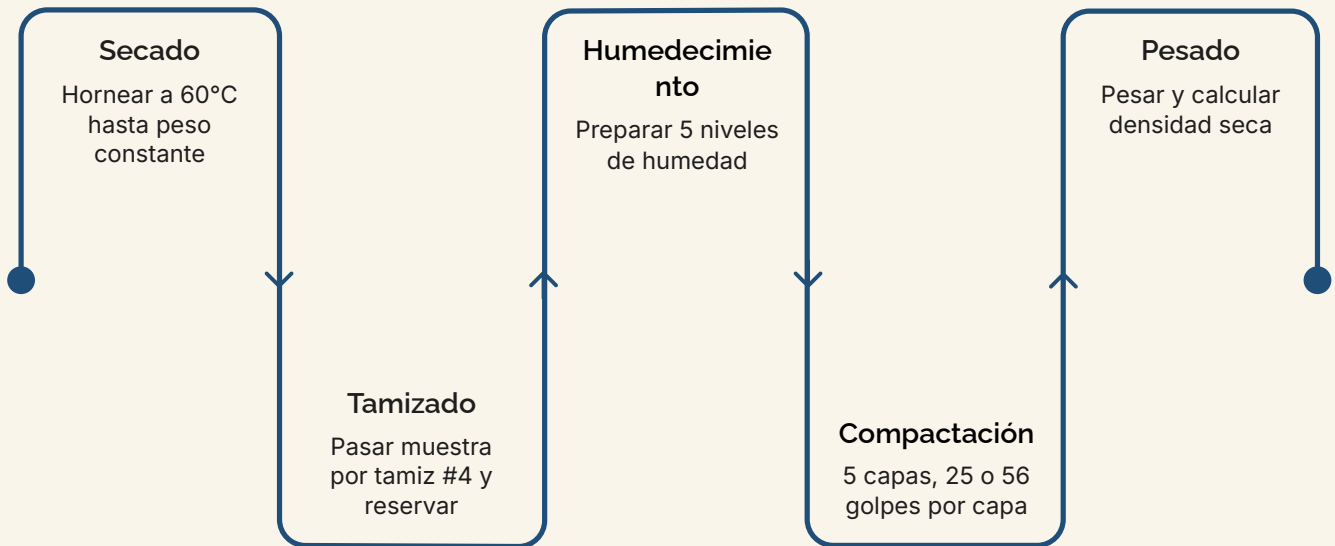
Para suelos que pasan el **tamiz ¾ in** (19 mm). Ideal para materiales granulares de mayor tamaño.



Martillo Proctor en Acción

Normas de referencia: **ASTM D698**, **ASTM D1557**, **AASHTO T 99**. Energía que transforma tierra en roca.

Procedimiento Paso a Paso en Laboratorio



Cantidades de muestra

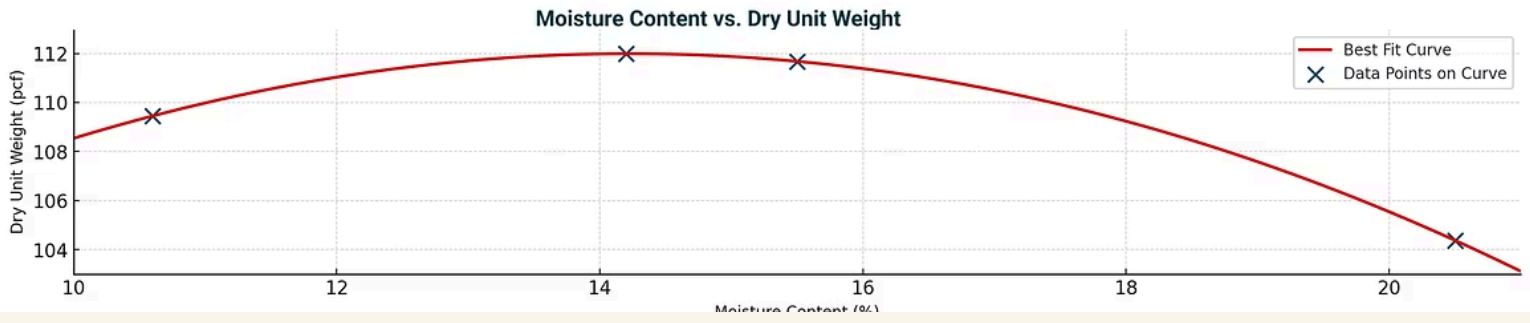
- **Molde 4 in:** secar 15 kg a 60 °C
- **Molde 6 in:** secar 30 kg a 60 °C
- Reservar fracciones gruesas para granulometría

Clave del éxito

Preparar **5 niveles** de humedad: desde $\approx 10\%$ por debajo del óptimo estimado hasta $\approx 10\%$ por encima, con incrementos regulares para definir bien el pico de la curva.

Moisture Content Decimal (K)	$\frac{w}{100}$	0.207	0.152	0.142	0.104
Moisture Content Percent	$K \times 100$	20.7%	15.2%	14.2%	10.4%
ACTIONS					

Maximum Dry Density: 111.95 pcf Optimum Moisture Content: 13.99%



Cálculos y Curva de Compactación

Fórmula de Densidad Seca

$$\rho_d = \frac{M_h - M_w}{V_{molde}}$$

El **contenido de humedad óptimo (w_o)** corresponde al punto máximo de la curva densidad-humedad.

Ejemplo Real — Suelo Arcilloso "Cañada del Río"

12.4.. 1.85

Humedad Óptima

ρ_d máx (g/cm³)

Curva trazada con **5 puntos** y ajuste polinómico de **segundo grado** para interpolar w_o con precisión.

Proctor Estándar vs. Proctor Modificado

La elección entre ambas variantes define la capacidad portante del suelo y la durabilidad de la obra civil. El caso de la **Autopista Panamericana (Ecuador, 2024)** lo demuestra con datos reales.

Energía Aplicada

Estándar: 600 J
Modificado: 2 700 J
→ 4.5× más energía

Golpes por Capa

Estándar: 25 golpes · martillo 2.5 kg · caída 305 mm
Modificado: 56 golpes · martillo 4.5 kg · caída 457 mm

Aplicación Típica

Estándar → Carreteras rurales, terraplenes de baja carga
Modificado → Autopistas de alta carga y presas

Caso de Estudio: Autopista Panamericana

Ecuador, 2024. Uso de **Proctor modificado**:

- **98 %** de densidad respecto al laboratorio
- Reducción de grietas en **30 %** frente a proyectos anteriores

