

## **Influencia de la energía de compactación en la densidad seca máxima y contenido óptimo de humedad de suelo granular**

*Influence of compaction energy on the maximum dry density and on the optimal moisture content of granular soil*

<sup>1</sup>Rosa Haydee Llique Mondragón, <sup>2</sup>Luis Andrés León Chávez

<sup>1,2</sup>Docentes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca. Av. Atahualpa 1050, Cajamarca. Perú.

**Recibido: 14-09-18**

**Aceptado: 10-10-18**

### **Resumen**

*La investigación se ha realizado con el objetivo de evaluar la influencia de la energía de compactación donde la densidad sea máxima y el contenido óptimo de humedad sea de suelo granular, para lo cual se ha elaborado 24 especímenes de suelo granular extraído de la Cantera Lucho<sup>1</sup>, distrito de Cajamarca Provincia y Región Cajamarca. Se ha realizado los ensayos de granulometría y plasticidad para clasificar al suelo mediante los sistemas SUCS Y AASHTO, y los ensayos de compactación utilizando diferentes energías de compactación correspondientes a 56 golpes, 57 golpes, 58 golpes, 59 golpes, 60 golpes y 61 golpes, obteniéndose las curvas de compactación en las cuales se determinó el contenido óptimo de humedad y densidad seca máxima. Los resultados muestran que el menor contenido óptimo de humedad de 3,40% y la mayor densidad seca máxima de 2,184 g/cm<sup>3</sup> se obtiene con la energía de compactación de 28,60 Kg-cm/cm<sup>3</sup> correspondiente a 58 golpes, concluyendo que la mayor densidad seca máxima no se obtiene a los 56 golpes por capa en suelos granulares como lo indica la norma ASTM D 1557, sino a los 58 golpes, además si se compacta con más golpes se aplica mayor energía de compactación y las partículas de suelo se fracturan y disgregan obteniéndose valores menores de densidad seca máxima.*

**Palabras Clave:** *energía de compactación, densidad seca máxima, contenido óptimo de humedad, suelo granular*

### **Abstract**

*The research was carried out with the objective of evaluating the influence of compaction energy on the maximum dry density and on the optimal moisture content of granular soil, for which 24 specimens of granular soil were prepared with soil extracted from the Lucho 1 quarry, district of Cajamarca Province and Region Cajamarca. It was carried out the tests of granulometry and plasticity to classify to the soil through of the systems SUCS AND AASHTO, and the compaction tests using different compaction energies corresponding to 56 hits, 57 hits, 58 hits, 59 hits, 60 hits and 61 hits, the results show that the lowest optimum moisture content of 3,40% and the highest maximum dry density of 2,184 g/cm<sup>3</sup> is obtained with the energy of compaction of 28,60 Kg-cm/cm<sup>3</sup> corresponding to 58 hits, concluding that the highest maximum dry density is not obtained at 56 hits per layer in granular soils as indicated by the standard ASTM D 1557 but at 58 hits, besides if compacted with more hits, more compaction energy is applied and the soil particles fracture and disintegrate, obtaining lower values of maximum dry density.*

**Key words:** *compaction energy, maximum dry density, optimal moisture content, granular soil*

## Introducción

En el estudio del proceso de compactación, los parámetros y propiedades de los suelos compactados se inicia con R.R. Proctor a mediados de 1930 con la publicación que propone un ensayo de compactación dinámica en laboratorio en el que se relaciona el contenido de humedad con la densidad del suelo, actualmente el ensayo se encuentra normalizado con variantes en la energía de compactación: Proctor estándar y Proctor modificado. (Gómez 2013). Con la energía de compactación Proctor modificado el peso específico máximo obtenido es mayor que el obtenido con la energía de compactación Proctor estándar y el contenido de humedad es menor con el Proctor modificado (Juárez 2013).

La compactación del suelo es el procedimiento a través del cual se aplica energía mecánica necesaria y se agrega contenido de humedad adecuado a la masa del suelo para reducir el volumen de vacíos expulsando el aire que ocupa los poros, y por ende el volumen total del mismo, aumentando así su densidad con el objetivo de mejorar las propiedades del suelo. El plano (densidad seca,  $\gamma_d$ ; humedad,  $w$ ) elegido por Proctor para representar los estados de compactación de un suelo permanece como plano de referencia para abordar el estudio de la compactación (Llique 2015).

La estructura del suelo afecta el hinchamiento y el colapso del suelo, en el caso de suelos compactados depende de la humedad de compactación y del nivel de energía de compactación aplicada. Para un incremento de nivel de energía de compactación se reduce el colapso y aumenta la presión ligada al colapso máximo. (Buenfil 2007, pag 40 y 41). El conocimiento de las propiedades mecánicas de los suelos compactados y de las condiciones de trabajo de los mismos para la construcción de las estructuras de tierra es indispensable para dimensionarlas y asegurar su estabilidad. (Barrera et al. 2004).

La compactación es el mejoramiento artificial de las propiedades mecánicas de un suelo y su mayor importancia está en el aumento de resistencia y disminución de deformaciones del suelo, así como reducción de la permeabilidad. En la presente investigación se realizó ensayos utilizando diversas energías de compactación, para determinar la influencia en la densidad seca máxima y el óptimo contenido de humedad.

## Materiales y método

### Materiales

Se trabajó con suelo granular, se utilizó el siguiente equipo:

- a) Para ensayos generales:
  - Equipo de granulometría: juego de tamices 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", n° 4, n° 10, n° 20, n° 40, n° 60, n° 100 y n° 200
  - Equipo de límite líquido: copa de Casagrande, ranurador, espátula cápsula de porcelana
  - Equipo de límite plástico: placa de límite plástico, capsula de porcelana.
- b) Para ensayos especiales:
  - Equipo de compactación Próctor modificado: molde cilíndrico con placa de base y collarín de extensión, martillo de 4,5 kg de peso.
- c) Para mezclado, pesado y secado de muestras
  - Bandejas de mezclado y cucharón de fondo redondeo.
  - Probeta plástica de 1000 ml.
  - Balanza electrónica de 30 kg de capacidad y 0,1 g de legibilidad
  - Balanza electrónica de 2100 g de capacidad y 0,01 g de legibilidad
  - Horno de laboratorio controlado termostáticamente a 110 C de temperatura

**Método**

(AASHTO).

- Se obtuvo una muestra representativa de suelo granular en estado suelto, se colocó en bolsas plásticas y se identificó para trasladar al laboratorio de suelos (NTP 339.151, ASTM D4220), donde se realizó los ensayos generales para determinar las propiedades físicas y clasificar el suelo; y los especiales para determinar los parámetros de compactación: densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad.
- Se realizaron los ensayos generales: análisis granulométrico combinado (NTP 339.128, ASTM 422), límite líquido y límite plástico (NTP 339.129, ASTM D4328), con los resultados se clasificó el suelo mediante el sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y el sistema American Association of State Highway and Transportation Officials

- Se realizaron los ensayos especiales de compactación Proctor modificado método C (NTP 339.141, ASTM D 1557), con los resultados se determinó el contenido óptimo de humedad ( $W_{óp}$ ) y la densidad seca máxima del suelo ( $D_{smáx}$ ) para diferentes energías de compactación.
- Se evaluó la densidad seca máxima y el contenido óptimo de humedad obtenidos con diferentes energías de compactación.

**Resultados y discusión**

En la Tabla 1 se indica el resultado del análisis granulométrico y plasticidad, con los cuales el suelo se clasifica como suelo gravoso mal gradado (GP) según la clasificación SUCS y como suelo granular A-1-a (0) según la clasificación AASHTO.

**Tabla 1.** Clasificación del suelo granular mediante sistema SUCS y el sistema AASHTO.

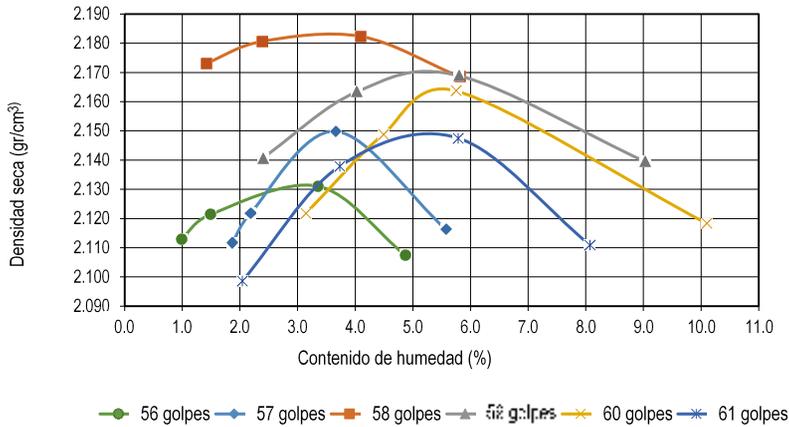
Muestra	% pasa 200	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Clasificación SUCS	Clasificación AASHTO
M1	0,41	NP	NP	NP	GP	A-1-a (0)

Con los datos de los ensayos de compactación con diferentes energías se estableció la correlación entre humedad y densidad seca

obteniéndose la densidad seca máxima y contenido óptimo de humedad para cada energía de compactación (Tabla 2 y la Fig. 1)

**Tabla 2.** Contenido óptimo de humedad y densidad seca máxima con diferentes energías de compactación.

Ensayo	Energía de compactación (Kg – cm/cm <sup>3</sup> )											
	27,61		28,10		28,60		29,09		29,58		30,08	
	Wóp	Dsmáx	Wóp	Dsmáx	Wóp	Dsmáx	Wóp	Dsmáx	Wóp	Dsmáx	Wóp	Dsmáx
1	0,99	2,11	0,99	2,11	0,99	2,17	0,99	2,14	0,99	2,12	0,99	2,10
2	1,49	2,12	2,19	2,12	2,39	2,18	4,03	2,16	4,49	2,15	3,73	2,14
3	3,35	2,13	3,66	2,15	4,10	2,18	5,80	2,17	5,75	2,16	5,79	2,15
4	4,87	2,11	5,58	2,12	5,82	2,17	9,03	2,14	10,10	2,12	8,07	2,11



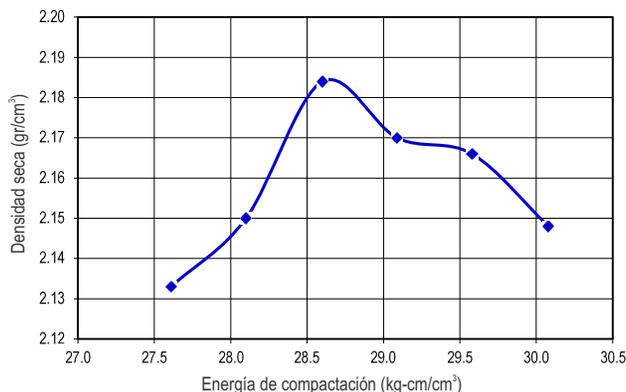
**Figura 1.** Curvas de compactación con diferentes energías de compactación

Según Tabla 3 y Fig. 2, la máxima densidad seca aumenta si se incrementa la energía de compactación hasta 28,6 Kg-cm/cm<sup>3</sup> (58 golpes) luego a mayor energía de compactación decrece debido que las gravas empiezan a

fracturarse y romperse por exceso de energía. El material en estudio no obtiene su máxima densidad seca a los 56 golpes como lo indica la norma ASTM D-1557

**Tabla 3.** Densidad seca máxima con diferentes energías de compactación.

Ensayo	Nºgolpes/capa	Energía compactación (Kg – cm/cm <sup>3</sup> )	Dsmáx (g /cm <sup>3</sup> )
1	56	27,61	2,133
2	57	28,10	2,150
3	58	28,60	2,184
4	59	29,09	2,170
5	60	29,58	2,166
6	61	30,08	2,148



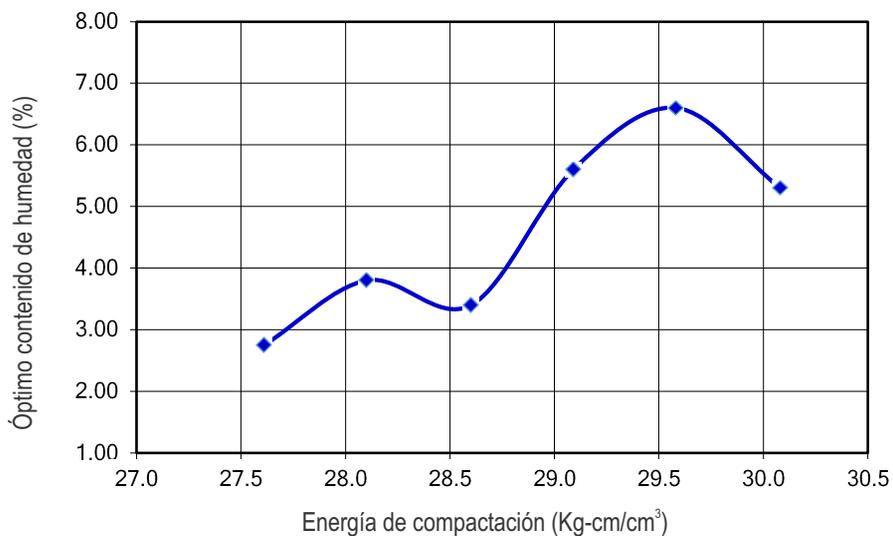
**Figura 2.** Curva energía de compactación – densidad seca máxima.

En la Tabla 4 y Fig. 3, se muestra que el óptimo contenido de humedad aumenta con el incremento de energía de compactación, el

valor mínimo se obtiene con la energía de 28,6 Kg-cm/cm<sup>3</sup> (58 golpes) que corresponde a la máxima densidad seca.

**Tabla 4.** Óptimo contenido de humedad con diferentes energías de compactación.

Ensayo	Nºgolpes/capa	Energía compactación (Kg - cm/cm <sup>3</sup> )	Wóp (%)
1	56	27,61	2,75
2	57	28,1	3,80
3	58	28,6	3,40
4	59	29,09	5,60
5	60	29,58	6,60
6	61	30,08	5,30



**Figura 3.** Curva energía de compactación – óptimo contenido de humedad.

## Conclusiones

1. Según el Sistema SUCS, el suelo estudiado es gravoso mal gradado GP y según el sistema AASHTO es un suelo gravoso A-1-a (0)
2. Los valores de la densidad seca máxima aumentan con el incremento de energía de compactación hasta 28,6 Kg-cm/cm<sup>3</sup> (58 golpes), a partir de esta energía, los valores decrecen.
3. Los valores de óptimo contenido de humedad aumentan con el incremento de energía de compactación debido que las partículas se fracturan y disgregan, el valor mínimo se obtiene con la energía de compactación 28,6 Kg-cm/cm<sup>3</sup> (58 golpes) correspondiente a la máxima densidad seca.

## Referencias bibliográficas

- Barrera, M., P. Garnica. Y F. Martínez. 2004. Influencia de la Succión en los Cambios Volumétricos de un Suelo Compactado. Instituto Mexicano del Transporte. México.
- Buenfil, C. 2007. Caracterización Experimental del Comportamiento Hidromecánico de una Arcilla Compactada. (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.
- Gómez, E. 2013. Efecto de las condiciones iniciales de compactación dinámica en la presión de preconsolidación de un suelo (Tesis de maestría) Barcelona.
- Juárez, E y Rico. 2013. Mecánica de Suelos. Tomo I Fundamentos de la Mecánica de Suelos. (6° ed) México: Limusa.
- Llique, R. 2015. Influencia de la humedad de compactación en el comportamiento volumétrico de los suelos arcillosos. (Tesis doctoral). Perú.