

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Una Institución Adventista

Incremento de la energía de compactación y su influencia en la máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad de suelos granulares de canteras en el Perú

Por:

Diana Huancas Correa

Asesor:

Fiorella Maira Zapata Antesana

Lima, Septiembre 2020

DECLARACION JURADA DE AUTORIA DE TRABAJO DE INVESTIGACION

Fiorella Maira Zapata Antesana, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente trabajo de investigación titulado: "INCREMENTO DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN Y SU INFLUENCIA EN LA MÁXIMA DENSIDAD SECA Y OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS GRANULARES DE CANTERAS EN EL PERÚ" constituye la memoria que presenta el estudiante Diana Huancas Correa para aspirar al grado de bachiller en Ingeniería Civil, cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este trabajo de investigación son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en LIMA, a los 21, septiembre del 2020.



Fiorella Maira Zapata Antesana

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a.....los.....18.....día(s) del mes de.....setiembre.....del año 2020....siendo las.....10:45.....horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a):Mg. Leonel Chahuares Paucar....., el (la) secretario(a): Ing. Ferrer Canaza Rojas..... y los demás miembros: Ing. David Díaz Garamendi.....y el (la) asesor(a)...Ing. Fiorella M. Zapata Antezana.....con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de investigación titulado: "Incremento de la energía de compactación y su influencia en la máxima densidad seca y optimo contenido de humedad de suelos granulares de canteras en el Perú". de los (las) egresados (as): a).....**DIANA HUANCAS CORREA** b).....

conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en:

.....**INGENIERÍA CIVIL**.....
(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al candidato(a/s) hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el candidato(a/s). Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): **DIANA HUANCAS CORREA**.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Líteral	Cualitativa	
APROBADO	16	B	BUENO	MUY BUENO

Candidato/a (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Líteral	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó ... al.... candidato(a/s) a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.



Presidente
Mg. Leonel Chahuares
Paucar

Secretario
Ing. Ferrer Canaza
Rojas

Asesor
Ing. Fiorella M. Zapata
Antezana

Miembro

Miembro
Ing. David Díaz
Garamendi

Candidato (a)
Diana Huancas Correa

Candidato/a (b)

Incremento de la energía de compactación y su influencia en la máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad de suelos granulares de canteras en el Perú.

INCREASED COMPACTION ENERGY AND ITS INFLUENCE ON MAXIMUM DRY DENSITY AND OPTIMAL MOISTURE CONTENT OF GRANULAR QUARRY SOILS IN PERU.

HUANCAS CORREA DIANA

EP. Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Perú.

RESUMEN

En el presente artículo se realizará una revisión de investigaciones existentes en el Perú sobre el impacto del número de golpes y su influencia en el ensayo de próctor modificado y relacionar las densidades secas máximas de un suelo granular con la mejor humedad posible, La norma ASTM D-1557 establece que a los 56 golpes mediante el método C se obtiene la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad eliminando fuerzas de fricción y el acomodo de partículas generado por su propio peso. Esta Norma ha sido adaptada a los suelos peruanos estableciendo indicadores para el desarrollo del ensayo próctor modificado. En Nuestro País se han encontrado investigaciones realizadas a suelos granulares las cuales concluyen que a los 56 golpes no se obtiene la máxima densidad ni el óptimo contenido de humedad, representados en una curva de compactación dichos parámetros de estas investigaciones han sido analizados estableciendo que la energía de compactación correcta se encuentra en una compactación mayor a los 56 golpes.

Palabras clave: *AASHTO, Proctor Modificado, Densidad, Fuerzas de fricción.*

ABSTRACT:

This article will review the existing research in Peru on the impact of the number of hits and its influence on the modified proctor test and relate the maximum dry densities of a granular soil with the best possible humidity. ASTM D-1557 establishes that the 56 hits by means of method C obtain the maximum dry density and the optimal humidity content eliminating friction forces and the accommodation of particles generated by their own weight. This standard has been adapted to Peruvian soils, establishing indicators for the development of the modified proctor test. In our country, research carried out on granular soils has concluded that the maximum density and optimum moisture content are not obtained in 56 strokes. neither the maximum density nor the optimum moisture content is obtained, represented in a compaction curve these parameters of these investigations have been analyzed establishing that the correct compaction energy is found in a compaction greater than 56 strokes

Keywords: *AASHTO, Modified Proctor, Density, Friction forces.*

Autor de correspondencia: Huancas Correa Diana
Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica
Tel.: +51949434284
E-mail: dianahuancas@upeu.edu.pe

INTRODUCCIÓN:

Para obras de ingeniería se requiere estudios estandarizados de mecánica de suelos con el objetivo de conocer sus características mecánicas; y comprobar si el suelo es capaz de soportar cargas emitidas al suelo. Los suelos granulares son materiales que dependen de la presión y se producen cambios sustanciales de volumen durante la aplicación de una carga. De acuerdo a la clasificación AASHTO el grupo A-1 y A-2 clasifican como gravas caracterizado por ser un material poco plástico y la forma redondeada de sus partículas.

Muchas veces no se realizan estudios de suelos estandarizados alterando las propiedades mecánicas de los suelos granulares, arcillosos y limosos; por tal motivo esta investigación busca analizar mediante artículos existentes acerca de la máxima energía de compactación de acuerdo al número de golpes y cómo influye en el óptimo contenido de humedad y densidad seca máxima. Según (Juarez & Rico, 2005) “En la actualidad se ha desarrollado las pruebas de próctor estandarizadas para determinar controles de calidad en obra”. El problema principal en campo es como determinar la máxima densidad (MDS) y el óptimo contenido de humedad (OCH) a través del incremento de energías de compactación del Próctor Modificado para los suelos granulares de cantera.

Al adecuar cuantificaciones a los diferentes tipos de suelos de acuerdo a su distribución de partículas ha generado un problema en las densidades y contenidos de humedad de suelos de canteras para diferentes tipos de proyectos de ingeniería desarrollándose investigaciones sobre el máximo número de golpes que se debe realizar en suelos granulares aplicándose la energía de compactación de tal manera que se encuentre el punto máximo y que no se genere inflexión al momento de elaborar una curva de compactación.

Esto se genera a través de que se ha adaptado indicadores extraídos de resultados de ensayos de suelos de otros países, siendo que los suelos peruanos son muy susceptibles y cambian de propiedades constantemente, una de las hipótesis que este trabajo de investigación es conocer el incremento de la energía de compactación.

Según (Quintero & Bohorquez, 2015) “En la actualidad mediante una curva estandarizada por la norma ASTM D 1557 del próctor modificado permite conocer un versus de la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad, dichos resultados son llevados a campo para realizar la compactación requerida mediante una relación de densidad de campo y de laboratorio, para los suelos granulares la compactación en campo se hace mediante rodillo vibratorios donde se produce el acomodo de partículas eliminando vacíos.

(Sarawak), 2010) “especifica en sus estudios de energía de compactación que los suelos granulares son ampliamente usados en el tratamiento de suelos blandos como turba y arcilla blanda y también para los pavimentos como una base fuerte para soportar la carga pesada de los vehículos”. Según los ensayos como la gravedad específica se definió que era un suelo granular. Además, la humedad aumenta la resistencia de compactación. Por otro lado (Al-khafaji, 2016) define que la compactación de la sub base que es a menudo la principal capa para la carga del pavimento, debe ser diseñando de acuerdo a ensayos propuestos en las normas.

Los factores que afectan la compactación son el contenido de agua, el tipo de suelo y la energía de compactación”. Según algunas investigaciones peruanas ya realizadas a canteras de diferentes regiones han llegado a la conclusión que a los 56 golpes del método C de las normas peruana NTP no se obtiene los valores adecuados de máxima densidad seca y humedades óptimas.

Se puede realizar ensayos diferentes de laboratorio ya sea proctor normal o modificado conociendo que los suelos peruanos presentan características y propiedades que hacen que sean únicos; teniendo en cuenta la implementación de procesos en campo que permitan una adecuada densificación a diferencia de los procesos de laboratorio donde es más fácil conocer las propiedades del suelo.

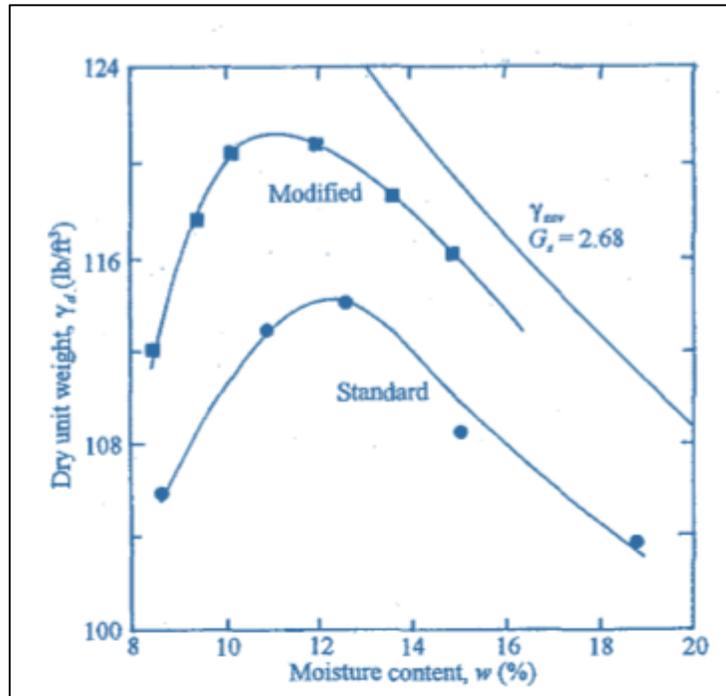
(Chirinos, 2016) “Evalúa una tesis donde especifica suelos granulares de cantera una de las más utilizadas en la zona, pero ésta no llega a los parámetros de suelos granulares con respecto a la Densidad Seca Máxima y Óptimo Contenido de Humedad”, la investigación tuvo como objetivo encontrar un valor estándar con respecto a los parámetros de “compactación en la Densidad Seca Máxima y Óptimo Contenido de Humedad. Se llegó a algunas conclusiones que la variación de la Densidad Seca Máxima y el Contenido de Humedad con respecto a lo establecido por la norma ASTM D-1557” tienen una variación hasta del 0.8%. Por otro lado (Pariona, 2014) “evaluó la sub-base de una carretera con parámetros de resistencia usando los métodos factoriales y conocer los factores de compactación de una sub-base.

DESARROLLO:

Según (Perez Alamá, 1998) “las Gravas son acumulaciones sueltas de fragmentos de rocas y tienen más de dos milímetros de diámetro, cuando tienen contacto con el agua sufren desgaste en sus aristas”.

COMPACTACIÓN DE SUELOS:

La compactación es la consolidación de suelo con la finalidad de eliminar aire, el peso unitario seco determina el grado de compactación. Cuando se realiza un ensayo de energía de compactación se empieza con un contenido de humedad $w = 0$, al agregar agua gradualmente los pesos de los sólidos aumentan su volumen, después de realizar el ensayo los parámetros los cuales llevaremos a una curva de compactación es la máxima densidad seca y el contenido de humedad.



El tipo de suelos o la distribución de su grano determina la curva de compactación, Durante años se han realizado experimentos y la curva que más se adapta es las que tienen un solo vértice determinando como punto máximo: Una densidad seca (γ_{max}).

En la construcción de terraplenes, presas entre otros para disminuir la comprensibilidad y aumentar resistencia o rigidez se compacta el suelo con fin de reducir los vacíos y encontrar un valor adecuado de densidad seca máxima, lo que se puede entender que en proceso de compactación es un estudio que se requiere de minuciosa investigación. Para evitar posibles daños en los suelos y las estructuras cimentadas sobre ellos.

Es como si se colocara las partículas en contacto unas con otras; provocando expulsión de aire.

Si hablamos de suelos granulares es probable que a mayor uniformidad de tamaños posiblemente el contenido de humedad tiene menor influencia en la compactación.

Para realizar una compactación de suelos en laboratorio vamos a depender de un número de golpes, peso de pisón, altura de caída, número de capas.

Se asume que en una determinada masa se aplica una fuerza de 2700 KN/m³.; asimilada por el martillo compactador en un molde de volumen de 2124 cm³. Después haber encontrado estos parámetros en laboratorio son llevados a la compactación en campo el cual debe coincidir al momento de realizar ensayos como el cono de arena o el método nuclear.

$$\text{Peso Volumétrico seco} = \frac{M_{\text{molde}} - M_{\text{suelo}}}{\text{Volumen de molde}}$$

Con la fórmula de masa sobre volumen lo que requiere es encontrar un peso volumétrico seco dicho resultado es llevado a campo mediante un porcentaje.

$$R (\%) = \frac{\text{Densidad de campo}}{\text{Densidad de laboratorio}} * 100\%$$

$$R (\%) = 90\% - 96\%$$

La compactación en campo al comparar con ensayos de cono de arena o densímetro nuclear deben indicar rango entre 90 y 95%.

La diferencia de masas entre suelos y volumen de molde permiten encontrar la densidad. El método C es aplicado en el Perú directo a los suelos granulares, Para diferentes tipos de obras la siguiente imagen es extraída de la norma e indica que tipo de método se va a realizar según el tipo de suelo.

COMPACTACIÓN EN CAMPO:

En campo se realiza con rodillos ya sea de ruedas lisas, neumáticos de caucho y lo más apropiado para suelos granulares son los rodillos vibratorios, estos generan la eliminación de vacíos. Según (Weber, 2018) “La compactación es eficaz para entregar el esfuerzo de compactación debido al proceso de apisonado o que cada impacto imparte en las partículas del suelo”.

Según algunos estudios realizados en nuestro país a los suelos granulares de canteras que clasifican como A-1 ó A-2 de acuerdo a AASHTO; las investigaciones parten desde el número de golpe ya establecido en la norma que es de 56 golpes; lo que estas investigaciones han planteado es un cierto rango desde los 56 hasta el golpe número 62 golpes encontrándose que realmente a los 56 golpes no se obtiene la máxima densidad seca, parámetro que es utilizado para otros ensayos de suelos y para cuantificar la humedad optima y densidad seca máxima de una obra civil.

Estas investigaciones han partido de variables como las energías de compactación que si bien es cierto que a los 56 golpes la norma ASTM D 1556 busca obtener el óptimo quizás para nuestros suelos sean aumentar la energía de compactación, proponiendo que los suelos

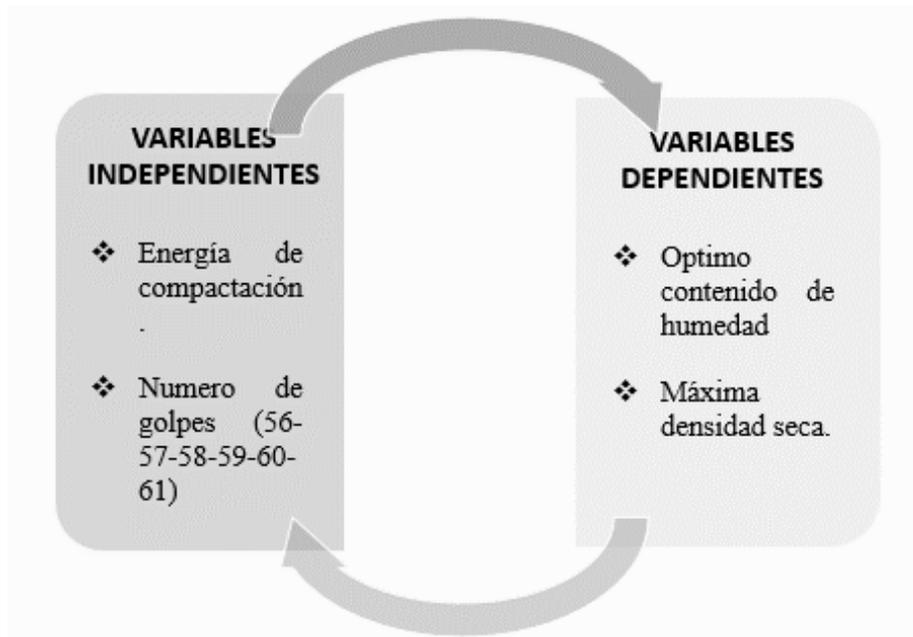
granulares requieren una mayor energía de compactación para obtener la densidad máxima y el óptimo contenido de humedad

Concepto	Método A	Método B	Método C
Diámetro del molde	101.6 mm	101.6 mm	152.4 mm
Volumen del molde	943.3 cm ³	943.3 cm ³	2124 cm ³
Peso del pisón	44.5 N	44.5 N	44.5 N
Altura de caída del pisón	457.2 mm	457.2 mm	457.2 mm
Número de golpes del pisón por capa de suelo	25	25	56
Número de capas de compactación	5	5	5
Energía de compactación	2696 kN-m/m ³	2696 kN-m/m ³	2696 kN-m/m ³
Suelo por usarse	Porción que pasa la malla No. 4 (4.57 mm). Se usa si 20% o menos por peso de material es retenido en la malla No. 4.	Porción que pasa la malla de 9.5 mm. Se usa si el suelo retenido en la malla No. 4 es más del 20%, y 20% o menos por peso es retenido en la malla de 9.5 mm.	Porción que pasa la malla de 19 mm. Se usa si más de 20% por peso de material es retenido en la malla de 9.5 mm, y menos de 30% por peso es retenido en la malla de 19 mm.

INVESTIGACIONES QUE DETERMINAN LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN:

En las investigaciones de tesis y algunos artículos realizados a canteras peruanas se ha determinado que los suelos no llegan al óptimo contenido de humedad a los 56 golpes establecidos por la norma ASTM D 1557.

METODOLOGÍA APLICADA PARA DETERMINAR LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN:



Dentro de una de estas investigaciones (Ocas, 2013) en su tesis titulada *Influencia De La Energía De Compactación En El Óptimo Contenido De Humedad Y La Máxima Densidad Seca En Los Suelos Granulares*. Realizada en la Universidad Nacional de Cajamarca. En esta tesis también se evalúa el suelo de una cantera del departamento de Cajamarca esta investigación se basa en un diseño experimental que permitió estadísticamente definir la correcta densidad seca máxima. Según la granulometría se obtuvo un GM (grava limosa) también los autores concluyeron que a los 60 golpes recién se obtiene la máxima densidad seca con una energía de compactación de 29.32 kg- cm/cm³.

Por otro lado (Mondragón & Padilla, 2014) en una investigación titulada *Influencia de la energía de compactación en la densidad seca máxima y contenido óptimo de humedad de suelo granular* Realizada por la Universidad Nacional de Cajamarca. Evaluaron una cantera, la más eficiente para proyectos en el Departamento de Cajamarca se realizó las clasificaciones de suelos definiéndose como suelos granulares variando el número de golpes desde los 56 hasta los 61 donde también en la evaluación de esta cantera se puede definir que a los 58 golpes se obtuvo la máxima densidad seca 2.184 gr/cm³ produciéndose una energía de compactación de 28.60 kg-cm/cm³.

Según (Chirinos, 2016) En su investigación titulada: *Efecto De La Energía De Compactación En La Densidad Seca Máxima Y Contenido Óptimo De Humedad Del Suelo Granular De La Cantera El Gavilán, 2015*, realizada en la Universidad Privada del Norte evaluó unas de las canteras con alta productividad para proyectos de su región, el autor evaluó desde los 56 golpes hasta el golpe número 61; obteniéndose una máxima energía de compactación de 28.38 kg cm/cm³ del golpe número 58. Se concluyó que los resultados de

esta cantera difieren en relación a lo establecido por la norma ASTM D 1557; en relación al contenido de humedad éste tuvo un comportamiento diferente ya que no mostró un crecimiento parabólico, sino que un punto de inflexión.

También (SÁNCHEZ & RENGIFO, 2018.) en su investigación titulada *Incidencia De La Energía De Compactación En La Determinación De La Humedad Óptima En Los Suelos Granulares*. Realizada en la Universidad de San Martín de Porres Evaluó en su tesis dos tipos de canteras determinando la incidencia de la energía de compactación en suelos granulares. Se define como un nivel descriptivo ya que los procedimientos se describen en base al desarrollo en laboratorios. Se realizaron ensayos de laboratorio de 2 canteras dentro de los ensayos realizados fueron: Granulometría, Límites de plasticidad y Proctor modificado en este caso el método C, Según la clasificación por AASHTO se define que ambas muestras son suelos granulares. De las canteras también se varió el número de golpes desde los 56 hasta los 60; como se evaluó dos canteras, mediante los ensayos los autores llegaron a la conclusión que a los 58 y 60 golpes recién se obtuvo una densidad seca máxima; contradictorio respecto a la norma ASTM D 1557

Además (Rizalaso Huaicani, 2019) en su tesis titulada *Determinación Del Contenido De Humedad Óptima Y Densidad Máxima Seca Mediante Regresiones Para Sub Bases Con Altitudes Mayores A 3000 M.S.N.M. En La Provincia De Puno*. Realizada en la Universidad UANCV donde se evalúa el óptimo contenido de humedad y densidad máxima seca de la provincia de Puno teniendo en cuenta la altitud mayor a 3000 metros la metodología usada fue verificar el grado de correlación a través de regresiones teniendo en cuenta los parámetros de OCH Y MDS.

En esta tesis se realizó alrededor de 20 muestras de las cuáles se los clasifican como gravas; en todos sus ensayos de laboratorio que utilizó el método C establecido por la norma de los cuáles sus variables principales que fueron la densidad y el contenido de humedad encontrándose algunas ecuaciones para definir dichos parámetros; se verificó una alta relación entre densidad, humedad y energía de compactación.

También (Yanapa Mamani, 2019) En su tesis titulada *Energía De Compactación En El Ensayo Proctor Modificado En Suelos De Las Canteras De La Ciudad De Juliaca*. Realizada en la universidad UANCV. Evaluó tres canteras de la ciudad de Juliaca para determinar la energía de compactación mediante la variación de golpes Dentro de su investigación justifica que los suelos granulares requieren de mayor compactación para llegar al 100%, también el realizar una adecuada compactación permite optimizar gastos innecesarios en futuras rehabilitaciones de estructuras. En esta investigación se utilizó el método C establecido en la norma y clasificando los suelos granulares según AASTHO como A-1-a, y e en SUCS como una grava bien graduada “GW” la densidad seca máxima que se obtuvo a los 56 golpes fue de 2.102 gr/cm³ con un óptimo contenido de humedad de 9.12% variando así hasta el golpe número 60, esta investigación que podemos afirmar que a los 56 golpes establecidos por la norma ASTM D- 1557 que afirma que debemos aplicar como máximo 56 golpes para obtener la máxima densidad seca; pero según los resultados de esta investigación se encontró que a los 59 golpes se obtuvo la máxima densidad seca y por el óptimo contenido de humedad.

Cuando se requiere elaborar una curva de compactación básicamente partimos de algunos datos como por ejemplo los que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 1

Ejemplo de cómo hallar la curva de compactación, mediante los datos del ensayo de Proctor Modificado.

DENSIDAD SECA MAXIMA Y CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO GRNULAR.						
N DE GOLPES	56	57	58	59	60	61
DENSIDAD SECA (Gr/cm³)	2.13	2.15	2.18	2.168	2.165	2.148
HUMEDAD (%)	2.7	3.8	3.5	5.85	6.3	5.4
NUMERO DE CAPAS	5	5	5	5	5	5
VOLUMEN m³	2102.48	2102.48	2102.48	2102.48	2102.48	2102.48
W PISTON	4.56	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
ALTURA	45.72	45.72	45.72	45.72	45.72	45.72
E kg-cm/cm³	27.76	27.89	28.38	28.87	29.36	29.85

En la tabla anterior se trata se colocar los datos que se requieren en laboratorio para un ensayo de próctor modificado y llegar a la energía de compactación requerida.

REPRESENTACIÓN DE GRÁFICAS DE NÚMERO DE GOLPES VS DENSIDAD SECA MÁXIMA DE SUELOS GRANULARES DE INVESTIGACIONES EN PERÚ:

A continuación, se presentan algunas graficas de evaluación de suelos granulares de nuestro país con la recopilación de información de investigaciones ya existentes, de la influencia de la energía de compactación en suelos granulares. Donde se ha encontrado que efectivamente a los suelos granulares necesitan mayor compactación.

Según la hipótesis de estas investigaciones se plantea que la energía de compactación incide en la determinación de la máxima densidad seca y humedad óptima para los suelos granulares a medida que se aumenta la energía de compactación la humedad crece y decrece teniendo un punto de inflexión, en las gráficas se observa que para los 58 – 60 golpes recién se mantiene la densidad seca máxima.

El tipo de suelo y el contenido optimo son factores importantes para alcanzar e peso unitario de compactación deseados en campo estos parámetros influyen en la densidad de la presión aplicada por el equipo de compactación y el área en el cual se ejerce presión.

En el proceso de compactación el peso unitario seco se ve afectado en campo por el número de pasadas del rodillo es por eso que se debe evaluar el laboratorio los datos correctos de máxima desdad seca y el óptimo contenido de humedad.

A continuación, se presentan gráficas de variación del número de golpes VS la densidad seca máxima se ha tratado de recopilar esta información de canteras ya analizadas de diferentes partes de nuestro país donde efectivamente la energía de compactación debe ser mayor de 56 golpes es decir a los 2700 KN/m³ no es el apropiado debemos aumentar ésta energía de compactación.

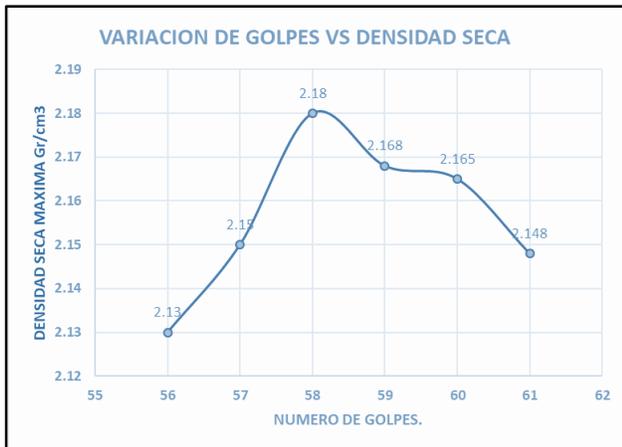


Figura 5 Representación de Resultados de una de las investigaciones en el Perú: cantera El Gavilán.

Fuente: "Efecto De La Energía De Compactación En La Densidad Seca Máxima Y Contenido Óptimo De Humedad Del Suelo Granular De La Cantera El Gavilán, 2015"

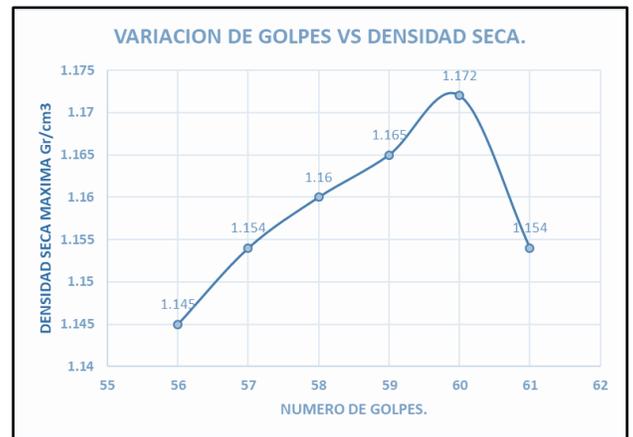


Figura 6 Resultados de una investigación de suelos granulares en el año 2013.

Fuente: "Influencia De La Energía De Compactación En El Óptimo Contenido De Humedad Y La Máxima Densidad Seca En Los Suelos Granulares"

Lo que los autores de éstas investigaciones lo que buscan es encontrar la energía de compactación de tal manera que se encuentre el punto máximo y que no se genere inflexión al momento de elaborar una curva de densidad versus humedad óptima en el suelo granular requerido para diferentes tipos de obras.

Las propiedades de los suelos granulares de cantera se analizan en un laboratorio que posteriormente los resultados del ensayo de proctor modificado serán usados en campo para cumplir una compactación adecuada por vibración tratando de eliminar fuerzas de fricción generando por su propio peso el acomodo de partículas

Para la elaboración de carreteras en el Perú el material de cantera utilizado no llega a obtener la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad ya en algunas investigaciones existentes se ha verificado que, a mayor compactación, variando en un máximo número de golpes desde los 56 hasta el N° 61 podemos obtener la energía máxima de compactación.

La Figura 6 y figura 7 han sido extraídos de una investigación realizada en la ciudad de Lima; el autor evaluó dos canteras Se realizaron ensayos de laboratorio de 2 canteras “Santa Clara” y Cantera “Lucho” dentro de los ensayos realizados fueron: Granulometría, Límites de plasticidad y Proctor modificado en este caso el método C, Según la clasificación SUCS se definió como una arena limosa SM para la cantera Santa Clara y para la segunda muestra que es la cantera de Lucho se tiene un GM que es una grava limosa, esta clasificación fue según SUCS. Pero al realizar la clasificación por AASHTO se define que ambas muestras son suelos granulares.

Claramente se puede observar en la curva de compactación realizada a las dos canteras que a los 56 golpes no se obtiene la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad, resultados que posteriormente son llevados a campo y que son representados en una porcentaje para las diferentes capas de un pavimento; Los autores concluyen que encontrar dichos parámetros es muy importante pues quizás el equivocarnos en este resultado puede incurrir en no realizar la adecuada compactación de los suelos granulares y por ende tener un pavimento deficiente y realizar mantenimientos cada ciertos años de los cuales interviene el factor económico ya que si hacemos un correcto muestro o diseño tendremos carreteras con más años de vida útil.

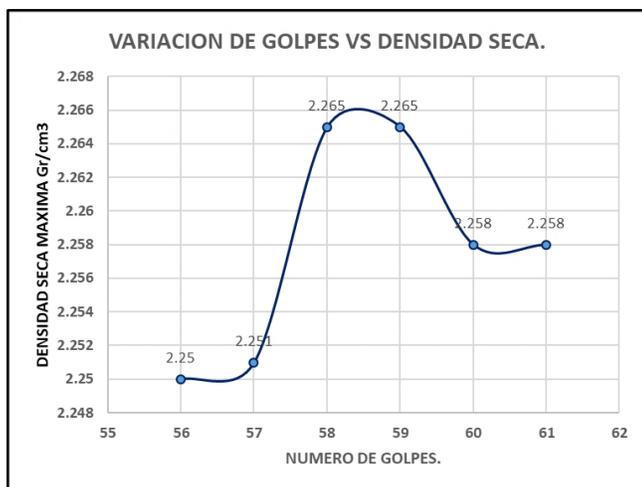


Figura 7: Variación del Número de golpes Vs Densidad seca de una investigación realizada en el 2018.

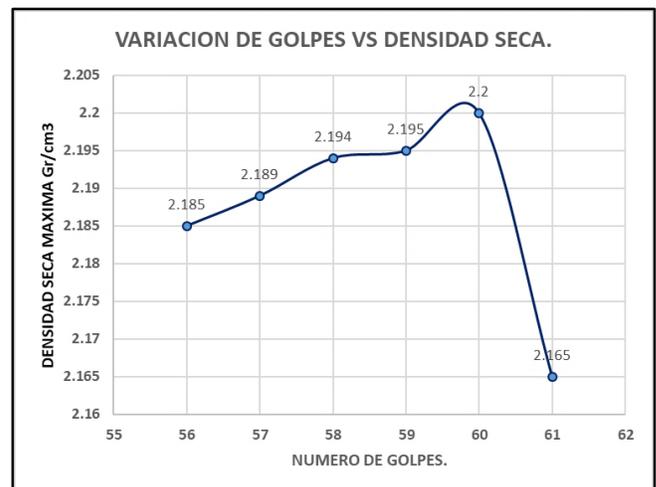


Figura 8: Densidad seca y aumento de la Energía de Compactación de un suelo granular.

Es interesante ver que para los suelos peruanos se necesita de una mayor energía de compactación, ya en otros países se ha modificado el número de golpes y han obtenido una mejora en la construcción de sus carreteras.

El problema principal de nuestras carreteras es cómo determinar la MDS y el OCH a través del incremento de energías de compactación del Próctor Modificado para los suelos granulares de cantera para uso en la estructura de pavimento. La máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad es determinado mediante una energía de compactación superior a lo establecido por la Norma ASTM D 1557 para los suelos granulares de cantera para uso en la estructura de pavimento según las investigaciones existentes. Las máximas

densidades secas y optimo contenido de humedad según las investigaciones para suelos granulares de cantera son superiores a 2.2 gr/cm³ y optimo contenido de humedad superior a 5%

Pero vemos que estas canteras no alcanzan la densidad y humedad apropiada.



Figura 9: Variación del Número de golpes y densidad seca de una cantera de la Ciudad de Juliaca.

Fuente: Análisis De Efectos Producidos Por La Aplicación De Mayor Energía De Compactación En El Ensayo Proctor Modificado En Suelos De Las Canteras De La Ciudad De Juliaca.

Los suelos peruanos cambian de propiedades dependiendo de la zona donde se encuentren diferenciando algunas veces en los parámetros de la Normas establecidas en la NTP ó MTC, por ello los suelos de granulares de cantera no alcanzan su máxima densidad.

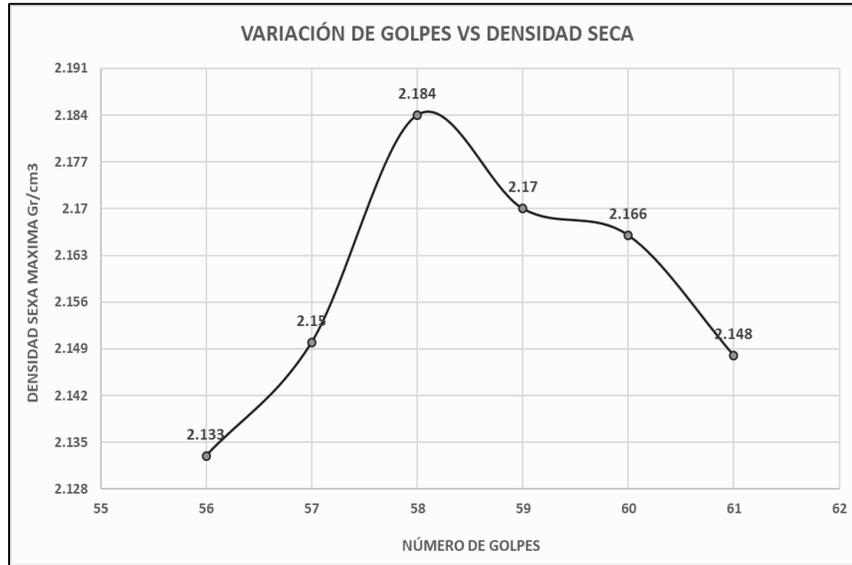


Figura 10 Curva de Proctor modificado variando el número de golpes de una cantera.

VARIACIÓN DE GOLPES:

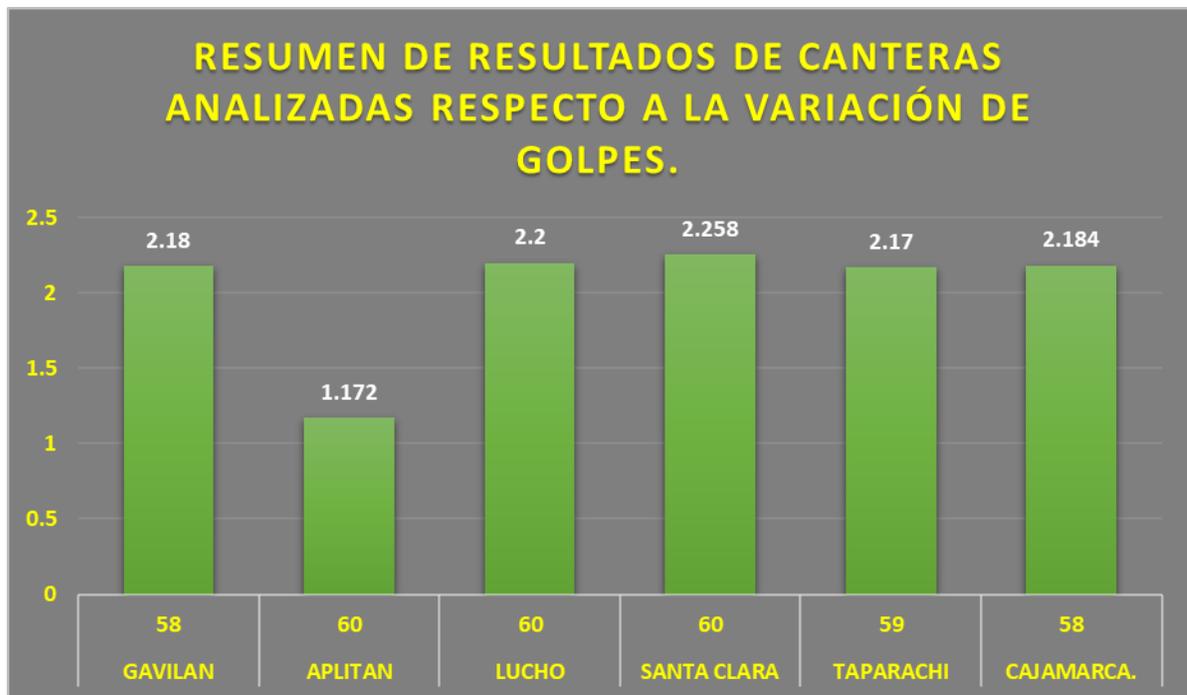
A continuación se muestra una tabla de investigaciones del Perú respecto al número de golpes.

Tabla 2

Resumen De Resultados De Canteras Analizadas Respecto A La Variación De Golpes. De investigaciones en el Perú.

RESUMEN DE RESULTADOS DE CANTERAS ANALIZADAS RESPECTO A LA VARIACIÓN DE GOLPES.

CANTERAS	Nº GOLPES	DENSIDAD (gr/cm ³)
GAVILAN	58	2.180
APLITAN	60	1.172
LUCHO	60	2.200
SANTA CLARA	60	2.258
TAPARACHI	59	2.170
CAJARMACA.	58	2.184



Al realizar la revisión de estas investigaciones podemos asumir que a los 56 golpes no se obtiene la máxima densidad seca, ni el óptimo contenido de humedad por lo tanto es importante seguir parámetros como definir la energía de compactación, humedad y densidad variando los golpes desde 56 hasta 61.

Sin embargo, en los datos que se presentan a continuación podemos ver la gran diferencia de los suelos granulares desde los 56 golpes.

Cada vez que se va a extraer muestras de una cantera para realizar diferentes proyectos se recomienda seguir la nueva metodología de verificar los 3 parámetros (humedad, densidad seca, energía de compactación) para obtener datos adecuado que posteriormente serán llevados a campo y tener un material adecuado que se utilizara en dichas obras, quizás este es el motivo por el cual algunas carreteras tienen fallas a tiempo corto de ser aplicadas las cargas las cuales presentan deformaciones durante la vida útil de una carretera, y muchas veces se destruyen antes de los previsto generando nuevos gastos en mantenimiento de carretas.

Tabla 3

Resumen de Resultados de investigaciones de ensayo de proctor modificado.

RESUMEN DE RESULTADOS DE CANTERAS ANALIZADAS A LOS 56 GOLPES.		
CANTERA	N° GOLPES	DENSIDAD gr/cm ³
GAVILAN	56	2.13
APLITAN	56	1.145
LUCHO	56	2.185
SANTA CLARA	56	2.25
TAPARACHI	56	2.102
CAJAMARCA.	56	2.133



Se asume que a los 56 golpes ya se obtiene la densidad adecuada por el comportamiento de la curva esto según la norma ASTM 1557, donde se realizaron diferentes muestras y se determinó que 56 número de golpes es suficiente para determinar la máxima densidad seca, sin embargo, analizando vemos que para los suelos granulares del Perú debemos aplicar una mayor compactación, datos correctos que posteriormente serán llevados a campo.



CONCLUSIÓN.

- Los suelos granulares requieren de mayor energía de compactación, esto significa que se debe aumentar el número de golpes.
- La variación de la energía de compactación aumenta por cada número de golpes, se obtienen densidades secas máxima y un contenido óptimo de humedad lo cual se concluye que las hipótesis planteadas por las investigaciones son correctas.
- Los resultados obtenidos difieren respecto a la norma ASTM D – 1557 encontrándose variaciones en los distintos N° de golpes desde los 56 golpes establecidos en la norma hasta los 61 evaluados por las investigaciones.
- Los suelos granulares son materiales que dependen de la presión y se producen cambios sustanciales de volumen durante la carga por lo tanto requieren de ensayos previos para futuras estructuras.
- De acuerdo a la clasificación AASHTO los suelos de canteras del grupo A-1 y A-2 clasifican como gravas caracterizado por ser un material poco plástico y la forma redondeada de sus partículas.

- El número de golpes influye en una escala de gran tamaño para determinación del óptimo contenido de humedad y densidades secas máximas de un suelo evaluado en este caso los granulares.

REFERENCAS:

al-khafaji, s. a. a. (2016). *effect of the different energy of compaction on subbase course of roads*. 86–91.

chirinos, q. j. c. (2016). efecto de la energía de compactación en la densidad seca máxima y contenido óptimo de humedad del suelo granular de la cantera el gavián, 2015. *universidad privada del norte*.

das, b. m. (1985). fundamentos de ingeniería geotécnica. *thomson learning*, 587.

juarez, e., & rico, a. (2005). *mecánica de suelos*. <https://doi.org/limusa>

mondragón, r. h. l., & padilla, a. m. g. (2014). *influencia de la humedad de compactación en el comportamiento volumétrico de los suelos arcillosos*. 6781, 9–21.

ocas, d. la c. j. l. (2013). influencia de la energía de compactación en el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca en los suelos granulares. *universidad nacional de cajamarca*.

pariona, q. l. (2014). estudio de la resistencia de la sub-base usando experimentos factoriales basado en el contenido de humedad, energía de compactación y la hidratación. *universidad nacional del centro del Perú*, 142.

perez alamá, v. (1998). *materiales y metodos y procedimeintos de construccion*. mexico.: trillas.

quintero, a., & bohorquez, y. (2015). *método y equipos de compactación de suelos*

rizalaso huaicani, h. w. (2019). *determinación del contenido de humedad óptima y densidad máxima seca mediante regresiones para sub bases con altitudes mayores a 3000 m.s.n.m. en la provincia de puno*.

sánchez & rengifo, g. e. (2018). *inidencia de la energía de compactación en la determinación de la humedad óptima en suelos granulares*.

sarawak), m. i. b. u. a. w. (university m. (2010). *effect of compaction energy on engineering characteristic of compacted soil*.

weber, j. j. (2018). *compaction testing of granular material*. 255.

yanapa mamani, c. y. (2019). *Análisis de efectos producidos por la aplicación de mayor energía de compactación en el ensayo proctor modificado en suelos de las canteras de la ciudad de juliaca.*