



**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

TESIS:

**“EVALUACION DEL NUMERO DE PASADAS DE RODILLO
COMPACTADOR Y LA MAGNITUD DE LA CAPA DE
COMPACTACIÓN PARA OBTENER EL PESO ESPECIFICO MAXIMO
SECO EN LA SUB-RASANTE DEL SECTOR DE LA APV. CIUDAD
NUEVA - SAN SEBASTIAN 5TO PARADERO-CUSCO”**

PRESENTADO POR:

LEYDI RUTH GUTIERREZ VALENZUELA
Bachiller en Ingeniería Civil

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL.

ASESOR TECNICO:

MG. ING.GERMAN MENDOZA MORALES

ASESOR METODOLÓGICO:

DR.EDU. EDWARDS JESUS AGUIRRE ESPINOZA

CUSCO-PERU

2018

DEDICATORIA

A Dios.

Por haberme dado salud, vida, paciencia y amor para poder llegar hasta donde hoy me encuentro, culminando una de mis metas.

A mi madre Ruth.

Por haber estado siempre ahí guiándome, aconsejándome, dándome la fuerza y motivación constante sin dejarme vencer de nada, gracias por tu amor madrecita de mi vida.

A mi padre Francisco.

Por los ejemplos de trabajo, constancia, perseverancia, fuerza y de duro carácter que lo caracterizan, gracias a eso me ha enseñado a salir adelante, por tu cariño y tu amor.

A mis Hermanos.

Nick, Frank y Liz Gutiérrez, por estar conmigo y apoyarme siempre, los amo.

A mis amigos.

Que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional

Finalmente, a los Maestros

Aquellos que marcaron cada etapa de nuestro camino universitario, y que me ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de la tesis.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a mi Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a mis padres Ruth y Francisco, por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir. A mis hermanos Nick, Frank y Liz, por ser parte importante de mi vida, a mi novio Leddin Iturriaga, que fue mi apoyo incondicional, gracias por el amor que me brinda y cariño el otorgado a cada momento.

A la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, que me supo abrir sus puertas para poder alcanzar esta meta.

A mi asesor Metodológico Dr. Edwards Aguirre y a mi asesor Técnico Mg.Ing. German Mendoza y Dictaminantes Mg. Ing. Sandro Peñalba, Ing. Mg. Juan Pablo Escobar, y a todas las personas que me supieron apoyar en el transcurso de mis estudios.

RESUMEN

El tema desarrollado en el presente trabajo de investigación está referido a la evaluación del número de pasadas de rodillo compactador y la magnitud de la capa de compactación para obtener el peso específico máximo seco en la sub-rasante del sector de la APV. Ciudad Nueva - San Sebastián 5to paradero-Cusco.

Las propiedades geotécnicas del suelo granular con partículas finas limosas de la Cantera de Tipón, material de préstamo para mejoramiento de la sub-rasante del sector APV. Ciudad Nueva de San Sebastián 5to. Paradero – Cusco, fueron ensayadas para la evaluación del número de pasadas de rodillo compactador y con ello la magnitud de la capa de compactación para obtener el peso específico máximo seco.

Concluyendo que la mejora es significativa; dado que a mayores pasadas se obtiene mayor compactación logrando obtener la compactación deseada para el caso al 95% con 17 pasadas. De tener la compactación muy intensa produce un material muy susceptible al agrietamiento. Así mismo el espesor de compactación recomendado en la norma EC-010 “Pavimentos Urbanos” de 25.00 cm – vías locales y colectoras, difiere de lo obtenido en campo que es de 17.00 cm; esta diferencia responde al tipo de suelo y al tipo de maquinaria en específico (rodillo liso) que se tubo a disposición para realizar el ensayo.

Palabra clave: Evaluación del número de pasadas de compactación y la magnitud de capa de compactación.

SUMMARY

The theme developed in this research work refers to the evaluation of the number of passes of roller compactor and the magnitude of the layer of compaction to obtain the maximum dry specific weight in the sub-grade of the sector of the APV. New Town - San Sebastian 5th stop-Cusco.

The geotechnical properties of granular soil with fine silty particles from the Quarry of Tipón, loan material for improvement of the sub-grade of the APV sector. New City of San Sebastián 5th. Whereabouts - Cusco, they were tested for the evaluation of the number of passes of roller compactador and with it the magnitude of the layer of compactación to obtain the maximum dry specific weight.

Concluding that the improvement is significant; since greater passes obtain greater compaction achieving the desired compaction for the case at 95% with 17 passes. Having very intense compaction produces a material very susceptible to cracking. Likewise, the thickness of compaction recommended in the EC-010 standard "Urban Pavements" of 25.00 cm - local roads and collectors, differs from that obtained in the field, which is 17.00 cm; This difference responds to the type of soil and the specific type of machinery (smooth roller) that is available to make the test.

Keyword: Evaluation of the {number of compaction passes and the magnitude of compaction layer.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	ii
SUMMARY	iv
ÍNDICE	v
Índice de Tablas	ix
Índice de figuras	x
INTRODUCCIÓN	xi
CAPÍTULO I	12
PLANTEAMIENTO DE ESTUDIO	12
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	12
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	13
1.2.1 Problema general	13
1.2.2 Problemas específicos	13
1.3 OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN	13
1.3.1 Objetivos General	13
1.3.2 Objetivos Específicos	14
1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO	14
1.5 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.6 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	16
CAPÍTULO II	18
MARCO TEÓRICO	18
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	18
2.1.1 En el Mundo:	18
2.1.2 En el Perú:	22
2.2. BASES TEÓRICAS	25

2.2.1. Compactación De Suelos	25
2.2.1.1 Generalidades y fundamentos de la compactación de suelos	25
2.2.1.2 Características de la compactación	26
2.2.1.3 Compactación en campo	26
2.2.1.4 Clasificación de las máquinas de Compactación	27
2.2.1.5 Compactación de suelos no cohesivos	29
2.2.1.6 Compactación con cohesión moderada	29
2.2.1.7 Compactación de arcillas	30
2.2.1.8 Humedad óptima de compactación	31
2.2.1.9 Proceso de Compactación del suelo	31
2.2.1.10 Muestreo	33
2.2.1.11 Curva de compactación	34
2.2.2. Determinación de la densidad de campo por el método del Cono de Arena.	35
2.2.2.1 Consideraciones generales del método	35
2.2.2.2. Descripción del ensayo	36
2.2.2.3. Significado y aplicaciones	37
2.2.2.4.- Equipo	37
2.2.2.5. Consideraciones generales del equipo	38
2.2.2.6. Calibración	42
2.2.2.7. Cálculos generales	44
2.2.3 Reglamento nacional de edificaciones; norma CE.010 Pavimentos urbanos	45
2.2.4 El número de puntos de investigación será de acuerdo con el tipo de vía según se indica en la Tabla 2, con un mínimo de tres (03)	46
2.2.5. Ensayos De Laboratorio	47
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	49
2.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	50
2.4.1. Hipótesis General	50
2.4.2. Hipótesis Específicas	51
2.5. VARIABLES DEL ESTUDIO	51
2.5.1 Variable Dependiente: El suelo de la zona en estudio	51

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	51
CAPÍTULO III	52
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	52
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	52
3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	52
3.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	52
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	52
3.4.1 Población	52
3.4.2 Muestra	53
3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE LA RECOLECCIÓN DE DATO	53
3.5.1 Técnicas de Tratamiento de los Datos:	53
3.5.2. Instrumentos	54
CAPÍTULO IV	55
4.1 ENSAYOS DE LABORATORIO	55
4.1.1 Ensayo granulométrico por tamizado	55
4.1.2 Ensayo de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice Plástico.	56
4.1.3 Ensayo de Proctor	58
4.1.4 Ensayo de CBR	61
4.1.5 Ensayo de Contenido de Humedad	66
4.1.6 Clasificación e identificación de suelos	67
4.1.7 Ensayo del Humedómetro (SPEEDY).	69
4.1.8 Ensayo de Compactación (material de préstamo).	70
3.2.2 Procedimiento y análisis e interpretación de resultados	74
3.2.2.1 Resultado general	74
3.2.2.2 Resultado 1.-	79
3.2.2.3 Resultado 2.-	79
3.2.2.4 Resultado 3.-	80

3.2.2.5 Resultado 4.-	81
3.2.2.6 Resultado 5.	82
3.2.2.7 Resultado 6.	83
CONCLUSIONES	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
ANEXOS	87

Índice de Tablas

Tabla 1: Cuantitativa. - 27 muestras de suelo.	17
Tabla 2: El número de puntos de investigación	46
Tabla 3: requisitos mínimos para los diferentes tipos de pavimentos	47
Tabla 4: Muestra Representativa	53
Tabla 5: Cronograma de Actividades	53
Tabla 6: Detalle del Presupuesto	54
Tabla 7: Método de Compactación (Próctor Modificado)	59
Tabla 8: Deformímetro de Penetración	64
Tabla 9: Presión correspondiente a la misma penetración en una muestra patrón	65
Tabla 10: Clasificación AASHTO	67
Tabla 11: Clasificación SUCS	68
Tabla 12: Resultados del ensayo con el suelo de préstamo.	75
Tabla 13: Densidad seca del material a $\frac{3}{4}$ " (material granular)	75
Tabla 14: % de compactación a diferentes pasadas	76
Tabla 15: Número de pasadas	76
Tabla 16: Densidad seca a diferentes profundidades.	76
Tabla 17: Profundidad vs Compacidad relativa.	77
Tabla 18: Valores de calidad para materiales de la capa sub rasante	80
Tabla 19: Datos obtenidos del ensayo	81
Tabla 20: Datos obtenidos del Ensayo	83

Índice de figuras

Figura 1: Ubicación geográfica:	16
Figura 2: Compactador de rodillo estático Volvo SD130D	28
Figura 3: Apisonador Wacker BS-600 (60 Kg.)	28
Figura 4: Compactador de placa vibratoria	29
Figura 5: Aparato de cono de arena	38
Figura 6: Plato base del aparato cono de arena	39
Figura 7: Arena Ottawa	40
Figura 8: Balanza Ohaus de capacidad 35 lb	40
Figura 9: Speedy 2000 Determinador de humedad	41
Figura 10: Carta de plasticidad para Clasificación de Suelos.	68
Figura 11: Escarificación de Terreno	71
Figura 12: Tendido del Material	71
Figura 13: Tendido y Escarificación del Material de préstamo	72
Figura 14: Procedimiento de Compactación	72
Figura 15: Equipo de Densidad de Campo	73
Figura 16: Profundidad de Compactación	74
Figura 17: Variación del peso específico seco con el número de pasadas de un rodillo	77
Figura 18: Relación Compacidad Relativa VS Profundidad para determinar la capa ideal del suelo	78
Figura 19: Maquina de Rodillo Liso	79
Figura 20: % de partículas de diámetro menor que el indicado	79
Figura 21: Curva Granulometrica	80
Figura 22: Curva granulométrica de la cantera de Tipon	82

INTRODUCCIÓN

La presente tesis de investigación tiene como objetivo la “EVALUACION DEL NUMERO DE PASADAS DE RODILLO COMPACTADOR Y LA MAGNITUD DE LA CAPA DE COMPACTACIÓN PARA OBTENER EL PESO ESPECIFICO MAXIMO SECO EN LA SUB-RASANTE DEL SECTOR DE LA APV. CIUDAD NUEVA - SAN SEBASTIAN 5TO PARADERO-CUSCO”.

Actualmente en nuestro medio se recomienda compactar los suelos en capas de 30 cm, en esta tesis de investigación se quiere demostrar si esta recomendación es conservadora o esta sub-dimensionada.

La diversidad de compactadores que se usa en el medio (rodillos lisos, rodillos neumáticos, rodillos vibratorios, rodillos pata de cabra) podría ser causante de la baja compactación ya que cada uno tiene sus ventajas y virtudes particulares.

El trabajo de investigación está compuesto de 5 capítulos:

En el Capítulo I: Planteamiento de estudio el cual contiene la descripción de la realidad problemática; formulación del problema de investigación, problema general y específico; objetivo de la investigación general y específicos; justificación e importancia del estudio y limitaciones de la investigación.

En el Capítulo II: Se desarrolla el Marco Teórico, el cual contiene los antecedentes del estudio, bases teóricas, definición de términos básicos, hipótesis de la investigación y variables de estudio.

En el Capítulo III: Se presenta la metodología de la investigación.

En el Capítulo IV: Se presenta resultados y discusión.

Capítulo V: Finalizando el estudio con las conclusiones y recomendaciones

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE ESTUDIO

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Actualmente se usan muchos equipos de compactación, cada uno tiene sus ventajas y sus limitaciones, estas deben ser comprendidas por el ingeniero de campo. En muchos proyectos los ingenieros expresan su disconformidad porque no es posible llegar al grado de compactación que está en las especificaciones técnicas, cuando lo que sucede es que el equipo no es el adecuado para el suelo que se tiene en obra o no se está usando correctamente el equipo.

Frecuentemente los datos que están al alcance del ingeniero de campo, no define con exactitud las condiciones del trabajo o las características del suelo, para que el ingeniero pueda juzgar de manera eficiente, si el equipo trabajará correctamente en obra o si el suelo reaccionará bien a la compactación que se le impone, por lo tanto el ingeniero de campo debe estudiar el comportamiento mecánico del equipo, las características del suelo, el contenido de humedad que se le va colocar y si tiene alguna duda debe hacer algunas pruebas de control en campo. El motivo de este tema de investigación es averiguar cuál es la magnitud ideal de cada capa de suelo para la compactación y que esta sea la ideal es decir que alcance la compactación mínima permisible.

Actualmente en el medio se recomienda compactar los suelos en capas de 30 cm, en esta tesis de investigación se demuestra, si la recomendación es conservadora o esta sub-dimensionada.

La diversidad de compactadores que se usa en el medio (rodillos lisos, rodillos neumáticos, rodillos vibratorios, rodillos pata de cabra) podría ser motivo de diversidad de niveles de compactación, en cuanto cada una de ellas presenta virtudes particulares; así como desventajas, dependiendo en que y como se le aplica.

Otro problema sería el número de pasadas que debemos imprimirle al suelo para que llegue a su compactación mínima, tomando en cuenta la cantidad de agua con la que se mezcla el suelo que sirve de agente ablandador.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.2.1 Problema general

¿En qué medida varía la dimensión máxima de la capa de compactación para alcanzar el peso específico seco máximo de laboratorio a una humedad óptima de laboratorio, para una energía de compactación 8, 16 y 24 pasadas de rodillo para el suelo de la calle ubicada en la APV. Ciudad Nueva de San Sebastián 5to. Paradero - Cusco?.

1.2.2 Problemas específicos

- a) ¿Cuál es la magnitud de capa de compactación a la que alcanza el máximo peso específico en campo variando la energía de compactación de rodillo para 8, 16 y 24 pasadas de rodillo, en el suelo de la calle ubicada en la APV. Ciudad Nueva de San Sebastián 5to. Paradero - Cusco?
- b) ¿Cuál es la dimensión de cada capa de compactación a la que alcanza la compactación relativa de 75%, 85% y 95% variando la energía de compactación de rodillo para 8, 16 y 24 pasadas de rodillo, en el suelo de la calle ubicada en la APV. Ciudad Nueva de San Sebastián 5to. Paradero - Cusco?

1.3 OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivos General

Evaluar el número de pasadas de rodillo compactador y la magnitud de la capa de compactación para obtener el peso específico máximo seco

en la sub-rasante del sector de la APV. Ciudad Nueva de San Sebastián
5to paradero – Cusco

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Establecer la magnitud de capa de compactación a la que alcanza el máximo peso específico en campo variando la energía de compactación de rodillo para 8, 16 y 24 pasadas de rodillo, en el suelo de la calle ubicada en la APV. Ciudad Nueva de San Sebastián 5to. Paradero - Cusco.
- b) Establecer la dimensión de cada capa de compactación a la que alcanza la compactación relativa de 75%, 85% y 95% variando la energía de compactación de rodillo para 8, 16, 24 pasadas de rodillo, en el suelo de la calle ubicada en la APV. Ciudad Nueva de San Sebastián 5to. Paradero - Cusco.

1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

Actualmente en procesos de construcción de carreteras, la dimensión de la capa de compactación es aproximada, el residente de obra o el ingeniero de campo, tomando en cuenta la teoría o la experiencia de campo, decide una dimensión de compactación que muchas veces no es la ideal. Se presenta la presente investigación a fin de servir como una alternativa para usar una dimensión de capa aproximada a la ideal.

Justificación Técnica:

En la zona de la APV. Ciudad Nueva de San Sebastián 5to. Paradero – Cusco, se está realizando apertura de calles, lo que implica que se tiene que hacer una compactación de sub-rasante y se necesita llegar a una compactación relativa permisible, lo que en la práctica puede ser muy difícil ya que hay que tomar en cuenta la energía de compactación traducida en número de pasadas, el tipo de suelo que se va a compactar, el espesor de cada capa de compactación y el agua que se va a mezclar con el suelo para que funcione como agente ablandador. Este trabajo de investigación trata de averiguar con precisión el espesor de cada capa de compactación.

Justificación Social:

En Cusco se tiene la necesidad de vías de comunicación como avenidas y calles, es decir necesitamos avenidas y calles bien hechas y a costo mínimo, esta tesis calcula el espesor ideal para la compactación y el número de pasadas de rodillo que compacte llegado al peso específico seco máximo conseguido en el laboratorio, lo que implica que los ciudadanos de lugares aledaños a la calle se beneficiarán de vías bien compactadas y usando un mínimo número de pasadas.

Por otra parte, la presente investigación es importante por:

- Ser una alternativa de compactación con precisión y economizando costos para la construcción de avenidas y calles.
- Ser generador de nuevas investigaciones, utilizando otros tipos de rodillos y otras clases de suelos.
- Que motiva a la ampliación de la investigación en lo que se refiere a la energía de compactación, tipo de suelo, espesor de compactación y contenido de agua.

1.5 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Para la realización y comprobación de esta investigación de tesis las limitaciones son:

- La energía de compactación fue proporcionada por un rodillo liso de 2.10 m de ancho y un peso de 11.3 ton.
- El suelo experimentado es una arcilla arenosa que es el suelo de la zona de estudio ubicado en la: APV. Ciudad Nueva de San Sebastián 5to. paradero - Cusco.
- El peso específico seco en campo fue obtenido con el cono de arena.
- Los ensayos insitu del material de préstamo para determinar el número de pasadas y la profundidad ideal de compactación, se desarrollaron en un escampado próximo a la cantera de TIPON, esto motivado por la logística que conlleva trasladar el material y maquinaria a la APV. Ciudad Nueva de San Sebastián 5to. paradero – Cusco.

1.6 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Espacial. – suelo de la calle, ubicado en la zona de la APV. Ciudad Nueva de San Sebastián 5to paradero – Cusco.

Temporal. - 2017 a 2018.

Área de terreno: 89.84 ml con un ancho de 5.00 m.

Figura N° 1: Ubicación geográfica:



Fuente: Google Earth.

Tabla N° 1: Cuantitativa. - 27 muestras de suelo.

Nombre del Ensayo	Tipo de suelo	Número de ensayos
Ensayo de plasticidad (LL;LP)	Suelo Natural	02
Ensayo de compactación	Suelo natural	03
Ensayo de cono de arena	Suelo natural	06
Ensayo de cono de arena	Suelo compactado	06
Ensayo de granulometría	Suelo natural	02
Clasificación de Suelos	Suelo natural	02
Peso volumétrico unitario	Suelo natural	02
Ensayo Proctor	Suelo natural	02
Ensayo de CBR	Suelo natural	02
	TOTAL	27

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 En el Mundo:

A.1) Guzmán Abril, Axel Antonio; Medrano Méndez, Omar Enrique: Manual Operativo del aparato de globo de hule ASTM D 2167, Análisis comparativo y descriptivo con el método de cono de arena ASTM D 1556, para la determinación de la densidad de campo; Universidad San Carlos de Guatemala 2013.

El estudio trata acerca de la elaboración de un Manual de uso del aparato del Globo de Hule como herramienta para la determinación de la densidad en campo. El mismo incluye un procedimiento de calibración y describe paso a paso el modo de empleo, sus limitaciones y especificaciones según la norma ASTM D 2167.

En los primeros cuatro capítulos se describen ampliamente los principales métodos para la **determinación** de la densidad en campo, así como también se presenta el Manual del aparato del Globo de Hule. Se muestran las normas, aplicaciones y limitaciones que rigen cada método. Incluye gráficos del aparato, así como una guía de ensamblaje del mismo.

En el capítulo 5, se encuentra la descripción teórica del proceso de compactación, maquinaria que se utiliza, ensayos que aplican junto con su norma que los rige, descripción, equipo, procedimiento de aplicación

y consideraciones especiales. En el mismo capítulo se presenta al final una breve descripción de los principales métodos de estabilización de suelos para su compactación.

El capítulo 6, presenta el proceso que llevó a realizar estos ensayos de laboratorio junto con sus resultados, así como describe el proceso de compactación que se llevó a cabo, el equipo que se utilizó y la aplicación del Método del Globo de Hule y el cono de arena para la determinación de la densidad del suelo compactado.

Finalmente, en el capítulo 7, se presentan los resultados finales de los métodos para la determinación de la densidad utilizados junto con datos estadísticos determinados de la aplicación de una serie de ensayos de estos métodos para posteriormente presentar un análisis comparativo-cualitativo de ambos métodos, ventajas y desventajas de los mismos junto con el Método del Densímetro Nuclear.

CONCLUSIONES

- a) El Método del Globo de Hule, se presenta como una alternativa viable en el país para su utilización ya que ahora se cuenta con un manual de uso y calibración, así como resultados satisfactorios que lo garantizan.

- b) El Método del Cono de Arena sigue siendo el procedimiento más utilizado en Guatemala, ya que sus limitaciones técnicas son pocas y su grado de exactitud es bastante alto, aunque finalmente se determina que es el método que consume más tiempo por ensayo.

- c) El Densímetro Nuclear se presenta como el método más riesgoso para la salud del laboratorista que lo aplique y personas que interactúen con él, pero también se establece como el más rápido y confiable en el caso de proyectos grandes que requieran cientos de puntos de control de la compactación del suelo ya que solo requiere 20 segundos aproximadamente en realizar las lecturas. Además, es el único método que su procedimiento es no destructivo.

- d) Surge la interrogante del método que presenta mayor exactitud de lectura dentro de los ensayos destructivos, siendo este el Método del Cono de Arena ya que se determinó como un método ligeramente más exacto con un porcentaje de compactación de un 97.81% por sobre un 97.47% del Método del Globo de Hule. Sin embargo, el Cono de Arena es más laborioso y por ende el que mayor tiempo consume en su aplicación.

A.2) Márquez Quintos, Erick; Romo Organista, Miguel Pedro
“ALIGERAMIENTO DE UN SUELOS COMPACTADO CON PERLAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO”. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO, INSTITUTO DE INGENIERIA, México 2013.

En esta tesis se presenta una investigación experimental sobre el aligeramiento de un suelo compactado al integrarle perlas de poliestireno expandido (EPS) a un suelo. La mezcla estuvo constituida por los siguientes elementos: material friccionante (arena sílica), material cohesivo (caolín) y material ligero (perlas de EPS). En donde, se incorporaron las perlas de EPS a un proceso modificado de compactación por impactos. Los experimentos se realizaron en el laboratorio de mecánica de suelos del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Además, se realiza un ejemplo de aplicación a un terraplén en el que se muestra la disminución de presiones de contacto en el suelo de apoyo.

CONCLUSIONES

- a) Es de suma importancia la normalización de procedimientos “estándar” para ensayos de laboratorio con elementos aligerantes (no térreos).
- b) Se logró diseñar un proceso de compactación por impactos a través del cual es posible utilizar perlas de EPS (elemento aligerante), pero que además se puede utilizar con elementos similares como lo pueden ser los residuos triturados de EPS.

- c) En la mezcla de suelo-perlas de EPS se identificaron tres zonas específicas que se caracterizan por sus contenidos de agua. Esto es importante identificar las zonas en la que se pueda encontrar la mezcla de acuerdo al contenido de agua y al homogenizado del espécimen (suelo-perlas de EPS) y así obtener especímenes adecuados para futuras pruebas mecánicas. Además, es importante definir el contenido de agua óptimo y la energía de compactación adecuada en donde la mezcla suelo-perlas de EPS presente las condiciones más favorables.
- d) Al utilizar diferentes proporciones en volumen de perlas de EPS los resultados indican la disminución en el peso volumétrico seco del orden de 32 % menos en promedio respecto al peso volumétrico seco de una mezcla que no contiene perlas de EPS. Además, se obtuvo una expresión de acuerdo a la disminución del peso volumétrico seco compactado, γ_d , que puede representar la mezcla de suelo-perlas de EPS.

A.3) Flavio Salguero Oriza ‘ANÁLISIS COMPARATIVO DE ALGUNOS MÉTODOS USUALES DE CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS EN SUELOS BLANDOS CON INCLUSIONES DE GRAVA’. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MÉXICO, México 2009.

Esta tesis tiene por objetivo analizar algunos de los principales métodos existentes de cálculo de asentamientos en suelos blandos con inclusiones, para determinar las diferencias y similitudes que presenta cada uno de ellos y realizar una comparativa de los resultados obtenidos en la aplicación a un caso práctico”. Aporta a la investigación de la tesis en los conceptos y métodos de mejoramientos de suelos blandos, así como también define los parámetros de los suelos blandos...”.

CONCLUSIONES

- a) La considerable magnitud de asentamientos que se presentan en suelos blandos que se encuentran bajo cargas de obras civiles ha

provocado que se busquen soluciones factibles técnica y económicamente para reducir aquellos en este tipo de suelos.

- b) Una de las soluciones que se han empleado consiste en utilizar inclusiones para reforzar la masa de suelo; sin embargo, el método para determinar los asentamientos que se presentarán depende del material constitutivo de las inclusiones y de la técnica de construcción de las mismas
- c) En el presente trabajo se recopilaron, analizaron, compararon y aplicaron cinco métodos usuales para el cálculo de asentamientos en suelos blandos con inclusiones de grava. Los métodos de Priebe, Balaam & Booker y Pulko & Majes son métodos cuyo procedimiento fue elaborado para el caso concreto de inclusiones de grava construidas por la técnica de vibro-sustitución.
- d) El método de Zeevaert originalmente considera el caso de inclusiones de concreto insertadas a la masa de suelo por medio de hincado; sin embargo, sus hipótesis avalan la aplicación del método al caso de inclusiones de grava al ser éstas considerablemente más rígidas que el suelo que las rodea.

2.1.2 En el Perú:

b.1) Escalaya Advíncula, Miriam Rosanna. “DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO UTILIZANDO CONCEPTOS DE COMPACTACIÓN DE SUELOS” Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima 2006.

Actualmente el Concreto Compactado con Rodillo (CCR) es una técnica que se está empleando alrededor del mundo para la construcción principalmente de pequeñas presas y la reparación de éstas. La rapidez de la puesta en obra, el relativamente bajo contenido de cemento y la utilización de aditivos minerales (cenizas volátiles, filler

calizo, residuos mineros, etc.), explican el motivo por el cual este material es económicamente interesante para la industria de la construcción.

En el desarrollo de esta tecnología y del diseño de las mezclas CCR han surgido dos filosofías, la filosofía de Suelos o Geotécnica y la de Concreto. En esta Investigación se ha utilizado la filosofía Geotécnica, que considera que el CCR puede ser tratado como un suelo procesado desde la fase de diseño hasta su colocación y la realización de los ensayos de campo del material, haciendo uso de equipos y procedimientos familiares a la Mecánica de Suelos. Después de colocado el CCR debe ser curado y tratado como si fuera un concreto convencional.

En base a estos principios y teniendo en cuenta que en el Perú esta tecnología no se ha desarrollado ampliamente, se elaboró un programa de investigación con el objeto de proporcionar información orientada a conocer los atributos del CCR y los procedimientos básicos para realizar el diseño de la mezcla por métodos de Compactación de Suelos e identificar sus posibles aplicaciones en nuestro país. Esta investigación fue desarrollada en los laboratorios de Estructuras y Geotecnia del CISMID de la Universidad Nacional de Ingeniería, donde se hizo uso de la filosofía de Suelos para el diseño de la mezcla CCR y se desarrollaron ensayos para determinar varias de sus propiedades, adaptándose nuevos equipos para conseguir la preparación y compactación de la mezcla, similar a la que se obtendrá en el campo.

En los laboratorios de Ensayos de Materiales y de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional de Ingeniería se determinaron las características de los agregados utilizados en el diseño.

Para las diversas mezclas diseñadas se utilizaron diferentes proporciones de cemento Portland Tipo I y de cemento puzolánico tipo IP, se hicieron ensayos de resistencia a la compresión y durabilidad con el fin de comparar los resultados y determinar el diseño de mezclas óptimo. Del mismo modo, se hallaron valores del módulo de elasticidad en diferentes edades, obteniéndose valores que servirán de guía del

comportamiento de este material para otros cálculos necesarios y evaluar el uso de las mezclas CCR en diferentes proyectos.

Los resultados de los ensayos indican que la proporción de mezcla usando metodologías geotécnicas provee una alternativa viable para el diseño de mezclas CCR, creándose una opción de solución a problemas relacionados a la construcción de nuevas presas y la rehabilitación de las existentes. Las mezclas obtenidas en esta investigación servirán de modelo para implementar esta técnica en nuestro país, demostrando su desarrollo de una manera sencilla.

CONCLUSIONES

- a) El Concreto Compactado con Rodillo o CCR se ha convertido en un material aceptado para la construcción de presas y pavimentos, la rehabilitación y modificación de las presas existentes. Esta tecnología provee un método económico y rápido de construcción con principios similares al de suelo-cemento y otras construcciones de tierra.
- b) Es necesario hacer notar que el CCR puede ser usado en muchas estructuras diferentes a las presas, aunque el mismo nombre es usado en todos los casos y las características esenciales son las mismas, existen diferencias, algunas de ellas considerables, entre los varios usos. Esta tesis está relacionada únicamente al CCR para uso en presas.
- c) En el desarrollo de la metodología de diseño de mezclas CCR han surgido dos filosofías: la Filosofía de Suelos o Geotécnica y la Filosofía de Concreto, dependiendo del tratamiento que se le ha dado al agregado. No es el propósito de esta tesis juzgar cual filosofía es mejor, debido a que ambas han funcionado satisfactoriamente. Típicamente el diseñador que está más familiarizado a trabajos con ensayos geotécnicos, seleccionará la Filosofía de Suelos. La presente tesis describe los principios, metodologías y características únicas de esta filosofía para el diseño de mezclas.

- d) La Filosofía de Suelos para proporcionamiento de mezclas de Concreto Compactado con Rodillo, considera al CCR como un agregado enriquecido con cemento, compactado a su máxima densidad. La densidad del CCR es determinada para al menos cuatro diferentes contenidos de humedad usando ensayos de compactación de laboratorio Proctor Modificado, lo que permite el cálculo de la máxima densidad seca y el contenido de humedad óptimo a utilizar en la mezcla CCR.

2.2. BASES TEÓRICAS

Axel Antonio Guzman abril; en el Manual operativo del aparato de globo de hule ASTM D 2167, análisis comparativo y descriptivo con el método del cono de arena ASTM D 1556 para la determinación de la densidad de campo; Guatemala, junio de 2013. (Antonio, 2013); asume: (Guzman Abril, 2013)

2.2.1. Compactación De Suelos

El proceso de compactación es un punto fundamental a tratar para complementar el concepto de medición de densidad, es por ello que se brindan los parámetros, lineamientos y ensayos a realizar principales para ejemplificar el tema, como se presenta a continuación.

2.2.1.1 Generalidades y fundamentos de la compactación de suelos

La compactación de suelos es un medio para aumentar la resistencia y disminuir la compresibilidad de los mismos. En el proceso de la compactación se eliminan los espacios vacíos y contenido de humedad excesivo para que el suelo se distribuya lo mejor posible con las partículas unidas.

El proceso de compactación se logra por medio de la aplicación de cierta cantidad de energía al suelo por medio de equipo mecánico o electromecánico y de esa manera aumentar de su densidad y consecuentemente se aumenta también la capacidad soporte y estabilidad entre otros.

2.2.1.2 Características de la compactación

El principal objetivo de la compactación es el mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo para fines ingenieriles. Es fundamental el procedimiento de la compactación en la construcción de estructuras sobre el suelo ya que mejorará las propiedades del mismo y asegurará la estabilidad de la construcción sobre él. A continuación, se mencionan algunas propiedades principales que mejora la compactación:

- La capacidad soporte del suelo aumenta, es decir, se le podrá aplicar una carga mayor sin que el suelo se deforme.
- El asentamiento en el terreno disminuye, lo cual evita el hundimiento de la superestructura.
- La permeabilidad del suelo disminuye, así como el escurrimiento y la penetración del agua en el mismo. Se puede regular los drenajes para la distribución del agua.
- También disminuye el hinchamiento y la contracción del suelo, debido a que sin vacíos el agua penetra y se producirá hinchamiento en épocas invernales y contracción en épocas calurosas.
- Los daños debido a las heladas son nulos ya que el agua se expande y por lo tanto el volumen aumenta al congelarse haciendo que pavimentos se hinchen y estructuras se agrieten.

2.2.1.3 Compactación en campo

Se debe analizar el tipo de suelo con el que se dispone para determinar si es adecuado ya sea para sub-base, base o ambas. Luego de haber realizado los análisis correspondientes se procede a realizar el proceso de compactación el cual se lleva a cabo en dos partes. Primero se debe realizar la compactación de la sub-base y posteriormente se procede a realizar la compactación de la base. Lo principal independientemente del área que se esté compactando es

poder llegar lo más cercano posible a las condiciones ideales que son determinadas por los datos del laboratorio.

➤ **Compactación en sub rasante**

La sub-rasante deber apisonarse de tal forma que se obtenga una compacidad y acomodamiento del suelo de sub-rasante lo mejor posible.

En lo posible las sub-rasante limosas y arcillosas deberán ser compactadas por amasado, usando compactadores pata de cabra sin vibración, para suelos granulares se preferirá la compactación con rodillos liso vibratorios.

En el proceso de compactación de la sub-rasante, se detectarán los sitios de fallos suelo que deberá ser excavado y retirado para ser reemplazado por rajón.

2.2.1.4 Clasificación de las máquinas de Compactación

Se pueden utilizar muchas máquinas mecánicas y mecánico-eléctricas para imprimir los golpes que proporcionan la energía necesaria para compactar las partículas del suelo, estas máquinas se clasifican generalmente como se explica a continuación.

A. Por presión estática

Logran la compactación utilizando una maquinaria pesada cuyo peso comprime las partículas del suelo sin necesidad de movimiento vibratorio, se utilizan principalmente en gravas y arenas mecánicamente estables, por ejemplo: el rodillo estático o rodillo liso, como se puede apreciar en la siguiente ilustración:

Figura N° 2: Compactador de rodillo estático Volvo SD130D



Fuente: Volmaquinaria de construcción España S.A. Catálogo 2012.

B. Por impacto

En este caso la compactación se produce por una placa apisonadora que golpea y se separa del suelo a alta velocidad y golpes repetitivos. Por ejemplo: un apisonador o bailarina como comúnmente se le conoce.

Figura N° 3: Apisonador Wacker BS-600 (60 Kg.)



Fuente: Wacker Neuson, Maquinaria de compactación 2012

C. Por vibración

Las máquinas por vibración logran la compactación aplicando al suelo vibraciones a alta frecuencia, estas máquinas pueden ser: placas o rodillos vibratorios. Estos son muy útiles para compactar suelos granulares, ya que la vibración reduce las fuerzas de fricción dejando que las partículas caigan libremente por su propio peso.

Figura N° 4: Compactador de placa vibratoria



Fuente: Wacker Neuson, Maquinaria de compactación 2012.

2.2.1.5 Compactación de suelos no cohesivos

Los suelos no cohesivos son suelos granulares que se componen de rocas, piedras, gravas y arenas, principalmente de partículas gruesas sin cantidad considerable de arcilla que pueda hacer cohesivo el material.

En el caso de material granular el proceso de compactación ideal, resulta el de la vibración, pero debe tenerse en cuenta que el comportamiento de los suelos de partícula gruesa depende mucho de la granulometría. Para este tipo de suelo entonces se requiere una fuerza moderada aplicada en una amplia área o choque de vibración, la compactación eficiente en los suelos no cohesivos requiere de presiones mayores para los suelos secos que para los húmedos. La eficiencia se mejora aumentando la presión durante la compactación a medida que el peso específico y la resistencia aumentan.

2.2.1.6 Compactación con cohesión moderada

Este es el tipo de material donde existe una variedad de mezcla de tamaño de partícula, en el cual se mezclan suelos granulares y arcillosos lo que brinda al suelo una cohesión moderada. Para este tipo de material se debe analizar el tamaño máximo de partícula mediante una granulometría para

determinar qué tipo de compactación se realiza. Es recomendable si se tiene una mezcla uniforme y un tamaño máximo de partícula moderado utilizar maquinaria de compactación por vibración la cual ayudara a que se acoplen de una manera eficiente todas las partículas en la mejor posición, pero también se debe considerar que a medida que aumenta la cohesión, disminuye rápidamente la eficacia de los vibradores como medio de compactación ya que por pequeña que sea la adherencia entre partículas, estas infieren con su tendencia a desplazarse a posiciones más estables, por lo cual si se detecta muchos finos se recomienda utilizar rodillos compactadores ya que estos han brindado muy buenos resultados. Siempre es importante el análisis del suelo para determinar si es aceptable para la utilización de una base o sub-base, ya que de otro modo es necesario cambiarlo o modificarlo con otros materiales.

2.2.1.7 Compactación de arcillas

Este es el suelo de material cohesivo, donde la mayoría del mismo es arcillo-limoso, por lo cual, es necesario un análisis profundo ya que las arcillas tienden a expandirse con el contacto de agua y cambios climáticos.

Debido a que el material es de partícula muy fina, la compactación se produce por la reorientación y distorsión de las partículas y sus capas absorbidas.

Esto es posible gracias a una fuerza lo suficientemente grande para vencer la resistencia de cohesión por las fuerzas entre partículas.

Es por ello que para este tipo de material es de suma importancia que se controle el contenido de humedad del suelo y el que se le adiciona para cumplir con los datos de laboratorio así como el mezclarlo con materiales granulares no cohesivos y poder lograr una granulometría más adecuada cuando lo amerite. De esa manera se recomienda que se compacte por

medio de un rodillo estático o por presión con maquinaria adecuada, como se ha mostrado anteriormente.

2.2.1.8 Humedad óptima de compactación

La humedad óptima de compactación es una propiedad fundamental en el campo para la compactación de suelo, este dato se determina en laboratorio mediante la extracción de la muestra del suelo la cual es analizada y ensayada por medio del método de Proctor el cual determina el peso volumétrico máximo y humedad óptima que debe contener un suelo al momento de compactar.

El dato de la humedad óptima se determina graficando el contenido de humedad utilizado y el peso unitario seco, es necesario graficar todas las iteraciones realizadas para obtener un mejor resultado y poder acercarse al dato ideal de humedad. El ensayo Proctor se describe en los siguientes incisos.

2.2.1.9 Proceso de Compactación del suelo

El proceso de compactación es fundamental para la estabilidad del suelo donde se desea ejecutar la obra. Como se ha mencionado, los métodos de determinación de densidad de campo, así como los ensayos de laboratorio, nos determinan los valores ideales que se deben de manejar, es por ello que se describe el proceso de la compactación como sigue.

Origen del suelo

La mayor parte del suelo que cubre la tierra está formada por el intemperismo de varias rocas, dentro del intemperismo existen dos tipos principales: el mecánico y el químico, el mecánico es aquel donde el suelo está formado por la acción física sobre las rocas a través del tiempo, tales como la corriente de agua de ríos, viento, olas, hielo glacial,

congelamientos, expansiones y contracciones por cambios climáticos.

El intemperismo químico es el proceso químico por medio del cual se descompone una roca, cambiando sus propiedades y convirtiéndola en otro tipo de roca de menor tamaño.

En ambos casos las rocas son transportadas mediante procesos físicos, a estas rocas se les llama “suelos transportados”, los cuales son transportados por corrientes de aguas (aluviales), depositados por la acción de glaciares (glaciales), o por la acción del viento (eólicos).

Tomando como base la procedencia natural de las rocas y los procesos físico-químicos que se llevaron a cabo para su formación, se puede clasificar en tres categorías de suelos según su origen como sigue.

Ígneas:

Estas se forman cuando el magma se enfría y se solidifica, con o sin cristalización, bajo la superficie, formando rocas intrusivas (plutónicas), y en la superficie formando rocas extrusivas (volcánicas), o formando rocas hipoabisales que es un punto intermedio entre las volcánicas y plutónicas.

Sedimentarias:

Estas son las rocas que se formaron por la acumulación de sedimentos por medio de procesos principalmente físicos. Pueden formarse a las orillas de ríos, en el fondo de barrancos, valles, lagos, mares, y en la desembocadura de ríos, se hallan dispuestas en estratos.

Metamórficas:

Son aquellas rocas que han sido formadas a partir de otra mediante el proceso de metamorfismo. El metamorfismo nunca implica un cambio de estado, y se da indistintamente en rocas ígneas como en rocas sedimentarias cuando éstas

quedan sometidas a altas presiones. Las rocas metamórficas son clasificadas según sus propiedades químicas. Los factores que clasifican las rocas metamórficas son dos: los minerales que las forman y las texturas que presentan.

2.2.1.10 Muestreo

El primer aspecto que se toma en cuenta en un muestreo es que la muestra que se tome sea representativa del terreno. Un muestreo representativo es importante pues tienen que tener los mismos valores en campo y en laboratorio. A menos que la muestra obtenida sea representativa del suelo en estudio, cualquier análisis de la muestra solo será aplicable a la propia muestra y no al material del cual procede.

Las muestras se pueden catalogar bajo dos categorías: alteradas e inalteradas. Una muestra alterada es aquella que no guarda las mismas condiciones que cuando se encontraba en el campo, e inalterada es aquella en la cual se tomaron todos los cuidados necesarios para conservar las mismas propiedades del terreno del cual procede.

Para poder realizar los estudios que corresponden al suelo compactado, se debe tomar todas las precauciones para traer una muestra inalterada, es decir cortar un pie cúbico de material de arista de un área representativa, teniendo cuidado de conservar el perfil estratigráfico del suelo si este aplica y la cual debe ser parafinada para conservar las condiciones de humedad.

La extracción de muestra se divide en 3 principales ramas las cuales son: preliminares, definitivos y geofísicos.

Las cuales se subdividen en: Métodos de exploración o preliminares: o Pozos a cielo abierto (muestreo inalterado o alterado) o Perforaciones o Métodos de lavado o Métodos de penetración estándar o Métodos de penetración cónica Perforaciones en boleos y gravas Métodos definitivos

- Pozos a cielo abierto (muestreo inalterado) o Métodos con tubo de pared delgada Métodos rotatorios para roca Métodos geofísicos
- Sísmico
- Magnético y gravimétrico
- Resistencia eléctrica (E., 2013)

2.2.1.11 Curva de compactación

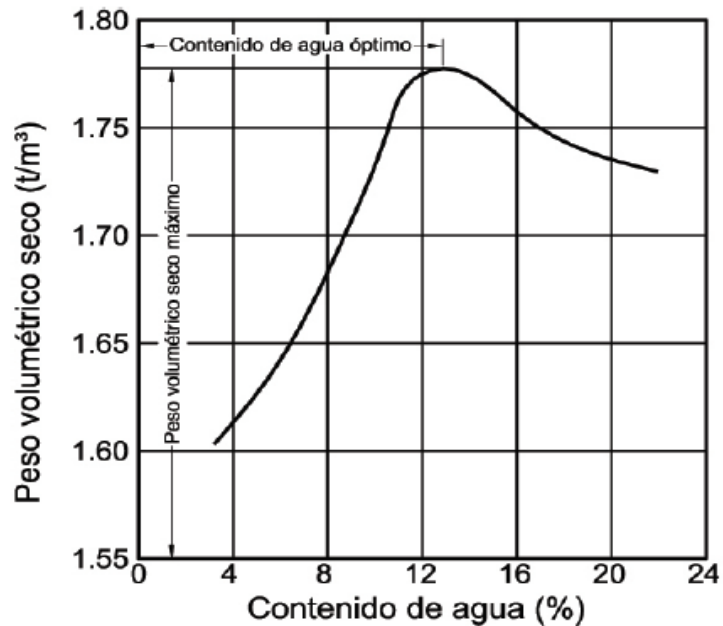
La compactación implica el aumento de partículas sólidas por unidad de volumen, por lo cual es necesario expresar los resultados de la compactación en términos del peso de esa fracción mineral sólida por unidad de volumen; este cociente no es otra cosa que el peso volumétrico seco.

Proctor en su primer artículo trata de establecer alguna correlación entre los procesos de compactación y el aumento del peso volumétrico seco del suelo compactado, hasta proponer y representar el proceso de compactación por medio de una gráfica en la que se observa el cambio del peso volumétrico seco en función del contenido de agua. Asimismo, al realizar diferentes procesos de compactación para el mismo suelo, da como resultado diferentes curvas de compactación ya sea en campo o en laboratorio.

Por el proceso descrito anteriormente, esta curva recibe el nombre de curva de compactación; además de ser el medio gráfico más usual de hoy en día, aunque puede haber otras formas de representar el proceso de compactación.

Regularmente la curva de compactación como la que se observa en la figura 1.1, presenta un máximo; este punto se le conoce como peso volumétrico seco máximo; y el contenido de agua con el que se consigue se denomina contenido de agua óptimo y representa el contenido de agua

donde se observa que en el procedimiento de compactación del suelo produce una eficiencia máxima.



Fuente: Aligeramiento de un suelo compactado con perlas de poliestireno expandido – UNAM, México D.F. Marzo del 2013

La curva d-w se dibuja a partir de la expresión 1.1 que se presenta a continuación:

$$d = m / (1 + w)$$

En donde:

d = peso volumétrico seco.

m = peso volumétrico húmedo.

w = contenido de agua. (Antonio, 2013)

AASHTO T191-02: Standard Method of Test for Density of Soil in-Place by the Sand-Cone Method **ASTM D 1556: Standard Test Method of Density and Unit Weight of Soil in Place by the Sand Cone Method** (T191-02)

2.2.2. Determinación de la densidad de campo por el método del Cono de Arena.

2.2.2.1 Consideraciones generales del método

Este ensayo se utiliza para determinar la densidad y el peso unitario en campo de los suelos usando un aparato de cono de arena. El método es aplicable para suelos sin una cantidad de

rocas o agregado grueso de por lo menos 1½ pulgadas de diámetro. El suelo o el material de ensayo deben contener suficiente cohesión o atracción de partículas para mantener estable las paredes en un agujero pequeño con el fin de ser lo suficientemente firme para soportar presiones menores aplicadas por el proceso de excavación y también soportar la colocación del aparato del cono de arena sin deformarse o ladearse en lo más mínimo.

El método del cono de arena no es ejecutable para suelos orgánicos saturados o con un índice plástico elevado que producirá deformación o compresión durante la excavación del agujero del ensayo.

Cuando los materiales a ser ensayados contienen cantidades apreciables de partículas mayores de 1½ pulgadas (38 mm), o cuando el volumen del agujero es mayor de 0.1 pie³, las normas aplicables entonces son ASTM D 4914-08: Standard Test Methods for Density and Unit Weight of Soil and Rock in Place by the Sand Replacement Method in a Test Pit y ASTM D 5030-04: Standard Test Method for Density of Soil and Rock in Place by the Water Replacement Method in a Test Pit. Estos métodos cubren la determinación de la densidad en campo del suelo y rocas usando arena y agua correspondientemente para llenar un pozo revestido y determinar el volumen del pozo en prueba tomando en cuenta rocas mayores de 3 pulgadas. El método por su modo de ejecución es considerado como un ensayo destructivo ya que en el procedimiento es necesario realizar una excavación para determinar el peso específico seco del campo.

2.2.2.2. Descripción del ensayo

Se realiza un agujero excavado a mano en el suelo que será ensayado y todo el material extraído es guardado en un recipiente, luego de esto, el agujero es llenado con una arena fina que fluya fácilmente con una densidad conocida, la arena

utilizada comúnmente se denomina: arena Ottawa. Y posteriormente el volumen es determinado, la densidad húmeda de campo del suelo es determinada por la división de la masa húmeda del material extraído entre el volumen del agujero.

El contenido de agua del material removido es determinado y la masa seca del material y la densidad de campo seca es calculada usando la masa húmeda del suelo, el contenido de agua y el volumen del agujero.

2.2.2.3. Significado y aplicaciones

El método del cono de arena es comúnmente utilizado como un parámetro aceptable de densidad específica o como un porcentaje de máxima densidad, en suelos compactados. El método también puede ser utilizado para determinar la densidad en campo natural de depósitos de suelo, agregados, mezclas de suelos u otro material similar.

El uso de este método comúnmente se limita a suelos en una condición no saturada. No es recomendado para suelos que son débiles o de fácil deformación o con una condición de humedad de tal manera que el agua escurra en el agujero excavado.

La precisión del ensayo puede ser afectada por suelos que se deformen fácilmente o que se puedan producir cambios en el volumen del agujero excavado debido a vibraciones producidas por diversas situaciones como el caminar cerca del sitio de ensayo o maquinaria de construcción que pase cerca del sitio, es por ello que es recomendable parar cualquier actividad de construcción que produzca vibraciones en el suelo ya que pueden afectar grandemente los resultados.

2.2.2.4.- Equipo

El aparato de cono de arena consiste en un frasco de vidrio o plástico con una capacidad de volumen que al menos exceda

la cantidad requerida para llenar el agujero a excavar, aproximadamente de 3,785 cm³ de capacidad. El frasco debe estar unido a un embudo que a su vez se une a una válvula con un orificio de aproximadamente ½ pulgada. (13mm) de diámetro, adjuntada a la vez a otro embudo metálico que ajusta el diámetro deseado según sea el dato del ensayo que se desee, por ejemplo, para el análisis de una capa sub_base se utiliza un embudo metálico de 4" y para el análisis de una capa base se utiliza de 6 pulgadas de diámetro.

Figura N° 5: Aparato de cono de arena



Fuente: HUMBOLDT, Construction Materials Testing Equipment Catálogo 2012.

2.2.2.5. Consideraciones generales del equipo

La válvula del aparato debe de ser construida de tal forma que pueda realizar paradas para prevenir que siga rotando al momento de intentar detener el flujo de la arena. El embudo debe consistir de un metal lo suficientemente rígido para evitar deformaciones en el mismo, además las paredes del cono deben de encontrarse a 60° de la base para permitir un llenado de arena uniforme, el embudo final se le conoce comúnmente como "Picnómetro".

Todo el aparato del cono de arena se estabiliza por medio de una base o plato metálico con una orilla biselada en el agujero del medio para adaptar el aparato con el plato. El plato debe de ser de preferencia cuadrado y con al menos 3" (75 mm) más

largo que el embudo o cono metálico. Debe ser liso en la parte de abajo, y debe contener el suficiente grosor para ser rígido.

Figura N° 6: Plato base del aparato cono de arena



Fuente: HUMBOLDT, Construction Materials Testing Equipment Catálogo 2012.

La arena a utilizar para el llenado del agujero debe ser limpia, seca, con densidad uniforme, graduada, no cementante, durable y que tenga un amplio rango de fluidez.

La gradación debe ser realizada con un coeficiente de uniformidad ($C_u = D_{60}/D_{10}$) menor a 2, con un tamaño máximo de partícula de 2 mm que lo determina el tamiz No. 10; y menos del 3 % del peso que pase el tamiz No. 60. La arena uniformemente graduada es necesaria para prevenir segregación durante el manipuleo, guardado y uso. Arena libre de finos y partículas finas es requerida para prevenir cambios de la densidad debido a la humedad de la atmósfera.

La arena que contiene partículas naturales redondeadas es deseable para el ensayo, arena con partículas de muchos ejes y ángulos, no permite el flujo libre de la misma lo cual dificulta en gran manera el procedimiento, condición que produce resultados inexactos. Comúnmente se utiliza un tipo de arena de partículas redondeadas de aproximadamente 2 mm de diámetro, con una buena fluidez, denominada arena Ottawa, la cual pasa por el tamiz No. 20 (0.085 mm) y se retiene en el tamiz No. 30 (0.606 mm), la arena se debe lavar y posteriormente secar en horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

Figura N° 7: Arena Ottawa



Fuente: HUMBOLDT, Construction Materials Testing Equipment Catálogo 2012.

Se utiliza una balanza para determinar el peso del material extraído, así como de los picnómetros, la balanza debe de ser de 35 lb de capacidad con una sensibilidad de 0.01 lb. El siguiente modelo es un ejemplo de la misma.

Figura N° 8: Balanza Ohaus de capacidad 35 lb



Fuente: HUMBOLDT, Construction Materials Testing Equipment Catálogo 2012

Durante el procedimiento del ensayo se hace necesario el uso del tamiz No. ¾ (19 mm), el cual sirve para eliminar partículas muy grandes que pueden estropear el resultado, es aquí donde se debe analizar si realmente aplica este ensayo o es mejor utilizar alternos.

También se utilizan una serie de accesorios que sirven para limpiar, excavar, guardar material, etc. Los cuales se mencionan a continuación. Martillo Cuchara Cincel Brocha Bandejas metálicas para guardar material del suelo Para la determinación del contenido de humedad en el suelo es

necesaria la utilización de un aparato llamado “Speedy”. Este aparato consta de una cámara cilíndrica de presión adjunta con un manómetro, balanza, carburo de calcio, medidor del carburo de calcio, esferas de acero de 1 centímetro de diámetro, y su equipo de limpieza. El aparato se rige por las normas ASTM D 4944-04 y AASHTO T-217.

Figura N° 9: Speedy 2000 Determinador de humedad



Fuente: HUMBOLDT, Construction Materials Testing Equipment Catálogo 2012.

El Speedy es un aparato utilizado para medir contenido de humedad en campo, ya que llevar muestras del suelo a un laboratorio para este ensayo no es práctico, por el contrario, es difícil. Para este ensayo se necesita que todas las partículas que se ensayen pasen por el tamiz No. 4 (4,75 milímetros).

El problema con este ensayo es que se pueden producir inexactitudes debido a que la muestra que se utiliza en el aparato es muy pequeña para representar la humedad en toda el área. Por lo tanto, otros métodos son recomendados cuando se requieren datos muy exactos.

2.2.2.6. Calibración

La calibración del equipo es un paso fundamental en el desarrollo de cualquier ensayo, cumple con el proceso de brindar un aparato el cual arroje datos exactos a la capacidad del mismo, es por ello que se brindan los aspectos principales para la calibración del equipo de este ensayo.

a) Calibración del aparato de cono de arena

La masa de arena contenida en el aparato del cono de arena y el plato base son dependientes de las acumulaciones de densidad de la arena. Por lo tanto, este procedimiento de calibración se debe realizar para cada aparato cuando se encuentren cambios en las acumulaciones de densidad de la arena.

La calibración del aparato puede ser realizada por medio de 2 métodos principales:

- ✓ Mediante la determinación de la masa de arena calibrada que puede ser contenida en ambos, el embudo y el plato base.
- ✓ Mediante la determinación del volumen de la arena necesaria para llenar cada embudo y plato base; y aplicando este volumen constante siempre cuando nuevas acumulaciones en la densidad de la arena son calculadas

- **Método A:**

- Se llena el aparato con arena que fue secada previamente y condicionada al mismo estado anticipado durante el uso en el ensayo.
- Posteriormente se determina la masa del aparato cuando está lleno de arena. o Se coloca el plato base en una superficie limpia, nivelada y plana.

- Después se invierte el aparato y se asienta el embudo en el centro de la hendidura del agujero en el centro del plato base.
 - Se marca e identifica el aparato y el plato base en su posición para que de esa manera el mismo aparato y plato base encajen y puedan ser colocados en la misma posición durante el ensayo.
 - Se abre la válvula completamente hasta que el flujo de arena se detenga, asegurándose que el aparato, plato base o superficie plana no vibren antes que la válvula sea cerrada.
 - Se cierra la válvula de una manera cortante, se remueve el aparato y se determina la masa del aparato y el restante de arena. Se calcula la masa de arena usada para llenar el embudo y plato base como la diferencia entre la masa inicial y final.
 - Se repite el mismo procedimiento al menos 3 veces. La máxima variación entre cualquier determinación y el promedio no debe exceder en 1 %. Se usa el promedio de las 3 determinaciones para este valor en los cálculos del ensayo.
- **Método B:**
 - Se determina la masa de arena requerida para llenar el embudo del aparato y el plato base y se repiten todos los pasos del método A.
 - Se calcula el volumen del embudo y el plato base dividiendo la acumulación de densidad de la arena entre la masa determinada en el paso 5 del método A. Se realizan un mínimo de 3 determinaciones y se calcula un valor promedio. La máxima variación de volumen entre cualquier determinación y el promedio no debe exceder de 1 %. Se usa este

promedio de valores para realizar cálculos del ensayo.

2.2.2.7. Cálculos generales

Para determinar la densidad en campo por medio del método del cono de arena se realizan los siguientes cálculos, tomando en cuenta los criterios planteados en el procedimiento:

- Determinación del peso de la arena en el embudo:

$$Pae = \text{Picnómetro 1} - \text{Picnómetro 2}$$

- Determinación del peso de arena para llenar el embudo y el agujero:

$$Pae + ag = \text{Picnómetro 2} - \text{Picnómetro 3}$$

- Determinación del peso de la arena en el agujero. Se resta el peso de la arena en el embudo más el agujero $Pae + ag$, con el peso de la arena en el embudo Pae :

$$Pa = (Pae + ag) - Pae = (\text{Pic 2} - \text{Pic 3}) - (\text{Pic 1} - \text{Pic 2})$$

- Determinación del volumen del agujero. Se divide el peso de la arena en el agujero Pa , dentro del peso específico de la arena calibrada Ottawa.

$$\text{Volumen} = \frac{Pa}{\text{Peso Unitario Arena Calibrada Ottawa}}$$

- Por último, se determina el porcentaje de compactación, por medio de las siguientes fórmulas:

$$PUH = \frac{\text{Peso Neto Humedo del material extraido}}{\text{Volumen del agujero}}$$

$$PUS_{\text{campo}} = \frac{P.U.H.}{100 + \% \text{ de Humedad}} \times 100$$

$$\%C = \frac{P.U.S._{\text{campo}}}{P.U.S._{\text{laboratorio}}} \times 100$$

- Es muy importante determinar el porcentaje de compactación del área de trabajo, ya que con el mismo se

puede visualizar si la compactación fue la adecuada o no. Al final para la mayoría de laboratoristas, este es el dato de mayor importancia para ir controlando la densidad en campo.

2.2.3 Técnicas de investigación de campo:

(CE-010, 2010) Explicó que; las técnicas de investigación en el campo, aplicables al *EMS* para *DP*, son los indicados en la siguiente tabla.

NORMA	DENOMINACIÓN
MTC E101-2000	Pozos, calicatas, trincheras y zanjas
NTP 339.143:1999	SUELOS. Método de ensayo estándar para la densidad y el peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de
NTP 339.144:1999	SUELOS. Método de ensayo estándar para la densidad in-situ de suelo y suelo-agregado por medio de métodos nucleares (Profundidad superficial).
NTP 339.250:2002	SUELOS. Método de ensayo para la determinación en campo del contenido de humedad, por el método de presión del gas carburo de calcio. 1a. ed.
NTP 339.150:2001	SUELOS. Descripción e identificación de suelos. Procedimiento visual manual.
NTP 339.161:2001	SUELOS. Práctica para la investigación y muestreo de suelos por perforaciones con barrena.
NTP 339.169:2002	SUELOS. Muestreo geotécnico de suelos con tubos de pared delgada
NTP 339.172:2002	SUELOS. Método de prueba normalizada para el contenido de humedad de suelo y roca in situ por métodos nucleares (poca profundidad).
NTP 339.175:2002	SUELOS. Método de ensayo normalizado in-situ para CBR (California Bearing Ratio-Relación del Valor Soporte) de suelos.
ASTM D 6951	Método estándar de ensayo para el uso del penetrómetro dinámico de Cono en aplicaciones superficiales de pavimentos.

Fuente: (CE-010, 2010).

2.2.4 El número de puntos de investigación será de acuerdo con el tipo de vía según se indica en la siguiente, con un mínimo de tres (03).

Tabla N° 2: El número de puntos de investigación

TIPO DE VÍA	NÚMERO MÍNIMO DE PUNTOS DE	ÁREA (m²)
Expresas	1 cada	2000
Arteriales	1 cada	2400
Colectoras	1 cada	3000
Locales	1 cada	3600

Fuente: EC-010-Pavimentos Urbanos

Suelos y Cimentaciones.

- Los puntos de investigación se ubicarán preferentemente en los cruces de vías, pudiendo emplearse puntos intermedios, que permitan establecer la estratigrafía a lo largo de la vía.
- En el caso de reposición de pavimentos cortados para instalación o reparación de servicios, se ejecutará un punto de investigación cada 100 metros con un mínimo de tres (03).
- La profundidad mínima de investigación será de 1,50 m por debajo de la cota de rasante final de la vía.
 - Si dentro de la profundidad explorada se encontraran suelos blandos o altamente compresibles, la profundidad de investigación deberá ampliarse a criterio del PR.
- Donde exista rellenos no controlados se deberá investigar en todo su espesor debiendo profundizarse no menos de 0,50 m dentro del suelo natural.
- Donde se encuentren macizos rocosos dentro de la profundidad de investigación, se deberá registrar su profundidad y grado de fracturamiento y estimar su resistencia a la compresión.
- Efectuados el registro de la estratigrafía, el muestreo y la toma de fotografía, se deberá rellenar las excavaciones con los materiales extraídos.

- Durante la investigación de campo se elaborará un perfil estratigráfico para cada punto de investigación, basado en la clasificación visual manual, según la NTP 339.150:2001.
- En caso de encontrar suelos finos no plásticos dentro de la profundidad de investigación, se deberán ejecutar ensayos para determinar su densidad natural.
- Se tomará por lo menos una muestra representativa de cada tipo de suelo para su posterior ensayo de laboratorio, según las normas respectivas indicadas en la Tabla 3.
- Se determinará un (1) CBR por cada 5 puntos de investigación o menos según lo indicado en la Tabla 2 y por lo menos un (1) CBR por cada tipo de suelo de sub-rasa.

2.2.5. Especificaciones técnicas constructivas

Los requisitos mínimos para los diferentes tipos de pavimentos, son los indicados en la siguiente tabla:

Tabla N° 3: requisitos mínimos para los diferentes tipos de pavimentos

Tipo de Pavimento		Flexible	Rígido	Adoquines
Elemento				
Sub-rasante		95 % de compactación: Suelos Granulares - Proctor Modificado Suelos Cohesivos - Proctor Estándar		
		Espesor compactado: ≥ 250 mm – Vías locales y colectoras ≥ 300 mm – Vías arteriales y expresas		
Sub-base		CBR ≥ 40 % 100% Compactación Proctor Modificado	CBR ≥ 30 % 100% compactación Proctor Modificado	
Base		CBR ≥ 80 % 100% Compactación Proctor Modificado	N.A.*	CBR ≥ 80% 100% compactación Proctor Modificado
Imprimación/capa de apoyo		Penetración de la Imprimación ≥ 5 mm	N.A.*	Cama de arena fina, de espesor comprendido entre 25 y 40 mm.
Espesor de la capa de rodadura	Vías locales	≥ 50 mm	≥ 150 mm	≥ 60 mm
	Vías colectoras	≥ 60 mm		≥ 80 mm
	Vías arteriales	≥ 70 mm		NR**
	Vías expresas	≥ 80 mm	≥ 200 mm	NR**

Fuente: EC-010-Pavimentos Urbanos.

2.2.6. Criterios geotécnicos para establecer la estabilización de suelos

Se considerarán como materiales aptos para las capas de la subrasante suelos con CBR ≥ 6%. En caso de ser menor (subrasante

pobre o subrasante inadecuada), o se presenten zonas húmedas locales o áreas blandas, será materia de un Estudio Especial para la estabilización, mejoramiento o reemplazo, donde el Ingeniero Responsable analizará diversas alternativas de estabilización o de solución, como: Estabilización mecánica, Reemplazo del suelo de cimentación, Estabilización con productos o aditivos que mejoran las propiedades del suelo, Estabilización con geosintéticos (geotextiles, geomallas u otros), Pedraplenes, Capas de arena, Elevar la rasante o cambiar el trazo vial sí las alternativas analizadas resultan ser demasiado costosas y complejas (ZECENARRO MATEUS, 2013).

2.2.7. Estabilización por sustitución de los suelos

(ZECENARRO MATEUS, 2013) Explicó que; cuando se prevea la construcción de la subrasante mejorada solamente con material adicionado, pueden presentarse dos situaciones, sea que la capa se construya directamente sobre el suelo natural existente o que éste deba ser excavado previamente y reemplazado por el material de adición. En el primer caso, el suelo existente se deberá escarificar, conformar y compactar a la densidad especificada para cuerpos de terraplén, en una profundidad de quince centímetros (15 cm). Una vez se considere que el suelo de soporte esté debidamente preparado, autorizará la colocación de los materiales, en espesores que garanticen la obtención del nivel de subrasante y densidad exigidos, empleando el equipo de compactación adecuado. Dichos materiales se humedecerán o airearán, según sea necesario, para alcanzar la humedad más apropiada de compactación, procediéndose luego a su densificación. En el segundo caso, el mejoramiento con material totalmente adicionado implica la remoción total del suelo natural existente, de acuerdo al espesor de reemplazo. Una vez alcanzado el nivel de excavación indicado, conformado y compactado el suelo, se procederá a la colocación y compactación en capas de los materiales, hasta alcanzar las cotas exigidas.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Todos los términos a ser usados en la investigación, así como los conceptos que requieran ser detallados, serán definidos en forma precisa y concisa, para dar a conocer un vocabulario necesario para alcanzar un entendimiento austero como mínimo para cualquier persona interesada por el trabajo.

1. **Compresibilidad:** calidad de compresible. Depende del líquido, a mayor Π mayor compresibilidad.
2. **Densidad:** compacto, apretado, muy pesado, en relación con su volumen.
3. **Humedad óptima:** porcentaje de agua necesaria en el momento de la compactación, previamente en un laboratorio.
4. **Límite de cohesión:** es el contenido de humedad con el cual las boronas de suelo son capaces de pegarse unas con otras.
5. **Límite líquido:** es el contenido de humedad correspondiente al límite entre el estado semi-líquido y plástico. Se les practican estos ensayos a los materiales que pasen la malla no. 40.
6. **Limite plástico:** es el contenido de humedad correspondiente al límite entre el estado plástico y semi-sólido.
7. **Muestra:** cantidad de material necesario para realizar todas las pruebas de laboratorio y aún repetir las incorrectas o aquellas cuyos resultados son dudosos.
8. **Muestras alteradas:** llamadas también “perturbadas”, las cuales se toman cuando el material que se analice vaya a ser empleado en la construcción de terraplenes, en la preparación de muestras estabilizadas, y otras obras (material de construcción)
9. **Muestreo:** es la actividad de campo, que consiste en la obtención de una o varias porciones de los materiales, con los cuales se pretende construir una estructura (pavimento), procediendo de tal manera que las características de la o las porciones obtenidas, permitan hacer una evaluación lo más real posible, del conjunto que representan.
10. **Peso específico:** es la relación entre el peso, al aire, de las partículas minerales y el peso, al aire, del agua destilada a un mismo volumen.
11. **Peso volumétrico seco:** es la relación entre el peso de los sólidos y el volumen total del suelo. Se usa en cuestiones de compactación.

12. **Propiedades mecánicas:** evaluadas mediante parámetros cuantitativos que sirven en el cálculo de estabilidades de las fundaciones o estructuras de tierra.
13. **Cohesión:** Propiedad del concreto que describe la facilidad o dificultad que tiene la pasta de cemento y la mezcla con los agregados, de atraerse para mantenerse como suspensión en el concreto, evitando la disgregación de los materiales. Esto debido al exceso de finos en la arena. A la fuerza de cohesión que es la atracción entre moléculas que mantiene unidas las partículas de una sustancia.
14. **Compactación:** Consiste en compactar material de relleno en un terreno determinado.
15. **Manómetro:** Es un instrumento utilizado para la medición de la presión.
16. **Sub-rasante:** La sub-rasante es la capa de terreno natural de una carretera, que soporta la estructura del pavimento, se extiende hasta una profundidad tal que no le afecte la carga de diseño correspondiente al tránsito previsto. De su capacidad soporte depende el espesor que debe de tener toda la estructura del pavimento. Es considerada como la cimentación del pavimento.
17. **Compacidad relativa:** es usada en suelos granulares $C_r = (e_{max} - e) / (e_{max} - e_{min})$. La definición de la compacidad relativa. (o densidad relativa) implica comparar la densidad del suelo respecto de sus estados más denso y más suelto posible.
18. **Grado de compactación:** Es la densificación del suelo por medios mecánicos. El objetivo, mejorar la resistencia y estabilidad volumétrica, afectando la permeabilidad, como consecuencia del proceso de densificación de la masa.

2.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.4.1. Hipótesis General

La dimensión de la capa de compactación para alcanzar el peso específico seco máximo de laboratorio a una humedad óptima de laboratorio varía, según aumente la energía de compactación de 8, 16 y 24 pasadas de rodillo para el suelo de la calle ubicada en la APV. Ciudad Nueva de San Sebastián 5to. Paradero - Cusco.

2.4.2. Hipótesis Específicas

- a) La magnitud de capa de compactación a la que alcanza el máximo peso específico en campo aumentó según va variando la energía de compactación de rodillo para 8, 16 y 24 pasadas de rodillo, en el suelo de la calle ubicada en la APV. Ciudad Nueva de San Sebastián 5to. Paradero - Cusco.
- b) La dimensión de cada capa de compactación a la que alcanza la compactación relativa de 75%, 85% y 95% variando la energía de compactación de rodillo aumentó según va variando la energía de compactación para 8, 16 y 24 pasadas de rodillo, en el suelo de la calle ubicada en la APV. Ciudad Nueva de San Sebastián 5to. Paradero – Cusco.

2.5. VARIABLES DEL ESTUDIO

2.5.1 Variable Dependiente: El suelo de la zona en estudio

Dimensión / Indicadores de la Variable Dependiente

Suelo Natural:

- Análisis granulométrico.
- Límite líquido.
- Límite plástico.
- Índice de plasticidad
- Clasificación del suelo.

5.1.2 Variable Independiente: El peso específico seco máximo

Dimensión / Indicadores de la Variable Independiente

Suelo Natural:

- Contenido de humedad natural.
- Densidad de campo.
- Compactación.
- CBR.

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

- La operacionalización de variables se detalla adjunto en ANEXO.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Es una investigación de tipo CUANTITATIVA y NIVEL TRANSVERSAL.

3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El método que se usó en la presente investigación es EXPERIMENTAL, porque analiza la variable y mide el efecto de la variable independiente (el peso específico seco máximo) sobre la variable dependiente (el suelo de la zona en estudio).

3.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Es una investigación cuantitativa transversal y de diseño experimental.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1 Población

La población de la investigación es: el suelo de la calle ubicada en la APV. CIUDAD NUEVA DE SAN SEBASTIAN 5TO PARADERO – CUSCO y el suelo de préstamo de la cantera de TIPÓN.

3.4.2 Muestra

La muestra representativa con la cual se trabajará está tomada de la calle, ubicada en la zona de la APV. CIUDAD NUEVA DE SAN SEBASTIAN 5TO PARADERO – CUSCO a través de 3 calicatas. Así mismo se ha tomado muestras del material (suelo de préstamo) para mejoramiento de sub rasante de la cantera de TIPON. En total 04 muestras que se trabajarán tanto en laboratorio de mecánica de suelos y en campo, entre muestras de suelos natural y compactado y 24 especímenes ensayados con cono de arena.

Tabla N° 4: Muestra Representativa

ESPECIMEN	CONDICION	CANTIDAD
Suelo natural	Calicatas aperturadas en la APV Ciudad Nueva San Sebastián- Cusco	03
Suelo para mejoramiento	Suelo de préstamo de la cantera de Tipón-Cusco	01
Suelo para mejoramiento (densidades cono de arena)	Suelo de préstamo de la cantera de Tipón-Cusco	24

Fuente: Elaboración propia.

3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE LA RECOLECCIÓN DE DATO

3.5.1 Técnicas de Tratamiento de los Datos:

El procedimiento que se usó es el de la OBSERVACIÓN. A continuación se detalla el cronograma de actividades.

Tabla N° 5: Cronograma de Actividades

ACTIVIDAD	2017					2018									
	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O
1.- Exploracion bibliografica	X	X													
2.- Encontrar el area y tema de estudio			X												
3.- Elaboracion del capitulo I				X											
4.- Elaboracion de la matriz de consistencia				X											
5.- Revision de los antecedentes de investigacion					X										
6.- Elaboracion del marco teorico					X	X									
7.- Revision del Capitulo II							X								
8.- Diseño, tipo, nivel, metodo de investigacion								X							
9.- Formulacion de hipotesis y variables								X							
10.- Revision del Capitulo III									X						
11.- Elaboracion de instrumentos										X					
12.- Trabajo de Campo											X	X	X		
13.- Revision del Capitulo IV														X	
14.- Tabulacion e interpretacion de datos														X	
15.- Discusion y revision del capitulo V															X
16.- Elaboracion de la propuesta															X
17.- Informe final															X

Fuente: Elaboración propia.

3.5.2. Instrumentos

El instrumento que se uso fue LA FICHA DE LABORATORIO. A continuación se detalla el presupuesto.

Tabla N° 6: Detalle del Presupuesto

Concepto	Unidad	Cantidad	PU	Parcial (S/)
a) Recursos materiales				
Textos de especialidad	Unid.	5	50	250
Impresiones	Unid.	1440	0.1	144
Materiales de Escritorio	Global	1	100	100
Internet	Unid.	400	1	400
Papel Bond	Millar	2	400	800
Material de préstamo (18m3)	m3	1	200	200
b) Recurso Humano				
Asesoría	Unid.	1	150	150
Técnico en laboratorio	Unid.	1	350	350
c) Maquinaria				
Rodillo liso	Unid.	1	300	300
Retroexcavadora	Unid.	1	240	240
d) Servicios				
Pasajes	Global	1	500	500
Ensayos de laboratorio	Calicata	4	1400	5600
			Total	9034

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ENSAYOS DE LABORATORIO

Los suelos seleccionados para la realización de la presente investigación, fueron tomadas de los siguientes lugares, considerando sus diferentes características granulométricas:

- Suelo del sector de la APV. Ciudad Nueva – San Sebastián 5to paradero – Cusco.
- Suelo de préstamo para mejoramiento de la cantera de Tipón.

4.1.1 Ensayo granulométrico por tamizado

MTC E 107-2000

El objetivo es determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 0.075 mm (N°200).

Equipos de accesorios

Tamices de malla cuadrada.

Balanza con sensibilidad de 0.1 gramo.

Horno de secado.

Bandejas, cepillos y brochas.

Muestra representativa del suelo.

Muestra

El suelo tiene que secar al aire libre.

Cuartear el suelo secado al aire libre hasta obtener una muestra representativa.

Procedimiento

Pesar la muestra representativa (obtenido del cuarteo) y llevarla al horno por 24 horas.

Se realiza un lavado por la malla N° 200, se echa la muestra en porciones, de forma que no se pierda partículas mayores a 0.074 mm.

Una vez lavada la muestra por la malla N° 200, el material retenido debe secarse en el horno por 24 horas. Luego de esa etapa, se enfría la muestra y se pesa. Así se obtiene el peso lavado y secado al horno.

La muestra se echa por la parte superior de la serie de tamices y luego se sacude por espacio de diez a quince minutos. Se debe tener cuidado de no perder material durante el zarandeo.

Luego de tamizado se procede a pesar el material retenido en cada malla.

Ecuaciones

Se calcula el porcentaje retenido en cada tamiz, se aplica la siguiente ecuación.

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{Peso retenido en el tamiz}}{\text{Peso total de la muestra}} \times 100$$

Una vez obtenido el porcentaje retenido en cada tamiz se puede calcular el % retenido acumulado para luego calcular el % pasante con una simple diferencia entre el valor de 100 con el % retenido acumulado.

Para poder ver gráficamente el comportamiento de las partículas de un suelo se grafican en un formato semi- logarítmico.

4.1.2 Ensayo de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice Plástico.

MTC E 110-2000: determinación del límite líquido de suelos.

MTC E 111-2000: determinación del límite plástico e índice de plasticidad.

Equipos de accesorios

- ✓ Recipientes para Almacenaje y mezcla.
- ✓ Tamiz N°40.
- ✓ Espátula de hoja flexible.
- ✓ Aparato del límite líquido (copa de Casagrande) con su acanalador.
- ✓ Capsulas para obtener el contenido de humedad.
- ✓ Balanza. Una balanza con sensibilidad de 0.1 gr.
- ✓ Horno de secado.
- ✓ Pipeta con agua.
- ✓ Placa de vidrio esmerilado de por lo menos 30cm. de lado, de forma cuadrada por 1 cm. de espesor.

Muestra

Para el límite líquido obtener una muestra seca de 150 a 200 gr. pasante el tamiz No 40 y 25 gr para el límite plástico.

Procedimientos.

Determinación del Límite Líquido

Colocar el suelo pasante malla No. 40 en una vasija de evaporación y añadir una pequeña cantidad de agua, dejar que la muestra se humedezca.

Mezclar con ayuda de la espátula hasta que el color sea uniforme y conseguir una mezcla homogénea.

Se coloca una pequeña cantidad de masa húmeda en la parte central de la copa y se nivela la superficie, luego se pasa el acanalador por el centro de la copa para cortar en dos la pasta de suelo.

Poner en movimiento la cazuela con ayuda de la manivela y suministrar los golpes a una velocidad de dos golpes por segundo que sean necesarios para cerrar la ranura en 12.7 mm., Cuando se cierre la ranura, registrar la cantidad de golpes y tomar una muestra de la parte central para la determinación del contenido de humedad.

Este proceso se repite nuevamente con tres muestras más para lograr cuatro puntos a diferentes contenidos de humedad.

Determinación del Límite Plástico

El límite plástico es la humedad correspondiente en el cual el suelo se cuarteo y quiebra al formar pequeños rollitos de 3.2 mm de diámetro.

Se trabaja con el material preparado para el límite líquido se toma aproximadamente 20gr.

Se amasa el suelo y se deja que pierda humedad hasta una consistencia a la cuál pueda enrollarse sin que se pegue a las manos esparciéndolo y mezclándolo continuamente sobre la placa de vidrio, la prueba continúa hasta que el rollito empieza a rajarse y tiende a desmoronarse.

Una vez que se ha producido el límite plástico se debe colocar el rollito en un recipiente de peso conocido y se pesa para determinar el contenido de humedad.

Ecuaciones

El índice de plasticidad del suelo se obtiene de la siguiente diferencia:

$$IP = LL - LP$$

Dónde:

IP= índice de plasticidad

LL= límite líquido

LP= límite plástico

4.1.3 Ensayo de Proctor

MTC E 110-2000

El objetivo de la prueba es determinar el. Contenido de humedad para el cual el suelo alcanza su máxima densidad seca.

Se tiene que desarrollar un método de ensayo para determinar la relación entre el contenido de humedad y el peso unitario seco compactado con una energía de compactación determinada.

Según la gradación de las partículas se aplica uno de los métodos que se detallan en la siguiente tabla.

Tabla N° 7: Método de Compactación (Próctor Modificado)

	METODO "A"	METODO "B"	METODO "C"
Molde	4" de diámetro (101,6mm)	4" de diámetro (101,6mm)	6" (152,4mm) de diámetro.
Material	Se emplea el que pasa por el tamiz N° 4	Se emplea el que pasa por el tamiz de 3/8"	Se emplea el que pasa por el tamiz 3/4"
Capas	5	5	5
Golpes por capa	25	25	56
Uso	Cuando el 20% ó menos del peso del material es retenido en el tamiz N° 4	Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz N° 4 y 20% o menos de peso del material es retenido en el tamiz 3/8"	Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 3/8" y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz 3/4"
Otros usos	Si el método no es especificado; los materiales que cumplen estos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando método B o C	Si el método no es especificado, y los materiales entran en los requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando método C.	El molde de 6 pulgadas de diámetro no será usado con los métodos A o B.

Fuente: MTC E 110-2000.

Equipos y accesorios

Molde de 4 o 6 pulgadas con una altura de 4,584 pulg (116,4 mm) y un volumen de 0,0333 pie³ (944 cm³) y 0,075 pie³ (2124 cm³) respectivamente; un plato base y un collar de extensión de 2".

Pisón o Martillo, el pisón debe caer libremente a una altura de 18 pulg
Balanza, con una aproximación de 1 gramo.

Horno de Secado, capaz de mantener una temperatura uniforme de 230 ± 9 °F(110±5°C).

Regla metálica, rígida de una longitud conveniente pero no menor que 1 o pulgadas

Tamices de 1/4" (19,0 mm), 3/8" (9,5 mm) y N° 4 (4,75mm)

Diversas herramientas tales como cucharas, mezclador, pipeta, probetas, fuente para la mezcla completo de muestra de suelo con incrementos de agua.

Muestra

Este ensayo se aplica sólo para suelos que tienen 30% o menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 19,0 mm.

Secar el material si este estuviera húmedo, puede ser al aire libre o al horno.

Disgregar por completo los grumos de tal forma de evitar moler las partículas individuales. Pasar el material por el tamiz N°4, 3/8" o 3/4", según el método a emplearse.

Procedimiento

Se prepara mínimo cuatro (preferiblemente cinco) especímenes con contenidos de agua de modo que éstos tengan un contenido de agua lo más cercano al óptimo estimado.

Preparar 4 ó 5 muestras de 6kg. Para el método C y de 3 Kg. si se emplea el método A ó B.

Determinar y anotar la masa y volumen del molde.

Colocar la primera capa en el molde y aplicarle 25 ó 56 golpes según el método de ensayo.

Compactar el espécimen en cinco capas, cada capa deberá tener aproximadamente el mismo espesor, se aplicará los golpes en una relación uniforme de aproximadamente 25 golpes/minuto.

La última capa debe quedar en el collarín de tal forma que luego pueda en rasarse.

Determine y registre la masa del espécimen, luego remover el material del molde para extraer una porción de suelo para determinar el contenido de humedad.

Llevar las muestras al horno para determinar la humedad.

Repetir el procedimiento para un mínimo de 4 puntos compactados a diferentes contenidos de humedad, dos de los cuales quedan en el lado seco de la curva y los otros dos en el lado húmedo.

Ecuaciones

Una vez determinados el contenido de humedad de cada muestra hallar la densidad seca de cada punto con la siguiente expresión:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{1 + w}$$

Dónde:

y_d = densidad seca

y_m = densidad húmeda

w = contenido de humedad.

4.1.4 Ensayo de CBR

MTC E 132-2000

La finalidad de este ensayo, es determinar la capacidad de soporte (CBR) de suelos y agregados compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables.

Equipos y accesorios

- ✓ Prensa de compresión, la capacidad de la prensa y su sistema para la medida de carga debe ser de 44.5 kN (10000 lbf) o más y la precisión mínima en la medida debe ser de 44 N (10 lbf) o menos.
- ✓ Molde de metal cilíndrico de 152,4mm de diámetro interior y de 177,8 mm de altura, un collar de metal de 50.8 mm de altura y una placa de base perforada.
- ✓ Disco espaciador de metal, de forma circular, de 150.8 mm de diámetro exterior y de 61,37 mm de espesor, para. insertarlo como falso fondo en el molde cilíndrico durante la compactación.
- ✓ Pisón de compactación como el descrito en el modo operativo de ensayo Proctor Modificado.
- ✓ Aparato medidor de expansión compuesto por: Una placa de metal perforada, por cada molde, de 149.2 mm de diámetro, estará provista de un vástago en el centro con un sistema de tomillo que permita regular su altura. Un trípode cuyas patas puedan apoyarse en el borde del molde, que lleve montado y bien sujeto en el centro un dial (deformímetro), cuyo vástago coincida con el de la placa, de forma que permita controlar la posición de éste y medir la expansión, con aproximación de 0.025 mm (0.001").
- ✓ Uno o dos pesas anulares de metal que tengan una masa total de 4,54 kg y pesas ranuradas de metal cada una con masas de 2,27 kg.
- ✓ Pistón de penetración metálico de sección transversal circular, de 49.63 mm de diámetro.

- ✓ Dos diales. - con recorrido mínimo de 25 mm (1") y divisiones lecturas en 0.025 mm (0.001 ").
- ✓ Tanque para la inmersión de los moldes.
- ✓ Horno de secado.
- ✓ Misceláneos, Tamices, papel filtro, espátulas, enrasador, pipeta.

Muestra

Se prepara la muestra necesaria. Previamente se debe haber efectuado el ensayo Proctor-modificado, se calcula una cantidad suficiente para moldear tres muestras.

Procedimiento

Fase de compactación:

Se toma 5 kg de suelo por cada molde CBR.

Se determina la humedad óptima y la densidad máxima por medio del ensayo de Proctor.

Se determina la humedad natural del suelo mediante secado en estufa, según la norma MTC E 108. Conocida la humedad natural del suelo, se le añade la cantidad de agua que le falte para alcanzar la humedad fijada para el ensayo.

Se pesa el molde con su base, se coloca el collar y el disco espaciador y, sobre éste, un disco de papel de filtro grueso del mismo diámetro.

Una vez preparado el molde, se compacta el espécimen utilizando en cada molde la proporción de agua y la energía necesarias para que el suelo quede con la humedad y densidad deseadas.

La prueba se efectúa dando 56, 25 y 10 golpes por capa y con contenido de agua correspondiente a la óptima.

Para suelos cohesivos interesa mostrar su comportamiento sobre un intervalo amplio de humedades. Las curvas se desarrollan para 56, 25 y 10 golpes por capa, con diferentes humedades, con el fin de obtener una familia de curvas que muestran la relación entre el peso específico, humedad y relación de capacidad de soporte.

Si el espécimen se va a sumergir, se toma una porción de material, entre 100 y 500 g (según sea fino o tenga grava) antes de la compactación y otra al final, se mezclan y se determina la humedad del Suelo. Si la

muestra no va a ser sumergida, la porción de material para determinar la humedad se toma del centro de la probeta resultante de compactar el suelo en el molde, después del ensayo de penetración. Para ello el espécimen se saca del molde y se rompe por la mitad.

Terminada la compactación, se quita el collar y se enrasa el espécimen por medio de un enrasador. Se desmonta el molde y se vuelve a montar invertido, sin disco espaciador, colocando un papel filtro entre el molde y la base. Se pesa.

Inmersión:

En el molde invertido se coloca la placa perforada con vástago y sobre ésta, los anillos necesarios para completar una sobrecarga. En ningún caso, la sobrecarga total será menor de 4,54 kg (10 lb).

Se toma la primera lectura para medir el hinchamiento colocando el trípode de medida con sus patas sobre los bordes del molde. A continuación, se sumerge el molde en el tanque con la sobrecarga colocada dejando libre acceso al agua por la parte inferior y superior de la muestra. Se mantiene la probeta en estas condiciones durante 96 horas (4 días).

Al final del período de inmersión, se vuelve a leer el deformímetro para medir el hinchamiento.

Después del periodo de inmersión se saca el molde del tanque y se vierte el agua retenida en la parte superior del mismo, sosteniendo firmemente la placa y sobrecarga en su posición. Se deja escurrir el molde durante 15 minutos en su posición normal y a continuación se retira la sobrecarga y la placa perforada. Inmediatamente se pesa.

Penetración

Se aplica una sobrecarga que sea suficiente, para producir una intensidad de carga igual al peso del pavimento (con \pm 2.27 kg de aproximación) pero no menor de 4.54 kg (10 lb).

Se monta el dial medidor de manera que se pueda medir la penetración del pistón y se aplica una carga de 50N (5 kg) para que el pistón asiente.

Seguidamente se sitúan en cero las agujas de los diales medidores, el del anillo dinamométrico, u otro dispositivo para medir la carga, y el de control de la penetración.

Se aplica la carga sobre el pistón de penetración con una velocidad de penetración uniforme de 1.27 mm (0.05") por minuto (con la ayuda de un deformímetro de penetración y un cronómetro). Se anotan las lecturas de la carga para las siguientes penetraciones:

Tabla N° 8: Deformímetro de Penetración

Penetración	
Milímetros	Pulgadas
0.63	0.025
1.27	0.050
1.90	0.075
2.54	0.100
3.17	0.125
3.81	0.150
5.08	0.200
7.62	0.300
10.16	0.400
12.70	0.500

Fuente: MTC E132

Estas lecturas se hacen si se desea definir la forma de la curva, pero no son indispensables. Finalmente, se desmonta el molde y se toma de su parte superior, en la zona próxima a donde se hizo la penetración, una muestra para determinar su humedad.

Agua absorbida

El cálculo para el agua absorbida puede efectuarse de dos maneras. Una, a partir de los datos de las humedades antes de la inmersión y después de ésta; la diferencia entre ambas se toma normalmente como tanto por ciento de agua absorbida. Otra, utilizando la humedad de la muestra total contenida en el molde. Se calcula a partir del peso seco de

la muestra (calculado) y el peso húmedo antes y después de la inmersión.

Ambos resultados coincidirán o no, según que la naturaleza del suelo permita la absorción uniforme del agua (suelos granulares), o no (suelos plásticos). En este segundo caso debe calcularse el agua absorbida por los dos procedimientos.

Expansión

La expansión se calcula por la diferencia entre las lecturas del deformímetro antes y después de la inmersión. Este valor se refiere en tanto por ciento con respecto a la altura de la muestra en el molde, que es de 127 mm (5").

Cálculo del índice CBR

Valor de la relación de soporte (índice resistente CBR). Se llama valor de la relación de soporte (índice CBR), al tanto por ciento de la presión ejercida por el pistón sobre el suelo, para una penetración determinada, en relación con la presión correspondiente a la misma penetración en una muestra patrón. Las características de la muestra patrón se muestran en la tabla siguiente:

Tabla N° 9: Presión correspondiente a la misma penetración en una muestra patrón

Penetración		Presión		
Milímetros	Pulgadas	MN/m ²	Kgf/cm ²	Lb/plg ²
2.54	0.1	6.9	70.31	1.00
5.08	0.2	10.35	105.46	1.50

Fuente: Elaboración propia.

Se dibuja una curva que relacione las presiones (ordenadas) y las penetraciones (abscisas), y se observa si esta curva presenta un punto de inflexión. Si no presenta punto de inflexión se toman los valores correspondientes a 2,54 y 5,08 mm (0,1" y 0,2") de penetración. Si la curva presenta un punto de inflexión, la tangente en ese punto cortará el eje de abscisas en otro punto (o corregido), que se toma como nuevo

origen para la determinación de las presiones correspondientes a 2,54 y 5,08 mm.

De la curva corregida tómanse los valores de esfuerzo-penetración para los valores de 2,54 mm y 5,08 mm y calcúlense los valores de relación de soporte correspondientes, dividiendo los esfuerzos corregidos por los esfuerzos de referencia 6,9 MPa (1000 lb/plg²) y 10,3 MPa (1500 lb/plg²) respectivamente, y multiplíquese por 100. La relación de soporte reportada para el suelo es normalmente la de 2,54 mm (0,1") de penetración. Cuando la relación a 5,08 mm (0,2") de penetración resulta ser mayor, se repite el ensayo. Si el ensayo de comprobación da un resultado similar, úsese la relación de soporte para 5,08 mm (0,2") de penetración.

Ecuaciones

La expansión se calcula con la siguiente expresión

$$\% \text{ Expansión} = \frac{L2 - L1}{127}$$

Dónde:

L1 =Lectura inicial en mm.

L2 = Lectura final en mm.

4.1.5 Ensayo de Contenido de Humedad

La determinación del contenido de humedad es un ensayo rutinario de laboratorio para determinar la cantidad de agua presente en una cantidad dada de suelo en términos de su peso en seco. La fórmula utilizada para calcular este porcentaje es la siguiente:

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$$

Donde:

W_w: es el peso de agua presente en la masa de suelos y

W_s: es el peso de los sólidos en el suelo

El contenido de humedad nos da una referencia para saber si es mayor o menor del contenido óptimo para poder compactar la subrasante.

La referencia normativa utilizada fue, MTC E 1 08, método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.

4.1.6 Clasificación e identificación de suelos

AASHTO M-145 Clasificación de suelos según AASHTO.

ASTM D-2487 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos-SUCS.

a) Sistema AASHTO (Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y del Transporte)

Este método, divide a los suelos en dos grandes grupos: Una formada por los suelos granulares y otra constituida por los suelos de granulometría fina. Y estos a su vez son clasificados en sub grupos, basándose en la composición granulométrica, el límite líquido y el índice de plasticidad. (Mora, S. 1988).

Tabla N° 10: Clasificación AASHTO

Clasificación General	Materiales Granulares (35% o menos del total pasa el tamiz N° 200)							Materiales limo-arcillosos (más de 35% del total pasa el tamiz N° 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-2	A-5	A-6	A-7
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Porcentaje de material que pasa tamiz N° 10	50máx										
N° 40	30máx	51máx	51min	35máx	35máx	35máx	35máx	36min	35min	36min	36min
N° 200	15máx	25máx	10máx	10máx	10máx	11min	100mi	10máx	10máx	11min	11min
Características de la fracción que pasa el tamiz N° 40	6 máx.		NP	40máx	41min	40máx	41mi	40máx	41máx	40máx	41min
Límite Líquido W ^L											
Índice Plástico I _p											
Índice de Grupo	0		0	0	4máx		8máx	12máx	16máx	20máx	

Fuente: Mora, S. 1988

b) Sistema SUCS (Clasificación Unificada de Suelos)

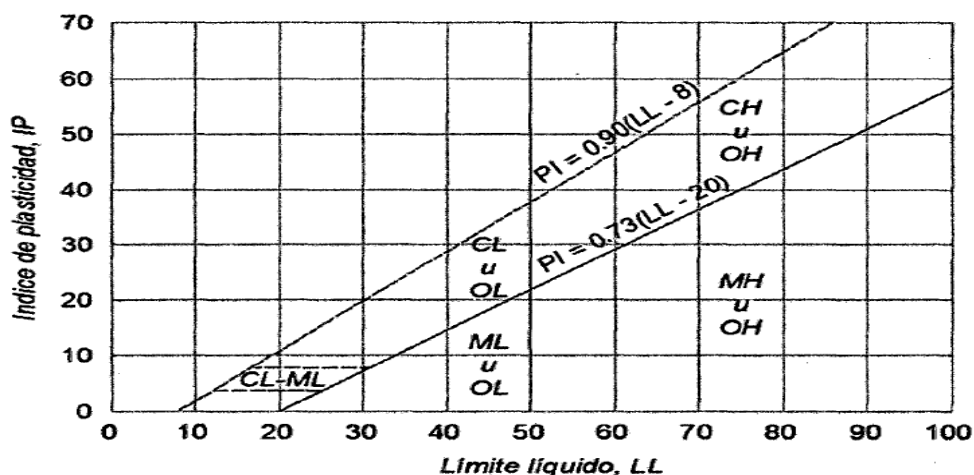
Este sistema, como la clasificación anterior, divide a los suelos en dos grandes grupos: granulares y finos. Un suelo se considera grueso si más del 50% de sus partículas se retienen en el tamiz # 200, y finos, si más de la mitad de sus partículas, pasa el tamiz # 200.

Tabla N° 11: Clasificación SUCS

Clasificación en laboratorio				Clasificación en laboratorio						
FINOS $\geq 50\%$ pasa Malla # 200 (0.08 mm.)				GRUESOS $< 50\%$ PASA Malla # 200 (0.08 mm.)						
Tipo de Suelo	Símbolo	Lim. Liq.	Índice de Plasticidad - IP	Tipo de Suelo	Símbolo	% RET Malla N° 4	% RET Malla N° 200	CU	CC	IP
Limos Inorgánicos	ML	< 50	< 0.73 (WL-20) 6<4	Gravas	GW	50% de lo Real 0.08mm	<5	>4	1 a 3	
	MH	> 50	< 0.73 (WL-20)		GP			≤ 6	<16>3	
Arcillas Inorgánicas	CL	<50	>0.73(WL-20) Y = 7		GM		>12	> 12		<0.73(wl-20 O <4)
	CH	>50	>0.73(WL-20)	GC				<0.73(wl-20 O >7)		
Limos o Arcillas Orgánicos	OL	<50	WL Seco al horno $\leq 75\%$ del wl seco al otro	Arenas	SW	<50% de la Re. En 0.80 mm	<5	>6	1 a 3	
	CH	>50	>0.73(wl-20)		SP			≤ 6	<1 O >3	
					AM		>12		<0.73(wl-20 O <4)	
					SC				<0.73(wl-20 y >7)	
Arcillas orgánicos	P1	Materia orgánica porosa se carboniza. Se quema o se pone incandescente		<ul style="list-style-type: none"> Entre 5 y 12% usar símbolo doble como GW-GC GP-GM.SW, SP-SC. 						
SI IP = 0.73 (WL -20) O si IP entre 4 y 7 e IP > 0.73 (wl - 20), usar símbolo doble: CL-ML. CH - OH				** Si IP=0.73Ç(wl-20) ó Si IP entre 4 y 7 e IP>0.73 (WL-20), usar símbolo doble: GM-GC, SM-SC.						
** Si tiene otros orgánicos debe determinarse adicionalmente WL seco al horno				En causa dudosa favorecen clasificación menos plástica GW-GM en vez de GW -GC.						
En causas favorecen clasificación mas plástica CM-MH en vez de CL-ML				$CU = \frac{D60}{D10}$			$CC = \frac{D30^2}{D60 * D10}$			
SI WL = 50;CL-CH ó ML-MH										

Fuente: Mora, S. 1988

Figura N° 10: Carta de plasticidad para Clasificación de Suelos.



Fuente: Mora, S. 1988

4.1.7 Ensayo del Humedómetro (SPEEDY).

ASTM D-4944; AASHTO T-217.

El UTS-0155 Medidor de Humedad (Tipo Speedy) está usado para determinar el contenido de humedad de suelos, arena y agregados finos en el campo. Es un método fácil y portátil. La cantidad de gas, que está producido cuando el agua y calcio de carburo están mezclados y reaccionan y es directamente proporcional a la cantidad de agua presente en la muestra y los resultados del porcentaje de humedad están tomados de un manómetro de presión.

Este modelo está usado para la determinación de humedad de un espécimen de 20 g. con un contenido máximo de humedad de 20%. El UTS-0155 Medidor de Humedad (Tipo Speedy) no incluye el polvo de carburo de calcio.

El Medidor de Humedad (Tipo Speedy) viene con;

- ✓ Vasija con Manómetro.
- ✓ Balanza Digital.
- ✓ Cucharón.
- ✓ Cepillo para Limpiar.
- ✓ Trapo para Limpiar.
- ✓ Dos Esferas para Pulverizar.
- ✓ Estuche de Plástico.

Procedimiento

Método del Speedy. Consiste en mezclar una muestra de suelo previamente pesada con carburo de calcio molido en el interior de una cámara de acero hermética, la cual posee en su base un manómetro que registra la presión originada por el gas acetileno, entregando indirectamente la humedad del suelo referida al peso húmedo de la muestra. La limitante es que este método entrega resultados falsos en suelos plásticos y además la muestra empleada es de tamaño muy reducida.

4.1.8 Ensayo de Compactación (material de préstamo).

Este ensayo proporciona un medio para comparar las densidades secas en obras en construcción, con las obtenidas en el laboratorio. Para ello se tiene que la densidad seca obtenida en el campo se fija con base en una prueba de laboratorio.

Al comparar los valores de estas densidades, se obtiene un control de la compactación, conocido como Grado de Compactación, que se define como la relación en porcentaje, entre la densidad seca obtenida por el equipo en el campo y la densidad máxima correspondiente a la prueba de laboratorio.

Material:

Suelo de préstamo.

Equipos:

Equipo de Densidad de campo.

Cono Metálico (diámetro 4 plg.).

Arena Calibrada (Arena de Ottawa).

Placa metálica hueca (diámetro del agujero 4 plg.).

Balanza con una precisión de 0.10 lb.

Pica, para extraer la arena del suelo en estudio.

Bolsas plásticas, para echar la muestra extraída del suelo.

Maquinaria:

01 retroexcavadora.

01 rodillo vibratorio.

Procedimiento:

- ✓ Se apertura una zanja de 2.10 m. de ancho x 6 m. de longitud y profundidad de 1.00 m. con fines de ejecutar el ensayo de compactación.

Figura N° 11: Escarificación de Terreno



Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se realiza el tendido del material de préstamo cubriendo la zanja en su totalidad.

Figura N° 12: Tendido del Material



Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se perfila el material de préstamo dejándolo en condiciones para que el rodillo proceda a compactar.

Figura N° 13: Tendido y Escarificación del Material de préstamo



Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se procede a compactar el suelo de préstamo. El procedimiento adoptado fue compactar a 8, 16 y 24 número pasadas por cada 2 metros de los 6 metros de longitud que se tenía con el material.

Figura N° 14: Procedimiento de Compactación



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se debe calibrar el equipo de densidad de campo, para de esta forma obtener el peso volumétrico de la arena calibrada y el peso de arena calibrada que queda en el cono después de ejecutar el ensayo; datos que nos sirven en la determinación de la Densidad de Campo.
- ✓ Seguidamente se nivela el suelo compactado en el campo y se retira el material suelto.
- ✓ A continuación, se coloca la placa y se comienza a hacer una perforación, teniendo como guía el agujero interior de la placa, a una profundidad de 10 a 12 cm.
- ✓ Todo el material que se saque del agujero se coloca en una bolsa plástica y se pesa.
- ✓ Para determinar el volumen del agujero, utilizamos el equipo de densidad de campo.

Figura N° 15: Equipo de Densidad de Campo



Fuente: Elaboración Propia

- ✓ Se determina el peso inicial del frasco con la arena calibrada. Luego se invierte y se coloca sobre la placa, la cual está colocada en la parte superior del agujero; se abre la llave del cono, permitiendo el paso de la arena.
- ✓ Cuando el agujero y el cono están llenos de arena, se cierra la llave y se procede a determinar el peso final del frasco y la arena contenida en él.
- ✓ Por la diferencia de los pesos del frasco más la arena inicial y del frasco más la arena final, obtenemos el peso de la arena contenida en

el agujero y el cono. A este valor le restamos el peso de la arena que cabe en el cono, obteniendo de esta forma el peso de la arena contenida en el agujero.

- ✓ El peso de la arena dividida por su densidad, obtenida en el laboratorio mediante la calibración, nos da el volumen del agujero.
- ✓ Finalmente se debe determinar insitu, la densidad seca máxima y la humedad de la muestra recuperada del agujero con el ensayo del Humedómetro (SPEEDY), para de esta forma, determinar el Grado de Compactación.
- ✓ Estos resultados se obtienen a 8, 16 y 24 pasadas para determinar la densidad máxima seca y a diferentes profundidades 15, 30, 45, 60, 75 cm, para determinar la profundidad ideal de compactación.

Figura N° 16: Profundidad de Compactación



Fuente: Elaboración Propia

3.2.2 Procedimiento y análisis e interpretación de resultados

3.2.2.1 Resultado general

Las propiedades geotécnicas del suelo granular con partículas granulares con partículas finas limosas de la CANTERA DE TIPON, material de préstamo para mejoramiento de la sub rasante del sector de la APV. Ciudad Nueva – San Sebastián 5to paradero – Cusco, fueron ensayadas para la evaluación del número de pasadas de rodillo compactador y evaluar también la magnitud de la capa de compactación para obtener el peso específico máximo seco.

Obteniendo los resultados siguientes:

- ✓ El número de pasadas ideal para lograr la máxima compactación a nivel de sub rasante se ha procedido de la siguiente manera para obtener el resultado final:
 1. De acuerdo a la práctica realizada en campo se tienen los siguientes datos:

Tabla N° 12: Resultados del ensayo con el suelo de préstamo.

PROFUNDIDAD	PESO ESPECIFICO			
	NUMERO DE PASADAS			
	8	16	22	24
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	1.78	1.95	2.07	2.08
0.30	1.53	1.71	2.02	1.91
0.45	1.19	1.22	1.27	1.56
0.60	1.05	1.08	1.16	1.28
0.75	0.93	1.01	1.10	1.18
0.90	0.71	0.89	1.03	1.09

Elaboración: Fuente propia.

2. Tomando como referencia la EC – 010 “Pavimentos Urbanos”, nos recomienda para mejoramiento de suelos a nivel de sub rasante:

Tabla N° 13: Densidad seca del material a ¾” (material granular)

PESO ESPECIFICO	PORCENTAJE
GRADO DE COMPACTACIÓN PARA SUB RASANTE	95.00%

Fuente: EC-010 “Pavimentos urbanos”.

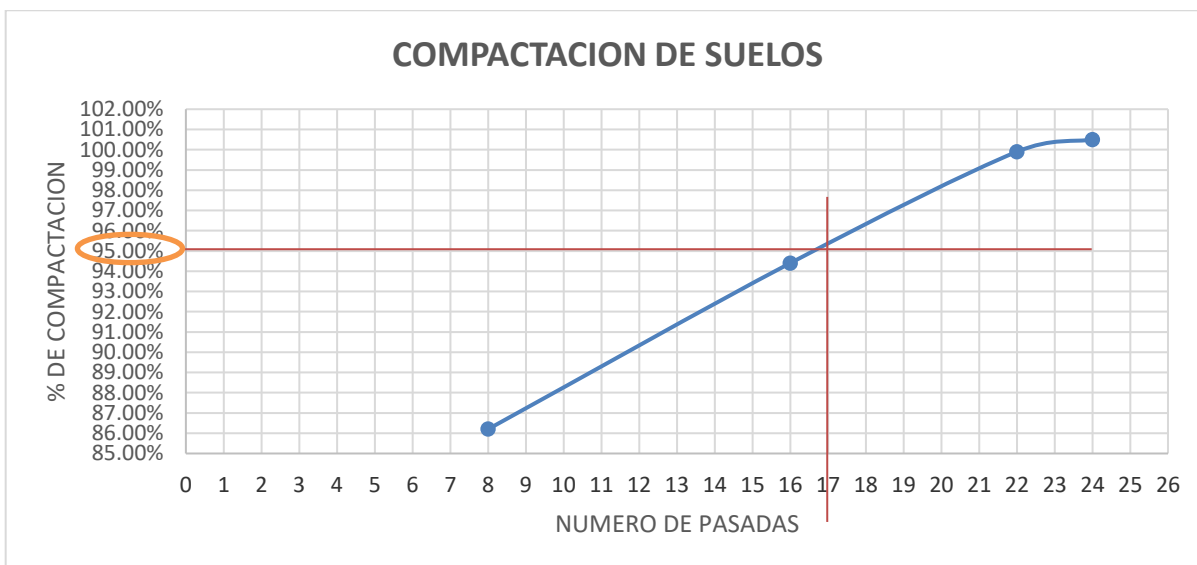
3. A continuación, con la información obtenida en los ítems 1 y 2 se procede a determinar el NUMERO DE PASADAS optima al 95% para mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante; para lo cual se obtendrá de la siguiente manera:

Tabla N° 14: % de compactación a diferentes pasadas

NRO PASADAS	% DE COMPACTACION
8	86.20%
16	94.40%
22	99.90%
24	100.50%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 15: Número de pasadas



Fuente: Elaboración propia.

Entonces, de acuerdo a la proyección en el gráfico al 95% de compactación para sub rasante con el suelo de préstamo ensayado es de **17 pasadas con rodillo liso**.

4. Ahora, la profundidad ideal para lograr la máxima compactación a nivel de sub rasante:

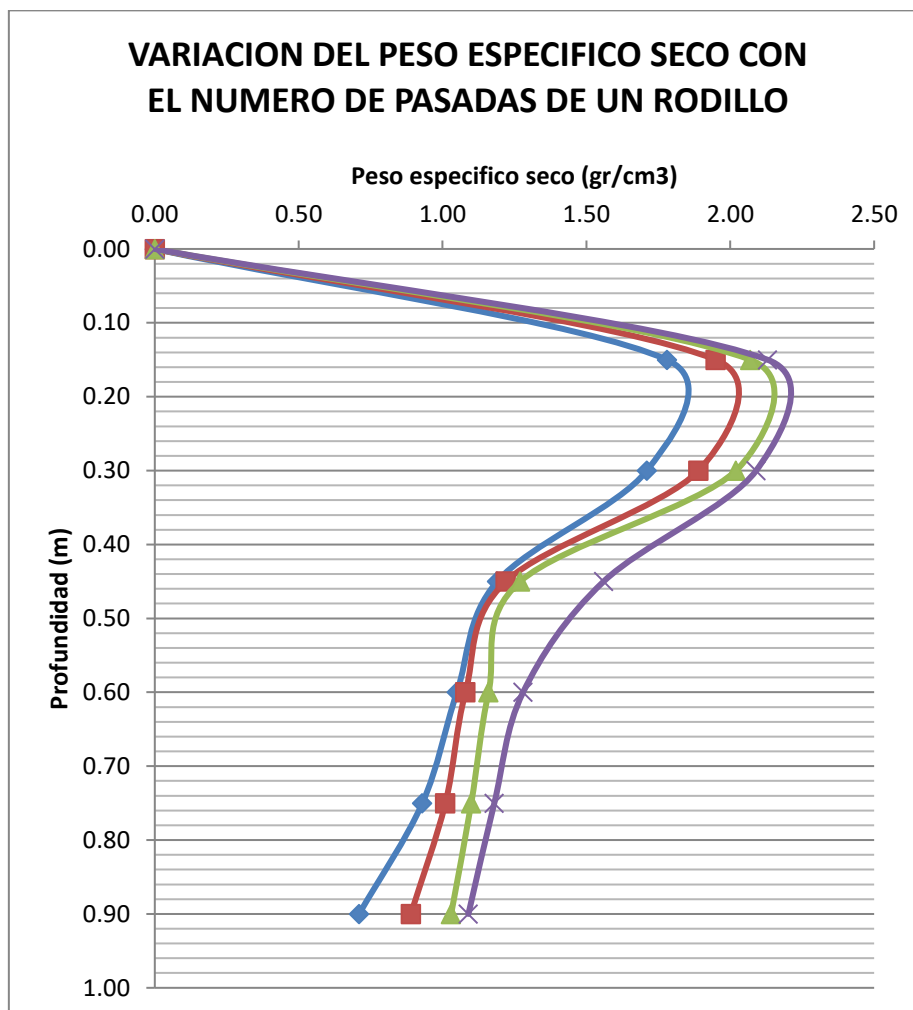
A continuación, se muestra la variación del peso específico de compactación con la profundidad.

Tabla N° 16: Densidad seca a diferentes profundidades.

PROFUNDIDAD	NUMERO DE PASADAS			
	8	16	22	24
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	1.78	1.95	2.07	2.13
0.30	1.71	1.89	2.02	2.09
0.45	1.19	1.22	1.27	1.56
0.60	1.05	1.08	1.16	1.28
0.75	0.93	1.01	1.10	1.18
0.90	0.71	0.89	1.03	1.09

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 17: Variación del peso específico seco con el número de pasadas de un rodillo



Fuente: Elaboración propia.

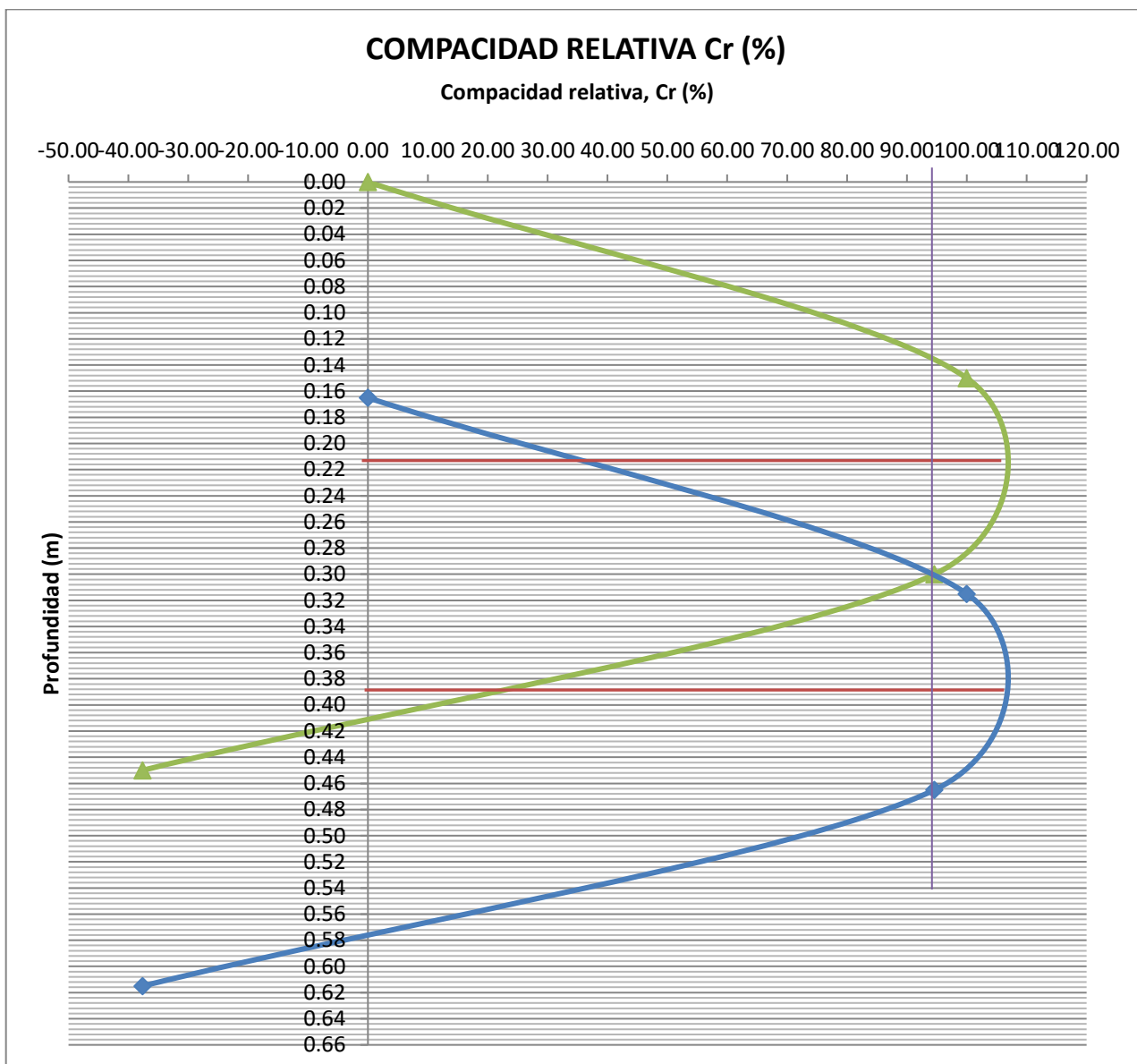
Para estimar el espesor aproximado de capa se determina la relación entre la profundidad y la compactación C_r .

Tabla N° 17: Profundidad vs Compactación relativa.

PROFUNDIDAD	NUMERO DE PASADAS - 22			
	γ_d max	γ_d min	γ_d	C_r
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	2.07	1.42	2.07	100.00
0.30	2.07	1.42	2.02	94.59
0.45	2.07	1.42	1.27	-37.61
0.60	2.07	1.42	1.16	-71.38
0.75	2.07	1.42	1.10	-92.64
0.90	2.07	1.42	1.03	-120.58

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 18: Relación Compacidad Relativa VS Profundidad para determinar la capa ideal del suelo



Fuente: Elaboración Propia.

Del gráfico se estima el espesor de la capa de compactación es de **17 cm** para una compacidad relativa del 96%.

Estos resultados, se obtuvieron haciendo uso de un rodillo liso con las características siguientes:

- Marca JCB Vibromax VM115D.
- Ancho del tambor 2.10 m.
- Peso operativo 11.30 tn.
- Velocidad de trabajo 4.5 km/h.
- Frecuencia de excitador 31 – 36 hz.

Figura N° 19: Maquina de Rodillo Liso



Fuente: Elaboración propia.

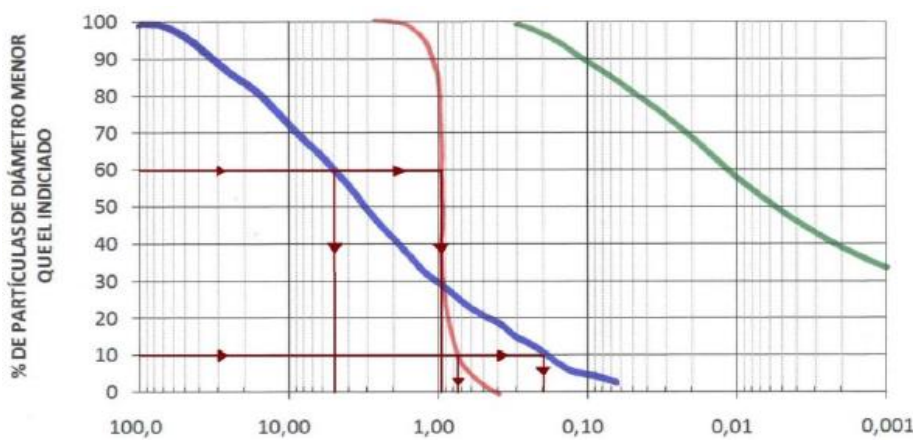
3.2.2.2 Resultado 1.-

De las propiedades geotécnicas del suelo de la APV. Ciudad Nueva – San Sebastián 5to paradero – Cusco, según los resultados obtenidos de las calicatas 1, 2 y 3 se ha podido establecer que:

De acuerdo a la clasificación de suelos por AASHTO, contiene particular finas limosas o arcillosas con un límite líquido bajo.

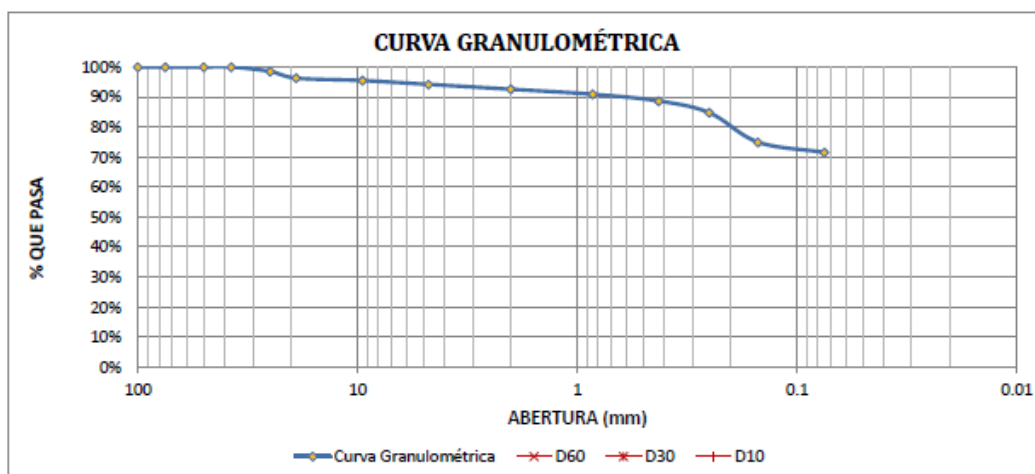
3.2.2.3 Resultado 2.-

Figura N° 20: % de partículas de diámetro menor que el indicado



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 21: Curva Granulométrica



Fuente: Elaboración propia.

En la interpretación de cómo está graduado un suelo, dando información sobre el equilibrio entre los diversos tamaños: tenemos que la arcilla limosa se encuentra mal graduado.

3.2.2.4 Resultado 3.-

De acuerdo a las características del material usado en la sub rasante, la calidad de los materiales va en función de sus características y de la intensidad de tránsito específica.

Tabla N° 18: Valores de calidad para materiales de la capa sub rasante

Características	Calidad		
	Deseable	Adecuada	Tolerable
Granulometría			
Tamaño máximo (mm) % Finos (Mat. 0.074 mm)	76	76	76
Límite líquido (LL)(%)	25 máx.	25 máx.	25 máx.
Índice plástico (IP)(%)	30 máx.	40 máx.	50 máx.
Compactación (%)	10 máx.	20 máx.	25 máx.
CBR	100 min.	100 ± 2	100 ± 2.
	30 min.	20 min.	15 min.

Fuente: Webgrafía – Uriel & Asociados S.A. Ingeniería Geotécnica.

CBR min.	CBR máx.	Clasificación
0	5%	Sub rasante muy malo
6%	10%	Sub rasante mala
11%	20%	Sub rasante regular a buena
21%	30%	Sub rasante muy buena
31%	50%	Sub base buena
51%	80%	Base buena
81%	100%	Base muy buena

Fuente: Crespo Villalaz. Pag. 219 vías de comunicación.

Tabla N° 19: Datos obtenidos del ensayo

CARACTERISTICAS	VALORES	
	Calicata 01	Calicata 02
Tamaño máximo; mm.	37.5	25
% Finos	71.52	66.78
Límite líquido; %, máximo	34	38
Índice plástico; %, máximo	18	23
Valor soporte de california (CBR); %, mínimo	2.28	3.57
Grado de compactación; %	95	95

Fuente: Crespo Villalaz. Pag. 219 vías de comunicación.

Entonces, se tiene que el suelo de la APV. Ciudad Nueva – San Sebastián 5to paradero – Cusco, ***No es un suelo que reúna las condiciones para compactación a nivel de sub rasante ya que está considerado como SUB RASANTE MUY MALO.***

En este sentido, es necesario realizar el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante. Por lo que se realizó los ensayos correspondientes al material de préstamo de la CANTERA DE TIPON.

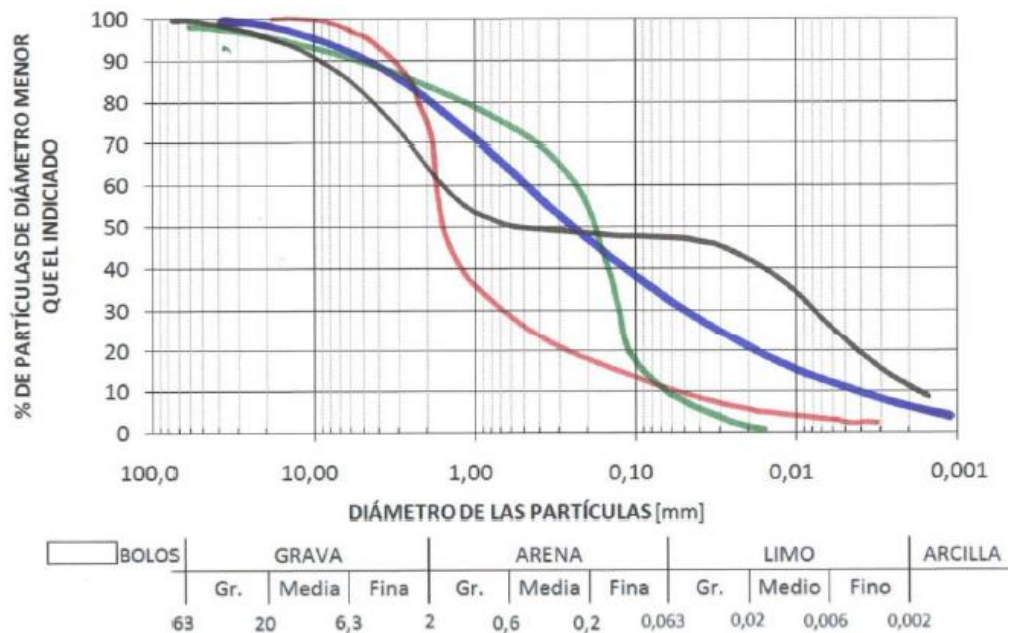
3.2.2.5 Resultado 4.-

De las propiedades geotécnicas del suelo ensayado de la CANTERA DE TIPON, según los resultados obtenidos, se ha podido establecer que:

De acuerdo a la clasificación de suelos por AASHTO, contiene materiales granulares con partículas finas limosas.

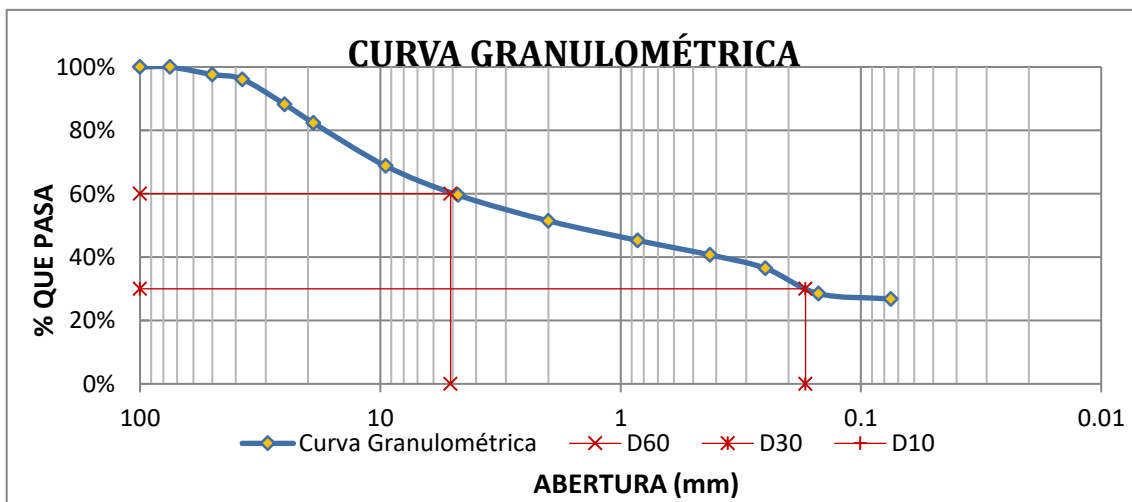
3.2.2.6 Resultado 5.

Figura N° 1: % De partículas de diámetro menor que el indicado



Fuente: Propia

Figura N° 22: Curva granulométrica de la cantera de Tipon



Fuente: Propia

En la interpretación de cómo está graduado un suelo, dando información sobre el equilibrio entre los diversos tamaños: tenemos que el suelo se encuentra **bien graduado**.

3.2.2.7 Resultado 6.

Tabla N° 20: Datos obtenidos del Ensayo

CARACTERISTICAS	VALORES
	Calicata 01
Tamaño máximo; mm.	75
% Finos	26.81
Límite líquido; %, máximo	23.68
Índice plástico; %, máximo	7.29
Valor soporte de california (CBR); %, mínimo	20.71
Grado de compactación; %	95

Fuente: Elaboración propia.

Entonces, se tiene que el suelo de la CANTERA DE TIPON, ***Sí es un suelo que reúne las condiciones para compactación a nivel de sub rasante ya que está considerado como MATERIAL MUY BUENO.***

CONCLUSIONES

- Se ha determinado que el número de pasadas de rodillo compactador es de 17 veces y la magnitud de la capa de compactación es de 17 cm, para obtener el peso específico máximo seco en la sub-rasante del sector de la APV. Ciudad Nueva.
- Se estableció la magnitud de capa de compactación a la que alcanza el máximo peso específico en campo variando la energía de compactación de rodillo obteniendo para:

Numero de pasadas	Grado de compactación
8	86.2%
16	94.4%
17	95%
24	100.5%

Por lo que se concluye que a mayores pasadas se obtiene mayor compactación ***logrando obtener la compactación deseada para este caso al 95% con 17 pasadas***

- Se establece que de acuerdo a la relación de compacidad relativa versus profundidad para el suelo de préstamo de la cantera de tipón se requiere espesores de capas de 17 cm con una compacidad relativa al 96%.

SUGERENCIAS

- Para economizar en hora máquina y combustible, y garantizar un adecuado proceso constructivo se sugiere utilizar los datos obtenidos en la presente investigación
- se sugiere no tener una compactación muy intensa ya que produce un material muy susceptible al agrietamiento.
- Debido a que las propiedades de los suelos que se encuentran a nivel de sub rasante, son datos importantes en el diseño de un pavimento. Ya que definen el espesor y tipo de estructura de pavimento que se debe utilizar, se recomienda minimizar y compensar al máximo posible el movimiento de tierras debido a consideraciones económicas, ambientales y técnicas, es por eso que antes de cambiar la sub rasante de baja capacidad portante se recomienda realizar estudios y optar por el mejor método para poder mejorar las características físicas mecánicas y evitar movimientos de tierra.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Marín Villalobos, N. R. (Abril 2015). Factividad del uso de la inyección en Costa Rica para el recalce de cimentaciones en rellenos mas construidos. Costa Rica.
2. Antonio, G. A. (2013). Manual operativo del aparato de globo de hule ASTM D 2167, análisis comparativo y descriptivo con el método del cono de arena ASTM D 1556 para la determinación de la densidad de campo. Guatemala.
3. CE-010, N. (2010). Reglamento Nacional de Edificaciones, Pavimentos Urbanos. Lima, Perú.
4. E., M. Q. (2013). Aligeramiento de un suelo compactado con perlas de poliestireno expandido. México.
5. Guzman Abril, A. (2013). Manual operativo del aparato de globo de hule ASTM D 2167, análisis comparativo y descriptivo con el método del cono de arena ASTM D 1556 para la determinación de la densidad de campo. Guatemala.
6. M. Das, B. (1999). Principios de ingeniería de cimentaciones. California: State University - Sacramento. International Thomson .
7. M. Das, B. (1999). Principios de ingeniería de cimentaciones. California State University - Sacramento: International Thomson.
8. M.Das, B. (1999). Principios de ingeniería de cimentaciones. (Thomson, Ed.) California State University: Sacramento.
9. T191-02, A. (s.f.). Standard Method of Test for Density of Soil in-Place by the Sand-Cone Method ASTM D 1556: Standard Test Method of Density and Unit Weight of Soil in Place by the Sand Cone Method.
10. ZECENARRO MATEUS, W. N. (2013). MANUAL DE CARRETERAS, SUELOS, GEOLOGIA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS. LIMA: MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES.

ANEXOS

PANEL FOTOGRAFICO

FOTOGRAFIA 1, 2 y 3: Ensayo en laboratorio de PROCTOR MODIFICADO con suelo de la zona en estudio, sub-rasante del sector de la APV. Ciudad Nueva - San Sebastián 5to paradero - Cusco.



FOTOGRAFIA 4 y 5: Ensayo de CASA GRANDE y GRANULOMETRÍA con el suelo de la zona en estudio sub-rasante del sector de la APV. Ciudad Nueva - San Sebastián 5to paradero - Cusco.



FOTOGRAFIA 6 y 7: Trazado y movimiento de tierra a 1.00 metro de profundidad para el tendido de material de préstamo CANTERA DE TIPON.



FOTOGRAFIA 8 y 9: Tendido del material de préstamo CANTERA DE TIPON y compactación con rodillo liso.



FOTOGRAFIA 10: Ensayo insitu del CONO DE ARENA para hallar la densidad de campo y el ensayo HUMEDOMETRO-SPEEDY, para determinar el contenido de humedad a nivel 0+000 para pasadas de rodillo de 8, 16 y 24 en material de préstamo.



FOTOGRAFIA 11: Con los ensayos anteriores (SPEEDY Y CONO DE ARENA) se determina la cantidad de pasadas de rodillo; posterior se escarifica el suelo y se compacta nuevamente, con la finalidad de obtener las densidades a diferentes profundidades, de tal manera lograr establecer el espesor ideal de compactación a nivel de sub rasante.



FOTOGRAFIA 12 y 13: Ensayo insitu del CONO DE ARENA para hallar la densidad de campo a nivel 0.15, 0.30, 0.45, 0.60, 0.75 cm de profundidad.

