

UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**EVALUACION DE LA SUBRASANTE PARA EL DISEÑO DE LA
ESTRUCTURA DE CONTENCIÓN Y PAVIMENTO EN EL
CONO SUR DE HUACHO.**

PARA OBTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL,

AUTOR:

BACHILLER: LUIS ENRIQUE, ESPIRITU JACINTO

ASESOR

ING. ELIAS FILIBERTO, REQUENA SOTO

HUACHO – PERU

2019

**EVALUACION DE LA SUBRASANTE PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE
CONTENCION Y PAVIMENTO EN EL CONO SUR DE HUACHO.**

Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Nota del autor:

Bachiller de la Facultad de Ingeniería Civil de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, presento el proyecto de tesis con la finalidad de obtener el título profesional de Ingeniero Civil; la investigación será desarrollada y financiada económicamente por el autor; se reconoce la contribución, dedicación y asesoría del Ing. Requena Soto Elías Filiberto para elaborar el proyecto de tesis.

Miembros Del Jurado

.....
Ing. JAMANCA ALBERTO, TEODORICO

CIP: 26987

PRESIDENTE

.....
Ing. OSORIO OSORIO, MARIO

CIP: 90656

SECRETARIO

.....
Ing. AGUIRRE ORTIZ, ROMAN

CIP: 73106

VOCAL

.....
Ing. REQUENA SOTO, ELIAS

CIP: 52920

ASESOR

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mis padres por darme vida, educación, apoyo y consejo. A mis familiares y amigos por su apoyo incondicional.

Agradecimientos

v

El presente trabajo de investigación va dirigido con una expresión de gratitud para mis maestros, ya que ellos me enseñaron a valorar los estudios y a superarme cada día; y a mi universidad, porque en sus aulas recibí las más gratas enseñanzas que nunca olvidaré.

Capítulo 1 Planteamiento del problema.....	1
1.1. Descripción de la realidad problemática	1
1.2. Formulación del problema	2
1.2.1. Problema General.....	2
1.2.2. Problemas Especificos	2
1.3. Objetivos de la Investigación	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
1.4. Justificación de la Investigación	3
1.5. Delimitación de estudio.....	3
1.6. Viabilidad del estudio	4
Capítulo 2 Marco teórico	5
6.1. Antecedentes de la Investigación.....	5
6.2. Bases Teóricas	6
2.2.1. Suelos.....	6
2.2.2. Ensayo de Laboratorio de Mecánica de Suelo.....	20
2.2.3. Estabilización de Suelos	66
6.3. Definiciones Conceptuales.....	74
Capítulo 3 Metodología	76
6.4. Diseño Metodológico.....	76
3.1.1. Tipo.....	76

3.1.2. Enfoque	76
6.5. Población y Muestra	76
3.2.1. Población.....	76
3.2.2. Muestra	77
6.6. Operacionalización de Variables e Indicadores.....	77
6.7. Instrumentos de recolección de datos	78
3.4.1. Técnicas a emplear.....	78
3.4.2. Descripción de los Instrumentos.....	78
6.8. Técnicas para el procesamiento de la información	78
Capítulo 4 Resultados	79
4.1. Resultados	79
4.1.1. Determinación de contenido de humedad.....	82
4.1.2. Granulometría	84
4.1.3. Límites de Atterberg	86
4.1.4. PROCTOR MODIFICADO.....	87
4.1.5. C.B.R.....	89
4.1.6. Ensayos químicos.....	90
4.1.7. Peso específico.....	92
4.1.8. Corte directo.....	92
4.2. Presentación de cuadros, gráficos	92
Capítulo 5 Discusión, Conclusiones y Resultados.....	95
5.1. Discusión.....	95
5.2. Conclusiones	96

5.3. Recomendaciones	viii
Capítulo 6 Fuentes de Información.....	99
6.1. Fuentes Bibliográficas	99
6.2. Fuentes Documentales	101
6.3. Fuentes Electrónicas	101
ANEXOS	102
1. Matriz de consistencia.....	102
2. Instrumentos para la toma de datos.....	103
3. Procedimiento en campo.....	113
4. Cuadro de resumen de los ensayos realizados	118

Tabla 1. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.	10
Tabla 2. Características generales del Sistema Unificado de Suelos.....	11
Tabla 3. Valores del IG en la subrasante.	13
Tabla 4. Ensayo de laboratorio aplicables a los EMS (Norma CE.010 Pavimentos Urbanos, 2010, p.15).	21
Tabla 5. Masa del espécimen para el ensayo de contenido de humedad del suelo.....	25
Tabla 6. Juego de tamices para el análisis granulométrico.....	30
Tabla 8. Factor para el límite líquido.....	38
Tabla 9. Masa de suelo seco con el tipo de suelo y tamaño del picnómetro.	41
Tabla 10. Corrección por temperatura.	43
Tabla 11. Especificaciones de la prueba Proctor Modificado.....	45
Tabla 12. Clasificación y usos del suelo de acuerdo a los valores de CBR.....	56
Tabla 13. Valores de S_N para la calificación de relleno.....	69
Tabla 14. Operacionalización de Variables e Indicadores.....	77
Tabla 15. Ubicación y tipo de muestra de la subrasante.....	79
Tabla 16. Contenido de humedad de la subrasante.....	82
Tabla 17. Granulometría de la subrasante.....	84
Tabla 18. Límites de Atterberg de la subrasante.....	86
Tabla 19. Proctor Modificado de la subrasante.	87
Tabla 20. C.B.R. de la subrasante.....	89
Tabla 21. Ensayos Químicos de la subrasante.....	90

Tabla 22. Peso específico de la subrasante. 92

Tabla 23. Corte directo de la subrasante. 92

.

Figura 1. Proceso de formación de los suelos.....	7
Figura.2. Clasificación de suelo AASHTO.....	14
Figura.3. Límites de Atterberg.....	16
Figura 4. Carta de plasticidad.	17
Figura 5. Rodillo de rueda lisa.....	19
Figura .6. Rodillo con neumático de caucho.....	19
Figura 7. Rodillo compactador.	20
Figura 8. Rodillo vibratorio.	20
Figura 9. Cuarteador mecánico.	23
Figura 10. Selección de la muestra por cuarteos.....	23
Figura 11. Selección de muestras por pilas cónicas.....	24
Figura.12. Grava mal graduada (GP).....	28
Figura 13. Grava bien graduada (GW).	29
Figura 14. Arena mal graduada (SP).....	29
Figura 15. Arena bien graduada (SW).	30
Figura 16. Curva presión – penetración.....	54
Figura 17. Unidad de vibroflotación.....	69

Resumen

Esta tesis tiene por objetivo general evaluar y determinar los resultados obtenidos en laboratorio sobre una muestra de suelo a nivel de subrasante, sobre esto se va estudiar y evaluar la resistencia a la penetración del suelo, análisis químico y la resistencia al corte de la capa de subrasante del suelo.

El tipo de investigación que pertenece esta tesis es cuantitativo y a su vez comparativo, que consiste en la realización de un análisis sobre los ensayos de cada una de las muestras realizadas al suelo a nivel de subrasante.

Los resultados según los ensayos realizados nos dan un material granular de las cuales el 30% son de un material GP-GM, 23% SP-SM, 21% SM, 11% GM, 7% GW-GM, 4% SP, 2% GP y 2% GW. Según clasificación ASSHTO tenemos que el 38% es de tipo A-1-a, 30% es de tipo A-1-b, 14% es de tipo A-3, 11% es de tipo A-2-4 y el 7% de tipo A-2-6. con respecto a los límites de Atterberg el 93% de los ensayos realizados es un material no cohesivo, siendo el 7% suelo cohesivo. Los valores de CBR, nos dan un resultado de: 52% CBR bueno, 45% CBR regular y un 3% CBR pobre.

Según norma representa el diseño de muro de contención con un ángulo de fricción entre 27 – 30 grados y una cohesión de 0 kg/cm².

Según los resultados de los ensayos químicos nos da conclusión de que sobrepasa a los límites permitidos por la norma que nos indica como mínimo 1 % de sales, sulfatos y cloruros por los cuales se tomaran medidas como la ubicación del cemento tipo V.

Palabra clave: Evaluación, Subrasante, Estructura, Pavimento.

Abstract

This thesis has the general objective of evaluating and determining the results obtained in the laboratory on a soil sample at the subgrade level, on this we will study and evaluate the resistance to soil penetration, chemical analysis and the cut resistance of the soil layer. subgrade of the soil.

The type of research that belongs to this thesis is quantitative and at the same time comparative, which consists in carrying out an analysis on the tests of each one of the samples made to the ground at the subgrade level.

The results according to the tests carried out give us a granular material of which 30% are of a GP-GM material, 23% SP-SM, 21% SM, 11% GM, 7% GW-GM, 4% SP, 2 % GP and 2% GW. According to ASSHTO classification we have that 38% is of type A-1-a, 30% is of type A-1-b, 14% is of type A-3, 11% is of type A-2-4 and 7 % of type A-2-6. with respect to Atterberg limits 93% of the tests carried out is a non-cohesive material, with 7% being cohesive soil. The CBR values give us a result of: 52% good CBR, 45% regular CBR and 3% poor CBR.

According to the norm, it represents the design of a retaining wall with a friction angle between 27 - 30 degrees and a cohesion of 0 kg / cm².

According to the results of the chemical tests, it gives us the conclusion that it exceeds the limits allowed by the norm that indicates at least 1% of salts, sulfates and chlorides by which measurements such as the location of cement type V will be taken

Introducción

El diseño y construcción de pavimentos y carreteras lleva consigo la obligación de realizar un riguroso estudio de campo y dentro de esta actividad se hacen uso de diversos equipos y herramientas, unos más sofisticados que otros.

La conformación de la subrasante es una capa de terreno de una carretera o pista que soporta al pavimento y que se extiende a una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos de diseño.

La presente tesis comprende la evaluación de la subrasante mediante ensayos regidos por las normas peruanas. La subrasante a evaluar se encuentra ubicado en el cono sur de la ciudad de Huacho, provincia de Huaura, departamento de Lima Provincias, la cual permitirá saber las condiciones del suelo donde se va a realizar el pavimento urbano.

Los materiales con respecto a la calidad está en función a sus características y de la intensidad de tránsito especificada en términos del número de ejes equivalentes a 8.2 ton, acumulados durante la vida útil del pavimento. En todos los casos los materiales que son orgánicos no sirven para el uso en la conformación de la subrasante

Es dentro de estos conceptos que se afronta ese tema de investigación con el que se intenta evaluar las propiedades físicas de la subrasante, que están siempre relacionadas con el tipo de uso del material a utilizar y las propiedades mecánicas, que nos dan una idea de cómo están los materiales con respecto a la calidad.

Capítulo 1

Planteamiento del problema

1.1. Descripción de la realidad problemática

La subrasante se deforma bajo la acción de las cargas, si no tiene la debida resistencia, presentan valores que no desciendan en ninguna circunstancia de los que exigen las cargas que ha de soportar, especialmente en algunos tipos de suelo, su resistencia varía ampliamente al cambiar la proporción del agua que contiene.

El estudio de la evaluación de la subrasante se realizó en una zona donde se pudo apreciar cierta característica o tipo de suelo. También se pudo apreciar q la zona de estudio está cerca al mar por lo que se tomaron en cuenta estos aspectos al momento de evaluar el suelo para la estructura del pavimento y también las estructuras de contención ya que es una zona alta y presentan pendientes muy elevados

Los problemas se presentan cuando la subrasante está formado por suelos que son de mala calidad como por ejemplo las arcillas, limos u orgánicos; esto nos dan como resultado una baja capacidad portante cuando empiezan a transitar los vehículos sobre el pavimento causando así fallas por corte y ahuellamiento.

Por esta razón se hizo la investigación sobre la evaluación de la subrasante con la finalidad de mejorar las condiciones adversas que presenta la subrasante y tomar medidas sobra los resultados obtenidos comparándolos primero con las normas de calidad establecidas.

La calidad de la subrasante depende en gran parte el espesor que debe tener un pavimento sea este flexible o rígido, por eso en la presente investigación se evaluara la subrasante mediante ensayos de laboratorio y control de calidad de los materiales.

Para evaluar la subrasante se ejecutaron sobre la muestra de suelo pruebas de laboratorio enmarcadas en las normas de ensayo para materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, realizadas bajo condiciones controladas, siguiendo la normatividad vigente; en las cuales se enuncian claramente los procedimientos y métodos de ensayo que deben utilizarse en la evaluación de las propiedades de comportamiento del suelo.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿De qué manera la evaluación a nivel de la subrasante influirá en el diseño de la estructura de contension y pavimento en el cono sur de la ciudad de Huacho?

1.2.2. Problemas Especificos

- ¿El tipo de suelo afectará en el resultado del análisis de resistencia a la penetración de la subrasante?
- ¿El análisis químico de la subrasante permitirá saber las condiciones en las que se encuentra el material?
- ¿El tipo de suelo afectará en el resultado del análisis de resistencia al corte de la subrasante?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Evaluar y determinar los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio realizados sobre una muestra de suelo a nivel de subrasante.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Estudiar y evaluar la resistencia a la penetración del suelo a nivel de subrasante.
- Estudiar y evaluar el análisis químico que presenta la capa de subrasante del suelo.
- Estudiar y evaluar la resistencia al corte generado por una estructura apoyada en el suelo donde se funda.

1.4. Justificación de la Investigación

El propósito de esta investigación es dar soluciones a los problemas existentes del suelo a nivel de subrasante para la construcción del pavimento y estructura de retención

Se pudo constatar q el suelo de la zona estudiada está ubicado en una zona cerca al mar por lo que hace que el suelo pierda sus propiedades tanto físicas como químicas

De acuerdo a la evaluación de la subrasante se tomarán medidas correctivas para mejorar la calidad y reducir gastos de mantenimiento.

1.5. Delimitación de estudio

El proyecto de investigación se desarrolló en el cono sur de la ciudad de Huacho, provincia de Huaura, región Lima, se sacaron muestras en diferentes sectores tales como:

AA.HH. SAN JOSE DE MANZANARES 1RA ETAPA, AA.HH. SAN JOSE DE MANZANARES 2DA ETAPA, AA.HH. SAN JOSE DE MANZANARES 3RA ETAPA, AA.HH. LA VICTORIA, AA.HH. NUEVA GENERACION, ASOCIACION SOMOS

HUACHO, ASOCIACION DE VIVIENDA ADONA, ASOCIACION BELLAVISTA, ASOCIACION HUACHO CIUDAD HOSPITALARIA, ASOCIACION HUACHO QUERIDO I ETAPA, ASOCIACION HUACHO QUERIDO II ETAPA y la ASOCIACION MARTIN PRIETO.

Se formó una cuadrilla para el muestreo y ensayo de materiales; se contó con movilidad y laboratorio para el desarrollo del proyecto de investigación.

El proyecto de investigación tuvo una duración de 60 días de las cuales 30 días se realizaron estudios en campo y los otros 30 días se procedió a realizar los ensayos propuestos para este proyecto de investigación.

1.6. Viabilidad del estudio

Para la viabilidad del proyecto de investigación se utilizaron recursos económicos propios del tesista, recursos humanos tales como un técnico laboratorista, un chofer y un operario; con respecto a los recursos materiales se dispuso de un laboratorio de suelo y pavimento para los ensayos técnicos.

Con la metodología seleccionada se puede utilizar todos estos recursos para la elaboración del proyecto de investigación sin tener inconveniente alguno.

Capítulo 2

Marco teórico

6.1. Antecedentes de la Investigación

Mecánica de suelo (1910-1927)

Atterberg (1908) define las fracciones de arcilla de tamaño natural como el porcentaje en peso de partículas menores de 2 micras de tamaño. Se dio cuenta de la importancia del papel de las partículas de arcilla en un suelo y la plasticidad de los mismos. En 1911 explicó la consistencia de los suelos cohesivos mediante la definición de líquido, plástico y los límites de contracción. También definió el índice de plasticidad como la diferencia entre el límite líquido y límite plástico.

Arthur Langley Bell, un ingeniero civil inglés, trabajó en el diseño y la construcción del dique exterior en el Rosyth Dockyard, basándose en su trabajo desarrolló relaciones de presión lateral y resistencia en la arcilla, así como de capacidad de carga en cimentaciones superficiales en arcilla. También utilizó las pruebas de caja de cizalla para medir la resistencia al corte sin drenaje de las muestras de arcilla inalteradas

Wolmar Fellenius (1926), un ingeniero sueco, dio soluciones numéricas correctas para los números de estabilidad de las superficies de deslizamiento circulares que pasan por el pie del talud.

Karl Terzaghi, de Austria, desarrolló la teoría de la consolidación de las arcillas como la conocemos hoy en día. Esta teoría fue desarrollada cuando Karl Terzaghi fue

profesor en el American Robert College de Estambul, Turquía. Karl Terzaghi es conocido como el padre de la mecánica de suelos moderna.

6.2. Bases Teóricas

2.2.1. Suelos

A. Concepto

En Ingeniería Civil, son sedimentos no consolidados de partículas sólidas, fruto de la alteración de las rocas, o suelos transportados por agentes como el agua, hielo o viento (Ofinalca/Santa Teresa del Tuy,2010.p.3).con contribución de la gravedad como fuerza direccional selectiva, y que pueden tener materia orgánica(Ofinalca/Santa Teresa del Tuy,2010.p.3). El suelo es un cuerpo natural heterogéneo (Ofinalca/Santa Teresa del Tuy,2010.p.3).

El suelo es el material de construcción más abundante del mundo y en muchas zonas constituye, de hecho, el único material disponible localmente (Will,2011.p.1). Cuando el ingeniero emplea el suelo como un material de construcción debe seleccionar el tipo adecuado de suelo, así como el método de colocación y, luego, controlar su colocación en obra. Ejemplos de suelo como material de construcción son las presas en tierra, rellenos para urbanizaciones o vías (cortes, 2013, p.1).

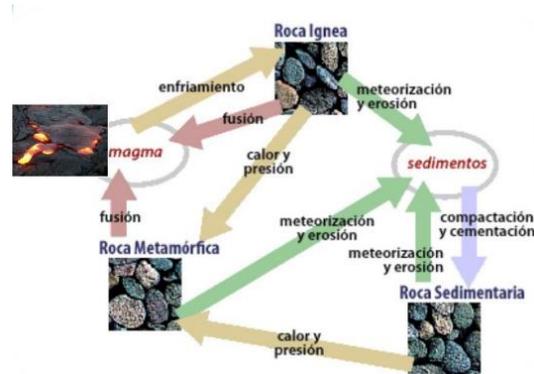


Figura 1. Proceso de formación de los suelos.

B. Composición

El suelo es un material compuesto por sólidos (materia mineral y materia orgánica), líquidos (sobre todo el agua, que en ocasiones, es un componente más de las rocas) y gases (aire y vapor de agua). a su vez, los gases y los líquidos llevan sustancias disueltas o en suspensión que pueden adherirse a la matriz sólida.

C. Importancia del estudio de suelo

Actualmente es cada vez más concluyente el hecho de que ningún ingeniero que sienta la responsabilidad técnica y moral de su profesión, deja de efectuar un estudio de las condiciones del subsuelo cuando diseñan estructuras de cierta importancia, Es importante el estudio de suelo por dos motivos: seguridad y economía.

D. Tipo de suelo según la mecánica de suelo

- **Suelos Granulares:** Las partículas de suelo no tienden a juntarse ni a adherirse; sus partículas son relativamente grandes, también llamados suelos granulares o friccionantes (grava, arenas, limos).

ESTRUCTURA DE UN SUELO GRANULAR

- Un suelo sin cohesión tiende a formar su estructura, originalmente de granos aislados, debidos a las fuerzas gravitatorias actuantes en una estructura granular simple donde cada partícula toca a otra formando un esqueleto granular estable aunque no haya fuerzas de adherencia entre ellas.
 - La forma como se estructura el suelo es función de las características propias del suelo.
 - El tamaño de partículas de este tipo de suelos hace que las fuerzas gravitatorias actuantes sobre cada partícula superen las fuerzas iónicas entre partículas.
 - En los suelos granulares no se generan fuerzas interparticulares, pero en arenas se desarrolla un fenómeno llamado cohesión aparente, el cual se desarrolla cuando el suelo está parcialmente saturado (ni en estado seco, ni totalmente saturado), y es debido a las fuerzas de tensión superficial desarrolladas por el agua que restringen el movimiento de partículas pequeñas(0.005 mm – 5 mm).
- **Suelos Cohesivos:** Partículas muy pequeñas, predominan los efectos electroquímicos superficiales. Las partículas tienden a juntarse (agua-partícula).suelos plásticos (arcillas).

ESTRUCTURA DE UN SUELO COHESIVO

- En un suelo con cohesión la estructura que se forma, es debido principalmente a las fuerzas iónicas actuantes entre las partículas del suelo.

- El tamaño de las partículas de este tipo de suelos hace que las fuerzas interparticulares actuantes superen las fuerzas gravitatorias actuantes sobre cada partícula. A este tipo de partículas se les llama coloide.
- **Suelos Orgánicos:** Suelos esponjosos, con grumos, compresibles. Prohibitivos para soporte de estructuras de ingeniería (turba).
- **Suelos Colapsables:** Suelos que cambian bruscamente de volumen por la acción combinada o individual de las siguientes acciones:
 - a. Cuando son sometidos a incrementos de carga
 - b. Cuando están saturados
- **Suelos Expansivos:** suelos cohesivos con poco grado de saturación por lo que aumentan su volumen al saturarse.
- **Licuación de Suelos:** En suelos granulares finos ubicados bajo la Napa Freática y algunos suelos cohesivos, las solicitaciones sísmicas pueden originar el fenómeno denominado licuación, el cual consiste en la pérdida momentánea de la resistencia al corte del suelo, como consecuencia de la presión de poros que se genera en el agua contenida en sus vacíos originada por la vibración que produce el sismo. Esta pérdida de resistencia al corte genera grandes asentamientos en las obras sobreyacentes.

E. Clasificación de los suelos

Para clasificar los suelos existen diversos Sistemas de Clasificación entre los cuales tenemos: El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el American

Association of State Highway Officials (ASTHO), el Sistema Británico (BS), entre otros. Los suelos se clasifican teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- La granulometría del suelo
- Los límites de Atterberg
- El contenido de materia orgánica

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Fue A. Casagrande quien en 1942 ideó este sistema genérico de clasificación de suelos, quien fue empleado por el cuerpo de ingenieros del ejército de los EE.UU. para la construcción de pistas de aterrizaje durante la II Guerra Mundial.

Diez años más tarde, y vista la gran utilidad de este sistema en Ingeniería Civil, fue ligeramente modificado por el Bureau of Reclamation, naciendo el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS); este sistema fue propuesto por la ASTM (American Society of Testing Materials) como parte de sus métodos normalizados.

Dicha clasificación se vale de unos símbolos de grupo, consistentes en un prefijo que designa la composición del suelo y un sufijo que matiza sus propiedades.

En el siguiente esquema se muestran dichos símbolos y su significado:

Tabla 1. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUFIJO
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobrementemente graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Limite liquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Limite liquido bajo (<50)	H

En función de estos símbolos, pueden establecerse diferentes combinaciones que definen uno y otro tipo de suelo:

Tabla 2. Características generales del Sistema Unificado de Suelos.

SIMBOLO		CARACTERISITCAS GENERALES	
GW	GRAVAS	Limpias	Bien graduadas
GP	(>50% en tamiz	(Finos<5%)	Pobrementemente graduadas
GM	#4 ASTM)	Con finos	Componente limoso
GC		(Finos>12%)	Componente arcilloso
SW	ARENAS	Limpias	Bien graduadas
SP	(<50% en tamiz	(Finos<5%)	Pobrementemente graduadas
SM	#4 ASTM)	Con finos	Componente limoso
SC		(Finos>12%)	Componente arcilloso
ML	LIMOS	Baja plasticidad (LL<50)	
MH		Alta plasticidad (LL>50)	
CL	ARCILLAS	Baja plasticidad (LL<50)	
CH		Alta plasticidad (LL>50)	
OL	SUELOS	Baja plasticidad (LL<50)	
OH	ORGANICOS	Alta plasticidad (LL>50)	
Pt	TURBA	Suelos altamente orgánicos	

Como puede deducirse de la anterior tabla, existe una clara distinción entre tres grandes grupos de suelos:

- Suelos de grano grueso (G y S): Formados por gravas y arenas con menos del 50% de contenido en finos, empleando el tamiz #200.
- Suelos de grano fino (M y C): Formados por suelos con al menos un 50% de contenido en limos y arcillas.

- Suelos orgánicos (O, Pt): Constituidos fundamentalmente por materia orgánica, son inservibles como terreno de cimentación.

Asimismo, dentro de la tipología expuesta pueden existir casos intermedios, empleándose una doble nomenclatura; por ejemplo, una grava bien graduada que contenga entre un 5 y un 12% de finos se clasificara como GW-GM.

Clasificación de la AASHTO

Fue en Estados Unidos donde se desarrolló la mayor parte de clasificaciones empíricas de suelos. Una de las más populares en carreteras es la empleada por la American Association Of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), y que fue originalmente desarrollada por los ilustres geotécnicos como Terzaghi y Hogentogler para el Bureau of Public Roads norteamericano.

Casagrande, considera siete grupos de suelos, numerados desde el A-1 hasta el A-7. A su vez, algunos de estos grupos presentan subdivisiones; así, el A-1 y el A-7 tienen dos subgrupos y el A-2, cuatro.

Los ensayos necesarios para encuadrar un suelo dentro de un grupo u otro son el análisis granulométrico y los límites de Atterberg. Si queremos determinar su posición relativa dentro del grupo, es necesario introducir el concepto de índice de grupo (IG), expresado como un numero entero con un valor comprendido entre 0 y 20 en función del porcentaje de suelo que pasa a través del tamiz #200 (ASTM).

Donde:

$a = F-35$ (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200 -74 micras). Expresado por un número entero positivo entre 1 y 40;

b = F-15 (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200 -74 micras). Expresado por un número entero positivo entre 1 y 40;

c = LL – 40 (LL = límite líquido). Expresado por un número entero entre 0 y 20;

d = IP-10 (IP = índice plástico). Expresado por un número entero entre 0 y 20 o más.

El Índice de Grupo es un valor entero positivo, comprende valores entre 0 y 20 o más. Cuando el IG es negativo, se reporta como cero. Un índice cero significa un suelo muy bueno y un índice igual o mayor a 20, un suelo no utilizable para caminos.

Tabla 3. Valores del IG en la subrasante.

Índice de Grupo	Suelo de Subrasante
IG > 9	Muy Pobre
IG está entre 4 a 9	Pobre
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está entre 1 a 2	Bueno
IG está entre 0 a 1	Muy Bueno

Se muestra una tabla de clasificación de suelos AASHTO, en la que se recogen todas las características exigibles a cada grupo y subgrupo (en el caso de que exista) de suelo.

DIVISIÓN GENERAL	Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)						Materiales Limo-arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)						
	A-1		A-3		A-2		A-4	A-5	A-6	A-7			
GRUPO	A-1-a	A-1-b	A-3		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5	A-7-6
Subgrupo													
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz)													
Serie ASTM													
#10	≤ 50												
#40	≤ 30	≤ 50	≥ 51										
#200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)													
Límite líquido				≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	> 41 (IP < LL-30) (IP > LL-30)
Índice de plasticidad	≤ 6		NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11	≥ 11
ÍNDICE DE GRUPO	0	0	0	0	0	≤ 4	≤ 4	≤ 8	≤ 12	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20
TIPOLOGÍA	Fragmentos de piedra, grava y arena	Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas	Suelos limosos									Suelos arcillosos
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA						

Figura.2. Clasificación de suelo AASHTO.

F. Consistencia del suelo

Son manifestaciones de las fuerzas físicas de cohesión y adhesión dentro del suelo a diferentes contenidos de humedad. Las manifestaciones son:

- El comportamiento ante la gravedad, la presión, el empuje y la tracción.
- Tendencia adherirse a cuerpos extraños.
- La sensación al tacto.

Las 2 fuerzas acusantes de la consistencia son:

- La atracción molecular: cohesión.
- La tensión superficial: adhesión.

COHESION: Es la unión entre partículas por fuerzas de atracción debido a mecanismos fisicoquímicos:

- ✓ Fuerzas de Van der Waals
- ✓ Atracción electrostática(+ y -)
- ✓ Unión por puentes catiónicos
- ✓ Tensión superficial del agua entre las partículas

ADHESION: Es la atracción de la fase líquida sobre la superficie de la fase sólida.

En 1900, un científico sueco llamado Albert Mauritz Atterberg desarrollo un método para describir la consistencia de los suelos de grano fino con diferentes contenidos de humedad. Con un contenido de humedad muy bajo, el suelo se comportara más como un sólido quebradizo. Cuando el contenido de humedad es muy elevado, el suelo y el agua pueden fluir como un líquido. Por lo tanto, dependiendo del contenido de humedad, la naturaleza del comportamiento del suelo puede ser dividido en cuatro estados básicos: sólido, semisólido, plástico y líquido.

El contenido de humedad, expresado en porcentaje, en el que se lleva a cabo la transición del estado sólido al estado semisólido se define como el límite de contracción.

El contenido de humedad en el punto de transición del estado semisólido al estado plástico es el límite plástico, y el estado plástico al estado líquido es el límite líquido.

Estos límites son también conocidos como límites de Atterberg. Figura 2.3

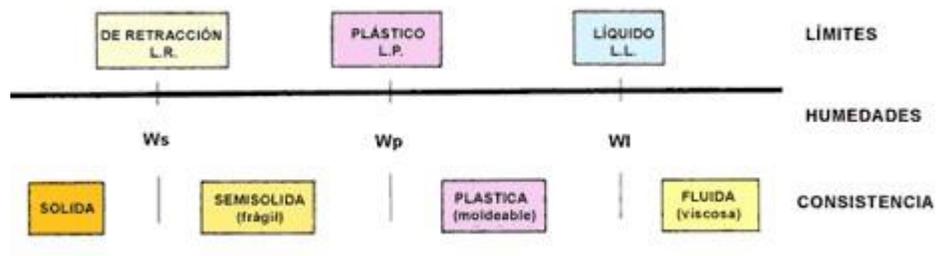


Figura.3. Límites de Atterberg.

El índice de plasticidad (IP) es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo.

$$IP = LL - LP$$

Carta de Plasticidad

Los límites líquido (L-L) y plástico (L-P) se determinan por pruebas de laboratorio relativamente sencillas que proporcionan información sobre la naturaleza de los suelos cohesivos. Las pruebas han sido utilizadas ampliamente por los ingenieros para correlacionar varios parámetros físicos del suelo, así como para la identificación del mismo.

Casagrande estudió la razón del índice de plasticidad con el límite líquido de una amplia variedad de suelos naturales. Sobre la base de los resultados de la prueba, se propuso una carta de plasticidad como la que se muestra en la figura 2.4.

La característica importante de este cuadro es la línea A empírica que está dada por la ecuación $IP = 0.73 (LL - 20)$. La línea A separa a las arcillas inorgánicas de los limos inorgánicos. Las gráficas de los índices de plasticidad contra límites líquidos de arcillas inorgánicas se encuentran por encima de la línea A, y las de limos inorgánicos se encuentran por debajo de esta línea. Los limos orgánicos se grafican en la misma región (por debajo de la línea A y con LL que va de 30 a 50), como los limos inorgánicos de compresibilidad media. Las arcillas orgánicas se grafican en la misma región que los limos inorgánicos de alta compresibilidad (por debajo de la línea A y LL mayor de 50).

La información proporcionada en la carta de plasticidad es de gran valor y es la base para la clasificación de los suelos de grano fino en el Sistema de Clasificación Unificado de Suelos.

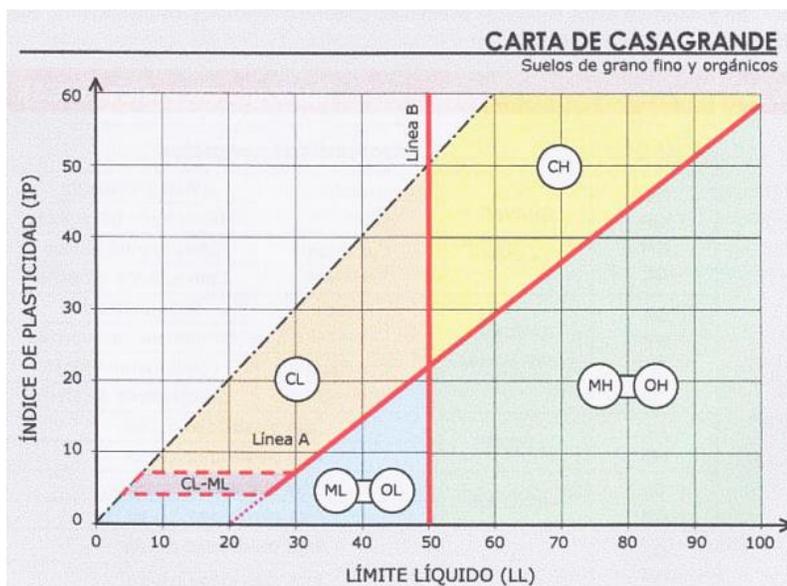


Figura 4. Carta de plasticidad.

G. Compactación de suelos

La compactación es el procedimiento de aplicar presiones al suelo suelto para eliminar espacios vacíos, aumentando así su densidad y en consecuencia, su capacidad de soporte y estabilidad entre otras propiedades. La compactación de los suelos permite el mejoramiento en las siguientes propiedades:

- Aumenta la capacidad de soporte del suelo.
- Reduce los asentamientos del terreno.
- Reduce la permeabilidad de los suelos, el escurrimiento y la penetración del agua.
- Reduce el esponjamiento y la contracción de los suelos, ya que si hay vacíos, el agua penetra y habrá un esponjamiento en invierno y contracción en verano.

La prueba de laboratorio utilizada generalmente para obtener el peso unitario seco máximo de compactación y el contenido óptimo de humedad se denomina: prueba Proctor estándar y modificada.

La mayor parte de la compactación en campo se hace con rodillos, hay cuatro tipos comunes de rodillos:

- Rodillo de ruedas lisas: Son adecuados para pruebas de rodado en explanadas y para la operación de acabado de rellenos con suelos arenosos y arcillosos.

Proporcionan una cobertura de 100 % bajo las ruedas con presiones de contacto en tierra de 310 hasta 380 KN/m². No son adecuados para la producción de altos pesos unitarios de compactación cuando se utilizan en capas más gruesas.



Figura 5. Rodillo de rueda lisa.

- Rodillo con neumáticos de caucho: La presión de contacto debajo de las llantas puede oscilar desde 600 hasta 700 KN/m^2 que producen de 70% a 80 % de cobertura. se pueden utilizar para la compactación de suelo arenoso y arcilloso. La compactación se logra mediante una combinación de presión y acción de amasado (Gonzales, 2018, p.2).



Figura .6. Rodillo con neumático de caucho.

- Rodillos compactadores: Son tambores con un gran número de proyecciones. El área de cada una de estas proyecciones puede variar desde 25 hasta 85 cm^2 . son más eficaces con respecto a la compactación de los suelos arcillosos. La presión de contacto en las proyecciones puede variar de 1380 a 6900 KN/m^2 .



Figura 7. Rodillo compactador.

- Rodillo vibratorio: Son muy buenos con respecto a la compactación de suelos granulares. Los vibradores se pueden unir a ruedas lisas de caucho o rodillos compactadores de suelo para proporcionar efectos de vibración en la tierra. La vibración se produce mediante la rotación de pesos fuera del centro.



Figura 8. Rodillo vibratorio.

2.2.2. Ensayo de Laboratorio de Mecánica de Suelo

Los ensayos de laboratorio aplicables a la mecánica de suelos son las indicadas en la tabla 2.4.

Tabla 4. Ensayo de laboratorio aplicables a los EMS (Norma CE.010 Pavimentos Urbanos, 2010, p.15).

NORMA	DENOMINACION
NTP 339.126:1998	Métodos para la reducción de las muestras de campo a tamaños de muestras de ensayo.
NTP 339.127:1998	Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.
NTP 339.128:1999	Método de ensayo para el análisis granulométrico.
NTP 339.129:1999	Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos.
NTP 339.131:1999	Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de sólidos de un suelo.
NTP 339.132:1999	Método de ensayo para determinar el material que pasa el tamiz 75 μm (N°200).
NTP 339.134:1999	Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (SUCS Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).
NTP 339.135:1999	Método para la clasificación de suelos para uso en vías de transporte.
NTP 339.139:1999	Determinación del Peso volumétrico de suelos cohesivo.
NTP 339.140:1999	Determinación de los factores de contracción de suelos mediante el método del mercurio.
NTP 339.141:1999	Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m ³ (56000 pie-lbf/pie ³)).
NTP 339.142:1999	Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía estándar (600 kN-m/m ³ (12400 pie-lbf/pie ³)).
NTP 339.144:1999	Métodos de ensayos estándar para densidad in situ del suelo y suelo agregado por medio de métodos nucleares (profundidad superficial).

NTP 339.145:1999	Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio.
NTP 339.146:2000	Método de prueba estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino.
NTP 339.147:2000	Método de ensayo de permeabilidad de suelos granulares (carga constante).
NTP 339.152:2002	Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelos y aguas subterráneas.
NTP 339.177:2002	Método de ensayo para la determinación cuantitativa de cloruros solubles en suelos y agua subterránea.
NTP 339.178:2002	Método de ensayo normalizado para la determinación cuantitativa de sulfatos solubles en suelos y agua subterránea.

A continuación se describirá los ensayos utilizados en la investigación:

MTC E 103 REDUCCION DE MUESTRAS DE CAMPO A TAMAÑOS DE MUESTRAS DE ENSAYO (MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES, 2016, P.24)

Es la reducción de las muestras obtenidas en el campo a los tamaños de muestras requeridas para los ensayos (MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES, 2016, P.24).

Empleando procedimientos que minimizan la variación en la medición de las características entre las muestras de ensayo y las muestras de campo (MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES, 2016, P.24).

La reducción de muestras se obtiene mediante los siguientes 3 métodos:

Método A: cuarteo mecánico



Figura 9. Cuarteador mecánico.

Método B: Cuarteo



Figura 10. Selección de la muestra por cuarteos.

Método C: Pilas cónicas (agregado fino húmedo)



Figura 11. Selección de muestras por pilas cónicas

MTC E 108 DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO

Un espécimen de ensayo es secado si horno hasta llegar a un peso constante. Se considera que el peso perdido al secado está compuesto por agua. El contenido de humedad se calcula usando el peso de agua y el peso de la muestra seco.

El contenido de agua es una característica importante y se usa para establecer una correlación entre el comportamiento del suelo y sus propiedades.

EQUIPOS

Para este ensayo se utiliza lo siguiente:

- Horno controlado por termostatos capaz de mantener una temperatura constante de 110 ± 5 °C.
- Balanza con sensibilidad de 0.001 gr para muestras de hasta 200 gr (sin incluir el peso de la capsula de secado) y con sensibilidad de 0.1 gr para muestras de más de 200 gr.

- Capsulas de secado hechas de un material resistente a la corrosión y al cambio de peso debido al calentamiento respectivo, enfriamiento, exposición a materiales de PH variado y a la limpieza.

ESPECIMENES DE ENSAYO

La cantidad mínima de espécimen de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total, si no se toma la muestra total, será de acuerdo a lo siguiente (Sarango, 2014, p. 3).

Tabla 5. Masa del espécimen para el ensayo de contenido de humedad del suelo.

Máximo tamaño de partícula (pasa el 100 %)	Tamaño de malla estándar	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados.	
		a ± 0.1%	a ± 1%
2 mm o menos	2.00 mm (N° 10)	20 g	20 g
4.75 mm	4.760 mm (N° 4)	100 g	20 g
9.5 mm	9.525 mm (3/8")	500 g	50 g
19,0 mm	19.050 mm (3/4")	2.5 kg	250 g
37.5 mm	38.1 mm (1 1/2")	10 kg	1 kg
75.0 mm	76.200 mm (3")	50 kg	5 kg

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

- ❖ Determinar y registrar el peso de una capsula de secado limpia y seca.
- ❖ Seleccionar una muestra representativo de la muestra a ensayar que cumpla con lo indicado anteriormente.
- ❖ Colocar la muestra húmeda en la capsula de secado.

- ❖ Determinar el peso de la capsula de secado con la muestra húmedo, y registrar su valor.
- ❖ Colocar la capsula con el material en el horno y dejarlo secar aproximadamente 16 horas, luego de esto, pesar la muestra cada hora para verificar que se haya llegado a un peso constante. Como regla práctica, para evitar pesar varias veces, se recomienda secar la muestra durante 24 horas.
- ❖ Transcurrido este tiempo retirar la capsula del horno y dejar enfriar la capsula, de modo que sea fácilmente manipulable.
- ❖ Determinar el peso de la capsula con el material secado en horno usando la misma balanza que en los casos anteriores, y registrar su valor.

CALCULOS

Calcular y registrar el peso del agua que estaba presente en el suelo:

$$W_{agua} = W_{cap.+suelo\ humedo} - W_{cap.+suelo\ seco}$$

Calcular y registrar el peso del suelo seco:

$$W_{suelo\ seco} = W_{cap.+suelo\ seco} - W_{cap.}$$

Calcular y registrar la humedad y expresarla en porcentaje:

$$\omega = \frac{W_{agua}}{W_{suelo\ seco}} (\%)$$

MUESTRAS EN LAS QUE SE PUEDE UTILIZAR ESTE ENSAYO

Muestra que conserve intacta su humedad.

RESULTADOS

Presentar el resultado final en porcentaje.

MTC E 107 ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELO POR TAMIZADO

La granulometría por tamizado consiste en segregar el suelo mediante una serie de mallas que definen el tamaño de la partícula hasta la malla N°200(74 mm).

La información obtenida se presenta en forma de curva semilogarítmica en la que el “porcentaje que pasa” representa las ordenadas y las mallas son las abscisas.

El análisis granulométrico por tamizado es un ensayo muy utilizado en la ingeniería civil, es importante en los criterios de aceptabilidad de suelos para presas, terraplenes, carreteras, diques y otras obras de ingeniería.

Con la curva granulométrica podemos obtener diámetros característicos tales como el D10, D30, D60, etc.; donde “D” es el tamaño del grano y el subíndice denota el porcentaje de material más fino.

La variación de tamaños de los granos presentes en una muestra se obtiene mediante el Coeficiente de Uniformidad C_u , está definido como;

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Cuanto mayor es C_u , el suelo es menos uniforme, pues un valor grande de este parámetro indica que los diámetros D60 y D10 difieren en tamaño apreciablemente, sin embargo esto no asegura que no exista un vacío de gradación como el que se presenta cuando falta material de diámetros intermedios. Por lo tanto el C_u realmente es un “coeficiente de no uniformidad”

El Coeficiente de Curvatura C_c , define la forma de la curvatura entre el D60 y el D10 y se calcula de la siguiente manera:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}}$$

Si los valores de C_c son diferentes a 1 indican que falta una serie de diámetros entre los tamaños D_{60} y el D_{10} .

En las gráficas representan algunas de las posibles formas de las curvas granulométricas, y estas dependen de la distribución de las partículas del suelo.

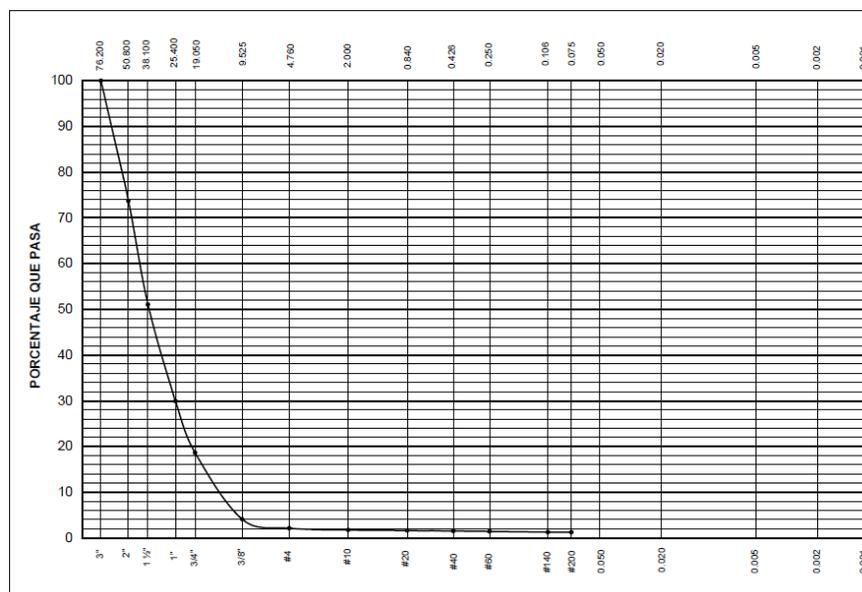


Figura.12. Grava mal graduada (GP).

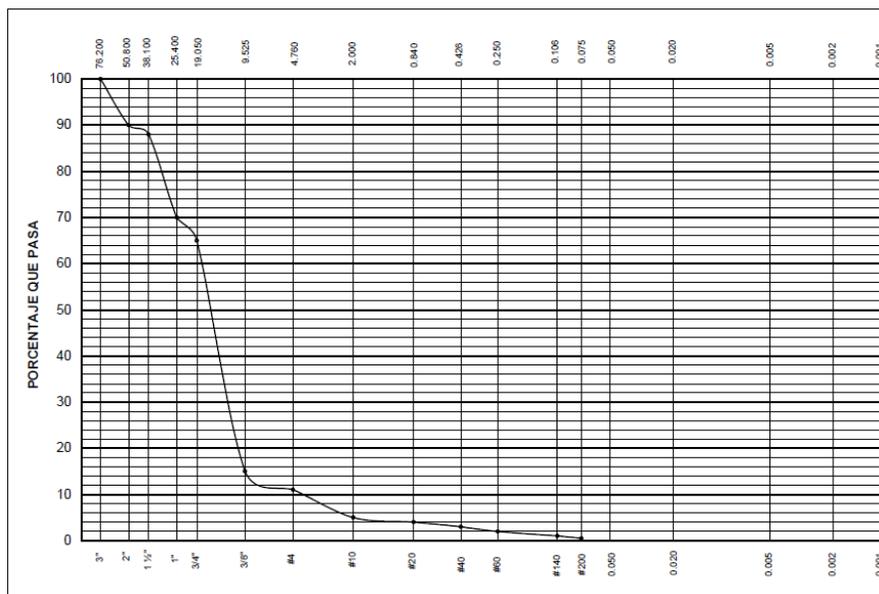


Figura 13. Grava bien graduada (GW).

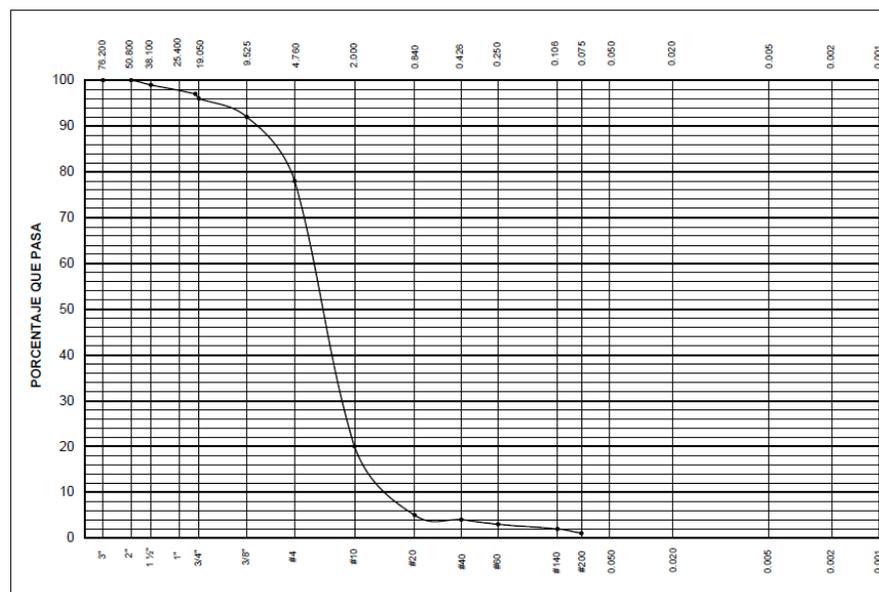


Figura 14. Arena mal graduada (SP).

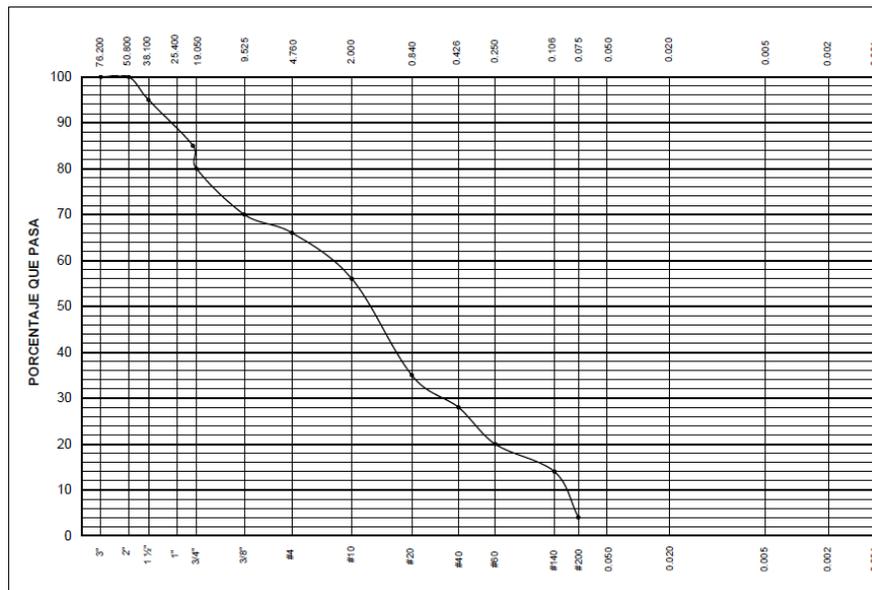


Figura 15. Arena bien graduada (SW).

MATERIAL

- Muestra de suelo: Muestra alterada en bolsa.
- Juego de tamices.

Tabla 6. Juego de tamices para el análisis granulométrico.

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75.000
2"	50.800
1 1/2"	38.100
1"	25.400
3/4"	19.000
3/8"	9.500
N°4	4.760
N°10	2.000
N°20	0.840
N°40	0.425
N°60	0.260

N°140	0.106
N°200	0.075

- Balanza de sensibilidad 0.1 gr.
- Bandejas.

MUESTRA

- Según las características de los materiales finos de la muestra, el análisis granulométrico con tamices se hace con la muestra entera, o con parte de ella después de separar los finos por lavado (Lili Razuri, 2018, p. 11).
- La muestra para el ensayo granulométrico estará constituida por dos fracciones: una retenida sobre el tamiz de 4,760 mm (N° 4) y otra que pasa dicho tamiz. Ambas fracciones se ensayaran por separado (Razuri, 2018, p. 11).
- Para la porción de muestra retenida en el tamiz de 4,760 mm (N° 4) el peso dependerá del tamaño máximo de las partículas de acuerdo con la Tabla7:

Tabla 7. Porción mínima retenida en el tamiz N°4 para el análisis granulométrico.

Diámetro nominal de las partículas más grandes (pulg)	Peso mínimo aproximado de la porción (g)
3/8"	500
3/4"	1000
1"	2000
1 1/2"	3000
2"	4000
3"	5000

- La porción que pasa tamiz de 4,76° mm (N° 4) será aproximadamente de 115 g para suelos arenosos y de 65 g para suelos arcillosos y limosos.

PROCEDIMIENTO

- El tamizado será de la fracción retenida en el tamiz de N°4 (4,760 mm).
- Sepárese la porción de muestra retenida en el tamiz N°4 (4,760 mm) separando fracciones usando los tamices de:

Tamices	Abertura (mm)
3"	75.000
2"	50.800
1 ½"	38.100
1"	25.400
¾"	19.000
3/8"	9.500
N°4	4.760

- Se mueve el tamiz de un lado para otro y recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento sobre la malla. Si quedan partículas apesadas en la malla, deben separarse con un pincel y reunir las con lo retenido en el tamiz. Cuando se utilice una tamizadora mecánica, se pondrá a funcionar por diez minutos aproximadamente, el resultado se puede verificar usando el método manual. Cuando se utilice una tamizadora mecánica, se pondrá a funcionar por diez minutos aproximadamente, el resultado se puede verificar usando el método manual.
- Se pesa cada fracción con una balanza de sensibilidad de 0,1 %.

- El análisis granulométrico de la fracción que pasa el tamiz de 4,760 mm (N° 4), se hará por tamizado y/o sedimentación según las características de la muestra y según la información requerida.
- Procedimiento para el análisis granulométrico por lavado sobre el tamiz de 0,074 mm (N° 200).
- Mediante el método del cuarteo se separarán 115 gramos si son suelos arenosos y 65 gramos si son suelos arcillosos y limosos. Se coloca la muestra en un recipiente cubriéndola con agua y se deja en remojo hasta que todos los terrones se ablanden.
- Se lava a continuación la muestra sobre el tamiz de 0,074 mm (N° 200), con abundante agua, evitando frotarla contra el tamiz y teniendo mucho cuidado de que no se pierda ninguna partícula de las retenidas en él.
- Se recoge lo retenido en un recipiente y se seca en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C y luego se pesa.
- Se tamiza en seco usando las malla N°10, N°20, N°40, N°60, N°140, N°200.

CALCULO

Valores para la porción retenida en el tamiz N°4:

- Se calcula el porcentaje que pasa el tamiz N° 4, dividiendo el peso por el del suelo originalmente tomado y se multiplica por 100. Para obtener el peso retenido en el mismo tamiz, réstese del peso original y el peso del pasante por el tamiz N° 4.

- Se determina el porcentaje total que pasa por cada tamiz y se divide el peso total que pasa entre el peso total de la muestra y se multiplica el resultado por 100.

Para valores del análisis granulométrico por tamizado para la porción que pasa el tamiz

Nº 4:

- Se calcula el porcentaje de material que pasa por el tamiz de Nº 200 de la siguiente forma:

$$\%Pasa\ 0.074 = \frac{Peso\ Total - Peso\ Retenido\ en\ el\ Tamiz\ de\ 0.074}{Peso\ Total} * 100$$

- Se calcula el porcentaje retenido de la siguiente forma:

$$\%Retenido = \frac{Peso\ Retenido\ en\ el\ tamiz}{Peso\ Total} * 100$$

- Se calcula el porcentaje que pasa restando en forma acumulativa de 100 % los porcentajes retenidos sobre cada tamiz.

$$\%Pasa = 100 - \%Retenido\ acumulado$$

MUESTRAS EN LAS QUE SE PUEDE UTILIZAR ESTE ENSAYO

El requisito mínimo para realizar el ensayo son muestras alteradas en bolsas.

RESULTADO

- Graficar la curva granulométrica en un formato semilogaritmico.
- Calcular los parámetros D₁₀, D₃₀, D₆₀, C_u y C_c e indicar, según estos resultados, la clasificación del suelo analizado según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y AASHTO.

MTC E 110 DETERMINACION DEL LIMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS

El límite líquido (L.L.) se determina mediante la ejecución de varias pruebas en las cuales una porción de la muestra es colocada en la Cuchara Casagrande, dividida en dos partes mediante un ranurador y forzada a unirse nuevamente mediante el golpeteo continuo de la cuchara en un dispositivo mecánico estándar. Se requieren 3 o más puntos dentro de un rango de contenidos de agua a fin de determinar el LL.

Los límites líquidos y plástico se usan para caracterizar las fracciones finas de los suelos. El límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad se emplean tanto individualmente como en conjunto, con otras propiedades de los suelos, para correlacionar el comportamiento ingenieril de los suelos.

Un valor alto de límite líquido significa que tiene una gran capacidad de retención de agua, como por ejemplo las arcillas; los limos tienden a tener menores valores de LL.

MATERIAL

- Aparato de Casagrande
- Espátulas
- Recipiente de porcelana
- taras o recipientes de aluminio
- Horno a temperatura constante de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$
- Tamiz N°40
- Muestra de 150 gramos de material que pasa el tamiz N°40
- Balanza con precisión de 0.01 gr.

ESPECIMENES DE ENSAYO

Proveer unos 150 gramos de material que pasa la malla #40.

CALIBRACION DE LA CUCHARA O COPA CASAGRANDE

Calibrar la altura de caída de la cuchara o copa de Casagrande de tal manera que el punto en el cual esta entra en contacto con la base alcance una altura de 10 ± 0.2 mm.

PROCEDIMIENTO

- Pesar 3 capsulas y luego registrar los pesos identificando cada una de ellas.
- Preparar una muestra de 150 gramos de material pasante la malla #40.
- Mezclar el suelo con agua calculando que se necesiten entre 35 a 40 golpes con la Cuchara de Casagrande para cerrar la ranura que se formaría con ese material.
- Dejar el suelo humedeciéndose durante 24 horas, cubierto para evitar que pierda agua.
- Se Coloca una porción de la muestra en la Cuchara de Casagrande en la zona donde la cuchara descansa en la base.
- Presionar y luego extender la muestra con una espátula dentro de la cuchara de Casagrande de modo que tenga una profundidad de 1 cm en su punto más profundo y revisando que quede una superficie horizontal.
- eliminar todas las burbujas de aire contenido en el suelo.
- Formar una ranura en la muestra de suelo con un ranurador, manteniéndolo perpendicular a la superficie de la cuchara.
- Girar la manivela de la Cuchara de Casagrande a razón de 2 golpes por segundo hasta que las dos porciones de suelo entren en la parte inferior de la ranura a lo largo de una distancia de 13 mm.
- Registrar el número de golpes que fueron necesarios para cerrar la ranura.

- Retirar una porción de suelo de aproximadamente 2 cm de ancho de la zona en que se cerró la ranura y luego colocar la muestra en una capsula de secado para luego pesarla y meterla en el horno durante 24 horas con la finalidad de calcular la humedad.
- Repetir el procedimiento hasta obtener 3 puntos que estén ubicados en los rangos de: 25 a 35, 20 a 30 y 15 a 25 golpes.
- Si se repite el procedimiento varias veces y se obtienen los mismos resultados se puede decir que la muestra de suelo se clasifica como NP que significa no presenta límite líquido y por lo tanto se concluye el ensayo.

CALCULOS

- Representar la relación entre el contenido de humedad y el número de golpes correspondientes, el contenido de humedad como ordenada sobre la escala aritmética, y el número de golpes como abscisa en escala logarítmica, luego trazar la mejor línea recta que pase por los tres puntos o más puntos graficados.
- Anotar el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la línea con la abscisa de 25 golpes como el límite líquido del suelo.
- Determinar el límite líquido para cada muestra y su contenido de humedad usando la siguiente ecuación:

$$LL = W^n \left(\frac{N}{25} \right)^{0.121} \quad \text{o} \quad LL = kW^n$$

Donde:

N = Numero de golpes necesarios para cerrar la ranura para el contenido de humedad

W^n = Contenido de humedad de la muestra de suelo

K = Factor indicado en la tabla 2.8.

Tabla 8. Factor para el límite líquido.

N (Numero de golpes)	K (Factor para limite liquido)
20	0.974
21	0.979
22	0.985
23	0.990
24	0.995
25	1.000
26	1.005
27	1.009
28	1.014
29	1.018
30	1.022

MUESTRA EN LAS QUE SE PUEDE REALIZAR ESTE ENSAYO

La muestra mínima necesaria será una muestra alterada en bolsa.

RESULTADO

Determinar los porcentajes de humedad de 3 muestras obtenidas en el ensayo de límite líquido, y graficar los resultados. El resultado debe ser una recta.

MTC E 111 DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO DE LOS SUELOS E

INDICE DE PLASTICIDAD

Se determina mediante el amasado y rolado continuo de una porción de suelo hasta que el contenido de agua se reduzca y llegar a formar un rollito de 3.2 mm de diámetro aproximadamente,

MUESTRA DE ENSAYO

Obtener una porción representativa de unos 20 gramos aproximadamente de material que pasa la malla #40.

La muestra mínima necesaria será: Muestra alterada en bolsa.

PROCEDIMIENTO

- Pesar 2 capsulas de secado y registrar los pesos con su respectiva identificación de cada una de ellas.
- De la porción separada para el ensayo de límite plástico se va a amasarlas y tratar de formar rollitos con ellas. Continuar de esta manera hasta que antes de los 2 minutos se haya podido formar un rollito de unos 3 a 3.2 mm de diámetro.
- Pesar y meter las capsulas de secado al horno durante 24 horas para determinar el contenido de humedad.
- Si no se llegan a fisurar los rollitos a pesar de que el contenido de humedad continúe disminuyendo se clasifica al suelo como NP.

CALCULOS

- Es el promedio de las humedades de ambas determinaciones y Se expresa como porcentaje de humedad, con aproximación a un entero y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Limite Plastico} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} * 100$$

- El índice de plasticidad de un suelo es la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

$$I.P. = L.L. - L.P.$$

Donde:

L.L. = Limite Liquido

L.P. = Limite Plástico

L.L. y L.P. son números enteros

- Cuando el límite líquido o plástico no puedan determinarse, se informara con la abreviatura NP (no plástico).
- Cuando el límite plástico resulte igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad se informara como NP (no plástico).

MTC E 113 METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA LA GAVEDAD

ESPECÍFICA DE SOLIDOS DE SUELO USANDO EL PICNOMETRO DE AGUA

Este ensayo cubre la determinación de la gravedad específica de sólidos de suelo que pasan el tamiz N° 4 usando un picnómetro de agua.

La gravedad específica de los sólidos de suelo es usado en el cálculo de las relaciones de fase de suelos.

La gravedad específica de sólidos de suelo es usado para calcular la densidad de los sólidos de suelo, multiplicando su gravedad específica por la densidad de agua a una temperatura apropiada.

EQUIPO

- Picnómetro de 500 ml. De capacidad
- Hornilla eléctrica
- Termómetro
- Balanza de sensibilidad de 0.01 gr.

- Pipeta
- Embudo
- Agua preferiblemente destilada
- Matraz
- Horno de secado
- Aparato para remover el aire entrampado: Bomba de vacío a aspirador de agua
- Tamiz N°4

ESPECIMENES DE ENSAYO

Puede ser suelo húmedo o secado al horno y podrá ser representativo de los sólidos de suelo que pasen la malla N° 4 en el total de la muestra. La Tabla 2.9 muestra las masas de suelo seco con el tipo de suelo y tamaño del picnómetro.

Tabla 9. Masa de suelo seco con el tipo de suelo y tamaño del picnómetro.

Tipo de suelo	Masa de espécimen seco (g) cuando se usa un picnómetro de 250 ml.	Masa de espécimen seco (g) cuando se usa un picnómetro de 500 ml.
SP, SP-SM	60±10	100±10
SP-SC, SM,SC	45±10	75±10
Limo o arcilla	35±5	50±10

PROCEDIMIENTO

- Determinar y registrar el peso del picnómetro limpio y seco.
- Pesar la muestra previamente secada al horno a temperatura constante.
- Colocar la muestra dentro del picnómetro y registrar la masa del picnómetro con la muestra de suelo seco.

- Llenar el picnómetro con agua destilada hasta un nivel ligeramente superior a la marca suficiente para cubrir el suelo y remojar la muestra durante unas 12 horas aproximadamente.
- Retirar el aire atrapado en el picnómetro empleando la bomba de vacío durante al menos 30 minutos agitando ligeramente y con precaución el picnómetro de agua para facilitar la expulsión del aire contenido en el picnómetro.
- Llenar el picnómetro hasta la marca con agua destilada a una temperatura ambiente.
- Limpiar la parte exterior y los residuos que quedan por encima de la marca y luego registrar el peso del picnómetro con la muestra de suelo y agua.
- Eliminar la muestra utilizada y limpiar el picnómetro.
- Llenar el picnómetro con agua destilada hasta la marca e inspeccionarlo visualmente para asegurar que no existan burbujas de aire en el agua. Determinar y registrar la masa del picnómetro con agua.
- Insertar un termómetro en el agua, determinar y registrar la temperatura aproximándola a 0.5 °C.

CALCULOS

- Calcular el peso de la muestra seca:

$$W_{suelo\ seco} = W_{picnometro+suelo\ seco} - W_{picnometro}$$

- Calcular el volumen del suelo seco aplicando el principio de Arquímedes, el volumen de un cuerpo se puede determinar como el volumen de líquido

desplazado al introducir dicho cuerpo en un recipiente con líquido. Por lo tanto su peso tiene el mismo valor numérico que su volumen.

$$V_{\text{suelo seco}} = W_{\text{suelo seco}} + W_{\text{picnometro+agua}} - W_{\text{picnometro+agua+suelo seco}}$$

- Determinar la corrección por temperatura debido a que el peso específico del agua es diferente de 1 gr/cm^3 a temperaturas distintas a 4°C , por lo que se incluye un factor α de corrección para considerar este efecto. La tabla 2.10 nos muestra los valores de corrección a distintas temperaturas.

Tabla 10. Corrección por temperatura.

Temperatura (°C)	Peso Específico del agua (gr/cm³)	Factor de Corrección α
16	0.99897	1.0007
17	0.99880	1.0006
18	0.998862	1.0004
19	0.99843	1.0002
20	0.98823	1.0000
21	0.9982	0.9998
22	0.99780	0.9996
23	0.99757	0.9993
24	0.99732	0.9991
25	0.99707	0.9988
26	0.99681	0.9986
27	0.99654	0.9983
28	0.99626	0.9980
29	0.99597	0.9977
30	0.99567	0.9974

- Calcular el peso específico de los sólidos:

$$G_s = \alpha \frac{W_{suelo\ seco}}{V_{suelo\ seco}}$$

MUESTRA PARA REALIZAR ESTE ENSAYO

El requerimiento mínimo son muestras alteradas en bolsa.

RESULTADOS

Mostrar los cálculos, las correcciones y el valor final de G_s .

MTC E 115 COMPACTACION DE SUELOS UTILIZANDO UNA ENERGIA

MODIFICADA

Es aplicable sólo a aquellos suelos que tienen 30% o menos en peso retenido de partículas en la malla de $\frac{3}{4}$.

Este ensayo abarca los procedimientos de compactación en cinco capas en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 101,6 o 152,4 mm (4 o 6 pulg) de diámetro con un pisón de 44,5 N (10 lbf) que cae de una altura de 457 mm (18 pulg),

La energía de compactación por unidad de volumen de suelo en la prueba modificada se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$E_c = \frac{N * n * W * h}{V}$$

Donde:

E_c = Energía de compactación, depende del tipo de ensayo

N = N° de golpes por capa

n = N° de capas

W = Peso del pisón

H = Altura de caída del pisón

V = Volumen del suelo compactado

Produciendo una Energía de Compactación (E_c) de 2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³).

El objetivo de este ensayo es determinar el contenido de humedad óptima para el cual el suelo alcanza su máxima densidad seca.

Tabla 11. Especificaciones de la prueba Proctor Modificado.

Ec= Energía de Compactación	56250 lb.ft/ft³
W= Peso del martillo	10 lb
h= Altura de caída del martillo	18 pulgadas
N= Numero de golpes por capas	Depende del molde
n= Numero de capas	5
V=Volumen del molde cm³	Depende del método de prueba

PROCEDIMIENTO	A	B	C
DE ENSAYO			
MATERIAL EMPLEADA	< #4	< 3/8"	< 3/4"
DIAMETRO DE MOLDE	4"	4"	6"
NUMERO DE GOLPES	25	25	56
GRADACION	Hasta 20% > #4	Más de 20 % > #4 y hasta 20% > 3/8"	Más de 20 % > 3/8" y menos de 30% > 3/4"

EQUIPOS

- Horno, capaz de mantener una temperatura uniforme de $110\pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Balanza con sensibilidad de 0.1 gr para muestras de más de 200 gr.
- Capsulas de secado.
- Moldes de 4" o 6", dependiendo del método que se va a utilizar.
- Martillo de compactación
- Mallas: se necesitan para el ensayo las mallas #4, 3/8" y 3/4".

MUESTRA DE ENSAYO

La muestra de campo para realizar este ensayo se necesita al menos 23 - 45 kg.

Para preparar la muestra se debe determinar el porcentaje de material retenido en las mallas #4, 3/8" y 3/4", a fin de identificar el método apropiado.

PREPARACION DEL MOLDE

Seleccionar el molde de compactación apropiado de acuerdo al método a utilizar (A, B o C).

Registrar la masa del molde, ensamblar el molde y la base.

Verificar que el martillo se encuentre limpio y en buenas condiciones de funcionamiento y que sus partes no estén sueltas.

PROCEDIMIENTO

- No reutilizar muestras de suelo que hayan sido compactadas en laboratorio.
- Medir dos veces la altura y el diámetro interior del molde de compactación con un vernier a fin de determinar su volumen promedio, luego pesar y registrar la masa del molde de compactación.

- Se prepara 5 muestras con una cantidad de suelo respecto al tipo de procedimiento (A, B o C), que tengan contenidos de agua tales que se aproximen al contenido de humedad óptima estimado.
- Usar 3 kg de suelo tamizado para cada espécimen si se emplea el método A o B y 6 kg si se emplea el método C.
- Primero se prepara una muestra con un contenido de humedad cercano al óptimo. Esto se logra añadiendo repetidamente cantidades conocidas de agua y mezclando.
- Seleccionar contenidos de humedad para el resto de las muestras, al menos dos por encima y dos por debajo del valor de su humedad óptima, espaciados entre sí aproximadamente 2%.
- Ensamblar y asegurar el molde a la base, el molde debe estar en una superficie plana y rígido
- Compactar la muestra en cinco capas, cada capa debe ser del mismo espesor, antes de la compactación acomodarlo hasta lograr un espesor uniforme.
- Aplastar el suelo ligeramente con ayuda del martillo para que la superficie a compactar no esté suelta.
- Realizar la compactación empleando el martillo y el número de golpes según el método correspondiente
- Para la última capa, colocar el collar de extensión a fin de facilitar el procedimiento de compactado.

- Finalizada la compactación retirar el collar y la base, remover el suelo excedente con ayuda de una regla metálica, y luego registrar el peso del molde con el suelo compactado.
- Remover el material del molde y obtener una muestra para determinar el contenido de humedad.
- registrar el peso de una capsula de secado.
- Colocar la muestra húmedo en la capsula de secado.
- Determinar el peso de la capsula de secado con la muestra húmeda y registrar este valor.
- Colocar la capsula con el material en el horno y dejarlo secar aproximadamente 24 horas, luego pesar la muestra.
- Retirar la capsula del horno y dejar enfriar la capsula.
- Determinar el peso de la capsula con el material secado al horno y registrar ese valor.
- Repetir el procedimiento para cada contenido de humedad.

CALCULOS

- Para cada muestra calcular la humedad
- Con el peso del molde y el peso de molde con suelo, calcular el peso total del suelo.
- Conocido las dimensiones del molde y el peso total del suelo, calcular el peso específico húmedo.

- Conocido el peso específico húmedo y la humedad de cada muestra, calcular sus pesos específicos secos respectivos.

MUESTRA EN LAS QUE SE PUEDE REALIZAR ESTE ENSAYO

Puede emplearse muestras alteradas en bolsa.

RESULTADO

- Presentar la gráfica de la curva de compactación.
- Hallar la máxima densidad seca y el contenido óptimo de humedad ($\gamma_{d\ max}$. vs ω_{opt}).

MTC E 132 CBR DE SUELOS EN LABORATORIO

Describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR

(California Bearing Ratio). El ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno. Este índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de base, sub-base y de afirmado.

El método de CBR fue propuesto en 1929 por los ingenieros T. Staton y D. J. Porter, del departamento de Carreteras del Estado de California, como una forma de clasificación de la capacidad de un suelo para ser utilizado como sub-rasante o material de base en construcción de carreteras (pavimentos flexibles). Durante la segunda guerra mundial, el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos adoptó este ensayo para utilizarlo en la construcción de aeropuertos.

El CBR está definido como el esfuerzo requerido para que un pistón normalizado penetre en el suelo a una profundidad determinada, comparado con el esfuerzo requerido para que el pistón penetre hasta esa misma profundidad en una muestra patrón consistente en piedra chancada.

$$CBR = \left(\frac{Carga\ unitaria\ del\ ensayo}{Carga\ unitaria\ patron} \right) * 100(\%)$$

EQUIPO

Para la compactación:

- Molde de diámetro igual a 6", altura de 7" a 8" y un collarín de 2"
- Disco espaciador de acero diámetro 5 15/10"y altura 2.5"
- Pisón peso 10 lb y altura de caída 18"
- Trípode y extensómetro con aprox. 0.0001"
- Pesas de plomo anular de 5 lbs c/u (2 pesas)

Para la prueba de penetración:

- Pistón sección circular área= 3 pulg²
- Aparato para aplicar la carga: prensa hidráulica con anillo de carga. V=0.05 pulg/min.
- Equipo misceláneo: balanza, hornos, tamices, papel filtro, tanques para inmersión de muestra a saturar, cronometro, extensómetros, etc.

PROCEDIMIENTO

- Se prepara la muestra necesaria. Previamente se debe haber efectuado el ensayo proctor modificado.
- Se calcula una cantidad suficiente para moldear 3 muestras.

- Los moldes se compactan con el óptimo contenido de humedad obtenido con el ensayo proctor modificado.
- Se preparan los tres moldes CBR y se colocan a las placas de base de cada molde.
- Se compacta cada molde a diferente energía de compactación.
- La energía de compactación se controla con el N° de golpes y serán de 56, 25 y 12 golpes por capa respectivamente.
- Luego de compactado se enrasa y se retira de la placa de base.
- Se gira el molde de modo que la parte superior quede abajo, se retira el disco espaciador y queda un espacio para luego colocar la sobrecarga.
- Se fija de nuevo a la placa de base, luego la muestra está preparada para la etapa de saturación.
- Se coloca un papel filtro sobre la parte superior de la muestra. Luego se sitúa la placa perforada con vástago ajustable y sobre ella se coloca las pesas de sobrecarga.
- El trípode con el cuadrante medidor de deformaciones se coloca sobre el canto del molde y se ajusta al vástago de la placa perforada, se registra la lectura y se quita el trípode.
- Se sumerge el molde en un recipiente con agua y se deja saturar durante cuatro días. Colocar el soporte de trípode sobre la muestra todos los días y tomar nota la lectura de la expansión.
- Después de cuatro días se saca el molde, se deja drenar durante 15 minutos aproximadamente.

- Se quitan las pesas, la placa perforada y el papel filtro.
- Se colocan nuevamente las pesas se sobrecarga y se prepara para la etapa de penetración.
- Se coloca el molde sobre el soporte de carga de la prensa y se ajusta de manera que el pistón quede centrado con la muestra.
- Se coloca en cero el indicador de presión del anillo de carga y el dial de deformación.
- La velocidad de penetración del pistón en el suelo es de 0.05 pulgada por minuto. La velocidad se controla por tiempo con un cronometro.
- Se registran las lecturas de presión a 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.200, 0.300, 0.400 y 0.500 pulgadas de penetración.
- Luego de determinada la prueba, se retira las sobrecargas, se recupera el suelo ensayado y se toma muestra para determinar la humedad final.

CALCULO

Humedad de compactación.- El tanto por ciento de agua que hay que añadir al suelo con su humedad natural para que alcance la humedad prefijada, se calcula como sigue:

$$\% \text{ de agua a añadir} = \frac{H - h}{100 + h} * 100$$

Donde:

H = Humedad prefijada

h = Humedad natural

Densidad o peso unitario.- La densidad se calcula a partir del peso del suelo antes de sumergirlo y de su humedad, de la misma forma que en los métodos de ensayo citados. Proctor normal o modificado, para obtener la densidad máxima y la humedad óptima.

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.

Presión de penetración.- Se calcula la presión aplicada por el penetrómetro y se dibuja la curva para obtener las presiones reales de penetración a partir de los datos de prueba; el punto cero de la curva se ajusta para corregir las irregularidades de la superficie, que afectan la forma inicial de la curva (véase Figura 2.16).

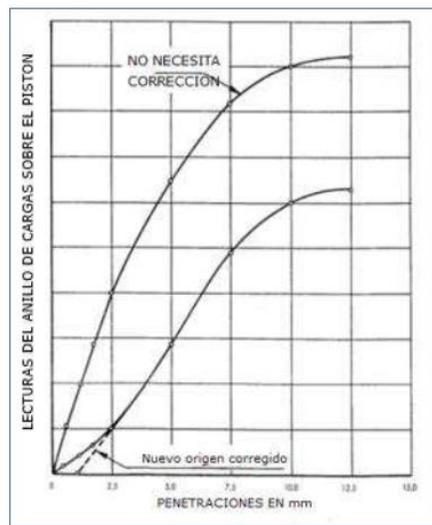


Figura 16. Curva presión – penetración.

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").

Es decir:

$$\% \text{ Expansion} = \frac{L2 - L1}{127} * 100$$

Donde

L1 = Lectura inicial en mm.

L2 = Lectura final en mm.

Se llama valor de la relación de soporte (índice CBR), al porcentaje 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 (PRIMER TALLER DE MECANICA DE SUELOS, 2006, p.1).

Las características de la muestra patrón se muestran a continuación

Penetración		Presión		
mm	pulgadas	MN/m ²	kgf/cm ²	lb/plg ²
2.54	0.1	6.90	70.31	1000
5.08	0.2	10.35	105.46	1500

Para calcular el índice CBR se procede de la siguiente manera:

- 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 tómense 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 (10001b/pul²) y 10,3 MPa (1500 lb/pulg²) 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.

APLICACIÓN

Tabla 12. Clasificación y usos del suelo de acuerdo a los valores de CBR.

CBR	Clasificación cualitativa del suelo	Usos
0-3	Muy pobre	subrasante
3-7	Pobre a regular	subrasante
7-20	Regular	Sub base
20-50	Bueno	Base, sub base
>50	excelente	base

NTP 339.152:2002 METODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACION DEL CONTENIDO DE SALES SOLUBLES EN SUELOS Y AGUAS SBTERRANEAS.

Esta Norma establece la preparación de un extracto acuoso para la determinación del contenido de sales solubles presentes en los suelos.

Los resultados que se obtengan con estos procedimientos pueden ser de gran utilidad principalmente en las obras de ingeniería.

El contenido total de sales solubles de un suelo se determina en un extracto acuoso preparado usando una relación suelo- agua de 1:5 para la mezcla. Esta proporción se ha considerado como la más adecuada entre otras proporciones.

Un volumen conocido de la solución de ensayo, que es el extracto acuoso se evapora en una capsula de peso conocido y se pone a secar a peso constante a $180\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. El incremento de peso hallado representa el total de solidos disueltos. El residuo de las aguas altamente mineralizadas con un contenido considerable de calcio, magnesio,

cloruro, y/o sulfatos puede ser higroscópico (absorbe humedad) y requiere un secado prolongado, desecante apropiado y una rápida pesada. Las muestras con elevada cantidad de carbonato requieren un secado cuidadoso a 180 °C y probablemente prolongado para asegurar la completa conversión de bicarbonato a carbonato.

Debido a que un excesivo residuo puede ser inconveniente, el volumen de la muestra a ensayar se elegirá entre 100 y 200 gramos de espécimen seco.

APARATO

- Balanza con precisión de 0.001 gramos.
- Equipo de filtración al vacío compuesto de: bomba de vacío y presión eléctrica de 220 V, frasco de filtración al vacío (Kitasato) de 500 ml para sostener el embudo.
- Embudo de filtración, tipo Buchner de 110 mm de diámetro interior.
- Embudo de filtro de tres piezas de 47 mm con placa de vidrio y pinza de sujeción.
- Filtros de microfibras de vidrio de 110 mm de diámetro: Whatman 934 – AH, alternativamente papel filtro Whatman N°40.
- Filtros de microfibras de vidrio de 47mm de diámetro: Whatman GF Millipore AP40 o Gelman A/E.
- Agitador magnético y barra agitadora recubierta de TFE, tamaño grande.
- Centrifuga con tubos de 50 ml capacidad mínima (este equipo es de uso opcional).
- Frascos Erlenmeyer de 500 ml.
- Pipetas volumétricas de 25 ml, 50 ml y 100 ml de capacidad.
- Capsulas de evaporación de 100 ml de capacidad, pueden ser de porcelana hasta de 200 mm de diámetro; vidrio de alta sílice o de platino.

- Plancha de calentamiento.
- Baño de vapor (para evaporaciones).
- Estufa de secado
- Desecador con silica gel.

PREPARACION DEL EXTRACTO DE SUELO

- Pesar 100 gramos de muestra de suelo preparada para el análisis (secado al aire o a no más de 60 °C y pasada por el tamiz N° 10) en un frasco Erlenmeyer de 500 ml.
- Añadir 300 ml de agua destilada, tapar el frasco y ponerlo en agitación mecánica por 1 hora y dejarlo sedimentar o decantar por otra hora. Sin embargo, en sospecha de la presencia de yeso, luego de 1 hora añadir un cristal de thymol y dejar en reposo durante la noche (para la disolución del yeso).
- Filtrar la suspensión del filtro de microfibra de vidrio o papel filtro de 110 mm de diámetro en el embudo Buchner. Si el filtrado inicial es turbio retornarlo al embudo. Si continua la turbidez se puede intentar la centrifugación y luego una segunda filtración por disco de microfibra de 47 mm de diámetro del tipo indicado. También puede ser útil añadir 1 gota de ácido nítrico a la solución, antes de la segunda filtración para precipitar las partículas finas.
- El extracto acuoso correctamente filtrado es la solución del ensayo de la que se toma como mínimo 100 ml de alícuota y se continua con el procedimiento.

- Preparar la capsula de evaporación, calentar las capsulas de evaporación limpias a $180\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 1 hora en la estufa de secado, guardar en el desecador hasta el momento de usarlas. Pesarlas inmediatamente antes del uso (m_1).
- Muestra de suelo: transferir a la capsula de evaporación un volumen medido de la solución de ensayo.
- Repetir el ciclo de secado, enfriamiento con desecación y pesaje hasta obtener un peso constante (m_2) o hasta que la variación de peso sea menor al 4% de la pesada anterior.

EXPRESIONES DE RESULTADOS

$$SS = \frac{(m_2 - m_1) * D}{E} * 10^6$$

Donde:

SS = total de sales solubles en ppm

$(m_2 - m_1)$ = peso de residuo de evaporación en gramos

E = volumen de extracto acuosos evaporado, ml.

D = relación de la mezcla suelo: agua; ejemplo: si la muestra es 1:3; D=3.

REPORTE DE ENSAYO

- El método de ensayo ejecutado.
- Solución tomada para el ensayo.
- El resultado de solidos disueltos.
- Si fue posible filtrar la muestra libre de trazas de turbidez.

- Información acerca del origen de la muestra.

**NTP 339.177:2002 METODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACION
CUANTITATIVA DE CLORUROS SOLUBLES EN SUELOS Y AGUA
SUBTERRANEA.**

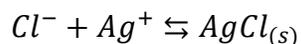
Los fenómenos corrosivos del ión cloruro a las cimentaciones se restringe al ataque químico al acero de refuerzo del concreto armado.

Cuando el contenido de ión cloro sea mayor a 0,2 %, debe recomendar las medidas de protección necesaria.

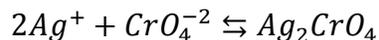
El análisis se realiza sobre el agregado que contiene cloruros y otras sales solubles. Se añade a la solución 1 ml de cromato de potasio como indicador y se titula con nitrato de plata hasta que el precipitado blanco de cloruro de plata, AgCl, se tiñe de color rojo debido a la precipitación de cromato de plata, Ag₂CrO₄.

FUNDAMENTO TEORICO DEL ENSAYO

En las primeras etapas de la titulación se forma el cloruro de plata debido a la elevada concentración de iones cloruro presente en la solución:



A medida que se acerca el punto de equivalencia, la concentración de iones cloruro disminuye y la concentración de iones plata aumenta, en el punto de equivalencia exacto las concentraciones de iones cloruro y plata van hacer las mismas, presencia de cromato de potasio la próxima adición de nitrato de plata es suficiente para formar una precipitación de cromato de plata:



Esto se debe a que el cromato de plata ($K_{ps}=1.12 \times 10^{-12}$) es más soluble que el cloruro de plata ($K_{ps}=1.77 \times 10^{-10}$) de modo que mientras haya presencia de iones cloruro no se formara el cromato de plata.

En la práctica se debe agregar un exceso de nitrato de plata para que sea perceptible el precipitado de color rojo del cromato de plata.

NTP 339.178:2002 METODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACION CUANTITATIVA DE SULFATOS SOLUBLES EN SUELOS Y AGUA SUBTERRANEA.

La mayor parte de los procesos de destrucción causados por la formación de sales son debidos a la acción agresiva de los sulfatos. La corrosión de los sulfatos se diferencia de la causada por las aguas blandas, en que no tiene lugar una lixiviación, sino que la pasta endurecida de cemento, a consecuencia de un aumento de volumen, se desmorona y expansiona, formándose grietas y el ablandamiento del concreto.

En la Tabla 4.4.3 de la NTE E.060 Concreto Armado se indican los grados de ataque químico por sulfatos en aguas y suelos subterráneos y la medida correctiva a usar en cada caso.

Exposición a sulfatos	Sulfato soluble en agua (SO₄), presente en el suelo, % en peso	Sulfato (SO₄) en agua p.pm.	Tipo de cemento
------------------------------	--	---	------------------------

Despreciable	$0.00 \leq \text{SO}_4 < 0.10$	$0.00 \leq \text{SO}_4 < 150$	-----
Moderado	$0.10 \leq \text{SO}_4 < 0.20$	$150 \leq \text{SO}_4 < 1500$	II, IP(MS), IS(MS), P(MS), I(PM)(MS), I(SM)(MS)
Severo	$0.20 \leq \text{SO}_4 < 2.00$	$1500 \leq \text{SO}_4 < 10000$	V
Muy Severo	$\text{SO}_4 > 2.00$	$\text{SO}_4 > 10000$	V mas puzolana

Este método se basa en la precipitación de sulfato de bario que es escasamente soluble; consiste en agregar lentamente una solución diluida de cloruro de Bario en una solución caliente de sulfato.

El precipitado se filtra, se lava cuidadosamente con agua caliente y se calcina para finalmente pesar el sulfato de bario.

NTP 339.171 METODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA EL ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Cuando una estructura se apoya en la tierra, transmite los esfuerzos al suelo de fundación. Estos esfuerzos producen deformaciones en el suelo que pueden ocurrir de tres maneras:

- a. Por deformación elástica de las partículas.
- b. Por cambio de volumen en el suelo como consecuencia de la evacuación del líquido existente en los vacíos entre las partículas.

- c. Por deslizamiento de las partículas, que pueden conducir al deslizamiento de un gran masa de suelo.

El primer caso es despreciable para la mayoría de los suelos, en los niveles de esfuerzo que ocurren en la práctica. El segundo caso corresponde al fenómeno de la consolidación. El tercer caso corresponde a fallas del tipo catastróficos y para evitarla se debe hacer un análisis de estabilidad, que requiere del conocimiento de la resistencia al corte del suelo. El análisis debe asegurar que los esfuerzos de corte solicitantes son menores que la resistencia al corte, con un margen adecuado de modo que la obra siendo segura, sea económicamente factible de llevar a cabo.

Vemos que es absolutamente imposible independizar el comportamiento de la estructura y el del suelo.

Por tanto el problema de la determinación de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos puede decirse que constituye uno de los puntos fundamentales de toda la Mecánica de Suelo.

El ensayo de corte directo induce a que ocurra una falla a través de un plano de localización predeterminado. Sobre este plano actúan dos fuerzas o también llamados esfuerzos: un esfuerzo normal debido a una carga vertical P_v aplicada externamente y un esfuerzo cortante debido a la aplicación de una carga horizontal P_h . Estos esfuerzos se calculan con la siguiente ecuación:

$$\sigma_n = \frac{P_v}{A} \qquad \tau = \frac{P_h}{A}$$

Donde A es el área nominal de la muestra(o de la caja de corte) y usualmente no se corrige para tener en cuenta el cambio de área causado por el desplazamiento lateral de la muestra.

Estos esfuerzos deberían satisfacer la ecuación de Coulomb:

$$\tau = C + \sigma_n \tan \phi$$

En esta ecuación existen dos cantidades desconocidas, c y ϕ , por lo que se requiere obtener dos valores como mínimo, de esfuerzo normal y esfuerzo cortante para obtener una solución.

Utilizando los valores de esfuerzo cortante τ y esfuerzo normal σ podemos dibujar el círculo de Mohr para cada ensayo y trazar la envolvente de falla con lo que se obtiene en forma gráfica de los valores de c y ϕ .

Para aquellos materiales no cohesivos debería cumplirse lo siguiente: $c=0$.

TIPOS DE ENSAYO

Los ensayos de corte directo pueden clasificarse en:

- Ensayos no consolidados no drenados: el corte se inicia antes de consolidar la muestra bajo la carga normal P_v . Si el suelo es cohesivo y saturado, se desarrollara exceso de presión de poros.
- Ensayos consolidados no drenados: se aplica la fuerza normal y se observa el movimiento vertical del deformimetro hasta que pare el asentamiento antes de aplicar la fuerza cortante.

- Ensayos consolidados drenados: la fuerza normal se aplica y se demora la aplicación del corte hasta que se haya desarrollado todo el asentamiento, se aplica a continuación la fuerza cortante muy lentamente, de modo que se evite el desarrollo de presiones de poros en la muestra.

Para suelos no cohesivos, estos tres ensayos dan el mismo resultado, esté la muestra saturada o no y por supuesto, si la tasa de aplicación del corte no es demasiado rápida.

Para suelos cohesivos, los parámetros de suelos están marcadamente influenciados por el método de ensayo y por el grado de saturación y por el hecho de que el material este normalmente consolidado o sobreconsolidado

EQUIPOS PARA EL ENSAYO

- Balanzas con sensibilidad de 0.001 gr para muestras de hasta 200 gr.
- Pie de rey o Vernier para obtener las dimensiones de la caja de corte.
- Equipo de Corte Directo, para ensayar la muestra según las especificaciones indicadas.

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

- Medir el diámetro y altura de la caja de corte, ensamblar la caja de corte y fijarla en posición mediante el pin de seguridad.
- Compactar la muestra en el molde hasta alcanzar la densidad especificada, teniendo cuidado de colocar las piedras porosas dentadas en los extremos de la muestra.
- Colocar el pistón de carga.

- Montar la caja en la máquina de corte.
- Aplicar la carga normal especificada.
- Ajustar los diales de deformación y el dial de carga.
- Sacar el pin de seguridad.
- Aplicar la carga de corte (horizontal) a una velocidad según tipo de material y tomar lecturas del dial de carga y deformación vertical.
- Repetir el procedimiento con otra carga.

MUESTRAS EN LAS QUE SE PUEDE REALIZAR ESTE ENSAYO

Para el ensayo se puede realizar con muestras inalteradas y remoldeadas.

2.2.3. Estabilización de Suelos

Es un proceso que tiene por objetivo aumentar su resistencia, su durabilidad, su insensibilidad al agua y otros aspectos relacionados con el fin perseguido. Entre los métodos de estabilización del suelo sobre el cual se asienta una carretera tenemos:

A. Métodos Mecánicos

Metodología que mejoran las propiedades mecánicas de los suelos seleccionados sin la adición de agentes u otras energías de unión de partículas.

Los métodos mecánicos de mejoramiento de suelos incluyen:

➤ **Confinamiento (suelos no cohesivos):**

Se logra con la aplicación de columnas de grava, cuya construcción implica el reemplazo parcial de unos 15 a 35% del suelo, que usualmente penetra hasta alcanzar un estrato resistente. La presencia de la columna crea un material compuesto de menor compresibilidad media y de mayor resistencia al corte que la

del suelo natural. Los procedimientos de construcción incluyen la vibro-sustitución, que consiste en introducir un tubo por vibración, con inyección en la hincas para llegar hasta la profundidad máxima. El orificio se rellena luego con material de aporte (grava de tamaños en el rango de 2 a 80 mm); o bien con pilotes de grava, para lo cual se encamisa la perforación y, alcanzado el nivel previsto se la rellena, para luego extraer la camisa.

➤ **Preconsolidación (suelos cohesivos):**

Se logra aplicando una sobrecarga sobre un depósito de suelo, la que debe exceder la carga máxima que este va a soportar. Se busca así que la consolidación parcial sea equivalente al mayor grado que alcanzará con la carga máxima, la que requerirá mayor tiempo para producirse.

Este proceso puede acelerarse por medio de drenes verticales conectados en su parte superior por un manto de arena que permita la liberación de la humedad.

➤ **Mezclas de suelos:**

Requiere la realización de una serie de ensayos, con el fin de evaluar las características de cada uno de los tipos de suelo que se desean mezclar. Este método requiere la remoción de gran cantidad de material de la superficie y no resulta práctico para el mejoramiento mecánico de depósitos de gran profundidad, por lo que su uso se limita a obras viales.

➤ **Vibroflotación:**

Método apto para aquellos suelos que son granulares con un bajo contenido de finos, este método consiste en introducir en el terreno un tubo con una cabeza

vibratoria, cuya acción producirá un reacomodamiento de sus granos y por lo tanto producirá un aumento en su densidad.

El método se aplica siguiendo una red de geometría diseñada en la superficie del terreno, de forma tal que el tratamiento alcance la totalidad del depósito. Tiene la ventaja de alcanzar profundidades importantes sin afectar edificaciones cercanas. Conforme se retira la cabeza vibratoria, el espacio vacío se rellena con material de aporte. En la superficie puede ser necesario agregar un cierto volumen de material para compensar la pérdida de volumen por el reacomodo de los granos (Mejoramiento Del Suelo, 2017, p. 2).

El proceso completo de vibroflotación en el campo se puede dividir en cuatro etapas:

Etapa 1: el chorro en la parte inferior del Vibroflot está dirigido y lanzado dentro del suelo.

Etapa 2: el chorro de agua crea una condición rápida en el suelo que permite que la unidad vibratoria se hunda en el suelo.

Etapa 3: el material granular se vierte desde la parte superior del agujero. El agua del chorro inferior se transfiere al chorro en la parte superior de la unidad vibratoria. El agua transporta el material granular hacia el agujero.

Etapa 4: La unidad vibratoria se eleva gradualmente en unos 0.3 m t se mantiene vibrando durante aproximadamente 30 segundos en cada levantamiento. Este proceso compacta el suelo al peso unitario deseado.



Figura 17. Unidad de vibroflotación.

La distribución de tamaño de grano del material de relleno es un factor muy importante ya que controla la velocidad de densificación. Según Brown (1977) definió una cantidad llamada número aptitud para la calificación de relleno como

$$S_N = 1.7 \sqrt{\frac{3}{(D_{50})^2} + \frac{1}{(D_{20})^2} + \frac{1}{(D_{10})^2}}$$

Donde D50, D20 y D10 son los diámetros (en mm) a través de los cuales pasa, respectivamente, 50%, 20% y 10% del material.

Cuanto menor es S_N , más deseable es el material de relleno. A continuación se presenta un sistema de clasificación de relleno propuesto por Brown:

Tabla 13. Valores de S_N para la calificación de relleno.

Rango de S_N	Calificación como relleno
0-10	Excelente
10-20	Bueno
20-30	Razonable
30-50	Pobre

>50

inadecuado

➤ **Compactación dinámica**

La compactación dinámica es una técnica para la densificación o compactación de depósitos de suelos granulares. Consiste en dejar caer un gran peso en varias ocasiones en el suelo a intervalos regulares. El peso del martillo utilizado varía en un rango de 80 a 360 KN, y la altura de la caída del martillo varía entre 7.5 y 30.5 m. Las ondas de tensión generadas por el martillo al caer ayudan en la densificación. El grado de compactación conseguido en un sitio determinado depende de los siguientes tres factores:

- ❖ Peso del martillo
- ❖ Altura de caída del martillo
- ❖ Separación de los lugares en que cayó el martillo

Leonards, Cutter y Holtz (1980) sugirieron que la profundidad de influencia significativa para la compactación se puede aproximar mediante el uso de la ecuación:

$$D \cong \left(\frac{1}{2}\right)\sqrt{W_H h}$$

Donde

D = profundidad significativa de densificación (m)

W_H = peso que se deja caer (toneladas métricas)

H = altura de caída (m)

➤ **Blasting**

La voladura o blasting es una técnica que se ha utilizado con éxito en muchos proyectos (Mitchell, 1970) para la densificación de los suelos granulares. Los tamaños de grano del suelo, en general adecuados para la compactación por medio de granallado, son los mismos que aquellos para la compactación por vibroflotación. El proceso implica la detonación de cargas explosivas, tales como 60% de dinamita a cierta profundidad por debajo de la superficie del suelo en el suelo saturado. La separación lateral de las cargas varía desde alrededor de 3 a 10 m. Generalmente son necesarias de tres a cinco detonaciones exitosas para lograr la compactación deseada. La compactación hasta una densidad relativa de casi el 80% y hasta una profundidad de aproximadamente 20 m sobre un área grande se puede conseguir fácilmente mediante el uso de este proceso. Por lo general, las cargas explosivas se colocan a una profundidad de alrededor de dos tercios del espesor de la capa de suelo que se desea compactar.

B. Métodos Químicos

La estabilización química se refiere al cambio de las propiedades de suelos logrado mediante la adición de cementantes orgánicos, inorgánicos o sustancias químicas especiales (Mejoramiento Del Suelo, 2017, p. 2).

Es un método basado en la aplicación de un producto químico, genéricamente denominado estabilizador químico, el cual se debe mezclar íntima y homogéneamente con el suelo a tratar y curar de acuerdo a especificaciones técnicas propias del producto. La aplicación de un estabilizador químico tiene como objetivo principal transferir al suelo

tratado, en un espesor definido, ciertas propiedades tendientes a mejorar sus propiedades de comportamiento ya sea en la etapa de construcción y/o de servicio.

Con cemento: Se mezcla el suelo con cemento Portland, lo que genera dos procesos: a) los silicatos cálcicos del cemento afectan al agua convirtiéndola en alcalina. La abundancia de calcio es usada por el suelo para modificar sus cargas superficiales; b) una vez que los iones de calcio son absorbidos por el suelo, el cemento se adhiere a sus partículas, para originar una cohesión que aumenta la resistencia al corte del material. Para que el proceso sea aceptable es necesario modificar la humedad del material, compactar a la máxima densidad e incorporar suficiente cemento para que se reduzca la pérdida de peso o se produzcan cambios de volumen y humedad. Prácticamente todos los suelos pueden tratarse con este método, pero si los materiales son mal graduados se requerirá mayor cantidad de cemento para lograr el efecto deseado.

Con asfalto: Al mezclar las partículas granulares con asfalto, se produce un material más durable y resistente. También se le agregan algunas partículas finas para llenar los vacíos. Es importante el contenido de humedad del material al anexar el asfalto y también esperar a que se evaporen los gases que este contiene antes de tenderlo y compactarlo.

Con cal: En la estabilización con cal se mezcla el suelo con cal aérea y agua, la cal puede ser viva o apagada. La proporción de cal utilizada en la estabilización dependerá del tipo de suelo, empleándose proporciones del 2 al 8% de cal sobre la masa seca del suelo.

Este procedimiento se suele utilizar en suelos de elevada humedad natural, de granulometría fina y plasticidad apreciable. La cal producirá un cambio importante de su plasticidad, reduciendo el índice de plasticidad de los suelos de plasticidad media y elevada ($IP > 15$), mientras que en suelos de plasticidad baja ($IP < 15$) aumentará tanto el límite líquido como el límite plástico, aumentando también, aunque de forma menos apreciable, el índice de plasticidad.

Este procedimiento se suele utilizar en suelos de elevada humedad natural, de granulometría fina y plasticidad apreciable. La cal producirá un cambio importante de su plasticidad, reduciendo el índice de plasticidad de los suelos de plasticidad media y elevada ($IP > 15$), mientras que en suelos de plasticidad baja ($IP < 15$) aumentará tanto el límite líquido como el límite plástico, aumentando también, aunque de forma menos apreciable, el índice de plasticidad.

La densidad máxima Proctor de un suelo estabilizado con cal es inferior a la del suelo original, lo que no tiene gran importancia debido a las mejoras anteriores obtenidas con la estabilización.

Con sales: las sales se forman a partir de la neutralización de un ácido con una base. Las sales normales tales como el cloruro de sodio (NaCl), cloruro de calcio (CaCl_2) o cloruro de potasio (KCl) son sales completamente neutralizadas, es decir que no contienen exceso de iones ácidos de hidrógeno (H^+) ni básicos de hidroxilo (OH^-). Se designan como sales ácidas aquellas que contienen exceso de iones de hidrógeno, como el bicarbonato de sodio (NaHCO_3) y a las que contienen exceso de iones hidroxilo se les designa como sales básicas. En el laboratorio, se han estudiado, un gran número de sales

(NaCl, CaCl₂, NaNO₃, Na₂CO₃, BaCl₂, MgCl₂, KCl) pero tanto la economía como su disponibilidad han hecho que solamente se utilicen algunas, siendo las más utilizadas el cloruro de sodio y el cloruro de calcio.

6.3. Definiciones Conceptuales

Se hace referencia a los conceptos básicos e importantes que debe ser claros durante el proceso de entendimiento y desarrollo del proyecto descrito.

A continuación se desglosa una serie de conceptos y sus significados:

Suelo: “Partículas naturales, orgánicas y mineralógicas cohesivas entre sí; que pueden ser separadas mecánicamente con poca energía o por agitación de agua” (Norma CE. 020, Estabilización de Suelos y Taludes, p.7).

Estabilización: “Procedimiento químico y/o físico mediante el cual se desea mejorar las propiedades mecánicas de un suelo” (Norma CE.020.Estabilizacion de Suelos y Taludes, p.7).

Método Químico: “Consiste en alterar las propiedades del suelo usando un cierto aditivo, el cual mezclado con el suelo, produce un cambio en las propiedades moleculares superficiales de los granos del suelo” (Hernán de Solminihac t, Estabilización Química de los Suelos: Aplicaciones en la construcción de estructura de pavimentos, Art. p.1).

Aditivo Químico: sustancia incorporada o añadida a otra sustancia y/o elemento, para corregir u otorgar propiedades al elemento adicionado, que esta no tenía antes.

Silicato de Sodio: “sustancia química de formula Na₂SiO₃, utilizada dentro de la industria en diferentes campos, tales como: detergentes, compuestos de limpieza, ligantes, cementos, capas protectoras, anticorrosivos, entre otros, sus diferentes

propiedades al ser soluble pueden ser utilizadas en forma eficiente y económica”(Fuente Compañía Quiminet, México D.F.- Ficha Técnica, <http://www.quiminet.com/articulos/cuales-son-los-usos-y-aplicaciones-del-silicato-de-sodio-liquido-y-solido-27872.htm>).

Capacidad Portante: “Capacidad del terreno para soportar las cargas aplicadas sobre él” (<http://es.slideshare.net/kairope/capacidad-portante-de-suelos>).

Resistencia: “Capacidad de un sólido para soportar presiones y fuerzas aplicadas sin quebrarse, deformarse o sufrir deterioros” (<http://definicion.de/resistencia/>).

Estratigrafía: “Es la rama de la geología que estudia las rocas teniendo en cuenta la secuencia temporal y los materiales que la constituyen” (<https://www.lifeder.com/que-estudia-la-geologia/>).

Estratificación: Es el modo como se depositan las rocas sedimentarias de acuerdo al agente y al ambiente sedimentario. Es así que se tienen estratificaciones distintas. La estratificación caracteriza a una serie de capas más o menos paralelas denominadas estratos.

Columna Estratigráfica: Es la sucesión vertical de rocas sedimentarias existentes en una determinada área. A través de la correlación entre comunas es posible la reconstrucción del perfil estratigráfico entre ellas.

Perfil Estratigráfico: Se realiza a partir de datos de perforaciones, de datos de prospección geofísica, o bien de cortes naturales o artificiales del terreno que muestran las rocas que conforman la columna estratigráfica, mediante los cuales se puede

reconstruir la estratigrafía del subsuelo, acorde con la profundidad que demanda el proyecto (Araujo, 2017, p.16).

Estrato: Para la geología, el estrato es cada una de las capas en que pueden dividirse las rocas debido al proceso de sedimentación. Los estratos aparecen como capas horizontales de espesor más o menos uniforme, con interfaces nítidos en comparación al estrato más joven que se sitúa encima y al estrato más antiguo que se encuentra debajo. La capa más vieja se conoce como base o muro, mientras que la más joven recibe el nombre de techo (HENRYP020594, 2013, p.2).

Capítulo 3

Metodología

6.4. Diseño Metodológico

3.1.1. Tipo

El tipo de investigación que pertenece es cuantitativo y a su vez comparativo.

3.1.2. Enfoque

La metodología más conveniente es la realización de un análisis técnico sobre los ensayos de cada una de las muestras realizados al suelo a nivel de subrasante donde se realizará comparaciones de los resultados con los requerimientos o valores según normas establecidas.

6.5. Población y Muestra

3.2.1. Población

El proyecto de investigación toma como universo el suelo que se encuentra ubicada en el cono sur de Huacho

Ubicación Política:

Lugar: Cono Sur

Distrito: Huacho

Provincia: Huaura

Departamento: Lima

3.2.2. Muestra

Para la obtención de la muestra se efectuaron prospecciones de campo (calicatas), el número de puntos de investigación o muestreo fue de acuerdo al tipo de vía, siendo estas colectoras y se realizaron 1 cada 3000 m² aproximadamente.

Los puntos de muestreo se ubicaron preferentemente en los cruces de vías.

La profundidad de las calicatas se consideró como mínimo 1.50 m por debajo de la subrasante proyectada, de la cual se obtendrá la muestra de suelo para los respectivos ensayos de laboratorio descritos en el capítulo II.

6.6. Operacionalización de Variables e Indicadores

Tabla 14. Operacionalización de Variables e Indicadores.

VARIABLES	INDICADORES
V.I. Evaluación de la subrasante en el Cono Sur de Huacho.	<ul style="list-style-type: none"> • Granulometría • Clasificación SUCS • Clasificación ASSHTO • Proctor Modificado • Índice de plasticidad • Ensayo químico
V.D. Diseño de la estructura de contención y pavimento.	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de soporte (CBR) • Corte directo • Peso específico

6.7. Instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas a emplear

Las técnica a emplear para la recolección de datos de las muestras de suelo serán las que se indican en la GUIA DE MUESTREO DE SUELOS Y ROCAS MTC E 101-2000 basado en la norma ASTM D 420 y el MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES (EM.2000) aprobado por (D.S. N°034-2008-MTC), unos de los documentos técnicos de carácter normativo que rige a nivel nacional y es de cumplimiento obligatorio por los órganos responsables de la gestión de la infraestructura vial de los tres niveles de gobierno: Nacional, Regional y Local.

3.4.2. Description de los Instrumentos

Perfil Estratigráfico: Es el que se realiza a partir de datos de perforaciones, de datos de prospección geofísica (datos indirectos), o bien de cortes naturales o artificiales del terreno que muestran las rocas que conforman la columna estratigráfica, mediante los cuales se puede reconstruir la estratigrafía del subsuelo, acorde con la profundidad que demanda el proyecto.

Laboratorio de Mecánica de Suelo: Se realizan las pruebas para evidenciar el comportamiento mecánico que presenta el suelo.

6.8. Técnicas para el procesamiento de la información

En esta parte de la investigación se realizaron la evaluación de la información de campo para luego darle una confiabilidad a dicha investigación, para tal efecto se utilizará software como Excel y formatos de ensayos de materiales.

Los resultados se presentaron a través de:

- Estadística descriptiva para las variables, tomadas individualmente.
- Frecuencias y porcentajes.
- Formatos de los resultados de ensayos de materiales.

Capítulo 4

Resultados

4.1. Resultados

Para la evaluación y análisis de los resultados, se confeccionaron las planillas correspondientes a cada ensayo ejecutado, obteniéndose diferentes parámetros que nos permitirán sacar conclusiones al momento de diseñar una estructura vial y contención. Las mismas, se encuentran adjuntas en el anexo 4.

A continuación se citan la ubicación y tipo de muestras de suelos extraídos de las 56 calicatas.

Tabla 15. Ubicación y tipo de muestra de la subrasante.

CALICAT A	TIPO DE MUESTRA	COORDENADAS UTM (WGS 84)		COTA	UBICACION
		X	Y		
C-1	ALTERADA	214981	8768599	70	Av. 16 ABRIL
C-2	ALTERADA	215218	8768542	78	Av. 16 ABRIL
C-3	ALTERADA	215128	8768560	65	Av. 16 ABRIL
C-4	ALTERADA	214933	8768564	77	CALLE SN NOMBRE
C-5	ALTERADA	215039	8768526	67	Av. ANDRES A. CACERES
C-6	ALTERADA	215172	8768490	82	CALLE N°2(2)
C-7	ALTERADA	215217	8768436	96	Av. S/N 2
C-8	ALTERADA	215075	8768666	54	CALLE B CON PS. JUAN P. VIZCARDO Y GUZMAN
C-9	ALTERADA	215002	8768669	25	Av. ANDREZ A.

					CACERES CON PS JUAN P. VIZCARDO Y GUZMAN
C-10	ALTERADA	214955	8768718	67	CALLE SANTA ROSA DE LIMA CON CALLE IRENE SALVADOR
C-11	ALTERADA	214891	8768684	76	CALLE BUENOS AIRES CON CALLE 30 DE AGOSTO
C-12	ALTERADA	214840	8768704	69	CALLE 30 DE AGOSTO
C-13	ALTERADA	214853	8768738	66	CALLE IRENE SALVADOR CON PS. SANTA COLONIA
C-14	ALTERADA	214764	8768729	57	CALLE LIMA
C-15	ALTERADA	214813	8768801	53	CALLE SAN MARTIN CON CALLE LIMA
C-16	ALTERADA	214848	8768842	42	CALLE S/N CON CALLE LIMA
C-17	ALTERADA	214894	8768795	55	CALLE S/N CON CALLE SAN MARTIN
C-18	ALTERADA	215009	8768774	42	CALLE SAN MARTIN CON Av. ANDRES A. CACERES
C-19	ALTERADA	215123	8768778	48	CALLE SAN MARTIN
C-20	ALTERADA	215201	8768853	49	CALLE SAN MARTIN CON CALLE N°1(2)
C-21	ALTERADA	215318	8768917	54	CALLE SAN MARTIN CON PASAJE Y
C-22	ALTERADA	215421	8768930	56	CALLE SAN MARTIN CON CALLE N°11
C-23	ALTERADA	215216	8768764	55	CALLE A(A)
C-24	ALTERADA	215483	8768713	70	CALLE N°11
C-25	ALTERADA	215433	8768628	88	CALLE N°30 CON

					CALLE N°10 CON Av. S/N 3
C-26	ALTERADA	215376	8768641	92	CALLE N°4(3) CON PASAJE N° 3 CON CALLE N°30
C-27	ALTERADA	215444	8768739	75	CALLE N°8
C-28	ALTERADA	215383	8768741	81	CALLE N°3 B
C-29	ALTERADA	215391	8768846	52	CALLE N°3 B CON CALLE N°4(2)
C-30	ALTERADA	215294	8768852	64	CALLE N°2(4) CON CALLE N°5(1)
C-31	ALTERADA	215373	8768902	71	CALLE N°5(1) CON CALLE N°3 B
C-32	ALTERADA	215269	8768788	61	CALLE N°5(1) CON PASAJE N°3(1)
C-33	ALTERADA	215339	8768754	75	CALLE N°4(2)
C-34	ALTERADA	215287	8768663	90	PASAJE N°4 CON CALLE 5(5)
C-35	ALTERADA	215416	8768556	106	CALLE N°3(3) CON Av. S/N
C-36	ALTERADA	215491	8768514	99	Av. LOS NOGALES CON PS.-L9
C-37	ALTERADA	215574	8768517	84	PSJE.-L4 CON PS.- L10
C-38	ALTERADA	215539	8768459	101	PS. - L10
C-39	ALTERADA	215470	8768469	114	PS. - L6 CON PS. - L9
C-40	ALTERADA	215371	8768460	108	JIRON LOS ROBLES CON Av. S/N 4
C-41	ALTERADA	215307	8768516	99	CALLE N°5 CON Av. S/N 3 CON Av.18 ABRIL
C-42	ALTERADA	215324	8768397	105	Av. S/N 4 CON CALLE N°3(1)
C-43	ALTERADA	215434	8768260	99	CALLE N°3(1) CON CALLE 3
C-44	ALTERADA	215329	8768313	108	PASAJE S/N CON CALLE 2
C-45	ALTERADA	215291	8768208	97	CALLE 30 DE AGOSTO
C-46	ALTERADA	215262	8768337	103	Av. S/N 4
C-47	ALTERADA	215168	8768198	99	CALLE LOS ORQUIDEAS

C-48	ALTERADA	215180	8768331	103	Av. S/N 4 CON CALLE N°1(1)
C-49	ALTERADA	215241	8768397	105	CALLE 2A
C-50	ALTERADA	215382	8768246	99	CALLE 3 CON PASAJE S/N
C-51	ALTERADA	215290	8768471	79	CALLE N°4(1) CON Av. S/N 3
C-52	ALTERADA	215282	8768604	59	CALLE 5(5) CON CALLE 2(2)(1)
C-53	ALTERADA	215280	8768263	103	CALLE 6 CON CALLE 4
C-54	ALTERADA	215451	8768789	61	CALLE N°7 CON CALLE N°11
C-55	ALTERADA	215141	8768503	82	CALLE NN
C-56	ALTERADA	215136	8768371	92	CALLE LAS ORQUIDEAS CON Av. S/N 1

Los ensayos sobre las muestras representativas fueron ejecutados en el laboratorio de suelos INGEOTOP SAC.

En las siguientes tablas se resumen los principales resultados de los ensayos ejecutados sobre las diferentes muestras de suelo natural.

4.1.1. Determinación de contenido de humedad

Tabla 16. Contenido de humedad de la subrasante.

CALICATA	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
C-1	6.7
C-2	3.1
C-3	3.8
C-4	2.0
C-5	7.3
C-6	7.1
C-7	2.3
C-8	0.9
C-9	3.8
C-10	5.2

C-11	5.1
C-12	8.9
C-13	7.0
C-14	6.7
C-15	1.6
C-16	1.4
C-17	1.8
C-18	0.8
C-19	3.4
C-20	2.5
C-21	2.2
C-22	2.5
C-23	3.5
C-24	6.6
C-25	2.1
C-26	3.5
C-27	10.7
C-28	5.6
C-29	4.1
C-30	4.1
C-31	8.7
C-32	5.4
C-33	7.4
C-34	4.8
C-35	5.3
C-36	12.8
C-37	1.8
C-38	3.8
C-39	9.0
C-40	5.5
C-41	4.1
C-42	7.4
C-43	5.6
C-44	3.4
C-45	3.5
C-46	3.6
C-47	4.8
C-48	3.6
C-49	5.0
C-50	4.6
C-51	6.3
C-52	2.0
C-53	4.2

C-54	3.5
C-55	3.8
C-56	4.6

4.1.2. Granulometría

Tabla 17. Granulometría de la subrasante.

CALICAT	CARACTERISTICAS			CLASIFICACION	
	GRAVA (%)	ARENA (%)	FINO (%)	SUCS	AASHTO
C-1	27.1	60.2	12.7	SM	A-2-4 (0)
C-2	64.5	30.7	4.8	GW	A-1-a (0)
C-3	44.8	42.9	12.3	GM	A-1-a (0)
C-4	16.8	74.9	8.3	SP-SM	A-3 (0)
C-5	77.0	18.9	4.1	GP	A-1-a (0)
C-6	70.8	23.7	5.5	GP-GM	A-1-a (0)
C-7	40.1	50.9	9.0	SP-SM	A-1-b (0)
C-8	0.7	95.0	4.3	SP	A-3 (0)
C-9	51.5	35.9	12.6	GM	A-1-a (0)

C-10	55.1	35.0	9.9	GW-GM	A-1-a (0)
C-11	47	41.5	11.5	GP-GM	A-1-b (0)
C-12	28.8	52.8	18.4	SM	A-1-b (0)
C-13	52.4	40.5	7.1	GP-GM	A-1-a (0)
C-14	43.4	44.0	12.6	SM	A-1-b (0)
C-15	33.2	52.3	14.5	SM	A-1-b (0)
C-16	7.3	79.8	12.9	SM	A-2-4 (0)
C-17	27.9	61.5	10.6	SP-SM	A-2-4 (0)
C-18	7.1	81.8	11.1	SP-SM	A-2-4 (0)
C-19	13.9	75.8	10.3	SP-SM	A-2-4 (0)
C-20	49.6	44.7	5.7	GP-GM	A-1-b (0)
C-21	16.0	72.4	11.6	SP-SM	A-2-4 (0)
C-22	9.3	83.4	7.3	SP-SM	A-3 (0)
C-23	5.7	88.6	5.7	SP-SM	A-3 (0)
C-24	34.1	55.4	10.5	SP-SM	A-1-b (0)
C-25	37.5	53.2	9.3	SP-SM	A-1-b (0)
C-26	65.0	29.9	5.1	GP-GM	A-1-a (0)
C-27	23.4	48.5	28.1	SM	A-2-6 (1)
C-28	29.7	43.7	26.7	SM	A-2-6 (1)
C-29	68.6	25.2	6.2	GP-GM	A-1-a (0)
C-30	41.6	51.2	7.2	SP-SM	A-1-b (0)
C-31	39.6	46.6	13.8	SM	A-1-b (0)
C-32	58.0	35.4	6.6	GP-GM	A-1-a (0)
C-33	51.7	35.4	12.9	GM	A-1-a (0)
C-34	69.1	25.3	5.6	GP-GM	A-1-a (0)
C-35	51.1	42.0	6.9	GP-GM	A-1-b (0)
C-36	48.3	39.8	11.9	GP-GM	A-1-b (0)
C-37	3.5	90.8	5.7	SP-SM	A-3 (0)
C-38	68.2	26.3	5.5	GP-GM	A-1-a (0)
C-39	70.0	18.0	12.0	GM	A-2-6 (0)
C-40	39.5	47.6	12.9	SM	A-1-a (0)
C-41	41.7	42.6	15.7	SM	A-2-6 (0)
C-42	51.8	35.1	13.1	GM	A-1-a (0)
C-43	57.4	35.0	7.6	GW-GM	A-1-a (0)
C-44	64.2	27.7	8.1	GW-GM	A-1-a (0)
C-45	59.2	33.1	7.7	GP-GM	A-1-a (0)
C-46	42.6	43.4	14.0	SM	A-1-b (0)
C-47	50.6	37.2	12.2	GM	A-1-b (0)
C-48	34.8	51.5	13.7	SM	A-1-b (0)
C-49	54.2	35.1	10.7	GP-GM	A-1-b (0)
C-50	74.1	19.8	6.1	GP-GM	A-1-a (0)
C-51	56.4	36.2	7.4	GP-GM	A-3 (0)
C-52	1.6	93.6	4.8	SP	A-3 (0)

C-53	61.0	31.2	7.8	GW-GM	A-1-a (0)
C-54	13.7	78.6	7.7	SP-SM	A-3 (0)
C-55	50.1	40.3	9.6	GP-GM	A-1-b (0)
C-56	74.2	20.2	5.6	GP-GM	A-1-a (0)

4.1.3. Límites de Atterberg

Tabla 18. Límites de Atterberg de la subrasante.

CALICATA	LIMITES DE ATTERBERG		I.P.
	L.L.	L.P.	
C-1	0.0	N.P.	N.P
C-2	0.0	N.P.	N.P
C-3	0.0	N.P.	N.P
C-4	0.0	N.P.	N.P
C-5	0.0	N.P.	N.P
C-6	0.0	N.P.	N.P
C-7	0.0	N.P.	N.P
C-8	0.0	N.P.	N.P
C-9	0.0	N.P.	N.P
C-10	0.0	N.P.	N.P
C-11	0.0	N.P.	N.P
C-12	0.0	N.P.	N.P
C-13	0.0	N.P.	N.P
C-14	0.0	N.P.	N.P
C-15	0.0	N.P.	N.P
C-16	0.0	N.P.	N.P
C-17	0.0	N.P.	N.P
C-18	0.0	N.P.	N.P
C-19	0.0	N.P.	N.P
C-20	0.0	N.P.	N.P
C-21	0.0	N.P.	N.P
C-22	0.0	N.P.	N.P
C-23	0.0	N.P.	N.P
C-24	0.0	N.P.	N.P
C-25	0.0	N.P.	N.P
C-26	0.0	N.P.	N.P
C-27	21.2	19.7	2.0
C-28	21.0	19.5	2.0
C-29	0.0	N.P.	N.P
C-30	0.0	N.P.	N.P
C-31	0.0	N.P.	N.P
C-32	0.0	N.P.	N.P

C-33	0.0	N.P.	N.P
C-34	0.0	N.P.	N.P
C-35	0.0	N.P.	N.P
C-36	0.0	N.P.	N.P
C-37	0.0	N.P.	N.P
C-38	0.0	N.P.	N.P
C-39	20.7	19.8	1.0
C-40	0.0	N.P.	N.P
C-41	21.1	19.7	1.4
C-42	0.0	N.P.	N.P
C-43	0.0	N.P.	N.P
C-44	0.0	N.P.	N.P
C-45	0.0	N.P.	N.P
C-46	0.0	N.P.	N.P
C-47	0.0	N.P.	N.P
C-48	0.0	N.P.	N.P
C-49	0.0	N.P.	N.P
C-50	0.0	N.P.	N.P
C-51	0.0	N.P.	N.P
C-52	0.0	N.P.	N.P
C-53	0.0	N.P.	N.P
C-54	0.0	N.P.	N.P
C-55	0.0	N.P.	N.P
C-56	0.0	N.P.	N.P

4.1.4. PROCTOR MODIFICADO

Tabla 19. Proctor Modificado de la subrasante.

CALICATA	PROCTOR MODIFICADO	
	M.D.S.	O.C.H.
C-1	2.050	11.4
C-2	1.936	8.4
C-3	2.147	7.8
C-4	1.832	12.9
C-5	2.000	11.9
C-6	2.122	7.5
C-7	2.137	9.7
C-8	1.688	16.4
C-9	2.046	10.5
C-10	2.112	8.8
C-11	2.164	8.3
C-12	2.033	11.0

C-13	2.068	10.2
C-14	2.088	10.4
C-15	2.106	8.8
C-16	1.852	11.5
C-17	2.033	11.2
C-18	1.782	13.7
C-19	1.838	13.9
C-20	2.092	7.9
C-21	2.090	9.6
C-22	1.729	14.3
C-23	1.734	15.1
C-24	2.106	10.1
C-25	2.175	8.9
C-26	2.035	6.8
C-27	1.963	13.9
C-28	2.027	10.3
C-29	2.004	8.7
C-30	2.067	12.2
C-31	1.982	11.4
C-32	2.000	10.9
C-33	2.057	11.7
C-34	2.069	10.3
C-35	2.112	8.6
C-36	2.034	13.0
C-37	1.776	14.7
C-38	2.024	11.2
C-39	2.095	9.3
C-40	2.102	9.7
C-41	2.048	11.1
C-42	2.042	10.9
C-43	2.094	10.1
C-44	2.053	10.4
C-45	2.101	10.2
C-46	2.160	8.3
C-47	2.120	7.4
C-48	2.117	9.0
C-49	2.015	11.0
C-50	2.116	6.9
C-51	2.080	10.8
C-52	1.724	14.1
C-53	2.143	8.9
C-54	1.767	5.6
C-55	2.048	9.9

C-56	1.962	9.8
-------------	-------	-----

4.1.5. C.B.R.

Tabla 20. C.B.R. de la subrasante.

CALICATA	C.B.R.			
	0.1''		0.2''	
	100%	95%	100%	95%
C-1	16.3	11.4	23.8	17.5
C-2	58.0	32.2	74.3	41.4
C-3	51.6	27.3	75.1	37.1
C-4	18.9	16.8	23.3	20.6
C-5	31.8	15.9	38.4	19.4
C-6	53.4	30.2	67.7	38.3
C-7	22.3	17.5	28.8	23.3
C-8	23.1	18.7	30.6	22.8
C-9	19.9	17.8	27.9	24.5
C-10	52.6	27.8	69.4	36.8
C-11	39.9	29.9	53.3	39.3
C-12	8.1	4.1	11.4	5.6
C-13	44.0	34.2	56.0	45.9
C-14	14.9	7.7	20.2	11.2
C-15	60.7	31.5	79.0	41.3
C-16	41.9	23.8	48.4	30.4
C-17	22.6	17.3	29.5	22.5
C-18	27.5	23.4	33.9	27.9
C-19	13.3	11.3	17.2	14.8
C-20	48.1	32.2	61.3	40.7
C-21	29.6	22.5	37.8	29.0
C-22	28.9	23.9	38.1	30.1
C-23	29.0	22.4	38.4	29.8
C-24	43.6	31.7	57.3	41.7
C-25	27.0	22.4	35.8	30.0
C-26	40.0	26.5	51.8	34.2
C-27	16.9	9.6	22.2	12.4
C-28	26.2	15.0	34.6	19.2
C-29	27.1	16.2	36.2	21.6
C-30	33.2	28.5	43.7	37.1
C-31	9.4	8.3	12.7	11.7
C-32	34.4	28.1	45.7	36.2
C-33	18.0	8.7	25.0	14.4
C-34	35.0	22.8	45.7	30.0

C-35	71.9	45.8	90.2	57.6
C-36	36.3	22.6	48.1	30.0
C-37	21.5	13.3	31.4	19.3
C-38	37.8	17.1	50.5	23.3
C-39	20.6	12.6	27.5	16.8
C-40	43.1	29.7	55.8	40.1
C-41	22.5	17.4	29.6	22.9
C-42	44.1	22.3	55.6	28.4
C-43	55.7	28.3	73.5	37.6
C-44	24.9	20.3	41.4	30.5
C-45	28.4	14.8	37.7	20.3
C-46	33.1	17.2	44.0	22.6
C-47	30.9	19.2	47.3	26.8
C-48	46.6	27.2	60.6	34.8
C-49	42.1	23.7	57.8	32.3
C-50	53.9	26.7	68.9	34.2
C-51	57.8	33.5	76.5	43.7
C-52	39.7	22.2	52.1	29.5
C-53	23.6	20.4	31.5	28.2
C-54	28.5	18.7	36.1	24.2
C-55	17.4	14.5	23.8	21.3
C-56	27.6	14.4	35.6	18.7

4.1.6. Ensayos químicos

Tabla 21. Ensayos Químicos de la subrasante.

CALICATA	ENSAYOS QUIMICOS (%)		
	SALES	SULFATOS	CLORUROS
C-1	3.660	0.568	2.085
C-2	3.945	0.844	2.985
C-3	5.138	0.770	2.755
C-4	1.837	0.486	0.923
C-5	0.428	0.444	0.210
C-6	6.593	1.119	1.694
C-7	3.652	0.436	2.373
C-8	0.322	0.383	0.086
C-9	8.423	0.819	2.608
C-10	3.158	0.502	0.464
C-11	3.412	0.708	0.411
C-12	7.005	0.992	4.184
C-13	8.947	0.572	0.177
C-14	5.317	0.996	3.789

C-15	4.403	0.782	2.524
C-16	0.442	0.321	0.205
C-17	0.653	0.313	0.543
C-18	0.262	0.235	0.165
C-19	0.510	0.568	0.214
C-20	1.402	0.601	0.282
C-21	3.375	0.720	1.883
C-22	0.765	0.449	0.373
C-23	0.405	0.420	0.129
C-24	2.685	0.560	1.323
C-25	2.910	0.465	1.517
C-26	3.577	0.724	1.250
C-27	10.193	1.379	5.563
C-28	5.903	0.897	0.847
C-29	7.830	1.790	1.861
C-30	1.028	0.724	0.174
C-31	7.507	0.839	4.488
C-32	2.895	0.708	1.416
C-33	7.283	0.724	0.529
C-34	5.332	0.852	3.142
C-35	1.672	0.790	0.982
C-36	5.603	0.926	2.867
C-37	0.577	0.395	0.241
C-38	5.483	0.999	2.304
C-39	7.200	0.946	3.967
C-40	4.763	1.313	3.161
C-41	5.370	1.551	3.804
C-42	8.550	1.053	3.787
C-43	4.725	1.128	2.324
C-44	7.020	0.864	0.948
C-45	5.100	1.004	3.565
C-46	7.643	2.547	5.307
C-47	5.700	1.115	0.818
C-48	3.945	1.358	1.321
C-49	3.052	0.827	1.704
C-50	6.578	0.897	0.851
C-51	1.808	0.885	0.252
C-52	0.968	0.839	0.653
C-53	3.060	0.971	1.459
C-54	1.170	0.811	1.496
C-55	5.295	0.864	0.847
C-56	9.788	0.790	4.910

4.1.7. Peso específico

Tabla 22. *Peso específico de la subrasante.*

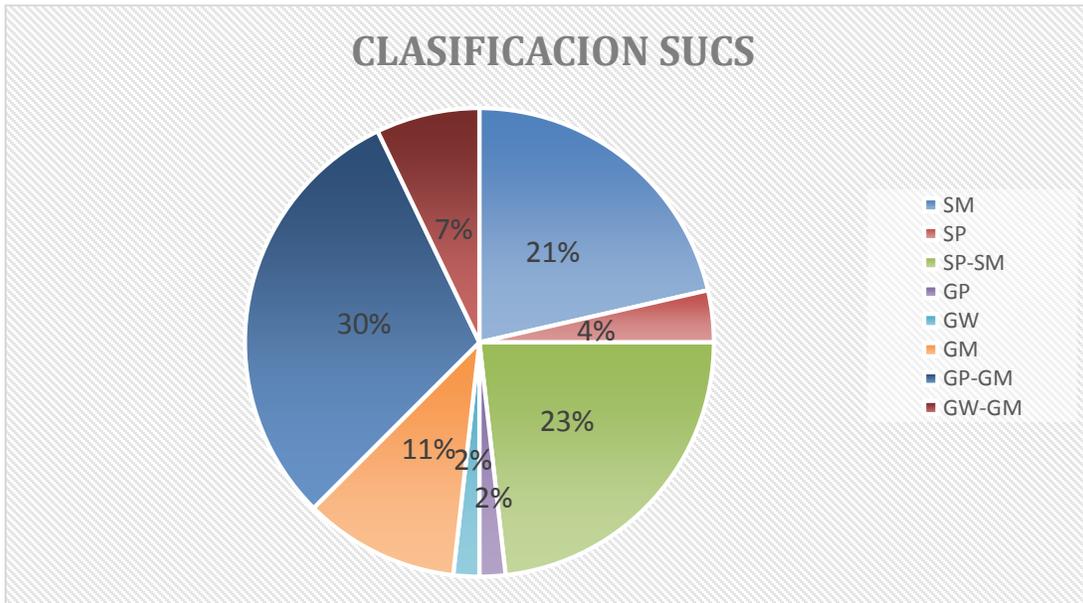
CALICATA	PESO ESPECIFICO (gr/cm ³)
C-1	2.635
C-3	2.658
C-17	2.665
C-23	2.715
C-30	2.727
C-31	2.649
C-36	2.740
C-38	2.643
C-39	2.683
C-42	2.688
C-48	2.686
C-51	2.688
C-56	2.678

4.1.8. Corte directo

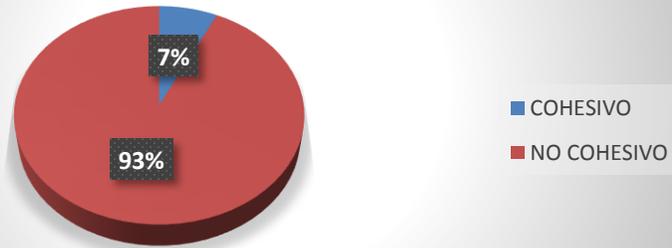
Tabla 23. *Corte directo de la subrasante.*

CALIC ATA	CLASIFICACION		HUME DAD	PESO ESP.	CORTE DIRECTO	
	SUCS	AASHTO			FRICCION	COHESION
C-1	SM	A-2-4 (0)	6.7	2.635	27.6°	0.09 kg/cm ²
C-3	GM	A-1-a (0)	3.8	2.658	30.1°	0.08 kg/cm ²
C-17	SP-SM	A-2-4 (0)	1.8	2.665	28.2°	0.02 kg/cm ²
C-23	SP-SM	A-3 (0)	3.5	2.715	27.4°	0.06 kg/cm ²
C-30	SP-SM	A-1-b (0)	4.1	2.727	28.7°	0.07 kg/cm ²
C-31	SM	A-1-b (0)	8.7	2.649	27.5°	0.01 kg/cm ²
C-36	GP-GM	A-1-b (0)	12.8	2.740	32.5°	0.06 kg/cm ²
C-38	GP-GM	A-1-a (0)	3.8	2.643	32.4°	0.07 kg/cm ²
C-39	GM	A-2-6 (0)	9.0	2.683	30.3°	0.01 kg/cm ²
C-42	GM	A-1-a (0)	7.4	2.688	30.4°	0.06 kg/cm ²
C-48	SM	A-1-b (0)	3.6	2.686	27.4°	0.03 kg/cm ²
C-51	GP-GM	A-1-a (0)	6.3	2.688	32.9°	0.07 kg/cm ²
C-56	GP-GM	A-1-a (0)	4.6	2.678	32.9°	0.07 kg/cm ²

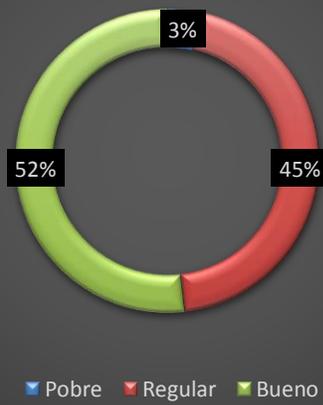
4.2. Presentación de cuadros, gráficos



LIMITES DE ATTERBERG



VALOR DE SOPORTE (CBR)



Capítulo 5

Discusión, Conclusiones y Resultados

5.1. Discusión

- En las excavaciones realizadas se llegó hasta la profundidad de 1.50 m, se pudo apreciar afloramientos de rocas de naturaleza sedimentaria del grupo casma.
- No se encontró presencia del nivel freático.
- En las excavaciones realizadas, se han encontrado dos tipos de suelos representativos:

SUEOLO TIPO I: GW

SUELO TIPO II: GP

SUELO TIPO III: SP

SUELO TIPO IV: SM

- El índice de plasticidad para fines constructivos se suelen especificar suelos con un IP bajo o sea menor al 10%, ya que mientras más bajo es, involucra una mejor trabajabilidad in-situ de las maquinarias y aminora la susceptibilidad frente a la incorporación de agua en la masa de suelo, o sea evitando el comienzo al estado plástico de un suelo.
- La presencia de sales solubles puede hacer variar las propiedades mecánicas del suelo. El efecto de las sales sobre la estructura del suelo depende de la clase de sales y sus características de solubilidad, coeficiente de permeabilidad del suelo, cantidad de agua que tienen el suelo, temperatura y otros factores. Su efecto es

más dañino en suelos de baja permeabilidad que en aquellos de alta o moderada permeabilidad.

5.2. Conclusiones

El suelo del sector de Cono Sur de la provincia de Huacho se caracteriza por tener las siguientes condiciones:

- Según el SUCS del total de muestras trabajadas encontramos que el 2% es un **GW** (gravas bien gradadas, mezclas gravosas, poco o ningún fino), el 2% es un **GP** (gravas pobremente gradadas, mezcla grava – arena, poco o ningún fino), el 11% es un **GM** (gravas limosas, mezcla grava-aren-limo), el 4% es un **SP** (arenas pobremente gradadas, arenas gravosas, poco o ningún fino), el 21% es un **SM** (arenas limosas mezcla de arena-limo), el 30% es un **GP-GM**, el 7% es un **GW-GM** y el 23% es un **SP-SM**.
- Según la clasificación del sistema AASTHO, el 38 % de los suelos estudiados se corresponden con el tipo **A-1-a**, el 30% se corresponden con el tipo **A-1-b**, el 14% se corresponden con el tipo **A-3**, el 11% se corresponden con el tipo **A-2-4** y el 7% restante se corresponden con un suelo **A-2-6**. Los suelos en estudio presentan características deficientes como material de subrasante en algunos puntos de muestreo.
- El contenido de arcilla es variable en los distintos puntos de muestreo, con un total del 7% de las calicatas analizadas presentan plasticidad.

- En los ensayo de proctor modificado de acuerdo a las curvas típicas de compactación se puede clasificar el material con respecto al contenido óptimo de humedad.
- En los ensayos del valor de soporte (CBR) se pudo clasificar con respecto a los valores teniendo como resultado lo siguiente: 3% pobre, 45% regular, 52% bueno.
- En los ensayos químicos con respecto a las sales solubles se pudo analizar que en su mayoría de los puntos de muestreo nos dan como resultado mayor al 1 % de cantidad de sales presentes en la muestra ensayada; la norma nos indica que el contenido de sales es 1% como máximo.
- En los ensayos químicos con respecto al ataque por sulfatos con los resultados obtenidos se pudo determinar que la exposición de los sulfatos solubles en suelo están en un rango de moderado a muy severo según la tabla 4.4 de la NTE 060 E 060 Concreto Armado.
- En los ensayos químicos con respecto al ataque por cloruros se dieron resultados mayores al 0.2 %, por lo que se tienen que tomar medidas para la protección del acero de refuerzo del concreto armado.
- En el ensayo de corte directo, por el tipo de material nos dieron valores con respecto al ángulo de fricción entre 27° a 32° por lo que la cohesión tiene un valor de 0.

- Los resultados de la clasificación de la subrasante cumple con los requisitos según norma de pavimentos urbanos.
- Con respecto al valor de soporte del suelo según los resultados y según norma, los suelos que presentan un CBR de baja a mala calidad se tendrán que tomar medidas como el mejoramiento de suelo por método mecánico o químico.
- Según los resultados de la capacidad portante del suelo, según norma representa el diseño de muro de contención con un ángulo de fricción entre 27 – 30 grados y una cohesión de 0 kg/cm².
- Según los resultados de los ensayos químicos nos da conclusión de que sobrepasa a los límites permitidos por la norma que nos indica como mínimo 1 % de sales, sulfatos y cloruros por los cuales se tomaran medidas como la ubicación del cemento tipo V.

5.3. Recomendaciones

- De acuerdo a los resultados de los análisis químicos realizados al suelo, se recomienda emplear cemento Portland Tipo V más aditivos Impermeabilizantes o Cemento Portland Puzolanico tipo HS para fabricar los elementos de concreto de la cimentación.
- Por ningún motivo se recomienda, cimentar sobre material de relleno (restos de construcción y/o domésticos); por lo que se realizara un tratamiento o mejoramiento del suelo.
- Se recomienda la investigación sobre la estabilización química de los suelos, que se utilizarán como alternativa de mejoramiento de la subrasante.

- Se recomienda la investigación del estudio de rocas ya que por la cercanía de la playa y por la brisa del mar las propiedades mecánicas de las rocas son variables.

Capítulo 6

Fuentes de Información

6.1. Fuentes Bibliográficas

- ❖ Raúl Pino Gotuzzo. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.Lima. Editorial: San Marcos 2007.
- ❖ Alberto Tokeshi Shirota. PLANIFIQUE, DESARROLLE Y APRUEBE SU TESIS. Lima, Fondo Editorial de la Universidad de Lima 2008.
- ❖ Nicholas J. Garber, Lester A. Hoel. INGENIERIA DE TRANSITO Y DE CARRETERAS 3° EDICION. México, Editorial: Thompson 2005.
- ❖ Ministerio de Transporte y comunicaciones. MANUAL DE ESPECIFICACIONES TECNICAS GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE BAJO VOLUMEN DE TRANSITO FG-CBT 20008 SECCION 308 B (2008).Lima, Perú 2008.
- ❖ Jorge A. Álvarez Pabón. ESTABILIZACIÓN DE SUBRAZANTES. Instituto Colombiano de Productores de cemento.
- ❖ Santiago Márquez. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS. Argentina, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Facultad de Ingeniería, Catedra de Vías de Comunicación 2005.

- ❖ Rico Del Castillo. LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES CARRETERAS, FERROCARRILES Y AEROPISTAS VOLUMEN 2. México. Editorial Limusa 2005.
- ❖ Ministerio de Transporte y Comunicaciones. NORMA TECNICA DE ESTABILIZADORES QUIMICOS DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES (DGC Y F-PERU) MTC E 1109-2004. Lima, Perú 2004.
- ❖ Ministerio de Transporte y Comunicaciones. MANUAL PARA EL DISEÑO DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE BAJO VOLUMEN DE TRANSITO. Lima, Perú 2008.
- ❖ JUAREZ BADILLO, RICO RODRIGUEZ “Mecánica de suelos Volumen I, II y III”, editorial Limusa enero de 1993.
- ❖ Lambe T. y Whitman R. (1984).”Mecánica de Suelos”. Ed. Limusa. México.
- ❖ ASTM D6951 (03) (2003), “Standard Test Method for Use Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications” publication number D-6951 (03), Washington DC.
- ❖ Jiménez Salas, J. A. y coautores. Geotecnia y Cimientos. 2da. Ed., Rueda, 1992.
- ❖ Bowles, J. Manual de Laboratorio de Suelos en la Ingeniería Civil. Mc. Graw-Hill Latinoamericana.
- ❖ Terzaghi, K., R. Peck y G. Mesri. Soil Mechanics in Engineering Practice. 3ra Ed., Wiley, 1996.

6.2. Fuentes Documentales

- ❖ Sánchez Fernando, Manual de estabilización de suelo. Redolfi E.R. (2007) “Suelos Colapsables”.
- ❖ Braja M. Das (2008).”Fundamentos de Ingeniería Geotécnica”. Ed. Cengage Learning.
- ❖ Rocca R.J., Reginatto A. y Redolfi E. (1992). ”Determinación de Colapso Potencial en Suelos”.
- ❖ Gustavo Adolfo Calle Pacchenino (2002).”Mejoramiento de Subrazantes arcillosas con silicato de sodio”.
- ❖ Reglamento Nacional de Edificaciones, NORMA CE.010 PAVIMENTOS URBANOS (2010).
- ❖ Pontificia Universidad Católica del Perú, GUIA DE LABORATORIO DE MACANICA DE SUELO (2012).

6.3. Fuentes Electrónicas

http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Normalizacion/normas/NORMACE020.pdf

https://sirio.ua.es/proyectos/manual_%20carreteras/02020403.pdf

https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/mtc1109%20con%20rd.pdf

http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_770.pdf

<https://es.slideshare.net/mosesic/mecnica-de-suelos-i-2010>

<http://www.wikivia.org/wikivia/index.php/Portada>

https://es.slideshare.net/nevely/subrasante-presentation?next_slideshow=1

http://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina_via/modulos/MODULO%206.pdf

<https://www.inacal.gob.pe/>

ANEXOS

1. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES
<p><u>PROBLEMA GENERAL:</u></p> <p>¿De qué manera la evaluación a nivel de la subrasante influirá en el diseño de la estructura de contension y pavimento en el cono sur de la ciudad de Huacho?</p> <p><u>PROBLEMA ESPECIFICO:</u></p> <p>a. ¿El tipo de suelo afectará en el resultado del análisis de</p>	<p><u>OBJETIVO GENERAL:</u></p> <p>Evaluar y determinar los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio realizados sobre una muestra de suelo a nivel de subrasante.</p> <p><u>OBJETIVO ESPECIFICO:</u></p> <p>a. Estudiar y evaluar la resistencia a la penetración del suelo a nivel de subrasante.</p>	<p><u>VARIABLES DE ESTUDIO:</u></p> <p>VARIABLE INDEPENDIENTE:</p> <p>Evaluación de la subrasante en el Cono Sur de Huacho.</p> <p>INDICADORES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Granulometría • Clasificación SUCS • Clasificación ASSHTO • Proctor Modificado • Índice de plasticidad • ensayo químico

<p>resistencia a la penetración de la subrasante?</p> <p>b. ¿El análisis químico de la subrasante permitirá saber las condiciones en las que se encuentra el material?</p> <p>c. ¿El tipo de suelo afectará en el resultado del análisis de resistencia al corte de la subrasante?</p>	<p>b. Estudiar y evaluar el análisis químico que presenta la capa de subrasante del suelo.</p> <p>c. Estudiar y evaluar la resistencia al corte generado por una estructura apoyada en el suelo donde se funda.</p>	<p>VARIABLE DEPENDIENTE: Diseño de la estructura de contención y pavimento.</p> <p>INDICADORES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de soporte (CBR) • Corte directo • Peso específico
--	---	--

2. Instrumentos para la toma de datos

NTP 339.127:1998.Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.



NTP 339.128:1999. Método de ensayo para el análisis granulométrico.



NTP 339.129:1999. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos.





NTP 339.131:1999.Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de sólidos de un suelo.



NTP 339.141:1999.Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 KN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³)).



NTP 339.145:1999.Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio.







NTP 339.152:2002.Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelos y aguas subterráneas.



NTP 339.177:2002.Método de ensayo para la determinación cuantitativa de cloruros solubles en suelos y agua subterránea.



NTP 339.178:2002.Método de ensayo normalizado para la determinación cuantitativa de sulfatos solubles en suelos y agua subterránea.





MTC E 123-2000. Ensayo de corte directo.



3. Procedimiento en campo











4. Cuadro de resumen de los ensayos realizados

CAL.	GRANULOMETRIA									H. N.	PROCTOR		C.B.R.				ENSAYOS QUIMICOS ppm		
	GRAV A	AREN A	LIM O	SUC S	AASHT O	L.L	L.P	I.P .	M.D.S.		OPTIM O	100 %	95 %	100 %	95 %	SALES	SULFAT O	CLORUR O	
												0.1"	0.1"	0.2"	0.2"				
C-1	27.1	60.2	12.7	SM	A-2-4 (0)	0.0	N.P	N. P	6.7	2.050	11.4	16.3	11.4	23.8	17.5	36,600.00	5,678.70	20,846.59	
C-2	64.5	30.7	4.8	GW	A-1-a (0)	0.0	N.P	N. P	3.1	1.936	8.4	58.0	32.2	74.3	41.4	39,450.00	8,435.75	29,848.84	
C-3	44.8	42.9	12.3	GM	A-1-a (0)	0.0	N.P	N. P	3.8	2.147	7.8	51.6	27.3	75.1	37.1	51,375.00	7,695.05	27,547.76	
C-4	16.8	74.9	8.3	SP- SM	A-3 (0)	0.0	N.P	N. P	2.0	1.832	12.9	18.9	16.8	23.3	20.6	18,375.00	4,855.70	929.86	
C-5	77.0	18.9	4.1	GP	A-1-a (0)	0.0	N.P	N. P	7.3	2.000	11.9	31.8	15.9	38.4	19.4	4,275.00	4,444.20	2,103.60	
C-6	70.8	23.7	5.5	GP- GM	A-1-a (0)	0.0	N.P	N. P	7.1	2.122	7.5	53.4	30.2	67.7	38.3	65,925.00	11,192.80	16,940.33	
C-7	40.1	50.9	9.0	SP- SM	A-1-b (0)	0.0	N.P	N. P	2.3	2.137	9.7	22.3	17.5	28.8	23.3	36,525.00	4,361.90	23,726.72	
C-8	0.7	95.0	4.3	SP	A-3 (0)	0.0	N.P	N. P	0.9	1.688	16.4	23.1	18.7	30.6	22.8	3,225.00	3,826.95	860.88	
C-9	51.5	35.9	12.6	GM	A-1-a (0)	0.0	N.P	N. P	3.8	2.046	10.5	19.9	17.8	27.9	24.5	84,225.00	8,188.85	26,083.64	
C-10	55.1	35.0	9.9	GW- GM	A-1-a (0)	0.0	N.P	N. P	5.2	2.112	8.8	52.6	27.8	69.4	36.8	31,575.00	5,020.30	4,639.10	
C-11	47.0	41.5	11.5	GP- GM	A-1-b (0)	0.0	N.P	N. P	5.1	2.164	8.3	39.9	29.9	53.3	39.3	34,125.00	7,077.80	4,114.68	
C-12	28.8	52.8	18.4	SM	A-1-b (0)	0.0	N.P	N. P	8.9	2.033	11.0	8.1	4.1	11.4	5.6	70,050.00	9,917.15	41,841.30	
C-13	52.4	40.5	7.1	GP- GM	A-1-a (0)	0.0	N.P	N. P	7.0	2.068	10.2	44.0	34.2	56.0	45.9	89,475.00	5,719.85	1,774.96	
C-14	43.4	44.0	12.6	SM	A-1-b (0)	0.0	N.P	N. P	6.7	2.088	10.4	14.9	7.7	20.2	11.2	53,175.00	9,958.30	37,891.10	
C-15	33.2	52.3	14.5	SM	A-1-b (0)	0.0	N.P	N. P	1.6	2.106	8.8	60.7	31.5	79	41.3	44,025.00	7,818.50	25,240.12	
C-16	7.3	79.8	12.9	SM	A-2-4 (0)	0.0	N.P	N. P	1.4	1.852	11.5	41.9	23.8	48.4	30.4	4,425.00	3,209.70	2,050.92	
C-17	27.9	61.5	10.6	SP- SM	A-2-4 (0)	0.0	N.P	N. P	1.8	2.033	11.2	22.6	17.3	29.5	22.5	6,525.00	3,127.40	5,431.14	

C-18	7.1	81.8	11.1	SP-SM	A-2-4 (0)	0.0	N.P	N.P	0.8	1.782	13.7	27.5	23.4	33.9	27.9	2,625.00	2,345.55	1,645.80
C-19	13.9	75.8	10.3	SP-SM	A-2-4 (0)	0.0	N.P	N.P	3.4	1.838	13.9	13.3	11.3	17.2	14.8	5,100.00	5,678.70	2,139.54
C-20	49.6	44.7	5.7	GP-GM	A-1-b (0)	0.0	N.P	N.P	2.5	2.092	7.9	48.1	32.2	61.3	40.7	14,025.00	6,007.90	2,823.80
C-21	16.0	72.4	11.6	SP-SM	A-2-4 (0)	0.0	N.P	N.P	2.2	2.090	9.6	29.6	22.5	37.8	29.0	33,750.00	7,201.25	18,825.42
C-22	9.3	83.4	7.3	SP-SM	A-3 (0)	0.0	N.P	N.P	2.5	1.729	14.3	28.9	23.9	38.1	30.1	7,650.00	4,485.35	3,731.70
C-23	5.7	88.6	5.7	SP-SM	A-3 (0)	0.0	N.P	N.P	3.5	1.734	15.1	29.0	22.4	38.4	29.8	4,050.00	4,197.30	1,291.32
C-24	34.1	55.4	10.5	SP-SM	A-1-b (0)	0.0	N.P	N.P	6.6	2.106	10.1	43.6	31.7	57.3	41.7	26,850.00	5,596.40	13,229.70
C-25	37.5	53.2	9.3	SP-SM	A-1-b (0)	0.0	N.P	N.P	2.1	2.175	8.9	27.0	22.4	35.8	30.0	29,100.00	4,649.95	15,166.68
C-26	65.0	29.9	5.1	GP-GM	A-1-a (0)	0.0	N.P	N.P	3.5	2.035	6.8	40.0	26.5	51.8	34.2	35,775.00	7,242.40	12,498.72
C-27	23.4	48.5	28.1	SM	A-2-6 (1)	21.2	19.7	2.0	10.7	1.963	13.9	16.9	9.6	22.2	12.4	101,925.00	13,785.25	55,627.21
C-28	29.7	43.6	26.7	SM	A-2-6 (1)	21.0	19.5	2.0	5.6	2.027	10.3	26.2	15.0	34.6	19.2	59,025.00	8,970.70	8,471.40
C-29	68.6	25.2	6.2	GP-GM	A-1-a (0)	0.0	N.P	N.P	4.1	2.004	8.7	27.1	16.2	36.2	21.6	78,300.00	17,900.25	18,606.83
C-30	41.6	51.2	7.2	SP-SM	A-1-b (0)	0.0	N.P	N.P	4.1	2.067	12.2	33.2	28.5	43.7	37.1	10,275.00	7,242.40	1,741.39
C-31	39.6	46.6	13.8	SM	A-1-b (0)	0.0	N.P	N.P	8.7	1.982	11.4	9.4	8.3	12.7	11.7	75,075.00	8,394.60	44,875.64
C-32	58.0	35.4	6.6	GP-GM	A-1-a (0)	0.0	N.P	N.P	5.4	2.000	10.9	34.4	28.1	45.7	36.2	28,950.00	7,077.80	14,157.96
C-33	51.7	35.4	12.9	GM	A-1-a (0)	0.0	N.P	N.P	7.4	2.057	11.7	18.0	8.7	25.0	14.4	72,825.00	7,242.40	5,294.63
C-34	69.1	25.3	5.6	GP-GM	A-1-a (0)	0.0	N.P	N.P	4.8	2.069	10.3	35.0	22.8	45.7	30.0	53,325.00	8,518.05	31,422.12
C-35	51.1	42.0	6.9	GP-GM	A-1-b (0)	0.0	N.P	N.P	5.3	2.112	8.6	71.9	45.8	90.2	57.6	16,725.00	7,900.80	9,816.15
C-36	48.3	39.8	11.9	GP-GM	A-1-b (0)	0.0	N.P	N.P	12.8	2.034	13.0	36.3	22.6	48.1	30.0	56,025.00	9,258.75	28,672.52
C-37	3.5	90.8	5.7	SP-SM	A-3 (0)	0.0	N.P	N.P	1.8	1.776	14.7	21.5	13.3	31.4	19.3	5,775.00	3,950.40	2,405.40
C-38	68.2	26.3	5.5	GP-GM	A-1-a (0)	0.0	N.P	N.P	3.8	2.024	11.2	37.8	17.1	50.5	23.3	54,825.00	9,999.45	23,041.20
C-39	70.0	18.0	12.0	GM	A-2-6 (0)	20.7	19.8	1.0	9.0	2.095	9.3	20.6	12.6	27.5	16.8	72,000.00	9,464.50	39,671.42

C-40	39.5	47.6	12.9	SM	A-1-a (0)	0.0	N.P	N. P	5.5	2.102	9.7	43.1	29.7	55.8	40.1	47,625.00	13,126.85	31,614.81
C-41	41.7	42.6	15.7	SM	A-2-6 (0)	21. 1	19. 7	1.4	4.1	2.048	11.1	22.5	17.4	29.6	22.9	53,700.00	15,513.55	38,043.67
C-42	51.8	35.1	13.1	GM	A-1-a (0)	0.0	N.P	N. P	7.4	2.042	10.9	44.1	22.3	55.6	28.4	85,500.00	10,534.40	37,872.68
C-43	57.4	35.0	7.6	GW- GM	A-1-a (0)	0.0	N.P	N. P	5.6	2.094	10.1	55.7	28.3	73.5	37.6	47,250.00	11,275.10	23,243.76
C-44	64.2	27.7	8.1	GW- GM	A-1-a (0)	0.0	N.P	N. P	3.4	2.053	10.4	24.9	20.3	41.4	30.5	70,200.00	8,641.50	9,479.90
C-45	59.2	33.1	7.7	GP- GM	A-1-a (0)	0.0	N.P	N. P	3.5	2.101	10.2	28.4	14.8	37.7	20.3	51,000.00	10,040.60	35,654.79
C-46	42.6	43.4	14.0	SM	A-1-b (0)	0.0	N.P	N. P	3.6	2.160	8.3	33.1	17.2	44.0	22.6	76,425.00	25,471.85	53,065.37
C-47	50.6	37.2	12.2	GM	A-1-b (0)	0.0	N.P	N. P	4.8	2.120	7.4	30.9	19.2	47.3	26.8	57,000.00	11,151.65	8,178.94
C-48	34.8	51.5	13.7	SM	A-1-b (0)	0.0	N.P	N. P	3.6	2.117	9.0	46.6	27.2	60.6	34.8	39,450.00	13,579.50	13,210.64
C-49	54.2	35.1	10.7	GP- GM	A-1-b (0)	0.0	N.P	N. P	5.0	2.015	11.0	42.1	23.7	57.8	32.3	30,525.00	8,271.15	17,035.77
C-50	74.1	19.8	6.1	GP- GM	A-1-a (0)	0.0	N.P	N. P	4.6	2.116	6.9	53.9	26.7	68.9	34.2	65,775.00	8,970.70	8,511.74
C-51	56.4	36.2	7.4	GP- GM	A-1-a (0)	0.0	N.P	N. P	6.3	2.080	10.8	57.8	33.5	76.5	43.7	18,075.00	8,847.25	2,521.25
C-52	1.6	93.6	4.8	SP	A-3 (0)	0.0	N.P	N. P	2.0	1.724	14.1	39.7	22.2	52.1	29.5	9,675.00	8,394.60	6,532.56
C-53	61.0	31.2	7.8	GW- GM	A-1-a (0)	0.0	N.P	N. P	4.2	2.143	8.9	23.6	20.4	31.5	28.2	30,600.00	9,711.40	14,591.23
C-54	13.7	78.6	7.7	SP- SM	A-3 (0)	0.0	N.P	N. P	3.5	1.767	5.6	28.5	18.7	36.1	24.2	11,700.00	8,106.55	14,957.71
C-55	50.1	40.3	9.6	GP- GM	A-1-b (0)	0.0	N.P	N. P	3.8	2.048	9.9	17.4	14.5	23.8	21.3	52,950.00	8,641.50	8,471.40
C-56	74.2	20.2	5.6	GP- GM	A-1-a (0)	0.0	N.P	N. P	4.6	1.962	9.8	27.6	14.4	35.6	18.7	97,875.00	7,900.80	49,103.79

CALICATA	CLASIFICACION		HUMEDAD	PESOS ESPECIFICOS	CORTE DIRECTO	
	SUCS	AASHTO			FRICCION	COHESION
C-1	SM	A-2-4 (0)	6.7	2.635	27.6°	0.09 kg/cm ²
C-3	GM	A-1-a (0)	3.8	2.658	30.1°	0.08 kg/cm ²
C-17	SP-SM	A-2-4 (0)	1.8	2.665	28.2°	0.02 kg/cm ²
C-23	SP-SM	A-3 (0)	3.5	2.715	27.4°	0.06 kg/cm ²
C-30	SP-SM	A-1-b (0)	4.1	2.727	28.7°	0.07 kg/cm ²
C-31	SM	A-1-b (0)	8.7	2.649	27.5°	0.01 kg/cm ²
C-36	GP-GM	A-1-b (0)	12.8	2.740	32.5°	0.06 kg/cm ²
C-38	GP-GM	A-1-a (0)	3.8	2.643	32.4°	0.07 kg/cm ²
C-39	GM	A-2-6 (0)	9.0	2.683	30.3°	0.01 kg/cm ²
C-42	GM	A-1-a (0)	7.4	2.688	30.4°	0.06 kg/cm ²
C-48	SM	A-1-b (0)	3.6	2.686	27.4°	0.03 kg/cm ²
C-51	GP-GM	A-1-a (0)	6.3	2.688	32.9°	0.07 kg/cm ²
C-56	GP-GM	A-1-a (0)	4.6	2.678	32.9°	0.07 kg/cm ²