



Universidad Científica del Perú - UCP
*Registrado en el Asiento N° A00010 de la Partida N° 11000318, Personas Jurídicas de Iquitos,
Superintendencia de los Registros Públicos - SUNARP*

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

**“EFECTOS DEL CEMENTO PORTLAND COMO
ESTABILIZANTE DE SUBRASANTE DE SUELO
ARENOSO DE LA CALLE AVIANCA – SAN JUAN
BAUTISTA – IQUITOS 2019”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

AUTORES:

- LEONARDO JARAMILLO, DICK KEY SLEYTER.
- VELA PAREDES, TEYLOR EDUWAR.

ASESOR:

- Ing. IRIGOIN CABRERA, ULISES OCTAVIO

San Juan Bautista – Loreto – Perú

2019

DEDICATORIA

A Dios sobre todas las cosas, a mis padres y hermano, que me brindaron su apoyo durante mi formación profesional, que fueron la motivación principal para seguir mejorando cada día, a ellos, ¡MIL GRACIAS POR TODO!

Leonardo Jaramillo, Dick Key Sleyter

Lo dedico a Dios, quien hizo todo esto posible.
A mi familia, por el apoyo constante el cual me motivó a no desmayar en el camino, si no que me dieron fortaleza para obtener este gran logro.

Vela Paredes, Teylor Eduwar

AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer especialmente a nuestro asesor Ingeniero Ulises Octavio Irigoín Cabrera, por su colaboración y asesoramiento en el desarrollo del presente trabajo de suficiencia profesional.

También a todos los colaboradores de el “Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales” de la Universidad Científica Perú quienes nos apoyaron con el uso de equipos y brindarnos sus conocimientos para el correcto desarrollo de los ensayos necesarios para el presente trabajo de suficiencia profesional.



Universidad Científica del Perú

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL**

**FACULTAD
CIENCIAS E
INGENIERÍA**

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Con Resolución Decenal N° 590 -2019 - UCP - FCB del 18 de julio de 2019, la **FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP** designa como Jurado Evaluador y Dictaminador de la Sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional a los Señores:

- Ing. Félix Wong, Ramírez, M. Sc. Presidente
- Lic. Nerea Gallardo Sánchez, Mg. Miembro
- Ing. Miguel Ángel Robalino Osorio Miembro

En la ciudad de Iquitos, siendo las 18:00 horas, del día miércoles 31 de julio de 2019, en las instalaciones de la **UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP**, se convocó al Jurado para escuchar la sustentación y defensa del Trabajo de Suficiencia Profesional:

"EFECTOS DEL CEMENTO PORTLAND COMO ESTABILIZANTE DE SUBRASANTE DE SUELO ARENOSO DE LA CALLE AVIANCA – SAN JUAN BAUTISTA – IQUITOS – PERÚ 2019"

Presentado por los sustentantes:

DICK KEY SLEYTER LEONARDO JARAMILLO y TEYLOR EDUWAR VELA PAREDES

Asesor: Ing. Ulises Octavio Irigoin Cabrera, M. Sc.

Como requisito para optar al título profesional de: **Ingeniero Civil**

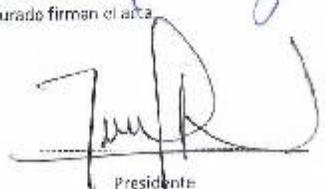
Después de escuchar la sustentación y formuladas las preguntas las que fueron:

absueltas

El Jurado después de la deliberación en privado llegó a la siguiente conclusión:

La Sustentación es: *aprobada por mayoría*

En fe de lo cual los miembros del jurado firman el acta.


Presidente

 
Miembro Miembro

Aprobación	Aprobado (1)	11 - 20
	Aprobado (2)	15 - 18
	Aprobado (3)	11 - 15
	Declarado (4)	100 - 12

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP

El presidente del Comité de Ética de la Universidad Científica del Perú - UCP

Hace constar que:

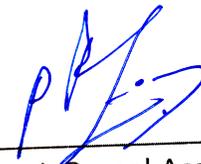
El Trabajo de Suficiencia Profesional titulado:

**“EFECTOS DEL CEMENTO PORTLAND COMO ESTABILIZANTE DE
SUBRASANTE DE SUELO ARENOSO DE LA CALLE AVIANCA – SAN JUAN
BAUTISTA – IQUITOS 2019”**

De los alumnos: **LEONARDO JARAMILLO DICK KEY SLEYTER Y VELA PAREDES
TEYLOR EDUWAR**, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, pasó
satisfactoriamente la revisión por el Software Antiplagio, con un porcentaje
de **13% de plagio**.

Se expide la presente, a solicitud de la parte interesada para los fines que
estime conveniente.

San Juan, 10 de Octubre del 2022.



Dr. César J. Ramal Asayag
Presidente del Comité de Ética – UCP

Document Information

Analyzed document	UCP_INGENIERIA CIVIL_2019_TSP_DICK LEONARDO_Y_TAYLOR VELA_V1.pdf (D145271596)
Submitted	9/30/2022 4:27:00 PM
Submitted by	Comisión Antiplagio
Submitter email	revision.antiplagio@ucp.edu.pe
Similarity	13%
Analysis address	revision.antiplagio.ucp@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	<p>Universidad Científica del Perú / UCP_INGENIERIA_2019_TSP_DICKLEONARDOJARAMILLO_VF.pdf</p> <p>Document UCP_INGENIERIA_2019_TSP_DICKLEONARDOJARAMILLO_VF.pdf (D55250174)</p> <p>Submitted by: nhard1324@gmail.com</p> <p>Receiver: uirigoin.ucp@analysis.arkund.com</p>	 19
W	<p>URL: http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/803/TRABAJO%20FINAL_JHANK%20ALATA.pdf?sequence=4&isAllowed=y</p> <p>Fetches: 11/26/2021 9:42:42 PM</p>	 5
SA	<p>Universidad Científica del Perú / PROYECTO DE INVESTIGACIÓN TERMINADO (ÚLTIMO).docx</p> <p>Document PROYECTO DE INVESTIGACIÓN TERMINADO (ÚLTIMO).docx (D54926256)</p> <p>Submitted by: alata.200796@gmail.com</p> <p>Receiver: uirigoin.ucp@analysis.arkund.com</p>	 2

Entire Document

1 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL “EFECTOS DEL CEMENTO PORTLAND COMO ESTABILIZANTE DE SUBRASANTE DE SUELO ARENOSO DE LA CALLE AVIANCA – SAN JUAN BAUTISTA – IQUITOS 2019” TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE: INGENIERO CIVIL AUTORES: ? LEONARDO JARAMILLO, DICK KEY SLEYTER. ? VELA PAREDES, TAYLOR EDUWAR.

ASESOR: ? Ing. IRIGOIN CABRERA, ULISES OCTAVIO San Juan Bautista – Loreto – Perú 2019

2

DEDICATORIA A

Dios sobre todas las cosas, a mis padres y hermano, que me brindaron su apoyo durante mi formación profesional, que fueron la motivación principal para seguir mejorando cada día, a ellos, ¡MIL GRACIAS POR TODO! Leonardo Jaramillo, Dick Key Sleyter Lo dedico a Dios, quien hizo todo esto posible. A mi familia, por el apoyo constante el cual me motivó a no desmayar en el camino, si no que me dieron fortaleza para obtener este gran logro. Vela Paredes, Teylor Eduwar

2 AGRADECIMIENTO Queremos agradecer especialmente a nuestro asesor Ingeniero Ulises Octavio Irigoin Cabrera, por su colaboración y asesoramiento en el desarrollo del presente trabajo de suficiencia profesional. También a todos los colaboradores de el “Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales” de la Universidad Científica Perú quienes nos apoyaron con el uso de equipos y brindarnos sus conocimientos para el correcto desarrollo de los ensayos necesarios para el presente trabajo de suficiencia profesional.

2

5 ... 2 ... 3 ... 4 .. 5 ... 7 ... 8 ... 9 ÍNDICE DE CONTENIDO PÁGINA DE JURADO Y

ASESOR:.....

DEDICATORIA AGRADECIMIENTO

.....

ÍNDICE DE CONTENIDO

PÁGINA DE JURADO Y ASESOR:	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE DE CONTENIDO	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE GRÁFICAS	
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
CAPÍTULO I	12
1. INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO II	14
2. MARCO REFERENCIAL	15
2.1. Antecedentes de estudio	15
2.1.1. Antecedente nacional	15
2.2. Bases teóricas	16
2.2.1. Suelos	16
2.2.1.1. Estabilización de suelos	16
2.2.1.2. Tipos de estabilización de suelos	16
2.2.1.2.1. Estabilización Mecánica (Compactación)	16
2.2.1.2.2. Estabilización química (Cemento, cal, asfalto, etc.)	17
2.2.2. Propiedades del suelo	17
2.2.2.1. Humedad natural	17
2.2.2.2. Plasticidad	17
2.2.2.3. Límites de Atterberg	18
2.2.2.4. Granulometría	18
2.2.2.4.1. Análisis granulométrico por tamizado:	18
2.2.2.5. Densidad	20
2.2.2.6. Permeabilidad	20
2.2.3. Clasificación de suelos	21
2.2.4. Métodos de estabilización de suelos	27

2.2.4.1.	Estabilización suelo-cemento.....	27
2.2.4.2.	Cantidad de cemento por tipo de suelo.....	27
2.2.5.	Trabajos en laboratorio.....	28
2.2.5.1.	Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D 422).....	28
2.2.5.2.	Ensayo Proctor Modificado (ASTM D 1557).....	29
2.2.5.3.	Ensayo California Bearing Ratio (CBR) (ASTM D 1883).....	29
2.2.5.3.1.	Parámetros establecidos según subrasante.....	29
2.3.	Definición de términos básicos.....	30
CAPÍTULO III.....		32
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
3.1.	Materiales.....	33
3.2.	Métodos.....	36
3.2.1.	Técnicas de recolección de datos.....	36
3.2.2.	Instrumentos y procedimiento para recolección de datos.....	36
3.2.3.	Procesamiento de la información:.....	41
CAPÍTULO IV.....		42
4.	RESULTADOS.....	43
CAPÍTULO V.....		60
5.	DISCUSIÓN.....	61
CAPÍTULO VI.....		63
6.	CONCLUSIONES.....	64
7.	RECOMENDACIONES.....	65
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
ANEXOS.....		68

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS - MÉTODO AASHTO PARA SUELOS GRANULARES, FINOS Y ARCILLOSOS	23
TABLA 2. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS - MÉTODO SUCS, SÍMBOLOS DE GRUPO PARA SUELOS TIPO GRAVA	24
TABLA 3. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS - MÉTODO SUCS, SÍMBOLOS DE GRUPO PARA SUELOS ARENOSOS	25
TABLA 4. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS - MÉTODO SUCS, SÍMBOLOS DE GRUPO PARA SUELOS LIMOSOS Y ARCILLOSOS.....	26
TABLA 5. PORCENTAJE DE CEMENTO	27
TABLA 6. DESCRIPCIÓN DE TAMICES	28
TABLA 7. CATEGORIA Y TIPO DE SUBRASANTE SEGÚN VALOR DE C.B.R.....	29
TABLA 8. LÍMITES DE ATTERBERG.....	38
TABLA 9. CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA DE SUELO DE LA CALICATA C-1	43
TABLA 10. CLASIFICACIÓN DE SUELOS.....	43
TABLA 11. ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO – ESTADO NATURAL.....	44
TABLA 12. ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO – 3% CEMENTO	45
TABLA 13. ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO – 5% CEMENTO	46
TABLA 14. ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO – 7% CEMENTO	47
TABLA 15. C.B.R. - ESTADO NATURAL, MUESTRA A-2-4- (0).....	49
TABLA 16. C.B.R. - ADICIÓN 3%, SUMERGIDO EN POZA 7 DÍAS - A-2-4- (0)	51
TABLA 17. C.B.R. - ADICIÓN 5%, SUMERGIDO EN POZA 7 DÍAS - A-2-4- (0)	53
TABLA 18. C.B.R. - ADICIÓN 7%, SUMERGIDO EN POZA 7 DÍAS - A-2-4- (0)	55

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. CURVA GRANULOMÉTRICA DE UN SUELO	19
FIGURA 2. SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)	22
FIGURA 3. SECCIÓN SIMPLE DE LA CALLE AVIANCA	33
FIGURA 4. VISTA DE LA CALLE AVIANCA	34
FIGURA 5. MEDICIÓN DE LA CALLE AVIANCA.....	34
FIGURA 6. UBICACIÓN DE LA CALLE AVIANCA.....	35
FIGURA 7. EXCAVACIÓN PARA TOMA DE MUESTRAS C-1	36
FIGURA 8. TOMA DE MUESTRAS C-1.....	36
FIGURA 9. JUEGO DE TAMICES.....	38
FIGURA 10. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO.....	38
FIGURA 11. PESAJE DEL MOLDE+MUESTRA.....	39
FIGURA 12. INICIO DE CALLE AVIANCA	68
FIGURA 13. FIN DE CALLE AVIANCA	68
FIGURA 14. INICIO DE EXCAVACIÓN DE CALICATA C-1	69
FIGURA 15. FILTRACIÓN DE AGUA EN CALICATA C-1	69
FIGURA 16. TOMA DE MUESTRAS EN CALICATA C-1	69
FIGURA 17. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO.....	69
FIGURA 18. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD PREVIO ENSAYO PROCTOR MODIFICADO.....	69
FIGURA 19. ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	69
FIGURA 20. PESAJE DEL SUELO COMPACTADO	69
FIGURA 21. PESAJE DE MOLDES PREVIO ENSAYO C.B.R	69
FIGURA 22. COMPACTACIÓN PARA ENSAYO C.B.R.....	69
FIGURA 23. MOLDES CON ADICIÓN DE CEMENTO EN INTEMPERIE ENVUELTOS EN BOLSAS POR 4 DÍAS.....	69
FIGURA 24. MOLDES SUMERGIDOS EN TANQUE POR 7 DÍAS	69
FIGURA 25. MOLDES LISTOS PARA ENSAYO DE PENETRACIÓN.....	69
FIGURA 26. CALIBRACIÓN DE MÁQUINA DE COMPRESIÓN EQUIPADA CON UN PISTÓN DE PENETRACIÓN CBR.....	69
FIGURA 27. ENSAYO DE PENETRACIÓN.....	69

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1. CURVA GRANULOMÉTRICA A-2-4 (0)	44
GRÁFICA 2. CURVA DE COMPACTACIÓN A-2-4 (0) – ESTADO NATURAL.....	45
GRÁFICA 3. CURVA DE COMPACTACIÓN A-2-4 (0) – 3% CEMENTO	46
GRÁFICA 4. CURVA DE COMPACTACIÓN A-2-4 (0) – 5% CEMENTO	47
GRÁFICA 5. CURVA DE COMPACTACIÓN A-2-4 (0) – 7% CEMENTO	48
GRÁFICA 6. PENETRACIÓN A 12, 25 Y 56 GOLPES	50
GRÁFICA 7. CURVA C.B.R. Y COMPACTACIÓN	50
GRÁFICA 8. PENETRACIÓN A 12, 25 Y 56 GOLPES – ADICIÓN 3% CEMENTO	52
GRÁFICA 9. CURVA C.B.R. Y COMPACTACIÓN - ADICIÓN 3% CEMENTO	52
GRÁFICA 10. PENETRACIÓN A 12, 25 Y 56 GOLPES – ADICIÓN 5% CEMENTO.....	54
GRÁFICA 11. CURVA C.B.R. Y COMPACTACIÓN - ADICIÓN 5% CEMENTO.....	54
GRÁFICA 12. PENETRACIÓN A 12, 25 Y 56 GOLPES – ADICIÓN 7% CEMENTO.....	56
GRÁFICA 13. CURVA C.B.R. Y COMPACTACIÓN - ADICIÓN 7% CEMENTO.....	56
GRÁFICA 14. COMPARACIÓN DE M.D.S. POR ADICIÓN CEMENTO	57
GRÁFICA 15. COMPARACIÓN DE O.C.H. POR ADICIÓN CEMENTO	58
GRÁFICA 16. RELACIÓN ENTRE M.D.S Y C.B.R. CON ADICIÓN DE CEMENTO	59

RESUMEN

Este trabajo se realizó con la finalidad de evaluar los efectos del cemento portland tipo I en un suelo granular para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante de la calle Avianca, donde se usó proporciones de cemento 3, 5 y 7% del peso del suelo. Se efectuaron ensayos de contenido de humedad, análisis granulométrico, proctor modificado y CBR para evaluar los efectos del aditivo en el óptimo contenido de humedad (OCH), máxima densidad seca (MDS) e índice CBR. La clasificación fue A-2-4 (0) según AASHTO y SM según SUCS. El suelo no presenta variación en el IP por ser un suelo no plástico. El OCH natural fue 11.57%, al adicionar hasta un 7% de cemento disminuyó a 8.78%. La MDS natural alcanzó 1.821 gr/cm³ y al añadir hasta un 7% de cemento la MDS aumentó a 1.977 gr/cm³. El índice CBR natural fue de 33% al 95% MDS el cual cambió notablemente a 322% añadiendo hasta un 7% de cemento. Conforme se añade las proporciones de cemento los efectos son notables, obteniendo un índice CBR adecuado (33%) en estado natural el cual corresponde a un suelo para subrasante excelente según el MTC (2014).

Palabras clave: suelo, cemento, subrasante, óptimo contenido de humedad, máxima densidad seca, CBR.

ABSTRACT

This research performed with the purpose of evaluate the effects of portland cement type I in a granular soil to improve the physical and mechanical properties of Avianca street's subgrade, the cement proportions were 3, 5 and 7% of soil weight. Moisture content tests, granulometric analysis, modified proctor and CBR were performed to evaluate the additive's effects on the optimum moisture content (OCH), maximum dry density (MDS) and CBR index. The classification was A-2-4 (0) according to AASHTO and SM according to SUCS. The soil hasn't plasticity index because is a no-plastic soil. The natural OCH was 11.57%, adding up to 7% cement decreased to 8.78%. The natural MDS reached 1,821 gr/cm³ and by adding up to 7% cement the MDS increased to 1,977 gr/cm³. The natural CBR index was 33% to 95% MDS, that changed notably to 322% adding up to 7% cement. Increasing the proportions of cement the effects are notable, obtaining an appropriate natural state CBR index (33%) that corresponds to an excellent subgrade soil according to MTC (2014).

Keywords: soil, cement, subgrade, optimum moisture content, maximum dry density, CBR.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La estabilización de suelos es una técnica ampliamente utilizada para mejorar las características tanto físicas como mecánicas del suelo. Dentro de esta técnica existen diversos métodos para estabilizar; cada método consta en adicionar un conglomerante estabilizador, ya sea: cal, cemento portland, asfalto, cloruro de sodio, polímeros, etc.

Para nuestro caso se optó usar cemento portland tipo I, con la finalidad de analizar la variación de las propiedades de un suelo arenoso, tanto, en estado natural como con adición de cemento en proporciones diferentes, para ser específicos 3%, 5% y 7%.

Las propiedades físico-mecánicas analizadas y evaluadas en este trabajo de investigación fueron:

- ✓ Humedad natural
- ✓ Granulometría
- ✓ Límites de consistencia (Límites de Atterberg)

En cuanto a los ensayos aquí no fueron necesarios debido a que nuestra muestra según AASHTO fue un A-2-4 (0) y SUCS un SM, indicando que el: $LL = NP$, $LP = NP$ y $IP = NP$.

- ✓ Ensayo proctor modificado.
- ✓ Ensayo C.B.R.

Todo ello con el fin de conocer como es el comportamiento mecánico de un suelo tratado con cemento.

Cabe aclarar que el suelo estudiado corresponde a la subrasante de la calle Avianca, ubicado en el distrito de San Juan Bautista en la ciudad de Iquitos del departamento de Loreto, Perú.

CAPÍTULO II

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes de estudio.

2.1.1. Antecedente nacional.

En la tesis titulada *“influencia del cemento portland tipo I en la estabilización del suelo arcilloso de la subrasante de la avenida Dinamarca, sector La Molina”*, se concluye que la influencia del cemento Portland Tipo I, en la estabilización del suelo arcilloso de la subrasante de la avenida Dinamarca, sector La Molina, se reflejó en la reducción de su índice de plasticidad e índice de contracción y en el incremento de su índice CBR. El suelo que conforma la subrasante de la avenida Dinamarca se clasificó como A-7-6 (26), A-7-6 (37), A-7-6 (24) y A-7-6 (14) según AASHTO y como CH, OH, OH y CL según SUCS para las muestras de suelo arcilloso de las calicatas C1, C2, C3 y C4 respectivamente. El suelo arcilloso más desfavorable que se obtuvo fue el de la calicata C2, por poseer un mayor valor en su índice de grupo e índice de plasticidad. Para el suelo arcilloso más desfavorable se obtuvo un índice de plasticidad de 44% el cual indicó que se trató de un suelo de alta plasticidad. Su índice de contracción fue de 27%, lo que sugirió que el suelo estaba sujeto a grandes cambios volumétricos. Asimismo, su índice CBR fue de 1.30% al 95%DSM, que correspondió a un suelo de subrasante inadecuada. El índice de plasticidad del suelo arcilloso más desfavorable se redujo a 36, 23 y 15% con la adición de cemento Portland Tipo I en porcentajes de 1, 3 y 5% respectivamente, lo que significó que el suelo todavía era de plasticidad media. Su índice de contracción se redujo a 26, 22 y 19% con la adición de cemento Portland Tipo I en porcentajes de 1, 3 y 5% respectivamente, lo que indicó que el suelo aún estaba sujeto a cambios volumétricos, aunque más pequeños. Su índice CBR se incrementó a 3.50, 6.63 y 13.75% al 95% DMS con la adición de cemento Portland Tipo I en porcentajes de 1, 3 y 5% respectivamente, por lo que una subrasante regular a buena, según su índice CBR, se logró con solo una adición de 4% de cemento. **(Velásquez Pereyra , 2018)**

En la tesis titulada “**Pavimentos no tradicionales para carreteras de selva baja con bajo volumen de tránsito, en Carretera Contamana - Aguas calientes, Loreto**”, se menciona que la estabilización con cemento portland se comporta mejor con suelos arenosos y gravosos. El diseño de la mezcla de la estabilización con cemento es mejor realizarla con por resistencia, con ensayos de compresión simple y no con el ensayo de capacidad de soporte, esta se ajusta mejor para la estabilización cal y asfalto.

- (MTC E 118-2000) Contenido de Materia Orgánica menor a 2%.
- (MTC E 209-200) Resistencia a los sulfatos menor a 10%.
- (MTC E 1 07 -200) Porcentaje que pasa la malla N° 4 entre 50 y 100%.
- (MTC E 107 -200) Porcentaje que pasa la malla 200 entre 5 y 35%.

El óptimo contenido cemento portland se determinó en 5% en peso del suelo seco. **(Vásquez Concha, 2010)**

2.2. Bases teóricas.

2.2.1. Suelos.

2.2.1.1. Estabilización de suelos.

La estabilización de suelos es una técnica usada para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos que no reúnen las condiciones necesarias para su utilización. Con la estabilización se pretende aumentar la resistencia mecánica de los suelos, se entrelazan las partículas de una forma más efectiva y se aseguran que las condiciones de humedad en las que trabaja el suelo varíen dentro de unos rangos reducidos, para conseguir una adecuada estabilidad a las cargas y una escasa variación volumétrica. Además, se produce un aumento de la durabilidad de dicha capa. **(Roldán, 2010)**

2.2.1.2. Tipos de estabilización de suelos.

2.2.1.2.1. Estabilización Mecánica (Compactación).

La estabilización mecánica es una técnica de mejora basada en la mezcla de diversos materiales con propiedades complementarias, de forma que se obtenga un nuevo material de

mayor calidad y que cumpla las exigencias deseadas. En la estabilización mecánica generalmente se pretende mejorar las propiedades del suelo. Las propiedades beneficiadas con este tipo de estabilización son la plasticidad y/o la granulometría; la plasticidad afecta a la susceptibilidad del material al agua y su capacidad drenante; la granulometría incide en la resistencia, trabajabilidad y compacidad final de la capa de suelo. **(Roldán, 2010)**

2.2.1.2.2. Estabilización química (Cemento, cal, asfalto, etc.).

Se usa por la adición de agentes estabilizantes químicos específicos; comúnmente se usa cemento portland, cal, asfalto, entre otros. Con esta tecnología de estabilización se busca generar una reacción química del suelo con el estabilizante para lograr la modificación de las características y propiedades del suelo; y así darle mayor capacidad de respuesta a los requerimientos de carga dinámica a los que estará sometido. **(Ravines Merino , 2010)**

2.2.2. Propiedades del suelo.

2.2.2.1. Humedad natural.

La resistencia de los suelos de subrasante, en especial de los finos, se encuentra directamente asociada con las condiciones de humedad y densidad que estos suelos presenten. La determinación de la humedad natural permitirá comparar con la humedad óptima que se obtendrá en los ensayos proctor para obtener el CBR del suelo. **(Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC, 2008)**

2.2.2.2. Plasticidad.

No de los elementos gruesos que contiene, sino únicamente de sus elementos finos. El análisis granulométrico no permite apreciar esta característica, por lo que es necesario determinar los Límites de Atterberg. A través de este método, se definen los límites correspondientes a los tres

estados en los cuales puede presentarse un suelo: líquido, plástico o sólido. Estos límites, llamados límites de Atterberg. **(Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC, 2008)**

2.2.2.3. Límites de Atterberg.

Los Límites de Atterberg establecen cuan sensible es el comportamiento de un suelo en relación con su contenido de humedad (agua), definiéndose los límites correspondientes a los tres estados de consistencia según su humedad y de acuerdo a ello puede presentarse un suelo: líquido, plástico o sólido. Estos límites de Atterberg que miden la cohesión del suelo son: el límite líquido (LL), límite plástico (LP), límite de contracción. El índice de plasticidad (IP) indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica y permite clasificar bastante bien un suelo. **(Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC, 2008)**

2.2.2.4. Granulometría.

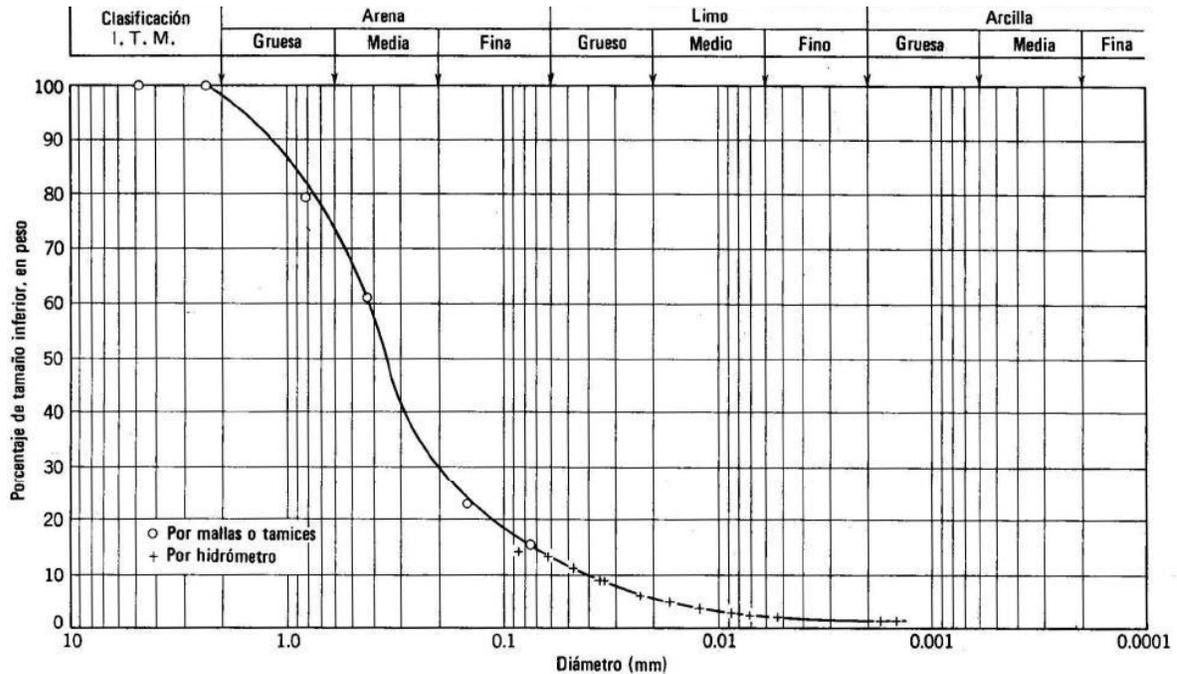
En cualquier masa de suelo, los tamaños de las partículas varían considerablemente. Para clasificar apropiadamente un suelo se debe conocer su distribución granulométrica, es decir, la distribución en porcentaje de los distintos tamaños dentro del suelo. La distribución granulométrica de partículas de tamaño superior a 0,08 mm. se determina generalmente mediante un análisis granulométrico por tamizado. Para partículas de tamaño inferior al mencionado (0,08 mm.) se emplea la granulometría por sedimentación. **(Muelas Rodriguez , 2010)**

2.2.2.4.1. Análisis granulométrico por tamizado:

Se efectúa tomando una cantidad medida de suelo seco, bien pulverizado y pasándolo a través de una serie de tamices agitando el conjunto. La cantidad de suelo retenido en cada tamiz se pesa y se determina el porcentaje acumulado de material que pasa por cada tamiz. El porcentaje de material que pasa por cada tamiz, determinado de la forma anterior, se representa en un gráfico semilogarítmico. El diámetro de la partícula se representa en una escala logarítmica

(abscisas), y el porcentaje de material que pasa se representa en escala aritmética (ordenadas). (Muelas Rodriguez , 2010)

Figura 1. Curva granulométrica de un suelo



Fuente: (Lambe, T.W. & Whitman, R, 1995).

En función de la granulometría, los suelos se clasifican en cuatro grandes grupos:

- **Gravas:** Tamaño varía entre unos 80mm. y 4,75 mm. Los granos son observables directamente, existen grandes huecos entre las partículas y no retienen agua. (Muelas Rodriguez , 2010)
- **Arenas:** Con partículas de tamaño entre 4,75 mm. y 0,075 mm. Estas son observables a simple vista y se mantienen inalterables en presencia de agua. (Muelas Rodriguez , 2010)
- **Limos:** Con partículas comprendidas entre 0,075 mm. y 0,002 mm. Retienen el agua y si se forma una pasta limo-agua y se coloca sobre la mano, al golpear con la mano se aprecia como el agua se exuda con facilidad. (Muelas Rodriguez , 2010)

- **Arcillas:** Cuyas partículas tienen tamaños inferiores a 0,002 mm. Son partículas de tamaño gel y están formadas por minerales silicatados, constituidos por cadenas de elementos tetraédricos y octaédricos, unidas por enlaces covalentes débiles y pudiendo entrar las moléculas de agua entre las cadenas, produciendo aumentos de volumen, a veces muy importantes. Por tanto, presentan una gran capacidad de retención de agua, con un porcentaje de huecos muy. Debido a que el tamaño de los huecos es muy pequeño (aunque el índice de huecos es elevado), exhiben unos tiempos de expulsión de agua muy elevados y una permeabilidad muy baja. **(Muelas Rodriguez , 2010)**

2.2.2.5. Densidad.

Al igual que en los suelos, los materiales tratados con cemento tienen una curva densidad seca – humedad, antes de la hidratación del conglomerante, que se obtiene aplicando una energía de compactación normalizada a distintas muestras del mismo material de partida en las que se va variando su contenido de humedad. Dicha curva suele tener una forma aproximadamente parabólica, con una densidad máxima para un contenido de humedad que se denomina humedad óptima. **(Velarde del Castillo, 2015)**

2.2.2.6. Permeabilidad.

Los suelos estabilizados con cemento tienen coeficientes de permeabilidad que suelen situarse entre $1,7 \cdot 10^{-7}$ y 10^{-9} m/s. Los valores más reducidos corresponden normalmente a suelos con un porcentaje importante de partículas arcillosas. En comparación con la del suelo de partida, la permeabilidad disminuye notablemente al mezclarlos con cemento en el caso de suelos granulares, mientras que por el contrario puede aumentar en algún caso si se trata de suelos arcillosos o limosos. En general, cuanto mayor es el contenido de cemento, menor es la permeabilidad, a igualdad del resto de factores. **(Velarde del Castillo, 2015)**

2.2.3. Clasificación de suelos.

La clasificación de suelos consiste, pues, en incluir un suelo en un grupo que presenta un comportamiento semejante. La mayoría de las clasificaciones de suelos utilizan ensayos muy sencillos, para obtener las características del suelo necesarias para poderlo asignar a un determinado grupo. Las propiedades ingenieriles básicas que suelen emplear las distintas clasificaciones son la distribución granulométrica, los Límites de Atterberg, etc. Los dos sistemas principales de clasificación de suelos son el sistema **AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)** y el **SUCS (Soil Unified Classification System)**. El primero se usa principalmente para la evaluación cualitativa de la conveniencia de un suelo como material para la construcción de explanadas de canteras. El segundo clasifica los suelos en base a su granulometría, los Límites de Atterberg. **(Muelas Rodriguez , 2010)**

Figura 2. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Identificación en el campo (excluyendo las partículas mayores de 7,6 cm y basando las fracciones en pesos estimados)				Simbolo del grupo	Nombres típicos		
Suelos de grano grueso-Más de la mitad del material es retenido por el tamiz N.º 200	Gravas-más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz N.º 4	Gravas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con pocos finos o sin ellos		
			Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	GP	Gravas mal graduadas, mezclas de arena y grava con pocos finos o sin ellos		
		Gravas con finos (cantidad apreciable de finos)	Fracción fina no plástica (para la identificación ver el grupo ML más abajo)	GM	Gravas limosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y limo		
			Finos plásticos (para identificación ver el grupo CL más abajo)	GC	Gravas arcillosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y arcilla		
	Arenas-más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz N.º 4	Arenas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos		
			Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos		
		Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)	Finos no plásticos (para identificación ver el grupo ML más abajo)	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduadas		
			Finos plásticos (para identificación ver el grupo CL más abajo)	SC	Arenas arcillosas, mezclas mal graduadas y arenas y arcillas		
	Métodos de identificación para la fracción que pasa por el tamiz N.º 40						
	Suelos de grano fino-Más de la mitad del material pasa por el tamiz N.º 200 (La abertura del tamiz N.º 200 corresponde aproximadamente al tamaño de la menor partícula apreciable a simple vista)	Limos y arcillas con límite líquido menor de 50	Resistencia en estado seco (a la disgregación)	Distancia (reacción a la agitación)	Tenacidad (consistencia)		
			Nula a ligera	Rápida a lenta	Nula	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas con ligera plasticidad
			Media a alta	Nula a muy lenta	Media	CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas
Limos y arcillas con límite líquido mayor de 50		Ligera a media	Lenta	Ligera	OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad	
		Ligera a media	Lenta a nula	Ligera a media	MH	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o con diatomeas, suelos limosos	
		Alta a muy alta	Nula	Alta	CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad elevada, arcillas grasas	
	Media a alta	Nula a muy lenta	Ligera a media	OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta		
Suelos altamente orgánicos		Fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa			Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos	

Los suelos que poseen características de dos grupos se designan con la combinación de los dos símbolos. P. ej., GW-GC, mezcla bien graduada de arena y grava. Todos los tamaños de tamices se refieren al U.S. Standard.

Fuente: (Lambe & V Whitman , 2004)

Tabla 1. Clasificación de los Suelos - Método AASHTO para suelos granulares, finos y arcillosos

CLASIFICACION GENERAL	MATERIALES GRANULARES Igual o menor del 35% que pasa por el tamiz N° 200							MATERIALES FINOS/ LIMO ARCILLOSOS Más del 35% que pasa por el tamiz N° 200			
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7
SUB GRUPOS	A - 1 - 2	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				A - 7 - 5 A - 7 - 6
% QUE PASA TAMIZ											
N° 10	50 máx.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N° 40	30 máx.	50 máx.	51 min.	-	-	-	-	-	-	-	-
N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características del material para el tamiz N° 40											
Límite Líquido	-	-	-	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.
Índice de Plasticidad	6 máx.	6 máx.	N.P.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	Más de 20
Tipo de material	Fragmento de piedra, agua y arena		Arena fina	Gravas, arenas limosas y arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Terreno de Fundación o Nivel Sub-rasante	Excelente a bueno					Regular a deficiente					

Fuente: Fundamentos de ingeniería geotécnica (Braja M, 2001)

Tabla 2. Clasificación de los Suelos - Método SUCS, símbolos de grupo para suelos tipo grava

SÍMBOLO DE GRUPO	CRITERIOS
GW	Menos del 5% pasa la malla N° 200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual que 4; $C_z = (D_{30})^2/(D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3
GP	Menos del 5% pasa la malla N° 200; no cumple ambos criterios para GW
GM	Más de 12% pasa la malla N° 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A o el índice de plasticidad menor que 4.
GC	Más de 12% pasa la malla N° 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A o el índice de plasticidad menor que 7.
GC-GM	Más de 12% pasa la malla N° 200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML.
GW-GM	El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW y GM
GW-GC	El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW y GC
GP-GM	El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GP y GM
GP-GC	El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW y GC

Fuente: Fundamentos de ingeniería geotécnica (Braja M, 2001)

Tabla 3. Clasificación de los Suelos - Método SUCS, símbolos de grupo para suelos arenosos

SÍMBOLO DE GRUPO	CRITERIOS
SW	Menos del 5% pasa la malla N° 200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual que 6; $C_z = (D_{30})^2/(D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3
SP	Menos del 5% pasa la malla N° 200; no cumple ambos criterios para SW
SM	Más de 12% pasa la malla N° 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A o el índice de plasticidad menor que 4.
SC	Más de 12% pasa la malla N° 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A o el índice de plasticidad menor que 7.
SC-SM	Más de 12% pasa la malla N° 200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML.
SW-SM	El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SM
SW-SC	El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SC
SP-SM	El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SM
SP-SC	El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SC

Fuente: Fundamentos de ingeniería geotécnica (Braja M, 2001)

Tabla 4. Clasificación de los Suelos - Método SUCS, símbolos de grupo para suelos limosos y arcillosos

SÍMBOLO DE GRUPO	CRITERIOS
CL	Inorgánico; $LL < 50$; $PI > 7$; o se grafica debajo de la línea A (Vea zona ML, figura 1)
ML	Inorgánico; $LL < 50$; $PI < 4$; o se grafica debajo de la línea A (Vea zona ML, figura 1)
OL	Orgánico; $(LL - \text{seco en horno}) / (LL - \text{sin secar}) < 0.75$; $LL < 50$ (Vea zona OL, figura 1)
CH	Inorgánico; $LL \geq 50$; PI se grafica debajo de la línea A (Vea zona CH, figura 1)
MH	Inorgánico; $LL \geq 50$; PI se grafica debajo de la línea A (Vea zona MH, figura 1)
OH	Orgánico; $(LL - \text{seco en horno}) / (LL - \text{sin secar}) < 0.75$; $LL \geq 50$ (Vea zona OH, figura 1)
CL-ML	Inorgánico: se grafica en la zona sombreada de la figura 1
Pt	Turba, lodos y otros suelos altamente orgánicos

Fuente: Fundamentos de ingeniería geotécnica (Braja M, 2001)

2.2.4. Métodos de estabilización de suelos.

2.2.4.1. Estabilización suelo-cemento.

Aplicable para estabilizar suelos arcillosos de baja plasticidad, suelos arenosos y suelos granulares con el objetivo de aportarles mayor resistencia. El suelo-cemento es un material estructural; el cual es la unión de suelo más cemento portland normalmente se utiliza el cemento tipo I (ya que este permite alcanzar mayor resistencia por su contenido de aluminio tricálcico y sulfato de calcio), mezclado de manera íntima y homogénea y compactado a una densidad máxima con un contenido óptimo humedad. Al hidratarse el cemento, la mezcla se convierte en un material de pavimento resistente y durable capaz de soportar las tensiones a las que se le someten por las cargas del tránsito y las acciones del clima. Para que se pueda utilizar la mezcla suelo-cemento; los suelos estudiados deben tener un IP menor a 20 y un mínimo de 45% de material pasante de la malla N° 40. **(Ravines Merino , 2010)**

2.2.4.2. Cantidad de cemento por tipo de suelo.

Tabla 5. Porcentaje de cemento

Tipo de suelo	% de cemento en peso	
A-1 a	3	5
A-2 b	5	8
A-2	5	9
A-3	7	11
A-4	7	12
A-5	8	13
A-6	9	15
A-7	10	16

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC, 2008)

Teniendo en consideración también que, para obtener una estabilización del tipo flexible, el porcentaje de cemento debe variar entre 1% a 4%, permitiendo disminuir la plasticidad e incrementar levemente la resistencia. Se controla mediante pruebas de laboratorio. Para obtener

una estabilización del tipo rígida, el porcentaje de cemento debe variar entre 6% a 14%, logrando mejorar el comportamiento de las bases, reflejado en el incremento de su módulo de elasticidad evitando fracturas de la capa de superficie. El porcentaje óptimo a emplear, se debe calcular con pruebas de laboratorio con diferentes contenidos de cemento. **(N.T.E. NORMA CE.020, 2010)**

2.2.5. Trabajos en laboratorio.

2.2.5.1. Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D 422).

A través de este análisis en un suelo se logra determinar cuantitativamente la proporción de las partículas que constituyen al suelo, clasificándolos en función de su tamaño. Se usan diferentes tamices para la realización de este ensayo. A continuación, se mostrará el número de tamiz y su abertura de acuerdo al manual de suelos y pavimentos. **(Díaz Vásquez , 2018)**

Tabla 6. Descripción de tamices

Tamiz	Abertura (mm)
3"	75
1 1/2"	38.1
3/4"	19
3/8"	9.5
N° 4	4.76
N° 8	2.36
N° 16	1.1
N° 30	0.59
N° 50	0.297
N° 100	0.149
N° 200	0.075

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC, 2008)

2.2.5.2. Ensayo Proctor Modificado (ASTM D 1557).

Determinar la compactación en laboratorio de un suelo y obtener la relación densidad – humedad para un determinado esfuerzo de compactación. Tomando como referencia los siguientes: ASTM D 1557-70, AASHTO T180-70, NTP 339.141, MTC E 115-2000. **(Velarde del Castillo, 2015)**

2.2.5.3. Ensayo California Bearing Ratio (CBR) (ASTM D 1883)

Este ensayo es uno de los más difundidos y relativamente simple que permiten conocer la resistencia del suelo, mayormente usado para el diseño de pavimentos evaluando la resistencia potencial en subrasantes, subbases y bases. Este ensayo se realiza sobre un suelo preparado en condiciones de humedad y densidad, aunque también puede realizarse sobre muestras inalteradas obtenidas del terreno. **(Díaz Vásquez , 2018)**

2.2.5.3.1. Parámetros establecidos según subrasante.

Tabla 7. Categoría y tipo de subrasante según valor de C.B.R.

Categoría	Subrasante	CBR
S0	Muy pobre	CBR < 3%
S1	Pobre	CBR = 3% - 5%
S2	Regular	CBR = 6% - 10%
S3	Buena	CBR = 11% - 19%
S4	Muy buena	CBR = 20% - 29%
S5	Excelente	CBR >30%

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC, 2008)

2.3. Definición de términos básicos.

ANÁLISIS MECÁNICO: Sirve para determinar la granulometría en un material o la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños. **(MTC, 2016)**

HUMEDAD: Porcentaje de agua en suelo o material. **(MTC, 2016)**

RELACIONES HUMEDAD/DENSIDAD (Proctor): Humedad vs. P.U. de suelos compactados. **(MTC, 2016)**

CAPACIDAD DE SOPORTE: Resistencia que presenta el material subrasante con fines de diseño de pavimentos. **(MTC, 2016)**

ESTABILIZACIÓN: Proceso físico o químico, mediante el cual se mejora las condiciones mecánicas de un suelo. **(MTC, 2016)**

SUELO: Agregados naturales de partículas minerales granulares y cohesivas separables por medios mecánicos de poca energía o por agitación de agua. **(MTC, 2016)**

SUELO-CEMENTO: Mezcla de suelo y cantidades medidas de cemento Portland y agua, compactada a alta densidad. **(MTC, 2016)**

PESO VOLUMÉTRICO: Se denomina peso volumétrico de un suelo al peso de dicho suelo contenido en la unidad de volumen; y generalmente se expresa en kg/m³. Se denomina peso volumétrico seco y suelto de un suelo al peso volumétrico aparente de él, tomando el peso del mismo previamente cuarteado y secado en un horno a peso constante. **(Crespo Villalaz , 2004)**

GRANULOMETRÍA: El análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad en por ciento de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo, se le representa gráficamente para formar la llamada curva granulométrica del mismo. **(Crespo Villalaz , 2004)**

VALOR RELATIVO DE SOPORTE NORMAL DEL SUELO (CBR): El valor relativo de soporte de un suelo, es un índice de su resistencia al esfuerzo cortante en condiciones determinadas de compactación y humedad, y se expresa como el tanto por ciento de la carga necesaria para introducir un pistón de sección circular en una muestra de suelo. **(Crespo Villalaz , 2004)**

CALICATAS: Consisten en excavaciones de formas diversas (pozos, zanjas, rozas, etc.), realizadas mediante medios mecánicos convencionales, que permiten la observación directa del terreno a cierta profundidad, así como la toma de muestras y la realización de ensayos in situ. **(Muelas Rodriguez , 2010)**

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

Descripción y ubicación de la calle como objeto de estudio:

La Calle Avianca tiene una longitud total aproximada de 604.60 m. con un ancho promedio de vía de 13.50 m. entre fachadas, la calle en mención se ubica al sur de la ciudad de Iquitos, en el distrito de San Juan Bautista. El tramo donde se efectuó la calicata para la toma de muestras está comprendido entre la calle Faucett y pasaje Aero Perú.

Figura 3. Sección simple de la calle Avianca



Fuente: Los autores

Figura 4. Vista de la calle Avianca



Figura 5. Medición de la calle Avianca



3.2. Métodos

3.2.1. Técnicas de recolección de datos.

Para la recolección de datos se basó específicamente en las técnicas indicadas por la ASTM – American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales) de las cuales se registró los datos obtenidos de las muestras con los ensayos: Análisis granulométrico, contenido de humedad natural, densidad máxima seca, contenido óptimo de humedad, CBR.

Como punto inicial fue la elaboración de un plan de trabajo de laboratorio, posteriormente mediante solicitud con permiso y autorización del uso de “Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales” de la Universidad Científica del Perú, que para proceder con los ensayos de un suelo arenoso fue necesario realizar una calicata (C-1) en la calle Avianca donde el peso total de la muestra extraída fue de 150 kg.

3.2.2. Instrumentos y procedimiento para recolección de datos.

3.2.2.1. Calicata:

Instrumentos: Pala, costales y cartel informativo.

Procedimiento:



Figura 7. Excavación para toma de muestras C-1



Figura 8. Toma de muestras C-1

3.2.2.2. **Determinación del contenido de humedad natural (ASTM D 2216)**

Instrumentos: Recipiente para humedad (aluminio), Horno con control de temperatura, Balanza con una sensibilidad de 0.01 gr.

Procedimiento:

- Primero colocar una pequeña muestra de suelo húmedo en el recipiente y luego determinar el peso de estos juntos.
- Colóquese en el horno.
- Cuando la muestra ha secado, se determina el peso recipiente más del suelo seco.
- Seguidamente calcular el contenido de humedad “W” que es la diferencia entre el peso del suelo húmedo más el del recipiente que es el peso del agua W_w que estaba presente en la muestra. La diferencia entre el peso del suelo más el recipiente y el peso del recipiente solo es el peso del suelo seco W_s .

$$W = \left(\frac{W_w - W_s}{W_s} \right) * 100$$

3.2.2.3. **Análisis Granulométrico por tamizado (ASTM-D422)**

Instrumentos: Horno con control de temperatura, juego de tamices de malla cuadrada, balanza digital de precisión 0.01 gr para pesar material pasante por cada tamiz, brocha y/o escobilla para limpieza de tamices.

Procedimiento:

- Secar la muestra necesaria para el ensayo en un horno por un tiempo 24 horas.
- Después de enfriarla pasar al pesaje de ésta en gramos.
- Se coloca la muestra sobre el tamiz N° 200 y se lava el material con mucho cuidado con agua luego meter al horno.
- Después el material seco se pasa por el juego de tamices (N°10, N°20, N°40, N° 50 y N°200) con el recipiente en la parte baja y se sacude el conjunto en forma circular.
- Una vez sabiendo el peso retenido de cada tamiz se obtiene los porcentajes retenidos parcial y acumulativo, así como los parciales que pasan.

- Luego mediante el programa Excel trazamos la cura granulométrica que es una curva de distribución según el tamaño de los granos en un gráfico

Figura 9. Juego de tamices



Fuente: Los autores

Figura 10. Análisis granulométrico por tamizado



3.2.2.4. Límites de Atterberg (ASTM D 4318)

En este caso estos ensayos no fueron necesarios por tratarse de un material granular – (arena limosa).

Tabla 8. Límites de Atterberg

	Condición
Límite Líquido ASTM-D423	NP
Límite Plástico ASTM-D424	NP
índice de plasticidad	NP

Fuente: Los autores

3.2.2.5. Ensayo Proctor Modificado (ASTM-D 1557) – Método A

Instrumentos:

- Molde cilíndrico de material rígido con base de apoyo y collarín.
- Pisón de 10 lb. de peso con 18 pulgadas de caída libre.
- Una regla metálica de 25 cm de largo.

- Una balanza 1.0 gr. de sensibilidad
- Una balanza 0.01 gr., de sensibilidad.
- Bandejas, tara.
- Un horno que mantenga una temperatura constante entre 100 – 110° C.

Procedimiento:

- Secar la muestra al aire libre.
- Preparar cuatro muestras de 2200 gr por cada proporción de cemento.
- Agregar agua y mezclar uniformemente.
- Colocar la primera capa en el molde y aplicarle 25 golpes por cada capa.
- Los golpes se aplicarán en toda el área girando el pisón adecuadamente.
- De igual forma completar las cinco capas.
- La última capa debe tener un collarín de tal forma que pueda enrasarse.
- Retirar la base y registrar el peso del suelo más el molde.
- Se extrae el suelo y tomar una muestra para el contenido de humedad (mínimo 500 gr)
- Llevar las muestras al horno se repite el procedimiento para mínimo 3 puntos.
- Una vez determinada el contenido de humedad se halla la densidad seca de cada punto.

Figura 11. Pesaje del molde+muestra



Fuente: Los autores

3.2.2.6. Ensayo CBR (ASTM- D1883)

Instrumentos:

- Un molde de D=101.6 mm y volumen de 9036.6 cm³. Se acopla un collarín de extensión de 2" de altura y una base perforada.
- Pisón de 10 lb. de peso con 18 pulgadas de caída libre.
- Disco separador.
- Papel filtro de forma circular.
- Una regla metálica de 25 cm de largo.
- Bandejas.
- Brocha.
- Tanque, con capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua.
- Balanzas, una de 20 kg de capacidad y otra de 1000 g con sensibilidades de 1 g y 0,1 g, respectivamente.
- Máquina de compresión equipada con un pistón de penetración CBR (California Bearing Ratio)

Procedimiento:

- En primer lugar, se halla la densidad máxima mediante el ensayo de proctor modificado.
- Luego se calcula la humedad de cada muestra y también la densidad alcanzada por el suelo en cada caso.
- Con esos datos graficamos densidad-humedad, el punto de densidad máxima corresponde a la humedad óptima.
- Con la diferencia entre la humedad óptima y la humedad inicial podemos calcular la cantidad de agua que se debe adicionar al suelo para que se compacte a la densidad máxima.
- Luego con el suelo en estudio con la humedad óptima se procede a conformar las muestras para el ensayo de penetración. Se rellena el molde con cinco capas compactadas con 56 golpes, con el martillo normalizado, por capa, se enrasa y se pesa, determinando la humedad del suelo; se repite para 25 y 12 golpes por cada capa.

- Los moldes con proporciones de cemento 3%, 5% y 7% se dejó a la intemperie por espacio de 4 días posteriormente se sumergieron en agua por 7, antes de proceder al ensayo de penetración.
- En este caso no se midieron el esponjamiento por tratarse de un suelo arenoso.
- Se coloca el molde en la máquina de compresión y se mide la carga que necesita para producir cierta deformación en determinado tiempo.
- Se grafica densidad vs. CBR y el 95% de la densidad máxima le corresponde el valor de CBR.

3.2.3. Procesamiento de la información:

La información obtenida se procesará de forma computarizada con la ayuda del software Excel, que permitirá elaborar la matriz de datos con la que se diseñará los gráficos y tablas.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

1. Determinación de humedad natural.

Tabla 9. Contenido de humedad de la muestra de suelo de la calicata C-1

ENSAYO N°	1
PESO DE SUELO HUMEDO + TARA (gr.)	307.33
PESO DE SUELO SECO + TARA (gr.)	259.01
PESO DE LA TARA	83.35
PESO DEL AGUA	48.32
PESO DE SUELO SECO	175.66
% DE HUMEDAD	27.51

Fuente: Los autores

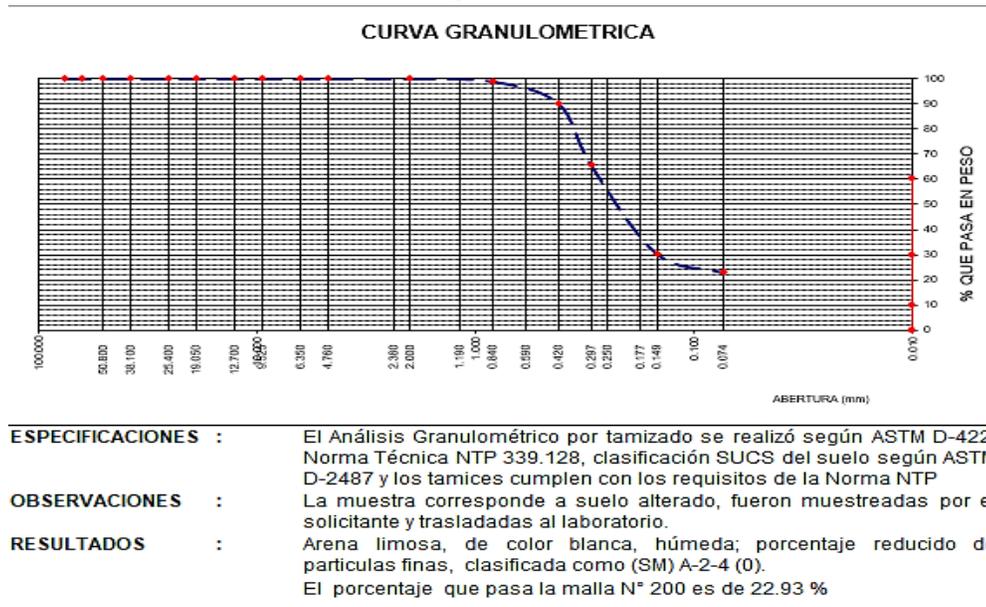
2. Después de los ensayos realizados se obtuvo una muestra de suelo A-2-4 (0)

Tabla 10. Clasificación de suelos

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO							
ASTM D - 422							
PROYECTO		EFFECTOS DEL CEMENTO PORTLAND COMO ESTABILIZANTE DE SUBRASANTE DE SUELO ARENOSO DE LA CALLE AVIANCA - SAN JUAN BAUTISTA - IQUITOS - PERÚ 2019					
UBICACIÓN		Calle Avianca - SJB					
Peso de muestra seca :		223.98	51.36				
Peso de muestra lavada :		172.62					
Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	Especific.	Observaciones
2 1/2"	63.500						L. Líquido : NP
2"	50.600						L. Plástico : NP
1 1/2"	38.100						Ind. Plástico : NP
1"	25.400						Clas. SUCS : SM
3/4"	19.050						Clas. AASHTO : A-2-4 (0)
1/2"	12.700						
3/8"	9.525						
1/4"	6.350						
Nº4	4.760				100.00		
Nº10	2.000	0.13	0.06	0.06	99.94		
Nº20	0.840	2.13	0.95	1.01	98.99		
Nº40	0.420	19.38	8.65	9.66	90.34		
Nº50	0.297	54.86	24.49	34.15	65.85		
Nº100	0.149	79.01	35.28	69.43	30.57		
Nº200	0.074	17.11	7.64	77.07	22.93		
Pasa Nº200		51.36	22.93				

Fuente: Los autores

Gráfica 1. Curva granulométrica A-2-4 (0)



Fuente: Los autores

3. Compactación y humedad de la muestra. – Estado Natural

Tabla 11. Ensayo de Proctor Modificado – Estado Natural

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

METODO "A" (ASTM D1557)

PROYECTO :	EFFECTOS DEL CEMENTO PORTLAND COMO ESTABILIZANTE DE SUBRASANTE DE SUELO ARENOSO DE LA CALLE AVIANCA - SAN JUAN BAUTISTA - IQUITOS - PERÚ 2019
UBICACIÓN :	Calle Avianca - SJB
MUESTRA :	A-2-4 (0)
Datos de campo:	

Resultados	
M. D. S.	1.821 gr/cm ³
C. C. H.	11.57 %
Clas. SUCS	SM
Clas. AASHTO	A-2-4(0)

1.- Compactación

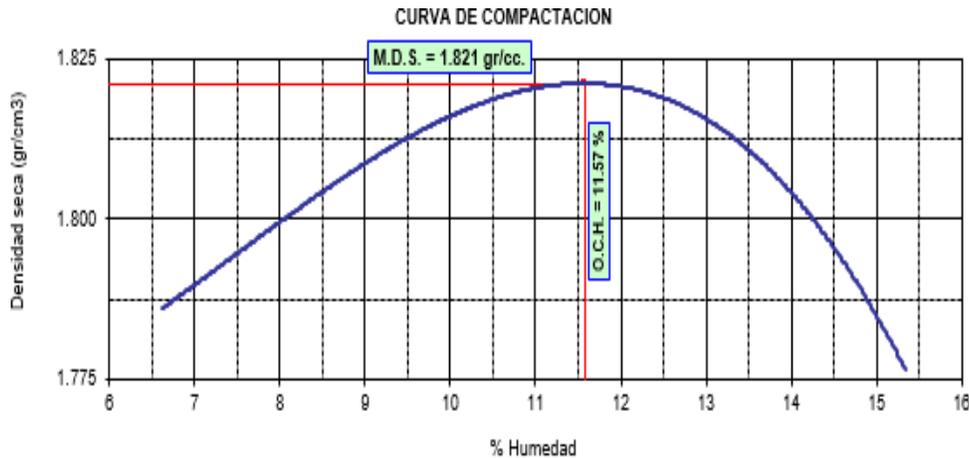
Prueba N°	1	2	3	4
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5949	6026	6082	6085
Peso molde (gr.)	4159	4159	4159	4159
Volumen del molde (cm ³)	940	940	940	940
Peso suelo compactado (gr.)	1790	1867	1923	1926
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.904	1.986	2.046	2.049

2.- Humedad (%)

N° Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Recipiente + suelo húmedo (gr.)	109.75	109.38	123.42	107.07	108.12	128.21	125.42	145.69
Recipiente + suelo seco (gr.)	105.46	104.99	116.10	101.05	100.40	119.54	114.72	132.73
Peso de recipiente (gr.)	40.53	38.70	39.68	37.78	38.03	50.32	44.83	48.40
Peso de agua (gr.)	4.29	4.39	7.32	6.02	7.72	8.67	10.70	12.96
Peso de suelo seco (gr.)	64.87	66.29	76.42	63.27	62.37	69.22	69.89	84.33
Humedad (%)	6.61	6.62	9.58	9.51	12.38	12.53	15.31	15.37
Promedio Humedad (%)	6.62		9.55		12.45		15.34	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.786		1.819		1.819		1.776	

Fuente: Los autores

Gráfica 2. Curva de compactación A-2-4 (0) – Estado Natural



ESPECIFICACIONES	:	El Proctor Modificado se realizó según las Normas Técnicas ASTM D1557, por el método "A".
OBSERVACIONES	:	La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.
RESULTADOS	:	Conforme al ensayo realizado, el material de muestreo alcanzó una Máxima Densidad Seca 1.821 gr/cm ³ , para un Óptimo contenido de Humedad de 11.57 %.

Fuente: Los autores

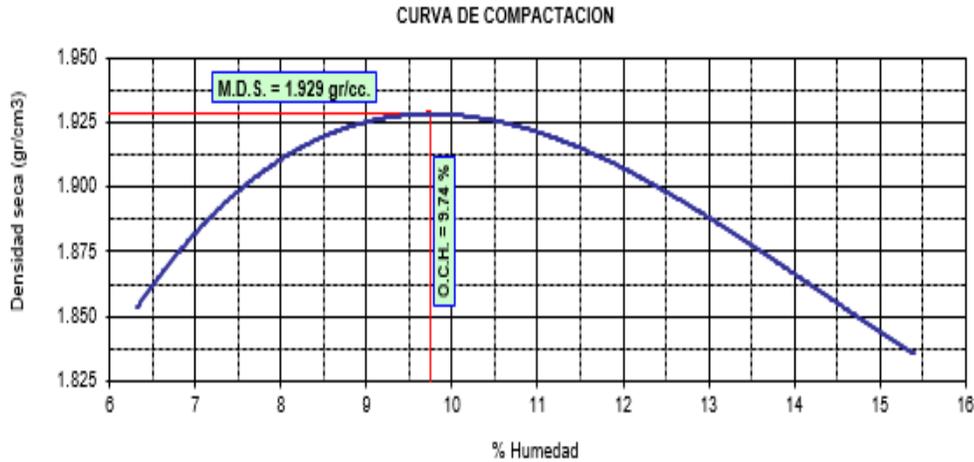
4. Compactación y humedad de la muestra. – Adición 3% cemento.

Tabla 12. Ensayo de Proctor Modificado – 3% cemento

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO											
METODO "A" (ASTM D1557)											
PROYECTO	: EFECTOS DEL CEMENTO PORTLAND COMO ESTABILIZANTE DE SUBRASANTE DE SUELO ARENOSO DE LA CALLE AVIANCA - SAN JUAN BAPTISTA - IQUITOS - PERÚ 2019										
UBICACIÓN	: Calle Avianca - SJB										
MUESTRA	: A-2-4 (0)										
Datos de campo:											
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Resultados</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M. D. S.</td> <td>1.821 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>O. C. H.</td> <td>11.57 %</td> </tr> <tr> <td>Clas. SUCS</td> <td>SM</td> </tr> <tr> <td>Clas. AASHTO</td> <td>A-2-4 (0)</td> </tr> </tbody> </table>	Resultados		M. D. S.	1.821 gr/cm ³	O. C. H.	11.57 %	Clas. SUCS	SM	Clas. AASHTO	A-2-4 (0)
Resultados											
M. D. S.	1.821 gr/cm ³										
O. C. H.	11.57 %										
Clas. SUCS	SM										
Clas. AASHTO	A-2-4 (0)										
1.- Compactación											
Prueba N°	1	2	3	4							
Numero de capas	5	5	5	5							
Numero de golpes	25	25	25	25							
Peso suelo + molde (gr.)	6011	6129	6167	6150							
Peso molde (gr.)	4159	4159	4159	4159							
Volumen del molde (cm ³)	940	940	940	940							
Peso suelo compactado (gr.)	1852	1970	2008	1991							
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.970	2.096	2.136	2.118							
2.- Humedad (%)											
N° Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8			
Recipiente + suelo húmedo (gr.)	99.58	118.07	101.84	99.13	103.88	104.13	165.81	143.04			
Recipiente + suelo seco (gr.)	96.04	113.95	97.46	95.33	98.24	98.08	150.09	129.17			
Peso de recipiente (gr.)	40.90	47.50	48.62	52.27	50.08	47.24	48.19	38.92			
Peso de agua (gr.)	3.54	4.12	4.38	3.80	5.64	6.05	15.72	13.87			
Peso de suelo seco (gr.)	55.14	66.45	48.84	43.06	48.16	50.84	101.90	90.25			
Humedad (%)	6.42	6.20	8.97	8.82	11.71	11.90	15.43	15.37			
Promedio Humedad (%)	6.31		8.90		11.81		15.40				
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.853		1.925		1.911		1.835				

Fuente: Los autores

Gráfica 3. Curva de compactación A-2-4 (0) – 3% cemento



- ESPECIFICACIONES** : El Proctor Modificado se realizó según las Normas Técnicas ASTM D1557, por el método "A".
- OBSERVACIONES** : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.
- RESULTADOS** : Conforme al ensayo realizado, el material de muestreo alcanzó una Máxima Densidad Seca 1.929 gr/cm³, para un Óptimo contenido de Humedad de 9.74 %.

Fuente: Los autores

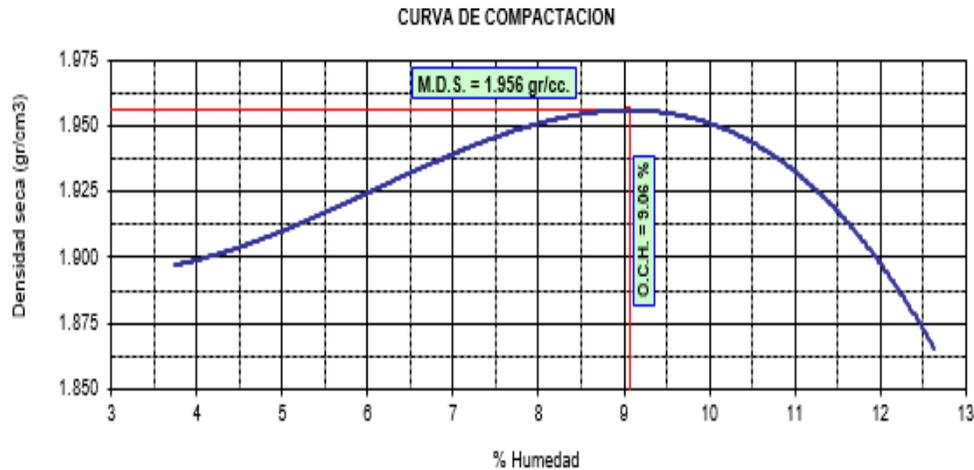
5. Compactación y humedad de la muestra. – Adición 5% cemento.

Tabla 13. Ensayo de Proctor Modificado – 5% cemento

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO									
METODO "A" (ASTM D1557)									
PROYECTO	EFECTOS DEL CEMENTO PORTLAND COMO ESTABILIZANTE DE SUBRASANTE DE SUELO ARENOSO DE LA CALLE AVIANCA - SAN JUAN BAUTISTA - IQUITOS - PERÚ 2019								
UBICACIÓN	Calle Avianca - SJB								
MUESTRA	A-2-4 (0)								
Datos de campo:								Resultados	
:								M. D. S.	1.956 gr/cm ³
:								O. C. H.	9.06 %
:								Clas. SUCS	SM
:								Clas. AASHTO	A-2-4 (0)
1.- Compactación									
Prueba N°	1	2	3	4					
Numero de capas	5	5	5	5					
Numero de golpes	25	25	25	25					
Peso suelo + molde (gr.)	6009	6098	6173	6134					
Peso molde (gr.)	4159	4159	4159	4159					
Volumen del molde (cm ³)	940	940	940	940					
Peso suelo compactado (gr.)	1850	1939	2014	1975					
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.968	2.063	2.143	2.101					
2.- Humedad (%)									
N° Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8	
Recipiente + suelo húmedo (gr.)	108.36	118.71	107.38	120.15	105.04	110.97	125.37	131.30	
Recipiente + suelo seco (gr.)	105.90	116.15	104.16	115.62	100.01	104.67	116.79	122.06	
Peso de recipiente (gr.)	39.10	48.51	54.63	48.77	47.91	39.03	49.23	48.52	
Peso de agua (gr.)	2.46	2.56	3.22	4.53	5.03	6.30	8.58	9.24	
Peso de suelo seco (gr.)	66.80	67.64	49.53	66.85	52.10	65.64	67.56	73.54	
Humedad (%)	3.68	3.78	6.50	6.78	9.65	9.60	12.70	12.56	
Promedio Humedad (%)	3.73		6.64		9.63		12.63		
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.897	1.934	1.954	1.865					

Fuente: Los autores

Gráfica 4. Curva de compactación A-2-4 (0) – 5% cemento



ESPECIFICACIONES	:	El Proctor Modificado se realizó según las Normas Técnicas ASTM D1557, por el método "A".
OBSERVACIONES	:	La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.
RESULTADOS	:	Conforme al ensayo realizado, el material de muestreo alcanzó una Máxima Densidad Seca 1.956 gr/cm ³ , para un Óptimo contenido de Humedad de 9.06 %.

Fuente: Los autores

6. Compactación y humedad de la muestra. – Adición 7% cemento.

Tabla 14. Ensayo de Proctor Modificado – 7% cemento

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

METODO "A" (ASTM D1557)

PROYECTO	:	EFFECTOS DEL CEMENTO PORTLAND COMO ESTABILIZANTE DE SUBRASANTE DE SUELO ARENOSO DE LA CALLE AVIANCA - SAN JUAN BAUTISTA - IQUITOS - PERÚ 2019
UBICACIÓN	:	Calle Avianca - SJB
MUESTRA	:	A-2-4 (0)
Datos de campo:	:	
:	:	
:	:	
:	:	
		Resultados
		M. D. S. 1.977 gr/cm ³
		O. C. H. 8.78 %
		Clas. SUCS SM
		Clas. AASHTO A-2-4 (0)

1.- Compactación

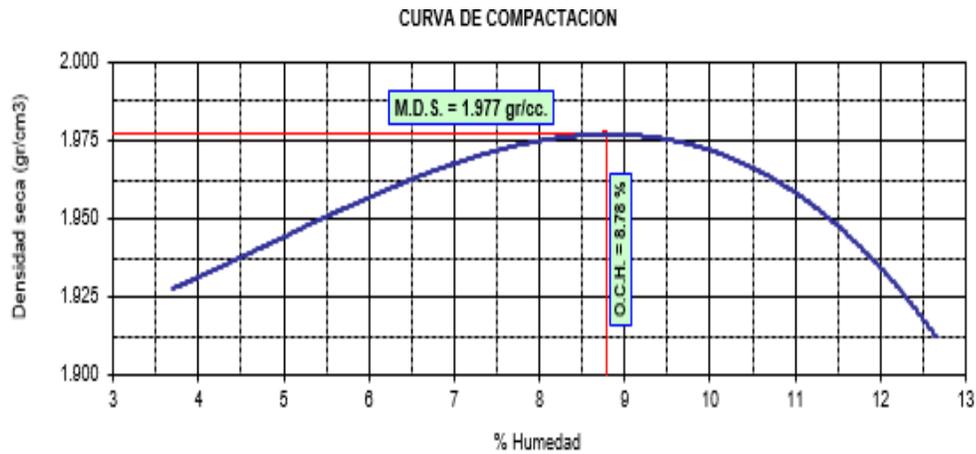
Prueba N°	1	2	3	4
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	6038	6136	6196	6184
Peso molde (gr.)	4159	4159	4159	4159
Volumen del molde (cm ³)	940	940	940	940
Peso suelo compactado (gr.)	1879	1977	2037	2025
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.999	2.103	2.167	2.154

2.- Humedad (%)

N° Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Recipiente + suelo húmedo (gr.)	91.12	101.94	109.67	110.42	130.94	116.69	132.81	101.50
Recipiente + suelo seco (gr.)	89.29	99.91	105.14	106.25	123.52	110.47	123.75	94.39
Peso de recipiente (gr.)	39.27	45.43	39.48	46.26	47.23	47.51	52.10	38.26
Peso de agua (gr.)	1.83	2.03	4.53	4.17	7.42	6.22	9.06	7.11
Peso de suelo seco (gr.)	50.02	54.48	65.66	59.99	76.29	62.96	71.65	56.13
Humedad (%)	3.66	3.73	6.90	6.95	9.73	9.88	12.64	12.67
Promedio Humedad (%)	3.69	3.73	6.93	6.93	9.80	9.80	12.66	12.66
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.928	1.967	1.967	1.967	1.974	1.974	1.912	1.912

Fuente: Los autores

Gráfica 5. Curva de compactación A-2-4 (0) – 7% cemento



ESPECIFICACIONES	:	El Proctor Modificado se realizó según las Normas Técnicas ASTM D1557, por el método "A".
OBSERVACIONES	:	La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.
RESULTADOS	:	Conforme al ensayo realizado, el material de muestreo alcanzó una Máxima Densidad Seca 1.977 gr/cm ³ , para un Óptimo contenido de Humedad de 8.78 %.

Fuente: Los autores

7. CBR, Estado Natural A-2-4 (0), sumergido en poza 7 días.

Tabla 15. C.B.R. - Estado Natural, muestra A-2-4- (0)

ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.							
(ASTM D-1883)							
PROYECTO	:	EFECTOS DEL CEMENTO PORTLAND COMO ESTABILIZANTE DE SUBRASANTE DE SUELO ARENOSO DE LA CALLE AVIANCA - SAN JUAN BAUTISTA - IQUITOS - PERÚ 2019					
UBICACIÓN	:	Calle Avianca - SJB					
MUESTRA	:	A-2-4 (0)					
Datos de campo:	:			M. D. S.	:	1.821	gr/cm ³
	:			O. C. H.	:	11.57	%
	:			Clas. SUCS	:	SM	
	:			Clas. AASHTO	:	A-2-4 (0)	
Molde	N°	25		26		5	
Capas	N°	5		5		5	
Golpes por capa	N°	12		25		56	
Condición de muestra		Hum. Optima	Saturada	Hum. Optima	Saturada	Hum. Optima	Saturada
Peso de suelo húmedo + molde	Gr.	12823	12900	13346	13427	12860	12933
Peso del molde	Gr.	8744	8744	9064	9064	8506	8506
Volúmen del suelo	c.c.	2132	2132	2118	2118	2132	2132
Peso del suelo húmedo	Gr.	4079	4156	4282	4363	4354	4427
Densidad húmeda	Gr/c.c.	1.914	1.950	2.022	2.060	2.043	2.077
HUMEDAD							
N° de Recipiente	N°	4	5	6	7	8	9
Peso de suelo húmedo + Recip.	Gr.	134.98	125.89	134.87	140.29	106.36	141.08
Peso del suelo seco + Recip.	Gr.	126.34	116.80	126.00	130.33	100.06	131.82
Peso de la Recipiente	Gr.	52.96	49.22	46.74	48.18	45.02	54.32
Peso del agua	Gr.	8.64	9.09	8.87	9.96	6.30	9.26
Peso del suelo seco	Gr.	73.38	67.58	79.26	82.15	55.04	77.50
Humedad	%	11.77	13.45	11.19	12.12	11.45	11.95
Densidad seca	Gr/c.c.	1.712	1.719	1.819	1.838	1.833	1.855
EXPANSION							
Fecha	Hora	Tiempo días	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)
PENETRACION							
Penetración Pulgadas	Penetración m.m	Carga		Carga		Carga	
		Kg	kg/cm ²	Kg	kg/cm ²	Kg	kg/cm ²
0.025	0.63	57.4	2.92	65.2	3.32	77.4	3.94
0.050	1.27	145.9	7.43	242.5	12.35	232.1	11.82
0.075	1.90	260.5	13.26	460.1	23.43	452.1	23.02
0.100	2.54	363.4	18.50	688.4	35.05	715.6	36.44
0.150	3.81	563.4	28.69	998.1	50.82	1280.3	65.19
0.200	5.08	707.3	36.01	1131.7	57.62	1465.3	74.61
0.250	6.35	749.2	38.15	993.5	50.59	1052.4	53.58
0.300	7.62	742.2	37.79	665.2	33.87	769.0	39.15
ANILLO	CAPACIDAD	SOBRECARGA		K = 19.64 cm²			
OBSERVACIONES	:	La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.					

Fuente: Los autores

DETERMINACION DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE ENSAYO DE PENETRACION C.B.R. (ASTM D-1883)

Datos de campo:

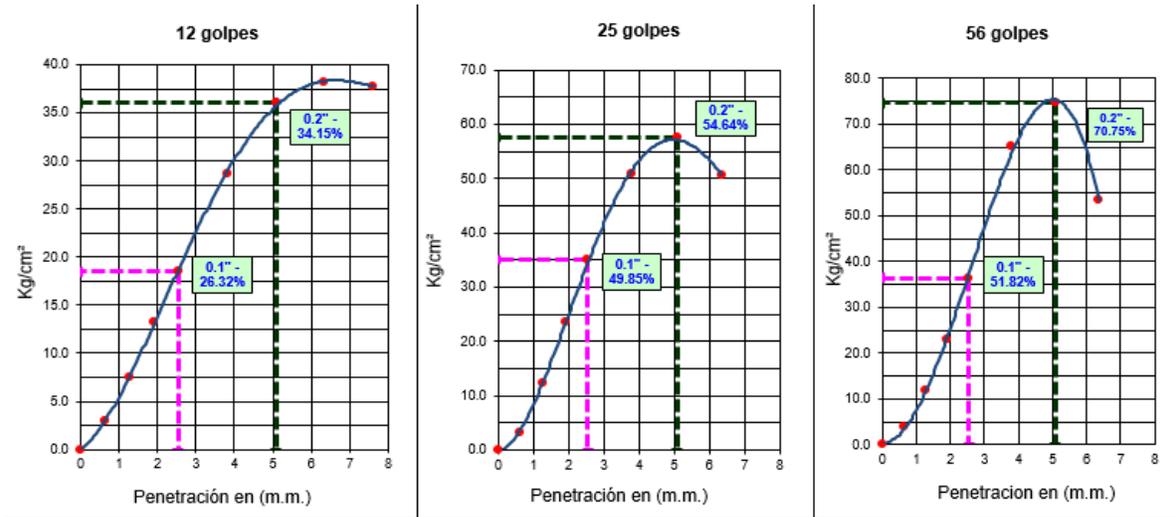
:
:
:
:
:

Razón de Soporte California CBR ASTM D 1883		
Condición de la Muestra		7 días de saturación
Sobrecarga		10.00 lbs.
Hinchamiento promedio		NO EXPANSIVO
C.B.R.	100% MDS	95% MDS
0.1"	51.82	33.00
0.2"		

Datos de Proctor

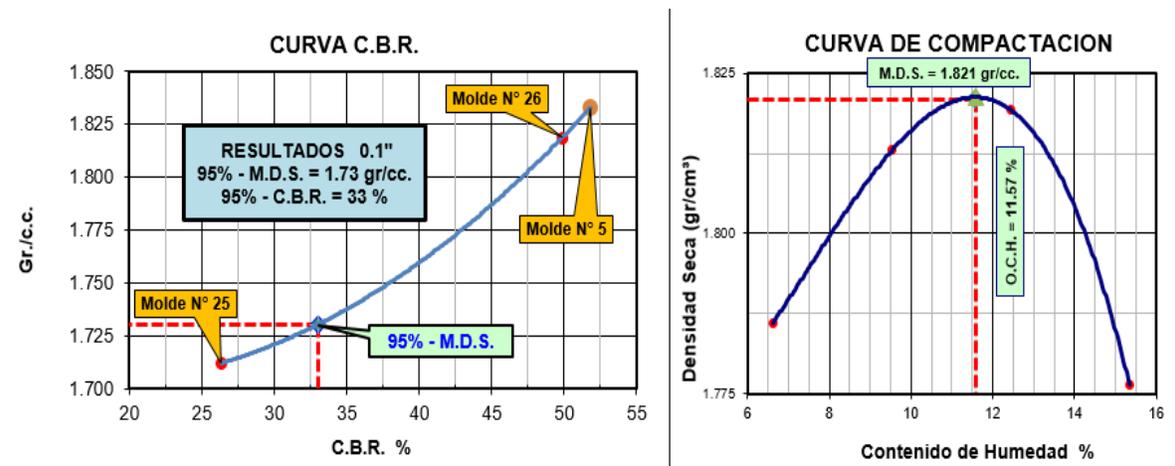
M.D.S. : 1.821 gr/cm³
 W_O% : 11.57 %

Gráfica 6. Penetración a 12, 25 y 56 golpes



Fuente: Los autores

Gráfica 7. Curva C.B.R. y compactación



Fuente: Los autores

8. CBR, Adición 3% cemento, intemperie 4 días y sumergido en poza por 7 días.

Tabla 16. C.B.R. - Adición 3%, sumergido en poza 7 días - A-2-4- (0)

ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.							
(ASTM D-1883)							
PROYECTO	:	EFECTOS DEL CEMENTO PORTLAND COMO ESTABILIZANTE DE SUBRASANTE DE SUELO ARENOSO DE LA CALLE AVIANCA - SAN JUAN BAUTISTA - IQUITOS - PERU 2019					
UBICACIÓN	:	Calle Avianca - SJB					
MUESTRA	:	A-2-4 (0)					
Datos de campo:							
				M. D. S.	:	1.929	gr/cm ³
				O. C. H.	:	9.74	%
				Clas. SUCS	:	SM	
				Clas. AASHTO	:	A-2-4 (0)	
Molde	N°	3		15		22	
Capas	N°	5		5		5	
Golpes por capa	N°	12		25		56	
Condición de muestra			Hum. Optima	Saturada	Hum. Optima	Saturada	Hum. Optima
Peso de suelo húmedo + molde	Gr.	12709	12847	12983	13047	13070	13139
Peso del molde	Gr.	8534	8534	8602	8602	8619	8619
Volúmen del suelo	c.c.	2132	2132	2118	2118	2109	2109
Peso del suelo húmedo	Gr.	4175	4313	4381	4445	4451	4520
Densidad húmeda	Gr/c.c.	1.959	2.023	2.069	2.099	2.111	2.144
HUMEDAD							
N° de Recipiente	N°	4	5	6	7	8	9
Peso del suelo húmedo + Recip.	Gr.	94.01	101.44	112.26	93.28	101.62	94.49
Peso del suelo seco + Recip.	Gr.	90.12	94.24	106.95	88.57	97.48	89.14
Peso de la Recipiente	Gr.	47.17	40.43	48.76	39.37	52.27	38.92
Peso del agua	Gr.	3.89	7.20	5.31	4.71	4.14	5.35
Peso del suelo seco	Gr.	42.95	53.81	58.19	49.20	45.21	50.22
Humedad	%	9.06	13.38	9.13	9.57	9.16	10.65
Densidad seca	Gr/c.c.	1.796	1.785	1.896	1.916	1.934	1.937
EXPANSION							
Fecha	Hora	Tiempo días	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)
PENETRACION							
Penetración Pulgadas	Penetración m.m	Carga		Carga		Carga	
		Kg	kg/cm ²	Kg	kg/cm ²	Kg	kg/cm ²
0.025	0.63	49.5	2.52	424.7	21.62	686.4	34.95
0.050	1.27	127.3	6.48	984.3	50.12	1917.2	97.62
0.075	1.90	284.7	14.50	1756.9	89.46	3111.6	158.43
0.100	2.54	525.4	26.75	2475.7	126.05	4143.7	210.98
0.150	3.81	1457.6	74.22	3758.4	191.36	4620.2	235.24
0.200	5.08	2679.2	136.42	4430.6	225.59		
0.250	6.35	3996.5	203.49				
0.300	7.62						
ANILLO	CAPACIDAD	SOBRECARGA	K = 19.64 cm²				
OBSERVACIONES	:	La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por el solicitante y trasladadas al laboratorio.					

Fuente: Los autores

**DETERMINACION DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.
(ASTM D-1883)**

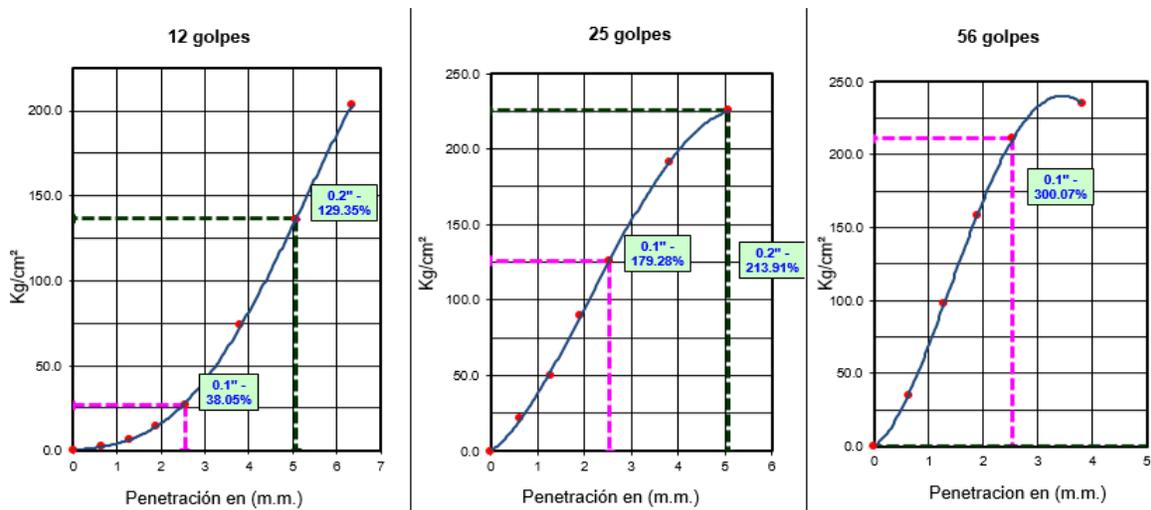
Datos de campo:

Razón de Soporte California CBR ASTM D 1883			
Condición de la Muestra		7 días de saturación	
Sobrecarga		10.00 lbs.	
Hinchamiento promedio		NO EXPANSIVO	
C.B.R.	100% MDS	95% MDS	
0.1"	300.07	82.00	
0.2"			

Datos de Proctor

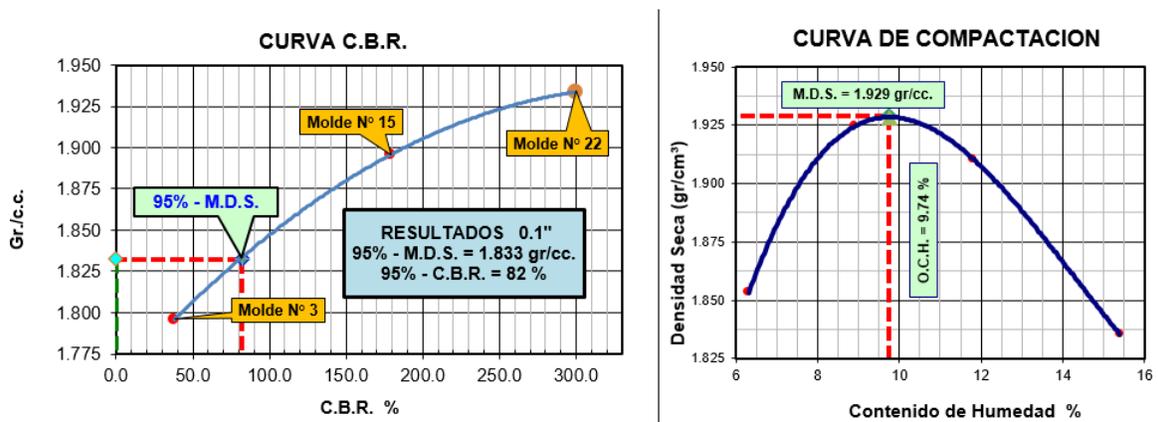
M.D.S. : 1.929 gr/cm³
 WO% : 9.74 %

Gráfica 8. Penetración a 12, 25 y 56 golpes – Adición 3% cemento



Fuente: Los autores

Gráfica 9. Curva C.B.R. y compactación - Adición 3% cemento



9. CBR, Adición 5% cemento, intemperie 4 días y sumergido en poza por 7 días.

Tabla 17. C.B.R. - Adición 5%, sumergido en poza 7 días - A-2-4- (0)

ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.

(ASTM D-1883)

PROYECTO : EFECTOS DEL CEMENTO PORTLAND COMO ESTABILIZANTE DE SUBRASANTE DE SUELO ARENOSO DE LA CALLE AVIANCA - SAN JUAN BAUTISTA - IQUITOS - PERÚ 2019

UBICACIÓN : Calle Avianca - SJB

MUESTRA : A-2-4 (0)

Datos de campo:

M. D. S. : 1.956 gr/cm³

O. C. H. : 9.06 %

Clas. SUCS : SM

Clas. AASHTO : A-2-4 (0)

Molde	N°	6	11	16
Capas	N°	5	5	5
Golpes por capa	N°	12	25	56
Condición de muestra				
		Hum. Optima	Saturada	Hum. Optima
		Saturada	Hum. Optima	Saturada
Peso de suelo húmedo + molde	Gr.	12844	13010	12907
		13014	13120	13170
Peso del molde	Gr.	8618	8618	8498
		8498	8590	8590
Volúmen del suelo	c.c.	2146	2146	2109
		2109	2118	2118
Peso del suelo húmedo	Gr.	4226	4392	4409
		4516	4530	4580
Densidad húmeda	Gr/c.c.	1.970	2.047	2.091
		2.142	2.139	2.163

HUMEDAD

N° de Recipiente	N°	4	5	6	7	8	9
Peso del suelo húmedo + Recip.	Gr.	104.71	79.73	122.26	95.68	94.68	89.32
Peso del suelo seco + Recip.	Gr.	99.42	75.47	116.18	90.66	90.02	86.59
Peso de la Recipiente	Gr.	40.59	39.02	47.91	50.08	38.70	53.22
Peso del agua	Gr.	5.29	4.26	6.08	5.02	4.66	2.73
Peso del suelo seco	Gr.	58.83	36.45	68.27	40.58	51.32	33.37
Humedad	%	8.99	11.69	8.91	12.37	9.08	8.18
Densidad seca	Gr/c.c.	1.807	1.833	1.920	1.906	1.961	1.999

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo días	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %

PENETRACION

Penetración Pulgadas	Penetración m.m	Carga		Carga		Carga	
		Kg	kg/cm ²	Kg	kg/cm ²	Kg	kg/cm ²
0.025	0.63	306.7	15.62	869.3	44.26	1346.8	68.57
0.050	1.27	985.4	50.17	1967.4	100.17	2865.6	145.91
0.075	1.90	1946.7	99.12	3200.5	162.96	3985.9	202.95
0.100	2.54	2956.9	150.55	3869.6	197.03	4606.7	234.56
0.150	3.81	4154.8	211.55	4325.1	220.22	0.0	0.00
0.200	5.08	4584.1	233.41	0.0	0.00	0.0	0.00
0.250	6.35	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
0.300	7.62	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00

ANILLO : CAPACIDAD : SOBRECARGA : K = 19.64 cm²

Fuente: Los autores

DETERMINACION DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE ENSAYO DE PENETRACION C.B.R. (ASTM D-1883)

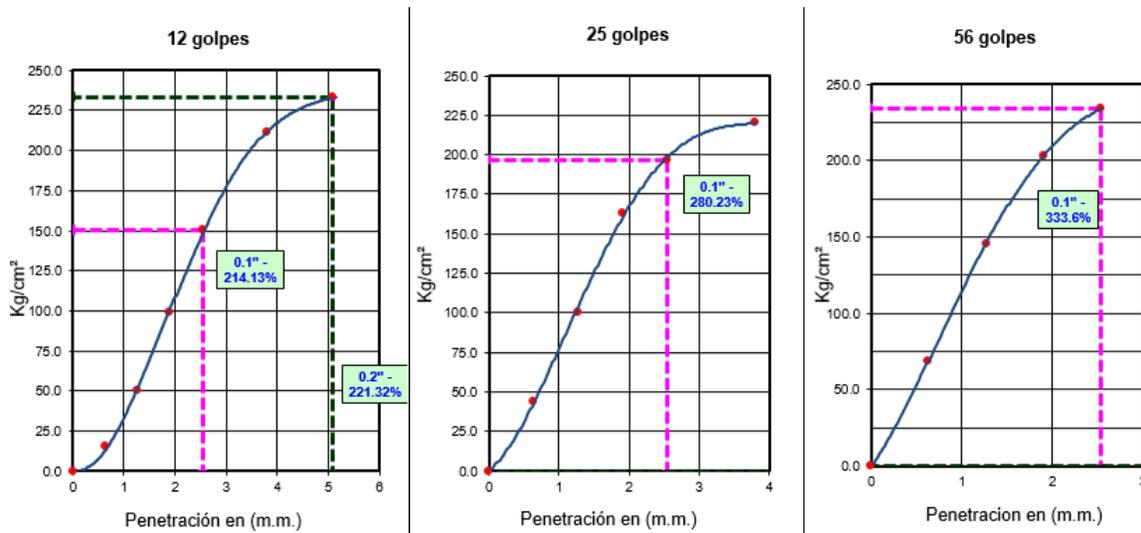
Datos de campo:

Razón de Soporte California CBR ASTM D 1883		
Condición de la Muestra	7 días de saturación	
Sobrecarga	10.00 lbs.	
Hinchamiento promedio	NO EXPANSIVO	
C.B.R.	100% MDS	95% MDS
0.1"	333.60	240.00
0.2"		

Datos de Proctor

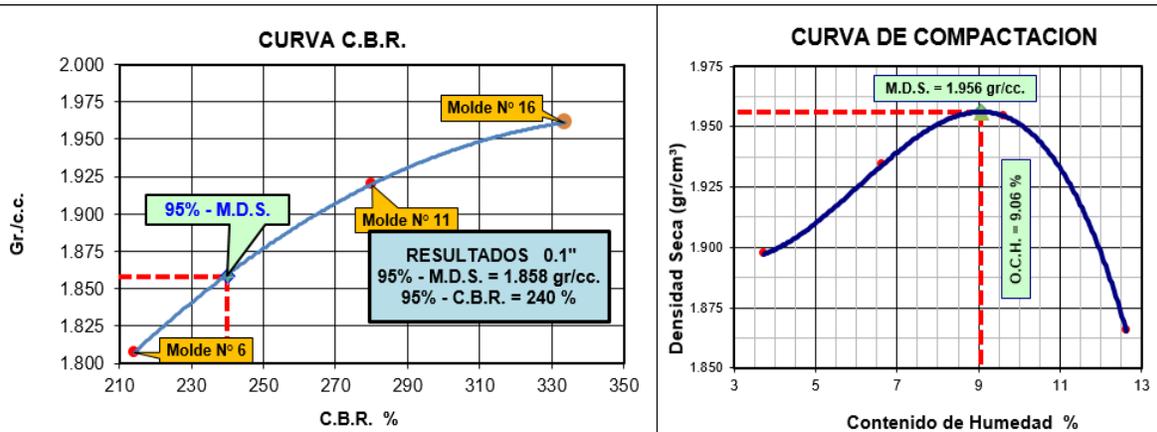
M.D.S. : 1.956 gr/cm³
 WO% : 9.06 %

Gráfica 10. Penetración a 12, 25 y 56 golpes – Adición 5% cemento



Fuente: Los autores

Gráfica 11. Curva C.B.R. y compactación - Adición 5% cemento



Fuente: Los autores

**DETERMINACION DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.
(ASTM D-1883)**

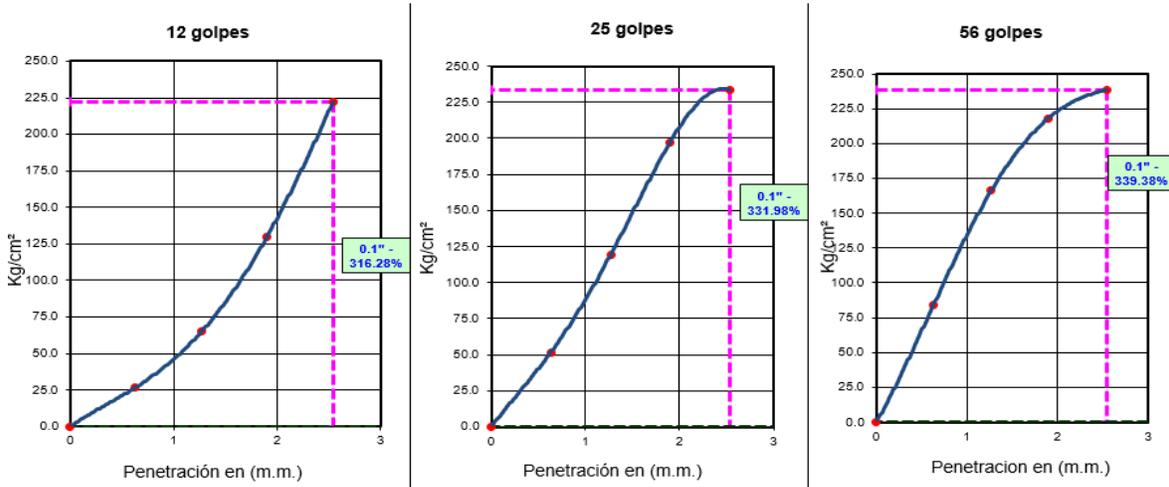
Datos de campo:

Razón de Soporte California CBR ASTM D 1883			
Condición de la Muestra		7 días de saturación	
Sobrecarga		10.00 lbs.	
Hinchamiento promedio		NO EXPANSIVO	
C.B.R.	100% MDS	95% MDS	
0.1"	339.38	322.00	
0.2"			

Datos de Proctor

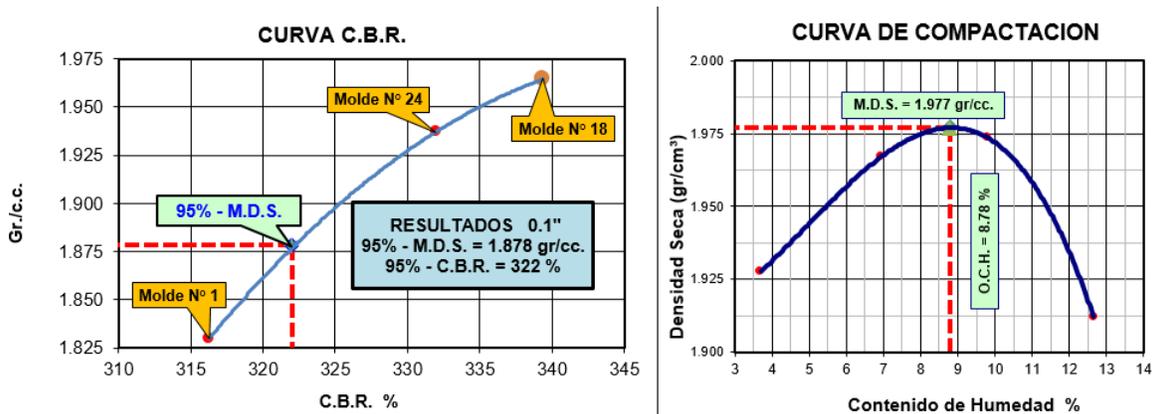
M.D.S. : 1.977 gr/cm³
 WO% : 8.78 %

Gráfica 12. Penetración a 12, 25 y 56 golpes – Adición 7% cemento



Fuente: Los autores

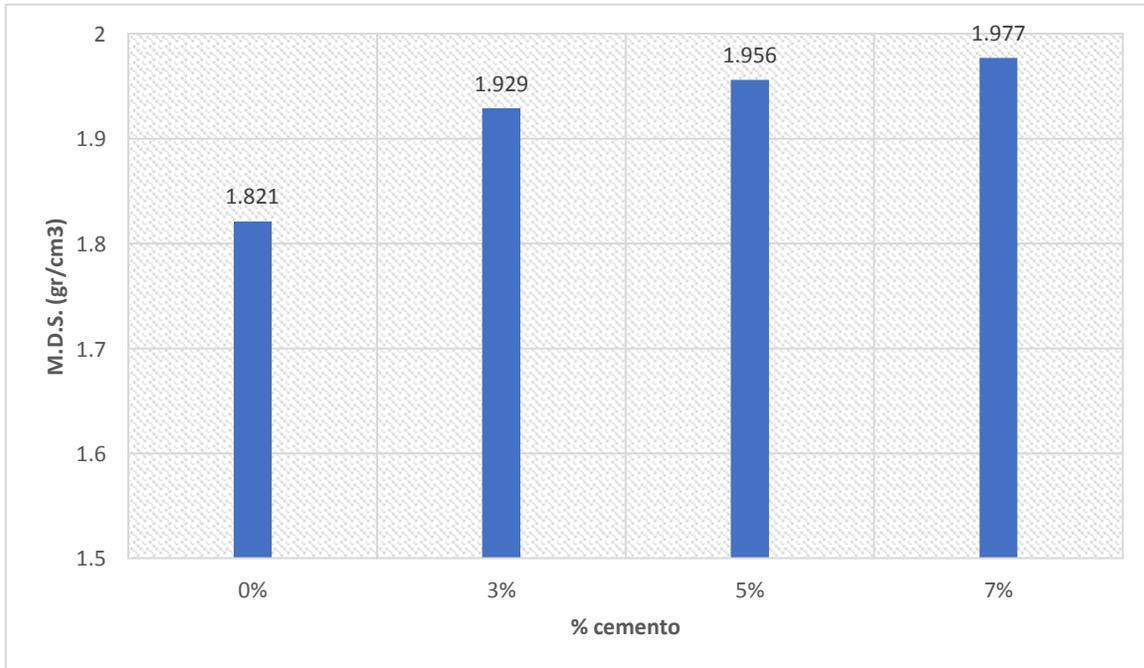
Gráfica 13. Curva C.B.R. y compactación - Adición 7% cemento



Fuente: Los autores

11. Graficas comparativas

Gráfica 14. Comparación de M.D.S. por adición cemento

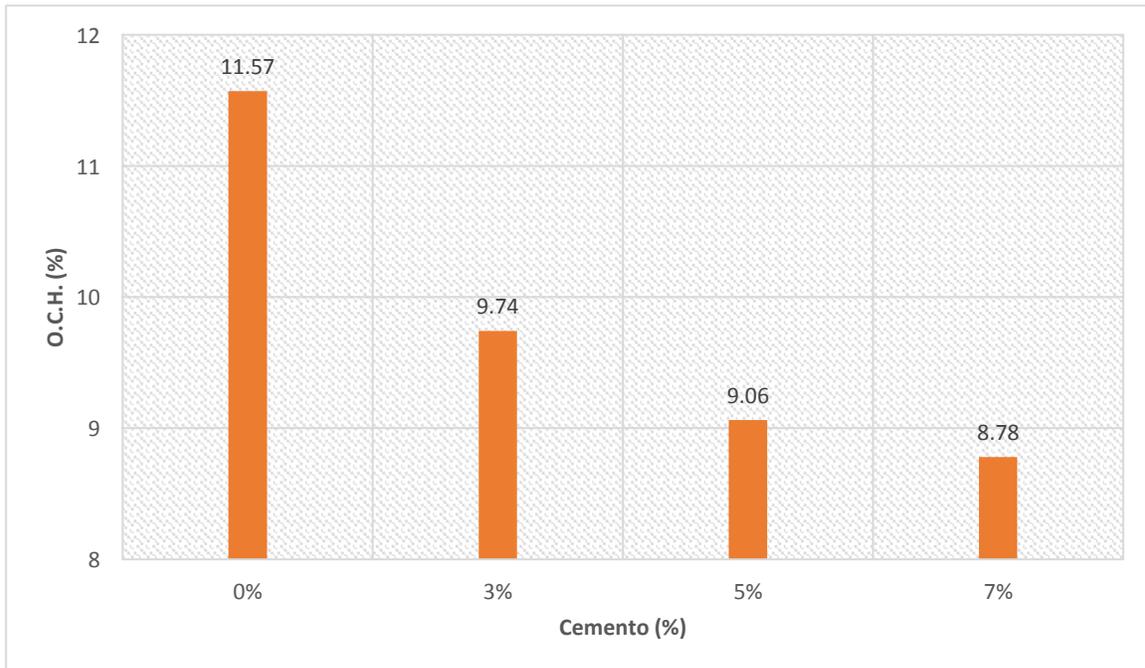


Fuente: Los autores

Interpretación de datos:

- En la gráfica se puede observar un valor inicial de M.D.S. 1.821 gr/cm³ en estado natural, al adicionar 3% de cemento aumenta la M.D.S. a 1.929 gr/cm³, con 5% y 7% de cemento se obtuvo una M.D.S. 1.956 gr/cm³ y 1.977 gr/cm³.

Gráfica 15. Comparación de O.C.H. por adición cemento

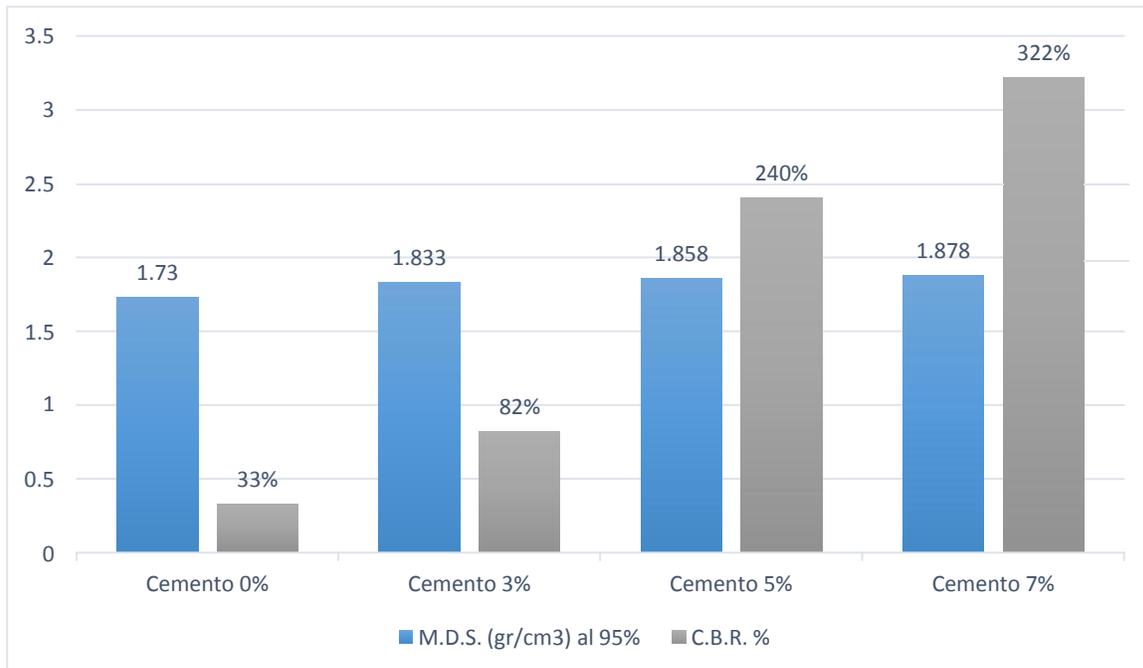


Fuente: Los autores

Interpretación de datos:

- En la gráfica se puede observar un valor inicial de O.C.H. natural de 11.57 %, al adicionar 3% de cemento disminuye el O.C.H. al 9.74 %, con 5% y 7% de cemento el O.C.H. de 9.06 % y 8.78%.

Gráfica 16. Relación entre M.D.S y C.B.R. con adición de cemento



Fuente: Los autores

Interpretación de datos:

- En la gráfica se observa que el suelo en estado natural obtuvo un C.B.R. de 33% con una M.D.S. de 1.73 gr/cm³, al adicionar 3% se incrementó el C.B.R. a 82% con una M.D.S. de 1.833 gr/cm³, de tal manera con un 5% el C.B.R. llegó a 240% con una M.D.S. de 1.858 gr/cm³, finalmente con una M.D.S. de 1.878 gr/cm³ un C.B.R. de 322%.

CAPÍTULO V

5. DISCUSIÓN

Según la investigación realizada en la ciudad de Cajamarca por el tesista César Velásquez Pereyra (2018), la influencia del cemento Portland Tipo I, en la estabilización del suelo arcilloso de la subrasante de la avenida Dinamarca, sector La Molina, reflejó el incremento de su índice CBR. El suelo que conforma la subrasante se clasificó como A-7-6 (26), A-7-6 (37), A-7-6 (24) y A-7-6 (14) según AASHTO y como CH, OH, OH y CL según SUCS para las muestras de suelo arcilloso de las calicatas C1, C2, C3 y C4 respectivamente. Según esto, todos los suelos fueron inadecuados para su uso como material de subrasante. Para el suelo arcilloso más desfavorable su índice CBR fue de 1.30% al 95% MDS, que correspondió a un suelo de subrasante inadecuada. Su índice CBR se incrementó a 3.50%, 6.63% y 13.75% al 95%DSM con la adición de cemento Portland Tipo I en porcentajes de 1, 3 y 5% respectivamente, por lo que una subrasante regular a buena, según su índice CBR, se logró con solo una adición de 4% de cemento.

El tesista Melvin Darío Vásquez Concha (Lima, 2010) uso proporciones de cemento en 5%, 10% y 15% en peso del suelo seco, también la estabilización con cemento portland se comporta mejor con suelos arenosos y gravosos. El óptimo contenido de cemento portland se determinó en 5% en peso del suelo seco y que el índice C.B.R. es de 100%.

Para nuestro caso, el estudio del suelo de la calle Avianca, en el distrito de San Juan Bautista en la ciudad de Iquitos, según el método de clasificación AASHTO fue un A-2-4 y resultando como índice de grupo (0), por el método SUCS como SM (Arena limosa de color blanco) y un contenido de humedad natural de 27.51% para la muestra de la calicata C-1. Para nuestro suelo su índice C.B.R. en estado natural fue de 33% al 95% de la M.D.S. que según la Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013) corresponde a una subrasante de condición excelente (S5, CBR >30%).

En este caso con la adición de cemento portland tipo I en porcentajes de 3%, 5% y 7% los índices C.B.R. aumentaron notablemente a 82%, 240% y 322% respectivamente al 95% de la M.D.S. para una de éstas que corresponde a una subrasante de condición excelente. (S5, CBR >30%).

Comparando con nuestros resultados el valor C.B.R. con 5% de cemento es de 240% siendo esto un valor mayor que la tesis en comparación y teniendo en cuenta la similitud de la clasificación del tipo de suelo es más favorable para el uso de subrasantes.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES

- La clasificación del suelo por el método AASHTO fue un A-2-4 (0) y una SM (arena limosa) por el método SUCS y determinando un contenido de humedad natural de 27.51% de la subrasante de la calle Avianca ubicado en el distrito de San Juan Bautista en la ciudad de Iquitos.
- El cemento portland tipo I influye notablemente en el mejoramiento de la subrasante de suelo arenoso reduciendo significativamente la humedad en las diferentes proporciones usadas en este proyecto.
- Se estableció un rango de valores de cemento de 3%, 5% y 7% de peso del suelo logrando así un aumento magnifico en el índice C.B.R. respectivamente.
- Valores C.B.R. y M.D.S.
 - C.B.R. en estado natural → 33% al 95% de la M.D.S. (1.730 gr/cm³)
 - C.B.R. con adición 3% cemento → 82% al 95% de la M.D.S. (1.833 gr/cm³)
 - C.B.R. con adición 5% cemento → 240% al 95% de la M.D.S. (1.858 gr/cm³)
 - C.B.R. con adición 7% cemento → 322% al 95% de la M.D.S. (1.878 gr/cm³)
- De acuerdo los rangos establecidos por el M.T.C. (2013) los valores C.B.R. obtenidos son mayores a >30%. Indicando que es apto para uso de subrasante.

7. RECOMENDACIONES

- Considerar más puntos de toma de muestra (calicatas), para obtener mayor exactitud en la obtención de las características y propiedades del suelo el cual nos ayudará a determinar la cantidad óptima de cemento a emplear.
- Sólo para suelos de tipo granular, elegir cantidades de cemento menores al 3% para próximas investigaciones, para estar dentro de los parámetros que exige las normas peruanas.
- Ejecución de ensayos in situ con la aplicación de las cantidades y tipo de aditivo estabilizante elegidas.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Braja M, D. (2001). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Sacramento, California: Thomson Learning.
- Crespo Villalaz , C. (2004). Mecánica de suelos y cimentaciones. Mexico, D.F.: LIMUSA.
- Díaz Vásquez , F. (2018). Mejoramiento de la subrasante mediante ceniza de cáscara de arroz en la carretera Dv San Martin - Lonya Grande, Amazonas 2018. Universidad César Vallejo , Lima, Perú.
- Lambe , T. W., & Whitman , R. (2004). Mecanica de suelos . Mexico, D.F.: LIMUSA S.A. de C.V.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC. (2008). Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito. Lima, Perú: Tarea Asociación Gráfica Educativa.
- MTC, M. d. (2016). Manual de Ensayos de Materiales. Lima, Perú.
- Muelas Rodriguez , A. (2010). Manual de mecánica del suelo y cimentaciones.
- N.T.E. NORMA CE.020. (2010). NORMA CE.020 Estabilizacion de suelos y taludes. Lima, Perú.
- Ravines Merino , M. A. (2010). Pruebas con un producto enzimático como agente estabilizador de suelos para carreteras. Universidad de Piura, Piura.
- Roldán, D. J. (2010). Estabilización de suelos con cloruro de sodio (NaCl) para bases y sub bases. Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Vásquez Concha, M. D. (2010). Pavimentos no tradicionales para carreteras de selva baja con bajo volumen de tránsito, aplicación: Carretera Contamana - Aguas Calientes, Loreto. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Velarde del Castillo, A. D. (2015). Aplicación de la metodología de superficie de respuesta en la determinación de la resistencia a la compresión simple de suelos arcillosos estabilizados con cal y cemento. Universidad Nacional del Antiplano , Puno, Perú.

Velásquez Pereyra , C. (2018). Influencia del cemento portland tipo I en la estabilización del suelo arcilloso de la subrasante de la avenida Dinamarca, sector La Molina. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.

ANEXOS



Figura 12. Inicio de calle Avianca



Figura 13. Fin de calle Avianca



Figura 14. Inicio de excavación de calicata C-1



Figura 15. Filtración de agua en calicata C-1



Figura 16. Toma de muestras en calicata C-1



Figura 17. Análisis granulométrico por tamizado



Figura 18. Determinación de humedad previo ensayo Proctor modificado



Figura 19. Ensayo Proctor modificado



Figura 20. Pesaje del suelo compactado



Figura 21. Pesaje de moldes previo ensayo C.B.R



Figura 22. Compactación para ensayo C.B.R.



**Figura 23. Moldes con adición de cemento en intemperie
envueltos en bolsas por 4 días**



Figura 24. Moldes sumergidos en tanque por 7 días



Figura 25. Moldes listos para ensayo de penetración



Figura 26. Calibración de máquina de compresión equipada con un pistón de penetración CBR



Figura 27. Ensayo de penetración