



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:

“EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB - BASE EN PAVIMENTOS ADICIONANDO SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO EN CONCENTRACIONES DE 0.5 %, 1.0 %, 1.5 %, 2.0 %, CANTERA SENCCA - POROY – CUSCO”.

Presentado por:

Bach. Huallpacuna Yberico Straisy Mirla

Bach. Quispe Condo José Luis

Para optar al Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Asesor:

Mgt. Ing. Víctor Chacón Sánchez

CUSCO - PERU

2022



Dedicatoria.

Dedico esta tesis a Dios por bendecirme la vida, por ser el inspirador y guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad. A mi Sr. Pasión y Virgen María de Oh que están presentes en cada paso que doy, me dan fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de mis anhelos más deseados.

A mis padres, Higidio y Edith por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido un orgullo y privilegio de ser su hija, son los mejores padres.

A mis hermanos Yohan y Cipriani por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Y a cada uno de ustedes que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano.

Straisy Mirla Huallpacuna Yberico

Dedico esta investigación en primer lugar a Dios por guiarme por el sendero correcto y permitirme lograr todas mis metas, deseos, objetivos planteados en la vida, a mi doctor Patrón San Jerónimo por regalarme salud, sabiduría, fortaleza, valores y darme todo lo que te pido en el momento indicado.

Con todo mi amor para mis papitos José y Felicitas quienes son los artífices de que este proyecto llamado Ingeniero Civil se haga realidad en mi persona, por todos los valores y enseñanzas de vida que supieron inculcar en mi persona, a ustedes por siempre mi corazón y amor, esta investigación es un pequeño reconocimiento a toda la dedicación y esfuerzo que realizan día a día para que cumpla mis sueños.

José Luis Quispe Condo



Agradecimiento.

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes.

A la Universidad Andina del Cusco, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, a los docentes por impartirnos conocimientos, la enseñanza de la Ingeniería y brindarnos sus experiencias profesionales

Agradezco a mis padres, hermanos, familiares y amigos por permitirme concluir con una etapa de mi vida, gracias por la paciencia, orientación y guiarme en el desarrollo de esta investigación.

Straisy Mirla Huallpacuna Yberico

Quiero agradecer infinitamente, a la Universidad Andina del Cusco, a través de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura por brindarme una educación acorde a las exigencias requeridas del mundo globalizado en la cual nos desarrollamos.

Agradezco a toda la plana jerárquica de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil; decano, coordinador, docentes, administrativos, etc.; por todas las enseñanzas y facilidades brindadas durante mi formación profesional.

Un agradecimiento especial al Ing. Víctor Chacón Sánchez, por el tiempo dedicado al desarrollo de esta tesis, ya que sin su invaluable aporte y experiencias esta investigación no hubiera sido posible.

José Luis Quispe Condo



Resumen.

El presente tema de investigación pretende desarrollar y demostrar el comportamiento que tendrá, la adición de sales cuaternarias de amonio líquido, como estabilizador al material granular de sub - base en las estructuras de pavimentos; de esta manera se agregaron diferentes concentraciones de sales cuaternarias de amonio líquido: 0.5%; 1.0%; 1.5% y 2.0% del peso seco del material. Para que, de esta forma, actúen en conjunto el material de sub – base proveniente de la cantera Sencca – Poroy adicionado con dicho estabilizador; (Sales cuaternarias de amonio líquido) el pavimento logrará disipar las cargas impuestas por el tráfico (esfuerzos verticales) contribuyendo a nuestro objetivo general que es incrementar su capacidad de soporte (CBR) y así evitar fallas por deformación permanente del pavimento además de dotar a la estructura un mayor tiempo de vida útil.

La razón por la que se determinó la utilización de este aditivo para la presente investigación no solo es mejorar las características geomecánicas del material de la cantera Sencca – Poroy de la ciudad del cusco, sino que también por el interés de saber cómo actuará en el suelo, las sales cuaternarias de amonio líquido con fines ingenieriles. Motivo por el cual el presente trabajo de investigación propone innovar en la tecnología de estructuras de pavimento adicionando sales cuaternarias de amonio líquido en el material de sub - base con el objetivo de analizar en qué medida aumentará la capacidad de soporte CBR (18.5%) y cómo variará la densidad máxima seca en la sub base al adicionarle las sales cuaternarias de amonio liquido como agente estabilizador.

De esta forma concluimos que al adicionar sales cuaternarias de amonio líquido en concentraciones de 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, incrementa considerablemente los valores de capacidad de soporte y densidad máxima seca, en relación al material sin la adición de sales cuaternarias de amonio líquido. Asimismo, la dosificación óptima de concentración de sales cuaternarias de amonio líquido que debe de adicionarse, es de 1.5% del peso seco del material, valor con el cual la capacidad de soporte CBR alcanza su máximo incrementó, en un 18.5 % de la misma forma, la densidad máxima seca, alcanza su máximo incrementó, en un 0.8 gr/cm³ (1.4%) en relación al material sin la adición de las sales cuaternarias de amonio líquido, que será empleado en los procesos de conformación de sub – base.

Palabras clave: Capacidad de Soporte (CBR), Densidad Máxima Seca, Sub – Base, Sales Cuaternarias de Amonio Liquido.



Abstract.

This research topic aims to develop and demonstrate the behavior that the addition of quaternary salts of liquid ammonium will have, as a stabilizer to the granular sub-base material in pavement structures; in this way, different concentrations of quaternary salts of liquid ammonium were added: 0.5%; 1.0%; 1.5% and 2.0% of the dry weight of the material. So that, in this way, the sub-base material from the Sencca-Poroy quarry, added with said stabilizer, act together; (Quaternary salts of liquid ammonium) the pavement will be able to dissipate the loads imposed by traffic (vertical forces), contributing to our general objective, which is to increase its bearing capacity (CBR) and thus avoid failures due to permanent pavement deformation in addition to providing the structure a longer service life.

The reason why the use of this additive was determined for this research is not only to improve the geomechanical characteristics of the material from the Sencca - Poroy quarry in the city of Cusco, but also for the interest of knowing how it will act in the soil, the quaternary salts of liquid ammonium for engineering purposes. Reason why the present research work proposes to innovate in the technology of pavement structures by adding quaternary salts of liquid ammonium in the sub-base material in order to analyze to what extent the CBR bearing capacity will increase (18.5%) and how the maximum dry density will vary in the subbase when adding the quaternary salts of liquid ammonium as a stabilizing agent.

In this way, we conclude that by adding quaternary salts of liquid ammonium in concentrations of 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, considerably increases the values of support capacity and maximum dry density, in relation to the material without the addition of quaternary salts. of liquid ammonia.

Likewise, the optimal dosage of concentration of liquid ammonium quaternary salts that must be added is 1.5% of the dry weight of the material, value with which the CBR support capacity reaches its maximum increased, by 18.5% in the same way, the maximum dry density, reaches its maximum increased, by 0.8 gr / cm³ (1.4%) in relation to the material without the addition of the quaternary salts of liquid ammonium, which will be used in the sub-base shaping processes.

Key words: Support Capacity (CBR), Maximum Dry Density, Sub - Base, Quaternary Liquid Ammonium Salts.



Introducción.

En la actualidad se desarrollan varios métodos de estabilización de suelos, con el fin de incrementar la estabilidad en la estructura del pavimento, aumentar su capacidad de soporte (CBR), reducir asentamientos, mejorar las condiciones de humedad del suelo y optimizar las características geomecánicas mínimas de éste, para poder funcionar como sub rasante, sub base o base, uno de estos métodos puede ser la inclusión de las sales cuaternarias de amonio líquido, ya que en nuestra región nos encontramos con distintos tipos de suelos que son muy susceptibles al cambio de volumen por su variación en el contenido de humedad, experimentan cambios durante épocas de sequía como de lluvia, lo cual dañan las estructuras del pavimento, provocando la expansión en temporada de lluvia y la contracción en temporada seca.

Los materiales granulares que conforman las capas superpuestas en un pavimento no se encuentran con facilidad en forma natural y de algún modo se deben ligar con materiales artificiales logrando que estas absorban los esfuerzos generados por el tránsito y eviten las deformaciones en el terreno contribuyendo a la durabilidad de la carretera.

Motivo por el cual este proyecto de investigación pretende utilizar las sales cuaternarias de amonio líquido, para estudiar el comportamiento mecánico de la capa sub base y analizar cómo varía su valor de capacidad de soporte (CBR), al adicionar sales cuaternarias de amonio líquido.

Las muestras de suelo se tomarán de la cantera de Sencca – Poroy de la ciudad del cusco de las cuales se determinarán y evaluarán sus propiedades geomecánicas.

La investigación que se llevará a cabo tiene como objetivo incrementar la capacidad de soporte (cbr), grado de compactación, plasticidad del material, de la cantera de Sencca – Poroy, adicionando a este material, sales cuaternarias de amonio líquido.

La presente investigación cuenta con los siguientes capítulos: Capítulo I: Planteamiento del problema, capítulo II: Marco Teórico, capítulo III: Metodología, capítulo IV: Resultados, capítulo V: Discusión, glosario, conclusiones de la investigación, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.



Índice de contenido.

Dedicatoria.....	I
Agradecimiento.....	II
Resumen.....	III
Abstract.....	IV
Capítulo I: Planteamiento del problema.....	1
1.1. Identificación del problema.....	1
1.1.1. Descripción del problema.....	1
1.1.2. Formulación del problema.....	2
1.2. Justificación e importancia de la investigación.....	2
1.2.1. Justificación técnica.....	2
1.2.2. Justificación social.....	3
1.2.3. Justificación por vialidad.....	3
1.2.4. Justificación por relevancia.....	4
1.3. Limitaciones de la investigación.....	4
1.3.1. Limitaciones técnicas.....	4
1.3.2. Limitaciones de material.....	4
1.3.3. Limitaciones de equipos.....	5
1.3.4. Limitaciones de extensión.....	5
1.3.5. Limitaciones de especialidad.....	5
1.3.6. Limitaciones de normatividad.....	5
1.4. Objetivos de la investigación.....	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	6



Capítulo II: Marco teórico	7
2.1. Antecedentes de la tesis o investigación actual.....	7
2.1.1. Antecedentes a nivel internacional.....	7
2.1.2. Antecedentes a nivel nacional.	9
2.1.3. Antecedentes a nivel local.....	11
2.2. Aspectos teóricos pertinentes.	13
2.2.1. Suelo.....	13
2.2.2. Pavimentos.	26
2.2.3. Sub rasante.	31
2.2.4. Sub base.....	32
2.2.5. Base.	36
2.2.6. Estabilización.	37
2.2.8. Capacidad soporte.	49
2.2.9. Ensayos de laboratorio.	51
2.3. Hipótesis.....	62
2.3.1. Hipótesis general.	62
2.3.2. Hipótesis específica.....	63
2.4. Definición de variables.....	63
2.4.1. Variables independientes.....	63
2.4.2. Variables dependientes.....	64
2.5. Operacionalización de variables.	65
Capítulo III: Metodología	66
3.1. Metodología de la investigación	66
3.1.1. Enfoque de la investigación.....	66
3.1.2. Nivel o alcance de la investigación.....	66



3.1.3. Método de investigación.....	67
3.2. Diseño de la investigación.....	67
3.2.1. Diseño metodológico.....	67
3.2.2. Diseño de ingeniería.....	68
3.3. Población y muestra.....	69
3.3.1. Población.....	69
3.3.2. Muestra.....	69
3.3.3. Criterios de inclusión.....	71
3.4. Instrumentos.....	73
3.4.1. Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos.....	73
3.4.2. Instrumentos de ingeniería.....	78
3.5. Recolección de datos.....	94
3.5.1. Muestreo, reducción, conservación, transporte y cuarteo de suelo.....	94
3.5.2. Ensayo de contenido de humedad de los suelos.....	97
3.5.3. Ensayo de análisis granulométrico de suelos por tamizado.....	100
3.5.4. Ensayo de límite líquido y límite plástico.....	103
3.5.5. Ensayo de proctor modificado.....	107
3.5.6. Ensayo de California Bearing Ratio (CBR).....	114
3.6. Análisis de datos y cálculo de resultados.....	121
3.6.1. Ensayo de contenido de humedad de los suelos.....	121
3.6.2. Ensayo de análisis granulométrico.....	123
3.6.3. Ensayo de límite de consistencia.....	127
3.6.4. Clasificación del suelo.....	129
3.6.5. Ensayo de proctor modificado.....	132
3.6.6. Ensayo de california bearing ratio (CBR).....	143



Capítulo IV: Resultados	162
4.1. Características del material de la cantera Sencca.	162
4.2. Ensayo de análisis granulométrico por tamizado.	162
4.3. Ensayo de límites líquido y límite plástico.	163
4.4. Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor modificado).....	163
4.5. Comparación de los valores de CBR de suelo natural y suelos con adición de sales cuaternarias de amonio líquido.	165
Capítulo V: Discusión.	167
Glosario.	170
Glosario siglas.	172
Conclusiones.	173
Recomendaciones.....	175
Bibliografía.....	178



Índice de tablas.

Tabla 1: Sistema de clasificación AASHTO.....	16
Tabla 2: Sistema unificado de clasificación de suelo - SUCS (basado en el material que pasa por el tamiz N° 75).....	19
Tabla 3: Tipo de suelo con su respectivo método de compactación	24
Tabla 4: Requisitos de calidad para capa sub rasante	32
Tabla 5: Categorías de sub rasante	32
Tabla 6: Requerimientos granulométricos para sub - base granular	34
Tabla 7: Requerimientos de ensayos especiales para sub base granular.....	36
Tabla 8: Volumen de cemento para estabilización según tipo de suelo.....	43
Tabla 9: Identificación y preparación por el fabricante	47
Tabla 10: Propiedades físicas y químicas	47
Tabla 11: Dosificación de Rocamix	49
Tabla 12: Dosificación de Rocamix	49
Tabla 13: Cantidad mínima de material húmedo seleccionado como representativo	51
Tabla 14: Serie de tamices para análisis granulométrico.	52
Tabla 15: Relación entre el grado de expansión y el límite líquido según Dakshamurthy y Román (1973).....	53
Tabla 16: Método de ensayo de próctor modificado.....	57
Tabla 17: Clasificación y uso del suelo según el valor de CBR	62
Tabla 18: Cuadro de operacionalización de variables.....	65
Tabla 19: Recolección de datos – ensayo de contenido de humedad.....	73
Tabla 20: Recolección de datos – ensayo de análisis granulométrico por tamizado	74
Tabla 21: Recolección de datos – ensayo de límite líquido y plástico.....	75
Tabla 22: Recolección de datos – ensayo de proctor modificado.	76
Tabla 23: Recolección de datos – ensayo de CBR.....	77
Tabla 24: Masa mínima recomendada de espécimen para contenido de humedad.....	97
Tabla 25: Datos para contenido de humedad.	99
Tabla 26: Datos para análisis granulométrico.	102
Tabla 27: Datos para límites de consistencia.	106



Tabla 28: Datos para próctor estado natural.....	109
Tabla 29: Datos para próctor de suelo con aditivo de 0.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.	110
Tabla 30: Datos para próctor de suelo con aditivo de 1.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.	111
Tabla 31: Datos para próctor de suelo con aditivo de 1.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.	112
Tabla 32: Datos para próctor de suelo con aditivo de 2.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.	113
Tabla 33: Datos de california bearing ratio (CBR) de suelo natural.	116
Tabla 34: Datos de california bearing ratio (CBR) de suelo con adición de 0.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.	117
Tabla 35: Datos de california bearing ratio (CBR) de suelo con adición de 1.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.	118
Tabla 36: Datos de california bearing ratio (CBR) de suelo con adición de 1.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.	119
Tabla 37: Datos de california bearing ratio (CBR) de suelo con adición de 2.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.	120
Tabla 38: Cálculo del contenido de humedad de la muestra.	122
Tabla 39: Cálculo del análisis granulométrico.	125
Tabla 40: Gradación de las muestras de ensayo.	126
Tabla 41: Límite líquido para el suelos de la cantera de Sencca.	128
Tabla 44: Sistema de clasificación AASHTO.	131
Tabla 43: Cálculo de próctor modificado de suelo natural.	133
Tabla 44: Densidad seca máxima y contenido de humedad óptimo del suelo natural.	134
Tabla 45: Cálculo de proctor modificado de suelo con aditivo de 0.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.	135
Tabla 46: Densidad seca máxima y contenido de humedad óptimo del suelo con aditivo de 0.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.	136
Tabla 47: Cálculo de proctor modificado de suelo con aditivo de 1.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.	137



Tabla 48: Densidad seca máxima y contenido de humedad óptimo del suelo con aditivo de 1.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.....	138
Tabla 49: Cálculo de proctor modificado de suelo con aditivo de 1.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.....	139
Tabla 50: Densidad seca máxima y contenido de humedad óptimo del suelo con aditivo de 1.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.....	140
Tabla 51: Cálculo de proctor modificado de suelo con aditivo de 2.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.....	141
Tabla 52: Densidad seca máxima y contenido de humedad óptimo del suelo con aditivo de 2.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.....	142
Tabla 53: Máxima densidad seca.	142
Tabla 54: Cálculo del CBR de un suelo natural.	146
Tabla 55: Tabla de correcciones del CBR de un suelo natural.	148
Tabla 56: Tabla de densidad –CBR del suelo natural.	148
Tabla 57: CBR de un suelo con adición de 0.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.....	149
Tabla 58: Tabla de correcciones del cbr de un suelo con adición de 0.5% de sales cuaternarias de amonio líquido natural.	151
Tabla 59: Tabla de densidad –CBR del suelo con adición de 0.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.....	151
Tabla 60: CBR de un suelo con adición de 1.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.....	152
Tabla 61: Tabla de correcciones del CBR del suelo con adición de 1.0% de sales cuaternarias de amonio líquido natural.	154
Tabla 62: Tabla de densidad –CBR del suelo con adición de 1.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.....	154
Tabla 63: CBR de un suelo con adición de 1.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.....	155
Tabla 64: Tabla de correcciones del CBR del suelo con adición de 1.5% de sales cuaternarias de amonio líquido natural.	157
Tabla 65: Tabla de densidad –CBR del suelo con adición de 1.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.....	157
Tabla 66: CBR de un suelo con adición de 2.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.....	158



Tabla 67: Tabla de correcciones del CBR del suelo con adición de 1.5% de sales cuaternarias de amonio líquido natural.	160
Tabla 68: Tabla de densidad –CBR del suelo con adición de 1.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.....	160
Tabla 69: CBR al 100% y 95%	161
Tabla 70: Características del suelo natural.....	162
Tabla 71: Resultados de los Límites de consistencia.	163
Tabla 72: Máxima densidad seca y humedad óptima.	163
Tabla 73: Máxima densidad seca y CBR	165
Tabla 74: Clasificación de los suelos metodología AASTHO / SUCS / Rocamix.	192
Tabla 75: Advertencias.....	193
Tabla 76: Trabajos preparatorios en laboratorio.	194
Tabla 77: Trabajos en obra.....	195



Índice de figuras.

Figura 1: Perfil del suelo (en geotecnia).	14
Figura 2: Rango de límite líquido y plástico para suelos de los grupos A -2, A-4, A-5, A-6, A-7 17	
Figura 3: Rango de límite los grupos A -2, A-4. A-5, A-6, A-7	20
Figura 4: Diagrama de flujo para nombres de los grupos de grava y arena del suelo.....	21
Figura 5: Diagrama de flujo de nombres de los grupos para limo inorgánico y suelos arcillosos.	22
Figura 6: Diagrama de flujo de nombres de los grupos para limoso orgánico y suelos arcillosos	23
Figura 7: Estructura de pavimentos.....	27
Figura 8: Estructura de un pavimento flexible	28
Figura 9: Estructura de pavimento	29
Figura 10: Esquema de comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos.....	30
Figura 11: Cargas distribuidas en un pavimento flexible y rígido	30
Figura 12: Rangos granulométricos para materiales de sub base y base granular	34
Figura 13: Rangos granulométricos para materiales de sub base y base granular	35
Figura 14: Clasificación de suelos AASTHO / SUCS / Rocamix.....	48
Figura 15: Muestra del suelo.....	54
Figura 16: Aparato Manual Para Límite Líquido.....	55
Figura 17: Índice de plasticidad.	57
Figura 18: Molde cilíndrico de próctor modificado	58
Figura 19: Curva de compactación del próctor modificado.....	59
Figura 20: Determinación de CBR.....	60
Figura 21: Aparato de CBR.....	61
Figura 22: Diseño de ingeniería	68
Figura 23: Balanza electrónica.....	82
Figura 24: Recipiente metálico.	82
Figura 25: Agua potable.....	83
Figura 26: Cocina industrial para el secado de material.	83
Figura 27: Mezcladora grande.....	84
Figura 28: Badilejo.....	84
Figura 29: Recipiente metálico.	85
Figura 30: Envase para almacenar agua.....	85



Figura 31: Acalanador.....	86
Figura 32: Copa de casagrande.	86
Figura 33: Ranurador.	87
Figura 34: Vidrio Grueso esmerilado.....	87
Figura 35: Taras para almacenar muestras.....	88
Figura 36: Brocha.....	88
Figura 37: Martillo de goma.....	89
Figura 38: Regla metálica.	89
Figura 39: Bandeja.	90
Figura 40: Horno de secado.(T° = 110 °C +/- 5 °C).....	90
Figura 41: Serie de Tamices de mallas cuadradas.....	91
Figura 42: Martillo.	91
Figura 43: Espátula.....	92
Figura 44: Tamiz #10	92
Figura 45: Vástago.	93
Figura 46: Molde próctor.	93
Figura 47: Regla metálica.	94
Figura 48: Cantera Sencca – Poroy.....	95
Figura 49: Método del cuarteo de la muestra.....	96
Figura 50: Toma de muestra de la cantera Sencca – Poroy.	96
Figura 51: Peso de la muestra para el porcentaje de humedad.....	98
Figura 52: Cuarteo de muestra para análisis granulométrico.....	100
Figura 53: Tamizado de material.	101
Figura 54: Porción representativa para límites líquido y plástico.	103
Figura 55: Colocación de muestra en la copa Casagrande.....	105
Figura 56: Elaboración de los cilindros de muestra.	105
Figura 57: Mezclado del aditivo con el suelo.	108
Figura 58: Compactado del material.	108
Figura 59: Penetración de la muestra.	115
Figura 60: Curva granulométrica del material de la cantera de Sencca.	126
Figura 61: Curva de fluidez.....	129



Figura 62: Curva granulométrica- D10, D30 Y D60	130
Figura 63: Diagrama de flujo para nombres de los grupos de arena del suelo.	131
Figura 64: Gráfica de próctor modificado para suelo natural.	134
Figura 65: Gráfica de proctor modificado para suelo adicionado con 0.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.....	136
Figura 66: Gráfica de proctor modificado para suelo adicionado con 1.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.....	138
Figura 67: Gráfica de proctor modificado para suelo adicionado con 1.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.....	140
Figura 68: Gráfica de proctor modificado para suelo adicionado con 2.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.....	142
Figura 69: Gráfica de la expansión del suelo natural.	147
Figura 70: Gráfica de penetración - esfuerzo del suelo natural.....	147
Figura 71:Gráfica de la densidad – CBR del suelo natural.	148
Figura 72: Gráfica de la expansión del suelo con adición 0.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.....	150
Figura 73: Gráfica de penetración - esfuerzo del suelo con adición 0.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.....	150
Figura 74: Gráfica de la densidad – CBR del suelo con adición de 0.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.....	151
Figura 75: Gráfica de la expansión del suelo con adición de 1.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.....	153
Figura 76: Gráfica de penetración - esfuerzo del suelo con adición de 1.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.....	153
Figura 77: Gráfica de la densidad – CBR del suelo con adición de 1.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.....	154
Figura 78: Gráfica de la expansión del suelo con adición de 1.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.....	156
Figura 79: Gráfica de penetración - esfuerzo del suelo con adición de 1.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.....	156



Figura 80: Gráfica de la densidad – CBR del suelo con adición de 1.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.....	157
Figura 81: Gráfica de la expansión del suelo con adición de 2.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.....	159
Figura 82: Gráfica de penetración - esfuerzo del suelo con adición de 2.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.....	159
Figura 83: Gráfica de la densidad – CBR del suelo con adición de 2.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.....	160
Figura 84: Curva granulométrica del material de la cantera de Sencca.	162
Figura 85: Densidad máxima seca del suelo.	164
Figura 86: Contenido de humedad óptimo del suelo.....	164
Figura 87: Comparación del CBR del suelo.....	165
Figura 88: CBR máximo del suelo.....	166
Figura 89: Mezcla de la solución 1	192
Figura 90: Mezcla de la solución 2	192



Capítulo I: Planteamiento del problema.

1.1. Identificación del problema.

1.1.1. Descripción del problema.

En los procesos de conformación de las diferentes capas que constituyen los pavimentos flexibles en nuestra región de Cusco, actualmente vienen realizándose de manera tradicional, sin que en ellas se utilicen nuevas tecnologías y/o metodologías, empleando material para sub - base de la cantera Sencca del distrito de Poroy, por lo cual ésta tesis pretende contribuir con el propósito de promover la utilización de nuevas tecnologías y/o metodologías, dentro de las cuales está la utilización de sales cuaternarias de amonio líquido como aditivo para la capa de sub – base en los pavimentos flexibles.

Y como resultado del empleo de tecnología tradicional se observa que con el paso del tiempo se presenta daños dentro de la estructura del pavimento existiendo fallas de los pavimentos flexibles, de una inspección visual en campo se puede observar en gran proporción fallas como: piel de cocodrilo, peladuras, severidad moderada, y en menor proporción fallas como: fisuramientos, hundimientos, baches, etc.

Según el manual de carreteras especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013 y DG - 2018 publicado por el MTC, menciona que para la conformación de la sub base, y en caso de utilizar un material que no cumpla con los parámetros exigidos, se debe recurrir a la aplicación de cualquier método de estabilización descrito.

Por lo tanto, se propone mejorar el material procedente de la cantera de Sencca del distrito de Poroy, adicionado con las sales cuaternarias de amonio líquido respecto al peso del suelo, para optimizar el valor de capacidad de soporte y densidad máxima de la base y sub base de un pavimento urbano.

En la actualidad no existe un estudio de evaluación de las características geomecánicas del material de la cantera Sencca - Poroy para sub - base adicionado con sales cuaternarias de amonio líquido, por lo que no existe datos estadísticos que sirvan de referencia para la conformación de sub – base de las estructuras de los pavimentos utilizando este tipo de aditivo (Sales cuaternarias de amonio líquido).



1.1.2. Formulación del problema.

1.1.2.1. Formulación del problema general.

¿Cómo varían las características geomecánicas, tales como capacidad de soporte, densidad máxima seca, del material de la cantera Sencca – Poroy, adicionando sales cuaternarias de amonio líquido en concentraciones de 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0%?

1.1.2.2. Formulación de los problemas específicos.

1.1.2.2.1. Problema específico N° 01.

¿Las características geomecánicas del material de la cantera Sencca – Poroy cumplen con las especificaciones técnicas de la Norma CE.010 (pavimentos urbanos) para ser utilizado como sub base del pavimento?

1.1.2.2.2. Problema específico N° 02.

¿Cuál será la capacidad de soporte (CBR, densidad máxima seca) del material de la cantera Sencca – Poroy para sub base, adicionando sales cuaternarias de amonio líquido en concentraciones de 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0%, frente a un material sin adición?

1.1.2.2.3. Problema específico N° 03.

¿Cuál es la concentración óptima en porcentaje de las sales cuaternarias de amonio líquido que se debe de adicionar al material de la cantera Sencca – Poroy, para sub – base?

1.2. Justificación e importancia de la investigación.

1.2.1. Justificación técnica.

La presente tesis busca evaluar, el comportamiento de las propiedades geomecánicas del material de la cantera de Sencca – Poroy, en estado natural con la finalidad de poder determinar, contenido de humedad, granulometría de los suelos, clasificación de suelos según la normativa AASHTO y SUCS, límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, densidad máxima seca, capacidad de carga. Asimismo, evaluar el comportamiento de la densidad máxima seca, capacidad de carga, adicionando sales cuaternarias de amonio líquido dentro del proceso de conformación de sub - base para pavimentaciones, verificando el cumplimiento de lo indicado en la normativa vigente del MTC – 2013, sección 402 de las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras con RD N° 22-2013-MTC/14, DG – 2018, ASTM, AASHTO, CE.010 para pavimentos urbanos, para sub - base.



La finalidad de la investigación, mediante los resultados obtenidos es mejorar la calidad de la sub - base dentro de las estructuras de pavimentos. Asimismo, estos resultados, servirán como pautas para futuras investigaciones relacionados al mejoramiento de sub - base, de esta manera se pueda garantizar la vida útil de las estructuras de pavimentos para los cuales fueron proyectadas estas estructuras.

El análisis de las propiedades geomecánicas del material de la cantera Sencca - Poroy en estado natural, así como adicionando sales cuaternarias de amonio, está comprendido dentro del área de la geotecnia (suelos), que pertenece a una de las ramas de la Ingeniería Civil.

1.2.2. Justificación social.

La investigación tendrá un impacto social, no solo en los profesionales entendidos del tema como son: docentes, estudiantes, profesionales de Ingeniería Civil, debido a que los resultados obtenidos con dicha investigación serán utilizados como datos estadísticos para futuras investigaciones.

Así como también será en beneficio de toda la sociedad, ya que mediante la investigación se realizarán capas de sub - base acordes al diseño según la norma técnica peruana CE. 010, lo cual generará vías pavimentadas más duraderas con una mejor calidad de vida y un desarrollo económico sostenible para cada uno de los usuarios que usen vías con este tipo de sub - base, dentro de la estructura del pavimento.

Es aplicable en nuestra sociedad, debido a que los resultados obtenidos por la presente investigación, servirán como pautas para los procesos de conformación de sub - base, en la ejecución de obras de pavimentación, ya que está orientado a mejorar la calidad de la sub - base dentro de las estructuras de los pavimentos y como consecuencia mejorar la calidad de vida a través de las mejoras económicas de todos los inmuebles que se encuentren alrededor de pavimentaciones que cuenten con este tipo de sub - base.

1.2.3. Justificación por viabilidad.

La investigación es viable, debido a que se cuenta con un laboratorio particular “UNITEST S.A.C” que cuenta con equipos bien calibrados, para realizar todos los ensayos de laboratorio que requiera esta investigación. Además, se cuenta con el material de la cantera Sencca - Poroy la disposición del material es inmediata ya que se cuenta con todas las facilidades de acceso hacia la cantera y la extracción del material será de manera voluntaria sin ningún tipo de restricciones.



Económicamente es viable, debido a que dicha investigación no requiere de un gran presupuesto, ya que se cuenta con los equipos y materiales para realizar todas las pruebas (ensayos de laboratorio) que requiere esta investigación y de esta manera obtener todos los resultados pertinentes para alcanzar los objetivos planteados para la presente investigación.

1.2.4. Justificación por relevancia.

Se evaluará aspectos fundamentales como las propiedades geomecánicas, densidad máxima seca, capacidad de carga, del material de la cantera de Sencca – Poroy, adicionando sales cuaternarias de amonio líquido, en vista de que este material es utilizado en la conformación de sub - base. La investigación, impulsará la metodología de ensayos de cbr con muestras re moldeadas, para la determinación de la capacidad de carga de un suelo adicionando sales cuaternarias de amonio líquido.

La presente tesis describirá el comportamiento del material de la cantera de Sencca – Poroy adicionando sales cuaternarias de amonio líquido, dentro de los procesos de conformación de sub - base para pavimentaciones. Asimismo, impulsará la utilización de nuevas tecnologías y/o metodologías en la conformación de sub – base.

1.3. Limitaciones de la investigación.

1.3.1. Limitaciones técnicas.

La presente investigación, técnicamente está limitada a evaluar las características geomecánicas del suelo en estado natural, así mismo se evaluará la densidad máxima seca, capacidad de carga del material de la cantera de Sencca – Poroy adicionando sales cuaternarias de amonio líquido en concentraciones de 0.5 %, 1.0 %, 1.5 %, 2.0 %.

1.3.2. Limitaciones de material.

La presente investigación, está limitada a emplear única y exclusivamente material de la cantera Sencca – Poroy para realizar todas las pruebas de laboratorio requeridas por dicha investigación. También está limitada en el empleo del aditivo ya que únicamente se emplea sales cuaternarias de amonio líquido.



1.3.3. Limitaciones de equipos.

La presente investigación, requiere el uso exclusivo de equipos, que puedan realizar estudio de suelos, mas no se puede emplear equipos de concreto, hidráulica, pavimentos, etc.

Los equipos de laboratorio empleados para la investigación son: juego de tamices, copa Casagrande, proctor modificado, balanza, horno, moldes para CBR todos estos equipos pertenecen a un laboratorio particular “UNITEST S.A.C” y se encuentran debidamente calibradas para realizar los ensayos.

1.3.4. Limitaciones de extensión.

La presente investigación, está únicamente orientada a la capa de sub – base, más no es aplicable a las demás capas (sub – rasante, base, carpeta de rodadura, etc.) que conforman las estructuras de los pavimentos flexibles.

1.3.5. Limitaciones de especialidad.

La presente investigación, su aplicación está limitada únicamente para el área de geotecnia (suelos) dentro de la rama de la Ingeniería Civil.

1.3.6. Limitaciones de normatividad.

La presente investigación, está limitada normativamente debido a que, en esta investigación, únicamente se empleara la siguiente reglamentación:

- ❖ Manual de diseño de carreteras DG-2018
- ❖ Reglamento nacional de edificaciones.
- ❖ Norma técnica CE.010 pavimentos urbanos.
- ❖ Manual de carreteras especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013

1.4. Objetivos de la investigación.

1.4.1. Objetivo general.

Evaluar las características geomecánicas tales como capacidad de soporte (cbr), densidad máxima seca, humedad óptima y otros, del material de la cantera Sencca - Poroy, adicionando sales cuaternarias de amonio líquido en concentraciones de 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%.



1.4.2. Objetivos específicos.

1.4.2.1. Objetivo específico N° 01.

Evaluar si las características geomecánicas del material de la cantera de Sencca – Poroy, cumplen con las especificaciones técnicas de la norma CE.010 para ser utilizado como sub – base del pavimento flexible.

1.4.2.2. Objetivo específico N° 02.

Evaluar la capacidad de soporte (cbr, densidad máxima seca) del material de la cantera de Sencca – Poroy para sub – base, adicionando sales cuaternarias de amonio líquido, en concentraciones de 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, frente a un material sin adición.

1.4.2.3. Objetivo específico N° 03.

Evaluar la concentración óptima en porcentaje de las sales cuaternarias de amonio líquido que se debe de adicionar al material de la cantera de Sencca – Poroy para sub – base.



Capítulo II: Marco teórico

2.1. Antecedentes de la tesis o investigación actual.

2.1.1. Antecedentes a nivel internacional.

Título: “Influencia de la actividad de las arcillas en la estabilización de suelos con sales cuaternarias de amonio en Cuba”

- Institución: Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría (CUJAE)
- Autores: Juan Mario Junco del Pino, Eduardo Tejeda Piusseaut
- Lugar: Cuba
- Fecha: 2014

Resumen:

Como parte de las investigaciones que se realizan en Cuba con el empleo de sales cuaternarias de amonio, como aditivo para la estabilización de los suelos de subrasante de carreteras, denominado Sistema Rocamix, se muestran los resultados obtenidos con el producto en varios trabajos ejecutados, con diferentes suelos, clasificados todos dentro de los grupos A-6 o A-7 (según AASTHO); y en los cuales este tipo de estabilización ha sido apreciablemente efectiva.

Se aprecia en los análisis realizados, que son evidentes los incrementos de la resistencia en los suelos arcillosos, sin embargo, estos aumentos no se logran siempre en la misma proporción, a pesar de que la carta de Plasticidad de Casagrande los clasifica dentro del mismo grupo. Se ha encontrado buena correlación entre el incremento de la resistencia a CBR y el Índice de Actividad de la Arcilla, lo que explica las diferencias encontradas en el aumento de resistencia.

Conclusiones:

- ✓ La estabilización química con el aditivo Rocamix, ha demostrado ser efectiva en los suelos con apreciable contenido de arcilla. La clasificación de estos suelos mediante la carta de plasticidad de Casagrande no ha sido suficiente para explicar los incrementos experimentados, siendo más adecuado considerar la carta de actividad de Polidori, que propone clasificar los suelos finos, añadiendo a los límites de consistencia, la actividad de las arcillas.
- ✓ Se ha comprobado que se produce un evidente incremento en el índice de CBR, cuando se aplica el aditivo, y es posible poder predecir la variación esperada en la resistencia, ya que se ha encontrado una buena correlación entre el incremento de resistencia a CBR y el Índice de Actividad de la Arcilla.



- ✓ De ahí que se recomienda determinar la actividad de los finos del suelo antes de acometer un trabajo de estabilización química con sales cuaternarias de amonio, por la influencia que tendrá este factor en el resultado final de la capacidad soporte del suelo estabilizado. Actualmente se continúa trabajando con cada suelo utilizado, para corroborar estas experiencias.

Título: “Estabilización del suelo extraído de la cantera la manuela (Mariel) utilizando el sistema nuevo Rocamix líquido.”

- Institución: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría
- Autores: Irene Mejica Alfonso
- Lugar: Ciudad de La Habana - Cuba
- Fecha: 2010

Resumen:

En el siguiente trabajo se refleja el estudio y los resultados obtenidos en el tratamiento preliminar (estabilización o mejoramiento) de un suelo sobre el cual serán erigidas diferentes tipos de obras sociales, con la utilización de un estabilizador químico conocido como Nuevo ROCAMIX Líquido. Este estabilizador ha sido difundido en distintas partes del mundo debido a la eficiencia y los resultados favorables que se han obtenido luego de su aplicación.

Basado en los ensayos de laboratorio realizados al suelo, se determinaron las propiedades físicas y mecánicas del mismo antes y después de aplicado el aditivo, con lo que se demuestra que el sistema Nuevo ROCAMIX Líquido aumenta considerablemente la resistencia del suelo y mejora sus propiedades mecánicas en general.

De manera general, se abordan también otros tipos de estabilizadores que reflejan la gran variedad de formas en las que se ha tratado el suelo en el sector de la construcción.

Conclusión:

- ✓ Como ha podido comprobarse el suelo proveniente de la cantera La Manuela, que como se ha dicho, se encuentra en el Mariel es un suelo con un peso específico bastante bajo y según su clasificación es A-2-7(0). Como muestran los resultados obtenidos que mejoran considerablemente las propiedades mecánicas del mismo con la aplicación del aditivo. Aumentan significativamente los valores del Índice de soporte, de resistencia a compresión axial, así como disminuye la capilaridad de la muestra. Resulta muy interesante, según la opinión del autor, que al aplicar el aditivo Nuevo ROCAMIX Líquido, puede apreciarse,



simplemente al tacto o por simple inspección visual la dureza de las probetas, así como el cambio de coloración en cada muestra preparada.

- ✓ De esta forma, se demuestra que el producto Nuevo ROCAMIX Líquido es capaz de mejorar notablemente las propiedades del suelo de la cantera La Manuela del municipio Mariel, cumpliéndose así las hipótesis planteadas en esta investigación.

2.1.2. Antecedentes a nivel nacional.

Título: “Efecto del aditivo Rocamix sobre la capacidad de resistencia de un suelo arcilloso empleado como material de subrasante”

- Institución: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Autores: Heidy Sotolongo Hernandez.
- Lugar: Lima
- Fecha: 2012

Resumen.

El trabajo trata sobre la estabilización química de un suelo arcilloso, utilizando el sistema Rocamix, técnica utilizada internacionalmente para el mejoramiento de los suelos, que ofrece ventajas económicas y un incremento significativo de la resistencia. Particularmente se aplicaron dos proporciones diferentes de Rocamix, al 50% y al 100% de la dosis que usualmente se ha aplicado en trabajos precedentes, estableciéndose una comparación entre los resultados obtenidos con estas dos variantes, para tener una referencia para futuros trabajos de estabilización. Se concluye sobre los efectos provocados en el suelo, en relación con el incremento de resistencia, obtenidos con estas dos variantes en el mejoramiento de una subrasante.

Conclusiones.

- ✓ Seguir trabajando en las diferentes dosis con vistas a buscar reservas que pudiesen satisfacer los logros que se requieren.
- ✓ Resultados de absorción capilar más económicos y que logren mejores resultados.
- ✓ Cuando se trabaje con el estabilizador Rocamix, identificar valores de la actividad de la arcilla por la importancia de esto en los resultados.
- ✓ Se aumentó el valor de CBR cumpliendo con las exigencias para subrasantes.
- ✓ El espesor de subrasante disminuye con el suelo estabilizado.



Título: “Estabilización de talud con sistema ErdoX en taludes de carreteras”

- Institución: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Autores: César Augusto Urteaga Posadas
- Lugar: Lima
- Fecha: 2017

Resumen:

En el país se presentan frecuentemente problemas de inestabilidad de taludes, esto debido al accidentado relieve existente en diversas zonas del país, además de las fallas geológicas que puedan existir en determinadas zonas; en algunos casos representan peligro para alguna determinada población, por lo cual es necesario que sean intervenidos por medio de sistemas constructivos adecuados para las características que se presenten en cada caso. El sistema ErdoX es un sistema nuevo en Perú para la contención de taludes, el cual presenta ventajas sobre la mayoría de métodos usados; por sus características, presenta similitudes con el sistema Terramesh (uno de los más usados en el país para la contención de taludes). En el proyecto de tesis, se presenta este nuevo sistema constructivo, sus características y procedimiento constructivo, asimismo los costos y rendimientos; los cuales son comparados con los sistemas de contención de taludes más usados en el país para poder apreciar los beneficios y ventajas que se pueden obtener con el sistema ErdoX, principalmente en los dos últimos, ya que estos son factores importantes a considerar al momento de elegir el sistema constructivo más adecuado para un determinado proyecto.

Conclusiones:

- ✓ Al ser este un sistema nuevo en el país, es muy poco conocido, por lo que se debería difundir más su uso, debido a los beneficios mencionados, en especial porque no solo favorece a la empresa constructora en costos y rendimientos, sino que también tiene impactos positivos para el medio ambiente y los pobladores de las zonas afectadas.
- ✓ En el caso del sistema Terramesh, como en el de otros sistemas de contención de taludes similares, es necesario transportar material estructural de mejores características para garantizar el correcto funcionamiento del sistema; sin embargo, si se encuentra en un proyecto en el cual transportar material de buena calidad implica no solo elevar los costos, sino que también se ven afectados los plazos por la lejanía de canteras que cuenten con material de las características necesarias. En este tipo de casos se resalta el beneficio del sistema ErdoX que no necesita transportar material de mejores características para la mayoría de casos.



- ✓ Los costos por m² de cada tipo de elemento ErdoX no varían significativamente, por lo que, al analizar una inestabilidad de talud, es mejor optar por los modelos reforzados, para así poder colocar la menor cantidad de elementos posible para asegurar la estabilidad del talud.
- ✓ El sistema, por lo general, no presenta complicaciones, al contactar con la empresa Odebrecht en el proyecto de la carretera IIRSA Sur, en los aproximadamente 15 casos de inestabilidad solucionados con este sistema, no se presentó ninguna complicación.

2.1.3. Antecedentes a nivel local.

Título: “Análisis de la Capacidad de Soporte (CBR) de la sub base para pavimentos flexibles estabilizada con Termoplástico Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS)”

- Institución: Universidad Andina del Cusco.
- Autores: Carol Sharmely Alarcón Nina, Jhonatan Zamalloa Bohorquez.
- Lugar: Cusco
- Fecha: 2016

Resumen:

El presente tema de investigación intenta desarrollar y demostrar la influencia que tiene la adición del termoplástico Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) como estabilizador al material granular de Sub base con un CBR = 51.04 % para pavimentos flexibles; de esta manera se agregaron diferentes porcentajes de termoplástico ABS: 1.5%; 2.5%; 3.5% y 4.5% del peso seco del material. De este modo, actuando en conjunto el material adicionado con dicho estabilizador (ABS); el pavimento logrará disipar las cargas impuestas por el tráfico (esfuerzos verticales) contribuyendo a nuestro objetivo principal que es incrementar su capacidad de soporte (CBR) y así evitar fallas por deformación permanente del pavimento además de dotar a la estructura un mayor tiempo de vida útil.

La razón por la que se optó por utilizar este aditivo para la presente investigación no fue solo por sus favorecedoras propiedades físicas y químicas, sino también por el interés de saber cómo actuará en suelos este tipo de plástico con fines ingenieriles. Además, que con el creciente mercado de las impresiones 3D y siendo el ABS el material que se usa para realizarlas, es muy probable que en el futuro tengamos muchos desechos de este material, es por eso que se busca un modo de reutilizar los mismos.



Para el desarrollo experimental del trabajo de investigación los elementos que conformaron nuestro diseño de Sub base fueron agregados de la cantera de Quillahuata y el termoplástico ABS (esferas con un diámetro de 3 mm) como agente estabilizante; todo esto para analizar la capacidad de soporte del material sub base. De esta forma concluimos que al adicionar el termoplástico ABS a partir de la dosificación de 2.5% del peso seco del material se reveló un mayor incremento de CBR en relación al material de Sub base sin aditivo.

Conclusiones:

- ✓ La adición del termoplástico ABS en porcentajes 2.5%, 3.5% y 4.5% optimiza considerablemente la capacidad de soporte (% CBR), así mismo la densidad.
- ✓ Debido a que la curva granulométrica no se encuentra dentro de los límites establecidos en la curva granulométrica dada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, así mismo los valores obtenidos en los ensayos de consistencia son superiores a los establecidos por el MTC.
- ✓ Ya que se observa que la densidad es inversamente proporcional a la adición de aditivo ABS.
- ✓ La capacidad de soporte del material de Sub base convencional se ve incrementada con la adición de 4.5% de ABS.

Ya que existe incertidumbre en saber si el porcentaje óptimo es de 4.5% de ABS, puesto que el presente tema de investigación no consideró mayores porcentajes a los establecidos y es por ello que se sugiere continuar con el análisis del material de Sub base de la cantera de Quillahuata adicionando mayores porcentajes de termoplástico ABS mayores a 4.5% y menores a 6%.

Título: Análisis del sistema Rocamix para la impermeabilización de suelos, en las presas Pituccocha y Yanamanca del distrito de Huarcocondo provincia Anta"

- Institución: Universidad San Antonio Abad del Cusco.
- Autores: Saida Suarez Ríos.
- Lugar: Cusco
- Fecha: 2015

Resumen:

El suelo en muchas ocasiones no cuenta con las propiedades ingenieriles para ser utilizado en la construcción y es por esto que se acude a la técnica de estabilización de suelos, con el objetivo de mejorar las propiedades tanto físicas como mecánicas del suelo. Esta Tesis de Investigación, se desarrolla sobre la base de un suelo limo arcilloso y por sectores con presencia de yesos y calizas



de la Formación Maras con el objetivo de determinar su comportamiento cuando es estabilizado con el Sistema ROCAMIX líquido, siendo necesario estudiar las características de estos suelos, mediante la utilización de ensayos de laboratorio.

Conclusiones:

- ✓ En conclusión, se analizaron para el suelo en su estado natural, la granulometría, la plasticidad, la humedad y el peso específico seco máximo para la Energía de compactación del Proctor modificado, la resistencia a la compresión simple, la resistencia a corte directo y el comportamiento del suelo en el ensayo a ascensión capilar.
- ✓ Para el suelo estabilizado con el Sistema ROCAMIX líquido se determinó la variación de la resistencia a compresión simple, al corte directo y la ascensión capilar. En el suelo de la formación maras cuando se somete al proceso de estabilización con el Sistema ROCAMIX líquido se evidencia un incremento en la resistencia a la compresión simple, mientras que los parámetros de resistencia a cortante (cohesión y fricción), aumentan notoriamente.

2.2. Aspectos teóricos pertinentes.

2.2.1. Suelo.

2.2.1.1. Definición de suelo.

Desde el punto de vista de la ingeniería, suelo es el sustrato físico sobre el que se realizan las obras, del que importan las propiedades físico-químicas, especialmente las propiedades mecánicas. Se diferencia del término roca al considerarse específicamente bajo este término un sustrato formado por elementos que pueden ser separados sin un aporte significativamente alto de energía. (Crespo Villalaz, 2004, pág. 18)

Se considera el suelo como un sistema multi - fase formada por:

- ✓ Fase sólida, que constituyen el esqueleto de la estructura del suelo.
- ✓ Fase líquida (generalmente agua).
- ✓ Fase gaseosa (generalmente aire) espacios vacíos

(Juárez Badillo & Rico Rodriguez, 2005, pág. 51)

La fase líquida y gaseosa del suelo suelen comprenderse en el Volumen de Vacíos, mientras que la fase sólida constituye el Volumen de Sólidos. (Juárez Badillo & Rico Rodriguez, 2005, pág. 51).



MECÁNICA DE SUELOS		VI Suelo con humus	Fábrica textural heredada. Zona de lixiviación susceptible a la erosión.
		V Suelo sin humus	
IV Completamente descompuesto		Fábrica textural y estructural. Zona de acumulación. Inicia el control estructural.	
III Altamente descompuesto			
II Parcialmente descompuesto		Fábrica estructural heredada.	
I Roca sana		Falla planar, en cuña o por caída.	
MECÁNICA DE GRANOS GRUESOS			
MECÁNICA DE ROCAS			

Figura 1: Perfil del suelo (en geotecnia).

Fuente: Duque Escobar & Escobar Potes, 2002, pág. 3

2.2.1.2. Origen y formación de los suelos.

La corteza terrestre es atacada principalmente por el aire y las aguas, siendo los medios de acción de estas sustancias sumamente variados. Sin embargo, en último análisis, todos los mecanismos de ataque pueden incluirse en dos grupos: desintegración mecánica y descomposición química. (Juárez Badillo & Rico Rodriguez, 2005, pág. 34)

El término desintegración mecánica se refiere a la intemperización de las rocas por agentes físicos, tales como cambios periódicos de temperatura, acción de la congelación del agua en las juntas y grietas de las rocas, efectos de organismo, plantas, etc. Por estos fenómenos las rocas llegan a formar arenas, limos y sólo en casos especiales de arcillas. (Juárez Badillo & Rico Rodriguez, 2005, pág. 34)

Por descomposición química se entiende la acción de agentes que atacan las rocas modificando su constitución mineralógica o química. El principal agente es desde luego, el agua y los mecanismos de ataque más importantes son la oxidación, la hidratación y la carbonatación. Todos los efectos anteriores suelen acentuarse con los cambios de temperatura, por lo cual es frecuente encontrar formaciones arcillosas de importancia en zonas húmedas y cálidas, mientras que son típicas de zonas más frías formaciones arenosas o limosas, más gruesas. (Juárez Badillo & Rico Rodriguez, 2005, pág. 34).



2.2.1.3. Clasificación de suelos.

2.2.1.3.1. Sistema de clasificación AASHTO.

Este sistema de clasificación de suelos fue desarrollado en 1929 como el Sistema de Clasificación de Administración de Carreteras. El sistema de clasificación AASHTO utilizado actualmente se muestra en la tabla N° 01. De acuerdo con este sistema el suelo se clasifica en siete grupos principales: A-1 a A-7. Los suelos que clasifican en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde el 35% o menos de las partículas pasan a través del tamiz núm. 200. Los suelos donde más de 35% pasa a través del tamiz núm. 200 se clasifican en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. Éstos son principalmente limo y materiales del tipo de arcilla. (Das Braja, 2001, pág. 78)

El sistema de clasificación se basa en los siguientes criterios:

➤ **Tamaño de grano grava:**

Fracción que pasa el tamiz de 75 mm y es retenida en el tamiz núm.10 (2 mm). (Das Braja, 2001, pág. 80)

➤ **Tamaño de arena:**

Fracción que pasa el tamiz núm. 10 (2 mm) y es retenida en el tamiz # 200 (0.075 mm). (Das Braja, 2001, pág. 80)

➤ **Tamaño de limo y arcilla:**

Fracción que pasa el tamiz núm. 200. (Das Braja, 2001, pág. 80)

➤ **Plasticidad:**

El término limoso se aplica cuando las fracciones finas del suelo tienen un índice de plasticidad de 10 o menos. El término arcilloso se aplica cuando las fracciones finas tienen un índice de plasticidad de 11 o más. (Das Braja, 2001, pág. 80)

Si se encuentran cantos y gujarros (tamaño mayor a 75 mm), se excluyen de la porción de la muestra de suelo en el que se hizo la clasificación. Sin embargo, se registra el porcentaje de este tipo de material. (Das Braja, 2001, pág. 80)



Tabla 1: Sistema de clasificación AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)			
	A-1		A-3 ^A	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite líquido	...		...	B				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		N.P.	B				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. ^B
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

^A La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2.

^B El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL-30.

Fuente: Das Braja, 2001, pág. 79



Para clasificar un suelo de acuerdo con la tabla N° 01, los datos de prueba se aplican de izquierda a derecha. Por proceso de eliminación, el primer grupo de la izquierda en la que quepan los datos de prueba es la clasificación correcta. La figura N° 02 muestra un gráfico del rango del límite líquido y el índice de plasticidad de los suelos que se dividen en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7. (Das Braja, 2001, pág. 80)

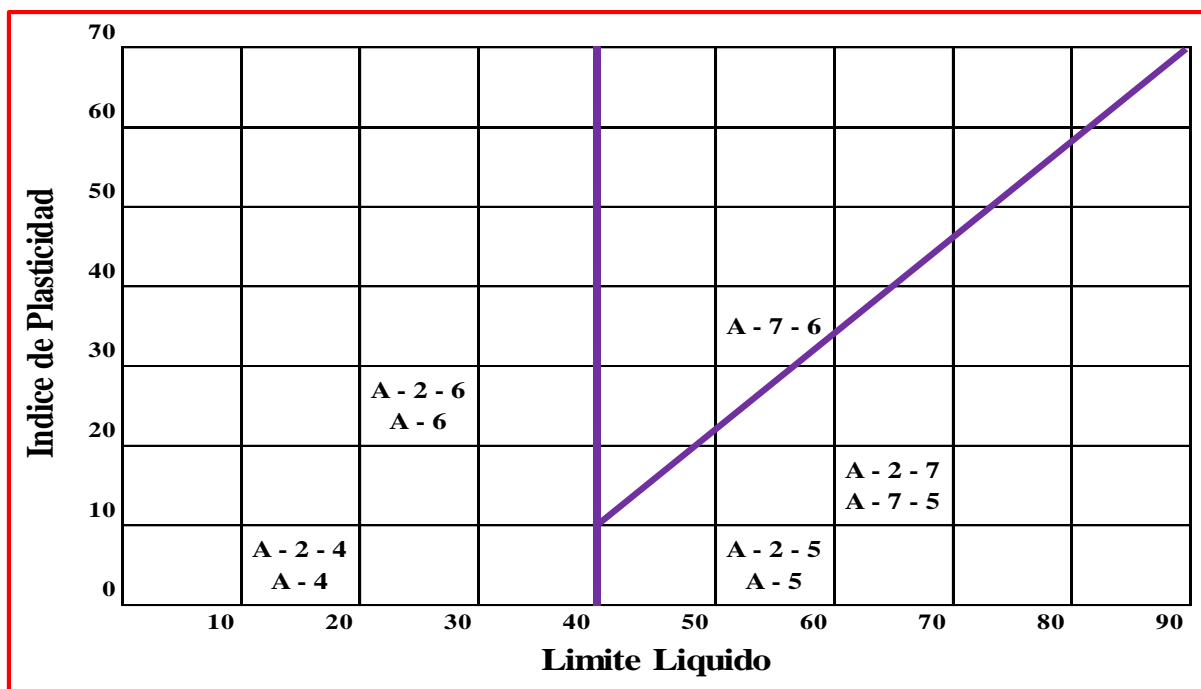


Figura 2: Rango de límite líquido y plástico para suelos de los grupos A -2, A-4, A-5, A-6, A-7

Fuente: Das Braja, 2001, pág. 80

Para la evaluación de la calidad de un suelo como un material de sub - base para carretera, también se incorpora un número llamado índice de grupo (IG) a los grupos y subgrupos del suelo. Este número se escribe entre paréntesis después de la designación del grupo o subgrupo.

El índice de grupo está dado por la siguiente ecuación: (Das Braja, 2001, pág. 81)

$$IG = (F - 35) [0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01 (F - 15) (PI - 10)$$

Dónde:

F = porcentaje pasado por el tamiz núm. 200

LL = límite líquido.

PI = índice de plasticidad.



A continuación, se presentan algunas reglas para la determinación del índice de grupo:

- ✓ Si la ecuación da un valor negativo para IG (Índice de grupo), se toma como 0.
- ✓ El índice de grupo calculado a partir de la ecuación, se redondea al número entero más próximo.
- ✓ No hay límite superior para el índice de grupo.
- ✓ El índice de grupo de los suelos que pertenecen a los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3 siempre es 0.
- ✓ Al calcular el índice de grupo para suelos que pertenecen a los grupos A-2-6 y A-2-7, utilice el índice de grupo parcial para PI, o IG. (Das Braja, 2001, pág. 81)

$$IG = 0.01 (F - 15) (PI - 10)$$

2.2.1.3.2. Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)

Se menciona que la forma original de este sistema fue propuesta por Casagrande en 1948. El sistema unificado de clasificación se presenta en la tabla N° 02 y clasifica los suelos en dos grandes categorías: (Das Braja, 2001, pág. 82)

1. Suelos de grano grueso que son de grava y arena en estado natural con menos de 50% que pasa a través del tamiz núm. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo de G o S. G es para el suelo de grava o grava, y S para la arena o suelo arenoso. (Das Braja, 2001, pág. 82)
2. Suelos de grano fino con 50% o más que pasa por el tamiz núm. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo de M, que es sinónimo de limo inorgánico, C para la arcilla inorgánica y O para limos orgánicos y arcillas. El símbolo Pt se utiliza para la turba, lodo y otros suelos altamente orgánicos. (Das Braja, 2001, pág. 82)

Otros símbolos que también se utilizan para la clasificación son:

- ✓ W: bien graduado.
- ✓ P: mal graduado.
- ✓ L: baja plasticidad (límite líquido menor de 50)
- ✓ H: alta plasticidad (límite líquido mayor de 50)

(Das Braja, 2001, pág. 82)



Tabla 2: Sistema unificado de clasificación de suelo - SUCS (basado en el material que pasa por el tamiz N° 75)

Tabla 4.2 Sistema unificado de clasificación de suelo (basado en el material que pasa por el tamiz núm. 75)				Símbolos de grupo	
Criterio para la asignación de símbolos de grupo					
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	Gravas Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz núm. 4	Gravas limpias	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	GW	
		Menos de 5% finos ^a	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^c$	GP	
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz núm. 4	Gravas con finos	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	GM	
		Más de 12% finos ^{ad}	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	GC	
		Arenas limpias	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	SW	
		Menos de 5% finos ^b	$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^c$	SP	
Suelos de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz núm. 200	Limos y arcillas Límite líquido menor que 50	Inorgánico	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2) ^e	CL	
		Orgánico	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2) ^e	ML	
	Limos y arcillas Límite líquido 50 o más	Inorgánico	Límite líquido: secado	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OL	OL
			Límite líquido: no secado		
		Orgánico	Gráficos PI en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	CH	
			Gráficos PI por debajo de "A" línea (figura 4.2)	MH	
Suelos altamente orgánicos		Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico		Pt	

^aGravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.
^bArenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.
^c $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$
^dSi $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo GC-GM o SC-SM.
^eSi $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo CL-ML.

Fuente: Das Braja, 2001, pág. 83

En suelos granulares la gradación, expresada numéricamente, la da el coeficiente de uniformidad C_u con el coeficiente de curvatura C_c . (Das Braja, 2001, pág. 83)

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} ; C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} \rightarrow \text{Bien gradado cuando } \begin{cases} C_u > 4 \text{ a } 6 \\ 1 < C_c < 3 \end{cases}$$

Cuanto más alto sea C_u , mayor será el rango de tamaños del suelo. Los D_i ; $i = 10, 30, 60$ son los tamaños de las partículas, para el cual el i % del material es más fino que ese tamaño. (Das Braja, 2001, pág. 84)

Para una clasificación adecuada se debe considerarse:

1. Porcentaje de grava, esto es, la fracción que pasa el tamiz de 76.2 mm y retenida en el tamiz núm. 4 (4.75 mm de apertura)
2. El porcentaje de arena, es decir, la fracción que pasa el tamiz núm. 4 (4.75 mm de apertura) y es retenida en el tamiz núm. 200 (0.075 mm de apertura)
3. El porcentaje de limo y arcilla, esto es, la fracción más fina que el tamiz núm. 200 (0.075 mm de apertura)
4. El coeficiente de uniformidad (C_u) y el coeficiente de curvatura (C_c)
5. El límite líquido y el índice de plasticidad de la porción de suelo que pasa el tamiz N° 40.

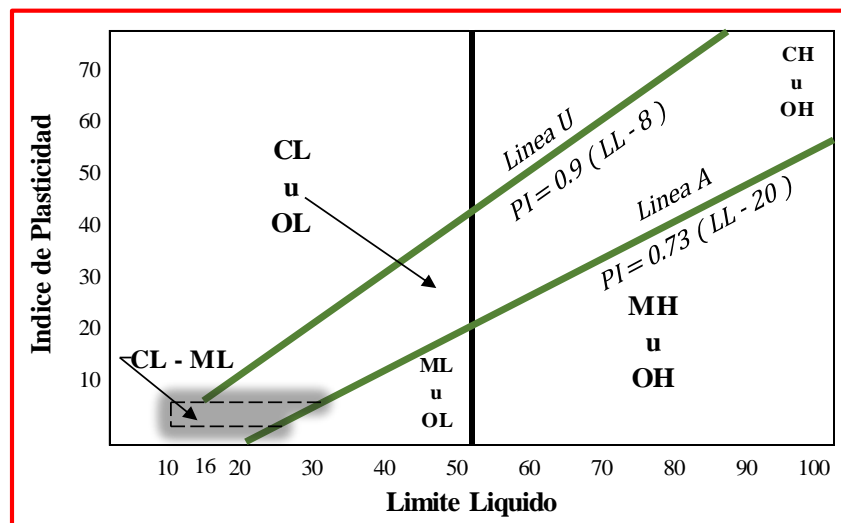


Figura 3: Rango de límite los grupos A -2, A-4, A-5, A-6, A-7

Fuente: Das Braja, 2001, pág. 84

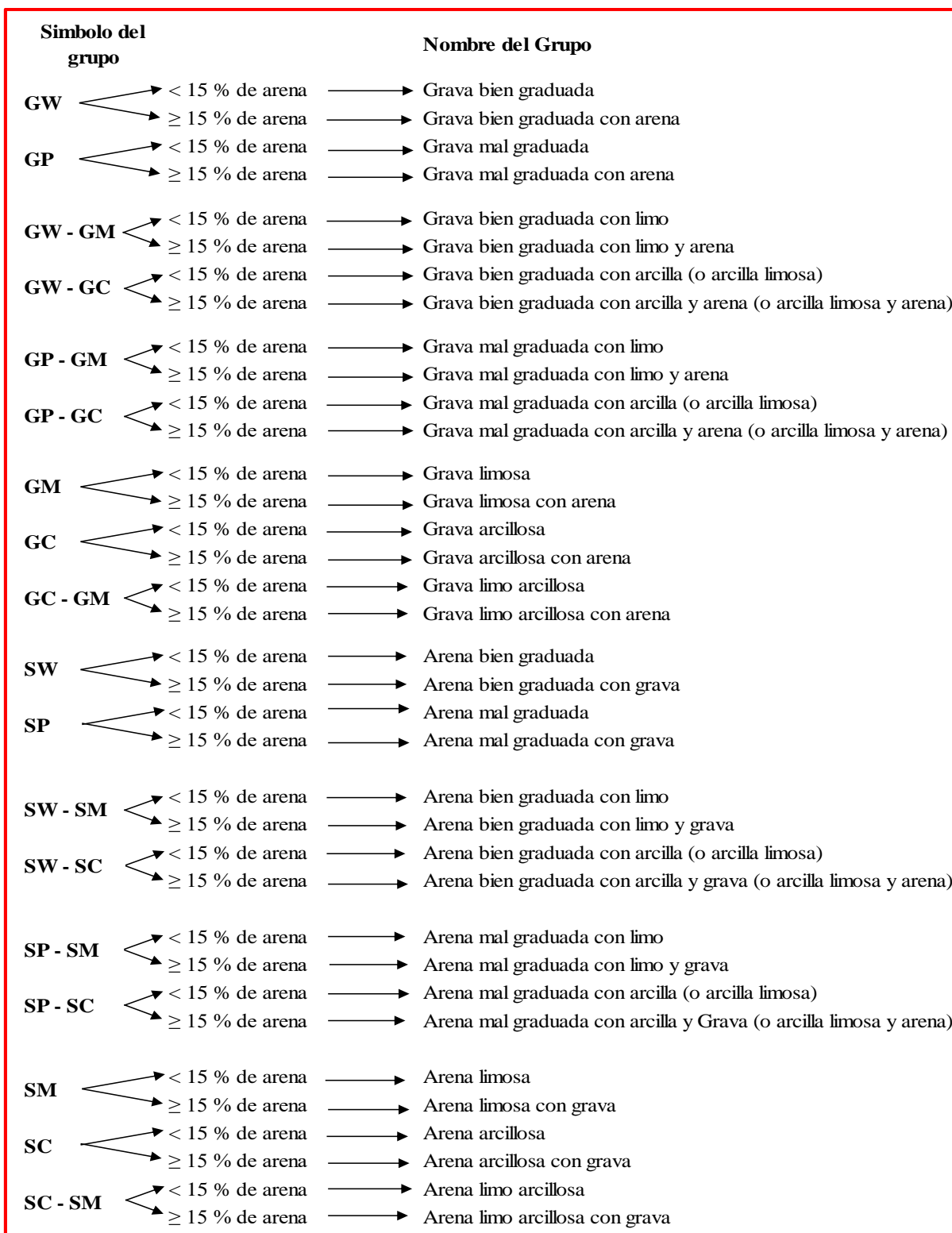


Figura 4: Diagrama de flujo para nombres de los grupos de grava y arena del suelo

Fuente: Das Braja, 2001, pág. 85

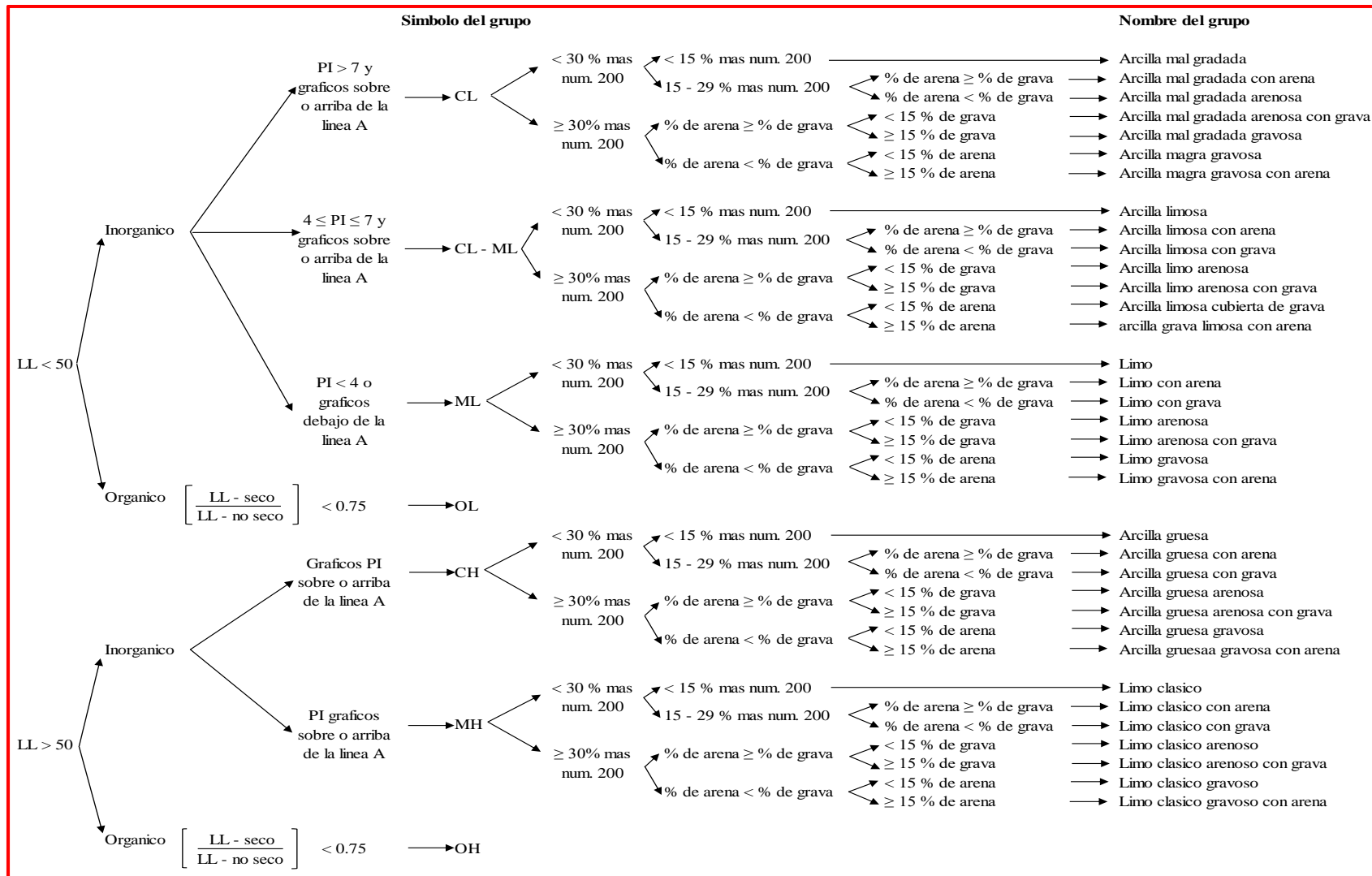


Figura 5: Diagrama de flujo de nombres de los grupos para limo inorgánico y suelos arcillosos

Fuente: Das Braja, 2001, pág. 86

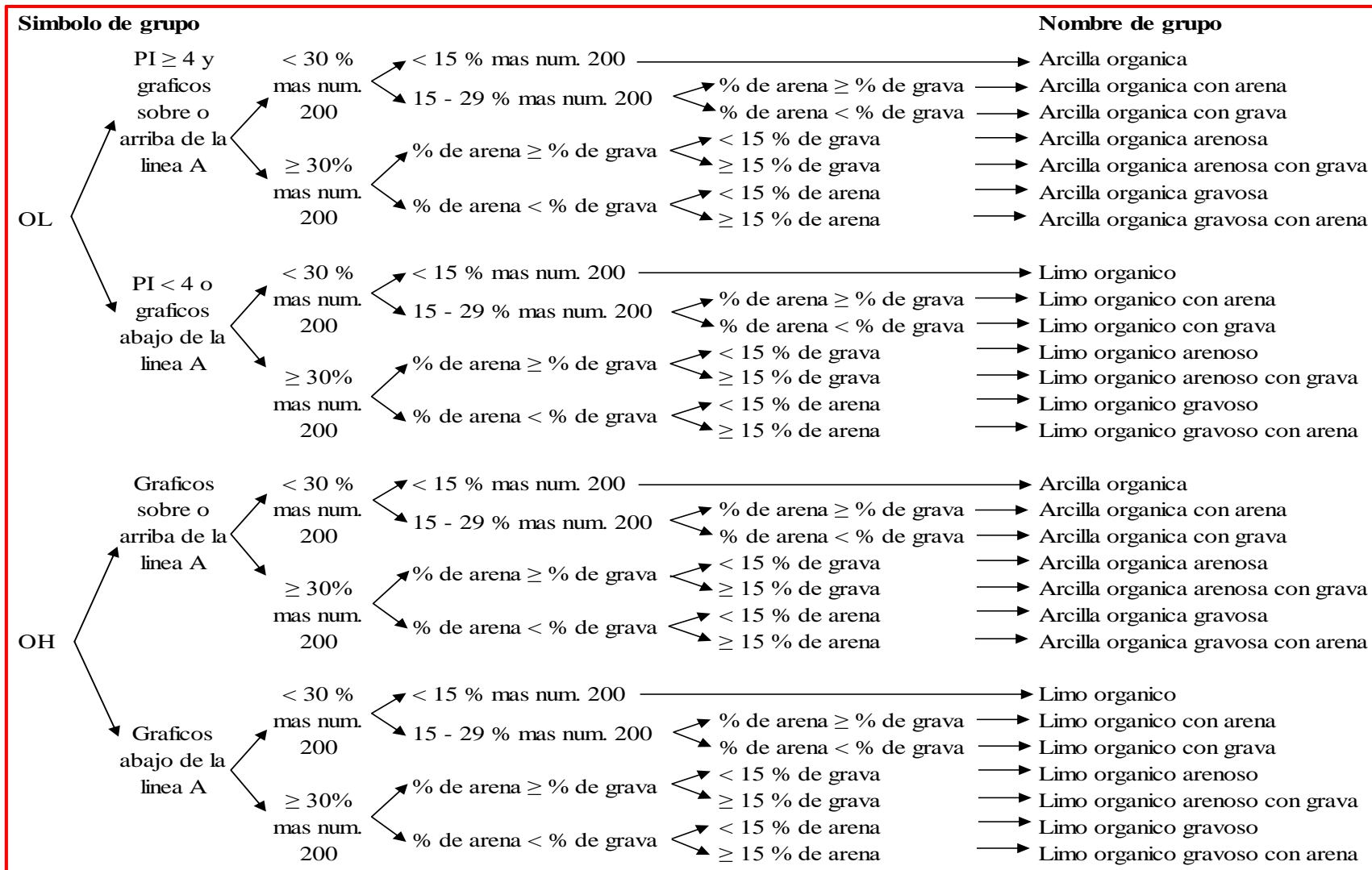


Figura 6: Diagrama de flujo de nombres de los grupos para limoso orgánico y suelos arcillosos

Fuente: Das Braja, 2001, pág. 87



2.2.1.4. Compactación de suelos.

Se entenderá por compactación al proceso mecánico mediante el cual se disminuye los vacíos dentro de una masa de suelo, obligando a las partículas sólidas a ponerse en contacto más íntimo entre sí. El sistema de partículas constituye a la fase sólida del suelo y, los espacios encerrados corresponden a la fase fluida. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

En la construcción de terraplenes de carreteras, presas de tierra y muchas otras estructuras de ingeniería, los suelos sueltos deben ser compactados para aumentar sus pesos unitarios. La compactación aumenta las características de resistencia de los suelos, incrementando de este modo la capacidad de carga de las cimentaciones construidas sobre ellos. La compactación también disminuye la cantidad de solución no deseada de las estructuras y aumenta la estabilidad de los taludes de los terraplenes. (Braja M Das, 2013, pág. 91)

Para efectos de la compactación, los suelos se dividen en dos grupos, suelos granulares y suelos finos. En la siguiente tabla se muestra las características entre cada tipo de suelo y el método de compactación recomendado para cada uno.

Tabla 3: Tipo de suelo con su respectivo método de compactación

Tipo de suelo con su respectivo método de compactación		
Tipo de Suelo	Características	Compactación
Suelo granular.	Suelo formado por gravas y arenas limpias o con pocos finos. (Menores a 5%)	Se compactan secos o con abundante agua.
Suelo fino.	Suelo gravosos o arenosa con más de un 12 % de finos, o bien, suelo netamente fino.	Se compactan con humedad. La humedad optima se determina con el ensayo proctor.

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013



Las especificaciones para la compactación en terreno exigen la obtención de una densidad mínima, que es un mínimo porcentaje de la densidad máxima que se obtiene en laboratorio. Es muy común exigir por lo menos el 95% del Proctor Modificado.

2.2.1.4.1. Factores que determinan el grado de compactación.

La densidad final que se alcanza en un suelo, depende de varios factores. Entre los principales se pueden mencionar, la humedad, la energía de compactación aplicada y el tipo de suelo de que se trate. (Comunicaciones M. d., 2011)

A. Efecto del agua: Si el suelo que contiene finos plásticos, se somete a un proceso de compactación, y se miden las densidades obtenidas para diferentes contenidos de agua (humedad), manteniendo constantes la energía de compactación, se obtiene la curva típica densidad-humedad, que se indica en el grafico densidad - humedad.

B. Energía de compactación: A mayor energía de compactación aplicada se logrará una mayor densidad máxima, y una correspondiente menor humedad óptima.

C. Tipo de suelo: El tipo del suelo es un factor determinante en la densidad que se logre en un proceso de compactación. Su valor queda determinado en gran medida por características tales como su peso específico, textura, forma de sus partículas, plasticidad, etc.

Al compactar un suelo se obtiene:

- Mayor densidad, por lo que tendremos una mejor distribución de fuerzas que actúan sobre el suelo.
- Mayor estabilidad, pues al no compactar un suelo se tendrán asentamientos desiguales por lo tanto inestabilidad de la estructura.
- Disminución de la contracción del suelo, al existir espacios vacíos, provocando en suelos arcillosos la contracción y dilatación del suelo y por último ocasionará una disminución de los asentamientos.

Para asegurar una buena compactación deben realizarse pruebas de terreno, para definir qué equipo será el mejor para el tipo de material, el espesor de capas, el número de pasadas para cumplir con todas las especificaciones técnicas de densidad seca. (Ravines Merino, 2010)

Los factores que intervienen en el proceso de compactación de los suelos son:

- Las características físicas de los suelos.
- El equipo de compactación.



- La forma de empleo del equipo seleccionado para un tipo de suelo en particular.

2.2.2. Pavimentos.

2.2.2.1. Definición de pavimentos.

El pavimento es un sistema estructural a base de capas que le dan las propiedades y resistencias necesarias para cumplir con las solicitudes funcionales y estructurales. A nivel de capacidad funcional, debe poseer una calidad aceptable en la carpeta de rodadura, una adecuada fricción superficial, una buena geometría por seguridad, y determinado aspecto estético. A nivel estructural debe soportar las solicitudes a las que se somete todo el paquete estructural (base, sub base y sub rasante), teniendo en cuenta las cargas impuestas por el tránsito y las condiciones ambientales. (Coronado, 2002)

El pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la sub rasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general, está conformada por capa de rodadura, base y sub base. (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015, pág. 13)

- A. Capa de rodadura:** Es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o de concreto de cemento portland (rígido) o de adoquines, cuya función es sostener directamente el tránsito. (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015, pág. 13)
- B. Base:** Es la capa inferior a la capa de rodadura, que sostiene, distribuye y transmite las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante ($CBR > 80\%$) o será tratada con asfalto, cal o cemento. (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015, pág. 13)
- C. Sub base:** Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además, se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Esta capa puede ser de material granular ($CBR > 40\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento. (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015, pág. 13)

Un punto importante es la capacidad de drenaje que todas las capas deben tener. Este es un proceso mediante el cual el agua de infiltración superficial o agua de filtración subterránea es removida de los suelos por medios naturales o artificiales. El drenaje es uno de los factores más importantes en el diseño de carreteras, pues el agua tiene efectos altamente perjudiciales en la estructura, adonde

ingresa a través de las grietas, juntas, bermas o como agua subterránea por el nivel freático; reduciendo la resistencia de las capas granulares como son la base y sub base y hasta del suelo de sub rasante. (AASHTO, 1998) (Ravines Merino, 2010, pág. 04)

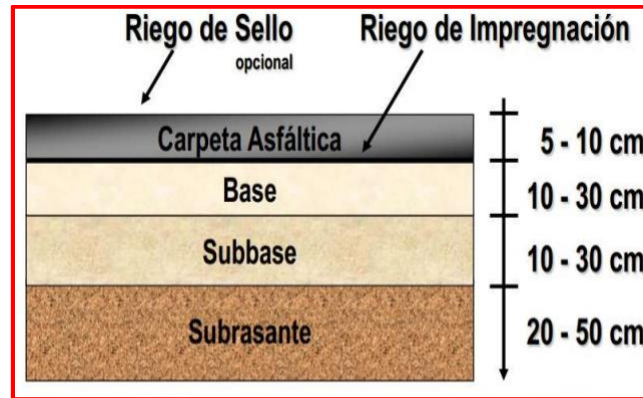


Figura 7: Estructura de pavimentos

Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y Concreto, 2005

2.2.2.2. Características que debe reunir un pavimento.

Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones debe reunir los siguientes requisitos:

- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- Ser resistente ante los agentes de intemperismo.
- Debe ser durable.
- Presentar condiciones adecuadas respecto al drenaje.
- El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influye en el entorno, debe ser adecuadamente moderado.
- Debe ser económico.
- Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos, y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito. (Montejo Fonseca, 2002, págs. 01 - 02).

2.2.2.3. Clasificación del pavimento.

Los tipos de pavimento son los siguientes:

- Pavimentos flexibles.
- Pavimentos semirrígidos.
- Pavimentos rígidos.

2.2.2.3.1. Pavimento flexible.

Es una estructura compuesta por capas granulares (sub base, base) y como capa de rodadura una carpeta constituida con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y, de ser el caso, aditivos. Principalmente se considera como capa de rodadura asfáltica sobre capas granulares: mortero asfáltico, tratamiento superficial bicapa, micro pavimentos, macadam asfáltico, mezclas asfálticas en frío y mezclas asfálticas en caliente. (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015, pág. 14)

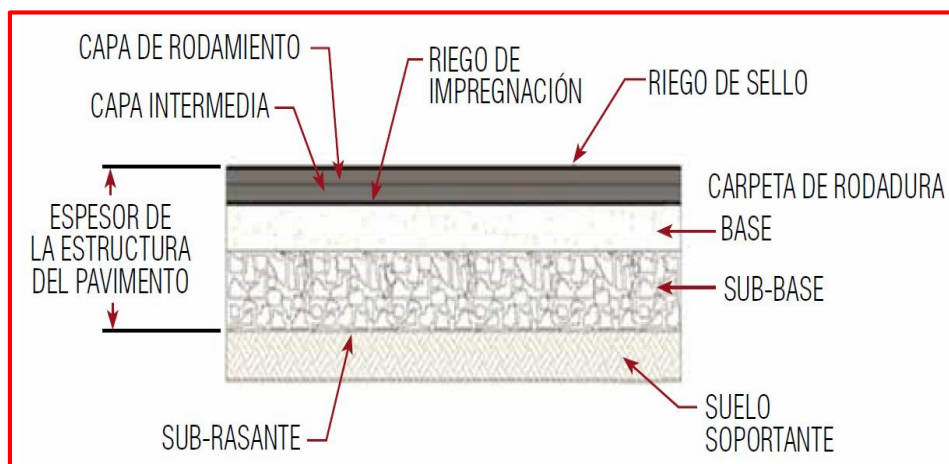


Figura 8: Estructura de un pavimento flexible

Fuente: Ministerio de Economía y Finanzas, 2015, pág. 14

2.2.2.3.2. Pavimento semirrígido.

Es una estructura de pavimento compuesta básicamente por capas asfálticas con un espesor total bituminoso (carpeta asfáltica en caliente sobre base tratada con asfalto); también se considera como pavimento semirrígido la estructura compuesta por carpeta asfáltica sobre base tratada con cemento o sobre base tratada con cal. Dentro del tipo de pavimento semirrígido se ha incluido los pavimentos adoquinados. (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015, pág. 14)

2.2.2.3.3. Pavimento rígido.

Es el que se ejecuta teniendo como material fundamental el hormigón, bien sea en la base o en toda su estructura. Estos pavimentos se clasifican de acuerdo al tipo de hormigón que se emplee (Cubana, 2009)



Los pavimentos de concreto reciben el apelativo de “rígidos” debido a la naturaleza de la losa de concreto que la constituye. Debido a su naturaleza rígida, la losa absorbe casi la totalidad de los esfuerzos producidos por las repeticiones de las cargas de tránsito, proyectando en menor intensidad los esfuerzos a las capas inferiores y finalmente a la sub rasante.

Existen 3 tipos de pavimentos de concreto:

- Pavimentos de concreto simple con juntas.
- Pavimentos de concreto reforzado con juntas.
- Pavimentos de concreto continuamente reforzados.

Los pavimentos de concreto con juntas son los que mejor se aplican a la realidad nacional debido a su buen desempeño y a los periodos de diseño que usualmente se emplean. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

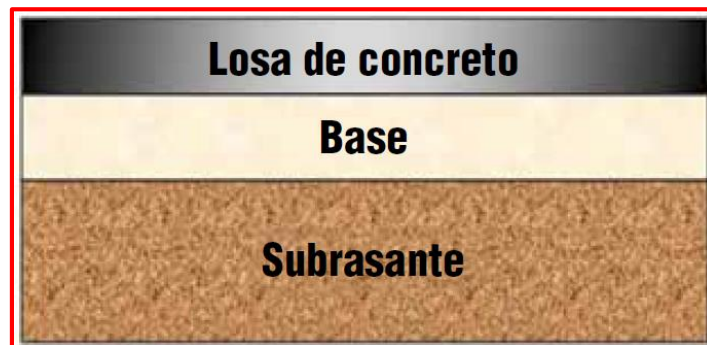


Figura 9: Estructura de pavimento

Fuente: Ministerio de Economía y Finanzas, 2015, pág. 15

2.2.2.4. Diferencias entre un pavimento rígido y flexible.

El comportamiento del pavimento frente a las cargas es diferente de acuerdo al tipo de pavimento (flexible o rígido), siendo su principal diferencia la transmisión de cargas hacia la sub rasante.

En un pavimento rígido, debido a la consistencia de la superficie de rodadura (alta rigidez de la losa de concreto) le permite mantenerse como una placa y distribuir las cargas sobre un área mayor de la sub rasante, transmitiendo presiones muy bajas a las capas inferiores. Por sí misma, la losa proporciona la mayor parte de la capacidad estructural del pavimento rígido.

Lo contrario sucede en un pavimento flexible, construido con materiales débiles y menos rígidos (que el concreto), más deformables, que transmiten a la sub rasante las cargas de manera más

concentrada. La superficie de rodadura al tener menos rigidez, se deforma más y se producen mayores tensiones en la sub rasante. Por todo lo antes mencionado, el pavimento flexible normalmente requiere más capas y mayores espesores para resistir la transmisión de cargas a la sub rasante.

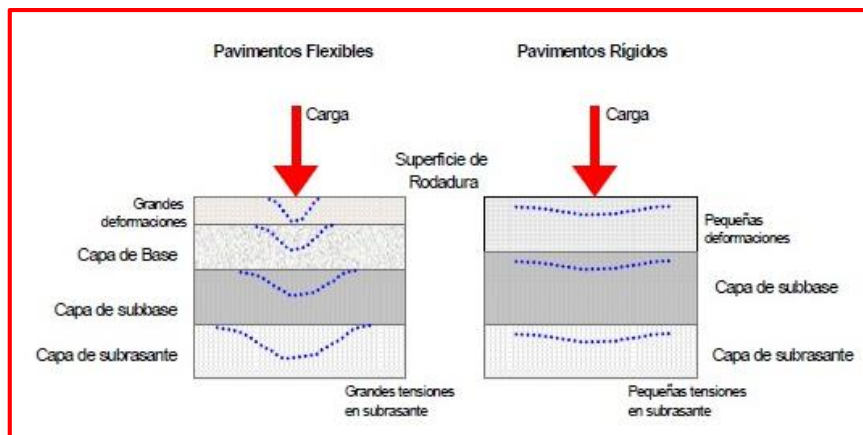


Figura 10: Esquema de comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos

Fuente: Coronado Iturbide, 2002, pág. 1 cap.5

El diseño de las capas estructurales, exige que éstas sean hechas para resistir las solicitaciones mencionadas anteriormente con el fin de proporcionar seguridad a bajo costo, logrando una larga vida útil del pavimento. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013

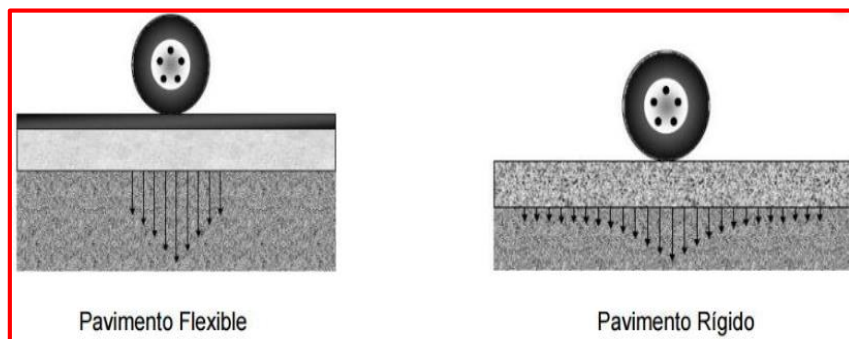


Figura 11: Cargas distribuidas en un pavimento flexible y rígido

Fuente: Concreto, 2005



2.2.3. Sub rasante.

2.2.3.1. Definición de sub rasante.

La Sub Rasante es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013, pág. 23)

Es el suelo de fundación (suelo natural libre de vegetación y compactado) en el que se apoya todo el paquete estructural. Este material puede ser tanto granular como afirmado, empedrados u otras carpetas granulares, seleccionados o cribados, producto de cortes y extracciones de canteras. (Ravines Merino, 2010)

Los suelos por debajo del nivel superior de la Sub Rasante, en una profundidad no menor de 0.60 m, deberán ser suelos adecuados y estables con $CBR \geq 6\%$. En caso el suelo, debajo del nivel superior de la Sub Rasante, tenga un $CBR < 6\%$ (Sub Rasante pobre o Sub Rasante inadecuada), corresponde estabilizar los suelos, para lo cual el Ingeniero Responsable analizará según la naturaleza del suelo alternativas de solución, como la estabilización mecánica, el reemplazo del suelo de cimentación, estabilización química de suelos, estabilización con geo sintéticos, elevación de la rasante, cambiar el trazo vial, eligiéndose la más conveniente técnica y económica. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013, pág. 47)

La Sub Rasante tiene una gran influencia en la construcción del pavimento y en la eficiencia del mismo, así las Sub Rasantes inestables presentan problemas relativos a la colocación y compactación de los materiales de la base y sub-base y no dan el soporte adecuado para las subsiguientes operaciones de pavimentación, los problemas que se presentan no serán observados sino hasta después de la culminación de la construcción, cuanto la estructura entre en funcionamiento y deba soportar las cargas del tránsito. (Ravines Merino, 2010).

Esta capa está expuesta a las condiciones ambientales por lo que debe cumplir requisitos de calidad indispensables para contrarrestar los efectos que por su condición se pueden originar: (Ravines Merino, 2010)



Tabla 4: Requisitos de calidad para capa sub rasante

<u>Requisitos de calidad para capa sub rasante</u>	
Características	Valor
Limite Liquido; % Máximo	35 - 40
Valor Soporte de California (CBR); % Mínimo	20
Expansión Máxima; %	2
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013	

Se considerará aptos aquellos suelos que presenten un CBR mayor o igual a 6%, de ser los resultados menores a éste se procederá al desecho de dicho material y a su posterior reemplazo si es material propio y/o en todo caso a su estabilización, pues como demostraremos resulta más económico. (Ravines Merino, 2010)

Tabla 5: Categorías de sub rasante

<u>Categorías de sub rasante</u>	
S _e : Sub Rasante Inadecuada	CBR < 3%
S ₁ : Sub Rasante Pobre	CBR ≥ 3% A CBR < 6%
|S ₂ : Sub Rasante Regular	CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S ₃ : Sub Rasante Buena	CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S ₃ : Sub Rasante Muy Buena	CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S ₃ : Sub Rasante Excelente	CBR ≥ 30 %
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013, pág. 40	

2.2.4. Sub base.

2.2.4.1. Definición de sub base.

Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además, se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Esta capa puede ser de material granular (CBR ≥ 40%) o tratada con asfalto, cal o cemento. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013, págs. 131-132



Esta capa está a mayor profundidad que la capa base y por lo tanto la influencia de las cargas es menor así que su aporte a la resistencia estructural no es tan importante; por tanto, la mezcla de materiales no tiene que ser muy densa; sin embargo, se debe considerar que una gradación abierta puede contaminarse con la intrusión de granos finos, los que provienen de la sub-rasante, arrastrados por capilaridad; esto hace que se reduzca su capacidad de drenaje.

El objetivo principal de la construcción de la sub-base es corregir posibles irregularidades o deficiencias que tenga el suelo de fundación para que éstos no afecten a la base como los cambios de volumen de elasticidad y plasticidad. Además, debe de servir de drenaje al pavimento para evitar la infiltración de agua y arrastre de finos; y permitir o transmitir los efectos de la carga de manera uniforme a la sub rasante.

Con la construcción de esta capa también se controla la ascensión capilar del agua proveniente de las capas freáticas cercanas o de cualquier alguna otra fuente protegiendo el pavimento contra los hinchamientos que se pueden producir por ejemplo en las zonas donde existen heladas (congelamiento del agua capilar), por ello una recomendación es importante: el material de la sub-base debe ser seleccionado y tener mayor capacidad soporte que el terreno de fundación compactado. (Ravines Merino, 2010)

2.2.4.2. Especificaciones técnicas del material de sub - base.

Los agregados empleados en la construcción de carreteras, deben cumplir con requisitos de granulometría y especificaciones técnicas, que garanticen un buen comportamiento durante su periodo de vida. Los materiales para la construcción de la sub-base granular deberán satisfacer los requisitos indicados en el Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - EG-2013.

2.2.4.3. Especificaciones granulométricas.

Los materiales granulares que conformaran las capas de afirmado, sub base y base, deben cumplir con rangos granulométricos especificados por el MTC.

Tabla 6: Requerimientos granulométricos para sub - base granular

Requerimientos granulométricos para sub - base granular				
Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso			
	Gradación A (1)	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm. (2")	100	100	-	-
25 mm. (1")	-	75 – 95	100	100
9,5 mm. (3/8")	30 – 65	40 – 75	50 – 85	60 – 100
4,75 mm. (N° 4)	25 – 55	30 – 60	5 – 15	50 – 85
2,0 mm. (N° 10)	15 – 40	20 – 45	25 – 50	40 – 70
425 um. (N° 40)	8 – 20	15 – 30	15 – 30	25 – 45
50 um. (N° 200)	2 – 8	5 – 15	5 – 15	8 – 15

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013, pág. 360

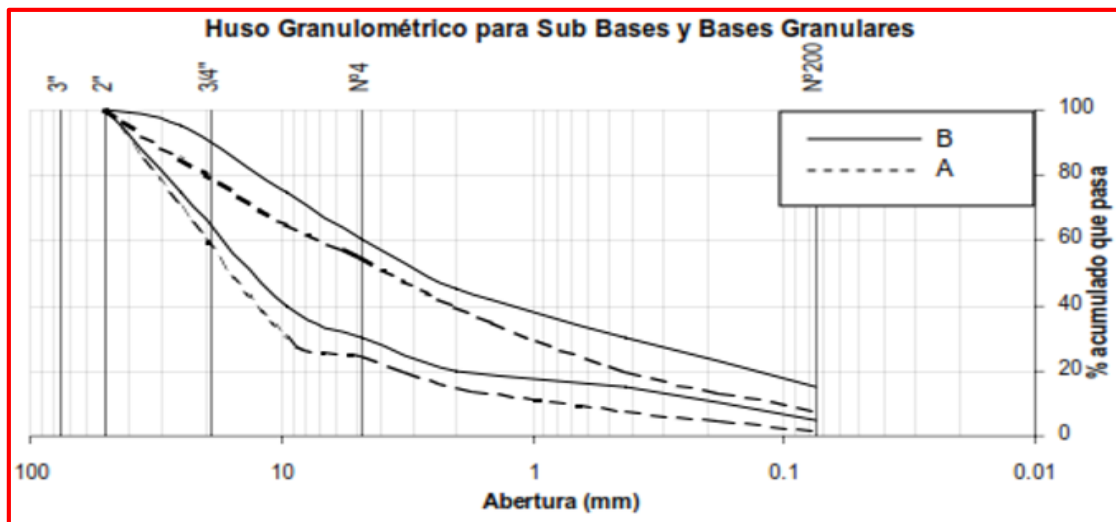


Figura 12: Rangos granulométricos para materiales de sub base y base granular

Fuente: Huaman, Minaya Gonzales & Ordonez 2006

La forma de la curva de distribución de tamaños de partículas, indica si los tamaños varían en un rango amplio (curva C) o estrecho (curva B); si el rango tiende a los tamaños mayores del suelo

grueso (A) o a los menores del suelo fino (C). Si todos los tamaños tienen proporciones en peso relativamente iguales, el rango es amplio y la curva suave, el suelo así será bien gradado (A y C). La mala gradación puede ser por falta de extensión (B) o por discontinuidad.

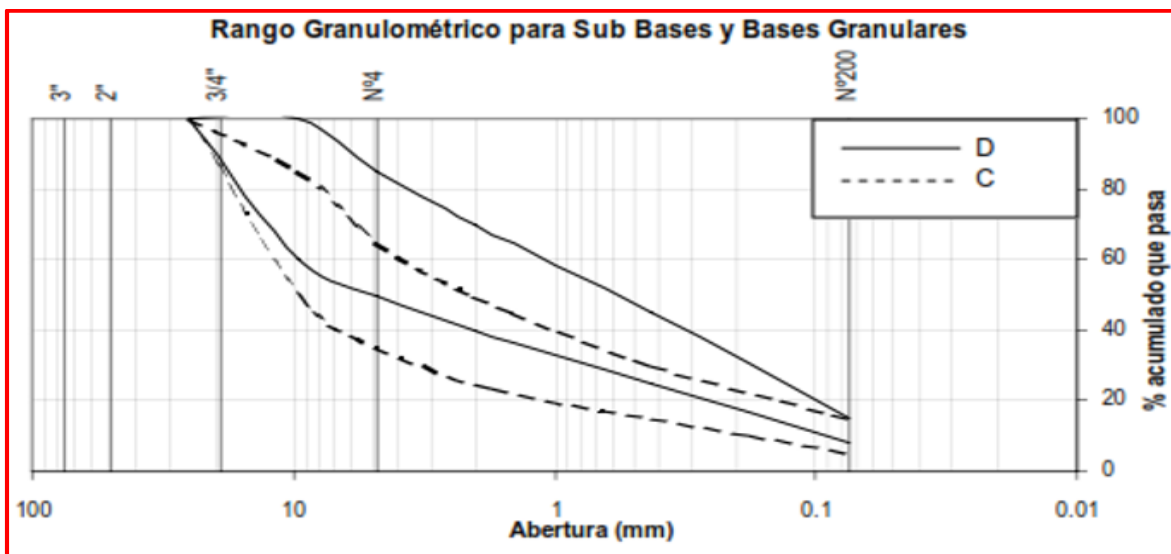


Figura 13: Rangos granulométricos para materiales de sub base y base granular

Fuente: Huaman, Minaya Gonzales & Ordonez 2006

2.2.2.4. Calidad de agregados.

Para verificar la calidad de un determinado banco de materiales, estos deben ser sometidos a ensayos de suelos, debiendo cumplir con las especificaciones técnicas emitidas por el ministerio de transportes y comunicaciones EG-2013.

los ensayos y rangos aceptados dentro de los mismos por el ministerio de transportes y comunicaciones se muestran en la tabla a continuación:



Tabla 7: Requerimientos de ensayos especiales para sub base granular

Requerimientos de ensayos especiales para sub base granular					
Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimiento	
				< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Abrasión los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	50 % máx.	50 % máx.
CBR (1)	MTC E 132	D 1883	T 193	40 % máx.	40 % máx.
Limite liquido	MTC E 110	D 4318	T 89	25 % máx.	25 % máx.
Índice de Plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 90	6 % máx.	4 % máx.
Equivalente de Arena	MTC E 114	D 2419	T 176	25 % máx.	35 % máx.
Sales Solubles	MTC E 219	-----	-----	1 % máx.	1 % máx.
Partículas Chatas y Alargadas	-----	D 4791	-----	20 % máx.	20 % máx.

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013, pág. 360

2.2.5. Base.

2.2.5.1 Definición de base.

Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante (CBR ≥ 80%) o será tratada con asfalto, cal o cemento. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013, pág. 132).

Tiene una función netamente estructural. Esta capa debe cumplir con distribuir los esfuerzos creados por las cargas de los neumáticos que actúan sobre la superficie de rodadura; debe poseer alta densidad y estabilidad como características principales.

La principal especificación de calidad es la granulometría, pues esta capa debe ser densamente graduada, se debe restringir el porcentaje de finos pues se debe asegurar que permita el drenaje hacia ambos lados de tal manera que se pueda mantener la resistencia; una cantidad por encima de la deseada de finos podrían llenar los vacíos de la base, reduciendo su permeabilidad. (Ravines Merino, 2010)



2.2.6. Estabilización.

2.2.6.1. Definición de estabilización.

La estabilización es el proceso de combinar o mezclar materiales con el suelo para mejorar sus propiedades. El proceso puede incluir la mezcla entre diversos tipos de suelos para alcanzar una graduación deseada (estabilización mecánica) o la mezcla de suelo con aditivos disponibles en el mercado (estabilización física y/o química), que puedan mejorar su graduación, textura o plasticidad. (Unidad de Investigación, 2008)

El principal fin de la estabilización es aumentar la resistencia mecánica, haciendo que el suelo presente mayor trabazón entre partículas y asegurado que las condiciones de humedad del suelo varíen dentro de los rangos adecuados. Con esto se logran 3 objetivos importantes: adecuada estabilidad ante las cargas, durabilidad de la capa y una variación volumétrica mínima. (Unidad de Investigación, 2008)

Cuando se presenta un suelo que no reúne las características mecánicas necesarias para trabajar directamente con él, se tendrá tres posibilidades:

- Utilizar el material como de bajo aporte.
- Sustituir el material.
- Modificar sus propiedades (estabilizar).

Casos que justifican una estabilización:

- Suelo de Sub Rasante desfavorable o muy arenoso o muy arcilloso.
- Materiales para base o sub base en el límite de las especificaciones.
- Condiciones de humedad.
- Cuando se necesite una base de calidad superior, como en una autopista.

2.2.6.2. Usos de la estabilización.

El diseño de pavimentos de basa en la premisa de que el paquete es tan competente como cada una de las capas que lo componen. Por lo tanto, cada capa debe soportar el cortante, las deflexiones excesivas que causan el agrietamiento por fatiga y prevenir la excesiva deformación permanente. (Unidad de Investigación, 2008)

Entonces, la calidad de la capa de suelo puede ser mejorada de forma tal que con menores espesores se logre una mejor distribución de cargas.



2.2.6.3. Reducción del espesor.

La dureza y rigidez del suelo puede ser mejorada a través de la incorporación de aditivos que permitan la reducción en los espesores de diseño, respecto a los materiales sin tratar. Los espesores de diseño de la base a la Sub Base pueden ser reducidos si el material estabilizado presenta la graduación, la dureza, la estabilidad y la durabilidad requerido. (Unidad de Investigación, 2008)

2.2.6.4. Tipos de estabilización de suelos.

En la actualidad se emplean los siguientes métodos: (Ravines Merino, 2010)

- Estabilización mecánica (compactación).
- Estabilización por sustitución de suelos.
- Estabilización por calcinación o tratamiento térmico.
- Estabilización con geo sintéticos.
- Estabilización por drenaje.
- Estabilización con polímeros.
- Estabilización volumétrica.
- Estabilización química (cemento, cal, asfalto, otros productos).
- Estabilización química de los Suelos Empleando Nuevas Tecnologías.

2.2.6.4.1. Estabilización mecánica.

La estabilización mecánica consiste en mejorar las propiedades del suelo por densificación o por mejora de sus características granulométricas mediante la mezcla con otro material. En el Perú es el método de estabilización más difundido porque se puede aplicar con el equipo mecánico convencional que suele estar disponible como motoniveladora, rodillo compactador y tractor. (Mendez Acurio, 2012)

La adecuada construcción de una capa de pavimento con un material obtenido por estabilización granular depende fundamentalmente en la adecuada colocación de los diversos materiales sobre la vía para que, al mezclarlos en vía, la mezcla se haga en las proporciones previamente calculadas y el producto obtenido tenga la gradación exigida. Una vez se haga la mezcla en seco, se incorpora la cantidad de agua necesaria, se hace la mezcla húmeda y se compacta y termina como cualquier base o Sub Base granular. (Mendez Acurio, 2012)



Se define como un método de mejoramiento de las propiedades de los suelos a partir de ejercer una acción mecánica de corta duración de manera repetitiva sobre una masa de suelo parcialmente saturado, para ésta acción se utilizan equipos llamados compactadores, los cuales tienen como fin lograr aumentar la resistencia al corte. (Ravines Merino, 2010)

Entre los procedimientos de estabilización mecánica tenemos:

A. Amasado.

Se suele usar rodillos de pata de cabra, se utilizan para suelos finos cohesivos.

B. Impactos de carga.

Se utilizan pisones los cuales combinan el impacto, la vibración y el mezclado; son perfectas para áreas confinadas y se utilizan para compactar suelos finos.

C. Presión estática.

Con rodillos lisos y neumáticos que combinan utilizan la acción de amasado con el peso estático.

D. Vibración.

Se usan los rodillos vibratorios para ayudar al reacomodo de las partículas.

E. Métodos mixtos.

Es la combinación de los anteriores procedimientos.

2.2.6.4.2. Estabilización por sustitución de suelos.

En esta alternativa una cierta profundidad del suelo de fundación es retirada y remplazado por material de préstamo. La determinación de la profundidad de remplazo ha sido detallada en el capítulo de suelo de fundación. Este tipo de tratamiento es común en aquellos lugares donde se dispone de material de préstamo en zonas aledañas al lugar o cuando el tipo de suelo presenta condiciones que dificultan su estabilización mediante otros medios (turba, pantano, etc.)

La incorporación previa de cal puede ser ventajosa en el tratamiento de suelos plásticos (arcillas pesadas) con cemento. La cal reduce y por consiguiente el mezclado con el cemento portland, así como reduce las cantidades de este material. (Mendez Acurio, 2012)

2.2.6.4.3. Estabilización por calcinación o tratamiento térmico.

Es de tipo térmico, se realiza a temperaturas elevadas, superiores a los 400°C que calcinan el suelo. Esta técnica consiste en pasar gases a temperaturas cercanas a 1000°C por ductos o vacíos dentro



del suelo, la distribución de la temperatura depende de la porosidad del suelo y la temperatura de los gases inyectados. (Alva Hurtado, 2000)

A temperaturas tan altas ocurren cambios irreversibles en la estructura cristalina de los minerales de arcilla. Estas alteraciones se ven reflejadas en las propiedades físicas que obviamente sufrirán modificaciones sustanciales como el índice plástico, el cual tiende a disminuir de manera notoria; la capacidad de absorción del agua también varía al igual que la expansividad y la compresibilidad las cuales disminuirán. (Ravines Merino, 2010)

Este tipo de estabilización no es económica para suelos saturados.

2.2.6.4.4. Estabilización con geo sintéticos.

A diferencia de los suelos, los geo sintéticos proporcionan resistencia a la tracción y una mejora significativa en el rendimiento y construcción de pavimentos. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013, pág. 125)

Las funciones de separación y filtro de los geotextiles y la función de refuerzo de las geo mallas, se pueden combinar para proporcionar una estabilización mecánica de los suelos de sub rasante inadecuada. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013, pág. 126)

2.2.6.4.5. Estabilización por drenaje.

Consiste en un drenaje superficial y desagüe subterráneo. Se colocan sistemas de canalizaciones y tubos subterráneos que captan el agua y la sacan de la zona en que se sitúa la estructura; de tal manera que se pueda canalizar el agua proveniente de cualquier dirección a través de éstos canales y cunetas; alejándola de la zona de la obra. El fin es evitar impactos negativos de las aguas sobre la estabilidad, durabilidad y transitabilidad de la carretera. (Ravines Merino, 2010)

2.2.6.4.6. Estabilización con polímeros.

Los polímeros son macromoléculas (resultado de la unión de un gran número de moléculas pequeñas de un mismo tipo o de diferentes tipos), generalmente orgánicos llamados monómeros; pueden estar formadas por más de un tipo de monómero, éstas se denominan homopolímeros o estar formados por más de un tipo de monómeros denominándose copolímeros. Las maneras de unión de las unidades estructurales de los polímeros tanto naturales como artificiales pueden ser en



varias direcciones, así se pueden obtener polímeros lineales o en más de una dirección dando lugar a los polímeros reticulares tridimensionales. (Ravines Merino, 2010)

Lo que distingue a los polímeros de los materiales constituidos por moléculas de tamaño normal son sus propiedades mecánicas. Los polímeros en general, tienen una muy buena resistencia mecánica, esto debido a sus grandes cadenas poliméricas que atraen; estas fuerzas de atracción intermolecular dependen de la composición química del polímero, las más comunes son las fuerzas de Van der Waals. Esto se traduce en una muy alta resistencia a la tracción, al impacto y a la fatiga. (Choque Godoy, 2006)

Generalmente los polímeros a utilizar en las distintas industrias son los polímeros sintéticos, que son aquellos creados por el hombre. El uso de éstos en las carreteras tiene como fin de aumentar la estabilidad de los agregados y reducir la dispersión de las arcillas.

Muchos plásticos, cauchos y materiales fibrosos son polímeros sintéticos. Las técnicas de estabilización no están muy estudiadas aún si bien en el mercado ya se encuentran muy pocos productos a base de polímeros. La estabilización con estos productos tiene el mismo fin que otras técnicas de estabilización: estabilizar e impermeabilizar el suelo para que sean aptos para su uso vial.

Los polímeros actúan como agentes catalíticos de intercambio iónico sobre la fracción activa de las arcillas reduciendo el potencial electrostático de las partículas, quitándoles la capacidad para absorber agua. Con el objetivo que al final el suelo tenga una mayor capacidad de carga y una estabilización permanente.

Los polímeros se usan generalmente en carpetas asfálticas, para darles una mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil. (Ravines Merino, 2010)

2.2.6.4.7. Estabilización volumétrica.

Los problemas de estabilidad volumétrica se originan sobretodo en suelos expansivos, licuables (ante cargas dinámicas) y suelos colapsables; relacionados por los cambios de humedad de éstos, originando en muchos casos por ejemplo levantamiento del pavimento rígido (si son suelos expansivos); a su vez el cambio de humedad, está relacionado con los cambios estacionales, o depende de la actividad del ingeniero.

Para el desarrollo de esta propiedad nos enfocaremos en los suelos arcillosos; los cuales tienen la capacidad de hinchamiento o de retracción dependiendo de su contenido de humedad. En un suelo



de estas características la finalidad principal es transformar esa masa de arcilla expansiva a una masa completamente rígida o en una masa granulada, pero con una capacidad de expansión mínima; esto es unir las partículas que la forman, de tal manera que puedan resistir las presiones internas que provocan la expansión y/o hinchamiento. Esto generalmente se logra con la aplicación de tratamientos químicos o térmicos. Para arcillas ubicadas en la superficie los tratamientos químicos son efectivos; los tratamientos térmicos se han aplicado a arcillas más profundas.

2.2.6.4.8. Estabilización química.

Se usa por la adición de agentes estabilizantes químicos específicos; comúnmente se usa cemento, cal, asfalto, cemento portland, 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)

Los estabilizadores químicos pueden tener tres categorías:

- Para cubrir e impermeabilizar los granos del suelo o proveer de fuerza cohesiva.
- Para formar una adhesión cementante entre las partículas del suelo; proporcionándoles fuerza y durabilidad.
- Para suelos finos tipo arcillas; generarán una alteración en la naturaleza del sistema agua-arcilla, con la cual se tendrá como resultado una baja en la plasticidad; posibles cambios de volumen; hará que se formen uniones cementantes y por último se mejorará la resistencia aumentándola.

Las estabilizaciones químicas más comunes son:

- Estabilización de suelos con asfalto: El asfalto produce diferentes efectos dependiendo de los suelos con los que se trabaje:
 - a) Para las arenas finas, sin cohesión alguna, el asfalto produce resistencia y actúa como un agente cementante.
 - b) A los suelos gravosos les proporciona resistencia cohesiva e impermeabilidad, a esta mezcla se le deben agregar también partículas finas para llenar los vacíos. (Ravines Merino, 2010)
- Estabilización de suelos-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 convenientemente pulverizado más cemento portland normalmente se utiliza el cemento tipo I (ya que 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 de humedad óptimo. (Ravines Merino, 2010)

- 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. Contenidos de cemento mayores a los requeridos conllevarán a agrietamientos por contracción causados por los cambios de temperatura y variaciones de humedad. 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. Como en el caso de la cal, el cemento ayuda a disminuir el límite líquido y a incrementar el índice plástico y la manejabilidad de los suelos arcillosos. Para suelos arcillosos, la estabilización con cemento es efectiva cuando el límite líquido es menor que 45 – 50 y el índice plástico es menor que aproximadamente 25. Comportamiento a fatiga de suelos estabilizados 91 por volumen para la estabilización efectiva de varios tipos de suelos. (Braja M Das, 2013)

Tabla 8: Volumen de cemento para estabilización según tipo de suelo

<u>Volumen de Cemento Para Estabilización Según Tipo de Suelo</u>		
Tipo de Suelo		Porcentaje de Cemento por Volumen
Clasificación AASHTO	Clasificación Unificada	
A - 2 Y A - 3	GP, SP y SW	6 - 10
A - 4 Y A - 5	CL, ML y MH	8 - 12
A - 6 Y A - 7	CL, CH	10 - 14
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013		

El contenido óptimo de agua se determina por el ensayo proctor como en la compactación de suelos. Las propiedades del suelo - cemento dependen de:

- Tipo y cantidad de suelo, cemento y agua.
- Ejecución.



- Edad de la mezcla compactada y tipo de curado.

Los suelos más adecuados para estabilizar con cemento son los granulares tipos A-1, A-2 y A-3, con finos de plasticidad baja o media ($LL < 40$, $IP < 18$).

La resistencia del suelo-cemento aumenta con el contenido de cemento y la edad de la mezcla. Al añadir cemento a un suelo y antes de iniciarse el fraguado, su IP disminuye, su LL varía ligeramente y su densidad máxima y humedad-óptima aumenta o disminuyen ligeramente, según el tipo de suelo. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

- Estabilización de suelos con cal: El uso de la cal en la estabilización de suelos es para mejorar las características naturales del suelo de modo que aumente su capacidad para resistir los efectos inducidos por el tránsito (esfuerzo de corte) y los cambios volumétricos en diferentes condiciones de clima. La incorporación de cal mejora en muchos casos las características plásticas de los suelos, haciéndolos más friables y por, sobre todo, aumentando considerablemente el valor soporte, acción que se ha demostrado continua en función del tiempo. (Mendez Acurio, 2012)

Se les aplica a suelos arcillosos buscando reducir su plasticidad. Logra mejorar gradualmente la resistencia del suelo de un modo significativo pues baja el potencial cambio de volumen de estos suelos producidos por las variaciones de humedad, así reduce el índice de plasticidad. Para considerar el uso de la cal como estabilizador el IP del suelo deberá ser mayor a 10. Existen diferentes tratamientos que se le puede dar al suelo dependiendo de que tanto queramos mejorar las propiedades, así: una mínima cantidad de cal se utiliza para secar y modificar temporalmente los suelos; con éste tratamiento se obtiene como resultado una plataforma de trabajo para la construcción de caminos temporales. Cuando queremos un tratamiento mucho más duradero, podemos recurrir a la estabilización permanente con cal, obteniendo como resultado una mejora estructural permanente del suelo. Podemos utilizar la cal en tres “tipos” distintos: cal viva, cal hidratada (se obtiene cuando la cal viva reacciona químicamente con el agua) o una lechada de cal (es la suspensión de cal hidratada en agua, que puede elaborarse a partir de cal hidratada o cal viva). La cal hidratada es la que reacciona con las partículas arcillosas y las transforma permanentemente en un fuerte matriz cementante. (Ravines Merino, 2010) Los suelos tratados con cal y sujetos a períodos de congelamiento y descongelamiento pueden presentar inconvenientes y problemas de durabilidad.



Los suelos que comúnmente se suelen estabilizar usando cal son los suelos clasificados como: CH, CL, MH, SM, SC, GC, con un índice de plasticidad mayor de 19 y con un porcentaje del 25% de finos que pasan la malla N^a 200.

2.2.6.4.9. Estabilización química de los suelos empleando nuevas tecnologías.

Para esta nueva tecnología tenemos tres tipos distintos de estabilización. Si leemos con detenimiento los tres se centran en la capacidad de intercambio de las partículas de los elementos. (Díaz Rado R F Abre E & Miño, 2000)

- **Estabilización iónica.**

Aplicada a suelos finos. El principio básico es un fuerte intercambio iónico entre el agente estabilizador con las partículas de arcilla mineral, de esta forma se desplaza el agua de adsorción ocupando el espacio iónico vacante, así se bloquea la capacidad de adsorción de agua de las partículas activas del suelo responsables del hinchamiento y la pérdida de su capacidad soporte. Las partículas libres de las cargas electrostáticas que las mantenían separadas y del agua que las rodeaba se acercan y aglomeran pudiendo aumentar la capacidad de carga por fricción entre partículas y lograr una mayor densidad por compactación. (Ravines Merino, 2010)

El resultado final óptimo debería consistir en una estabilización más permanente.

- **Estabilización con enzimas orgánicas.**

Las enzimas son moléculas de naturaleza proteica que catalizan reacciones químicas hasta hacerlas instantáneas o casi instantáneas, son catalizadores altamente específicos. La especificidad de las enzimas es tan marcada que en general actúan exclusivamente sobre sustancias que tienen una configuración precisa. (Ravines Merino, 2010)

Como son moléculas estrictamente proteicas, éstas también sufren desnaturalización, no dializan y también pueden sufrir saturación. La desnaturalización de las enzimas es un cambio estructural en las proteínas donde pierden su estructura tridimensional o conformación química, de esta forma pierden a su vez su óptimo funcionamiento y a veces cambian sus propiedades físico-químicas; por ejemplo cuando las enzimas están desnaturalizadas pierden su actividad catalítica, pues los sustratos no pueden unirse al centro activo y porque los residuos de los aminoácidos implicados en la estabilización de los sustratos no están posicionados para hacerlo. La desnaturalización surge



cuando la proteína es alterada por algún factor, sea éste físico o químico. Entre los factores físicos está el calor y factores químicos como el PH, los disolventes orgánicos y la fuerza iónica. (Ravines Merino, 2010)

2.2.7. Sistema Rocamix®

A. Definición.

El producto ROCAMIX® está formado por la mezcla de monómeros y polímeros con catalizadores aceleradores de penetración e intercambiadores iónicos.

El sistema ROCAMIX® es un sistema de estabilización y de impermeabilización de suelos de alta tecnología que se diferencia de los métodos tradicionales por que toma la compactación del suelo en estado totalmente irreversible.

Trabaja igual con cualquier tipo de suelo, activa las fuerzas cohesivas propias del suelo y reduce la influencia del agua de forma importante y duradera. El sistema ROCAMIX® modifica los suelos en sí mismo de forma permanente y puede ser utilizado por eso tanto en el lugar de su aplicación como en un procedimiento de mezcla previa en planta. Una vez añadido al suelo, este mantiene el efecto del sistema. (www.Rocamix.es, s.f.)

B. Preparación del sistema Rocamix®

Para realizar la mezcla es necesario la siguiente dosificación:

1 dosis de Rocamix concentrado → 20 dosis de agua dulce

C. Ventajas del sistema Rocamix®

El sistema ROCAMIX® puede ofrecer una garantía por largo tiempo por tres razones fundamentales:

Resultado asegurado que se conoce de antemano, ya que se han hecho visibles con ensayos previos de laboratorio

Control de aplicación del producto sistema ROCAMIX® por ingenieros capacitados por ROCAMIX®

Pruebas de laboratorio y pruebas de eficiencia del sistema numerosas obras y muchas pruebas positivas de laboratorio permiten decir que el sistema ROCAMIX® es no solamente fiable pero también su efecto es probado en la duración. (Apéndice)



D. Datos de seguridad del producto.

Tabla 9: Identificación y preparación por el fabricante

<u>Identificación y Preparación por el Fabricante</u>	
<i>Nombre del Producto</i>	ROCAMIX – Octadecyl Trimethyl Ammonium Chloride
<i>Aplicación</i>	Uso para aditivo del suelo para su estabilización e impermeabilización
<i>Fabricante</i>	LVYU CHEMICAL CO, LTD, JINGJIANG CITY, JIANGSU PROVINCE, CHINA.
<i>Clasificación del fabricante</i>	Certificaciones de ISO 4000 N° 112E2D26DROM-2 e ISO 8000 N° 112Q20259ROM-2, otorgadas por otra entidad acreditadora de la calidad
<i>Fabricado por</i>	Rocamix Company, titular del patente Rocamix – INPI-Solea N° 482
<i>Producto Contiene</i>	Solución acuosa de compuestos de amonio cuaternarios
<i>Composición</i>	Monómeros y Polímeros de amonio cuaternario
Fuente: www.Rocamix.es , s.f.	

Tabla 10: Propiedades físicas y químicas

<u>Propiedades físicas y químicas</u>	
<i>Estado Físico</i>	Líquido blanco ligeramente viscoso
<i>Color</i>	Amarillo a blanco claro
<i>Olor</i>	Muy débil
<i>Solubilidad</i>	Soluble en agua
<i>Punto de fundición/Congelación</i>	25°(77°F)
<i>Umbral de olor</i>	El rango más bajo conocido es de 37 a 600 ppm
<i>Peso/Densidad Especifica</i>	0.878 gr/cm ³
<i>Solubilidad</i>	Fácil solubilidad en agua caliente, metanol, acetona
Fuente: www.Rocamix.es , s.f.	



E. Principales aplicaciones del sistema Rocamix®

1. Bases estabilizadoras.

- a. Autopistas
- b. Carreteras
- c. Mantenimiento de calles
- d. Caminos secundarios
- e. Pistas de aeropuerto

2. Impermeabilización.

- a. Presas - Lagos - Canales
- b. Acueductos - Rehabilitaciones
- c. Embalses para piscicultura
- d. Estanques de agua de mar para salinas
- e. Otros embalses.

F. Clasificación de los suelos metodología AASTHO / SUCS / Rocamix.

CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS metodología AASTHO /SUCS y ROCAMIX											
Clasificación General	Materiales granulares. (35% como máximo de la que pasa el tamiz N° 200)						Materiales de arcilla-limo (más de 35% del total de la muestra que pasa el tamiz N° 200)				
Clasificación AASTHO	A-1	A-1-b	A-2				A-3	A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7					A-7-5 A-7-6
Clasificación SUCS	GW	GC	SM	SM	SC	SC	SP	ML	MH	CL	OH
Tipos de suelos	Suelos buenos a regulares						Suelos regulares, malos a muy malos				
Clasificación ROCAMIX	R1	R1	R2	R2	R2	R2	R3	R2	R3	R3	R3
<p>LA CLASIFICACIÓN DEL SUELO permite determinar la cantidad de ROCAMIX concentrado y de CEMENTO o cal o mezcla de ambos a utilizar por M3</p> <p>LAS DOSIS son teóricas y deben ser usadas como guías al inicio de los ensayos de laboratorio</p>											
Litro de Producto por m3	0,40	0,40	0,50	0,50	0,50	0,50	0,60	0,50	0,60	0,60	0,60
Kilogramo de cemento por m3	10	10	15/20	15/20	15/20	15/20	20/25	15/20	20/25	20/25	20/25

Figura 14: Clasificación de suelos AASTHO / SUCS / Rocamix.

Fuente: www.Rocamix.es, s.f.



G. Dosis producto líquido Rocamix.

1. Con la misma tierra del lugar se riega el producto Rocamix concentrado.

Tabla 11: Dosificación de Rocamix

Dosificación de Rocamix	
Suelos clasificados R1	0.40 L del producto concentrado por m ³ de la tierra
Suelos clasificados R2	0.50 L del producto concentrado por m ³ de la tierra
Suelos clasificados R3	0.60 L del producto concentrado por m ³ de la tierra
Fuente: www.Rocamix.es, s.f.	

2. Según la clasificación propia y exclusiva de Rocamix (Llamadas R1, R2, R3), un aditivo sólido de cemento debe agregarse al producto líquido Rocamix.

Tabla 12: Dosificación de Rocamix

Dosificación de Rocamix	
Suelos clasificados R1	0.40 L del producto concentrado por m ³ de la tierra
Suelos clasificados R2	0.50 L del producto concentrado por m ³ de la tierra
Suelos clasificados R3	0.60 L del producto concentrado por m ³ de la tierra
Fuente: www.Rocamix.es, s.f.	

2.2.8. Capacidad soporte.

2.2.8.1. Definición de Capacidad de Soporte.

Es la capacidad del terreno que tiene para soportar cargas aplicadas sobre él. Técnicamente es la máxima presión medida entre el suelo (pavimento) y la carga que soporta. La capacidad portante es un parámetro para medir la deformación que se produce en el suelo cuando a esta se le aplica fuerzas de deformación. (Valle Rodas, 1982)

2.2.8.2. Determinación de California Bearing Ratio, CBR del suelo.

La finalidad de este ensayo, es determinar la capacidad de soporte (CBR) de suelos y agregados compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables. Es un método desarrollado por la división de carreteras del Estado de California (EE.UU.) y sirve para



evaluar la calidad relativa del suelo para sub-rasante, sub-base y base de pavimentos. (Bowles, Physical and Geotechnical Properties of Soils, 1984)

El ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, permitiendo obtener un (%) de la Relación de Soporte. El (%) CBR, está definido como la fuerza requerida para que un pistón normalizado penetre a una profundidad determinada, expresada en porcentaje de fuerza necesaria para que el pistón penetre a esa misma profundidad y con igual velocidad, en una probeta normalizada constituida por una muestra patrón de material chancado. La expresión que define al CBR, es la siguiente: (Bowles, Manual de Laboratorio de suelos en Ingeniería Civil, 1981)

$$\text{CBR} = (\text{carga unitaria del ensayo} / \text{carga unitaria patrón}) * 100 (\%)$$

De la ecuación se puede ver que el número CBR, es un porcentaje de la carga unitaria patrón. En la práctica el símbolo de (%) se quita y la relación se presenta simplemente por el número entero. (Bowles, Manual de Laboratorio de suelos en Ingeniería Civil, 1981)

Usualmente el número CBR, se basa en la relación de carga para una penetración de 2,5 mm. (0,1"), sin embargo, si el valor de CBR a una penetración de 5 mm. (0,2") es mayor, el ensayo debe repetirse. Si en un segundo ensayo se produce nuevamente un valor de CBR mayor de 5 mm de penetración, dicho valor será aceptado como valor del ensayo. Los ensayos de CBR se hacen sobre muestras compactadas con un contenido de humedad óptimo, obtenido del ensayo de compactación Proctor. (Bowles, Manual de Laboratorio de suelos en Ingeniería Civil, 1981)

Antes de determinar la resistencia a la penetración, generalmente las probetas se saturan durante 96 horas para simular las condiciones de trabajo más desfavorables y para determinar su posible expansión. (Bowles, Manual de Laboratorio de suelos en Ingeniería Civil, 1981)

En general se confeccionan 3 probetas como mínimo, las que poseen distintas energías de compactación (lo usual es con 56, 25 y 10 golpes). El suelo al cual se aplica el ensayo, debe contener una pequeña cantidad de material que pase por el tamiz de 50 mm. Y quede retenido en el tamiz de 20 mm. Se recomienda que esta fracción no exceda del 20%. (Bowles, Manual de Laboratorio de suelos en Ingeniería Civil, 1981)



2.2.9. Ensayos de laboratorio.

2.2.9.1. Determinación de contenido de humedad, ASTM D 2216, MTC E 108.

La cantidad de contenido de humedad es un ensayo rutinario de laboratorio para determinar la cantidad de agua presente en una cantidad dada de suelo en términos de su peso en seco. (Bowles, Manual de Laboratorio de suelos en Ingeniería Civil, 1981)

Para lograr una determinación confiable del contenido de humedad de un suelo se recomienda utilizar como mínimo las siguientes cantidades de muestra húmeda (muestra representativa) según lo que muestra la tabla N° 12.

Tabla 13: Cantidad mínima de material húmedo seleccionado como representativo

Cantidad mínima de material húmedo seleccionado como representativo			
Máximo tamaño de partícula (pasa el 100 %)	Tamaño de malla estándar	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados	
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

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016

Nota: * Se usará no menos de 20 g para que la muestra sea representativa.

Para determinar el contenido de humedad (W). La diferencia entre el peso de suelo húmedo más el del recipiente y el peso de suelo seco más el del recipiente es el peso del agua (W_w) que estaba presente en la muestra. La diferencia entre el peso de suelo seco más el del recipiente y el peso del recipiente solo es el peso del suelo (W_s) expresado en la siguiente formula:

$$\% \text{ de Humedad}(W) = \frac{W_w}{W_s} * 100 \%$$

Donde:

W: Contenido de humedad (%)

W_w : Peso de suelo húmedo menos el peso del suelo seco (g)

W_s : Peso del suelo seco (g)



2.2.9.2. Análisis granulométrico por tamizado, ASTM D 422, MTC E 107.

El estudio de las propiedades de los suelos, se fundamenta en que las propiedades mecánicas dependen directamente de la distribución de las partículas constituyentes según sus tamaños.

El objetivo principal es determinar la distribución de las partículas en función de su tamaño, de una muestra representativa de suelo de grano grueso, mediante un ensayo granulométrico por tamizado.

Para el desarrollo del ensayo es recomendable utilizar la serie de tamices con sus respectivas aberturas, que son mostrados en el siguiente cuadro.

Tabla 14: Serie de tamices para análisis granulométrico.

Serie de tamices para análisis granulométrico	
Tamices	Abertura (mm)
3"	75,00
2"	50,800
1 ½"	38,100
1"	25,400
¾"	19,000
3/8"	9,500
N° 4	4,760
N° 8	2,360
N° 10	2,000
N° 16	1,100
N° 20	0,840
N° 30	0,590
N° 40	0,425
N° 50	0,297
N° 60	0,260
N° 100	0,106
N° 200	0,075

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016



Para determinar el porcentaje total que pasa por cada tamiz, se divide el peso total que pasa entre el peso total de la muestra y se multiplica el resultado por 100.

$$\% \text{ Pasa} = \frac{\text{Peso total} - \text{Peso retenido en el tamiz}}{\text{Peso total}} * 100$$

Para determinar el porcentaje total retenido sobre cada tamiz, se divide el peso retenido en cada tamiz entre el peso total de la muestra y se multiplica por 100.

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso retenido en el tamiz}}{\text{Peso total}} * 100$$

2.2.9.3. Determinación de los Límites de Atterberg.

La consistencia de un suelo es la relativa facilidad con la que puede ser deformado y depende de un contenido de humedad determinado. Para los suelos cohesivos se definen cuatro estados de consistencia: (Shuam, 2004)

- Sólido, semisólido, plástico y líquido.

2.2.9.3.1. Límite líquido, ASTM D-4318, AASHTO T-89, MTC E 110

Límite líquido se refiere cuando el suelo pasa del estrato semilíquido a un estado plástico y puede moldearse. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

Tabla 15: Relación entre el grado de expansión y el límite líquido según Dakshamurthy y Román (1973)

Relación entre el grado de expansión y el límite líquido según Dakshamurthy y Román (1973)	
Límite Líquido (%)	Grado de Expansión
0 – 20	No hay hinchamiento
20 – 35	Bajo hinchamiento
35 – 50	Hinchamiento medio
50 – 70	Alto hinchamiento
70 – 90	Hinchamiento muy alto
Mayor que 90	Hinchamiento extra alto

Fuente: Shuam, 2004



El contenido de agua existente en este límite, se define como la humedad necesaria para el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo, se cierre a lo largo de su fondo en una distancia de $1/2''$, cuando se deja caer la cuchara 25 veces desde una altura de 1cm, y a una velocidad de dos golpes por segundo.

La porción de muestra representativa de la muestra total suficiente para proporcionar 150 g a 200 g de material pasante del tamiz $425 \mu\text{m}$ (N° 40).

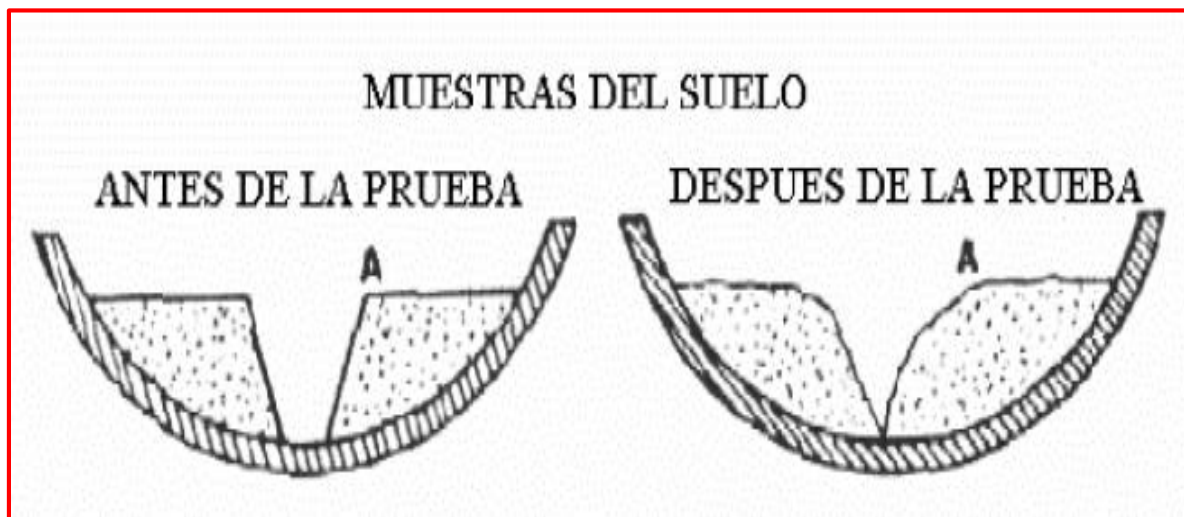


Figura 15: Muestra del suelo

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016

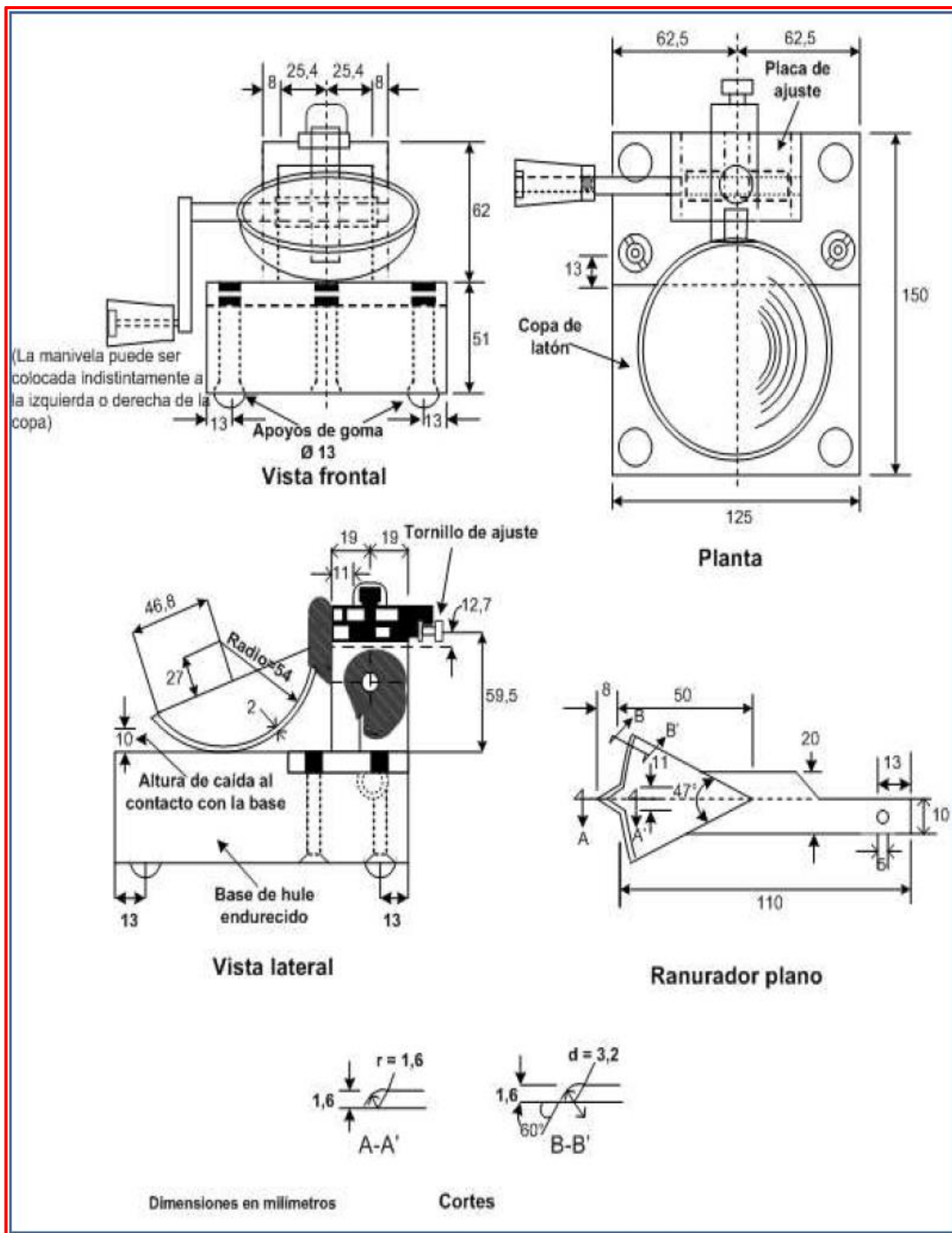


Figura 16: Aparato Manual Para Límite Líquido

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016



2.2.9.3.2. Límite plástico, AASHTO T- 68 MTC E 111.

Límite plástico se refiere cuando el suelo pasa de un estrato semisólido y se rompe. Determinar el límite plástico de los suelos, el cual se define como el contenido de agua, expresado en porcentaje del peso del suelo seco al horno, cuando el suelo se encuentra en el límite entre los estados plásticos y semisólido. El contenido de agua en este límite, se define como el contenido más bajo de agua al cual el suelo puede ser rolando en hilo de 3.2mm sin que se rompa en pedazos.

Para determinar el límite plástico., se toman aproximadamente 20 g de la muestra que pase por el tamiz de 426 mm (N° 40)

El límite plástico es el promedio de las humedades de ambas determinaciones. Se expresa como porcentaje de humedad, con aproximación a un entero y se calcula así:

$$\text{Límite plástico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} * 100$$

2.2.9.3.3. Índice de plasticidad, MTC E 111

El índice de plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica y permite clasificar bastante bien un suelo. Un IP grande corresponde a un suelo muy arcilloso; por el contrario, un IP pequeño es característico de un suelo poco arcilloso. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

Matemáticamente está representada por la siguiente relación:

$$I. P. = LL - LP$$

DONDE:

- IP: Índice de plasticidad.
- LL: Límite líquido.
- LP: Límite plástico.

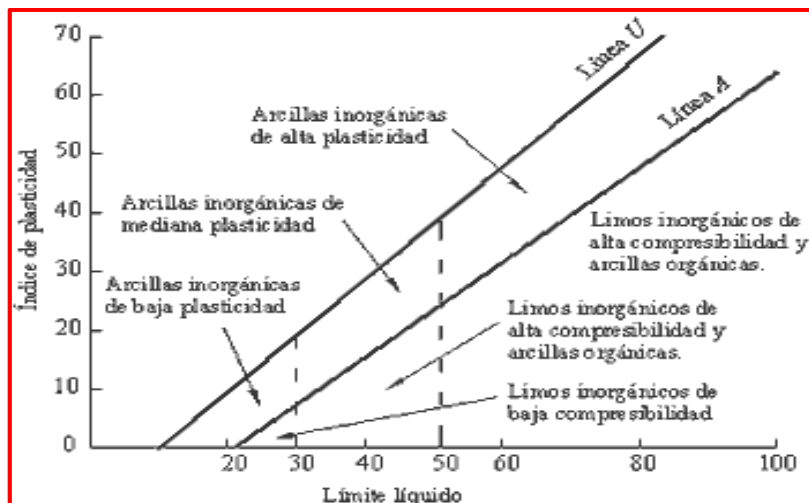


Figura 17: Índice de plasticidad.

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016

2.2.9.4. Ensayo proctor modificado, ASTM D 1557 – MTC E 115.

La compactación de suelos constituye un capítulo importantísimo y se halla íntimamente relacionada con la pavimentación de carreteras, vías urbanas y pistas de aterrizaje. El ensayo de compactación mediante el ensayo de proctor modificado, relaciona la humedad del suelo versus su densidad seca, empleando un martillo de 4.54 kg (10 lb) soltado desde una altura de 457 mm (18 pulg), transmitiendo una energía de compactación de 56,000 lb-pie/pie o 2,700 KN-m/m.

Se proporciona 3 métodos alternativos como se muestra en la tabla N° 000. El método usado debe ser indicado en las especificaciones del material a ser ensayado. Si el método no está especificado, la elección se basará en la gradación del material

Tabla 16: Método de ensayo de proctor modificado

Método de ensayo de proctor modificado		
Método “A”	Método “B”	Método “C”
Molde de 4”	Molde de 4”	Molde de 6”
Material que pasa tamiz N° 4	Material que pasa tamiz 3/8”	Material que pasa tamiz 3/4”
Numero de capas 5	Numero de capas 5	Numero de capas 5
Golpes por capa 25	Golpes por capa 25	Golpes por capa 56
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016		

El suelo extraído de campo es compactado en un molde de dimensiones conocidas, con diferentes contenidos de humedad. Para contenidos bajos de humedad el suelo no se compactará adecuadamente, porque no existe la lubricación que permita el acomodo de las partículas. Para altos contenidos de humedad el suelo pierde densidad, porque el agua entre las partículas impide que estas se junten. Solo se tendrá una máxima densidad seca, MDS.

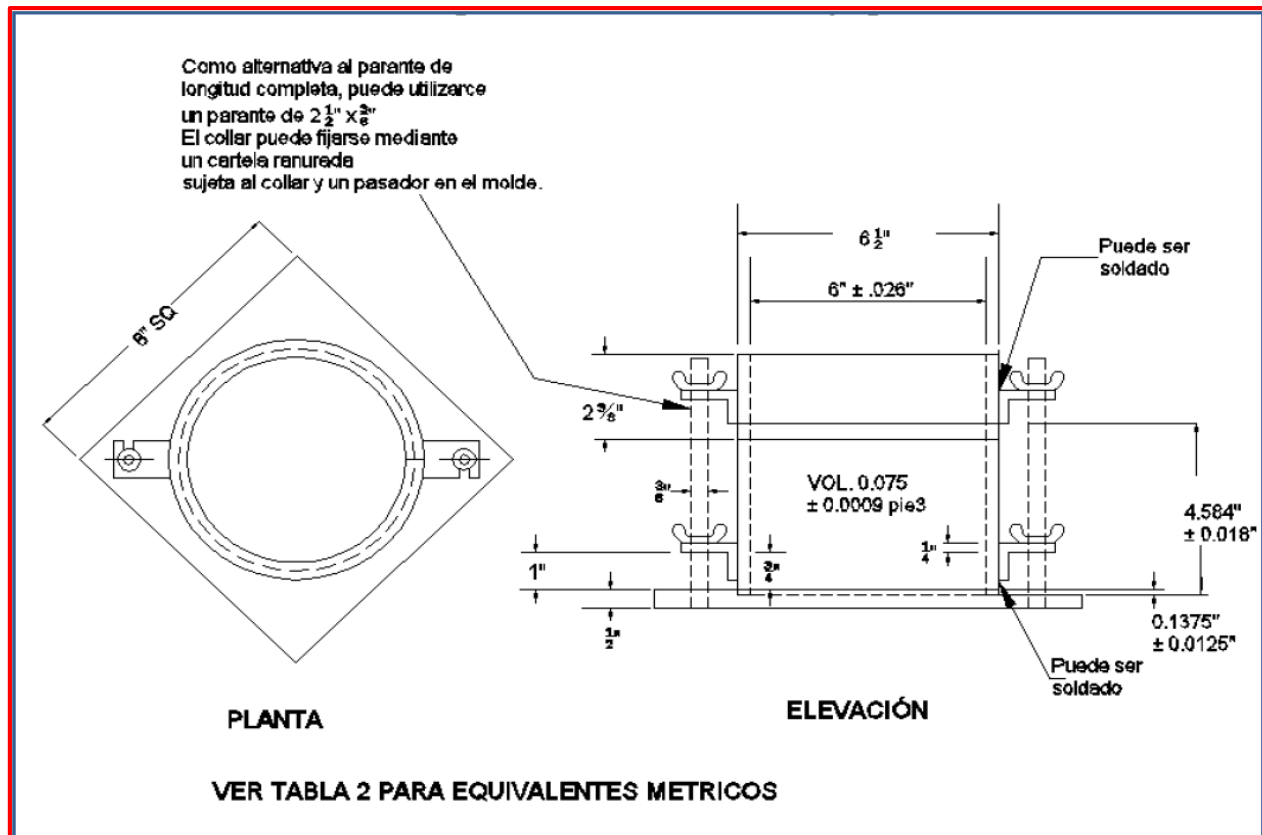


Figura 18: Molde cilíndrico de proctor modificado

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016

La humedad a la que la muestra alcanza su máxima densidad seca, se denomina óptimo contenido de humedad. En suelos granulares densos, la densidad de campo es muy cercana a la MDS del próctor modificado; sin embargo, en suelos finos como las arenas y arcillas limosas, la densidad de campo, generalmente, es mucho menor que la MDS.

La humedad natural de suelos arenosos y limo-arcillosos muchas veces alcanzan valores muy por encima del O.C.H. y la densidad natural presenta valores mucho menores al ensayo proctor



modificado. En conclusión, el terreno de fundación no alcanzará y/o estará lejos de la densidad equivalente al 95% o 100% de la MDS, criterio que se asume como regla general. (Minaya Gonzales & Ordoñez Huaman, 2006)

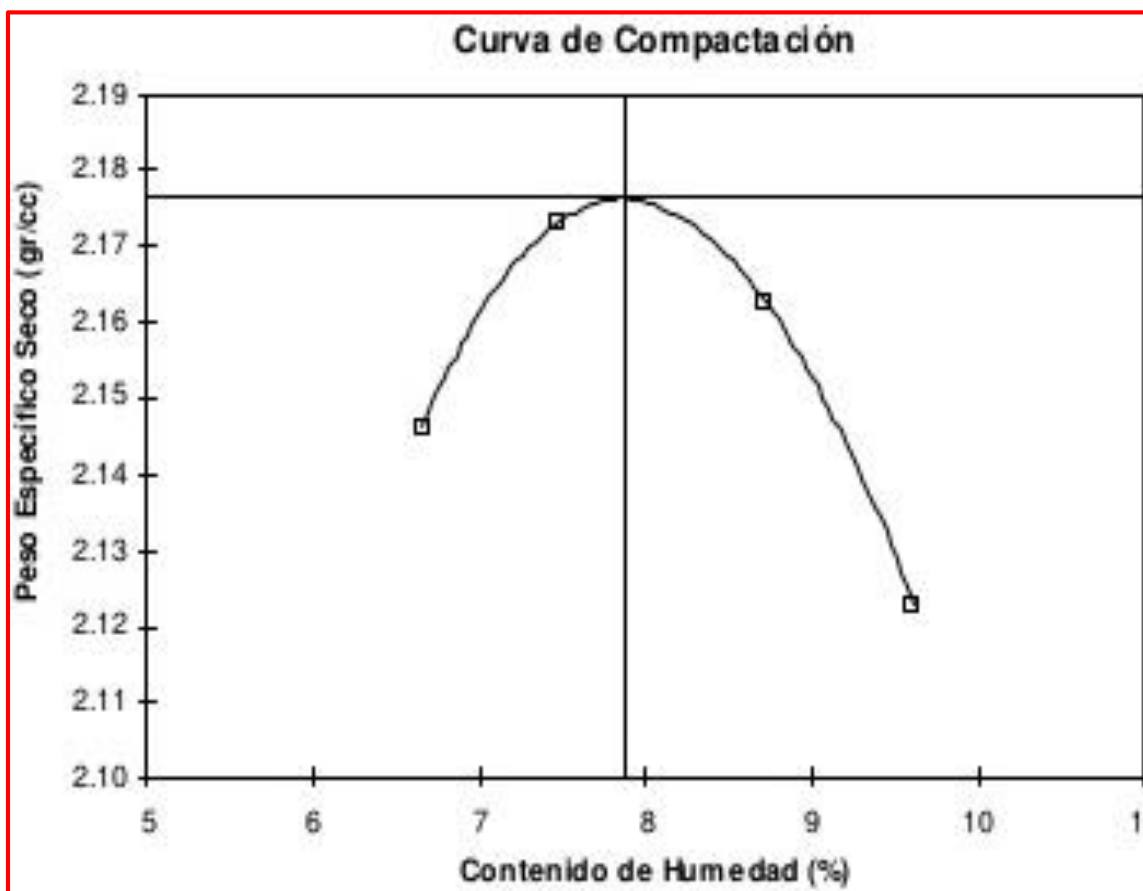


Figura 19: Curva de compactación del próctor modificado.

Fuente: Minaya Gonzales & Ordoñez Huaman, 2006

2.2.9.5. Relación de Soporte de California, (CBR) ASTM D 1883 - MTC E 132.

El CBR es un índice de 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 circular en una muestra de suelo respecto a la precisa para que el mismo pistón penetre a la misma profundidad de una muestra tipo de piedra triturada. El ensayo de “California Bearing Ratio” o CBR, es un ensayo relativamente simple, comúnmente usado para obtener un índice de la resistencia del suelo de sub rasante, material de base, sub base o afirmado.

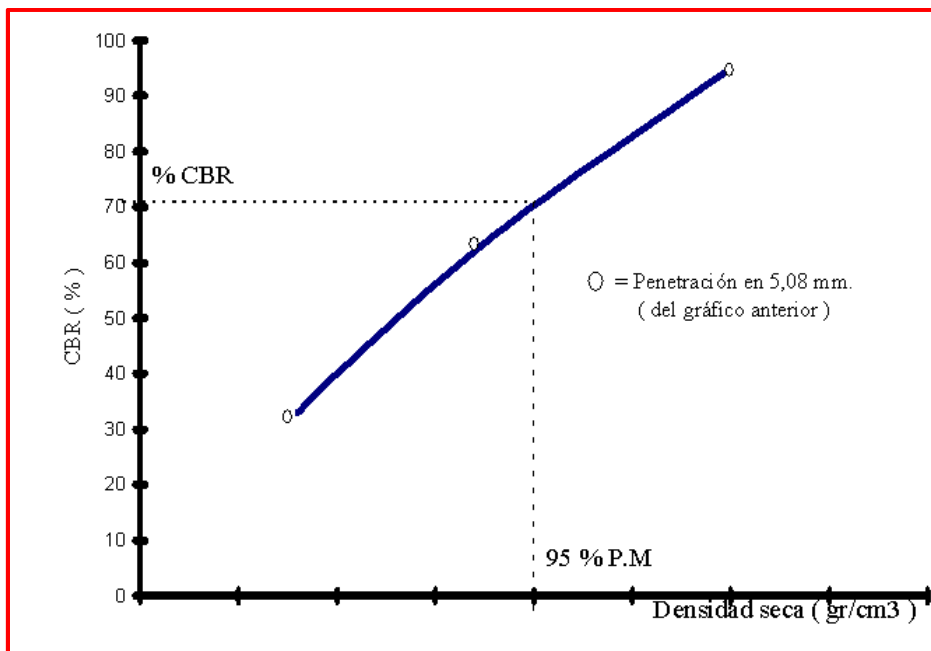


Figura 20: Determinación de CBR

Fuente: Das Braja, 2001

Para materiales de base, sub base y afirmado, así como sub rasantes granulares, el CBR puede estar asociado a la máxima densidad seca del próctor modificado; sin embargo, para sub rasantes finas (sub rasantes arenosas, arcillosas o limosas) el valor del CBR debe estar asociado a su densidad de campo. Investigaciones han demostrado que el CBR de suelos finos en muestras compactadas al OCH y MDS, arrojan valores de CBR muy por encima de su valor real. Tranquilamente una arcilla compactada al OCH y MDS puede tener un CBR de 15%, pero ensayada en su condición natural el CBR puede ser menor a 2 o 3%.

El comportamiento de la sub rasante es función de la humedad y densidad, asociado a las condiciones ambientales del sitio. En suelos de baja capacidad de soporte donde los valores de humedad alcanzan la condición saturada y los valores de densidad de campo están muy por debajo de la densidad de compactación, los valores de los módulos elásticos realmente son muy bajos. Se conocen tres métodos para determinar el valor de CBR:

CBR in situ, mide directamente la deformación ante una carga aplicada,

CBR en muestras inalteradas, es un método recomendado para sub rasantes de suelos finos.

Consiste en obtener una muestra inalterada de campo, que será protegida para que no pierda su



humedad natural (si no fuese posible obtener una muestra inalterada de campo, se puede preparar especímenes en laboratorio a la humedad y densidad natural).

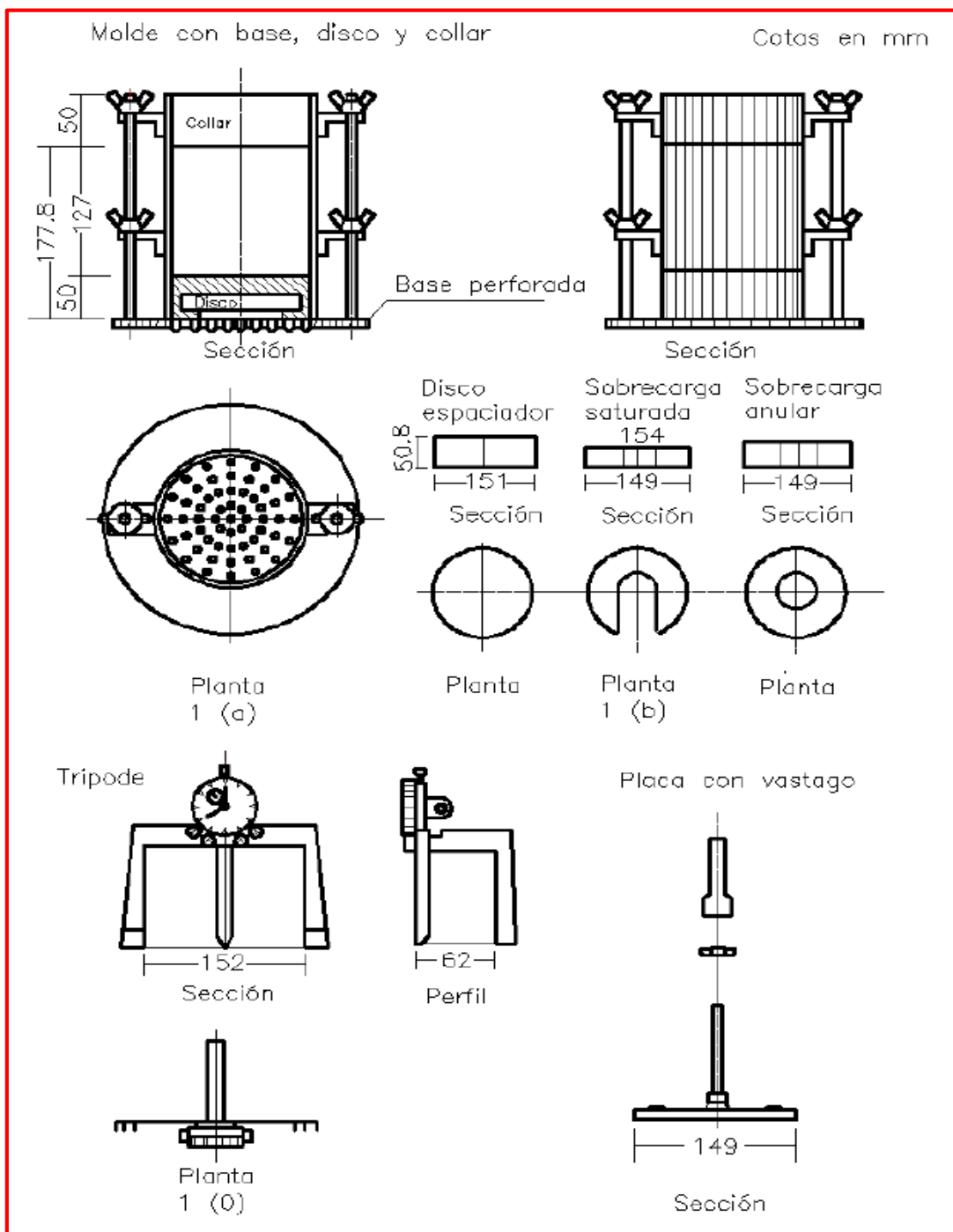


Figura 21: Aparato de CBR

Fuente: Manual de Carreteras de Paraguay



En el laboratorio se realiza el ensayo de penetración en su condición natural y saturada, siguiendo el mismo procedimiento que en muestras remoldeadas. CBR en muestras remoldeadas, método recomendado para subrasantes granulares, materiales de base, sub base y afirmado. (Minaya Gonzales & Ordoñez Huaman, 2006)

Los especímenes pueden ensayarse en su condición natural o saturada, luego de un período de inmersión en agua, la condición saturada es la más desfavorable. El CBR es la relación (expresada en porcentaje) entre la resistencia a la penetración requerida para que un pistón de 3 pulg² de área penetre 0.1 pulg dentro de un suelo entre 1000 psi que es la resistencia a la penetración de una muestra patrón. La muestra patrón es una piedra chancada. El CBR se expresa como: (Minaya Gonzales & Ordoñez Huaman, 2006)

$$CBR = \frac{\text{Resistencia a la penetración (psi) requerida para penetrar 0.1 pulg}}{1,000 \text{ lb / pulg}^2} \times 100$$

Tabla 17: Clasificación y uso del suelo según el valor de CBR

Clasificación y uso del suelo según el valor de CBR		
CBR	Clasificación	Uso
0 – 5	Muy mala	Sub – rasante
5 – 10	Mala	Sub – rasante
10 – 20	Regular – Buena	Sub – rasante
20 – 30	Excelente	Sub – rasante
30 – 50	Buena	Sub – base
50 – 80	Buena	Base
80 – 100	Excelente	Base
Fuente: Crespo Villalaz, 2004		

2.3. Hipótesis.

2.3.1. Hipótesis general.

“La adición de sales cuaternarias de amonio líquido en concentraciones de 0.5 %, 1.0 %, 1.5 % y 2.0 % incrementa las características geomecánicas tales como capacidad de soporte y densidad máxima seca, del material de la cantera Sencca – Poroy – Cusco”.



2.3.2. Hipótesis específica.

2.3.2.1. Hipótesis específica N° 01.

“Las propiedades geomecánicas del material de la cantera de Sencca – Poroy a utilizar no cumplen con las especificaciones técnicas de la norma Ce.010 para ser utilizado como sub – base de las estructuras de los pavimentos”.

2.3.2.2. Hipótesis específica N° 02.

“La capacidad de soporte (CBR, densidad máxima seca) del material de la cantera de Sencca – Poroy – Cusco, para sub – base adicionando sales cuaternarias de amonio líquido, en concentraciones de 0.5 %, 1.0 %, 1.5 %, 2.0 % es superior frente a un material sin adición”.

2.3. Hipótesis específica N° 03.

“La concentración óptima en porcentajes, de las sales cuaternarias de amonio líquido, que se debe de adicionar al material de la cantera de Sencca – Poroy – Cusco, empleado para la conformación de sub – base, dentro de las estructuras de pavimentos es de 1.0 %”

2.4. Definición de variables.

2.4.1. Variables independientes.

2.4.1.1. Variable independiente N° 01.

- **Identificación.**

Material de la cantera Sencca – Poroy – Cusco.

- **Descripción.**

Es un material pétreo (suelo) con características físicas y químicas, que cumplen con especificaciones técnicas como su granulometría, contenido de humedad, plasticidad, donde el tamaño máximo de las partículas es de 2”. Es un suelo que a simple vista se evidencia una granulometría adecuada, humedad adecuada, y la plasticidad adecuada para emplearla en conformación de estructuras de pavimentos.

- **Indicador.**

Volumen de material empleado en metros cúbico (m³)



2.4.1.2. Variable independiente N° 02.

- **Identificación.**

Sales cuaternarias de amonio líquido.

- **Descripción.**

Una mezcla poli molecular de sustancias activas interfaciales disolventes, emulador y catálisis CAS 112-03-08 con un contenido determinado de acetato de celulosa CAS 9004-35-7 e hidratados de carbón complejo compuesto de largas cadenas de unidades de glucosa, unidades por enlaces químicos de glucósido y componentes exclusivos.

- **Indicador.**

Cantidad de aditivo empleado en litros por metro cúbico (Lt/m³)

2.4.2. Variables dependientes.

2.4.2.1. Variable dependiente n° 01.

- **Identificación.**

Capacidad de soporte

- **Descripción.**

Es la capacidad del terreno que tiene para soportar cargas aplicadas sobre él. Técnicamente es la máxima presión medida entre el suelo (pavimento) y la carga que soporta. La capacidad portante es un parámetro para medir la deformación que se produce en el suelo cuando a esta se le aplica fuerzas de deformación.

- **Indicador.**

Valor obtenido del CBR expresado en porcentaje (%)

2.4.2.2. Variable dependiente N° 02.

- **Identificación.**

Densidad máxima seca.

- **Descripción.**

Valor de la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo, corresponde a la mayor densidad que pueda alcanzar un suelo al ser compactado a la humedad óptima

- **Indicador.**

Valor obtenido del proctor modificado expresado en gramos por centímetro cúbico (gr/cm³)



2.5. Operacionalización de variables.

Tabla 18: Cuadro de operacionalización de variables

Cuadro de operacionalización de variables					
EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB – BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO CANTERA DE SENCCA – POROY – CUSCO – PERÚ					
Variable	Descripción	Dimensión	Unidad	Indicadores	Instrumentos
Variables independientes					
X1: Material de la cantera Sencca – Poroy – Cusco.	Es un material pétreo (suelo) con características físicas y químicas, que cumplen con especificaciones técnicas	Análisis granulométrico	%	Peso retenido, peso que pasa	Guías de observación de laboratorio, formatos de evaluación del comportamiento físico mecánico
		Límites de Atterberg	%	Limite líquido	
				Limite plástico	
Límites de Atterberg	%	Índice de plasticidad			
X2: Sales cuaternarias de amonio líquido	Una mezcla poli molecular de sustancias activas interfaciales disolventes y emulador	Rocamix®	Lt/m ³	Cantidad de sales cuaternarias de amonio	Guías de observación de laboratorio, formatos de evaluación
Variables dependientes					
Y1: Capacidad de soporte	Es la capacidad del terreno que tiene para soportar cargas aplicadas sobre él. Técnicamente es la máxima presión medida del suelo	CBR	%	Esfuerzo	Guía de observación de laboratorio. Formato de evaluación de densidad
Y2: Densidad máxima	Valor de la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.	Densidad húmeda	gr/cm ³	Peso húmedo, volumen	Guía de observación de laboratorio. Formato de evaluación CBR
		Densidad seca		Peso seco, volumen	
Fuente: Elaboración propia					



Capítulo III: Metodología

3.1. Metodología de la investigación

3.1.1. Enfoque de la investigación

La presente investigación es de tipo cuantitativo.

“El enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar o eludir” pasos. El orden es riguroso, aunque, desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea, que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones”. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010, pág. 4)

De acuerdo a la definición anterior la presente investigación es de tipo cuantitativa por que las relaciones y demostraciones se realizan a través de la medición de las variables, además se tiene un proceso secuencial. Se parte de una premisa particular y termina en algo puntual. Se puede demostrar a través del ensayo de muestras de suelo mejorado y sin mejorar para Sub base de pavimentos.

3.1.2. Nivel o alcance de la investigación

La presente investigación es de tipo descriptivo

“Los estudios descriptivos busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas”. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010, pág. 92)

De acuerdo a la definición anterior la presente investigación es descriptiva, debido a que se mide, evalúa y relaciona aspectos y componentes del suelo mejorado con las Sales Cuaternarias de Amonio Líquido. Además, se busca especificar las propiedades importantes para medir y evaluar la capacidad de soporte del suelo (CBR).



3.1.3. Método de investigación

El método de la presente investigación es de tipo hipotético-deductivo

“El método hipotético-deductivo tiene varios pasos esenciales: observación del fenómeno a estudiar, creación de una hipótesis para explicar dicho fenómeno, deducción de consecuencias o proposiciones más elementales de las propias hipótesis, y verificación o comprobación de la verdad de los enunciados deducidos comparándolos con la experiencia”. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010)

De acuerdo a la definición anterior la presente investigación es hipotética-deductiva porque para realizarla se parte de una hipótesis general e hipótesis específicos, las cuales son demostradas mediante un proceso de investigación.

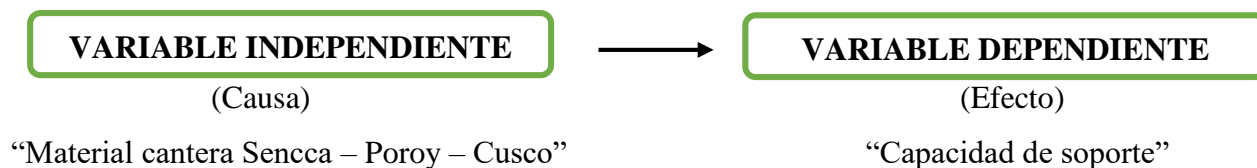
3.2. Diseño de la investigación.

3.2.1. Diseño metodológico.

Diseño experimental. (Roberto Hernandez CF, 2003)

El diseño metodológico para el presente tema de investigación, “Evaluación de la capacidad de soporte y densidad máxima para sub – base, en pavimentos con aditivos de sales cuaternarias de amonio líquido cantera de Sencca – Poroy – Cusco – Perú”, Corresponde a un diseño Experimental. Debido a que existe una Relación Causa – Efecto, y el manipuleo se realiza principalmente sobre la variable independiente, el manipuleo de la variable independiente se da en el momento de que incorporaremos las sales cuaternarias de amonio líquido, sobre la variable independiente.

Para el caso de nuestra investigación la variable independiente manipulable viene a ser el material de la cantera Sencca – Poroy – Cusco, el cual es considerada como la causa, como consecuencia del manipuleo obtendremos diferentes resultados de capacidad de soporte del suelo que viene a ser la variable dependiente de la investigación, por lo que dicha variable es considerada como efecto. La relación causa – efecto se da a raíz de la comparación del material de la cantera Sencca – Poroy – Cusco, sin refuerzo comparada con el material de la cantera en mención reforzada con sales cuaternarias de amonio líquido.





3.2.2. Diseño de ingeniería.

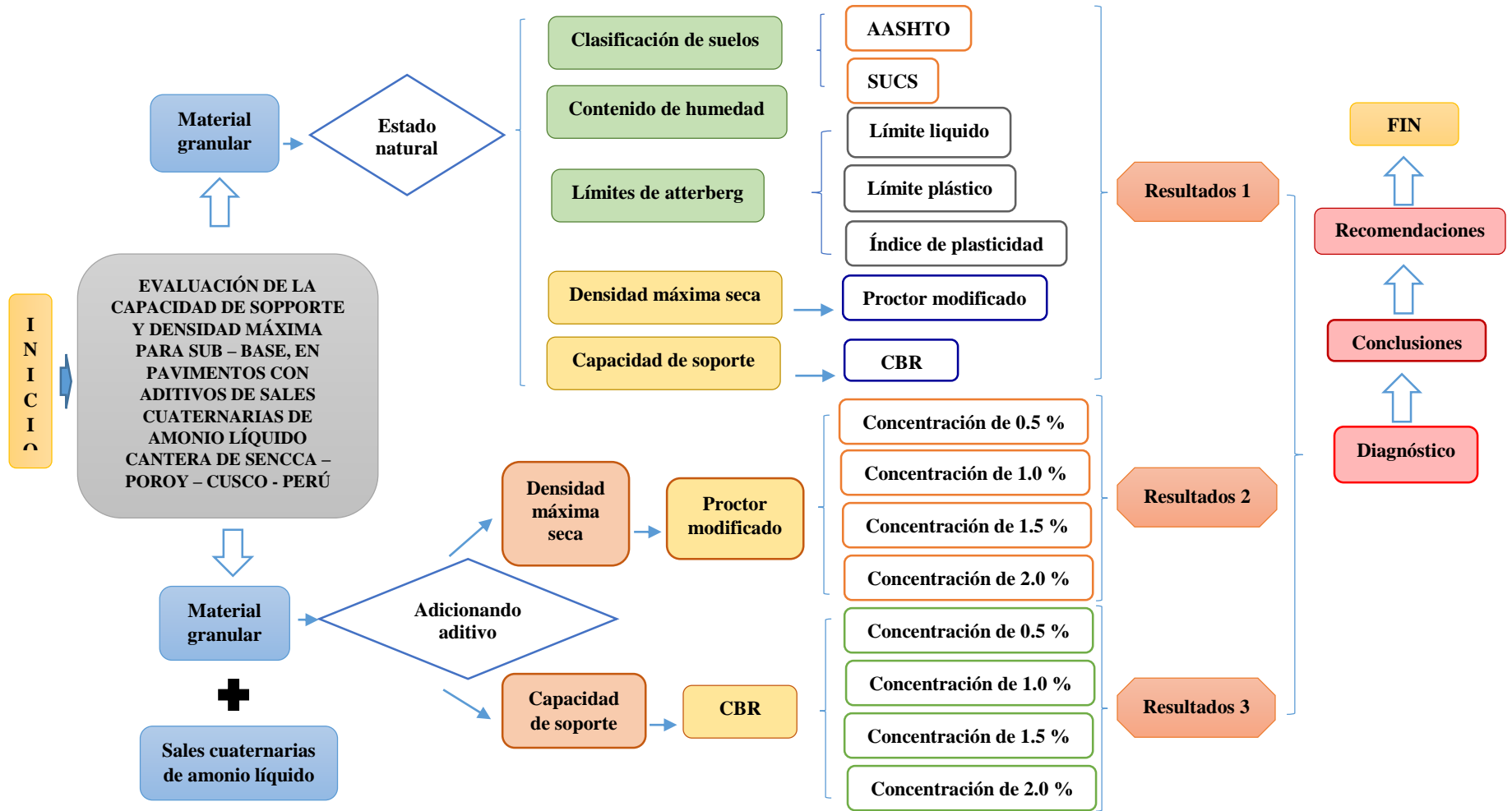


Figura 22: Diseño de ingeniería

Fuente: Elaboración propia



3.3.Población y muestra.

3.3.1. Población.

3.3.1.1. Descripción de la población.

Una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010, pág. 174)

La población que consideramos para el trabajo de investigación son:

- ✓ El material granular para sub base, extraído de la cantera de Sencca – Poroy
- ✓ Sales cuaternarias de amonio líquido.
- ✓ Agua potable

3.3.1.2. Cuantificación de la población.

La población está conformada por:

- ✓ Material granular de la Cantera Sencca - Poroy sin la adición de sales cuaternarias de amonio líquido.
- ✓ Material granular de la Cantera Sencca - Poroy con la adición de sales cuaternarias de amonio líquido en concentraciones de 0.5%, 1%, 1.5% y 2%, en función del peso del material.
- ✓ Teniendo un total de 5 elementos en el universo cada uno con un peso de 80000 gr +/- 500 gr.

3.3.2. Muestra.

3.3.2.1. Descripción de la muestra.

Una muestra es un subgrupo de la población en el que todos los elementos tienen la misma posibilidad de ser elegidos. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010, pág. 175)

La muestra está compuesta por 53 muestras de suelo de la cantera Sencca - Poroy sin la adición de sales cuaternarias de amonio líquido y con la adición en concentraciones de 0.5 %, 1.0 %, 1.5 %, 2.0%, de sales cuaternarias de amonio líquido, que viene a ser el total de lo descrito en la población.

3.3.2.2.Cuantificación de la muestra.

- A. Material granular de la cantera Sencca - Poroy sin la adición de sales cuaternarias de amonio líquido
- 01 Ensayo de contenido de humedad. (04 muestras cada uno de 2300 gr +/- 23 gr)



- 01 Ensayo de granulometría. (01 muestra de 2500 gr +/- 25 gr.)
 - 01 Ensayo de límite líquido. (04 muestras cada uno de 20 gr +/- 1 gr)
 - 01 Ensayo de límite plástico. (04 muestras cada uno de 20 gr +/- 1 gr)
 - 01 Ensayo de densidad máxima seca. (5 muestras cada uno de 6500 gr +/- 65 gr.)
 - 01 Ensayo de CBR en laboratorio. (3 muestras cada uno de 5500 gr +/- 55 gr. Para cada CBR)
- B. Material granular de la cantera Sencca - Poroy con la adición de sales cuaternarias de amonio líquido en concentración de 0.5%
- 01 Ensayo de densidad máxima seca (Proctor modificado). (5 muestras cada uno de 6500 gr +/- 65 gr.)
 - 01 Ensayo de CBR en laboratorio. (3 muestras cada uno de 5500 gr +/- 55 gr. Para cada CBR)
- C. Material granular de la Cantera Sencca - Poroy con la adición de sales cuaternarias de amonio líquido en porcentajes de 1.0%.
- 01 Ensayo de densidad máxima seca (Proctor modificado). (5 muestras cada uno de 6500 gr +/- 65 gr.)
 - 01 Ensayo de CBR en laboratorio. (3 muestras cada uno de 5500 gr +/- 55 gr. Para cada CBR)
- D. Material granular de la Cantera Sencca - Poroy con la adición de sales cuaternarias de amonio líquido en porcentajes de 1.5%.
- 01 Ensayo de densidad máxima seca (Proctor modificado). (5 muestras cada uno de 6500 gr +/- 65 gr.)
 - 01 Ensayo de CBR en laboratorio. (3 muestras cada uno de 5500 gr +/- 55 gr. Para cada CBR)
- E. Material granular de la Cantera Sencca - Poroy con la adición de sales cuaternarias de amonio líquido en porcentajes de 2.0%.



- 01 Ensayo de densidad máxima seca (Proctor modificado). (5 muestras cada uno de 6500 gr +/- 65 gr.)
- 01 Ensayo de CBR en laboratorio. (3 muestras cada uno de 5500 gr +/- 55 gr. Para cada CBR)

3.3.2.3. Método de muestreo.

El método de muestreo utilizado para las 53 muestras fue no probabilístico, ya que se utilizó el método de cuarteo para la elección de las muestras más representativas.

Muestra no probabilística o dirigida, es un subgrupo de la población en la que la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de las características de la investigación. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010, pág. 176)

Las muestras del suelo fueron tomadas de la cantera Sencca – Poroy según la norma técnica CE.010 Pavimentos Urbanos, dado que nuestra población es finita y los elementos puestos a evaluación se fabricaron por conveniencia (accesibilidad)

3.3.2.4. Criterios de evaluación de la muestra.

Se evaluaron las muestras tomando como referencia el Manual de Carreteras - Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2013 y el Manual de Ensayo de Materiales, 2016, realizando ensayos físicos y mecánicos para determinar si la adición de sales cuaternarias de amonio líquido optimiza al material de sub base para pavimentos.

3.3.3. Criterios de inclusión.

3.3.3.1. Criterio de inclusión de las muestras de suelo.

El material granular para sub base fue extraído de la cantera de cantera Sencca, distrito de Poroy, provincia del Cusco y departamento del Cusco.

Se hicieron ensayos para conocer la granulometría, humedad natural, límite líquido, límite plástico; parámetros importantes para los ensayos de proctor modificado y CBR, para conocer así la capacidad de soporte y densidad máxima.



3.3.3.2. Criterio de inclusión del aditivo.

El aditivo utilizado en esta investigación son las sales cuaternarias de amonio líquido, su obtención es de la estabilización y transformación del amonio líquido en sales cuaternarias estabilizadas de amonio. La adición de las sales cuaternarias de amonio líquido natural se hará en concentraciones de peso de 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2%.

3.3.3.3. Criterio de inclusión de agua.

El agua para la dosificación es potable, proveniente del abastecimiento de la red pública que brinda SEDACUSCO.





3.4. Instrumentos.

3.4.1. Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos.

3.4.1.1. Determinación del contenido de humedad de un suelo.

Tabla 19: Recolección de datos – ensayo de contenido de humedad

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO - CANTERA DE SENCCA - POROY – CUSCO – PERÚ.	

ENSAYO:	CONTENIDO DE HUMEDAD
TESISTAS:	Straisy Mirla Huallpacuna Yberico José Luis Quispe Condo
REFERENCIA NORMATIVA:	MTC E 108 / ASTM D 2216
MUESTRA:	Suelo Natural Sin Adición
FECHA:	
LUGAR:	LABORATORIO UNITEST S.A.C.

DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3	MUESTRA N°4
RECIPIENTE	N°				
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	gr.				
RECIPIENTE + SUELO SECO	gr.				
PESO DEL RECIPIENTE	gr.				
PESO DEL AGUA	gr.				
PESO DEL SUELO SECO	gr.				
CONTENIDO DE HUMEDAD	%				
HUMEDAD PROMEDIO	%				

Fuente: Elaboración propia



3.4.1.2. Análisis granulométrico de suelos por tamizado.

Tabla 20: Recolección de datos – ensayo de análisis granulométrico por tamizado

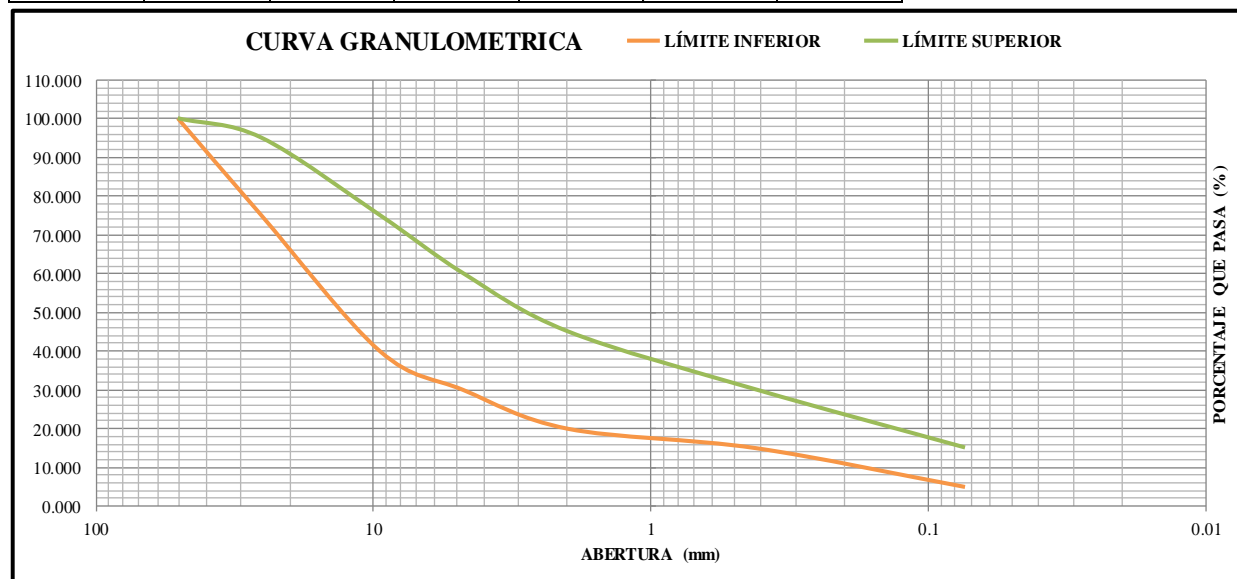
	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO - CANTERA DE SENCCA - POROY – CUSCO – PERÚ.	

ENSAYO:	CONTENIDO DE HUMEDAD
TESISTAS:	Straisy Mirla Huallpacuna Yberico José Luis Quispe Condo
REFERENCIA NORMATIVA:	MTC E 107 / ASTM D 422 / AASHTO T-88
MUESTRA:	<u>Suelo Natural Sin Adición</u>
FECHA:	
LUGAR:	LABORATORIO UNITEST S.A.C.

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	PESO RET. REAJUSTADO (gr.)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUM.	% QUE PASA
3"	75					
2"	50					
1 1/2"	38.1					
1"	25.4					
3/4"	19					
1/2"	12.7					
3/8"	9.5					
#4	4.75					
#10	2					
#20	0.85					
#40	0.425					
#60	0.25					
#100	0.15					
#200	0.075					
Fondo						
TOTAL						

DATOS DE LA MUESTRA		
Peso Inicial de la Muestra Seca		gr.
Peso de la Muestra Después del Lavado		gr.
Perdida por Lavado		gr.
Peso perdido		gr.
% perdida		gr.

Peso de la Fracción		gr.
Lim Líquido		%
Lim Plástico		%
Índice de Plasticidad		%
GRAVA (%)		%
ARENA (%)		%
FINOS (%)		%



Fuente: Elaboración propia



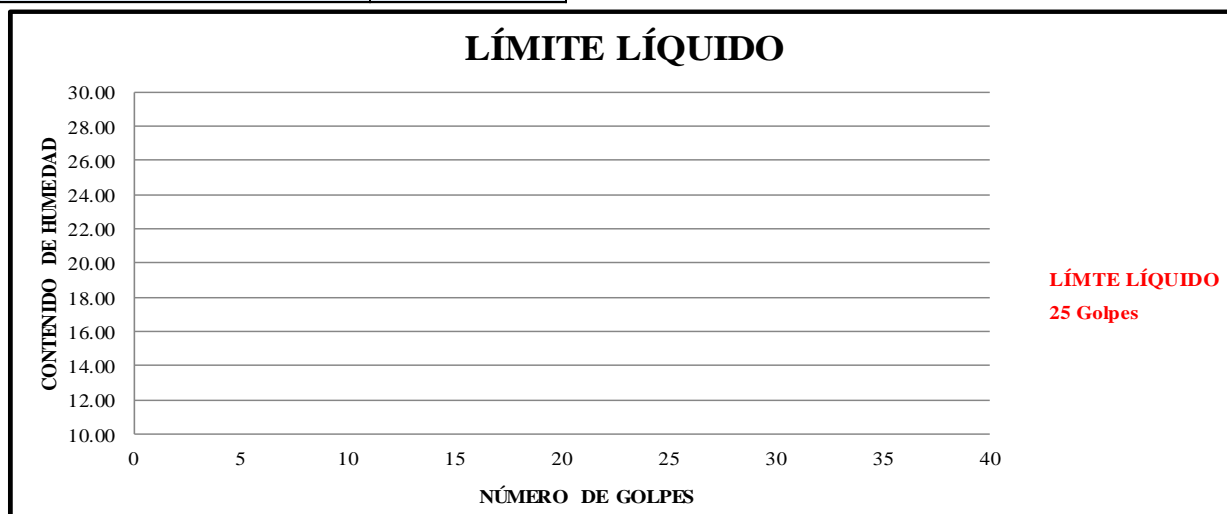
3.4.1.3. Determinación de límites de consistencia.

Tabla 21: Recolección de datos – ensayo de límite líquido y plástico.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO - CANTERA DE SENCCA - POROY – CUSCO – PERÚ.	

ENSAYO:	LÍMITES DE CONSISTENCIA
TESISTAS:	Straisy Mirla Hualpacuna Yberico José Luis Quispe Condo
REFERENCIA NORMATIVA:	MTC E 110 / NTP 339.129 / AASHTO T-89
MUESTRA:	Suelo Natural Sin Adición
FECHA:	
LUGAR:	LABORATORIO UNITEST S.A.C.

DATOS							
DESCRIPCIÓN	UND	LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
		MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3	MUESTRA N°4	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2
RECIPIENTE N°	N°						
N° DE GOLPES	gr.						
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	gr.						
RECIPIENTE + SUELO SECO	gr.						
PESO DEL RECIPIENTE	gr.						
PESO DEL AGUA	gr.						
PESO DEL SUELO SECO	gr.						
CONTENIDO DE HUMEDAD	%						
LÍMITE LÍQUIDO							
LÍMITE PLÁSTICO							
ÍNDICE DE PLASTICIDAD							



Fuente: Elaboración propia



3.4.1.4. Ensayo de proctor modificado.

Tabla 22: Recolección de datos – ensayo de proctor modificado.

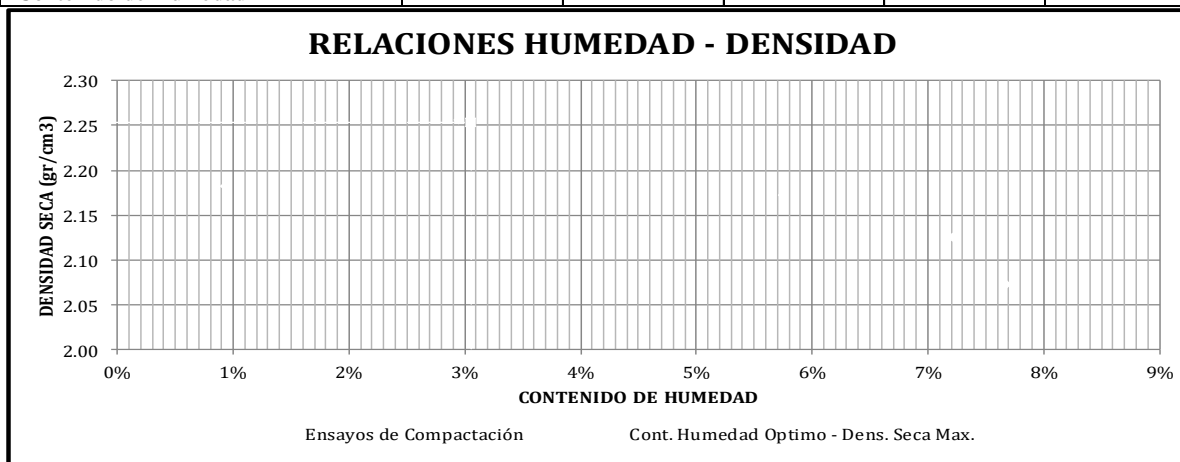
	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO - CANTERA DE SENCCA - POROY – CUSCO – PERÚ.	

ENSAYO:	RELACIONES HUMEDAD - DENSIDAD (PRÓCTOR MODIFICADO)
TESISTAS:	Straisy Mirla Huallpacuna Yberico José Luis Quispe Condo
REFERENCIA NORMATIVA:	MTC E 115 / ASTM D 1557 / AASHTO T-180
MUESTRA:	
FECHA:	
LUGAR:	LABORATORIO UNITEST S.A.C.

Método C

DATOS GENERALES	
Número de Capas =	/
Golpes por Capa =	/
Peso del Martillo =	/
Altura de Caída del Martillo =	/

DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 05
Número de Proctor Utilizado					
Diámetro del Molde (cm)					
Altura del molde (cm)					
Volumen del Molde (cm ³)					
Peso del Molde (gr)					
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)					
Peso de la Muestra Húmeda (gr)					
Peso de la Muestra Seca (gr)					
Densidad Seca (gr/cm³)					
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Peso de Capsula (gr)					
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)					
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)					
Peso del Agua (gr)					
Peso de la Muestra Seca (gr)					
Contenido de Humedad					



DENSIDAD SECA MÁXIMA =	
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO =	

Fuente: Elaboración propia



3.4.1.5. Ensayo de California Bearing Ratio (CBR)

Tabla 23: Recolección de datos – ensayo de CBR.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO - CANTERA DE SENCCA - POROY – CUSCO – PERÚ.	

ENSAYO:	RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
TESISTAS:	Straisy Mirla Huallpacuna Yberico José Luis Quispe Condo
REFERENCIA NORMATIVA:	MTC E 132 / ASTM D 1883 / AASHTO T-193
MUESTRA:	
FECHA:	
LUGAR:	PRO&CON S.C.R.L.

DATOS PRELIMINARES		
DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO	DATOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN	DATOS DEL MOLDE
Densidad Seca Máxima = Contenido Humedad Óptimo =	Peso del Martillo = Altura de Caída del Martillo = Número de Capas =	Diámetro del Molde = Altura del Molde = Altura del Disco Espaciador = Altura de la Muestra = Área = Volumen =
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN		
Constante del Anillo de Carga = Área del Pistón =		

ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Muestra	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Número de Golpes por Capa	55		26		12	
Condición de la Muestra	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada
Peso de Capsula (gr)						
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)						
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)						
Peso del Agua (gr)						
Peso de la Muestra Seca (gr)						
Contenido de Humedad						
Porcentaje de Absorción						
Peso del Molde (gr)						
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)						
Peso de la Muestra Húmeda (gr)						
Peso de la Muestra Seca (gr)						
Peso del Agua Absorbida (gr)						
Porcentaje de Absorción						
Densidad húmeda (gr/cm ³)						
Densidad Seca (gr/cm ³)						

ENSAYO DE EXPANSIÓN													
Muestra		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
Tiempo Transcurrido		Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.
0	0 hor 00 min												
0.0625	1 hor 30 min												
0.125	3 hor 00 min												
0.25	6 hor 00 min												
0.5	12 hor 00 min												
1	24 hor 00 min												
2	48 hor 00 min												
4	96 hor 00 min												

ENSAYO DE PENETRACIÓN														
Muestra			MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03					
Carga Unitaria Patrón (kg/cm ²)	Dial	Penetración	Dial	Fuerza	Es fuer.	CBR	Dial	Fuerza	Es fuer.	CBR	Dial	Fuerza	Es fuer.	CBR
	*0.001"	mm		kg	kg/cm ²	%		kg	kg/cm ²	%		kg	kg/cm ²	%
0		0.000												
		0.635												
		1.270												
		1.905												
70.31		2.540												
		3.175												
		3.810												
105.46		5.080												
		7.620												
		10.160												
		12.700												

Fuente: Elaboración propia



3.4.2. Instrumentos de ingeniería.

Son aquellos equipos y herramientas usados en los ensayos de laboratorio. Se usaron los siguientes instrumentos de ingeniería:

3.4.2.1. Determinación del contenido de humedad de un suelo.

- **Horno de secado:** Horno de secado termostáticamente controlado, de preferencia uno del tipo tiro forzado, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
- **Balanzas:** De capacidad conveniente y con las siguientes aproximaciones: De 0,01 g para muestras de menos de 200 g. De 0,1 g para muestras de más de 200 g.
- **Recipientes:** Apropriados, fabricados de material resistente a la corrosión, y al cambio de peso cuando es sometido a enfriamiento o calentamiento continuo, exposición a materiales de pH variable, y a limpieza.
- **Utensilios para manipulación de recipientes:** Se requiere el uso de guantes, tenazas, o un sujetador apropiado para mover y manipular los recipientes calientes después de que se hayan secado.
- **Otros utensilios:** Se requieren el empleo de cuchillos, espátulas, cucharas, lona para cuarteo, divisores de muestras, etc.

3.4.2.2. Análisis granulométrico de suelos por tamizado.

- **Dos balanzas.** Una con sensibilidad de 0,01 g para pesar material que pase el tamiz de 4,760 mm (N° 4). Otra con sensibilidad de 0,1% del peso de la muestra, para pesar los materiales retenidos en el tamiz de 4,760 mm (N° 4).
- **Estufa:** Capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta de 110 ± 5 °C.
- **Tamices de malla cuadrada. Incluyen los siguientes:**
 - Serie de tamices gruesos: 2" (50,800 mm), 1½" (38,100 mm), 1" (25,400 mm), ¾" (19,000 mm) y 3/8" (9,500 mm).
 - Serie de tamices finos: N° 4 (4,760 mm), N° 10 (2,000 mm), N° 20 (0,840 mm), N° 40 (0,425 mm), N°60 (0, 260 mm), N°140 (0,106 mm) y N° 200 (0,075 mm).
- **Envases:** Adecuados para el manejo y secado de las muestras.
- **Cepillo y brocha:** Para limpiar las mallas de los tamices.



3.4.2.3. Ensayo de determinación de Límite líquido (L.L.), Límite plástico (L.P.) de los suelos e Índice de plasticidad (I.P.)

- **Recipiente para almacenaje:** Una vasija de porcelana de 115 mm (4 ½") de diámetro aproximadamente.
- **Aparato del límite líquido (o de Casagrande):** De operación mecánica. Es un aparato equipado con motor para producir la altura y el número de golpes.
- **Acanalador:** Para realizar el ranurado.
- **Calibrador:** Ya sea incorporado al ranurador o separado, de acuerdo con la dimensión crítica "d" mostrada en la Figura 1, y puede ser, si fuere separada, una barra de metal de $10,00 \pm 0,2$ mm ($0,394 \pm 0,008$ ") de espesor y de 50 mm (2") de largo, aproximadamente.
- **Recipientes o pesa filtros:** De material resistente a la corrosión, y cuya masa no cambie con repetidos calentamientos y enfriamientos. Deben tener tapas que cierren bien, sin costuras, para evitar las pérdidas de humedad de las muestras antes de la pesada inicial y para evitar la absorción de humedad de la atmósfera tras el secado y antes de la pesada final.
- **Balanza:** Una balanza con sensibilidad de 0,01 g.
- **Estufa:** Termostáticamente controlado y que pueda conservar temperaturas de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ para secar la muestra.
- **Espátula:** De hoja flexible, de unos 75 a 100 mm (3" – 4") de longitud por 20 mm (3/4") de ancho.
- **Horno o estufa:** Termostáticamente controlado regulable a $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- **Tamiz:** De 426 μm (N° 40).
- **Recipientes:** Adecuados para determinación de humedades
- **Superficie de rodadura:** Comúnmente se utiliza un vidrio grueso esmerilado.

3.4.2.4. Ensayo de compactación de suelos modificado.

- **Molde de 6 pulgadas:** Un molde que tenga en promedio $152,4 \pm 0,7$ mm de diámetro interior, una altura de: $116,4 \pm 0,5$ mm y un volumen de $2\,124 \pm 25$ cm³.
- **Pisón o martillo:** Un pisón operado manualmente. El pisón debe caer libremente a una distancia de $457,2 \pm 1,6$ mm de la superficie de espécimen.
- **Extractor de muestras (opcional):** Puede ser una gata, estructura u otro mecanismo adaptado con el propósito de extraer los especímenes compactados del molde.



- **Balanza:** Una balanza para una aproximación de 1 gramo.
- **Horno de secado:** Con control termostático preferiblemente del tipo de ventilación forzada, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C a través de la cámara de secado.
- **Tamices o mallas:** De 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg), 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg) y 4,75mm (N° 4), conforme a los requisitos de las especificaciones ASTM E11 (“Especificación para mallas metálicas con fines de ensayo”).
- **Herramientas de mezcla:** Diversas herramientas tales como cucharas, morteros, mezclador, paleta, espátula, botella de spray, etc. o un aparato mecánico apropiado para la mezcla completa de muestra de suelo con incrementos de agua.

3.4.2.5. Ensayo de CBR de suelos en laboratorio.

- **Prensa usada en ensayos de compresión:** utilizada para forzar la penetración de un pistón en el espécimen.
- **Molde, de metal:** cilíndrico, de $152,4\text{mm} \pm 0,66$ mm ($6 \pm 0,026$ "") de diámetro interior y de $177,8 \pm 0,46$ mm ($7 \pm 0,018$ "") de altura, provisto de un collar de metal suplementario de 50,8 mm (2,0") de altura y una placa de base perforada de 9,53 mm ($\frac{3}{8}$ "") de espesor. Las perforaciones de la base no excederán de 1,6 mm ($\frac{1}{16}$ "") las mismas que deberán estar uniformemente espaciadas en la circunferencia interior del molde de diámetro. La base se deberá poder ajustar a cualquier extremo del molde.
- **Disco espaciador:** de metal, de forma circular, de 150,8 mm ($5 \frac{15}{16}$ "") de diámetro exterior y de $61,37 \pm 0,127$ mm ($2,416 \pm 0,005$ "") de espesor, para insertarlo como falso fondo en el molde cilíndrico durante la compactación.
- **Pisón de compactación:** Como el descrito en el modo operativo de ensayo proctor modificado, (equipo modificado).
- **Aparato medidor de expansión:** Compuesto por: Una placa de metal perforada, por cada molde, de 149,2 mm ($5 \frac{7}{8}$ "") de diámetro, cuyas perforaciones no excedan de 1,6 mm ($\frac{1}{16}$ "") de diámetro. Estará provista de un vástago en el centro con un sistema de tornillo que permita regular su altura.
- **Un trípode:** Cuyas patas puedan apoyarse en el borde del molde, que lleve montado y bien sujeto en el centro un dial (deformímetro), cuyo vástago coincida con el de la placa, de



forma que permita controlar la posición de éste y medir la expansión, con aproximación de 0,025 mm (0,001").

- **Pesas:** Uno o dos pesas anulares de metal que tengan una masa total de $4,54 \pm 0,02$ kg y pesas ranuradas de metal cada una con masas de $2,27 \pm 0,02$ kg. Las pesas anular y ranurada deberán tener $5 \frac{7}{8}$ " a $5 \frac{15}{16}$ " (149,23 mm a 150,81 mm) en diámetro; además de tener la pesa, anular un agujero central de $2 \frac{1}{8}$ " aproximado (53,98 mm) de diámetro.
- **Pistón de penetración:** metálico de sección transversal circular, de $49,63 \pm 0,13$ mm de diámetro, área de 19,35 cm² y con longitud necesaria para realizar el ensayo de penetración con las sobrecargas precisas, pero nunca menor de 101,6 mm (4").
- **Dos diales:** Con recorrido mínimo de 25 mm (1") y divisiones lecturas en 0,025 mm (0,001"), uno de ellos provisto de una pieza que permita su acoplamiento en la prensa para medir la penetración del pistón en la muestra.
- **Tanque:** Con capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua.
- **Estufa:** Termostáticamente controlada, capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- **Balanzas:** Con sensibilidades de 1 g y 0,1 g, respectivamente.
- **Tamices:** De 4,76 mm (No. 4), 19,05 mm (3/4") y 50,80 mm (2").
- **Misceláneos:** De uso general como cuarteador, mezclador, cápsulas, probetas, espátulas, discos de papel de filtro del diámetro del molde, etc.



Panel fotográfico de los instrumentos de ingeniería.



Figura 23: Balanza electrónica.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 24: Recipiente metálico.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 25: Agua potable.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 26: Cocina industrial para el secado de material.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 27: Mezcladora grande.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 28: Badilejo.

Fuente: Elaboración propia



Figura 29: Recipiente metálico.

Fuente: Elaboración propia



Figura 30: Envase para almacenar agua.

Fuente: Elaboración propia



Figura 31: Acanalador.

Fuente: Elaboración propia



Figura 32: Copa de Casagrande.

Fuente: Elaboración propia



Figura 33: Ranurador.

Fuente: Elaboración propia



Figura 34: Vidrio Grueso esmerilado.

Fuente: Elaboración propia



Figura 35: Taras para almacenar muestras.

Fuente: Elaboración propia



Figura 36: Brocha.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 37: Martillo de goma.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 38: Regla metálica.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 39: Bandeja.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 40: Horno de secado. ($T^{\circ} = 110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$)

Fuente: Elaboración propia.



Figura 41: Serie de Tamices de mallas cuadradas.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 42: Martillo.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 43: Espátula.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 44: Tamiz #10

Fuente: Elaboración propia.



Figura 45: Vástago.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 46: Molde próctor.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 47: Regla metálica.

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Recolección de datos.

3.5.1. Muestreo, reducción, conservación, transporte y cuarteo de suelo.

3.5.1.1. Instrumentos de muestreo, reducción, conservación, transporte y cuarteo de suelo.

- Pico
- Pala
- Saquillos y bolsas
- Barreta
- Cámara fotográfica.

3.5.1.2. Procedimiento de muestreo, reducción, conservación, transporte y cuarteo de suelo.

Para la extracción de material, se tuvo que trasladarse a la cantera Sencca– Poroy, de la cual se extraerá el material el cual será estudiado.

Teniendo en cuenta que para la extracción del material se usó las recomendaciones que nos ofrece la norma de laboratorios de suelos siguientes:

- MTC 101 (Muestreo de Suelos y Rocas)
- MTC 103 (Reducción de Muestras de Campo a Tamaños de Muestras de Ensayo)
- MTC 104 (Conservación y Transporte de Muestras de Suelos)



- MTC 105 (Obtención en Laboratorio de Muestras Representativas (Cuarteo)).



Figura 48: Cantera Sencca – Poroy.

Fuente: Elaboración propia.

- Se coloca la muestra sobre una superficie dura, limpia y horizontal evitando cualquier pérdida de material o la adición de sustancias extrañas. Se mezcla bien la muestra hasta formar una pila en forma de cono; se mezcla de nuevo hasta formar un nuevo cono, repitiendo esta operación tres veces. Cada palada tomada de la base se deposita en la parte superior del cono, de modo que el material caiga uniformemente por los lados del cono. Cuidadosamente se aplanan y extienden la pila cónica hasta darle base circular y espesor y diámetro uniforme presionando hacia abajo con la cuchara de la pala, de tal manera que cada cuarto del sector contenga el material original. El diámetro debe ser aproximadamente cuatro a ocho veces el espesor. Se procede luego a dividir diametralmente el material en cuatro partes iguales, de las cuales se separan dos cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino limpiando luego con cepillo o escoba los espacios libres.



Los dos cuartos restantes se mezclan sucesivamente y se repite la operación hasta obtener la cantidad de muestra requerida, tal como se aprecia

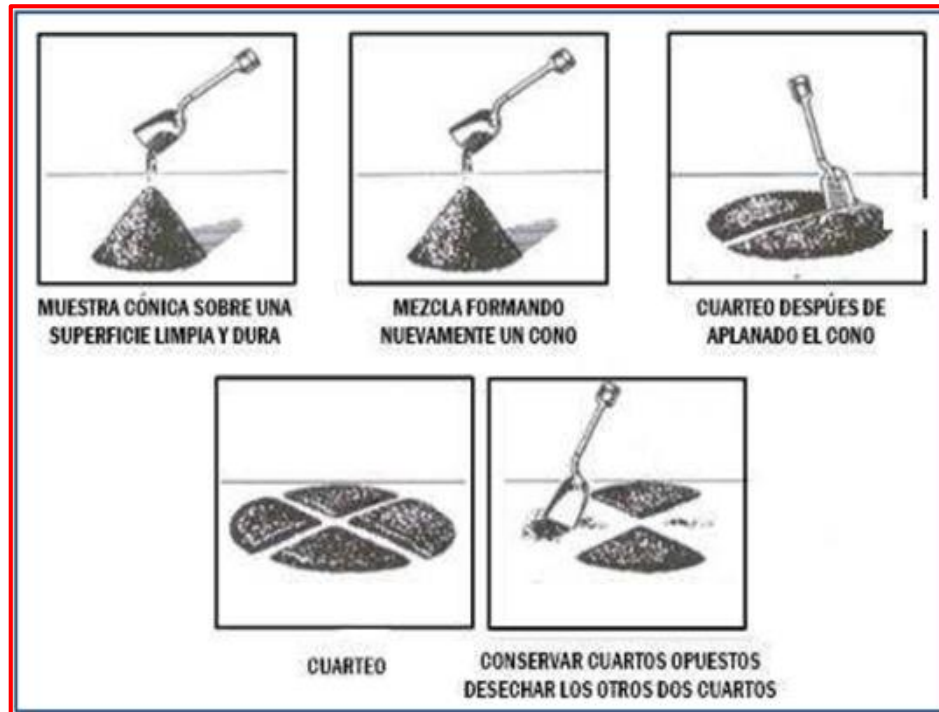


Figura 49: Método del cuarteo de la muestra.

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016



Figura 50: Toma de muestra de la cantera Sencca – Poroy.

Fuente: Elaboración propia



3.5.1.3. Toma de datos de muestreo, reducción, conservación, transporte y cuarteo de suelo.

Se extrajeron 250 kg aproximadamente de material granular como muestras representativas de la cantera de Sencca – Poroy, para así realizar los ensayos correspondientes.

3.5.2. Ensayo de contenido de humedad de los suelos.

3.5.2.1. Instrumentos de contenido de humedad.

- Horno de secado, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
- Balanzas de precisión.
- Recipientes apropiados para el secado de muestras.
- Utensilios para manipulación de recipientes (guantes, tenazas, etc.).
- Otros utensilios (cuchillos, espátulas, cucharas, lona para cuarteo, divisores de muestras, etc.).

3.5.2.2. Procedimiento de contenido de humedad.

- 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:

Tabla 24: Masa mínima recomendada de espécimen para contenido de humedad.

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 (Nº 10)	20 g	20 g *
4,75 mm	4,760 mm (Nº 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

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016, pág. 50

- Determinamos y registramos la masa de un contenedor limpio y seco.
- Seleccionamos especímenes de ensayo representativos de acuerdo a la tabla N° 22, la cual indica los pesos mínimos que debemos de utilizar para el ensayo de contenido de humedad,

según los pasantes por cada tipo de malla para la presente tesis la malla empleada es la que tiene una abertura de 3/4 “.

- Colocar el espécimen de ensayo húmedo en el contenedor.
- Determinar el peso del contenedor y material húmedo usando una balanza.



Figura 51: Peso de la muestra para el porcentaje de humedad.

Fuente: Elaboración propia.

- Colocar el contenedor con material húmedo en el horno.
- Secar el material hasta alcanzar una masa constante, el secado se realiza a una temperatura de 110 °C durante 24 horas.
- Luego que el material se haya secado a peso constante, Se permitirá el enfriamiento del material y del contenedor a temperatura ambiente o hasta que el contenedor pueda ser manipulado cómodamente con las manos y la operación del balance no se afecte por corrientes de convección y/o esté siendo calentado.
- Determinar el peso del contenedor y el material secado al horno usando la misma balanza.



3.5.2.3. Toma de datos de contenido de humedad.

Tabla 25: Datos para contenido de humedad.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO - CANTERA DE SENCCA - POROY – CUSCO – PERÚ.	

ENSAYO:	CONTENIDO DE HUMEDAD
TESISTAS:	Straisy Mirla Huallpacuna Yberico José Luis Quispe Condo
REFERENCIA NORMATIVA:	MTC E 108 / ASTM D 2216
MUESTRA:	Suelo Natural Sin Adición
FECHA:	
LUGAR:	LABORATORIO UNITEST S.A.C.

DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3	MUESTRA N°4
RECIPIENTE	N°	CT-3	B56B1	B56B2	CT-4
RECIPIENTE+ SUELO HÚMEDO	gr.	2511.430	2382.04	2488.25	2508.46
RECIPIENTE+ SUELO SECO	gr.	2408.210	2283.33	2381.22	2401.2
PESO DEL RECIPIENTE	gr.	146.540	144.54	147.75	145.51
PESO DEL AGUA	gr.				
PESO DEL SUELO SECO	gr.				
CONTENIDO DE HUMEDAD	%				
HUMEDAD PROMEDIO	%				

Fuente: Elaboración propia.



3.5.3. Ensayo de análisis granulométrico de suelos por tamizado.

3.5.3.1. Instrumentos de análisis granulométrico de suelos por tamizado.

- Balanzas de precisión.
- Estufa.
- Máquina para el tamizado mecánico.
- Tamices de malla cuadrada. Incluyen los siguientes:
- Serie de tamices gruesos: 2" (50,800 mm), 1½" (38,100 mm), 1" (25,400 mm), ¾" (19,000 mm) y 3/8" (9,500 mm).
- Serie de tamices finos: N° 4 (4,760 mm), N° 10 (2,000 mm), N° 20 (0,840 mm), N° 40 (0,425 mm), N° 60 (0,260 mm), N° 140 (0,106 mm) y N° 200 (0,075 mm).
- Envases. Adecuados para el manejo y secado de las muestras.
- Recipientes para almacenar muestras.
- Cepillo y brocha, para limpiar las mallas de los tamices.

3.5.3.2. Procedimiento de análisis granulométrico de suelos por tamizado.

- Se toma una muestra representativa por el método del cuarteo, aproximadamente 7 kg de suelo.



Figura 52: Cuarteo de muestra para análisis granulométrico.

Fuente: Elaboración propia.



- Ya seleccionada el material granular, se procedió a realizar el secado del material, para lo cual se utilizó la cocina a gas industrial y bandejas para el secado de material, de tal forma lograr de forma eficiente y en menor tiempo el secado del material para su correspondiente análisis granulométrico.
- Secado el material se registra el peso de la muestra y se procede a lavar por el tamiz N° 200. Seguidamente se coloca la muestra húmeda en el horno a 110°C durante 24 horas y transcurrido el tiempo se registra el peso del material seco y lavado.
- La muestra seca se dividió en dos porciones: una retenida en el tamiz de 4,760 mm (N° 4) y otra que pasa el tamiz N° 4 (fracción gruesa y fina).
- Seguidamente se realizó el tamizado manual, moviendo los tamices de un lado a otro y recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento sobre la malla de ambas fracciones del material.
- Determinamos el peso de cada fracción en una balanza con una sensibilidad de 0,1 %. La suma de los pesos de todas las fracciones y el peso inicial de la muestra no debe diferir en más de 1 %.

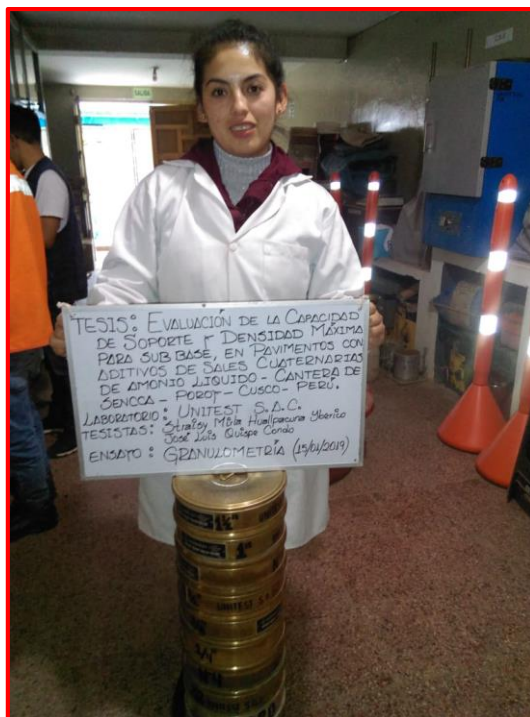




Figura 53: Tamizado de material.

Fuente: Elaboración propia.



3.5.3.3. Toma de datos de análisis granulométrico de suelos por tamizado.

Tabla 26: Datos para análisis granulométrico.

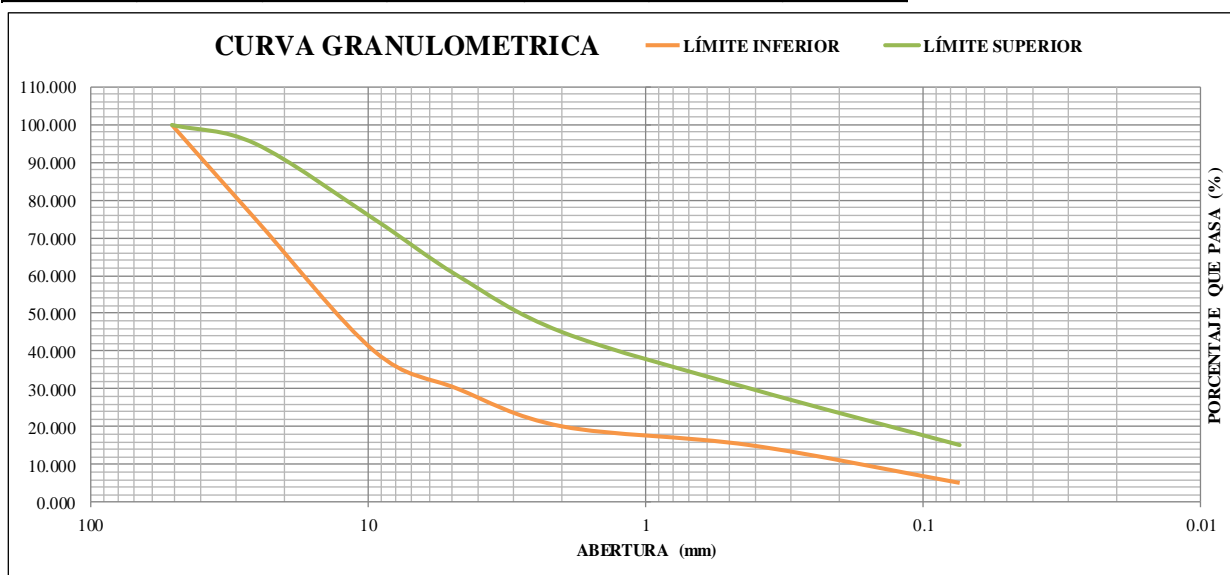
	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO - CANTERA DE SENCCA - POROY – CUSCO – PERÚ.	

ENSAYO:	CONTENIDO DE HUMEDAD
TESISTAS:	Straisy Mirla Huallpacuna Yberico José Luis Quispe Condo
REFERENCIA NORMATIVA:	MTC E 107 / ASTM D 422 / AASHTO T-88
MUESTRA:	Suelo Natural Sin Adición
FECHA:	
LUGAR:	LABORATORIO UNITEST S.A.C.

TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	PESO RET. REAJUSTADO (gr.)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUM.	% QUE PASA
3"	75					
2"	50					
1 1/2"	38.1					
1"	25.4	88.87				
3/4"	19	84.62				
1/2"	12.7	182.96				
3/8"	9.5	265.54				
#4	4.75	494.47				
#10	2	445.49				
#20	0.85	343.43				
#40	0.425	193.00				
#60	0.25	98.79				
#100	0.15	75.33				
#200	0.075	78.14				
Fondo		3.62				
TOTAL						

DATOS DE LA MUESTRA		
Peso Inicial de la Muestra Seca	2359.10	gr.
Peso de la Muestra Después del Lavado	2257.40	gr.
Perdida por Lavado		gr.
Peso perdido		gr.
% perdida		gr.

Peso de la Fraccion	1240.34	gr.
Lim Liquido		%
Lim Plastico		%
Indice de Plasticidad		%
GRAVA (%)		%
ARENA (%)		%
FINOS (%)		%



Fuente: Elaboración propia.

3.5.4. Ensayo de límite líquido y límite plástico.

3.5.4.1. Instrumentos de límite líquido y límite plástico.

- Recipiente para almacenaje. Aparato del límite líquido (o de Casagrande).
- Acanalador.
- Recipientes o pesa filtros.
- Balanza
- Estufa.
- Espátula
- Horno o estufa, termostáticamente controlado regulable a 110 ± 5 °C.
- Tamiz, de 426 μm (N° 40).
- Agua destilada.
- Recipientes adecuados para determinación de humedades
- Vidrio grueso esmerilado.

3.5.4.2. Procedimiento de límite líquido y límite plástico.

- Se obtiene una porción representativa de la muestra total suficiente para proporcionar 250g de material pasante del tamiz N° 40.



Figura 54: Porción representativa para límites líquido y plástico.

Fuente: Elaboración propia.



Ensayo de determinación del límite líquido de los suelos.

- Se colocó los 250g de muestra de suelo en el recipiente de porcelana, añadiéndose pequeñas cantidades de agua y mezclar cuidadosamente el suelo con una espátula hasta obtener un color uniforme de la muestra húmeda (repetir el proceso hasta obtener una mezcla homogénea y uniforme).
- Se procedió a colocar una porción de suelo preparado en la copa de Casagrande, presionándola, y esparciéndola con una espátula en la copa hasta una profundidad de aproximadamente 10 mm en su punto más profundo, formando una superficie aproximadamente horizontal. Teniendo cuidado en no dejar burbujas de aire atrapadas en la pasta con el menor número de pasadas de espátula como sea posible.
- Mantener el suelo no usado en el plato de mezclado. Cubrir el plato de mezclado con un paño húmedo para retener la humedad en la muestra.
- Utilizando el acanalador, dividimos la muestra contenida en la copa, haciendo una ranura a través del suelo siguiendo una línea que una el punto más alto y el punto más bajo sobre el borde de la copa.
- Cuando se corte la ranura, mantener el acanalador contra la superficie de la copa y trazar un arco, manteniendo la corriente perpendicular a la superficie de la copa en todo su movimiento.
- Verificar que no existen restos de suelo por debajo de la copa. Levantar y soltar la copa girando el manubrio a una velocidad de 1,9 a 2,1 golpes por segundo hasta que las dos mitades de suelo estén en contacto en la base de la ranura una longitud de 13 mm (1/2 pulg).
- Registramos el número de golpes (N) necesarios para cerrar la ranura y tomamos una muestra de suelo representativa de la máquina de Casagrande colocándola seguidamente en un recipiente de peso conocido, para calcular su contenido de humedad.
- Regresamos el suelo remanente en la copa al plato de mezclado. Mezclamos nuevamente todo el espécimen de suelo en el plato añadiéndole agua para aumentar su contenido de humedad y disminuir el número de golpes necesarios para cerrar la ranura. Repetimos los pasos anteriores para conseguir el número de golpes adecuado.



Figura 55: Colocación de muestra en la copa Casagrande.

Fuente: Elaboración propia.

Ensayo de determinación del límite plástico de los suelos.

- Tomamos aproximadamente 20 g de la muestra que pase por el tamiz de 426 mm (N° 40), preparado para el ensayo de límite líquido.
- Se toma una porción de 1,5 g a 2,0 g de dicha esfera como muestra para el ensayo.
- Se moldea la muestra en forma de elipsoide y, a continuación, se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, con la presión estrictamente necesaria para formar cilindros.
- Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3,2 mm (1/8") no se ha desmoronado, se vuelve a hacer un elipsoide y a repetir el proceso, cuantas veces sea necesario, hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro.
- Obtenidos los trozos de cilindro se colocan en la tara para su posterior colocado en el horno, secado y registra el peso de muestra más recipiente
- Repetimos el mismo procedimiento con la otra mitad de la muestra y registramos los datos obtenidos del ensayo, como se muestran en la tabla 26.





Figura 56: Elaboración de los cilindros de muestra.

Fuente: Elaboración propia.



3.5.4.3. Toma de datos de límite líquido y límite plástico.

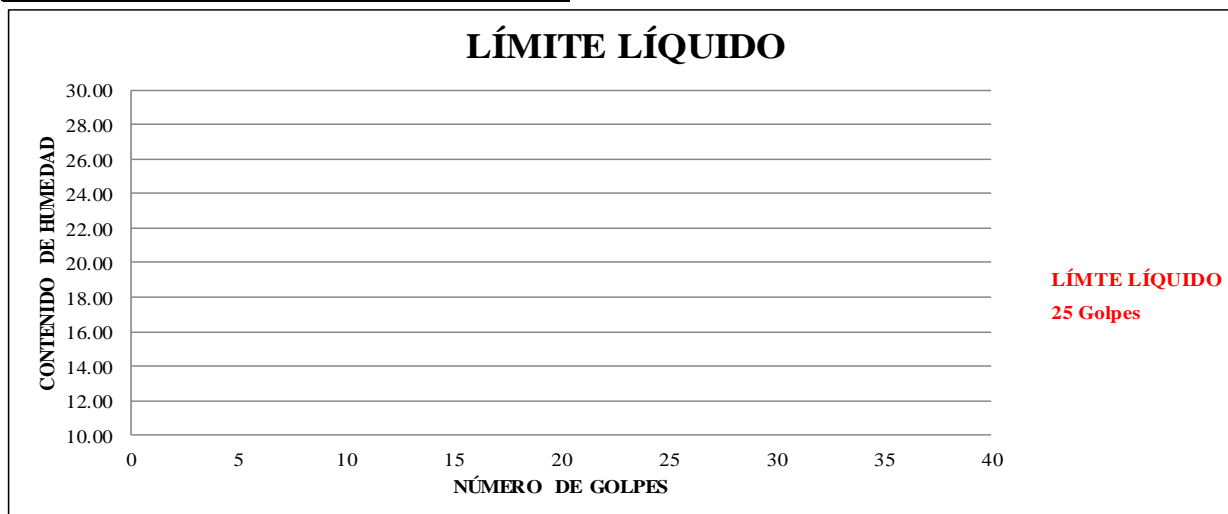
Tabla 27: Datos para límites de consistencia.

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL 	
TESIS	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO - CANTERA DE SENCCA - POROY – CUSCO – PERÚ.

ENSAYO:	LÍMITES DE CONSISTENCIA
TESISTAS:	Straisy Mirla Hualpacuna Yberico José Luis Quispe Condo
REFERENCIA NORMATIVA:	MTC E 110 / NTP 339.129 / AASHTO T-89
MUESTRA:	Suelo Natural Sin Adición
FECHA:	
LUGAR:	LABORATORIO UNITEST S.A.C.

DATOS							
DESCRIPCIÓN	UND	LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
		MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3	MUESTRA N°4	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2
RECIPIENTE N°	N°	3	7	8	4	15	12
N° DE GOLPES	gr.	26.00	24.00	22.00	20.00		
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	gr.	27.02	26.75	33.62	28.26	20.42	21.48
RECIPIENTE + SUELO SECO	gr.	24.18	23.23	28.71	24.05	19.21	20.14
PESO DEL RECIPIENTE	gr.	9.06	7.85	9.35	9.31	9.21	9.31
PESO DEL AGUA	gr.						
PESO DEL SUELO SECO	gr.						
CONTENIDO DE HUMEDAD	%						

LÍMITE LÍQUIDO	
LÍMITE PLÁSTICO	
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	



Fuente: Elaboración propia.



3.5.5. Ensayo de proctor modificado.

3.5.5.1. Instrumentos de proctor modificado.

- Molde de 6 pulgadas, Un molde que tenga en promedio $152,4 \pm 0,7$ mm de diámetro interior, una altura de: $116,4 \pm 0,5$ mm y un volumen de $2\ 124 \pm 25$ cm³.
- Pisón o Martillo, Un pisón operado manualmente. El pisón debe caer libremente a una distancia de $457,2 \pm 1,6$ mm de la superficie de espécimen.
- Extractor de Muestras (opcional), Puede ser una gata, estructura u otro mecanismo adaptado con el propósito de extraer los especímenes compactados del molde.
- Balanza, Una balanza para una aproximación de 1 gramo.
- Horno de Secado, Con control termostático preferiblemente del tipo de ventilación forzada, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C a través de la cámara de secado.
- Tamices o Mallas, De 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg), 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg) y 4,75mm (N° 4), conforme a los requisitos de las especificaciones ASTM E11 (Especificación para mallas metálicas con fines de ensayo).
- Herramientas de mezcla - diversas herramientas tales como cucharas, morteros, mezclador, paleta, espátula, botella de spray, etc. o un aparato mecánico apropiado para la mezcla completo de muestra de suelo con incrementos de agua.

3.5.5.2. Procedimiento de proctor modificado.

- Se seleccionó una muestra representativa con humedad natural, de material de la cantera Sencca, en una cantidad aproximada de 30 kg.
- Se realizó el secado de material en una estufa eléctrica para luego realizar el correspondiente tamizado
- Determinar el porcentaje de material retenido en la malla 4,75mm (N° 4), 9,5mm ($\frac{3}{8}$ pulg) o 19.0mm ($\frac{3}{4}$ pulg) para escoger el Método A, B o C.
- Una vez ya seleccionado el Método C del suelo seco y tamizado, a preparar 04 especímenes, cada uno de 6.500kg. añadiendo a cada espécimen un porcentaje de agua, con la finalidad de que se pueda encontrar el contenido de humedad más cercano al óptimo.
- Para este proceso se empezó con 1% de agua, prosiguiendo con 3%, 5%, 7% y 9% de contenido de humedad.

- Una vez agregada el agua en cada uno de los porcentajes anteriormente mencionadas, se incluye las sales cuaternarias de amonio líquido, en concentraciones de 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%.



Figura 57: Mezclado del aditivo con el suelo.

Fuente: Elaboración propia.

- Teniendo las 04 muestras preparadas para cada ensayo de Proctor modificado, se procedió a la compactación en 05 capas, cada una compactada con 56 golpes.



Figura 58: Compactado del material.

Fuente: Elaboración propia.

- Acabado la compactación de las 05 capas, se procede a quitar el collarín y se enrasa con la regla metálica para luego registrar el peso del molde + suelo húmedo en la tabla N° 21.
- Finalmente se removió el contenido del molde, se cortó axialmente por el medio de la muestra compactada y se tomó un aproximado de 500g de las mitades cortadas para determinar el contenido de humedad.



3.5.5.3. Toma de datos de proctor modificado.

Tabla 28: Datos para proctor estado natural.

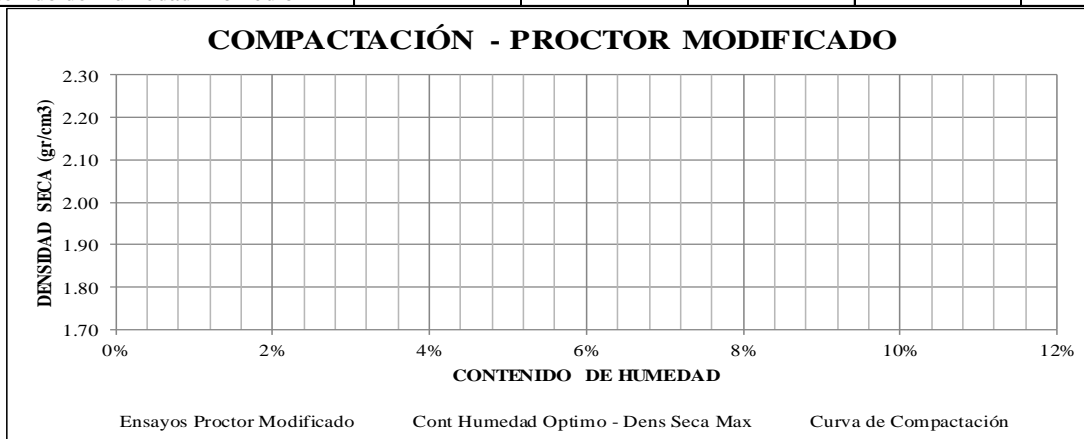
	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO - CANTERA DE SENCCA - POROY – CUSCO – PERÚ.	

ENSAYO:	RELACIONES HUMEDAD - DENSIDAD (PRÓCTOR MODIFICADO)
TESISTAS:	Straisy Mirla Huallpacuna Yberico
	José Luis Quispe Condo
REFERENCIA NORMATIVA:	MTC E 115 / ASTM D 1557 / AASHTO T-180
MUESTRA:	<u>Suelo Natural Sin Adición</u>
FECHA:	
LUGAR:	LABORATORIO UNITEST S.A.C.

Método: C

DATOS GENERALES	
Número de Capas =	5
Golpes por Capa =	56
Peso del Martillo =	4.54 Kg
Altura de Caída del Martillo =	45.72 cm

DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 05
Número de Proctor Utilizado	P-7	P-7	P-7	P-7	P-7
Diámetro del Molde (cm)	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64
Volumen del Molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
Peso del Molde (gr)	6160.00	6160.00	6160.00	6160.00	6160.00
Peso del Molde + Muestra Compactada (gr)	10378.00	10826.00	11006.00	11004.00	10374.00
Peso de la Muestra Compactada (gr)					
Densidad Húmeda (gr/cm ³)					
Densidad Seca (gr/cm³)					
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Peso de Capsula (gr)	89.91	92.68	89.90	91.85	90.85
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	599.38	611.69	635.40	634.56	631.09
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	592.80	594.85	604.71	595.80	582.85
Peso del Agua (gr)					
Peso de la Muestra Seca (gr)					
Contenido de Humedad					
Contenido de Humedad Promedio					



DENSIDAD SECA MÁXIMA =	
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO =	

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 29: Datos para proctor de suelo con aditivo de 0.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO - CANTERA DE SENCCA - POROY – CUSCO – PERÚ.	

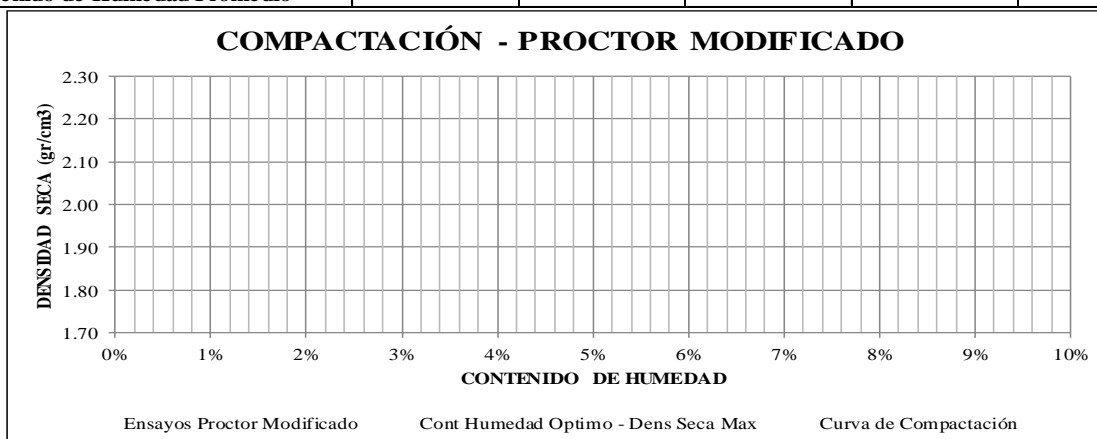
ENSAYO:	RELACIONES HUMEDAD - DENSIDAD (PRÓCTOR MODIFICADO)
TESISTAS:	Straisy Mirla Huallpacuna Yberico José Luis Quispe Condo
REFERENCIA NORMATIVA:	MTC E 115 / ASTM D 1557 / AASHTO T-180
MUESTRA:	Suelo con Aditivo 0.5% de ROCAMIX
FECHA:	
LUGAR:	LABORATORIO UNITEST S.A.C.

Método C

DATOS GENERALES

Número de Capas = 5
Golpes por Capa = 56
Peso del Martillo = 4.54 Kg
Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm

DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 05
Número de Proctor Utilizado	P-7	P-7	P-7	P-7	P-7
Diámetro del Molde (cm)	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64
Volumen del Molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
Peso del Molde (gr)	6120.00	6120.00	6120.00	6120.00	6120.00
Peso del Molde + Muestra Compactada (gr)	10341.00	10724.00	10984.00	11024.00	10408.00
Peso de la Muestra Compactada (gr)					
Densidad Húmeda (gr/cm ³)					
Densidad Seca (gr/cm³)					
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Peso de Capsula (gr)	90.20	93.00	100.05	59.00	122.30
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	581.15	588.00	600.01	553.99	564.41
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	575.53	574.99	577.45	524.70	529.50
Peso del Agua (gr)					
Peso de la Muestra Seca (gr)					
Contenido de Humedad					
Contenido de Humedad Promedio					



DENSIDAD SECA MÁXIMA =	
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO =	

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 30: Datos para proctor de suelo con aditivo de 1.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.

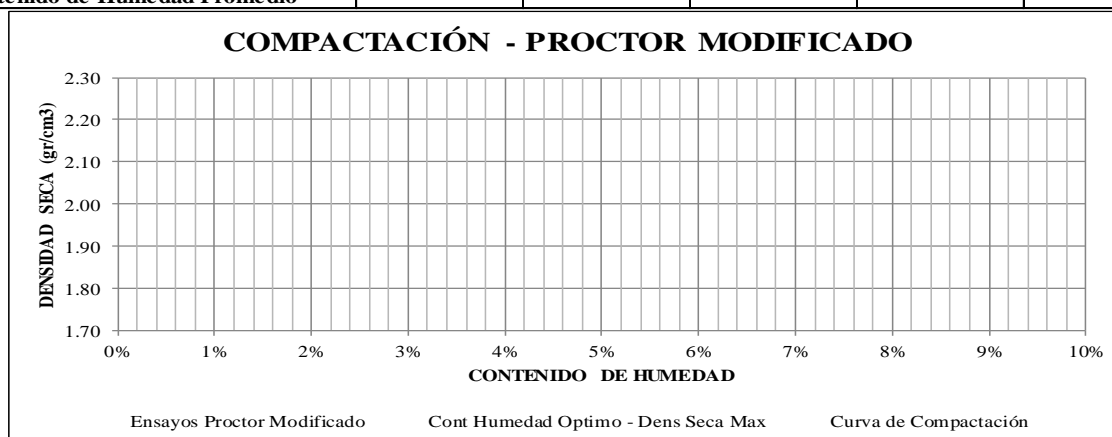
	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO - CANTERA DE SENCCA - POROY – CUSCO – PERÚ.	

ENSAYO:	RELACIONES HUMEDAD - DENSIDAD (PRÓCTOR MODIFICADO)
TESISTAS:	Straisy Mirla Huallpacuna Yberico José Luis Quispe Condo
REFERENCIA NORMATIVA:	MTC E 115 / ASTM D 1557 / AASHTO T-180
MUESTRA:	Suelo con Aditivo 1.0% de ROCAMIX
FECHA:	
LUGAR:	LABORATORIO UNITEST S.A.C.

Método C

DATOS GENERALES
Número de Capas = 5
Golpes por Capa = 56
Peso del Martillo = 4.54 Kg
Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm

DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 05
Número de Proctor Utilizado	P-7	P-7	P-7	P-7	P-7
Diámetro del Molde (cm)	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64
Volumen del Molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
Peso del Molde (gr)	6213.50	6213.50	6213.50	6213.50	6213.50
Peso del Molde + Muestra Compactada (gr)	10341.00	10846.00	11085.00	11046.00	10412.00
Peso de la Muestra Compactada (gr)					
Densidad Húmeda (gr/cm ³)					
Densidad Seca (gr/cm³)					
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Peso de Capsula (gr)	91.91	86.95	95.89	90.46	87.96
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	562.04	544.06	594.71	546.38	556.45
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	560.91	534.63	575.87	519.96	518.91
Peso del Agua (gr)					
Peso de la Muestra Seca (gr)					
Contenido de Humedad					
Contenido de Humedad Promedio					



DENSIDAD SECA MÁXIMA =	
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO =	

Fuente: Elaboración propia.



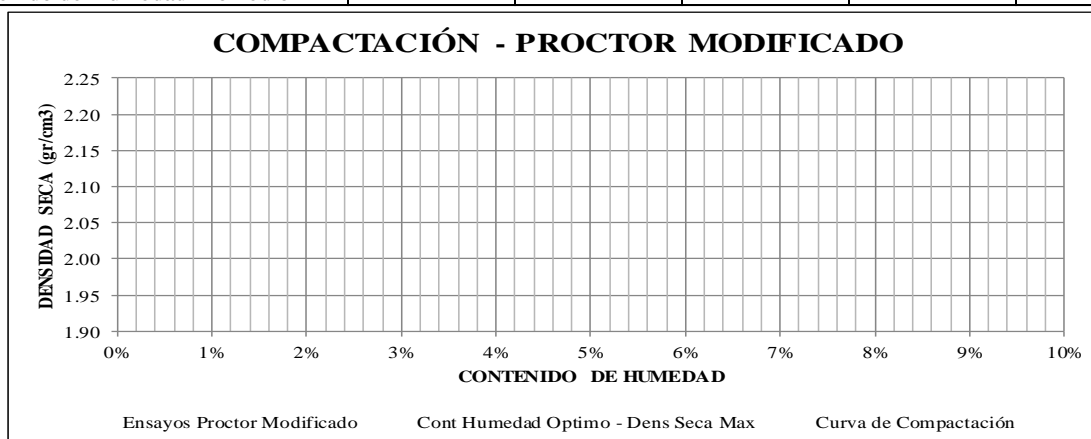
Tabla 31: Datos para proctor de suelo con aditivo de 1.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO - CANTERA DE SENCCA - POROY – CUSCO – PERÚ.	

ENSAYO:	RELACIONES HUMEDAD - DENSIDAD (PRÓCTOR MODIFICADO)
TESISTAS:	Straisy Mirla Huallpacuna Yberico José Luis Quispe Condo
REFERENCIA NORMATIVA:	MTC E 115 / ASTM D 1557 / AASHTO T-180
MUESTRA:	Suelo con Aditivo 1.5% de ROCAMIX
FECHA:	
LUGAR:	LABORATORIO UNITEST S.A.C.

DATOS GENERALES
Número de Capas = 5
Golpes por Capa = 56
Peso del Martillo = 4.54 Kg
Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm

DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 05
Número de Proctor Utilizado	P-7	P-7	P-7	P-7	P-7
Diámetro del Molde (cm)	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64
Volumen del Molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
Peso del Molde (gr)	5792.00	5792.00	5792.00	5792.00	5792.00
Peso del Molde + Muestra Compactada (gr)	10288.00	10492.00	10728.00	10686.00	10441.00
Peso de la Muestra Compactada (gr)					
Densidad Húmeda (gr/cm ³)					
Densidad Seca (gr/cm³)					
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Peso de Capsula (gr)	92.85	88.98	90.91	86.13	90.64
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	571.20	570.36	587.50	577.14	568.72
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	571.10	560.00	565.36	547.56	532.32
Peso del Agua (gr)					
Peso de la Muestra Seca (gr)					
Contenido de Humedad					
Contenido de Humedad Promedio					



DENSIDAD SECA MÁXIMA =	
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO =	

Fuente: Elaboración propia.



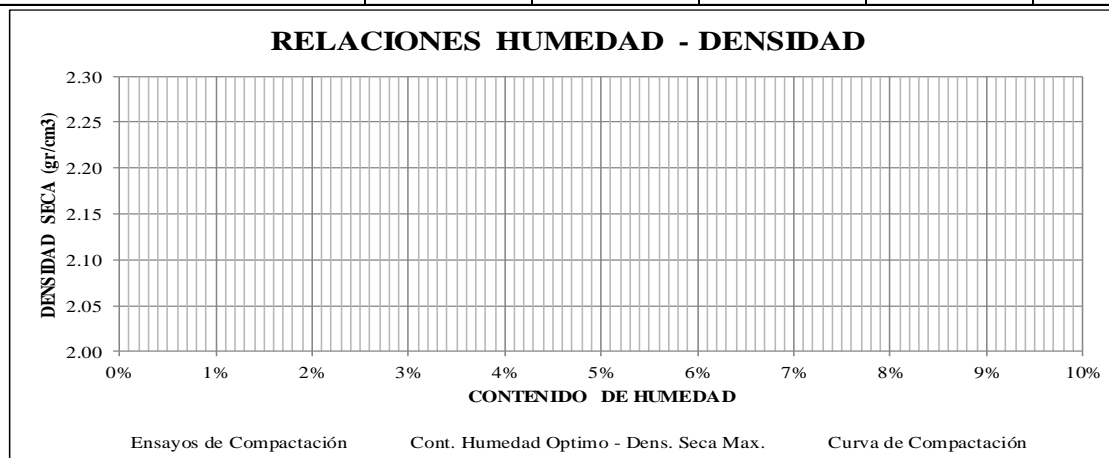
Tabla 32: Datos para proctor de suelo con aditivo de 2.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO - CANTERA DE SENCCA - POROY - CUSCO - PERÚ.	

ENSAYO:	RELACIONES HUMEDAD - DENSIDAD (PRÓCTOR MODIFICADO)
TESISTAS:	Straisy Mirla Huallpacuna Yberico José Luis Quispe Condo
REFERENCIA NORMATIVA:	MTC E 115 / ASTM D 1557 / AASHTO T-180
MUESTRA:	Suelo con Aditivo 2.0% de ROCAMIX
FECHA:	
LUGAR:	LABORATORIO UNITEST S.A.C.

Método C
DATOS GENERALES
Número de Capas = 5
Golpes por Capa = 56
Peso del Martillo = 4.54 Kg
Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm

DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 05
Número de Proctor Utilizado	P-6	P-6	P-6	P-6	P-6
Diámetro del Molde (cm)	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64
Volumen del Molde (cm ³)	2123.92	2123.92	2123.92	2123.92	2123.92
Peso del Molde (gr)	6,120.00	6,120.00	6,120.00	6,120.00	6,120.00
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	10,798.00	11,054.00	10,998.00	10,959.00	10,860.00
Peso de la Muestra Húmeda (gr)					
Peso de la Muestra Seca (gr)					
Densidad Seca (gr/cm³)					
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Peso de Capsula (gr)	90.58	90.61	86.14	90.14	86.95
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	583.12	553.15	577.14	580.02	564.20
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	578.57	539.91	550.45	547.06	530.17
Peso del Agua (gr)					
Peso de la Muestra Seca (gr)					
Contenido de Humedad					



DENSIDAD SECA MÁXIMA =	
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO =	

Fuente: Elaboración propia.



3.5.6. Ensayo de California Bearing Ratio (CBR).

3.5.6.1. Instrumentos de California Bearing Ratio (CBR).

- Prensa usada en ensayos de compresión
- Molde, de metal, cilíndrico.
- Disco espaciador, de metal, de forma circular.
- Pisón de compactación.
- Aparato medidor de expansión.
- Un trípode, deformímetro y pesas.
- Pistón de penetración, metálico de sección transversal circular.
- Dos diales con recorrido mínimo de 25 mm (1") y divisiones lecturas en 0,025 mm (0,001").
- Tanque, con capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua.
- Estufa, termostáticamente controlada y balanzas.
- Tamices, de 4,76 mm (No. 4), 19,05 mm (3/4") y 50,80 mm (2").
- Misceláneos, de uso general como cuarteador, mezclador, cápsulas, probetas, espátulas, discos de papel de filtro del diámetro del molde, etc.

3.5.6.2. Procedimiento de California Bearing Ratio (CBR).

- Cuando más del 75 % en peso de la muestra pase por el tamiz de 19,1 mm (3/4"), se utiliza para el ensayo el material que pasa por dicho tamiz. Cuando la fracción de la muestra retenida en el tamiz de 19,1 mm (3/4") sea superior a un 25% en peso, se separa el material retenido en dicho tamiz y se sustituye por una proporción igual de material comprendido entre los tamices de 19,1 mm (3/4") y de 4,75 mm (Nº4), obtenida tamizando otra porción de la muestra.
- Para realizar el proceso de compactación en cada molde de CBR, debemos tener como dato el contenido de humedad óptimo necesario para alcanzar la máxima densidad seca, por lo que se debe conocer el contenido de humedad natural, para así agregar la cantidad necesaria de agua para alcanzar la humedad óptima.
- Una vez alcanzada la humedad óptima procedemos a la inclusión, de las sales cuaternarias de amonio líquido, en concentraciones de 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%.
- Se prepararon los tres moldes CBR de 12, 25 y 56 golpes respectivamente, se coloca el disco espaciador en el molde, para luego continuar con el llenado y compactación de las 5



- capas de material según al número de golpes, prosiguiendo con la colocación de los dos anillos; para finalizar se saca una muestra de humedad del material de cada molde.
- Una vez compactado el material, se quitó el collarín y enrasamos el material con la regla metálica a nivel del molde, para posteriormente realizar el pesado del molde más el suelo húmedo.
 - Se giró el molde para retirar el disco espaciador y así colocar la sobrecarga, según sea el caso; para análisis de capa de sub base o afirmado se coloca una sobrecarga de 4.54kg.
 - Se fijó a la placa de la base, colocando un papel filtro sobre la parte superior de la muestra.
 - El trípode con el dial medidor de deformaciones se colocó alrededor del molde y se ajustó al vástago de la placa perforada. Luego se registró la lectura inicial y se retira el trípode.
 - Se sumerge el molde en una poza con agua (capaz de cubrirlo en su totalidad), dejándolo saturar durante el periodo de cuatro días teniendo que registrar la expansión de cada molde a la misma hora de cada día.
 - Después de cuatro días, se sacó el molde, se deja drenar durante 10 a 15 minutos aproximadamente, para luego colocar el molde sobre el soporte de carga de la prensa, para ajustarlo de manera tal que el pistón de penetración quede centrado en la muestra.
 - Se calibra el dial indicador de la presión del anillo de carga y el dial de deformación. La velocidad de penetración del pistón en el suelo es de 1.27 mm por minuto. La velocidad se controla por tiempo con un cronometro, para luego registrar las lecturas.
 - Luego de terminada la prueba, se retira las sobrecargas, se recupera el suelo ensayado y se toma muestra para determinar la humedad final.



Figura 59: Penetración de la muestra.

Fuente: Elaboración propia.



3.5.6.3. Toma de datos de California Bearing Ratio (CBR).

Tabla 33: Datos de California Bearing Ratio (CBR) de suelo natural.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO - CANTERA DE SENCCA - POROY – CUSCO – PERÚ.	

ENSAYO:	RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
TESISTAS:	Straisy Mirla Huallpacuna Yberico José Luis Quispe Condo
REFERENCIA NORMATIVA:	MTC E 132 / ASTM D 1883 / AASHTO T-193
MUESTRA:	Suelo Natural Sin Adición
FECHA:	
LUGAR:	PRO&CON S.C.R.L.

DATOS PRELIMINARES		
DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO	DATOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN	DATOS DEL MOLDE
Densidad Seca Máxima = 2.19 cm3 Contenido Humedad Óptimo = 5.10%	Peso del Martillo = 4.54 Kg Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm Número de Capas = 5	Diámetro del Molde = 15.24 cm Altura del Molde = 17.78 cm Altura del Disco Espaciador = 6.14 cm Altura de la Muestra = 11.64 cm Área = 182.41 cm2 Volumen = 2123.92 cm3
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN		
Constante del Anillo de Carga = Área del Pistón = 20.27 cm2		

ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Muestra	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Número de Golpes por Capa	55		26		12	
Condición de la Muestra	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada
Peso de Capsula (gr)	15.97	10.26	10.26	12.01	19.13	12.50
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	108.93	96.94	78.26	102.98	103.34	103.11
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	104.31	92.17	74.87	96.41	99.23	95.56
Peso del Agua (gr)						
Peso de la Muestra Seca (gr)						
Contenido de Humedad						
Porcentaje de Absorción						
Peso del Molde (gr)	7412		7238		7536	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	12310	12415	11995	12170	12175	12200
Peso de la Muestra Húmeda (gr)						
Peso de la Muestra Seca (gr)						
Peso del Agua Absorbida (gr)						
Porcentaje de Absorción						
Densidad húmeda (gr/cm3)						
Densidad Seca (gr/cm3)						

ENSAYO DE EXPANSIÓN													
Muestra		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
Tiempo Transcurrido		Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.
0	0 hor 00 min	0				0				0			
0.0625	1 hor 30 min	2				1.5				6			
0.125	3 hor 00 min	2				2				10			
0.25	6 hor 00 min	2.3				3				11			
0.5	12 hor 00 min	2.5				4				11.3			
1	24 hor 00 min	2.5				5.5				11.5			
2	48 hor 00 min	2.5				6				12			
4	96 hor 00 min	2.5				7				12			

ENSAYO DE PENETRACIÓN														
Muestra			MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
Carga Unitaria Patrón (kg/cm2)	Dial	Penetración	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR
	*0.001"	mm		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%
	0	0.000	0				0				0			
	25	0.635	15				24				18			
	50	1.270	39				54				37			
	75	1.905	69				78				64			
70.31	100	2.540	105				105				85			
	125	3.175	148				121				102			
	150	3.810	191				140				117			
105.46	200	5.080	281				188				138			
	300	7.620	453				278				177			
	400	10.160	627				359				219			
	500	12.700	795				437				257			

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 34: Datos de California Bearing Ratio (CBR) de suelo con adición de 0.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO - CANTERA DE SENCCA - POROY – CUSCO – PERÚ.	

ENSAYO:	RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
TESISTAS:	Straisy Mirla Hualpacuna Yberico José Luis Quispe Condo
REFERENCIA NORMATIVA:	MTC E 132 / ASTM D 1883 / AASHTO T-193
MUESTRA:	Suelo Con Adición de 0.5% de ROCAMIX
FECHA:	
LUGAR:	PRO&CON S.C.R.L.

DATOS PRELIMINARES		
DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO	DATOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN	DATOS DEL MOLDE
Densidad Seca Máxima = 2.20 cm3 Contenido Humedad Óptimo = 4.60%	Peso del Martillo = 4.54 Kg Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm Número de Capas = 5	Diámetro del Molde = 15.24 cm Altura del Molde = 17.78 cm Altura del Disco Espaciador = 6.14 cm Altura de la Muestra = 11.64 cm Área = 182.41 cm2 Volumen = 2123.92 cm3
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN		
Constante del Anillo de Carga = Área del Pistón = 20.27 cm2		

ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Muestra	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Número de Golpes por Capa	55		26		12	
Condición de la Muestra	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada
Peso de Capsula (gr)	16.50	19.29	17.15	15.44	18.28	20.57
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	77.49	74.95	80.25	97.96	74.80	83.41
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	74.86	72.05	77.39	92.92	72.36	79.17
Peso del Agua (gr)						
Peso de la Muestra Seca (gr)						
Contenido de Humedad						
Porcentaje de Absorción						
Peso del Molde (gr)	7115		7375		7445	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	11990	12130	12065	12230	12070	12320
Peso de la Muestra Húmeda (gr)						
Peso de la Muestra Seca (gr)						
Peso del Agua Absorbida (gr)						
Porcentaje de Absorción						
Densidad húmeda (gr/cm3)						
Densidad Seca (gr/cm3)						

ENSAYO DE EXPANSIÓN														
Muestra		MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03						
Tiempo Transcurrido		Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de	
Días		HH:MM	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.
0		0 hor 00 min	0				0				0			
0.0625		1 hor 30 min	11.5				26				24			
0.125		3 hor 00 min	21.5				24				32			
0.25		6 hor 00 min	22				25				33			
0.5		12 hor 00 min	25				27				35			
1		24 hor 00 min	25				27				35			
2		48 hor 00 min	25.5				28				36			
4		96 hor 00 min	26				28.5				37			

ENSAYO DE PENETRACIÓN														
Muestra			MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03					
Carga Unitaria Patrón (kg/cm2)	Dial	Penetración	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR
	*0.001"	mm		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%
	0	0.000	0				0				0			
	25	0.635	20				8				13			
	50	1.270	54				28				37			
	75	1.905	95				55				64			
	100	2.540	135				87				89			
	125	3.175	174				124				113			
	150	3.810	213				167				136			
	200	5.080	292				244				179			
	300	7.620	512				348				257			
	400	10.160	713				446				317			
	500	12.700	900				528				369			

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 35: Datos de California Bearing Ratio (CBR) de suelo con adición de 1.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO - CANTERA DE SENCCA - POROY – CUSCO – PERÚ.

ENSAYO:	RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
TESISTAS:	Straisy Mirla Huallpacuna Yberico José Luis Quispe Condo
REFERENCIA NORMATIVA:	MTC E 132 / ASTM D 1883 / AASHTO T-193
MUESTRA:	Suelo Con Adición de 1% de ROCAMIX
FECHA:	
LUGAR:	PRO&CON S.C.R.L.

DATOS PRELIMINARES		
DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO	DATOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN	DATOS DEL MOLDE
Densidad Seca Máxima = 2.21 cm3 Contenido Humedad Óptimo = 4.11%	Peso del Martillo = 4.54 Kg Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm Número de Capas = 5	Diámetro del Molde = 15.24 cm Altura del Molde = 17.78 cm Altura del Disco Espaciador = 6.14 cm Altura de la Muestra = 11.64 cm Área = 182.41 cm2 Volumen = 2123.92 cm3
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN		
Constante del Anillo de Carga = Área del Pistón = 20.27 cm2		

ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Muestra	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Número de Golpes por Capa	55		26		12	
Condición de la Muestra	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada
Peso de Capsula (gr)	15.95	19.09	14.18	15.97	15.60	18.99
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	113.12	118.24	106.32	104.91	85.16	99.01
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	109.27	112.01	102.59	99.04	82.36	92.37
Peso del Agua (gr)						
Peso de la Muestra Seca (gr)						
Contenido de Humedad						
Porcentaje de Absorción						
Peso del Molde (gr)	7290		7862		7290	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	12185	12345	12645	12810	11800	12035
Peso de la Muestra Húmeda (gr)						
Peso de la Muestra Seca (gr)						
Peso del Agua Absorbida (gr)						
Porcentaje de Absorción						
Densidad húmeda (gr/cm3)						
Densidad Seca (gr/cm3)						

ENSAYO DE EXPANSIÓN													
Muestra		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
Tiempo Transcurrido		Dial	Deform		% de Expans.	Dial	Deform		% de Expans.	Dial	Deform		% de Expans.
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm	
0	0 hor 00 min	0				0				0			
0.0625	1 hor 30 min	1.5				1.5				6.5			
0.125	3 hor 00 min	2.5				3				8			
0.25	6 hor 00 min	4				5				8.5			
0.5	12 hor 00 min	5.5				6				10			
1	24 hor 00 min	7				7				10			
2	48 hor 00 min	7.5				8.5				10			
4	96 hor 00 min	8				9				10			

ENSAYO DE PENETRACIÓN														
Muestra			MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03					
Carga Unitaria Patrón (kg/cm2)	Dial	Penetración	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR
	*0.001"	mm		kg	kg/cm2			%	kg			kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%
	0	0.000	0				0				0			
	25	0.635	48				50				43			
	50	1.270	114				103				67			
	75	1.905	182				148				88			
70.31	100	2.540	240				183				106			
	125	3.175	309				221				115			
	150	3.810	366				252				131			
105.46	200	5.080	464				321				151			
	300	7.620	631				417				188			
	400	10.160	771				529				220			
	500	12.700	887				624				246			

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 36: Datos de California Bearing Ratio (CBR) de suelo con adición de 1.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO - CANTERA DE SENCCA - POROY – CUSCO – PERÚ.

ENSAYO:	RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
TESISTAS:	Straisy Mirla Hualpacuna Yberico José Luis Quispe Condo
REFERENCIA NORMATIVA:	MTC E 132 / ASTM D 1883 / AASHTO T-193
MUESTRA:	Suelo Con Adición de 1.5% de ROCAMIX
FECHA:	
LUGAR:	PRO&CON S.C.R.L.

DATOS PRELIMINARES		
DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO	DATOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN	DATOS DEL MOLDE
Densidad Seca Máxima = 2.22 cm³ Contenido Humedad Óptimo = 3.64%	Peso del Martillo = 4.54 Kg Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm Número de Capas = 5	Diámetro del Molde = 15.24 cm Altura del Molde = 17.78 cm Altura del Disco Espaciador = 6.14 cm Altura de la Muestra = 11.64 cm Área = 182.41 cm² Volumen = 2123.92 cm³
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN		
Constante del Anillo de Carga = Área del Pistón = 20.27 cm²		

ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Muestra	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Número de Golpes por Capa	55		26		12	
Condición de la Muestra	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada
Peso de Capsula (gr)	16.05	18.04	19.16	18.66	18.22	16.05
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	86.28	98.95	116.85	113.15	102.98	95.17
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	83.78	94.39	113.47	107.07	100.10	88.87
Peso del Agua (gr)						
Peso de la Muestra Seca (gr)						
Contenido de Humedad						
Porcentaje de Absorción						
Peso del Molde (gr)	7200		7274		7352	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	12100	12235	11890	12155	11740	12035
Peso de la Muestra Húmeda (gr)						
Peso de la Muestra Seca (gr)						
Peso del Agua Absorbida (gr)						
Porcentaje de Absorción						
Densidad húmeda (gr/cm ³)						
Densidad Seca (gr/cm ³)						

ENSAYO DE EXPANSIÓN													
Muestra		MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03					
Tiempo Transcurrido		Dial	Deform		%	Dial	Deform		%	Dial	Deform		%
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.
0	0 hor 00 min	0				0				0			
0.0625	1 hor 30 min	1.5				7.5				11			
0.125	3 hor 00 min	4				11.5				13			
0.25	6 hor 00 min	6.5				14				14			
0.5	12 hor 00 min	8				15				14.5			
1	24 hor 00 min	11				16.5				15			
2	48 hor 00 min	12				17				16			
4	96 hor 00 min	12				17.5				17			

ENSAYO DE PENETRACIÓN														
Muestra			MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03					
Carga Unitaria Patrón (kg/cm ²)	Dial	Penetración	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR
	*0.001"	mm		kg	kg/cm ²	%		kg	kg/cm ²	%		kg	kg/cm ²	%
	0	0.000	0				0				0			
	25	0.635	34				25				20			
	50	1.270	94				62				40			
	75	1.905	157				97				51			
70.31	100	2.540	212				126				61			
	125	3.175	274				152				69			
	150	3.810	320				169				76			
105.46	200	5.080	407				222				98			
	300	7.620	556				253				109			
	400	10.160	689				300				129			
	500	12.700	808				344				145			

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 37: Datos de California Bearing Ratio (CBR) de suelo con adición de 2.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO - CANTERA DE SENCCA - POROY – CUSCO – PERÚ.

ENSAYO:	RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
TESISTAS:	Straisy Mirla Huallpacuna Yberico José Luis Quispe Condo
REFERENCIA NORMATIVA:	MTC E 132 / ASTM D 1883 / AASHTO T-193
MUESTRA:	Suelo Con Adición de 2.0% de ROCAMIX
FECHA:	
LUGAR:	PRO&CON S.C.R.L.

DATOS PRELIMINARES		
DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO	DATOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN	DATOS DEL MOLDE
Densidad Seca Máxima = 2.25 cm3 Contenido Humedad Óptimo = 3.10%	Peso del Martillo = 4.54 Kg Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm Número de Capas = 5	Diámetro del Molde = 15.24 cm Altura del Molde = 17.78 cm Altura del Disco Espaciador = 6.14 cm Altura de la Muestra = 11.64 cm Área = 182.41 cm2 Volumen = 2123.92 cm3
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN		
Constante del Anillo de Carga = Área del Pistón = 20.27 cm2		

ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Muestra	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Número de Golpes por Capa	55		26		12	
Condición de la Muestra	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada
Peso de Capsula (gr)	18.07	15.91	18.69	15.04	19.18	11.85
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	123.57	94.77	101.06	104.08	96.05	95.86
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	120.50	90.87	98.40	97.28	93.67	88.64
Peso del Agua (gr)						
Peso de la Muestra Seca (gr)						
Contenido de Humedad						
Porcentaje de Absorción						
Peso del Molde (gr)	7346		7356		6880	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	12269	12385	12015	12155	11305	11585
Peso de la Muestra Húmeda (gr)						
Peso de la Muestra Seca (gr)						
Peso del Agua Absorbida (gr)						
Porcentaje de Absorción						
Densidad húmeda (gr/cm3)						
Densidad Seca (gr/cm3)						

ENSAYO DE EXPANSIÓN													
Muestra		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
Tiempo Transcurrido		Dial	Deform		% de Expans.	Dial	Deform		% de Expans.	Dial	Deform		% de Expans.
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm	
0	0 hor 00 min	0			0				0				
0.0625	1 hor 30 min	3			8.5				7.5				
0.125	3 hor 00 min	4.5			13				11.5				
0.25	6 hor 00 min	5			17				15				
0.5	12 hor 00 min	6			21				17.5				
1	24 hor 00 min	12			22				18.5				
2	48 hor 00 min	12			23				19				
4	96 hor 00 min	13			24				19.5				

ENSAYO DE PENETRACIÓN														
Muestra			MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03					
Carga Unitaria Patrón (kg/cm2)	Dial	Penetración	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR
	*0.001"	mm		kg	kg/cm2			%	kg			kg/cm2	%	
	0	0.000	0				0				0			
	25	0.635	25				23				14			
	50	1.270	74				52				29			
	75	1.905	135				78				42			
70.31	100	2.540	202				98				51			
	125	3.175	270				120				59			
	150	3.810	340				138				67			
105.46	200	5.080	420				173				79			
	300	7.620	645				232				104			
	400	10.160	805				311				125			
	500	12.700	940				336				143			

Fuente: Elaboración propia



3.6. Análisis de datos y cálculo de resultados.

3.6.1. Ensayo de contenido de humedad de los suelos.

3.6.1.1. Procedimiento y cálculo de contenido de humedad de los suelos.

- Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula:

$$W = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} * 100$$

$$W = \frac{M_W}{M_S} * 100$$

W = Es el contenido de humedad, (%)

M_W = Es el peso del agua, en gramos.

M_S = Es el peso de las partículas sólidas, en gramos.

M_{CWS} = Es el peso del contenedor más el suelo Húmedo, en gramos.

M_{CS} = Es el peso del contenedor más el suelo secado en horno, en gramos.

M_C = Es el peso del contenedor, en gramos.

$$W = \frac{2511.43 - 2408.21}{2408.21 - 146.54} * 100$$

$$W = \frac{103.22}{2261.67} * 100$$

$$W = 4.56 \%$$



3.6.1.2. Tabla de contenido de humedad.

Tabla 38: Cálculo del contenido de humedad de la muestra.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO - CANTERA DE SENCCA - POROY – CUSCO – PERÚ.	

ENSAYO:	CONTENIDO DE HUMEDAD
TESISTAS:	Straisy Mirla Huallpacuna Yberico
	José Luis Quispe Condo
REFERENCIA NORMATIVA:	MTC E 108 / ASTM D 2216
MUESTRA:	Suelo Natural Sin Adición
FECHA:	
LUGAR:	LABORATORIO UNITEST S.A.C.

DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3	MUESTRA N°4
RECIPIENTE	N°	CT-3	B56B1	B56B2	CT-4
RECIPIENTE+ SUELO HÚMEDO	gr.	2511.430	2382.04	2488.25	2508.46
RECIPIENTE+ SUELO SECO	gr.	2408.210	2283.33	2381.22	2401.2
PESO DEL RECIPIENTE	gr.	146.540	144.54	147.75	145.51
PESO DEL AGUA	gr.	103.220	98.710	107.030	107.260
PESO DEL SUELO SECO	gr.	2261.670	2138.790	2233.470	2255.690
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	4.564	4.615	4.792	4.755
HUMEDAD PROMEDIO	%	4.682			

Fuente: Elaboración propia.



3.6.1.3. Análisis de la prueba de contenido de humedad de los suelos.

El porcentaje de humedad promedio del suelo es 4.682%.

3.6.2. Ensayo de análisis granulométrico.

3.6.2.1. Procedimiento y cálculo del análisis granulométrico.

- Primeramente, calculamos el peso perdido de la muestra durante el proceso de tamizado:

$$\text{Peso Perdido} = \text{Peso Inicial de la Muestra Seca} - \sum \text{Pesos Después del Tamizado}$$

$$\text{Peso Perdido} = 2772.10 - 2764.86$$

$$\text{Peso Perdido} = 7.24 \text{ gr}$$

- Se calculó el porcentaje del peso perdido, la cual este no debe exceder de 1%.

$$\% \text{ Perdido} = \frac{\text{Peso Perdido}}{\text{Peso Inicial de la Muestra Seca}} * 100$$

$$\% \text{ Perdido} = \frac{7.24}{2772.10} * 100$$

$$\% \text{ Perdido} = 0.26 \%$$

- Luego procedimos a corregir el Peso Retenido con el porcentaje perdido y obtenemos Peso Retenido Reajustado.

$$\text{Peso Ret. Reajustado} = \left(\frac{50.10}{0.26} * 100 \right) + 50.10$$

$$\text{Peso Ret. Reajustado} = 50.23 \text{ gr}$$

Valores retenidos en el tamiz #4:

- Calculamos el Porcentaje Retenido de cada tamiz:

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



$$\% \text{ Retenido} = \frac{50.23}{2772.08} * 100$$

$$\% \text{ Retenido} = 1.81 \%$$

- Calculamos el Porcentaje que Pasa de cada tamiz:

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido Acumulado}$$

$$\% \text{ Pasa} = 100 - 1.81$$

$$\% \text{ Pasa} = 9.19\%$$

Valores que pasan por el tamiz #4:

- Hallamos la Sumatoria de la Porción Fina.

$$\text{Peso Fracción} = \sum \text{Pesos Tamiz \#10 + \#20 + \#40 + \#60 + \#100 + \#200 + Fondo}$$

$$\text{Peso Fracción} = 1241.03 \text{ gr}$$

- Calculamos el Porcentaje Retenido de cada tamiz:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\% \text{ Pasa Tamiz \#4}}{\text{Peso Fracción}} * \text{Peso Ret. Reajustado}$$

$$\% \text{ Retenido} = \frac{44.77}{1241.03} * 446.65$$

$$\% \text{ Retenido} = 16.11 \%$$

- Calculamos el Porcentaje que Pasa de cada tamiz:

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido Acumulado}$$

$$\% \text{ Pasa} = 100 - 71.34$$

$$\% \text{ Pasa} = 28.66 \%$$



3.6.2.2. Diagramas y tablas del análisis granulométrico.

Tabla 39: Cálculo del análisis granulométrico.

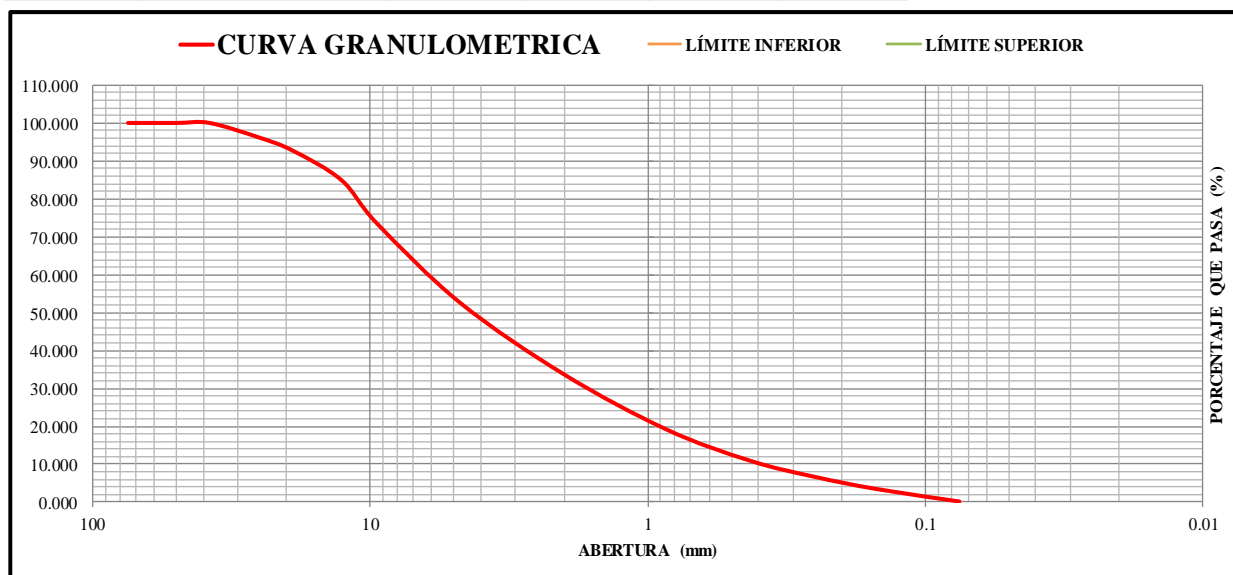
	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO - CANTERA DE SENCCA - POROY – CUSCO – PERÚ.	

ENSAYO:	CONTENIDO DE HUMEDAD
TESISTAS:	Straisy Mirla Huallpacuna Yberico José Luis Quispe Condo
REFERENCIA NORMATIVA:	MTC E 107 / ASTM D 422 / AASHTO T-88
MUESTRA:	Suelo Natural Sin Adición
FECHA:	
LUGAR:	LABORATORIO UNITEST S.A.C.

TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	PESO RET. REAJUSTADO (gr.)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULAD	% QUE PASA
3"	75			0	0	100.000
2"	50			0	0	100.000
1 1/2"	38.1			0.00	0.00	100.000
1"	25.4	88.87	89.05	3.77	3.77	96.225
3/4"	19	84.62	84.79	3.59	7.37	92.631
1/2"	12.7	182.96	183.34	7.77	15.14	84.859
3/8"	9.5	265.54	266.08	11.28	26.42	73.580
#4	4.75	494.47	495.48	21.00	47.42	52.577
#10	2	445.49	446.40	18.92	66.35	33.654
#20	0.85	343.43	344.13	14.59	80.93	19.067
#40	0.425	193.00	193.40	8.20	89.13	10.869
#60	0.25	98.79	98.99	4.20	93.33	6.673
#100	0.15	75.33	75.48	3.20	96.53	3.473
#200	0.075	78.14	78.30	3.32	99.85	0.154
Fondo		3.62	3.63	0.15	100.00	0.000
TOTAL		2354.26	2359.09	100.00		

DATOS DE LA MUESTRA		
Peso Inicial de la Muestra Seca	2359.10	gr.
Peso de la Muestra Después del Lavado	2257.40	gr.
Perdida por Lavado	101.70	gr.
Peso perdido	4.84	gr.
% perdida	0.21	gr.

Peso de la Fraccion	1240.34	gr.
Lim Líquido	20.72	%
Lim Plástico	12.24	%
Indice de Plasticidad	8.48	%
GRAVA (%)	47.42	%
ARENA (%)	52.42	%
FINOS (%)	0.15	%



Fuente: Elaboración propia.



Para el grafico la curva granulométrica se consideran el porcentaje del material que pasa y la abertura de los tamices, para los límites de la granulometría de la sub base se utilizaron los límites establecidos en el EG-2013 (Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción), véase la tabla N° 39.

Tabla 40: Gradación de las muestras de ensayo.

Requerimientos granulométricos para sub base granular.

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso			
	Gradación A (1)	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm. (2")	100	100	-	-
25 mm. (1")	-	75-95	100	100
9,5 mm. ($\frac{3}{8}$ ")	30-65	40-75	50-85	60-100
4,75 mm. (N.º 4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2,0 mm. (N.º 10)	15-40	20-45	25-50	40-70
425 µm. (N.º 40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 µm. (N.º 200)	2-8	5-15	5-15	8-15

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013, pág. 360

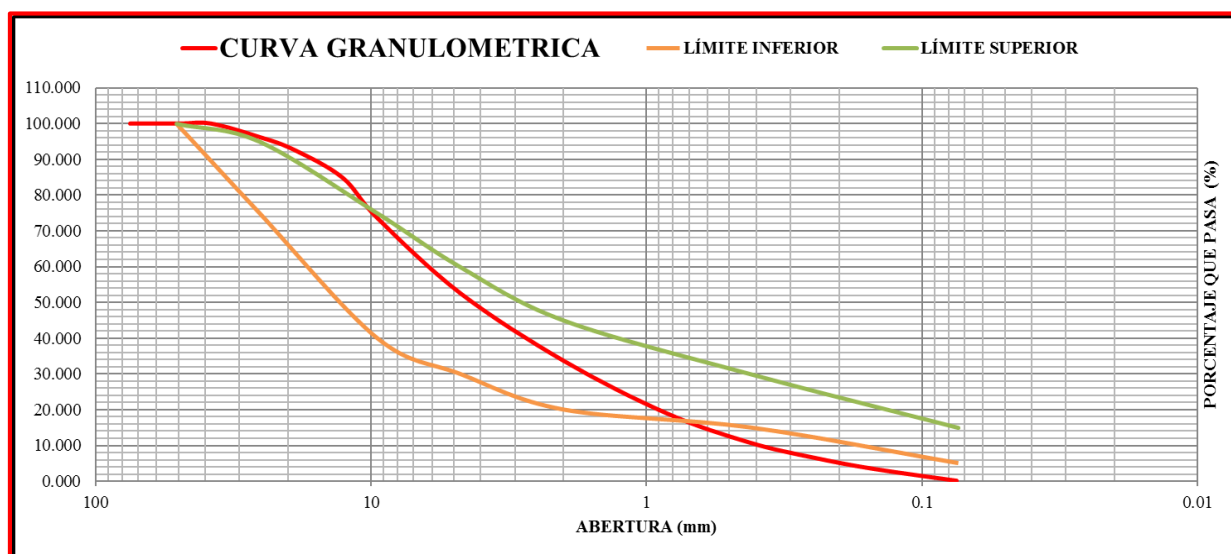


Figura 60: Curva granulométrica del material de la cantera de Sencca.

Fuente: Elaboración propia.



3.6.2.3. Análisis de la prueba del análisis granulométrico.

Se observa que la curva granulométrica obtenida del ensayo realizado con el material de la Cantera de Sencca - Poroy, no cumple con los límites establecidos por el MTC y el ASTM D 1241.

3.6.3. Ensayo de límite de consistencia.

3.6.3.1. Procedimiento y cálculo de límites de consistencia.

Límite líquido.

- Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula:

$$W = \frac{M_W}{M_S} * 100$$

W = Es el contenido de humedad, (%)

M_W = Es el peso del agua, en gramos.

M_S = Es el peso de las partículas sólidas, en gramos.

$$W = \frac{2.84}{15.12} * 100$$

$$W = 18.78 \%$$

Límite plástico.

$$\text{Límite Plástico} = \frac{W_1 + W_2 + \dots + W_N}{N} * 100$$

W = Es el contenido de humedad, (%)

N = Número de muestras tomadas

$$\text{Límite Plástico} = \frac{17.38 + 19.40}{2} * 100$$

$$\text{Límite Plástico} = 18.39 \%$$

Índice de plasticidad.

$$\text{Índice de Plasticidad} = \text{Límite Líquido} - \text{Límite Plástico}$$

$$\text{Índice de Plasticidad} = 20.72 - 18.39$$

$$\text{Índice de Plasticidad} = 2.33 \%$$



3.6.3.2. Diagramas y tablas de límites de consistencia.

- Para el Límite líquido se representó la relación entre el Contenido de Humedad vs Número de Golpes sobre un gráfico Semilogarítmico con el contenido de humedad como ordenada sobre la escala aritmética, y el número de golpes como abscisa en escala logarítmica. Se trazó una línea recta que pase por los cuatro puntos graficados.
- Tomamos el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la línea con la abscisa de 25 golpes como el límite líquido del suelo.

Tabla 41: Límite líquido para el suelos de la cantera de Sencca.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO - CANTERA DE SENCCA - POROY – CUSCO – PERÚ.	

ENSAYO:	LÍMITES DE CONSISTENCIA
TESISTAS:	Straisy Mirla Hualpacuna Yberico José Luis Quispe Condo
REFERENCIA NORMATIVA:	MTC E 110 / NTP 339.129 / AASHTO T-89
MUESTRA:	Suelo Natural Sin Adición
FECHA:	
LUGAR:	LABORATORIO UNITEST S.A.C.

DATOS							
DESCRIPCIÓN	UND	LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
		MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3	MUESTRA N°4	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2
RECIPIENTE N°	N°	3	7	8	4	15	12
N° DE GOLPES	gr.	26.00	24.00	22.00	20.00		
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	gr.	27.02	26.75	33.62	28.26	20.42	21.48
RECIPIENTE + SUELO SECO	gr.	24.18	23.23	28.71	24.05	19.21	20.14
PESO DEL RECIPIENTE	gr.	9.06	7.85	9.35	9.31	9.21	9.31
PESO DEL AGUA	gr.	2.84	3.52	4.91	4.21	1.21	1.34
PESO DEL SUELO SECO	gr.	15.12	15.38	19.36	14.74	10.00	10.83
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	18.78	22.89	25.36	28.56	12.10	12.37

LÍMITE LÍQUIDO	20.72
LÍMITE PLÁSTICO	12.24
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	8.48

Fuente: Elaboración propia.

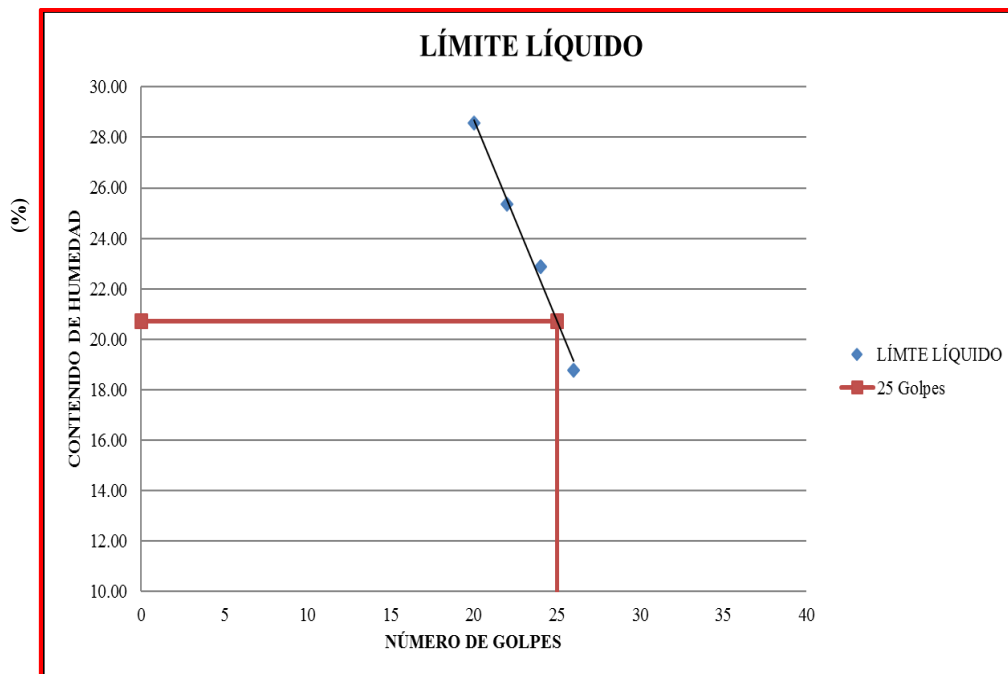


Figura 61: Curva de fluidez.

Fuente: Elaboración propia.

3.6.3.3. Análisis de la prueba de límites de consistencia.

El límite líquido del suelo de la Cantera de Sencca es: 20.72%, cumple según las especificaciones técnicas en el Manual de Carreteras EG-2013.

El límite plástico del suelo de la Cantera de Sencca es: 18.39%.

El Índice de Plasticidad es 2.33%, cumple según las especificaciones técnicas en el Manual de Carreteras EG-2013.

3.6.4. Clasificación del suelo.

3.6.4.1. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. (SUCS)

- El porcentaje que pasa el tamiz #200 es de 0.154% < 50%
Por lo tanto → es un Suelo Grueso.
- El porcentaje que pasa el tamiz #4 es de 52.577% > 50%
Por lo tanto → es una Arena.

Para determinar D10, D30 y D60 haremos uso de la curva granulométrica.

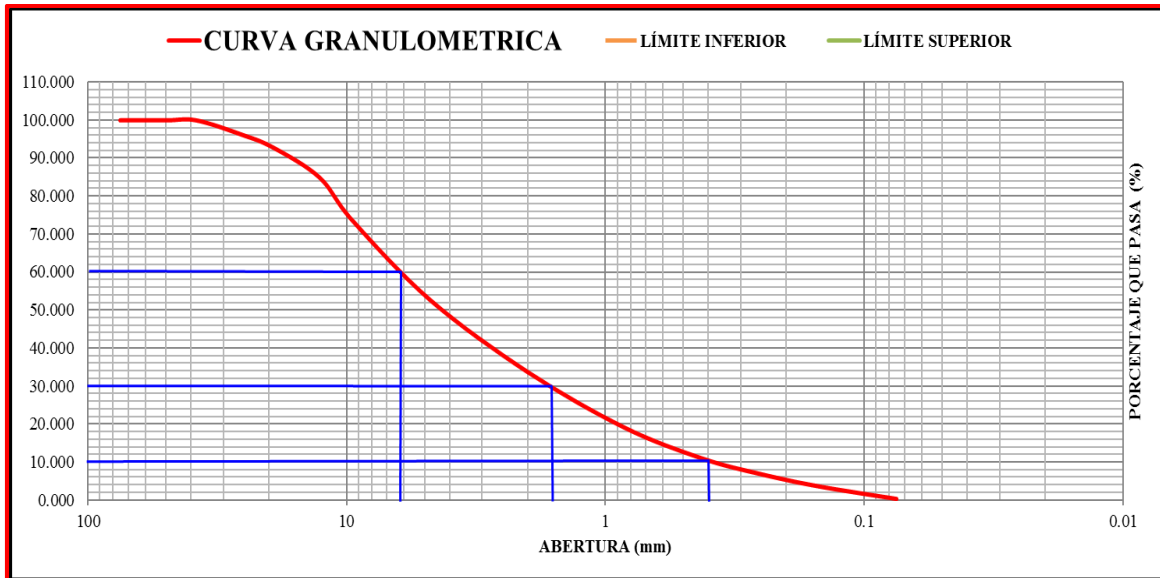


Figura 62: Curva granulométrica- D10, D30 Y D60

Fuente: Elaboración propia.

De dónde obtenemos:

$$D_{10} = 0.21$$

$$D_{30} = 7.36$$

$$D_{60} = 65.50$$

- Finalmente obtenemos el coeficiente de uniformidad (C_U):

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

$$C_U = 8.90$$

- Coeficiente de curvatura (C_C):

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

$$C_C = 3.85$$

Entonces según el diagrama de flujo para los grupos de arena del suelo, nuestro material granular viene a ser un SP-SC (Arena pobremente graduada con arcilla y arena).

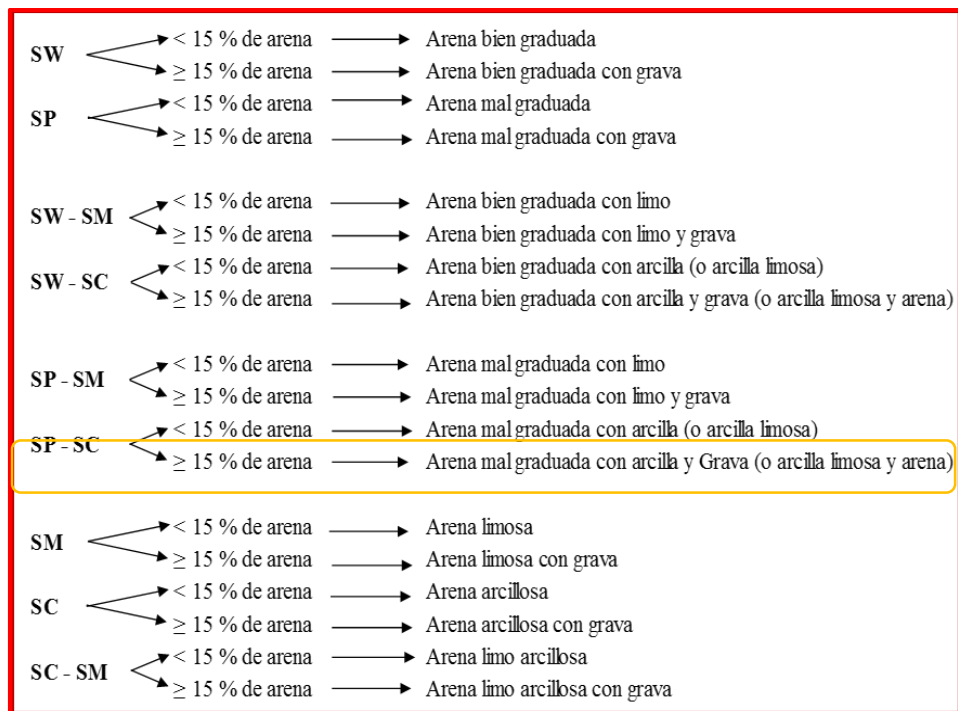


Figura 63: Diagrama de flujo para nombres de los grupos de arena del suelo.

Fuente: Das Braja, 2001, pág. 85

3.6.4.2. Sistema de clasificación AASHTO.

Tabla 42: Sistema de clasificación AASHTO.

Clasificación General	Materiales granulares (35 % o menos del total de la muestra pasada por el num. 200)						
	A - 1			A - 2 - 4	A - 2		
Grupo de clasificación	A - 1 - a	A - 1 - b	A - 3		A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7
Analisis de Tamiz (Porcentaje de paso)							
Num. 10	50 max.						
Num. 40	30 max.	50 max.	51 max.				
Num. 200	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	
Características de la fracción de paso Num. 40							
Limite Liquido				40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Indicde de Plasticidad			NP	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmento de roca grava y arena		Arena Fina		Limo o grava arcillosa y arena		
Clasificación general de la sub rasante	Exelente a Bueno						

Fuente: Das Braja, 2001, pág. 79

Ubicamos los valores obtenidos en los ensayos de granulometría y límites de consistencia del suelo utilizado en la ejecución de esta tesis en la tabla N°41.



La tabla N° 36 determina que nuestro suelo es clasificado como un material granular excelente a bueno, A-2-4 (0) grava y arena arcillosa o limosa.

3.6.5. Ensayo de proctor modificado.

3.6.5.1. Procedimiento y cálculo de proctor modificado.

- Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula:

$$W = \frac{M_W}{M_S} * 100$$

W = Es el contenido de humedad, (%)

M_W = Es el peso del agua, en gramos.

M_S = Es el peso de las partículas sólidas, en gramos.

$$W = \frac{6.58}{502.89} * 100$$

$$W = 1.31 \%$$

- Se calcula la densidad húmeda, mediante la siguiente fórmula:

$$\rho_{húm} = \frac{W_{húm}}{V}$$

$\rho_{húm}$ = Densidad húmeda

$W_{húm}$ = Peso de la muestra compactada

V = Volumen del molde

$$\rho_{húm} = \frac{4218.00}{2123.21}$$

$$\rho_{húm} = 1.99 \text{ gr/cm}^3$$

- Se calcula la densidad seca, mediante la siguiente fórmula:

$$\rho_{seca} = \frac{\rho_{húm}}{1 + W}$$

ρ_{seca} = Densidad seca

$\rho_{húm}$ = Densidad húmeda

W = Porcentaje de humedad

$$\rho_{seca} = \frac{1.99}{1 + 1.31} = 1.96 \text{ gr/cm}^3$$



3.6.5.2. Diagramas y tablas de proctor modificado.

Tabla 43: Cálculo de próctor modificado de suelo natural.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO - CANTERA DE SENCCA - POROY – CUSCO – PERÚ.	

ENSAYO:	RELACIONES HUMEDAD - DENSIDAD (PRÓCTOR MODIFICADO)
TESTISTAS:	Straisy Mirla Huallpacuna Yberico José Luis Quispe Condo
REFERENCIA NORMATIVA:	MTCE 115 / ASTM D 1557 / AASHTO T-180
MUESTRA:	Suelo Natural Sin Adición
FECHA:	
LUGAR:	LABORATORIO UNITEST S.A.C.

Método C

DATOS GENERALES
Número de Capas = 5
Golpes por Capa = 56
Peso del Martillo = 4.54 Kg
Altura de Caída del Martillo= 45.72 cm

DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 05
Número de Proctor Utilizado	P-7	P-7	P-7	P-7	P-7
Diámetro del Molde (cm)	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64
Volumen del Molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
Peso del Molde (gr)	6160.00	6160.00	6160.00	6160.00	6160.00
Peso del Molde + Muestra Compactada (gr)	10378.00	10826.00	11006.00	11004.00	10374.00
Peso de la Muestra Compactada (gr)	4218.00	4666.00	4846.00	4844.00	4214.00
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.99	2.20	2.28	2.28	1.98
Densidad Seca (gr/cm³)	1.96	2.13	2.15	2.12	1.81
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Peso de Capsula (gr)	89.91	92.68	89.90	91.85	90.85
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	599.38	611.69	635.40	634.56	631.09
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	592.80	594.85	604.71	595.80	582.85
Peso del Agua (gr)	6.58	16.84	30.69	38.76	48.24
Peso de la Muestra Seca (gr)	502.89	502.17	514.81	503.95	492.00
Contenido de Humedad	1.31%	3.35%	5.96%	7.69%	9.80%
Contenido de Humedad Promedio	1.31%	3.35%	5.96%	7.69%	9.80%

Fuente: Elaboración propia.

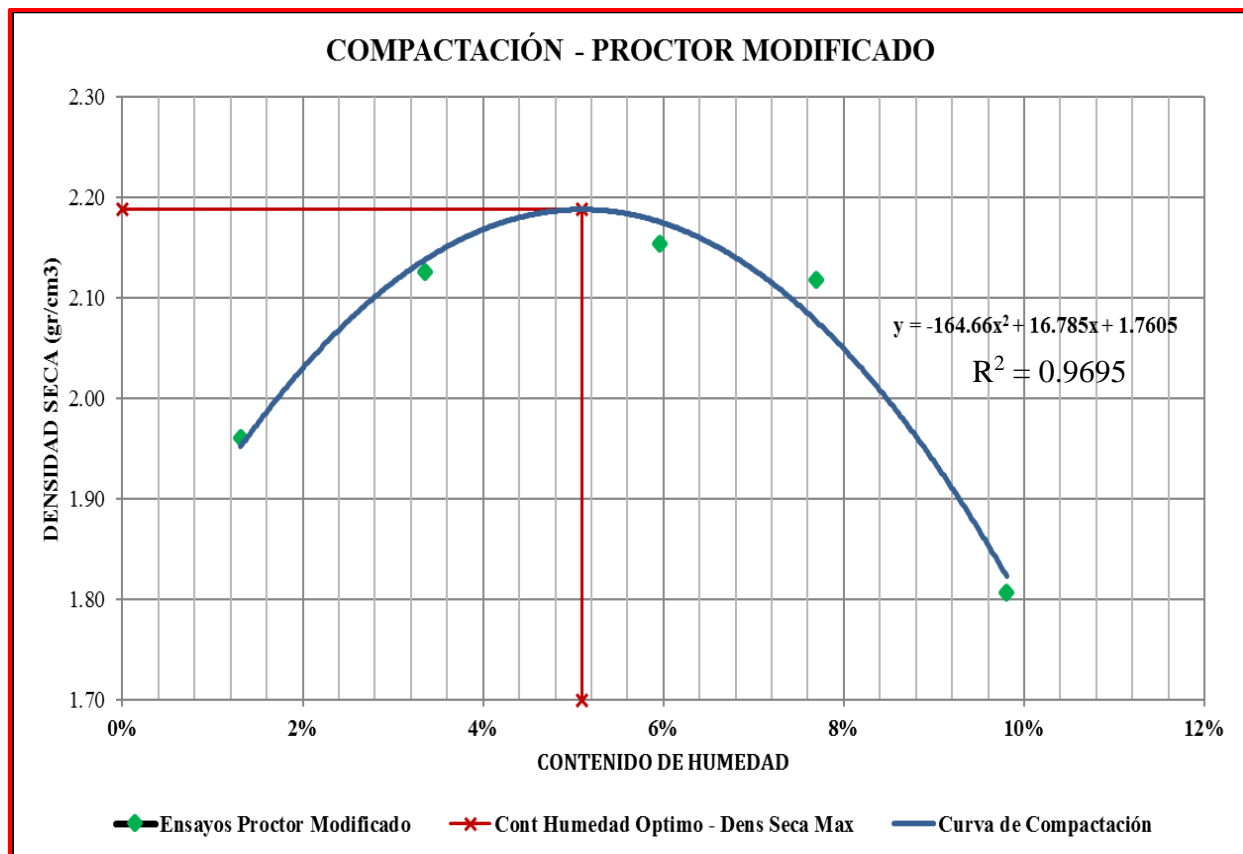


Figura 64: Gráfica de proctor modificado para suelo natural.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44: Densidad seca máxima y contenido de humedad óptimo del suelo natural.

Densidad seca máxima	2.19 gr/cm³
Contenido de humedad óptimo	5.10 %

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 45: Cálculo de proctor modificado de suelo con aditivo de 0.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO - CANTERA DE SENCCA - POROY – CUSCO – PERÚ.	

ENSAYO:	RELACIONES HUMEDAD - DENSIDAD (PRÓCTOR MODIFICADO)
TESISTAS:	Straisy Mirla Huallpacuna Yberico José Luis Quispe Condo
REFERENCIA NORMATIVA:	MTCE 115 / ASTM D 1557 / AASHTO T-180
MUESTRA:	Suelo con Aditivo 0.5% de ROCAMIX
FECHA:	
LUGAR:	LABORATORIO UNITEST S.A.C.

Método C

DATOS GENERALES
Número de Capas = 5
Golpes por Capa = 56
Peso del Martillo = 4.54 Kg
Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm

DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 05
Número de Proctor Utilizado	P-7	P-7	P-7	P-7	P-7
Diámetro del Molde (cm)	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64
Volumen del Molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
Peso del Molde (gr)	6120.00	6120.00	6120.00	6120.00	6120.00
Peso del Molde + Muestra Compactada (gr)	10341.00	10724.00	10984.00	11024.00	10408.00
Peso de la Muestra Compactada (gr)	4221.00	4604.00	4864.00	4904.00	4288.00
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.99	2.17	2.29	2.31	2.02
Densidad Seca (gr/cm³)	1.97	2.11	2.19	2.17	1.86
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Peso de Capsula (gr)	90.20	93.00	100.05	59.00	122.30
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	581.15	588.00	600.01	553.99	564.41
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	575.53	574.99	577.45	524.70	529.50
Peso del Agua (gr)	5.62	13.01	22.56	29.29	34.91
Peso de la Muestra Seca (gr)	485.33	481.99	477.40	465.70	407.20
Contenido de Humedad	1.16%	2.70%	4.73%	6.29%	8.57%
Contenido de Humedad Promedio	1.16%	2.70%	4.73%	6.29%	8.57%

Fuente: Elaboración propia.

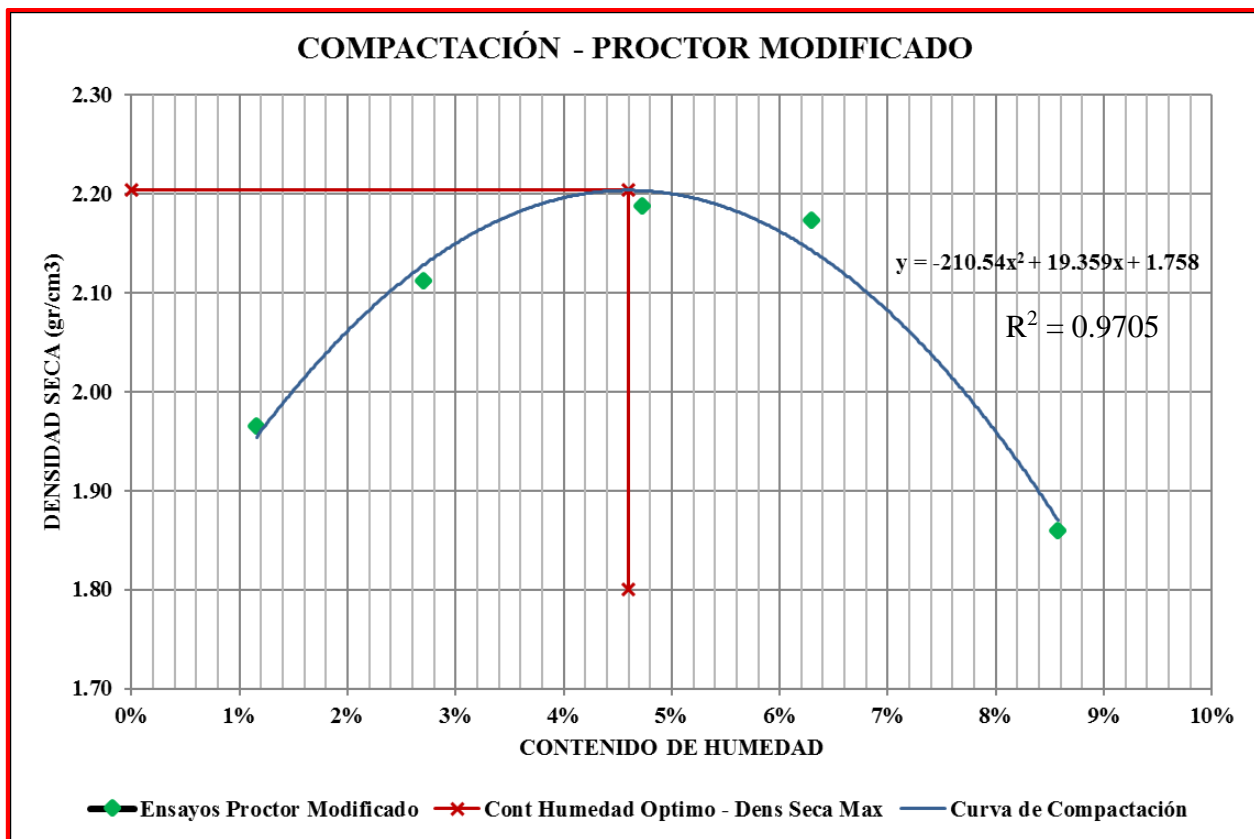


Figura 65: Gráfica de proctor modificado para suelo adicionado con 0.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46: Densidad seca máxima y contenido de humedad óptimo del suelo con aditivo de 0.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.

Densidad seca máxima	2.20 gr/cm³
Contenido de humedad óptimo	4.60 %

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 47: Cálculo de proctor modificado de suelo con aditivo de 1.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO - CANTERA DE SENCCA - POROY – CUSCO – PERÚ.	

ENSAYO:	RELACIONES HUMEDAD - DENSIDAD (PRÓCTOR MODIFICADO)
TESISTAS:	Straisy Mirla Huallpacuna Yberico
	José Luis Quispe Condo
REFERENCIA NORMATIVA:	MTCE 115 / ASTM D 1557 / AASHTO T-180
MUESTRA:	Suelo con Aditivo 1.0% de ROCAMIX
FECHA:	
LUGAR:	LABORATORIO UNITEST S.A.C.

Método C

DATOS GENERALES
Número de Capas = 5
Golpes por Capa = 56
Peso del Martillo = 4.54 Kg
Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm

DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 05
Número de Proctor Utilizado	P-7	P-7	P-7	P-7	P-7
Diámetro del Molde (cm)	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64
Volumen del Molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
Peso del Molde (gr)	6213.50	6213.50	6213.50	6213.50	6213.50
Peso del Molde + Muestra Compactada (gr)	10341.00	10846.00	11085.00	11046.00	10412.00
Peso de la Muestra Compactada (gr)	4127.50	4632.50	4871.50	4832.50	4198.50
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.94	2.18	2.29	2.28	1.98
Densidad Seca (gr/cm³)	1.94	2.14	2.21	2.14	1.82
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Peso de Capsula (gr)	91.91	86.95	95.89	90.46	87.96
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	562.04	544.06	594.71	546.38	556.45
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	560.91	534.63	575.87	519.96	518.91
Peso del Agua (gr)	1.13	9.43	18.84	26.42	37.54
Peso de la Muestra Seca (gr)	469.00	447.68	479.98	429.50	430.95
Contenido de Humedad	0.24%	2.11%	3.93%	6.15%	8.71%
Contenido de Humedad Promedio	0.24%	2.11%	3.93%	6.15%	8.71%

Fuente: Elaboración propia.

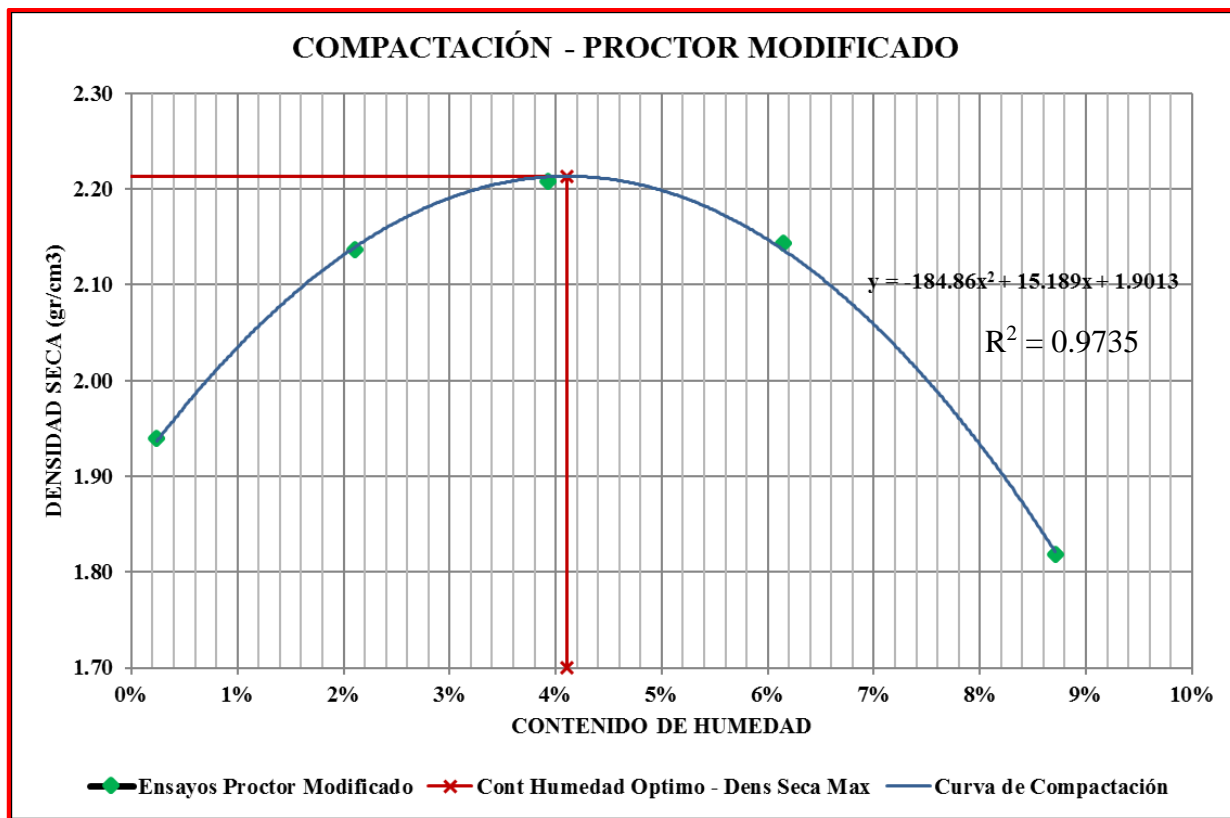


Figura 66: Gráfica de proctor modificado para suelo adicionado con 1.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 48: Densidad seca máxima y contenido de humedad óptimo del suelo con aditivo de 1.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.

Densidad seca máxima	2.21 gr/cm³
Contenido de humedad óptimo	4.11 %

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 49: Cálculo de proctor modificado de suelo con aditivo de 1.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO - CANTERA DE SENCCA - POROY – CUSCO – PERÚ.	

ENSAYO:	RELACIONES HUMEDAD - DENSIDAD (PRÓCTOR MODIFICADO)
TESISTAS:	Straisy Mirla Huallpacuna Yberico José Luis Quispe Condo
REFERENCIA NORMATIVA:	MTCE 115 / ASTM D 1557 / AASHTO T-180
MUESTRA:	Suelo con Aditivo 1.5% de ROCAMIX
FECHA:	
LUGAR:	LABORATORIO UNITEST S.A.C.

Método C

DATOS GENERALES
Número de Capas = 5
Golpes por Capa = 56
Peso del Martillo = 4.54 Kg
Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm

DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 05
Número de Proctor Utilizado	P-7	P-7	P-7	P-7	P-7
Diámetro del Molde (cm)	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64
Volumen del Molde (cm ³)	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31	2123.31
Peso del Molde (gr)	5792.00	5792.00	5792.00	5792.00	5792.00
Peso del Molde + Muestra Compactada (gr)	10288.00	10492.00	10728.00	10686.00	10441.00
Peso de la Muestra Compactada (gr)	4496.00	4700.00	4936.00	4894.00	4649.00
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	2.12	2.21	2.32	2.30	2.19
Densidad Seca (gr/cm³)	2.12	2.17	2.22	2.17	2.02
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Peso de Capsula (gr)	92.85	88.98	90.91	86.13	90.64
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	571.20	570.36	587.50	577.14	568.72
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	571.10	560.00	565.36	547.56	532.32
Peso del Agua (gr)	0.10	10.36	22.14	29.58	36.40
Peso de la Muestra Seca (gr)	478.25	471.02	474.45	461.43	441.68
Contenido de Humedad	0.02%	2.20%	4.67%	6.41%	8.24%
Contenido de Humedad Promedio	0.02%	2.20%	4.67%	6.41%	8.24%

Fuente: Elaboración propia.

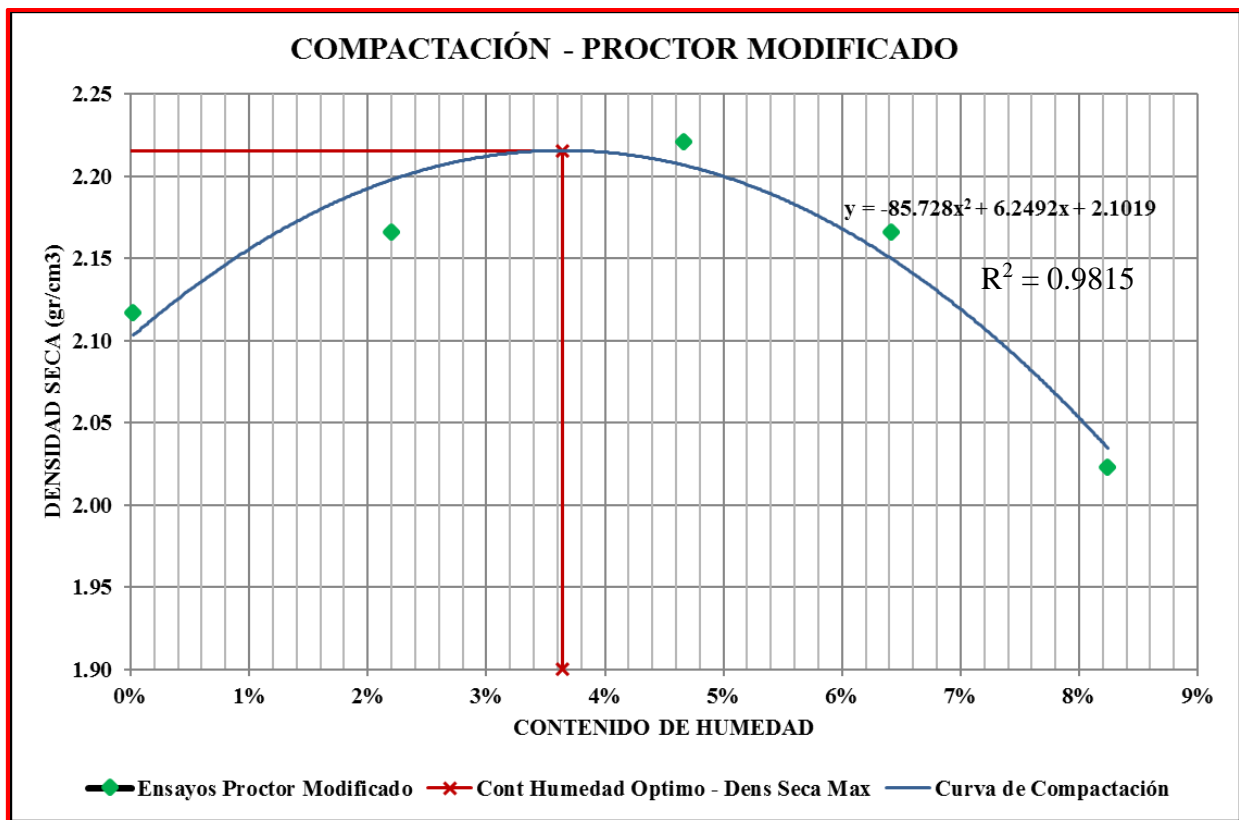


Figura 67: Gráfica de proctor modificado para suelo adicionado con 1.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 50: Densidad seca máxima y contenido de humedad óptimo del suelo con aditivo de 1.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.

Densidad seca máxima	2.22 gr/cm³
Contenido de humedad óptimo	3.64 %

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 51: Cálculo de proctor modificado de suelo con aditivo de 2.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO - CANTERA DE SENCCA - POROY - CUSCO - PERÚ.	

ENSAYO:	RELACIONES HUMEDAD - DENSIDAD (PRÓCTOR MODIFICADO)
TESISTAS:	Straisy Mirla Huallpacuna Yberico José Luis Quispe Condo
REFERENCIA NORMATIVA:	MTCE 115 / ASTM D 1557 / AASHTO T-180
MUESTRA:	Suelo con Aditivo 2.0% de ROCAMIX
FECHA:	
LUGAR:	LABORATORIO UNITEST S.A.C.

Método C

DATOS GENERALES
Número de Capas = 5
Golpes por Capa = 56
Peso del Martillo = 4.54 Kg
Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm

DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 05
Número de Proctor Utilizado	P-6	P-6	P-6	P-6	P-6
Diámetro del Molde (cm)	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64
Volumen del Molde (cm ³)	2123.92	2123.92	2123.92	2123.92	2123.92
Peso del Molde (gr)	6,120.00	6,120.00	6,120.00	6,120.00	6,120.00
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	10,798.00	11,054.00	10,998.00	10,959.00	10,860.00
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	4678.00	4934.00	4878.00	4839.00	4740.00
Peso de la Muestra Seca (gr)	4634.79	4792.77	4612.84	4513.42	4402.02
Densidad Seca (gr/cm³)	2.18	2.26	2.17	2.13	2.07
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Peso de Capsula (gr)	90.58	90.61	86.14	90.14	86.95
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	583.12	553.15	577.14	580.02	564.20
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	578.57	539.91	550.45	547.06	530.17
Peso del Agua (gr)	4.55	13.24	26.69	32.96	34.03
Peso de la Muestra Seca (gr)	487.99	449.30	464.31	456.92	443.22
Contenido de Humedad	0.93%	2.95%	5.75%	7.21%	7.68%

Fuente: Elaboración propia.

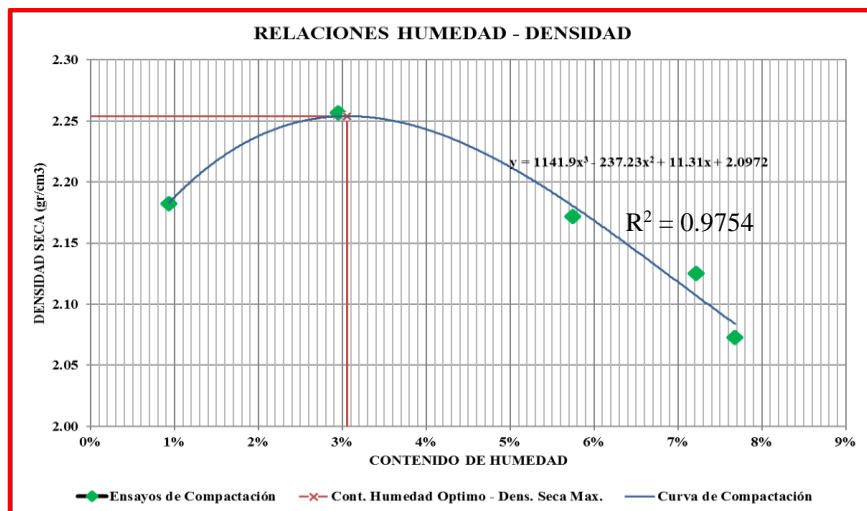


Figura 68: Gráfica de proctor modificado para suelo adicionado con 2.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 52: Densidad seca máxima y contenido de humedad óptimo del suelo con aditivo de 2.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.

Densidad seca máxima	2.25 gr/cm³
Contenido de humedad óptimo	3.06 %

Fuente: Elaboración Propia

3.6.5.3. Análisis de la prueba de proctor modificado.

- Del ensayo de densidad máxima (proctor modificado) se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 53: Máxima densidad seca.

Suelo	Máxima densidad seca (gr/cm ³)
Suelo natural sin adición	2.19
Suelo con aditivo 0.5 % de rocamix	2.20
Suelo con aditivo 1.0 % de rocamix	2.21
Suelo con aditivo 1.5 % de rocamix	2.22
Suelo con aditivo 2.0 % de rocamix	2.25

Fuente: Elaboración propia.



El suelo tiene una densidad máxima seca de 2.25 gr/cm³, al incrementar el porcentaje del aditivo rocamix, la densidad va aumentando.

3.6.6. Ensayo de California Bearing Ratio (CBR).

3.6.6.1. Procedimiento y cálculo de California Bearing Ratio (CBR).

- Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula:

$$W = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} * 100$$

$$W = \frac{M_W}{M_S} * 100$$

W = Es el contenido de humedad, (%)

M_W = Es el peso del agua, en gramos.

M_S = Es el peso de las partículas sólidas, en gramos.

M_{CWS} = Es el peso del contenedor más el suelo húmedo, en gramos.

M_{CS} = Es el peso del contenedor más el suelo secado en horno, en gramos.

M_C = Es el peso del contenedor, en gramos.

$$W = \frac{108.93 - 104.31}{104.31 - 15.97} * 100$$

$$W = \frac{4.62}{88.34} * 100$$

$$W = 5.23 \%$$

- Se calcula la densidad húmeda, mediante la siguiente fórmula:

$$\rho_{húm} = \frac{W_{húm}}{V}$$

$\rho_{húm}$ = Densidad húmeda, (gr/cm³)

$W_{húm}$ = Peso de la muestra compactada, (gr).

V = Volumen del molde, (cm³)



$$\rho_{húm} = \frac{4898.00}{2123.92}$$

$$\rho_{húm} = 2.31 \text{ gr/cm}^3$$

- Se calcula la densidad seca, mediante la siguiente fórmula:

$$\rho_{seca} = \frac{\rho_{húm}}{1 + W}$$

ρ_{seca} = Densidad seca, (gr/cm³)

$\rho_{húm}$ = Densidad húmeda, (gr/cm³)

W = Porcentaje de humedad, (%)

$$\rho_{seca} = \frac{2.31}{1 + 5.23}$$

$$\rho_{seca} = 2.19 \text{ gr/cm}^3$$

- Se calcula el porcentaje de expansión, mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Expansión} = \frac{\text{Deformación}}{H}$$

H = Altura de la muestra

$$\% \text{ Expansión} = \frac{\left(\frac{0.051}{10}\right)}{11.64} * 100$$

$$\% \text{ Expansión} = 0.04\%$$

- Se calcula el porcentaje de penetración:

Primeramente, se calcula el valor de la fuerza, mediante la siguiente fórmula:

$$Y = -0.000111x^2 + 3.428x + 12.377$$

Y = Fuerza, en Kg

x = Dial

$$Y = -0.000111(15)^2 + 3.428(15) + 12.377$$

$$Y = 63.77 \text{ Kg}$$



Luego, se calcula el esfuerzo, mediante la siguiente fórmula:

$$Esfuerzo = \frac{Fuerza}{A}$$

$A = \text{Área del pistón}$

$$Esfuerzo = \frac{63.77}{20.27}$$

$$Esfuerzo = 3.15 \text{ Kg/cm}^2$$

- Finalmente, calculamos el CBR, mediante la siguiente fórmula:

$$CBR = \frac{\text{Carga unitaria de ensayo (esfuerzo)}}{\text{Carga unitaria patrón}} * 100$$

Cuando la parte inicial de la gráfica se presente cóncava hacia arriba, se debe trazar una tangente a la curva en el punto de inflexión, prolongándolo hasta el eje de las abscisas y cuyo punto se tomará como el nuevo origen.

- CBR a 0.1” de penetración:

$$CBR = \frac{18.31}{70.31} * 100$$

$$CBR = 26.04 \%$$

- CBR a 0.2” de penetración:

$$CBR = \frac{47.70}{105.46} * 100$$

$$CBR = 45.23 \%$$



3.6.6.2. Diagramas y tablas de California Bearing Ratio (CBR).

Tabla 54: Cálculo del CBR de un suelo natural.

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO - CANTERA DE SENCCA - POROY – CUSCO – PERÚ.

ENSAYO:	RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
TESISTAS:	Straisy Mirla Huallpacuna Yberico José Luis Quispe Condo
REFERENCIA NORMATIVA:	MTC E 132 / ASTM D 1883 / AASHTO T-193
MUESTRA:	Suelo Natural Sin Adición
FECHA:	
LUGAR:	PRO&CON S.C.R.L.

DATOS PRELIMINARES		
DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO	DATOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN	DATOS DEL MOLDE
Densidad Seca Máxima = 2.19 cm ³ Contenido Humedad Óptimo = 5.10%	Peso del Martillo = 4.54 Kg Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm Número de Capas = 5	Diámetro del Molde = 15.24 cm Altura del Molde = 17.78 cm Altura del Disco Espaciador = 6.14 cm Altura de la Muestra = 11.64 cm Área = 182.41 cm ² Volumen = 2123.92 cm ³
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN		
Constante del Anillo de Carga = +1.24E+01 Área del Pistón = 20.27 cm ²		

ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Muestra	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Número de Golpes por Capa	55		26		12	
Condición de la Muestra	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada
Peso de Capsula (gr)	15.97	10.26	10.26	12.01	19.13	12.50
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	108.93	96.94	78.26	102.98	103.34	103.11
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	104.31	92.17	74.87	96.41	99.23	95.56
Peso del Agua (gr)	4.62	4.77	3.39	6.57	4.11	7.55
Peso de la Muestra Seca (gr)	88.34	81.91	64.61	84.40	80.10	83.06
Contenido de Humedad	5.23%	5.82%	5.25%	7.78%	5.13%	9.09%
Porcentaje de Absorción	-	0.59%	-	2.54%	-	3.96%
Peso del Molde (gr)	7412		7238		7536	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	12310	12415	11995	12170	12175	12200
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	4898	5003	4757	4932	4639	4664
Peso de la Muestra Seca (gr)	4654.58		4519.85		4412.59	
Peso del Agua Absorbida (gr)	-	105	-	175	-	25
Porcentaje de Absorción	-	2.26%	-	3.87%	-	0.57%
Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.31	2.35	2.24	2.32	2.18	2.19
Densidad Seca (gr/cm ³)	2.19	2.19	2.13	2.12	2.08	2.07

ENSAYO DE EXPANSIÓN													
Muestra		MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03					
Tiempo Transcurrido	Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de	
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.
0	0 hor 00 min	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	2	0.002	0.051	0.04%	1.5	0.0015	0.038	0.03%	6	0.006	0.152	0.13%
0.125	3 hor 00 min	2	0.002	0.051	0.04%	2	0.002	0.051	0.04%	10	0.01	0.254	0.22%
0.25	6 hor 00 min	2.3	0.0023	0.058	0.05%	3	0.003	0.076	0.07%	11	0.011	0.279	0.24%
0.5	12 hor 00 min	2.5	0.0025	0.064	0.05%	4	0.004	0.102	0.09%	11.3	0.0113	0.287	0.25%
1	24 hor 00 min	2.5	0.0025	0.064	0.05%	5.5	0.0055	0.140	0.12%	11.5	0.0115	0.292	0.25%
2	48 hor 00 min	2.5	0.0025	0.064	0.05%	6	0.006	0.152	0.13%	12	0.012	0.305	0.26%
4	96 hor 00 min	2.5	0.0025	0.064	0.05%	7	0.007	0.178	0.15%	12	0.012	0.305	0.26%

ENSAYO DE PENETRACIÓN														
Muestra		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03				
Carga Unitaria Patrón (kg/cm ²)	Dial	Penetración	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR
	*0.001"	mm		kg	kg/cm ²	%		kg	kg/cm ²	%		kg	kg/cm ²	%
0	0	0.000	0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00	
25	0.635	15	63.77	3.15			24	94.59	4.67		18	74.05	3.65	
50	1.270	39	145.90	7.20			54	197.17	9.73		37	139.06	6.86	
75	1.905	69	248.38	12.25			78	279.09	13.77		64	231.31	11.41	
70.31	2.540	105	371.09	18.31	26.04%		105	371.09	18.31	26.04%	85	302.96	14.95	21.26%
125	3.175	148	517.29	25.52			121	425.54	21.00		102	360.88	17.81	
150	3.810	191	663.08	32.71			140	490.12	24.18		117	411.93	20.32	
105.46	5.080	281	966.88	47.70	45.23%		188	652.92	32.21	30.55%	138	483.33	23.85	22.61%
300	7.620	453	1542.48	76.10			278	956.78	47.21		177	615.66	30.38	
400	10.160	627	2118.10	104.50			359	1228.72	60.62		219	757.79	37.39	
500	12.700	795	2667.48	131.61			437	1489.22	73.48		257	886.04	43.72	

Fuente: Elaboración propia.

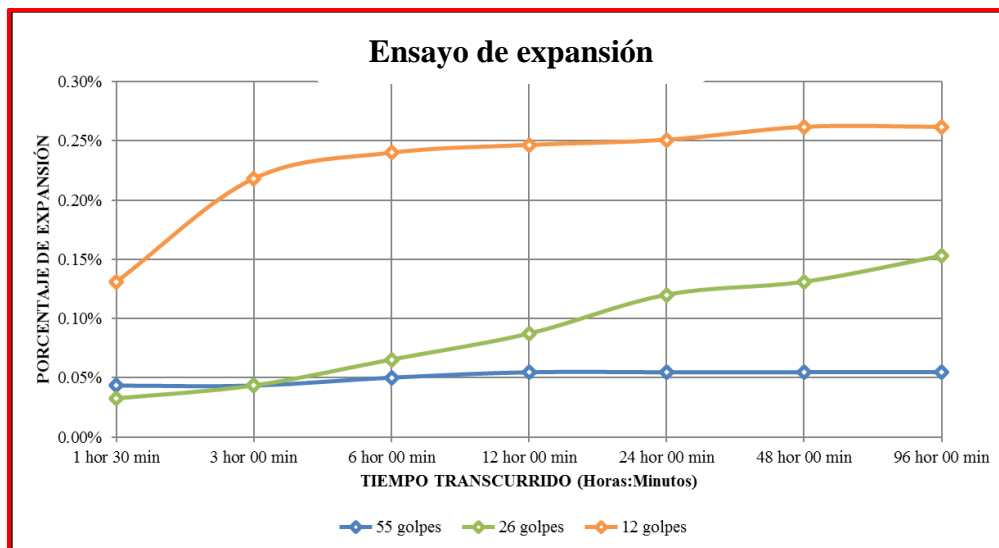


Figura 69: Gráfica de la expansión del suelo natural.

Fuente: Elaboración propia.

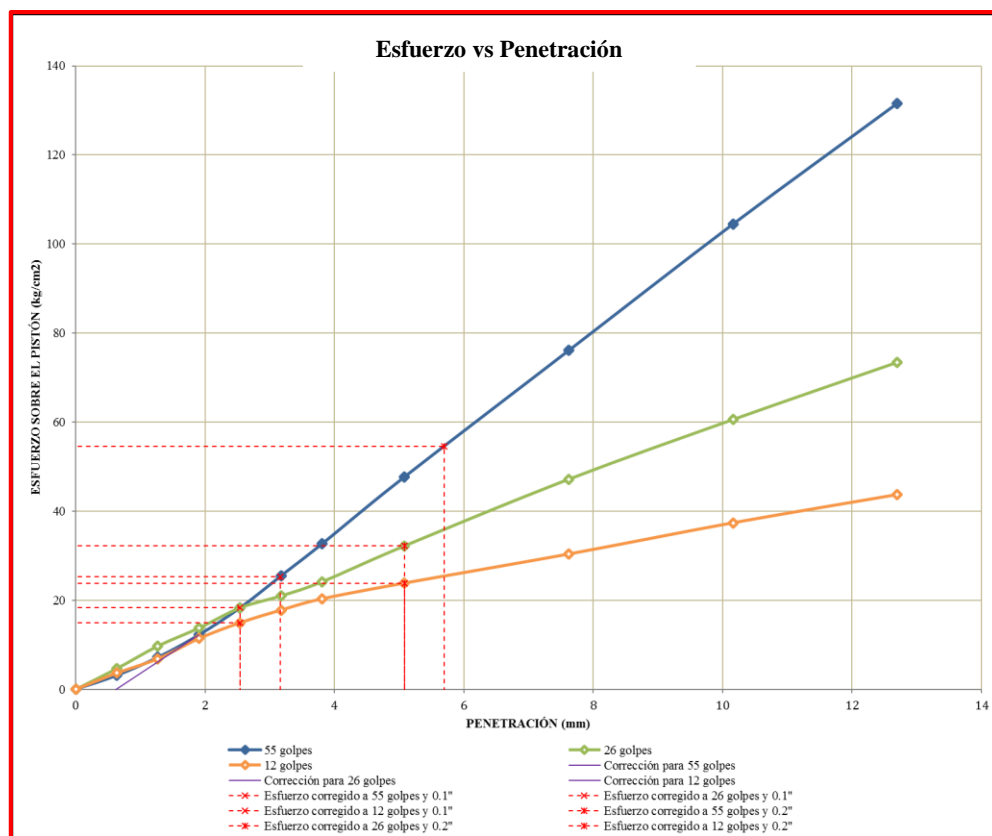


Figura 70: Gráfica de penetración - esfuerzo del suelo natural.

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 55: Tabla de correcciones del CBR de un suelo natural.

CORRECCIONES	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03		
Carga Unitaria Patrón	Penetr Correg	Esfuer Correg	CBR Correg	Penetr Correg	Esfuer Correg	CBR Correg	Penetr Correg	Esfuer Correg	CBR Correg
kg/cm ²	mm	kg/cm ²	%	mm	kg/cm ²	%	mm	kg/cm ²	%
70.31	3.160	25.35	36.05%	2.540	18.31	26.04%	2.540	14.95	21.26%
105.46	5.700	54.63	51.80%	5.080	32.21	30.55%	5.080	23.85	22.61%

Fuente: Elaboración propia.

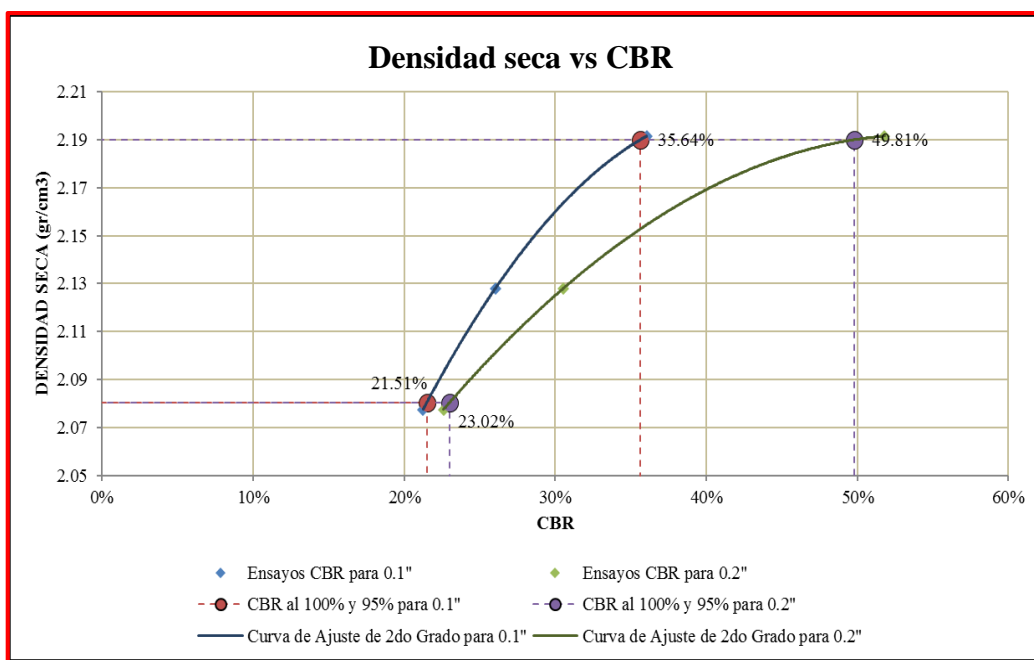


Figura 71: Gráfica de la densidad – CBR del suelo natural.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56: Tabla de densidad – CBR del suelo natural.

Número de Golpes	CBR		Densidad Seca
	0.1"	0.2"	
55	36.05%	51.80%	2.19 gr/cm ³
26	26.04%	30.55%	2.13 gr/cm ³
12	21.26%	22.61%	2.08 gr/cm ³

Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	2.19
95% de la DSM (gr/cm ³)	2.08

	0.1"	0.2"
CBR al 100% de la DSM	35.64%	49.81%
CBR al 95% de la DSM	21.51%	23.02%

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 57: CBR de un suelo con adición de 0.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO - CANTERA DE SENCCA - POROY – CUSCO – PERÚ.

ENSAYO:	RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
TESISTAS:	Straisy Mirla Huallpacuna Yberico José Luis Quispe Condo
REFERENCIA NORMATIVA:	MTC E 132 / ASTM D 1883 / AASHTO T-193
MUESTRA:	Suelo Con Adición de 0.5% de ROCAMIX
FECHA:	
LUGAR:	PRO&CON S.C.R.L.

DATOS PRELIMINARES		
DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO	DATOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN	DATOS DEL MOLDE
Densidad Seca Máxima = 2.20 cm3 Contenido Humedad Óptimo = 4.60%	Peso del Martillo = 4.54 Kg Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm Número de Capas = 5	Diámetro del Molde = 15.24 cm Altura del Molde = 17.78 cm Altura del Disco Espaciador = 6.14 cm Altura de la Muestra = 11.64 cm Área = 182.41 cm2 Volumen = 2123.92 cm3
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN		
Constante del Anillo de Carga = +1.24E+01 Área del Pistón = 20.27 cm2		

ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Muestra	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Número de Golpes por Capa	55		26		12	
Condición de la Muestra	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada
Peso de Capsula (gr)	16.50	19.29	17.15	15.44	18.28	20.57
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	77.49	74.95	80.25	97.96	74.80	83.41
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	74.86	72.05	77.39	92.92	72.36	79.17
Peso del Agua (gr)	2.63	2.90	2.86	5.04	2.44	4.24
Peso de la Muestra Seca (gr)	58.36	52.76	60.24	77.48	54.08	58.60
Contenido de Humedad	4.51%	5.50%	4.75%	6.50%	4.51%	7.24%
Porcentaje de Absorción	-	0.99%	-	1.76%	-	2.72%
Peso del Molde (gr)	7115		7375		7445	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	11990	12130	12065	12230	12070	12320
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	4875	5015	4690	4855	4625	4875
Peso de la Muestra Seca (gr)	4664.78		4477.43		4425.34	
Peso del Agua Absorbida (gr)	-	140	-	165	-	250
Porcentaje de Absorción	-	3.00%	-	3.69%	-	5.65%
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.30	2.35	2.21	2.27	2.18	2.28
Densidad Seca (gr/cm3)	2.20	2.18	2.11	2.10	2.08	2.07

ENSAYO DE EXPANSIÓN													
Muestra		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
Tiempo Transcurrido		Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.
0	0 hor 00 min	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	11.5	0.0115	0.292	0.25%	26	0.026	0.660	0.57%	24	0.024	0.610	0.52%
0.125	3 hor 00 min	21.5	0.0215	0.546	0.47%	24	0.024	0.610	0.52%	32	0.032	0.813	0.70%
0.25	6 hor 00 min	22	0.022	0.559	0.48%	25	0.025	0.635	0.55%	33	0.033	0.838	0.72%
0.5	12 hor 00 min	25	0.025	0.635	0.55%	27	0.027	0.686	0.59%	35	0.035	0.889	0.76%
1	24 hor 00 min	25	0.025	0.635	0.55%	27	0.027	0.686	0.59%	35	0.035	0.889	0.76%
2	48 hor 00 min	25.5	0.0255	0.648	0.56%	28	0.028	0.711	0.61%	36	0.036	0.914	0.79%
4	96 hor 00 min	26	0.026	0.660	0.57%	28.5	0.0285	0.724	0.62%	37	0.037	0.940	0.81%

ENSAYO DE PENETRACIÓN														
Muestra			MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
Carga Unitaria Patrón (kg/cm2)	Dial	Penetración	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR
	*0.001"	mm		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%
0	0.000	0	0.00	0.00			0	0.00	0.00		0	0.00	0.00	
25	0.635	20	80.89	3.99			8	39.79	1.96		13	56.92	2.81	
50	1.270	54	197.17	9.73			28	108.27	5.34		37	139.06	6.86	
75	1.905	95	337.04	16.63			55	200.58	9.90		64	231.31	11.41	
70.31	2.540	135	473.13	23.34	33.20%		87	309.77	15.28	21.74%	89	316.59	15.62	22.22%
125	3.175	174	605.49	29.87			124	435.74	21.50		113	398.32	19.65	
150	3.810	213	737.51	36.39			167	581.76	28.70		136	476.53	23.51	
105.46	5.080	292	1003.89	49.53	46.97%		244	842.20	41.55	39.40%	179	622.43	30.71	29.12%
300	7.620	512	1738.42	85.77			348	1191.88	58.81		257	886.04	43.72	
400	10.160	713	2400.11	118.42			446	1519.19	74.95		317	1087.90	53.67	
500	12.700	900	3007.67	148.39			528	1791.42	88.39		369	1262.20	62.27	

Fuente: Elaboración propia.

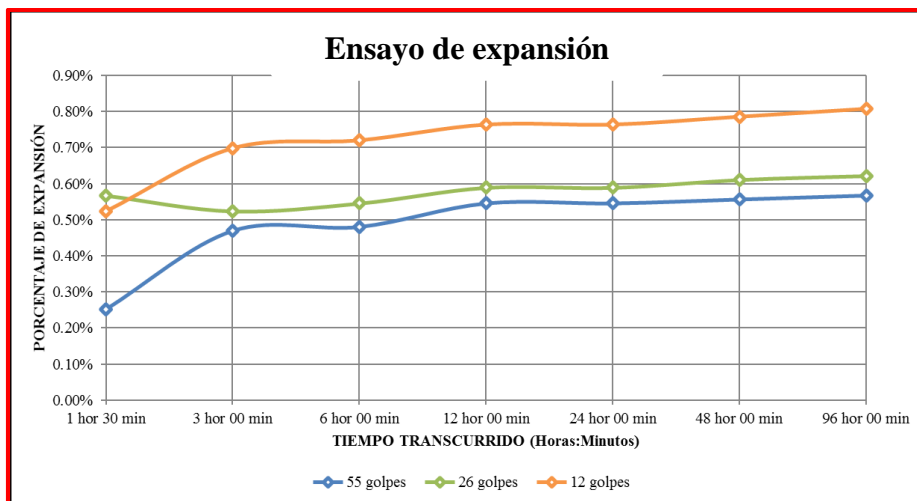


Figura 72: Gráfica de la expansión del suelo con adición 0.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.

Fuente: Elaboración propia.

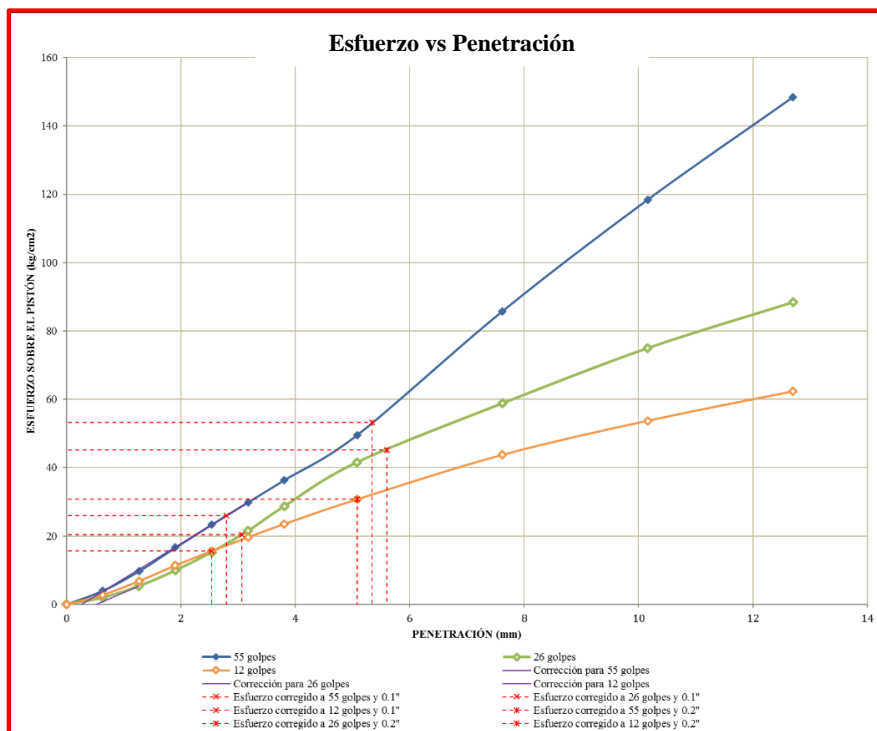


Figura 73: Gráfica de penetración - esfuerzo del suelo con adición 0.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 58: Tabla de correcciones del CBR de un suelo con adición de 0.5% de sales cuaternarias de amonio líquido natural.

CORRECCIONES	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03		
Carga Unitaria Patrón	Penetr Correg	Esfuer Correg	CBR Correg	Penetr Correg	Esfuer Correg	CBR Correg	Penetr Correg	Esfuer Correg	CBR Correg
kg/cm ²	mm	kg/cm ²	%	mm	kg/cm ²	%	mm	kg/cm ²	%
70.31	2.803	26.04	37.04%	3.065	20.42	29.05%	2.540	15.62	22.22%
105.46	5.343	53.28	50.52%	5.605	45.12	42.78%	5.080	30.71	29.12%

Fuente: Elaboración propia.

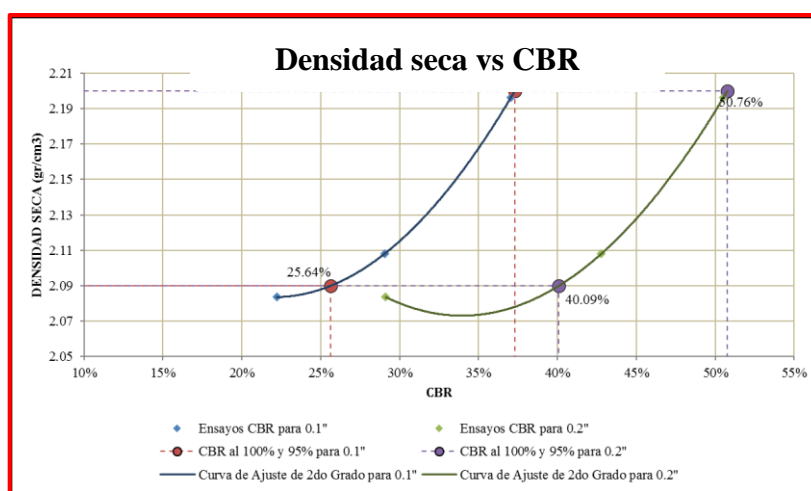


Figura 74: Gráfica de la densidad – CBR del suelo con adición de 0.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 59: Tabla de densidad – CBR del suelo con adición de 0.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.

Número de Golpes	CBR		Densidad Seca
	0.1"	0.2"	
55	37.04%	50.52%	2.20 gr/cm ³
26	29.05%	42.78%	2.11 gr/cm ³
12	22.22%	29.12%	2.08 gr/cm ³

Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	2.20
95% de la DSM (gr/cm ³)	2.09

	0.1"	0.2"
CBR al 100% de la DSM	37.29%	50.76%
CBR al 95% de la DSM	25.64%	40.09%

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 60: CBR de un suelo con adición de 1.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO - CANTERA DE SENCCA - POROY - CUSCO - PERÚ.

ENSAYO:	RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
TESISTAS:	Straisy Mirla Huallpacuna Yberico José Luis Quispe Condo
REFERENCIA NORMATIVA:	MTC E 132 / ASTM D 1883 / AASHTO T-193
MUESTRA:	Suelo Con Adición de 1% de ROCAMIX
FECHA:	
LUGAR:	PRO&CON S.C.R.L.

DATOS PRELIMINARES		
DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO	DATOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN	DATOS DEL MOLDE
Densidad Seca Máxima = 2.21 cm3 Contenido Humedad Óptimo = 4.11%	Peso del Martillo = 4.54 Kg Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm Número de Capas = 5	Diámetro del Molde = 15.24 cm Altura del Molde = 17.78 cm Altura del Disco Espaciador = 6.14 cm Altura de la Muestra = 11.64 cm Área = 182.41 cm2 Volumen = 2123.92 cm3
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN		
Constante del Anillo de Carga = +1.24E+01 Área del Pistón = 20.27 cm2		

ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Muestra	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Número de Golpes por Capa	55		26		12	
Condición de la Muestra	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada
Peso de Capsula (gr)	15.95	19.09	14.18	15.97	15.60	18.99
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	113.12	118.24	106.32	104.91	85.16	99.01
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	109.27	112.01	102.59	99.04	82.36	92.37
Peso del Agua (gr)	3.85	6.23	3.73	5.87	2.80	6.64
Peso de la Muestra Seca (gr)	93.32	92.92	88.41	83.07	66.76	73.38
Contenido de Humedad	4.13%	6.70%	4.22%	7.07%	4.19%	9.05%
Porcentaje de Absorción	-	2.58%	-	2.85%	-	4.85%
Peso del Molde (gr)	7290		7862		7290	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	12185	12345	12645	12810	11800	12035
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	4895		5055		4510	
Peso de la Muestra Seca (gr)	4701.05		4589.38		4328.46	
Peso del Agua Absorbida (gr)	-	160	-	165	-	235
Porcentaje de Absorción	-	3.40%	-	3.60%	-	5.43%
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.30	2.38	2.25	2.33	2.12	2.23
Densidad Seca (gr/cm3)	2.21	2.21	2.16	2.16	2.04	2.03

ENSAYO DE EXPANSIÓN													
Muestra		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
Tiempo Transcurrido		Dial	Deform		% de Expans.	Dial	Deform		% de Expans.	Dial	Deform		% de Expans.
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm		*0.001"	pulg	mm	
0	0 hor 00 min	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	1.5	0.0015	0.038	0.03%	1.5	0.0015	0.038	0.03%	6.5	0.0065	0.165	0.14%
0.125	3 hor 00 min	2.5	0.0025	0.064	0.05%	3	0.003	0.076	0.07%	8	0.008	0.203	0.17%
0.25	6 hor 00 min	4	0.004	0.102	0.09%	5	0.005	0.127	0.11%	8.5	0.0085	0.216	0.19%
0.5	12 hor 00 min	5.5	0.0055	0.140	0.12%	6	0.006	0.152	0.13%	10	0.01	0.254	0.22%
1	24 hor 00 min	7	0.007	0.178	0.15%	7	0.007	0.178	0.15%	10	0.01	0.254	0.22%
2	48 hor 00 min	7.5	0.0075	0.191	0.16%	8.5	0.0085	0.216	0.19%	10	0.01	0.254	0.22%
4	96 hor 00 min	8	0.008	0.203	0.17%	9	0.009	0.229	0.20%	10	0.01	0.254	0.22%

ENSAYO DE PENETRACIÓN														
Muestra		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03				
Carga Unitaria Patrón (kg/cm2)	Dial	Penetración mm	Dial	Fuerza kg	Esfuer. kg/cm2	CBR %	Dial	Fuerza kg	Esfuer. kg/cm2	CBR %	Dial	Fuerza kg	Esfuer. kg/cm2	CBR %
	*0.001"	mm	mm	kg	kg/cm2	%	mm	kg	kg/cm2	%	mm	kg	kg/cm2	%
	0	0.000	0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00	
	25	0.635	48	176.67	8.72		50	183.50	9.05		43	159.58	7.87	
	50	1.270	114	401.73	19.82		103	364.28	17.97		67	241.55	11.92	
	75	1.905	182	632.60	31.21		148	517.29	25.52		88	313.18	15.45	
	100	2.540	240	828.70	40.89	58.15%	183	635.98	31.38	44.63%	106	374.50	18.48	26.28%
	125	3.175	309	1061.03	52.35		221	764.54	37.72		115	405.13	19.99	
	150	3.810	366	1252.16	61.78		252	869.18	42.88		131	459.54	22.67	
	200	5.080	464	1579.07	77.91	73.87%	321	1101.33	54.34	51.52%	151	527.47	26.02	24.68%
	300	7.620	631	2131.25	105.15		417	1422.55	70.19		188	652.92	32.21	
	400	10.160	771	2589.38	127.76		529	1794.73	88.55		220	761.16	37.55	
	500	12.700	887	2965.68	146.32		624	2108.23	104.02		246	848.95	41.89	

Fuente: Elaboración propia.

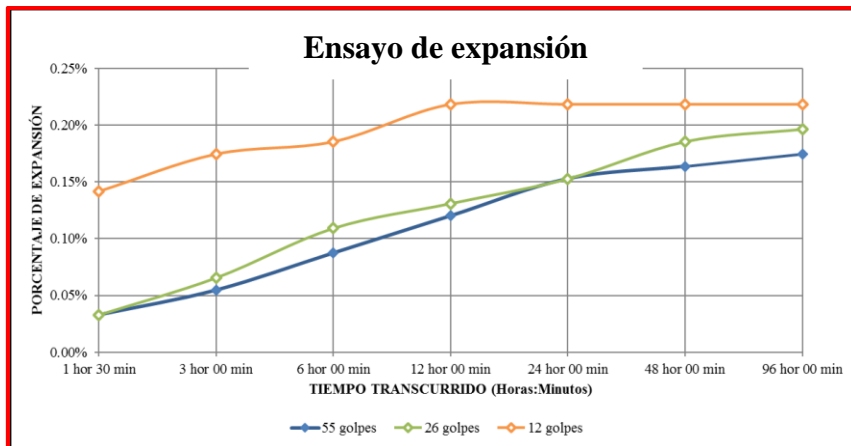


Figura 75: Gráfica de la expansión del suelo con adición de 1.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.

Fuente: Elaboración propia.

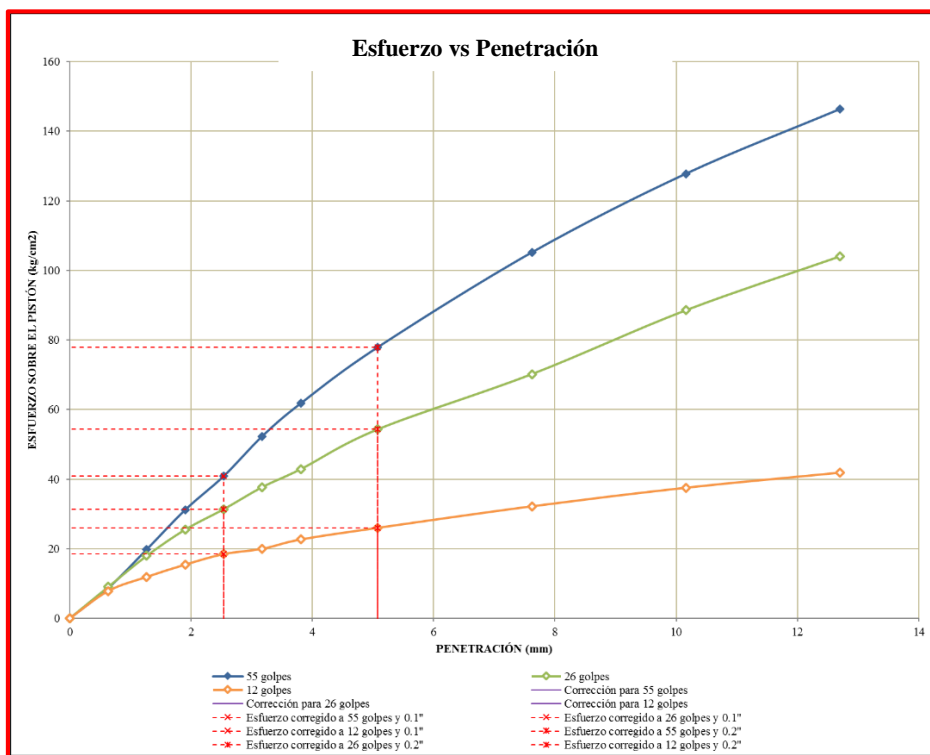


Figura 76: Gráfica de penetración - esfuerzo del suelo con adición de 1.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 61: Tabla de correcciones del CBR del suelo con adición de 1.0% de sales cuaternarias de amonio líquido natural.

CORRECCIONES	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03		
	Penetr Correg	Esfuer Correg	CBR Correg	Penetr Correg	Esfuer Correg	CBR Correg	Penetr Correg	Esfuer Correg	CBR Correg
kg/cm2	mm	kg/cm2	%	mm	kg/cm2	%	mm	kg/cm2	%
70.31	2.540	40.89	58.15%	2.540	31.38	44.63%	2.540	18.48	26.28%
105.46	5.080	77.91	73.87%	5.080	54.34	51.52%	5.080	26.02	24.68%

Fuente: Elaboración propia.

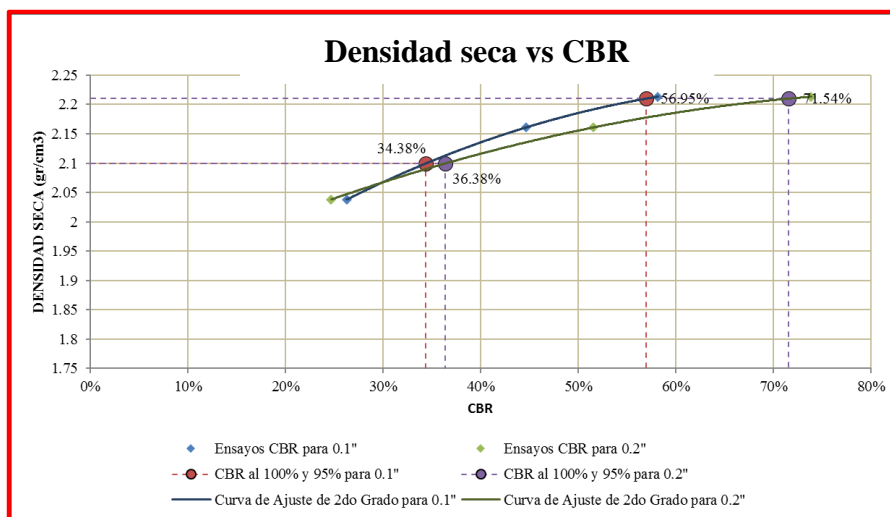


Figura 77: Gráfica de la densidad – CBR del suelo con adición de 1.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 62: Tabla de densidad – CBR del suelo con adición de 1.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.

Número de Golpes	CBR		Densidad Seca
	0.1''	0.2''	
55	58.15%	73.87%	2.21 gr/cm3
26	44.63%	51.52%	2.16 gr/cm3
12	26.28%	24.68%	2.04 gr/cm3

Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	2.21
95% de la DSM (gr/cm3)	2.10

	0.1''	0.2''
CBR al 100% de la DSM	56.95%	71.54%
CBR al 95% de la DSM	34.38%	36.38%

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 63: CBR de un suelo con adición de 1.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO - CANTERA DE SENCCA - POROY – CUSCO – PERÚ.

ENSAYO:	RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
TESISTAS:	Straisy Mirla Huallpacuna Yberico José Luis Quispe Condo
REFERENCIA NORMATIVA:	MTC E 132 / ASTM D 1883 / AASHTO T-193
MUESTRA:	Suelo Con Adición de 1.5% de ROCAMIX
FECHA:	
LUGAR:	PRO&CON S.C.R.L.

DATOS PRELIMINARES		
DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO	DATOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN	DATOS DEL MOLDE
Densidad Seca Máxima = 2.22 cm3 Contenido Humedad Óptimo = 3.64%	Peso del Martillo = 4.54 Kg Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm Número de Capas = 5	Diámetro del Molde = 15.24 cm Altura del Molde = 17.78 cm Altura del Disco Espaciador = 6.14 cm Altura de la Muestra = 11.64 cm
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN		
Constante del Anillo de Carga = +1.24E+01 Área del Pistón = 20.27 cm2		Área = 182.41 cm2 Volumen = 2123.92 cm3

ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Muestra	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Número de Golpes por Capa	55		26		12	
Condición de la Muestra	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada
Peso de Capsula (gr)	16.05	18.04	19.16	18.66	18.22	16.05
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	86.28	98.95	116.85	113.15	102.98	95.17
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	83.78	94.39	113.47	107.07	100.10	88.87
Peso del Agua (gr)	2.50	4.56	3.38	6.08	2.88	6.30
Peso de la Muestra Seca (gr)	67.73	76.35	94.31	88.41	81.88	72.82
Contenido de Humedad	3.69%	5.97%	3.58%	6.88%	3.52%	8.65%
Porcentaje de Absorción	-	2.28%	-	3.29%	-	5.13%
Peso del Molde (gr)	7200		7274		7352	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	12100	12235	11890	12155	11740	12035
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	4900	5035	4616	4881	4388	4683
Peso de la Muestra Seca (gr)	4725.57		4456.29		4238.90	
Peso del Agua Absorbida (gr)	-	135	-	265	-	295
Porcentaje de Absorción	-	2.86%	-	5.95%	-	6.96%
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.31	2.36	2.17	2.29	2.07	2.20
Densidad Seca (gr/cm3)	2.22	2.22	2.10	2.09	2.00	1.99

ENSAYO DE EXPANSIÓN													
Muestra		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
Tempo Transcurrido	Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de	
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.
0	0 hor 00 min	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	1.5	0.0015	0.038	0.03%	7.5	0.0075	0.191	0.16%	11	0.011	0.279	0.24%
0.125	3 hor 00 min	4	0.004	0.102	0.09%	11.5	0.0115	0.292	0.25%	13	0.013	0.330	0.28%
0.25	6 hor 00 min	6.5	0.0065	0.165	0.14%	14	0.014	0.356	0.31%	14	0.014	0.356	0.31%
0.5	12 hor 00 min	8	0.008	0.203	0.17%	15	0.015	0.381	0.33%	14.5	0.0145	0.368	0.32%
1	24 hor 00 min	11	0.011	0.279	0.24%	16.5	0.0165	0.419	0.36%	15	0.015	0.381	0.33%
2	48 hor 00 min	12	0.012	0.305	0.26%	17	0.017	0.432	0.37%	16	0.016	0.406	0.35%
4	96 hor 00 min	12	0.012	0.305	0.26%	17.5	0.0175	0.445	0.38%	17	0.017	0.432	0.37%

ENSAYO DE PENETRACIÓN														
Muestra			MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
Carga Unitaria	Dial	Penetración	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR
Patrón (kg/cm2)	*0.001"	mm		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%
0	0.000	0	0.00	0.00			0	0.00	0.00		0	0.00	0.00	
25	0.635	34	128.80	6.35			25	98.01	4.84		20	80.89	3.99	
50	1.270	94	333.63	16.46			62	224.49	11.08		40	149.32	7.37	
75	1.905	157	547.84	27.03			97	343.85	16.96		51	186.92	9.22	
70.31	100	212	734.12	36.22	51.52%		126	442.54	21.83	31.06%	61	221.07	10.91	15.51%
125	3.175	274	943.32	46.54			152	530.87	26.19		69	248.38	12.25	
150	3.810	320	1097.97	54.17			169	588.54	29.04		76	272.26	13.43	
105.46	200	407	1389.19	68.54	64.99%		222	767.92	37.89	35.93%	98	347.25	17.13	16.25%
300	7.620	556	1884.03	92.95			253	872.56	43.05		109	384.71	18.98	
400	10.160	689	2321.57	114.54			300	1030.79	50.86		129	452.74	22.34	
500	12.700	808	2709.73	133.69			344	1178.47	58.14		145	507.10	25.02	

Fuente: Elaboración propia.

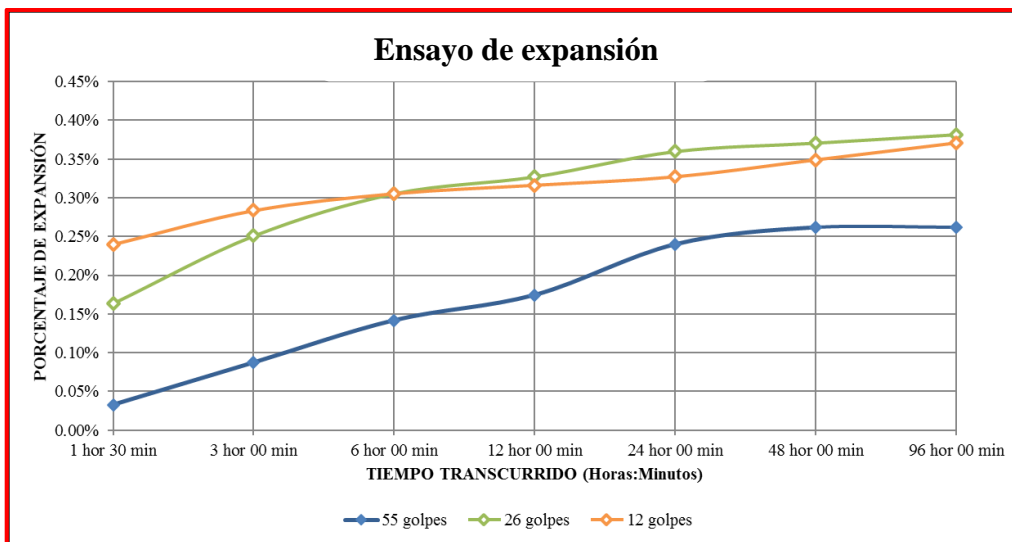


Figura 78: Gráfica de la expansión del suelo con adición de 1.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.

Fuente: Elaboración propia.

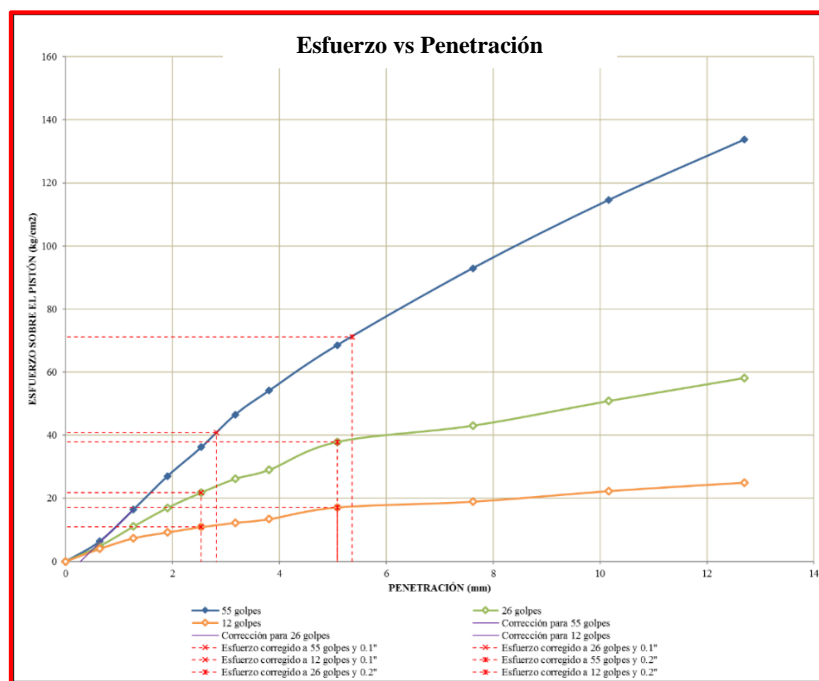


Figura 79: Gráfica de penetración - esfuerzo del suelo con adición de 1.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 64: Tabla de correcciones del CBR del suelo con adición de 1.5% de sales cuaternarias de amonio líquido natural.

CORRECCIONES	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03		
	Penetr Correg	Esfuer Correg	CBR Correg	Penetr Correg	Esfuer Correg	CBR Correg	Penetr Correg	Esfuer Correg	CBR Correg
kg/cm2	mm	kg/cm2	%	mm	kg/cm2	%	mm	kg/cm2	%
70.31	2.821	40.79	58.01%	2.540	21.83	31.06%	2.540	10.91	15.51%
105.46	5.361	71.24	67.55%	5.080	37.89	35.93%	5.080	17.13	16.25%

Fuente: Elaboración propia.

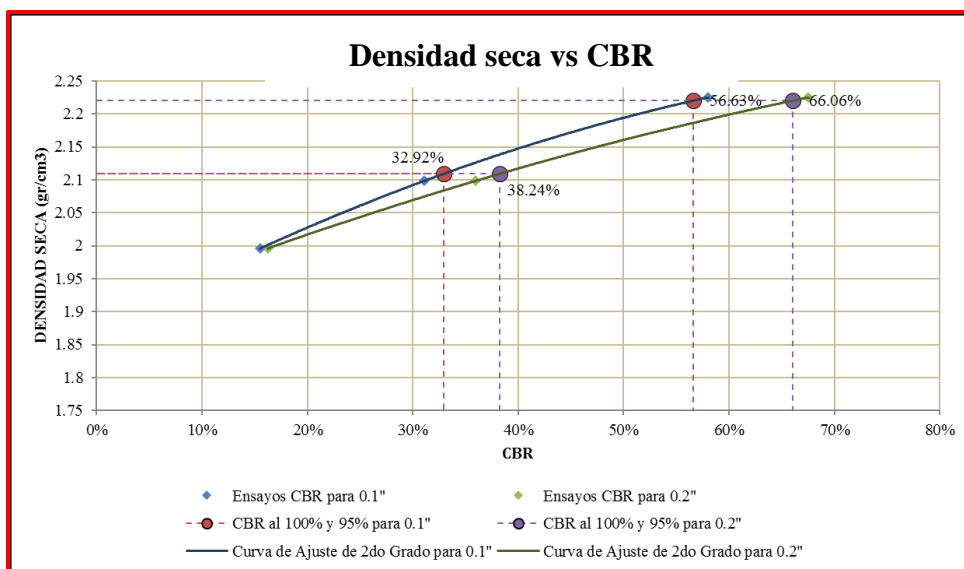


Figura 80: Gráfica de la densidad – CBR del suelo con adición de 1.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 65: Tabla de densidad –CBR del suelo con adición de 1.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.

Número de Golpes	CBR		Densidad Seca
	0.1"	0.2"	
55	58.01%	67.55%	2.22 gr/cm3
26	31.06%	35.93%	2.10 gr/cm3
12	15.51%	16.25%	2.00 gr/cm3

Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	2.22
95% de la DSM (gr/cm3)	2.11

	0.1"	0.2"
CBR al 100% de la DSM	56.63%	66.06%
CBR al 95% de la DSM	32.92%	38.24%

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 66: CBR de un suelo con adición de 2.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA PARA SUB BASE, EN PAVIMENTOS CON ADITIVOS DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO LÍQUIDO - CANTERA DE SENCCA - POROY - CUSCO - PERÚ.

ENSAYO:	RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
TESISTAS:	Straisy Mirla Huallpacuna Yberico José Luis Quispe Condo
REFERENCIA NORMATIVA:	MTC E 132 / ASTM D 1883 / AASHTO T-193
MUESTRA:	Suelo Con Adición de 2.0% de ROCAMIX
FECHA:	
LUGAR:	PRO&CON S.C.R.L.

DATOS PRELIMINARES		
DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO	DATOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN	DATOS DEL MOLDE
Densidad Seca Máxima = 2.25 cm ³ Contenido Humedad Óptimo = 3.10%	Peso del Martillo = 4.54 Kg Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm Número de Capas = 5	Diámetro del Molde = 15.24 cm Altura del Molde = 17.78 cm Altura del Disco Espaciador = 6.14 cm Altura de la Muestra = 11.64 cm Área = 182.41 cm ² Volumen = 2123.92 cm ³
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN		
Constante del Anillo de Carga = Área del Pistón = 20.27 cm ²		

ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Muestra	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Número de Golpes por Capa	55		26		12	
Condición de la Muestra	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada
Peso de Capsula (gr)	18.07	15.91	18.69	15.04	19.18	11.85
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	123.57	94.77	101.06	104.08	96.05	95.86
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	120.50	90.87	98.40	97.28	93.67	88.64
Peso del Agua (gr)	3.07	3.90	2.66	6.80	2.38	7.22
Peso de la Muestra Seca (gr)	102.43	74.96	79.71	82.24	74.49	76.79
Contenido de Humedad	3.00%	5.20%	3.34%	8.27%	3.20%	9.40%
Porcentaje de Absorción	-	2.21%	-	4.93%	-	6.21%
Peso del Molde (gr)	7346		7356		6880	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	12269	12385	12015	12155	11305	11585
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	4923	5039	4659	4799	4425	4705
Peso de la Muestra Seca (gr)	4779.74		4508.55		4288.00	
Peso del Agua Absorbida (gr)	-	116	-	140	-	280
Porcentaje de Absorción	-	2.43%	-	3.11%	-	6.53%
Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.32	2.37	2.19	2.25	2.08	2.21
Densidad Seca (gr/cm³)	2.25	2.24	2.12	2.11	2.02	2.01

ENSAYO DE EXPANSIÓN													
Muestra		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
Tiempo Transcurrido	Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de	
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.
0	0 hor 00 min	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	3	0.003	0.076	0.07%	8.5	0.0085	0.216	0.19%	7.5	0.0075	0.191	0.16%
0.125	3 hor 00 min	4.5	0.0045	0.114	0.10%	13	0.013	0.330	0.28%	11.5	0.0115	0.292	0.25%
0.25	6 hor 00 min	5	0.005	0.127	0.11%	17	0.017	0.432	0.37%	15	0.015	0.381	0.33%
0.5	12 hor 00 min	6	0.006	0.152	0.13%	21	0.021	0.533	0.46%	17.5	0.0175	0.445	0.38%
1	24 hor 00 min	12	0.012	0.305	0.26%	22	0.022	0.559	0.48%	18.5	0.0185	0.470	0.40%
2	48 hor 00 min	12	0.012	0.305	0.26%	23	0.023	0.584	0.50%	19	0.019	0.483	0.41%
4	96 hor 00 min	13	0.013	0.330	0.28%	24	0.024	0.610	0.52%	19.5	0.0195	0.495	0.43%

ENSAYO DE PENETRACIÓN														
Muestra			MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
Carga Unitaria	Dial	Penetración	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR
Patrón (kg/cm ²)	*0.001"	mm		kg	kg/cm ²	%		kg	kg/cm ²	%		kg	kg/cm ²	%
0	0.000	0	0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00	
25	0.635	25	98.01	4.84			23	91.16	4.50		14	60.35	2.98	
50	1.270	74	265.44	13.10			52	190.33	9.39		29	111.70	5.51	
75	1.905	135	473.13	23.34			78	279.09	13.77		42	156.16	7.70	
70.31	2.540	202	700.30	34.55	49.14%		98	347.25	17.13	24.37%	51	186.92	9.22	13.12%
125	3.175	270	929.85	45.88			120	422.14	20.83		59	214.24	10.57	
150	3.810	340	1165.07	57.48			138	483.33	23.85		67	241.55	11.92	
105.46	5.080	420	1432.56	70.68	67.02%		173	602.10	29.71	28.17%	79	282.50	13.94	13.22%
300	7.620	645	2177.26	107.42			232	801.70	39.55		104	367.69	18.14	
400	10.160	805	2699.99	133.21			311	1067.75	52.68		125	439.14	21.67	
500	12.700	940	3136.62	154.75			336	1151.65	56.82		143	500.31	24.68	

Fuente: Elaboración propia.

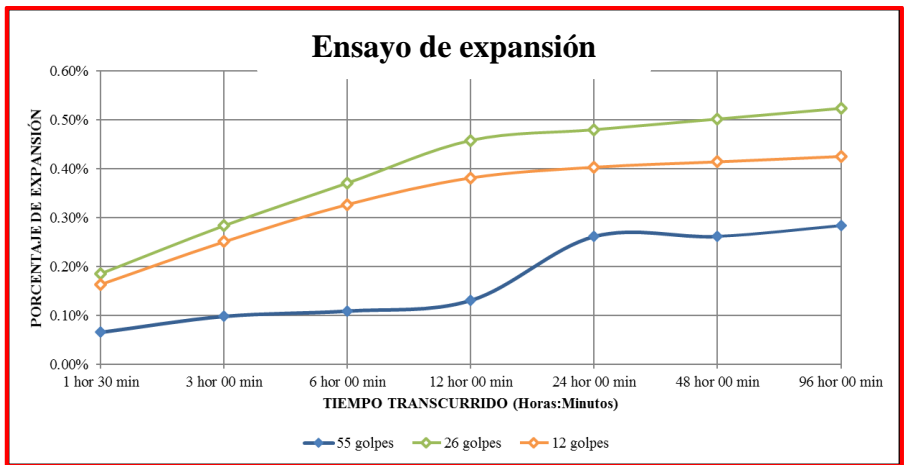


Figura 81: Gráfica de la expansión del suelo con adición de 2.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.

Fuente: Elaboración propia.

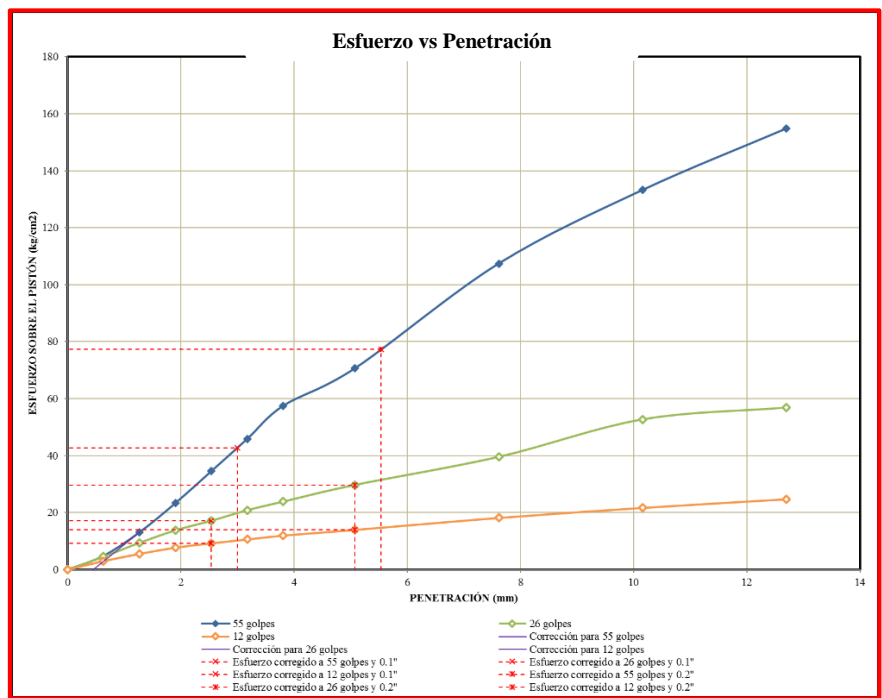


Figura 82: Gráfica de penetración - esfuerzo del suelo con adición de 2.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 67: Tabla de correcciones del CBR del suelo con adición de 1.5% de sales cuaternarias de amonio líquido natural.

CORRECCIONES	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03		
	Penetr	Esfuer	CBR	Penetr	Esfuer	CBR	Penetr	Esfuer	CBR
	Correg	Correg	Correg	Correg	Correg	Correg	Correg	Correg	Correg
kg/cm2	mm	kg/cm2	%	mm	kg/cm2	%	mm	kg/cm2	%
70.31	2.998	42.73	60.77%	2.540	17.13	24.37%	2.540	9.22	13.12%
105.46	5.538	77.31	73.31%	5.080	29.71	28.17%	5.080	13.94	13.22%

Fuente: Elaboración propia.

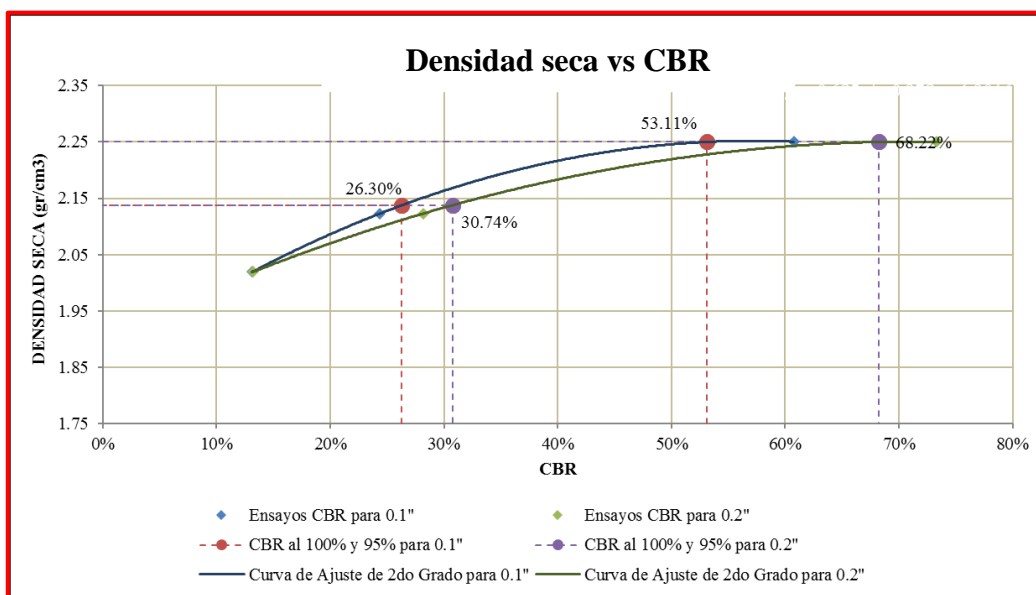


Figura 83: Gráfica de la densidad – CBR del suelo con adición de 2.0% de sales cuaternarias de amonio líquido.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 68: Tabla de densidad – CBR del suelo con adición de 1.5% de sales cuaternarias de amonio líquido.

Número de Golpes	CBR		Densidad Seca
	0.1''	0.2''	
55	60.77%	73.31%	2.25 gr/cm3
26	24.37%	28.17%	2.12 gr/cm3
12	13.12%	13.22%	2.02 gr/cm3

Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	2.25
95% de la DSM (gr/cm3)	2.14

	0.1''	0.2''
CBR al 100% de la DSM	53.11%	68.22%
CBR al 95% de la DSM	26.30%	30.74%

Fuente: Elaboración propia.



3.6.6.3. Análisis de la prueba de California Bearing Ratio (CBR).

- Del ensayo de CBR, se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 69: CBR al 100% y 95%

Suelo	CBR al 100 % de la máxima densidad seca (%)	CBR al 95 % de la máxima densidad seca (%)	% de Incremento (%)
Suelo natural sin adición	35.64	21.51	100.00
Suelo con aditivo de 0.5 % de rocamix	37.29	25.64	104.63
Suelo con aditivo de 1.0 % de rocamix	56.95	34.38	159.79
Suelo con aditivo de 1.5 % de rocamix	56.63	32.92	158.89
Suelo con aditivo de 2.0 % de rocamix	53.11	26.30	149.02

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que el suelo posee un CBR de 21.51% en estado natural, la cual va aumentando con la adición del aditivo de sales cuaternarias de amonio líquido en concentraciones de 0.5 %, 1.0 %, 1.5 %, y 2.0 %, con respecto al suelo en estado natural, considerando que el suelo óptimo donde se alcanza el mayor valor de CBR es para una concentración de 1.0 %.



Capítulo IV: Resultados.

4.1. Características del material de la cantera Sencca.

Tabla 70: Características del suelo natural.

Características físico – mecánicas	
Límite líquido	20.72 %
Límite plástico	12.24 %
Índice de plasticidad	8.48 %
Humedad natural	4.68 %
Clasificación AASHTO	A – 2 – 4 (0)
Clasificación SUCS	SP – SC
Máxima densidad seca	2.19 %
Contenido de humedad óptimo	5.10 %
CBR al 100 % M.D.S.	35.64 %
CBR al 95 % M.D.S.	21.51 %

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Ensayo de análisis granulométrico por tamizado.

Luego de realizar el procedimiento y cálculos pertinentes, observamos que la curva granulométrica obtenida del material de la cantera de Sencca para sub base, no está contenida dentro de la franja granulométrica dada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, por lo cual no cumple con esta especificación técnica.

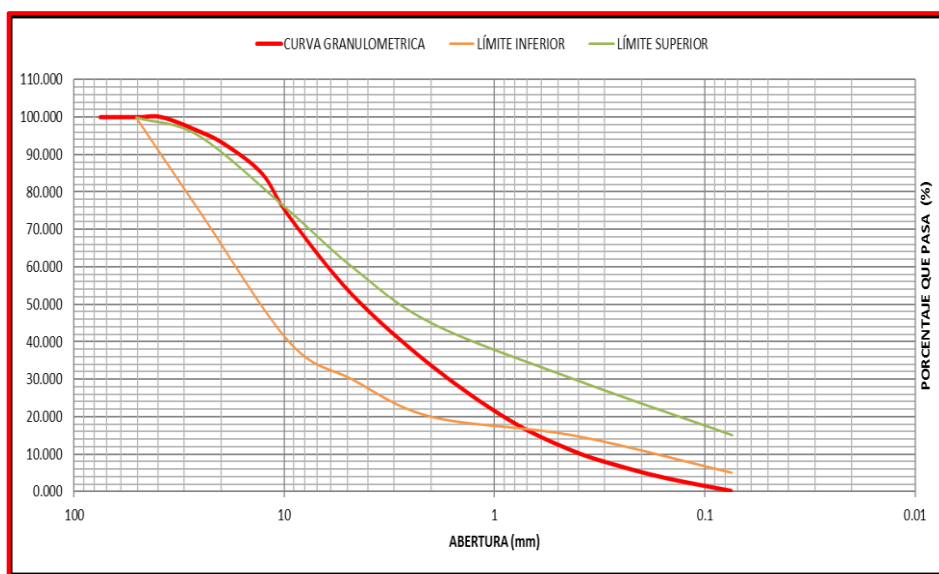


Figura 84: Curva granulométrica del material de la cantera de Sencca.

Fuente: Elaboración propia.



4.3. Ensayo de límites líquido y límite plástico.

Tabla 71: Resultados de los límites de consistencia.

Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)
20.72	12.24	8.48

Fuente: Elaboración propia.

- Según el Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013) se tienen como especificaciones técnicas para sub base que el límite líquido máximo es de 25% y el índice plástico máximo es de 4 %.
- En los resultados obtenidos, se observa que límite líquido 20.72% cumple con los requerimientos establecidos, el índice de plasticidad 8.48% sobrepasa el valor establecido por la norma, por lo tanto, el material no sería aceptable como sub base de acuerdo a las especificaciones indicadas en el Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013).

4.4. Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor Modificado)

Tabla 72: Máxima densidad seca y humedad óptima.

Suelo	Humedad óptima (%)	Máxima densidad seca (gr/cm ³)
Suelo natural sin adición	5.10	2.19
Suelo con aditivo 0.5 % de rocamix	4.60	2.20
Suelo con aditivo 1.0 % de rocamix	4.11	2.21
Suelo con aditivo 1.5 % de rocamix	3.64	2.22
Suelo con aditivo 2.0 % de rocamix	3.06	2.25

Fuente: Elaboración propia.

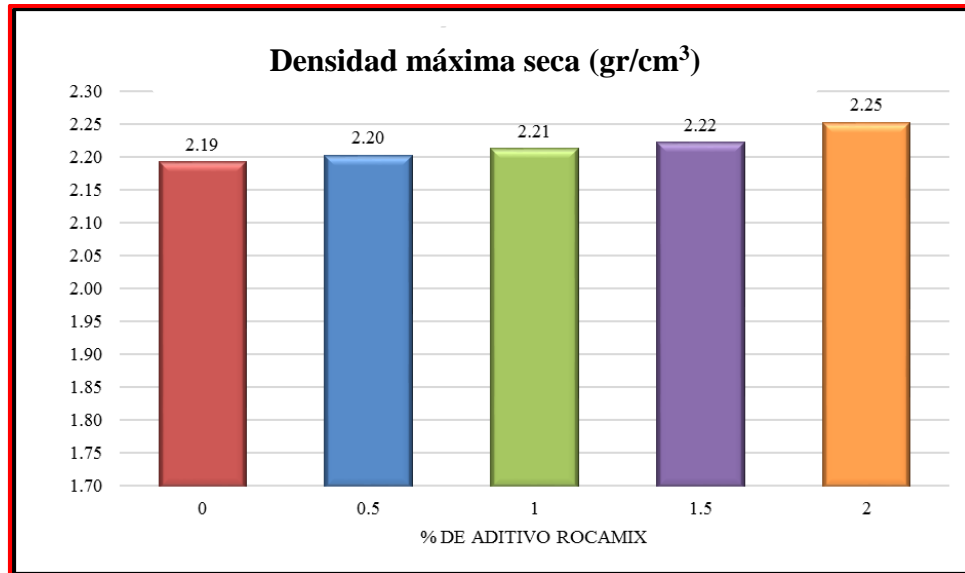


Figura 85: Densidad máxima seca del suelo.

Fuente: Elaboración propia

- En el gráfico se observa que, al ir aumentando el porcentaje de aditivo de sales cuaternarias de amonio líquido, la densidad máxima seca va aumentando.

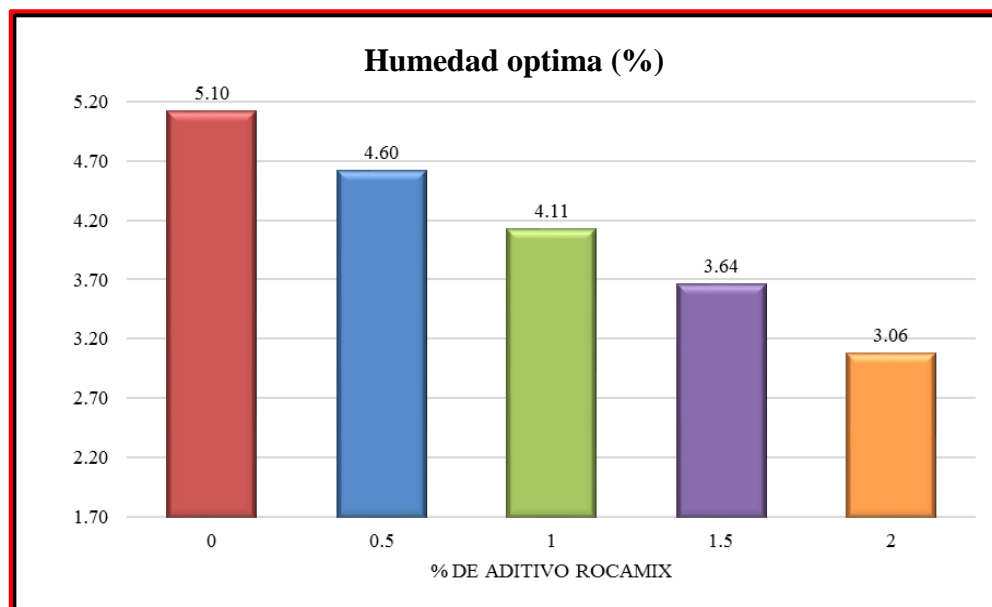


Figura 86: Contenido de humedad óptimo del suelo.

Fuente: Elaboración propia.



- Se observa en el gráfico que la humedad óptima es inversamente proporcional al aumento del porcentaje de aditivo de sales cuaternarias de amonio líquido.

4.5. Comparación de los valores de CBR de suelo natural y suelos con adición de sales cuaternarias de amonio líquido.

Tabla 73: Máxima densidad seca y CBR

SUELO	Máxima densidad seca (gr/cm ³)	CBR al 100 % de la M.D.S	Máxima densidad seca (gr/cm ³)	CBR al 95 % de la M.D.S
Suelo natural sin adición	2.19	35.64	2.08	21.51
Suelo con aditivo 0.5 % de rocamix	2.20	37.29	2.09	25.64
Suelo con aditivo 1.0 % de rocamix	2.21	56.95	2.10	34.38
Suelo con aditivo 1.5 % de rocamix	2.22	56.63	2.11	32.92
Suelo con aditivo 2.0 % de rocamix	2.25	53.11	2.14	26.30

Fuente: Elaboración Propia

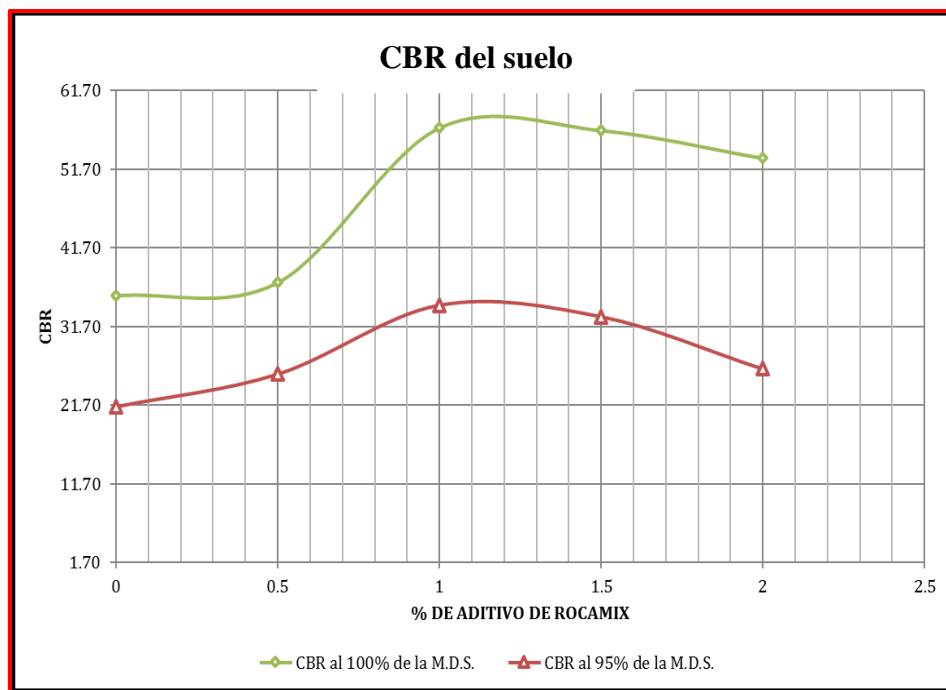


Figura 87: Comparación del CBR del suelo.

Fuente: Elaboración propia.



- Podemos observar que el CBR del suelo va aumentando a medida que el porcentaje de Aditivo de sales cuaternarias de amonio líquido incrementa, pero disminuye a partir de la adición del 1.5% de Aditivo de sales cuaternarias de amonio líquido. El incremento o decrecimiento no varía mucho entre dato y dato.

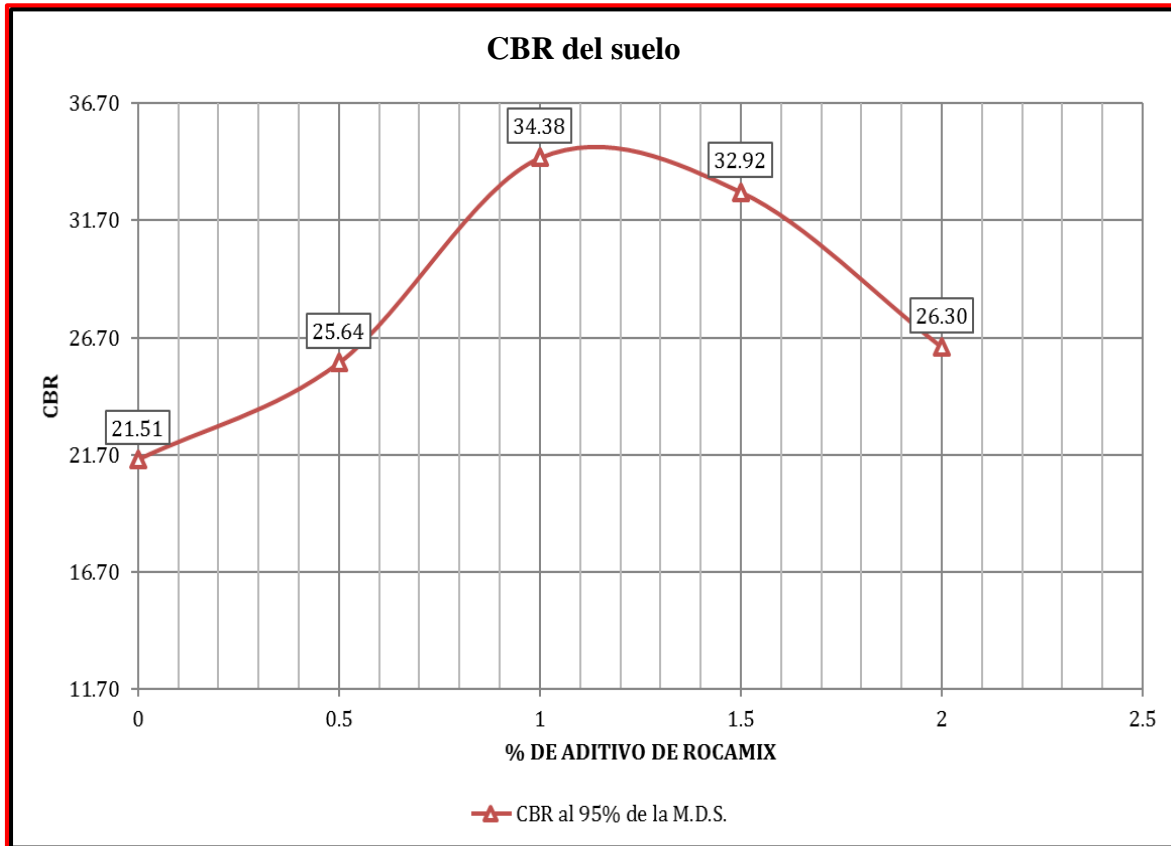


Figura 88: CBR máximo del suelo.

Fuente: Elaboración propia.

- El mayor CBR del suelo es 34.38, el cual se obtiene al adicionar un 1% de aditivo de sales cuaternarias de amonio líquido. Aún con el CBR máximo, el suelo sigue siendo una sub - base pobre.



Capítulo V: Discusión.

1. ¿El uso de nuevas tecnologías como la utilización de sales cuaternarias de amonio líquido, en los procesos de conformación de sub - base, incrementará la capacidad de soporte del material en estado natural, de la cantera de Sencca – Poroy – Cusco?

La presente investigación servirá como base de futuras investigaciones en el empleo de nuevas tecnologías, para mejorar la calidad de la sub – base, dentro de las estructuras de los pavimentos, debido a que se logra demostrar que al adicionar aditivo (sales cuaternarias de amonio líquido) al material de la cantera Sencca – Poroy – Cusco, mejora la capacidad de soporte (CBR) el cual alcanza un valor de 68.90 % comparado frente al material de la cantera en mención sin adicionar aditivo cuyo valor de capacidad de soporte (CBR) es de 38.40 % por lo que mediante el empleo de esta tecnología se pueden mejorar diversas canteras para que estas puedan cumplir con los requerimientos mínimos exigidos por el DG – 2013 referidos a los valores de capacidad de soporte (CBR) para la sub - base.

2. Los porcentajes de adición de las sales cuaternarias de amonio líquido (0.5%, 1%, 1.5%, 2%) en función de que parámetros fueron determinados?

Los criterios empleados en el presente tema de investigación, con respecto a los porcentajes de sales cuaternarias de amonio líquido, que fueron adicionados, están en función a la clasificación de suelos según el sistema ASSTHO y sistema SUCS, donde según sea la clasificación del suelo, este requiere una determinada concentración de sales cuaternarias de amonio líquido.

Otro de los criterios empleados para determinar los porcentajes de adición de sales cuaternarias de amonio líquido, está en función al peso del material (seco) empleado en el ensayo de proctor modificado (6.5 Kg) y en el ensayo de CBR (5.5 Kg) por molde.

3. ¿Manipular las sales cuaternarias de amonio líquido, es dañino para la salud?

El manipuleo de las sales cuaternarias de amonio líquido, como tal, no es dañino para la salud humana, debido a que la concentración de amonio líquido formados por monómeros y polímeros de amonio (tóxicos para la salud) presentes en el aditivo, estas ya se encuentran estabilizados y transformados en sales cuaternarias estables que no son dañinas para la salud, esto se puede apreciar en la textura que presenta este aditivo (líquido transparente y viscoso de olor muy débil y tolerable



por el ser humano), como resultado de la estabilización y transformación se obtiene las sales cuaternarias de amonio líquido.

4. ¿La densidad máxima seca y el contenido de humedad del material en estado natural, de la cantera Sencca – Poroy – Cusco, varían con respecto al incremento de sales cuaternarias de amonio líquido, en diferentes concentraciones?

El valor de la densidad máxima seca del material de la cantera Sencca – Poroy – Cusco, en estado natural es menor con respecto al valor de la densidad máxima seca del material de la cantera Sencca – Poroy – Cusco adicionado con sales cuaternarias de amonio líquido en concentraciones de 0.5 %, 1 %, 1.5 %, 2 % donde el mayor valor de la densidad máxima seca se obtiene al adicionar el aditivo en una concentración de 1 %, al adicionar mayores concentraciones de este aditivo, la densidad máxima seca disminuye su valor.

Con respecto al contenido de humedad en estado natural, se determinó que la humedad óptima es de 6 % donde se alcanza la máxima densidad seca, al incrementar las sales cuaternarias de amonio líquido, en concentraciones de 0.5 %, 1 %, 1.5 %, 2 % el contenido de humedad varía en función al incremento del aditivo ya que a mayores concentraciones de aditivo menor será el contenido de humedad, se debe de tener como referencia el contenido de humedad óptimo en estado natural ya que a mayores o menores incrementos del aditivo la densidad máxima seca será menor para ambos casos.

5. ¿En qué otra estructura del pavimento se podría utilizar las sales cuaternarias de amonio líquido?

El aditivo de sales cuaternarias de amonio líquido, como estabilizador tiene una infinidad de aplicaciones, no solo es para sub – base, sino que puede ser utilizada también en las estructuras de base, sub – rasante, rasante, en la ejecución de proyectos de pavimentos como son las autopistas, carreteras, caminos secundarios, pistas de aeropuertos, creación de nuevas vías, rehabilitación de vías existentes, etc. Asimismo, el sistema de sales cuaternarias de amonio líquido, es aplicado también en la ejecución de obras geotécnicas como son la estabilización de taludes, terraplenes, de la misma forma se emplea en la ejecución de obras hidráulicas como son los acueductos, sistemas de alcantarillado, etc.



Asimismo, este aditivo también se puede aplicar como impermeabilizante, en la ejecución de presas, lagos, canales, acueductos, embalses, estanques de agua, etc.

6. ¿Con qué tipo de suelo actúa de mejor manera las sales cuaternarias de amonio líquido?

Si bien es cierto que las sales cuaternarias de amonio líquido, es un buen estabilizador según los resultados obtenidos en la presente investigación, debido a que el aditivo actúa como aglomerante entre las partículas del material, por lo que como estabilizador trabajará de mejor manera en suelos arenosos (SP, SW, SM, SC). Asimismo, este aditivo tiene un buen comportamiento como impermeabilizante en suelos arcillosos como (CL, CH, ML).



Glosario.

Aglomerante: Material capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto, por efectos de tipo exclusivamente físico.

Cantera: Deposito natural de material apropiado para ser utilizado en la construcción, rehabilitación, mejoramiento y/o mantenimiento de las carreteras.

Capacidad: Propiedad de poder contener cierta cantidad de alguna cosa hasta un límite determinado.

Compactación: Proceso por el cual un esfuerzo aplicado a un suelo causa densificación a medida que el aire se desplaza de los poros entre los granos del suelo, en la cual se experimenta una pérdida de volumen de la masa del suelo.

Cuarteo: Es el procedimiento por el cual se reduce el tamaño de una muestra.

Curva: Línea cuyos puntos sucesivos cambian continuamente de dirección sin formar ángulo.

Deformímetro: Aparato que mide la deformación en milímetros de un suelo cohesivo.

Densidad: Relación entre la masa y el volumen de una sustancia, o entre la masa de una sustancia y la masa de un volumen igual de otra sustancia tomada como patrón.

Estabilización: Proceso físico y/o químico por el que se mejoran las propiedades físico- mecánicas del suelo natural en corte o de los materiales de préstamo en relleno, con el objeto de hacerlos estables.

Gradación: Disposición u orden de una cosa en grados sucesivos ya sea de forma ascendente o de forma descendente.

Granulometría: Es el estudio de la distribución estadística de los tamaños de una colección de elementos de un material sólido fraccionado o de un líquido multifacético.

Humedad: Cantidad de agua o vapor de agua o cualquier otro líquido que está presente en la superficie o en el interior de un cuerpo o en el aire.

Límite: Línea real o imaginaria que marca el fin de una superficie o cuerpo o la separa entre dos entidades.

Mejoramiento: Ejecución de las actividades constructivas para dotar de mejores condiciones físicas y operativas de una carretera.

Modificado: Cambiar la estructura de una cosa en sus características no esenciales produciendo variedades en su línea.



Muestra: Parte o cantidad pequeña de una cosa que se considera representativa del total y que se toma o se separa de ella con ciertos métodos para someterlo a estudios análisis y otros experimentos.

Muestreo: es la actividad de campo, que consiste en la obtención de una o varias porciones de los materiales, con los cuales se pretende construir una estructura (pavimento), procediendo de tal manera que las características de las porciones obtenidas, permitan hacer una evaluación lo más real posible, del conjunto que representan.

Pavimentos: Es la capa o base que constituye el suelo de una construcción o de una superficie no natural, el pavimento funciona como sustento de los seres vivos y las cosas.

Procesos: Conjunto de pasos para realizar un trabajo.

Sales cuaternarias: Sustancias inorgánicas formadas como su nombre lo indica por cuatro elementos diferentes por lo general son derivadas de sales oxigenadas parcialmente oxigenadas.

Sistema: Conjunto ordenado de normas y procedimientos que regulan el funcionamiento de un grupo o colectividad.

Sistema Rocamix®: Sistema de estabilización e impermeabilización de suelos de alta tecnología que se diferencia de los métodos tradicionales porque torna la compactación del suelo en estado totalmente irreversible.

Sub – base: Es la capa granular localizada entre la sub rasante y la base en pavimentos flexibles o rígidos y ocasionalmente sobre todo en pavimentos rígidos se puede prescindir de ella.

Tecnología: Es el conjunto de conocimientos técnicos, ordenados científicamente, que permiten diseñar y crear bienes y servicios que facilitan la adaptación al medio ambiente y satisfacer tanto las necesidades esenciales como los deseos de las personas.

Volumen: Es una magnitud escalar definida como el espacio ocupado por un objeto.



Glosario siglas.

AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
ASTM	: American Society for Testing and Materials
CBR	: California Bearing Ratio
INACAL	: Instituto Nacional de Calidad
IP	: Índice de Plasticidad
LL	: Límite Líquido
LP	: Límite Plástico
MDS	: Máxima Densidad Seca
MEF	: Ministerio de Economía y Finanzas
MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones
N/A	: No aplica
NTP	: Norma Técnica Peruana
SAC	: Sociedad Anónima Cerrada.
SUCS	: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
UNITEST	: Universal Testing



Conclusiones.

Conclusión N° 01.

Se logró demostrar la **hipótesis general** la cual indica que, **“La adición de sales cuaternarias de amonio líquido en concentraciones de 0.5 %, 1.0 %, 1.5 % y 2.0 % incrementa las características geomecánicas, tales como Capacidad de Soporte y Densidad Máxima Seca, del material de la cantera Sencca – Poroy – Cusco”**.

La adición del aditivo (Sales cuaternarias de amonio líquido) al material de la cantera Sencca – Poroy – Cusco, en concentraciones de 0.5 %, 1.0 %, 1.5 % y 2.0 % incrementa considerablemente la Capacidad de Soporte (% CBR) a 37.29 %, 56.95 %, 56.63 % y 53.11 % para cada una de las respectivas concentraciones, así mismo la Densidad Máxima Seca se incrementa a 2.20 gr/cm³, 2.21 gr/cm³, 2.22 gr/cm³ y 2.25 gr/cm³, para cada uno de las concentraciones de sales cuaternarias de amonio líquido, tal como se indica en la tabla N° 73 (Máxima Densidad Seca y CBR) del Capítulo IV: Resultados. Por lo que el mejor valor de CBR es de 56.95 % para la concentración de 1.0 % de adición de sales cuaternarias de amonio líquido.

Conclusión N° 02.

Se logró demostrar la **sub hipótesis N° 01** la cual indica que, **“Las propiedades geomecánicas del material de la cantera de Sencca – Poroy a utilizar no cumplen con las especificaciones técnicas de la norma CE.010 para ser utilizado como sub – base de las estructuras de los pavimentos”**. Debido a que los requerimientos granulométricos para sub – base establecidos en la norma CE.010 que tiene como referencia la Sección 303 de la DG – 2013 del MTC, refiere que el material empleado debe de tener una gradación A (Zonas con altitudes mayores a 3000 msnm.) por lo que la granulometría no cumple con lo establecido en la norma utilizada. Asimismo, la curva granulométrica no se encuentra dentro de los límites establecidos en la curva granulométrica dada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, de la misma forma valores obtenidos en los ensayos de límites de consistencia son superiores a los establecidos por la norma CE.010 que tiene como referencia la Sección 303 de la DG – 2013 del MTC, la cual se puede evidenciar en la tabla N° 68 (características del suelo natural) y en el grafico N° 81 (curva granulométrica del material de la cantera Sencca) del Capítulo IV: Resultados.



Conclusión N° 03.

Se logró demostrar la **sub hipótesis N° 02** la cual indica que, **“La Capacidad de Soporte (CBR, Densidad Máxima Seca) del material de la cantera de Sencca – Poroy – Cusco, para sub – base adicionando sales cuaternarias de amonio líquido, en concentraciones de 0.5 %, 1.0 %, 1.5 %, 2.0 % es superior frente a un material sin adición”.**

Se observa que el material de la cantera Sencca – Poroy – Cusco, en estado natural alcanza un CBR de 35.64 % y una Densidad Máxima Seca de 2.19 gr/cm³, en cambio al adicionar las sales cuaternarias de amonio líquido en concentraciones de 0.5 %, 1.0 %, 1.5 % y 2.0 % sus valores de la Capacidad de Soporte CBR se incrementa a 37.29 %, 56.95 %, 56.63 % y 53.11 % respectivamente, para cada una de estas concentraciones. Asimismo, los valores de la Densidad Máxima Seca incrementan, de manera progresiva para cada uno de estas concentraciones de sales cuaternarias de amonio líquido, alcanzando valores de 2.20 gr/cm³, 2.21 gr/cm³, 2.22 gr/cm³ y 2.25 gr/cm³ respectivamente.

Por lo que el mejor valor de CBR obtenido es de 56.95 % para una concentración de 1.0 % de sales cuaternarias de amonio líquido y el mejor valor obtenido de la Máxima Densidad Seca es de 2.25 gr/cm³ para una concentración de 2.0 % de sales cuaternarias de amonio líquido, dichos valores se evidencian en tabla N° 73 del Capítulo IV: Resultados (Máxima Densidad Seca y CBR).

Conclusión N° 04.

Se logró demostrar la **sub hipótesis N° 03** la cual indica que, **“La concentración óptima en porcentajes, de las sales cuaternarias de amonio líquido, que se debe de adicionar al material de la cantera de Sencca – Poroy – Cusco, empleado para la conformación de sub – base, dentro de las estructuras de pavimentos es de 1.0 %”**

Por la incertidumbre que existe de saber la concentración óptima en la cual la adición del aditivo alcance los mayores valores de Capacidad de Soporte y Densidad Máxima Seca. Se observa que la concentración óptima de sales cuaternarias de amonio líquido, que debe de adicionarse, es de 1.0% para el cual se obtiene un valor máximo de Capacidad de Soporte a través del ensayo de CBR de 56.95 %, con su respectiva humedad óptima. Asimismo, al adicionar sales cuaternarias de amonio líquido, en una concentración de 2.0%, la Densidad Máxima Seca, alcanza su máximo valor que es 2.25 g/cm³, con su respectiva humedad óptima, la cual se evidencia en la tabla N° 69 (CBR al 100% y 95%) del Capítulo III, ítem 3.6 análisis de datos y cálculo de resultados.



Recomendaciones.

Recomendación N° 01.

Se recomienda, realizar un análisis de inspección visual al material para la conformación de sub – base dentro de las estructuras de pavimentos, de la cantera Sencca – Poroy – Cusco, para alcanzar los resultados más óptimos en todos los ensayos realizados en el presente tema de investigación.

Recomendación N° 02.

Se recomienda corregir la curva granulométrica para que el material de la cantera Sencca cumpla con lo establecido en la norma CE.010 la cual indica que para altitudes mayores a 3000 msnm la gradación debe de ser de categoría A dicha corrección debe de realizarse mediante un tamizado en cantera utilizado zarandas de 2”, 1 ½”, 1”, ¾”, ½” para materiales gruesos y para materiales finos tamices N° 20, N°40, N°60, N° 100.

Recomendación N° 03.

Se recomienda, que al adicionar el aditivo (Sales cuaternarias de amonio liquido), en los ensayos de compactación al material seco de la cantera Sencca – Poroy – Cusco, utilizado para la conformación de sub – base, dentro de las estructuras de pavimentos, no incremente la humedad optima, para que de esta forma se logra alcanzar los mayores valores de CBR y densidad máxima seca.

Recomendación N° 04.

Se recomienda realizar futuras o similares temas de investigación, con el fin de obtener estudios complementarios y resultados aún más óptimos en la utilización de sales cuaternarias de amonio líquido, en los procesos de conformación de sub – base dentro de las estructuras de los pavimentos.

Recomendación N° 05.

Se recomienda, que las mediciones de los pesos del material de la cantera Sencca – Poroy – Cusco, utilizados en los ensayos de CBR y proctor modificado, estas sean los más precisos y exactos posibles, ya que la cantidad de aditivo (sales cuaternarias de amonio líquido) empleada en la



presente investigación está en función de los pesos del material utilizado por cada uno de los ensayos (CBR, proctor modificado)

Recomendación N° 06.

Se recomienda, mantener la homogeneidad durante la mezcla del material de la cantera Sencca – Poroy – Cusco, con el aditivo (Sales cuaternarias de amonio líquido) para que exista una buena distribución entre aditivo y material.

Recomendación N° 07.

Se recomienda realizar un análisis de inspección visual de propiedades físicas de las sales cuaternarias de amonio líquido, para observar que el aditivo tenga una buena disolución y de esta forma obtener los resultados esperados.

Recomendación N° 08.

Se recomienda, realizar un estudio técnico, económico y social, con el fin de comparar la producción de sub – base adicionando sales cuaternarias de amonio líquido, frente a la producción de otros métodos de mejoramiento de suelos de forma tradicional para sub – base.

Recomendación N° 09.

Se recomienda, tener especial cuidado durante el desarrollo de los ensayos de laboratorio, durante la fase de procedimiento, establecido en la norma debido a que cualquier pequeña modificación podría inducirnos a errores involuntarios y de esta forma no obtener valores reales.

Recomendación N° 10.

Se recomienda, realizar ensayos adicionales según lo especificado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones 2018 ensayos tales como abrasión de los Ángeles MTC E207, equivalente de arena MTC E114, así como el ensayo de sales solubles MTC E219.



Recomendación N° 11.

Se recomienda que la dosificación de riego de Rocamix, depende de la clasificación del suelo según lo establecido en la clasificación AASHTO, para el material de la cantera Sencca lo recomendado es de 0.5 Lt/m^3 .



Bibliografía.

Alva Hurtado, U. P. (2000).

Bowles, J. E. (1981). *Manual de Laboratorio de suelos en Ingeniería Civil*. Mc Graw-Hill Book Company.

Bowles, J. E. (1984). *Physical and Geotechnical Properties of Soils*. McGraw-Hill Book Company.

Braja M Das. (2013). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México: OVA, Cuarta Edición.

Choque Godoy. (2006).

Comunicaciones, M. d. (2011).

Comunicaciones, M. d. (Mayo 2016). *Manual de Ensayos de Materiales*. Lima.

Concreto, I. M. (2005). *Diseños y Técnicas de Construcción de Pavimentos de Concreto*. México.

Coronado Iturbide, J. (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*. Guatemala.

Coronado, I. (2002).

Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. Limusa - México.

Cubana, E. E. (2009).

Das Braja, M. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. Thomson Learning.

Dia Rado R FAbre E & Miño. (2000).

Duque Escobar, G., & Escobar Potes, C. E. (2002). *Mecánica de Suelos*. Manizales.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw-Hill.

Huaman, M. G. (2006).

Instituto Mexicano del Cemento y Concreto. (2005).

Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2005). *Mecánica de Suelos / Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. México: Limusa.

Manual de Carreteras de Paraguay. (s.f.).



Minaya Gonzales, S., & Ordoñez Huaman, A. (2006). *Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos*. Lima: ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia.

Ministerio de Economía y Finanzas. (2015). *Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de carreteras* (Primera ed.). Lima.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de Carreteras*. Lima.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayos de Materiales* (Mayo del 2016 ed.). Lima.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones, M. (2013). *Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - "EG-2013"*. Lima.

Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. Bogotá: Segunda Edición.

MTC, M. d. (2013). *Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción*. Lima.

Ravines Merino, M. A. (2010). *Pruebas con un Producto Enzimático como Agente Estabilizador para Carreteras*. Universidad de Piura, Piura, Piura.

Roberto Hernandez CF, P. B. (2003). *Metodología de la Investigación*. México D.F.: McGraw - Hill Interamericana.

Shuam. (2004).

Unidad de Investigación. (2008). *Universidad de Costa Rica*.

Valle Rodas, R. (1982). *Carreteras, Calles y Aeropistas*. El Ateneo.

www.Rocamix.es. (s.f.).



ANEXOS



Fotografía 01: La imagen muestra la obtención de material de la cantera Sencca – Poroy – Cusco mediante el método de cuarteo en un aproximado de 250 Kg

Fotografía 02: La imagen muestra la obtención de material para el ensayo de contenido de humedad, cada bandeja con un peso aproximado a los 250 gr como indica la normativa de ensayo de materiales.



Fotografía 03: La imagen muestra el lavado de material para el ensayo de análisis granulométrico en el cual se empleó una muestra representativa de un aproximado de 7.5 Kg





Fotografía 04: La imagen muestra el equipo empleado para el ensayo de análisis granulométrico, donde los tamices se encuentra debidamente seleccionadas

Fotografía 05: La imagen muestra la toma de pesos del material retenido en cada uno de los tamices



Fotografía 06: La imagen muestra el resultado de la granulometría seleccionada de cada uno de los tamices



Fotografía 07: La imagen muestra la obtención de muestras del ensayo de límite líquido, las cuales debidamente codificadas, pesadas del material de la cantera Sencca – Poroy – Cusco.

Fotografía 08: La imagen muestra el colocado de las muestras del ensayo de límite líquido previamente pesadas y codificadas para su posterior lectura pasada las 24 horas del tiempo de secado.



Fotografía 09: La imagen muestra la toma de los pesos de las muestras del ensayo de límite líquido, secadas en un horno a 110 °C por un período de 24 horas como indica la normativa EG - 2013





Fotografía 10: La imagen muestra la preparación de muestra para ensayo de compactación, en estado natural, así como en las diferentes concentraciones de aditivo adicionado al material en estado natural.

Fotografía 11: La imagen muestra el proceso de compactación utilizando el método C, en 5 capas cada una de 56 golpes, la muestra utilizada es de 6.5 Kg por cada molde de compactación.



Fotografía 12: La imagen muestra la lectura de muestra compactada en estado natural, así como en las diferentes concentraciones de aditivo adicionado al material





Fotografía 13: La imagen muestra la selección el pesado del material para ensayo de CBR según normativa se requiere por ensayo una muestra de 5.50 Kg

Fotografía 14: La imagen muestra la lectura de deformación de los especímenes, en estado natural y para las diferentes concentraciones de aditivo adicionados.



Fotografía 15: La imagen muestra la lectura del deformímetro de los especímenes de ensayos en estado natural y en las diferentes concentraciones de adición del aditivo.



Apéndice.



ROCAMIX

estabilización e impermeabilización
para todos tipos de suelos en el Mundo

MANUAL DE APLICACIÓN DEL SISTEMA ROCAMIX®

Version3

Datos de seguridad del producto.

Rocamix - Octadecyl Trimethyl Ammonium Chloride 50% (OTAC 50%)



1. Identificación y preparación por el fabricante.

Nombre del producto:

Rocamix - Octadecyl Trimethyl Ammonium Chloride (OTAC)

Aplicación:

Uso para aditivo del suelo para su estabilización e impermeabilización

Fabricante:

LVYU CHEMICAL CO., LTD, JINGJIANG CITY, JIANGSU PROVINCE, CHINA.

Calificaciones del fabricante: ISO 4000 n° 112E20260R0M-2 - ISO 8000 n°112Q20259R0M-

2 Fabricado para Rocamix company, titular de la patente Rocamix - INPI-Soleau No 482 714-

260 613 Contacto con Rocamix company: +33 676 42 71 39 E-mail contacto:

know@rocamix.com

2. Composición.

Información sobre ingredientes.

El producto contiene una solución acuosa de compuestos de amonio cuaternario. Composición de monómeros y polímeros de origen orgánico, una mezcla poli molecular sustancias activas interfaciales disolventes, emulador y catálisis CAS 112-03-08 con un contenido determinado de acetato de celulosa CAS 9004-35-7 e hidratos de carbono complejo compuesto de largas cadenas de unidades de glucosa, unidas por enlaces químicos de glucósido y componentes exclusivos ROCAMIX.

3. Identificación de riesgo información general de emergencia.

Apariencia:

Líquido blanco ligeramente viscoso.

Olor:

Olor débil órganos: Sistema respiratorio, ojos,

Piel.

Efectos potenciales para la salud ojos: Causa severas irritación en los ojos. Podría causar lesiones en la córnea. LVYU CHEMICAL CO., LTD Jiangping Road, Jingjiang City 214501, Jiangsu Province, CHINA. Puede causar sensibilidad en la piel, reacción alérgica, la cual se hace evidente a la exposición de este material. Podía ser absorbido a través de la piel. Puede causar severas irritación y posibles quemaduras.

Ingestión:



Nocivo si se ingiere, Puede causar irritación grave del tracto gastrointestinal con náuseas, vómito y posibles quemaduras.

Inhalación:

Causes irritación del tracto respiratorio. Puede causar irritación del tracto respiratorio con ardor en la nariz y en la garganta, tos, dificultad para respirar, y edema pulmonar. Pueda causar quemaduras en el tracto respiratorio. La inhalación puede ser mortal como consecuencia de un espasmo, inflamación, edema de la laringe y bronquios, neumonitis química y edema pulmonar.

Crónica:

No existente. Rutas de penetración: Es absorbido por la piel. Contacto con los ojos. Mantener alejado del calor, chispas y llamas. Evite el contacto con los ojos, piel o en prendas de vestir. No ingerir, evitar respirar el vapor. Mantenga el recipiente cerrado. Use sólo con ventilación adecuada. Lavarse a fondo después de manipular. Evite el contacto del material derramado y suelo y cause de arroyos. (www.Rocamix.es, s.f.)

4. Medidas de primer auxilio.

Ojos:

Revise y remueva cualquier tipo de lente de contacto, si fuera el caso, lave los ojos inmediatamente con abundante agua durante al menos 15 minutos, levantando ocasionalmente los párpados, superior e inferior. Pedir ayuda médica de inmediato.

Piel:

Lave la piel inmediatamente con abundante jabón y agua por al menos 15 minutos mientras se quita la ropa y los zapatos contaminados.

Ingestión:

No induzca el vómito a menos que los indique expresamente el personal médico. No dar nada por vía oral si la persona esta inconsciente. Si se ingirió grandes cantidades de este material llamar de inmediato al médico. Afloje la ropa ajustada como: cuellos, corbatas cinturones o fajas. Inhalación: Obtener asistencia médica de inmediato, inmediatamente retirarse de la exposición del producto a un área al aire libre. Sino respira, dar respiración artificial. Si la respiración es difícil aplicar oxígeno. Condiciones Médicas: LVYU CHEMICAL CO., LTD Add: 446 Jiangping Road, Jingjiang City 214501, Jiangsu Province, CHINA 4 El contacto repetido y prolongado con el vapor del producto puede causar irritación crónica y severa en ojos y piel, así como irritación en el tracto respiratorio que puede causar ataques frecuentes de infección bronquial. Notas para el Medico: Tratamiento sintomático y de apoyo.



5. Medidas en caso de incendio.

Inflamabilidad del producto:

Inflamable. Límites de inflamabilidad: Rangos altamente conocidos: BAJO 2%, ALTO 12.7%
Productos de Combustión: Estos productos son: óxido de carbono (CO; CO₂), óxido de nitrógeno (NO; NO₂), compuestos halogenados, cloruro de hidrógeno. Información General: Como en cualquier incendio, use un aparato de respiración autónomo de presión, MSHA / NIOSH (aprobado o equivalente), y equipo completo de protección. Medidas de extinción de fuegos e instrucciones: Fuego pequeño: Uso de polvo químico seco. Fuego grande: Use espuma de alcohol, agua pulverizada o niebla. Enfriar los contenedores con chorros de agua a fin de evitar la acumulación de presión, auto inflamación o explosión. Ropa protectora para fuego: Asegúrese de usar un respirador certificado/aprobado o equivalente. Observaciones especiales sobre peligros de incendio: No usar herramientas que produzcan chispas. Tomar medidas contra descargas estáticas.

6. Medidas en caso de fuga accidental.

Fugas y derrames pequeños: Diluir con agua y limpiar, o absorber con un material seco inerte y colocar en un contenedor de recuperación adecuado. Si es necesario: use el quipo protector adecuado. Fugas y derrames grandes: Mantenga alejados toda fuente de calor y de ignición. Detener la fuga si no hay riesgo. Si el producto está en forma sólida: use una pala para poner el material en un contenedor de recuperación apropiado. Si el producto está en su forma líquida: Absorber con tierra, arena u otro material no combustible. No introducir agua en los contenedores. Absorber con un material inerte y poner el producto esparcido en un recipiente apropiado para desechos. No LUYU CHEMICAL CO., LTD Jiangping Road, Jingjiang City 214501, Jiangsu Province, CHINA. Toque el material derramado. Utilizar un surtidor de agua para alejar el vapor. Impedir la entrada en alcantarillas, sótanos o áreas cerradas; dique si es necesario. Pedir ayuda para la eliminación. Use el equipo protector adecuado.

7. Manipulación y almacenamiento.

Manipulación: Mantener alejado del calor, chispas y llamas. Mantenga el recipiente cerrado. Use sólo con ventilación adecuada. Para evitar fuego o explosión, disipar electricidad estática durante la transferencia poniendo a tierra y uniendo los envases y el equipo antes de transferir el material. Use equipo eléctrico a prueba de explosión (de ventilación, iluminación y manipulación de materiales).



Almacenamiento: Conservar en un lugar fresco y bien ventilado, apartado y seco. Guardar en un recipiente bien cerrado. Evite todas las fuentes de ignición. Temperatura de +0°C hasta +40°C

Vida útil del producto: El producto guardado en las condiciones de almacenamiento descritas tiene una vida útil de 2,5 años. Después de este período Rocamix no garantiza su efecto. (www.Rocamix.es, s.f.).

8. Control de exposición, protección personal.

Controles de Ingeniería:

Proporcione ventilación de extracción u otros controles de ingeniería para ventilación para mantener las concentraciones de vapores por debajo del límite de exposición laboral. Asegúrese de que las estaciones de lavado de ojos y duchas de seguridad se encuentren cerca del puesto de trabajo Equipo de protección personal:

Ojos:

Pantalla facial Cuerpo:

Traje completo Piel: Guante especiales para prevenir la exposición de la piel.

Ropa: Use ropa de protección adecuada para minimizar el contacto del material con la piel.

Respirador: Asegúrese de usar respiradores certificados, aprobados o equivalentes cuando la ventilación es inadecuada.

Pies:

Botas Protección personal en caso de un derrame importante: Gafas de seguridad. Traje completo, reparador de vapores, botas, guantes, un aparato de respiración autónomo debería ser usada para evitar la inhalación del producto. Las ropas de protección sugeridas no podrían ser suficientes, consulte a un especialista ANTES de tocar este producto. LVIYU CHEMICAL CO., LTD Jiangping Road, Jingjiang City 214501, Jiangsu Province, CHINA.

9. Propiedades físicas y químicas.

Estado físico: Líquido blanco ligeramente viscoso

Color: Amarillo o blanco claro

Olor: Muy débil PH: NA.

Presión de Vapor: NA.

Densidad de Vapor: NA.

Grado de Evaporización: NA.

Viscosidad: NA.

Punto de ebullición: NA.



Temperatura de auto-combustión: NA.

Punto de inflamación: NA.

Límites de Explosión.

Bajo: NA.

Alto: NA.

Solubilidad: Soluble en agua Punto de Fundición /congelación: 25° (77°F)

Umbral de olor: El rango más bajo conocido es 37 a 600 ppm

Peso/Densidad Específico: 0.878g/cm³ (25°C)

Solubilidad: Fácil solubilidad en agua caliente, metanol, acetona. Soluble en agua fría.

10. Estabilidad y reactividad.

Estabilidad Química:

Estable bajo temperatura y presión normal. Condiciones que deben evitarse: Materiales incompatibles, humedad, aire y agua. Incompatibilidad con otros materiales: Fuertes agentes oxidantes. Productos de Descomposición Peligrosa: Cloruro de Hidrógeno, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono. Polimerización Peligrosa: No ocurrida.

11. Información toxicológica.

Toxicidad en animales: Octadecanaminium, N, N, N-cloruro de trimetritil: LD50 (Oral) >5000 mg/kg, dato basado en ratas Efectos Crónicos en Humanos: EFECTOS CANCERÍGENOS: No clasificados. por NIOSH Efectos Mutagénicos: No efectos mutagénicos para bacterias y/o levaduras, contiene materiales que pueden causar daños a los siguientes órganos: Tracto respiratorio superior, piel, ojos, sistema nervioso central (SNC). Efectos agudos de la piel: Corrosivo para la piel. Prácticamente no tóxico en contacto con la piel. LVYU CHEMICAL CO., LTD Jiangping Road, Jingjiang City 214501, Jiangsu Province, CHINA 7 Efectos Agudos en Ojos: Corrosivo para los ojos.

12. Información ecológica.

Eco-toxicidad: La estabilidad del medio ambiente: Este producto es estable en condiciones ambientales normales. Efecto de material de plantas o animales: No hay efecto directo que haya presentado una evidencia perjudicial para el consumo humano. Efecto de la química en la vida acuática: Empleado a cantidad inferior a 15% de la masa global o hay evidencia demostrada que dañe la vida marina.



13. Consideraciones sobre la eliminación.

Eliminarse de manera consistente con las regulaciones federales, estatales y RCRA U-Series:
Código: D001 de residuos inflamables.

14. Información regulatoria.

Etiquetado y clasificado EC Símbolos(s) EC: Inflamable Xi: irritante R Frase(s): R 10: Inflamable R 38: irritante para la piel R 41: riesgo de lesiones oculares graves. S Frase(s): mantener alejado de fuentes de ignición-no fumar: en caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua y buscar atención médica: después del contacto con la piel, lavar inmediatamente con abundante jabón y agua.: usar guates y protección apropiada para ojos y cara. (www.Rocamix.es, s.f.).

15. Información adicional.

Para el mejor conocimiento del fabricante, la información aquí contenida es confiable. Sin embargo, ni el fabricante, ni ninguno de sus afiliados, no representa o garantiza (expresa o implícita), ni asume ninguna responsabilidad (por cualquier daño directo, incidental, consecuente) con respecto a la exactitud o la exhaustividad de la información contenida en este documento. Esta información puede ser (sin limitación) inválida si el material especificado se usa en combinación con otro, en un proceso específico o bajo condiciones inusuales. Determinación de la idoneidad de cualquier material para cualquier fin determinado es exclusiva responsabilidad del usuario quien asume todo el riesgo y la responsabilidad consiguiente. A los materiales LVIYU CHEMICAL CO., LTD Jiangping Road, Jingjiang City 214501, Jiangsu Province, CHINA. Pueden presentar peligros desconocidos y deben usarse con precaución adecuadas. El fabricante no puede garantizar que los riesgos descritos en este documento son los únicos que existen.

Empleo del producto.

Mezcla y dosis

El producto Rocamix formado por la mezcla de monómeros y polímeros con catalizadores aceleradores de penetración e intercambios iónicos

La dosis para la preparación del producto.

1 dosis de Rocamix concentrado + 20 dosis de agua dulce.

Para realizar la mezcla es necesario.

Materia de Rocamix concentrado + agua dulce

Equipamiento: 1 tanque bacillo de xxx litros + 1 palo de madera



Mezcla de la solución 1:

Pequeña cantidad.

Tanque de 200 litros: Echar una dosis de Rocamix concentrado y 20 dosis de agua dulce mezclar con el palo de madera = producto listo



Figura 89: Mezcla de la solución 1

Mezcla solución 2:

Gran cantidad.

Preparación directamente al pie de la obra, por ejemplo, utilización de un camión pipa. El principio queda el mismo: 1 dosis de Rocamix concentrado y 20 dosis de litros de agua dulce mezclar con cuidado = producto listo

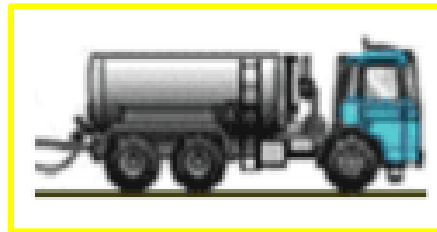


Figura 90: Mezcla de la solución 2

Tabla 74: Clasificación de los suelos metodología AASTHO / SUCS / Rocamix.

CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS metodología AASTHO /SUCS y ROCAMIX											
Clasificación General	Materiales granulares. (35% como máximo de la que pasa el tamiz N° 200)						Materiales de arcilla-limo (más de 35% del total de la muestra que pasa el tamiz N° 200)				
Clasificación AASHTO	A-1	A-1-b	A-2				A-3	A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7					A-7-5 A-7-6
Clasificación SUCS	GW	GC	SM	SM	SC	SC	SP	ML	MH	CL	OH
Tipos de suelos	Suelos buenos a regulares						Suelos regulares, malos a muy malos				
Clasificación ROCAMIX	R1	R1	R2	R2	R2	R2	R3	R2	R3	R3	R3
<p>LA CLASIFICACIÓN DEL SUELO permite determinar la cantidad de ROCAMIX concentrado y de CEMENTO o cal o mezcla de ambos a utilizar por M3</p> <p>LAS DOSIS son teóricas y deben ser usadas como guías al inicio de los ensayos de laboratorio</p>											
Litro de Producto por m3	0,40	0,40	0,50	0,50	0,50	0,50	0,60	0,50	0,60	0,60	0,60
Kilogramo de cemento por m3	10	10	15/20	15/20	15/20	15/20	20/25	15/20	20/25	20/25	20/25

(www.Rocamix.es, s.f.)



Tabla 75: Advertencias.

¡OJO! Verificar que esos suelos sean conformes al Teorema Rocamix 10+10+20.
Si no es, realizar los ensayos con Rocamix y eventualmente agregar 3/10% fines arcillosos

Los suelos A-7-5 y A-7-6 si tienen humedades por encima de la óptima deben ser secados antes el ensayo.
¡Cuidado! Si el CBR es débil cambiar el esqueleto del suelo agregando gravas

¡OJO! Verificar que esos suelos sean conformes al Teorema Rocamix 10+10+20
Si no es, realizar los ensayos con Rocamix y eventualmente agregar 3/10% fines arcillosos

¡OJO! PARA REALIZAR TODOS LOS ENSAYOS el laboratorio debe guiarse con la tabla de clasificación de suelo Rocamix® y sus correspondientes dosis de producto y aditivos.
Y en función de los resultados obtenidos el laboratorio debe AJUSTAR o MODIFICAR las dosis de manera a obtener los mejores resultados del Sistema Rocamix® en función de los resultados exigidos. La influencia de la poca cantidad de aditivo cemento o cal o mixtura de ambos es muy fuerte mezclándose con el producto Rocamix® y por eso varios ensayos pueden ser necesarios para usar exactamente la buena dosis.
Debemos recordar que si la clasificación AASHTO tiene 7 grupos y 8 sub-grupos, la composición física de un suelo comporta miles de versiones y cada una puede reaccionar de manera diferente al tratamiento con Sistema Rocamix®.

¡OJO!
El producto **ROCAMIX concentrado** deber ser **diluido en una cantidad de agua MÍNIMA de 1 dosis de producto para 20 dosis de agua** (a lo cual se suma, cuando se mezcla con el suelo la cantidad de agua necesaria y determinada por los parámetros del PROCTOR)

¡OJO!
El empleo del cemento, cal o mezcla de ambos, es determinado por lo que la obra exige como resultado. Generalmente se emplea el **Cemento** (por la aumentación del CBR) para los caminos, plataformas...etc. y la **Cal** puede ser empleada en mezcla con el cemento para asegurar una perfecta impermeabilización, por ejemplo embalses.

(www.Rocamix.es, s.f.)

Dosis producto liquido Rocamix.

3. Con la misma tierra del lugar se riega el producto Rocamix concentrado.

Suelos clasificados R1	0,40 L de producto concentrado por m ³ de tierra del lugar.
Suelos clasificados R2	0,50 L de producto concentrado por m ³ de tierra del lugar.
Suelos clasificados R3	0,60 L de producto concentrado por m ³ de tierra del lugar.

4. Según la clasificación propia y exclusiva de Rocamix (Llamadas R1, R2, R3), un aditivo solido de cemento debe agregarse al producto liquido Rocamix

Suelos clasificados R1	0,40 L de producto concentrado por m ³ de tierra del lugar.
Suelos clasificados R2	0,50 L de producto concentrado por m ³ de tierra del lugar.
Suelos clasificados R3	0,60 L de producto concentrado por m ³ de tierra del lugar.

Explicaciones técnicas de los efectos del sistema Rocamix.

El sistema Rocamix es un sistema de estabilización y de impermeabilización de los suelos de alta tecnología que se diferencia de los métodos tradicionales porque toma la compactación de los suelos en estado totalmente irreversible.

1. El sistema Rocamix

Economía – Resistencia.

Permite una mejora de los valores de sustentación de cualquier tipo de suelo ligante o débilmente ligante de 3 y 5 veces, en un 50 % de los casos incluso muy por encima. Se



pueden lograr los valores de sustentación deseados con un 75 % hasta de 100 % del suelo disponible de pie de obra y se ahorra la extracción y el transporte de vertederos y controlados y la aportación de material comprado. el ahorro es muy importante.

2. Valores de sustentación del suelo tratado.

Resistencia – Economía.

Permite una función puente de las capas de sustentación notablemente, mejores y por eso una reducción sin riesgo de las capas de rodadura que puede pasar de 60 mm a 20/25 mm, teniendo en consideración que, con el diseño de la mejora del suelo, se dan nuevas posibilidades de ahorro que en el mundo entero pueden llegar entre un 20 % y un 45 % de los costos de construcción convencionales o tradicionales. Y este ahorro se refiere solo a la construcción en sí y no incluye los ahorros adicionales debidos a una durabilidad.

3. El sistema Rocamix trabaja en cualquier tipo de suelo.

Resistencia.

Activa las fuerzas cohesivas propias del suelo y reduce la influencia del agua de forma importante y duradera. El sistema Rocamix modifica los suelos en sí mismo de forma permanente y puede ser utilizado por eso tanto en el lugar de su aplicación como en un procedimiento de mezcla previa en planta. Una vez añadido al suelo, este mantiene el efecto de sistema.

Esquemas de aplicación de la tecnología Rocamix.

Tabla 76: Trabajos preparatorios en laboratorio.



(www.Rocamix.es, s.f.)



Tabla 77: Trabajos en obra.

<p>4</p>	<ul style="list-style-type: none">• LA APLICACIÓN Y LA MEZCLA DE LOS PRODUCTOS CON EL SUELO• Los Trabajos específicos asociados a la Tecnología ROCAMIX, pueden comenzar después de la preparación, escarificación y desbroce del suelo a tratar.• Δ Debe realizarse un Control riguroso al proceso de escarificación.• LA DOSIFICACIÓN POR M2 <small>Página 7</small>• Regar ROCAMIX <i>diluido</i> con el suelo a tratar (liquido)• Dispensar el CEMENTO (solido)• La mezcla del suelo con el liquido + el solido• Δ Debe efectuarse un control riguroso de la mezcla suelo + productos
<p>5</p>	<ul style="list-style-type: none">• LA COMPACTACIÓN DEL SUELO• <i>Eventualmente</i> realizar un ligero trabajo de perfil• Δ Realizar un control de humedad antes la compactación• Realizar la Compactación siguiendo los parámetros establecidos por el PROCTOR <i>modificado</i>• Δ Realizar un control de la compactación

(www.Rocamix.es, s.f.)



“Evaluación de la Capacidad de Soporte y Densidad Máxima para sub - base en pavimentos adicionando sales cuaternarias de amonio líquido en concentraciones de 0.5 %, 1.0 %, 1.5 %, 2.0 %, cantera Sencca - Poroy – Cusco”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES
<p>P.G. ¿Cómo varía las características Geomecánicas, tales como capacidad de soporte, densidad máxima seca, del material de la cantera Sencca – Poroy, adicionando sales cuaternarias de amonio líquido en concentraciones de 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%?</p>	<p>O.G. Evaluar las características Geomecánicas tales como capacidad de soporte (CBR), densidad máxima seca, humedad óptima y otros, del material de la cantera Sencca - Poroy, adicionando sales cuaternarias de amonio líquido en concentraciones de 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%.</p>	<p>H.G. “La adición de sales cuaternarias de amonio líquido en concentraciones de 0.5 %, 1.0 %, 1.5 % y 2.0 % incrementa las características Geomecánicas tales como capacidad de soporte y densidad máxima seca, del material de la cantera Sencca – Poroy – Cusco”.</p>	<p>Variable Independiente</p> <ol style="list-style-type: none"> Propiedades Geomecánicas del material de la cantera Sencca – Poroy. 	<ol style="list-style-type: none"> Clasificación de suelos, límites de Atterberg (%), granulometría (mm) contenido de humedad (%) abrasión de los Ángeles (%) % peso de suelo (gr)
<p>Problemas Específicos</p> <p>P.E.1. ¿Las características Geomecánicas del material de la cantera Sencca – Poroy cumplen con las especificaciones técnicas de la Norma CE.010 (Pavimentos Urbanos) para ser utilizado como Sub Base del pavimento?</p> <p>P.E.2. ¿Cuál será la capacidad de soporte (CBR, Densidad máxima seca) del material de la cantera Sencca – Poroy para Sub Base, adicionando sales cuaternarias de amonio líquido en concentraciones de 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, frente a un material sin adición?</p> <p>P.E.3. ¿Cuál es la concentración óptima en porcentaje de las sales cuaternarias de amonio líquido que se debe de adicionar al material de la cantera de Sencca – Poroy para sub – base?</p>	<p>Objetivos Específicos</p> <p>O.E.1. Evaluar si las características geomecánicas del material de la cantera de Sencca – Poroy, cumplen con las especificaciones técnicas de la norma CE.010 para ser utilizado como sub – base del pavimento.</p> <p>O.E.2. Evaluar la capacidad de soporte (CBR, densidad máxima seca) del material de la cantera de Sencca – Poroy para sub – base, adicionando sales cuaternarias de amonio líquido, en concentraciones de 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, frente a un material sin adición.</p> <p>O.E.3. Evaluar la concentración óptima en porcentaje de las sales cuaternarias de amonio líquido que se debe de adicionar al material de la cantera de Sencca – Poroy para sub – base.</p>	<p>Hipótesis Específicas</p> <p>H.G.1. “Las propiedades geomecánicas del material de la cantera de Sencca – Poroy a utilizar no cumplen con las especificaciones técnicas de la norma Ce.010 para ser utilizado como sub – base de las estructuras de los pavimentos”.</p> <p>H.G.2. “La capacidad de soporte (CBR, densidad máxima seca) del material de la cantera de Sencca – Poroy – Cusco, para sub – base adicionando sales cuaternarias de amonio líquido, en concentraciones de 0.5 %, 1.0 %, 1.5 %, 2.0 % es superior frente a un material sin adición”.</p> <p>H.G.3. “La concentración óptima en porcentajes, de las sales cuaternarias de amonio líquido, que se debe de adicionar al material de la cantera de Sencca – Poroy – Cusco, empleado para la conformación de sub – base, dentro de las estructuras de pavimentos es de 1.0 %”</p>	<p>Variables Dependientes</p> <ol style="list-style-type: none"> Capacidad de soporte Densidad máxima seca		CBR (%) Densidad (gr/Cm^{3})

Fuente: Elaboración Propia.