



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

T E S I S

**MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO A NIVEL DE
SUBRASANTE A TRAVÉS DE LA UTILIZACIÓN DEL SISTEMA ROCAMIX
ENTRE LA PROLONGACIÓN DE LA AVENIDA SAN ANTONIO DE
PADUA Y DE LA CALLE 04 DE LA ASOCIACIÓN DE VIVIENDA
2 DE OCTUBRE DEL CENTRO POBLADO SAN
ANTONIO – MOQUEGUA, 2017**

PRESENTADA POR

BACHILLER MATILDE LORENA RAMOS PEREIRA

ASESOR

ING. EMERSHON ESCOBEDO CABRERA

PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

MOQUEGUA – PERÚ

2019

CONTENIDO

	Pág.
PORTADA	
Página de jurado.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos	iii
Contenido	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiii
ÍNDICE DE APÉNDICES.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN	xvii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad del problema	1
1.2. Definición del problema	2
1.2.1. Problema general	2
1.2.2. Problemas derivados o específicos	2
1.3. Objetivos de la investigación.....	3

1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Justificación	4
1.5. Alcances y limitaciones	4
1.6. Variables	5
1.6.1. Operacionalización de variables	5
1.7. Hipótesis de la investigación	6
1.7.1. Hipótesis general	6
1.7.2. Hipótesis derivadas o específicas	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación.....	7
2.2. Bases teóricas	10
2.3. Definición de términos	34

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Tipo de la investigación.....	35
3.2. Diseño de la investigación.....	35
3.3. Población y muestra.....	35
3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos	38

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados	39
4.2. Contratación de hipótesis	66
4.3. Discusión de resultados.....	75

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones	77
5.2. Recomendaciones.....	78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
APÉNDICES.....	84
MATRIZ DE CONSISTENCIA	141
INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	142

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Operacionalización de variables	6
Tabla 2. Categorías de la subrasante	11
Tabla 3. Número de calicatas para exploración de suelos	12
Tabla 4. Clasificación de suelos según tamaños de partículas	15
Tabla 5. Especificaciones para la prueba proctor estándar	20
Tabla 6. Especificaciones para la prueba proctor modificado	21
Tabla 7. Determinación del módulo resiliente según CBR.....	22
Tabla 8. Determinación del módulo resiliente para todo tipo de casos de CBR...	22
Tabla 9. Guía referencial para la selección del tipo de estabilizador.....	25
Tabla 10. Guía complementaria referencial para la selección del tipo de estabilizador.....	26
Tabla 11. Cantidad de ensayos realizados en laboratorio.	37
Tabla 12. Cuadro de coordenadas de las calicatas realizadas	41
Tabla 13. Propiedades físicas, mecánicas y químicas del suelo	50
Tabla 14. Ensayo de CBR, con el sistema rocamix	52
Tabla 15. Análisis granulométrico, resultados finales de mallas	53

Tabla 16. Análisis granulométrico, resultados finales	53
Tabla 17. Contenido de humedad, resumen de resultados	54
Tabla 18. L.L., L.P. e Índice de plasticidad, resumen de resultados.....	55
Tabla 19. Sistemas de clasificación de suelos – SUCS y AASHTO.	56
Tabla 20. Peso específico y absorción de agregado grueso, resumen de resultados	56
Tabla 21. Ensayo para gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua, resumen de resultados	57
Tabla 22. Resumen de resultados del ensayo proctor	57
Tabla 23. Resumen de resultados de densidad del suelo insitu.....	58
Tabla 24. Resumen de resultados del ensayo de equivalente de arena	58
Tabla 25. Resumen de resultados de CBR del suelo sin estabilizante.	58
Tabla 26. Resumen de resultados de CBR de las calicatas	60
Tabla 27. Resumen de resultados de CBR	60
Tabla 28. Dosificación con sistema rocamix	61
Tabla 29. Resultados de los ensayos de CBR aplicando el sistema rocamix.....	61
Tabla 30. Resultados de los datos de la dosificación 01	61

Tabla 31. Resumen de los resultados aplicando estabilizantes de suelo – cemento y suelo - cal.....	62
Tabla 32. Resultados del cálculo de espesor “e” del afirmado	64
Tabla 33. ACU de la sub rasante sin aditivo estabilizante.....	64
Tabla 34. ACU de la sub rasante con el sistema rocamix.....	65
Tabla 35. ACU de la sub rasante con cemento 1,5 %	65
Tabla 36. ACU de la sub rasante con cal 2,5 %	66
Tabla 37. Resumen de evaluación económica	66
Tabla 38. Estadística descriptiva de hipótesis general.....	67
Tabla 39. ANOVA de hipótesis general	67
Tabla 40. Estadística para una muestra en hipótesis 1	69
Tabla 41. Prueba de la media para una muestra en hipótesis 1.....	69
Tabla 42. Estadística descriptiva hipótesis 2.....	70
Tabla 43. ANOVA en hipótesis 2	71
Tabla 44. Estadística descriptiva en hipótesis 3.....	72
Tabla 45. ANOVA en hipótesis 3	72
Tabla 46. Descripción en hipótesis 4	74

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación de la zona de estudio	5
Figura 2. Estructura típica de pavimentos asfálticos.....	11
Figura 3. Signos convencionales para perfil de calicatas – clasificación AASHTO	13
Figura 4. Signos Convencionales para perfil de calicatas – clasificación SUCS	14
Figura 5. Curvas granulométricas de suelos	16
Figura 6. Interpretación de la curva granulométrica.	17
Figura 7. Definición de los límites de Atterberg.....	18
Figura 8. Equipo de la prueba proctor estándar: (a) molde; (b) pisón	19
Figura 9. Determinación de la relación de soporte CBR	22
Figura 10. Celda triaxial cíclico ensayo de resiliencia.....	23
Figura 11. Clasificación de los suelos metodología AASHTO /SUCS y SISTEMA ROCAMIX	33
Figura 12. Procedimiento metrológico para el análisis e interpretación de resultados	39
Figura 13. Localización y ubicación de calicatas.....	40

Figura 14. Visualización de la calicata 01 durante su recojo de muestra.	42
Figura 15. Visualización de la calicata 02 durante el recojo de muestra	42
Figura 16. Visualización de la calicata 03 durante el recojo de muestra.	43
Figura 17. Tamices utilizados y material ya separados en el ensayo de análisis granulométrico.....	44
Figura 18. Contenido de humedad de las tres (03) calicatas realizadas.....	44
Figura 19. Realización del ensayo para determinar el límite líquido.....	45
Figura 20. Realización del ensayo de límite plástico.....	45
Figura 21. Realización del ensayo del peso específico y absorción del agregado grueso.	45
Figura 22. Realización del ensayo estándar para la gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua.....	46
Figura 23. Realización del ensayo de equivalente de arena.	46
Figura 24. Realización del ensayo proctor modificado de la C-1	47
Figura 25. Realización del ensayo proctor modificado de la C-2.....	47
Figura 26. Realización del ensayo proctor modificado de la C-3	47
Figura 27. Realización del ensayo de CBR.....	48

Figura 28. Muestras sumergidas en agua para determinación de la expansión del material.....	48
Figura 29. Determinación de la resistencia a la penetración.....	49
Figura 30. Curva granulométrica de las tres calicatas.....	54
Figura 31. Límite líquido de la C-1 (a), C-2 (b) y C-3(c)	55
Figura 32. Resumen de la curva de humedad vs densidad.....	57
Figura 33. De la C-1 (a), C-2 (b) y C-3 (c) es la curva densidad seca vs CBR.....	59
Figura 34. Estabilizante VS % CBR	62
Figura 35. Gráfico de medias marginales estimadas de capacidad de soporte del suelo de la hipótesis general	68
Figura 36. Gráfico de medias marginales estimadas de capacidad de soporte del suelo de la hipótesis 2.	71
Figura 37. Gráfico de medias marginales estimadas de resultados de la aplicación de estabilizantes de suelo - cemento, suelo – cal de la hipótesis 3.....	73
Figura 38. Diagrama de la hipótesis 4.....	74
Figura 39. Cuarteo sobre lona	142

ÍNDICE DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Coeficiente de curvatura.....	16
Ecuación 2. Coeficiente de uniformidad.....	17
Ecuación 3. Índice de plasticidad.....	18
Ecuación 4. Método AUSTROADS	63

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice A. Plano de zonificación y uso de suelos del plan de desarrollo urbano Moquegua – Samegua, 2016 – 2026.....	84
Apéndice B. Perfil estratigráfico de las C-1, C-2 y C-3.....	86
Apéndice C. Certificados de ensayos de laboratorio y campo.....	93

RESUMEN

La presente investigación se estableció en el desarrollo del mejoramiento de la capacidad de soporte a través del sistema rocamix, siendo el problema general si el sistema Rocamix mejorará la capacidad de soporte del suelo a nivel de la sub rasante, por ende esta investigación busca dar a conocer este nuevo método de estabilización química, logrando una mejora significativa en las propiedades del mismo para convertirlo en un material con características adecuadas para mejorar la sub rasante. La investigación es de tipo aplicada, con un nivel de investigación descriptivo y con un diseño de investigación experimental. Se emplearon técnicas e instrumentos de recolección de datos, específicamente el análisis de fuentes primarias y secundarias y con una técnica de observación directa. Para la elaboración de este trabajo, se desarrolló ensayos en campo y laboratorio, de esta manera se pudo concluir que el sistema Rocamix mejoró en un 102,67 % en un CBR de 0,2” y en 0,1” en un 86,60 % y disminuyó a la expansión hasta un 0,09 % pero este no satisface económicamente, ya que se produce una demanda económica mayor que al utilizar un estabilizante recomendado por el MTC (suelo – cemento).

Palabras clave: capacidad de soporte, Sistema Rocamix, CBR, estabilizante, suelo, sub rasante.

ABSTRACT

The present investigation was established in the development of the improvement of the support capacity through the Rocamix system, being the general problem If the Rocamix system improves the soil support capacity at the subgrade level, therefore this research seeks to publicize this new method of chemical stabilization, achieving a significant improvement in the properties of the same to turn it into a material with adequate characteristics to improve the subgrade. The research is of application type, with a level of descriptive research and with an experimental research design, techniques and data collection instruments were used, specifically the analysis of primary and secondary sources and with a direct observation technique, for the elaboration of this work, field and laboratory tests were developed in this way it was concluded that the Rocamix system improved by 102,67 % in a CBR of 0,2" and in 0,1" in 86,60 % and decreased to the expansion up to 0,09 % but it is not economically satisfactory, since there is a greater economic demand than when using a stabilizer recommended by the MTC (cement floor).

Keywords: support capacity, Rocamix system, CBR, stabilizer, soil, subgrade.

INTRODUCCIÓN

Para realizar proyectos de vías y/o carreteras, tanto urbanas como rurales, el suelo vendría ser un componente primordial especialmente para la construcción de estas, en la mayoría de los países es la base de su desarrollo económico, cultural y social.

Sin embargo hoy en día las restricciones para el diseño de cualquier vía en el Perú han sido el aspecto económico, geotécnico y ambiental, en algunos casos las zonas a desarrollarse; su suelo existente denominado como la sub rasante no cuenta con las condiciones adecuadas; que avale geotécnicamente el comportamiento adecuado de la estructura de la vía, a estos suelos se los sustituye, combina o mejora, en la actualidad se viene utilizando material de canteras cercanas a los proyecto en ejecución, en algunos casos estas canteras son limitadas y se encuentran alejadas de las obras viales, creando un adicional económico al proyecto en ejecución, estos inconvenientes han llevado a que se realice nuevos estudios para la mejora de las características “in – situ”, donde se pueda aprovechar al máximo los suelos locales, existiendo una gran variedad de aditivos o materiales que mejoren el suelo encontramos dentro de estos productos el SISTEMA ROCAMIX, este es un aditivo químico y tiene como función mejorar el suelo, dándole la estabilidad y permeabilidad requerida, su venta en el Perú es muy reciente y tampoco se cuenta con mucha información sobre esté, por ende este trabajo busca investigar más sobre este producto, siendo el objetivo principal el conocer si el SISTEMA ROCAMIX mejora la capacidad de soporte del suelo a nivel de la sub rasante, si este material es lo suficientemente efectivo para poder estabilizar la sub

rasante de una estructura vial como también a la vez analizar si este método es económico y efectivo.

Y para corroborar esta investigación en la región de Moquegua se cuenta con suelos arcillosos y como se encuentra en un crecimiento urbano desordenado por las distintas invasiones desarrolladas especialmente en el C. P. San Antonio, se selecciona el área de estudio en la Asociación de Vivienda 2 de Octubre perteneciente a la ampliación urbana A3, entre la prolongación de la avenida San Antonio de Padua y de la calle 04 para poder realizar los análisis antes mencionados y poder ejecutar el objetivo principal de este trabajo de investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad del problema

A nivel mundial se encuentra este gran problema de la baja calidad de soporte del suelo que tendrían algunas zonas y el Perú no es la excepción de este problema y en la región de Moquegua, según PREDES CIP - MOQUEGUA (2004) en la pág. 04, indica que la zona IIIA y IIIB ubicadas en San Antonio con una descripción de arcillas limosas con potencial expansivo.

En la municipalidad provincial de Mariscal Nieto se está desarrollando el plan de desarrollo urbano Moquegua – Samegua 2016 – 2026 con resolución Gerencial Municipal N° 095-2015 GM/MPMN, donde se estaría llevando nuevas zonas de ampliación urbana, el sector del C. P. San Antonio sería una de las zonas a expandirse, por las invasiones desordenadas que se estarían llevando, se han constituido nuevas asociaciones de vivienda, estando dentro de estas, la asociación de vivienda 2 de Octubre, siendo nuevas áreas urbanas se proyectaría vías de comunicación pero según PREDES y CIP - MOQUEGUA el sector del C. P. San Antonio contiene un suelo arcilloso con potencial expansivo que no cumpliría con lo recomendado por el MTC y requeriría ser tratado.

1.2. Definición del problema

1.2.1. Problema general

¿El sistema rocamix mejorará la capacidad de soporte del suelo a nivel de la sub rasante entre la prolongación de la Av. San Antonio de Padua y de la calle 04 de la asociación de vivienda 2 de octubre del C.P. San Antonio – Moquegua?

1.2.2. Problemas derivados o específicos

¿Qué propiedades mecánicas y físicas establecen la capacidad de soporte del suelo a nivel de sub rasante entre la prolongación de la Av. San Antonio de Padua y de la calle 04 y de la asociación de vivienda 2 de octubre del C. P. San Antonio – Moquegua?

¿La dosificación dada por el manual del sistema rocamix es la adecuada para el mejoramiento de la capacidad de soporte del suelo a nivel de la sub rasante entre la prolongación de la Av. San Antonio de Padua y de la calle 04 de la asociación de vivienda 2 de octubre del C. P. San Antonio – Moquegua?

¿Existe la dimensión estabilidad entre el uso del sistema rocamix y los estabilizantes recomendados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones?

¿Cuál es el impacto económico de la utilización del sistema rocamix como estabilizante en la capacidad de soporte del suelo a nivel de la sub rasante entre la prolongación de la Av. San Antonio de Padua y de la calle 04 de la asociación de vivienda 2 de octubre del C. P. San Antonio – Moquegua?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Mejorar la capacidad de soporte del suelo a nivel de sub rasante mediante la utilización del sistema rocamix entre la prolongación de la Av. San Antonio de Padua y de la calle 04 de la asociación de vivienda 2 de octubre del C. P. San Antonio – Moquegua.

1.3.2. Objetivos específicos

Conocer las propiedades mecánicas y físicas que establecen la capacidad de soporte del suelo a nivel de sub rasante entre la prolongación de la avenida San Antonio de Padua y de la calle 04 de la asociación de vivienda 2 de octubre del C. P. San Antonio – Moquegua.

Saber si la dosificación dada por el manual del sistema rocamix es la adecuada para el mejoramiento de la calidad de soporte del suelo a nivel de la subrasante entre la prolongación de la Av. San Antonio de Padua y de la calle 04 de la asociación de vivienda 2 de octubre del C. P. San Antonio – Moquegua.

Determinar la dimensión estabilidad entre el uso del sistema rocamix y los estabilizantes recomendados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Determinar si hay un impacto económico en la utilización del sistema rocamix como estabilizante en la capacidad de soporte del suelo a nivel de la subrasante entre la prolongación de la Av. San Antonio de Padua y de la calle 04 de la asociación de vivienda 2 de octubre del C. P. San Antonio – Moquegua.

1.4. Justificación

En nuestro país existen muchas zonas que presentan baja capacidad de soporte en el suelo a nivel de la sub rasante, a la hora de ejecutar vías tanto urbanas como rurales, encontramos este tipo de problemas por ende esta investigación busco dar a conocer este nuevo método de estabilización química, logrando así mejorar las propiedades del suelo en estudio para convertirlo en un suelo apto que contenga las características adecuadas, en la construcción de vías.

1.5. Alcances y limitaciones

1.5.1. Alcances

Es dar a conocer el sistema rocamix como una nueva alternativa de estabilizante de la capacidad de soporte del suelo a nivel de la subrasante en obras viales. Dicho método será lo suficientemente eficiente para alcanzar los mínimos estándares indicados por el MTC (Ministerio de Transporte y Comunicaciones).

1.5.2. Limitaciones

La presente investigación se llevó a cabo entre la prolongación de la Av. San Antonio de Padua y de la calle 04 de la asociación de vivienda 2 de octubre en la nueva ampliación urbana perteneciente al sector A3 del C.P. San Antonio – Moquegua (ver apéndice A y figura 1).

Encontrándose en el área de mecánica de suelos y pavimentos de la Ingeniería Civil, se realizó tres calicatas para ver las propiedades que contengan la zona, utilizando el Sistema Rocamix, posteriormente se hizo una interpretación de los datos confrontándolos y analizándolos tanto el suelo sin aditivo y el suelo con el Sistema Rocamix y los estabilizante sugeridos por el MTC (en esta investigación

se realizó el comparativo con cal y cemento por razones económicas), a continuación observaremos en la figura 1 la ubicación de la zona de estudio.

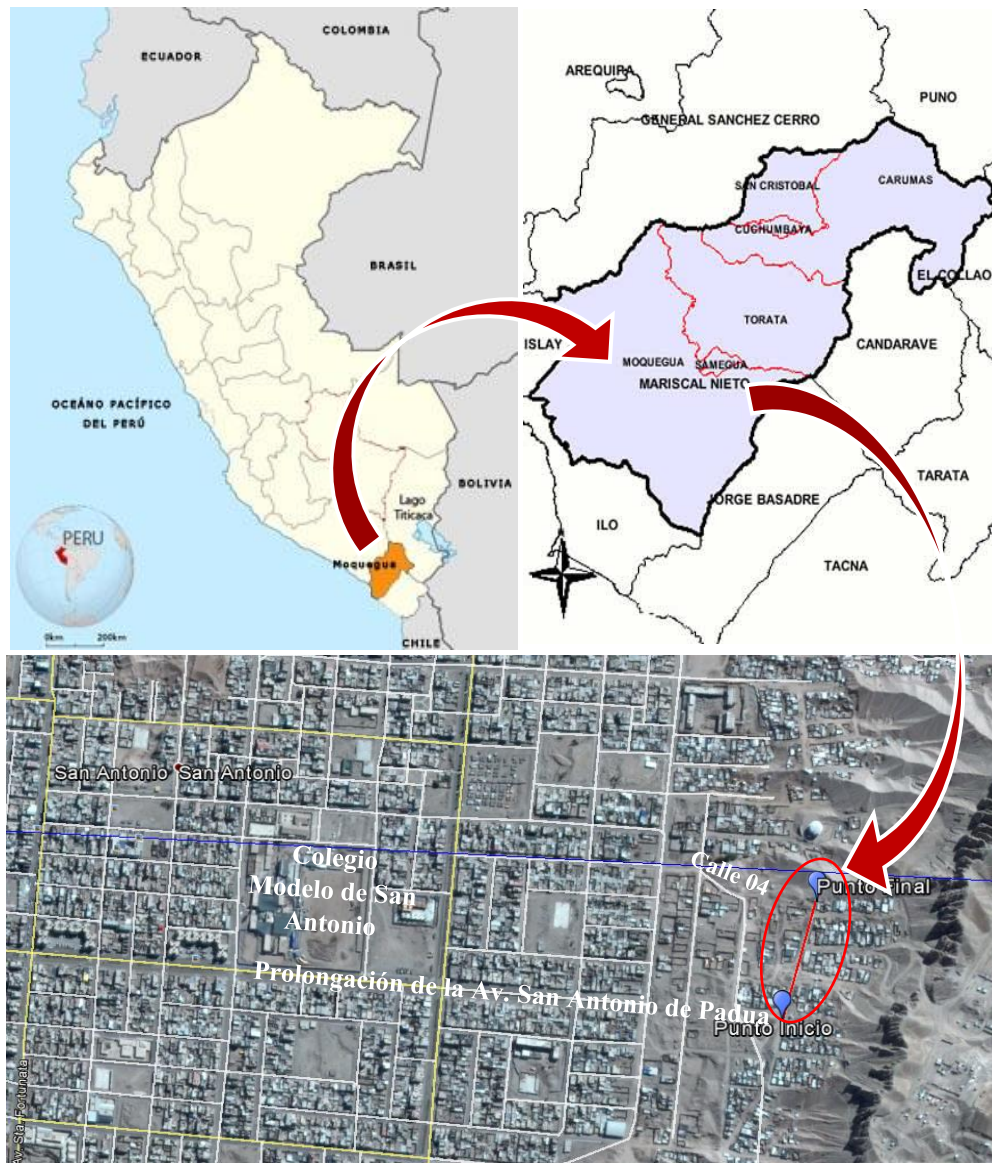


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio

1.6. Variables

1.6.1. Operacionalización de variables

En la tabla 1 veremos la operacionalización de variables desarrollada en esta investigación.

Tabla 1

Operacionalización de variables

Tipo de variable	Variable	Dimensiones	Indicador
Independiente	Sistema Rocamix	Dosificación	Ensayo de CBR
Dependiente	Mejoramiento de la capacidad de soporte del suelo a nivel de subrasante	Propiedades mecánico - física	Numero de ensayos de laboratorio
		Estabilidad	Categorías de subrasante – M T C

1.7. Hipótesis de la investigación

1.7.1. Hipótesis general

El uso del sistema rocamix mejora la capacidad de soporte del suelo a nivel de la subrasante entre la prolongación de la Av. San Antonio de Padua y de la calle 04 de la asociación de vivienda 2 de octubre del C.P. San Antonio – Moquegua.

1.7.2. Hipótesis derivadas o específicas

Las propiedades mecánicas y físicas son la base de la capacidad de soporte del suelo a nivel de subrasante entre la prolongación de la Av. San Antonio de Padua y de la calle 04 de la asociación de vivienda 2 de octubre del C.P. San Antonio – Moquegua.

La dosificación dada por el manual del sistema rocamix si es la adecuada para el mejoramiento de la capacidad de soporte del suelo a nivel de subrasante obtenidos del CBR, cumpliendo la categoría S2 de la subrasante como mínimo.

La estabilidad de la capacidad de soporte del suelo a nivel de la subrasante mediante el uso del sistema rocamix es similar a los estabilizantes recomendados por el MTC.

Si hay un impacto económico positivo utilizando el sistema rocamix.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Aiman (2014), en su tesis del instituto superior politécnico José Antonio Echeverría de la ciudad de la Habana – Cuba, “Empleo de un suelo arenoso fino como subrasante de carreteras mediante estabilizaciones mecánicas y químicas”. Este trabajo nos habla sobre la estabilización de suelos mediante dos métodos en este caso, el primero fue mezclándolo con “arena de la molina”, en un 20 % con arcilla de la formación Capdevila y el segundo con el sistema rocamix, donde dicha investigación busco mejorar las propiedades físico-mecánicas y que sea usada como referencia para futuras investigaciones.

Bisset (2012) en su tesis del instituto superior politécnico José Antonio Echeverría de la ciudad de la Habana – Cuba, “Análisis de la influencia del aditivo Rocamix en la reducción de la absorción Capilar de un suelo fino”, en esta investigación se aborda el sistema rocamix como aditivo líquido para una construcción de sub rasante de una carretera, donde el autor denota la mejora en las

propiedades mecánicas en general y realiza un estudio estadístico con diferente probetas ensayadas.

Delgado (2011) en su tesis previa para obtener grado de Magister de la universidad técnica de Manabi centro de estudio de posgrado de la ciudad de Portoviejo – Manabí – Ecuador, “Estabilización de suelos para atenuar efectos de plasticidad del material de subrasante de la carretera Montecristi”, el autor realiza en su tesis una comparación con la dosificaciones de cal, realizando 03 muestras con dosificaciones al 2 %, 4 % y cal viva realizando también un curado acelerado para obtener el mejor rendimiento para su diseño con cal.

Díaz (2010) indica en su tesis del instituto superior politécnico José Antonio Echeverría de la ciudad de la Habana – Cuba, “Estabilización de un suelo de la Formación Toledo con Cemento Portland y Sistema Rocamix Líquido”, esta investigación se basó en dos comparaciones uno con cemento portland con dosificaciones 3, 6, 9 % y con el sistema rocamix con el mismo rango de dosificación, analizándose para distintos tipos de ensayos en laboratorio como granulometría índices de plasticidad, proctor modificado y resistencia a la compresión simple, donde se aprecia que en ambos materiales si hubo un incremento en la resistencia y una disminución en la ascensión capilar, esto ocurriendo en la formación Toledo.

Hernández (2012) en su tesis del instituto superior politécnico José Antonio Echeverría de la ciudad de la Habana – Cuba, “Análisis técnico económico de la estabilización de un suelo con el aditivo rocamix para sub rasante”. Esta tesis contiene dos variantes donde se hace la comparación con la dosis original

proporcionada en las especificaciones técnicas del fabricante y en este caso el autor realiza una segunda dosificación pero a la mitad de dosis, teniendo como resultados que en la proporción dada por el fabricante mejora considerablemente las propiedades del suelo, demostrándose que aditivo ahorra un 20 % en los gastos de movimiento de agregados, llegando a la conclusión que el material si es beneficioso aportando mayor resistencia y un ahorro.

Junco del Pino y Morales (2010) publicaron en su artículo de la convención científica de ingeniería y arquitectura de CUJAE, “Estabilización e impermeabilización de suelos mediante el empleo de ROCAMIX y su efecto en el tiempo”, en este artículo de investigación nos habla sobre la importancia que tiene los sales cuaternarios y como se ha venido dando a conocer en cuba, teniendo como objetivo modificar las propiedades de los suelos, en este artículo nos habla sobre las nuevas técnicas dadas donde se ahorra un 20 a 45 % en costos sobre una construcción convencional.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2014) en su “manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos”, el MTC en su manual nos habla sobre la estabilización de suelos definiéndolo como el mejoramiento de estos a través de distintos mecanismos, incorporando productos químicos, naturales o sintéticos. Estas modificaciones se da más que todo a suelos inadecuados o pobres, el MTC tiene ya algunos productos identificados tales como cal, cemento, asfalto entre otros, el manual también nos ilustra distintas metodologías de estabilización de los suelos.

Suarez (2015) en su tesis para optar título profesional de la carrera profesional de ingeniería geológica de la facultad de ingeniería geológica y geografía de la universidad nacional de San Antonio Abad del Cusco – Perú, “Análisis del Sistema Rocamix para la impermeabilización de suelos, en las presas Pituccocha y Yanamancha del distrito de Huarcondo provincia Anta - Cusco”, en esta investigación es la única dada en el Perú con este aditivo, siendo aplicada en una presa en la región de cusco , donde el producto final de esta investigación nos lleva a que el sistema rocamix si mejora las propiedades y el ángulo de fricción interna así como el esfuerzo normal y cortante, pero no llega a cumplir en su totalidad en la impermeabilización, el autor nos indica que dicho producto no sería apto para suelos con presencia de yesos.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Sub rasante

La sub rasante como definición es la superficie determinada para la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se realiza la colocación de una obra vial ya sea pavimento o una vía afirmada (MTC, 2014, p. 20).

“Las propiedades hidráulicas (coeficiente de drenaje, permeabilidad, coeficiente de expansión), propiedades de rigidez (módulo resiliente, módulo de elasticidad y CBR) y propiedades físicas (granulometría, límites de consistencia, densidad, contenido de agua), son las propiedades para analizar una sub rasante” (Menéndez, 2013) y en la tabla 2 se muestra las categorías que la subrasante pueda tener, según el MTC.

Tabla 2

Categorías de la subrasante

Categorías de la subrasante	CBR
S0: Subrasante inadecuada	CBR < 3%
S1: Subrasante pobre	De CBR ≥ 3 % a CBR < 6 %
S2: Subrasante regular	De CBR ≥ 6 % a CBR < 10 %
S3: Subrasante buena	De CBR ≥ 10 % a CBR < 20 %
S4: Subrasante muy buena	De CBR ≥ 20 % a CBR < 30 %
S5: Subrasante excelente	De CBR ≥ 30 %

Fuente: MTC, 2014

Los suelos aptos para la sub rasante, suelos con CBR igual o mayor de 6,00 %, en la figura 2 se visualiza la estructura típica de un pavimento asfálticos, donde se aprecia que la subrasante se encuentra entre el terreno de fundación y la sub base



Figura 2. Estructura típica de pavimentos asfálticos

Fuente: Ordóñez y Minaya, 2006.

2.2.1.1. Caracterización de la sub rasante.

Con el objetivo de determinar las características físico – mecánicas de los materiales de la sub rasante se llevaran a cabo investigaciones mediante la ejecución de pozos exploratorios o calicatas de 1,5 m de profundidad mínima; el número mínimo de calicatas por kilómetro, estará de acuerdo al cuadro (MTC, 2014).

La tabla 3 nos ayuda como una guía para la colocaciones de las tres calicatas, a distancias aproximadamente iguales; como indica el MTC, 2014, p. 26.

Tabla 3

Número de calicatas para exploración de suelos

Tipo de carretera	Profundidad (m)	Número mínimo de calicatas	Observaciones
Autopista carreteras de IMDA mayor de 6 000 vehículo/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1,50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido Calzada 4 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carretera duales o multicarril; carreteras de IMDA entre 6 000 y 4 001 vehículo/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	1,50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido Calzada 4 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido	
Carretera de primera clase: carreteras con un IMD entre 4 000 – 2 001 vehículo/día, de una calzada de dos carriles.	1,50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	4 calicatas x km x sentido	
Carretera de segunda clase: carreteras con un IMD entre 2 000 – 401 vehículo/día, de una calzada de dos carriles.	1,50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	3 calicatas x km x sentido	Las calicatas se ubicaran longitudinalmente y en forma alternada
Carretera de tercera clase: carreteras con un IMD entre 400 – 201 vehículo/día, de una calzada de dos carriles.	1,50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	2 calicatas x km x sentido	
Carretera de bajo volumen de tránsito: carreteras con un $IMD \leq 200$ vehículo/día, de una calzada de una calzada	1,50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	1 calicatas x km x sentido	

Fuente: MTC, 2014

2.2.1.2. Descripción de los suelos.

Los suelos hallados en el terreno a exploración serán clasificados bajo dos sistemas obligatoriamente AASHTO y SUCS, se utilizarán los signos convencionales (MTC, 2014).

En la figura 3 y figura 4 vemos los signos convencionales utilizados para la clasificación por AASHTO y SUCS, que serán utilizados en la clasificación de los suelos encontrados en la sub rasante del área de estudio.

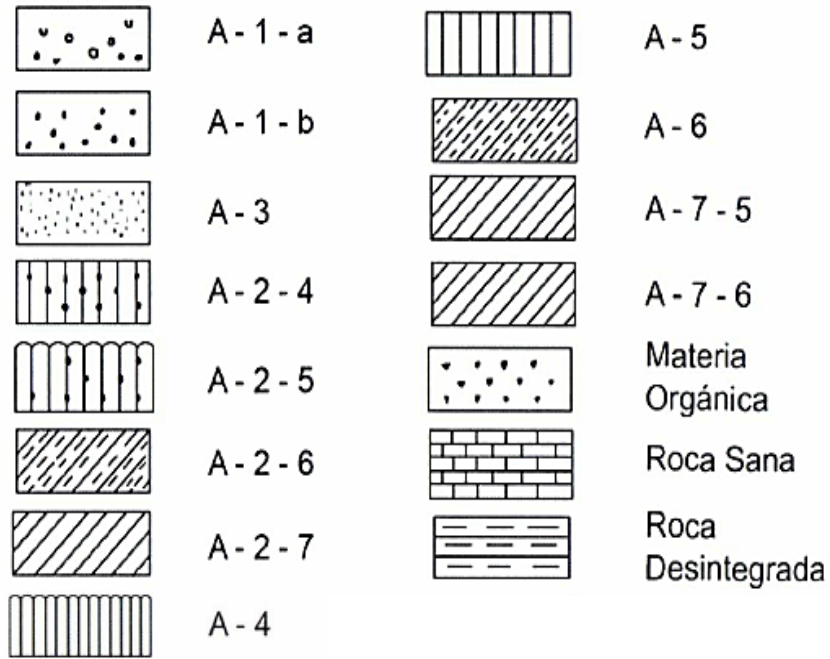


Figura 3. Signos convencionales para perfil de calicatas – clasificación AASHTO

Fuente: AASHTO, 1993

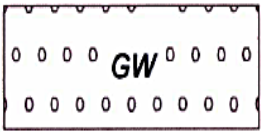
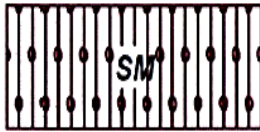
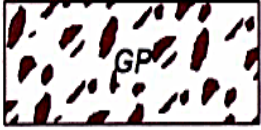
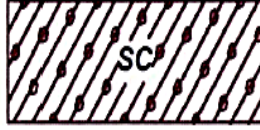




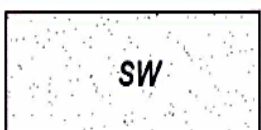

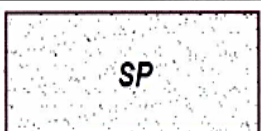



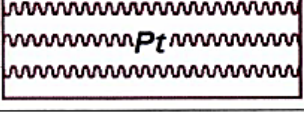
	Grava bien graduada mezcla, grava con poco o nada de materia fina, variación en tamaños granulares		Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy bajo
	Grava mal granulada, mezcla de arena-grava con poco o nada de material fino		Arena arcillosa, mezcla de arena-arcillosa
	Grava limosa, mezcla de grava, arena limosa		Limo orgánico y arena muy fina, polvo de roca, arena fina limosa o arcillosa o limo arcilloso con ligera plasticidad
	Grava arcillosa, mezcla de grava-arena-arcilla; grava con material fino cantidad apreciable de material fino		Limo orgánico de plasticidad baja o mediano, arcilla grava, arcilla arenosa, arena limosa, arcilla magra
	Arena bien graduada, arena con grava, poco o nada de material fino. Arena limpia poco o nada de material fino, amplia variación en tamaños granulares y cantidades de partículas en tamaños intermedios		Limo orgánico y arcilla limosa orgánica, baja plasticidad
	Arena mal graduada con grava poco o nada de material fino. Un tamaño predominante o una serie de tamaños con ausencia de partículas intermedias		Limo inorgánico, suelo fino gravoso o limoso, micacea o diatometacea, limo elástico
	Arcilla inorgánica de elevada plasticidad, arcilla gravosa		
	Arcilla orgánicas de mediana o elevada plasticidad, limo orgánico		
	Turba, suelo considerablemente orgánico		

Figura 4. Signos Convencionales para perfil de calicatas – clasificación SUCS

Fuente: MTC, 2014.

2.2.1.3. Las propiedades fundamentales a tomar en cuenta son.

a. Contenido de humedad.

Es la relación del peso del agua en una masa dada de suelo el contenido de humedad de un suelo, indicada con porcentaje, al peso de las partículas sólidas, según la norma (MTC, 2016).

b. Granulometría.

El análisis granulométrico de un suelo tiene por objetivo determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasificados en función de su tamaño (MTC, 2013), A continuación veremos en la tabla 4 la clasificación de suelos según el tamaño de partículas.

Tabla 4

Clasificación de suelos según tamaños de partículas

Tipo de Material		Tamaño de partículas
Grava		75 mm – 4,75 mm
Arena		Arena gruesa: 4,75 mm – 2,00 mm Arena media: 2,00 mm – 0,425 mm Arena fina: 0,425 mm – 0,075 mm
Material fino	Limo	0,075 mm – 0,005 mm
	Arcilla	Menor a 0,005 mm

Fuente: MTC, 2014

Se utiliza tamices de malla cuadrada y abertura decreciente, a través de los cuales se hace pasar una determinada cantidad de suelo seco, quedando retenida en cada tamiz la parte de suelo cuyas partículas tengan un tamaño superior a la abertura de dicho tamiz.

Para determinar la fracción fina de suelo-limos y arcillas, se empleará el método de sedimentación, (Bañon y Bevia, 2010, p.6), lo apreciamos en la figura 5.

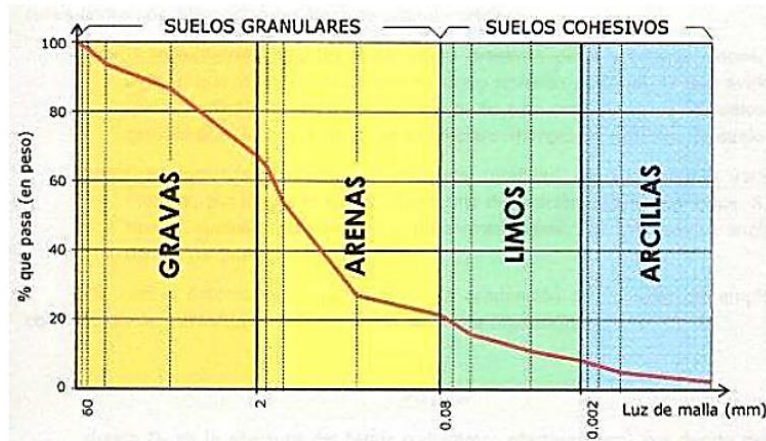


Figura 5. Curvas granulométricas de suelos

Fuente: Bañon y Bevia, 2010

c. Interpretación de los resultados.

La curva granulométrica nos proporciona información sobre el comportamiento del suelo. (Bañon y Bevia, 2010, p.7).

Para determinar la numeración de la graduación de un suelo se emplea el coeficiente de curvatura, definido por la siguiente ecuación 1.

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}} \quad \text{Ecuación 1. Coeficiente de curvatura}$$

Donde:

- D (x): Es la abertura del tamiz o diámetro efectivo (mm) por donde pasa el x % en peso de la totalidad de la muestra de suelo analizada.
- Cc: Coeficiente de curvatura.

Un suelo bien graduado presenta valores de Cc comprendidos entre 1 y 3,

otro parámetro muy empleado para dar idea de uniformidad de un suelo es el llamado coeficiente de uniformidad, mostrada en la ecuación 2, definido por Hazen como la relación entre las aberturas de tamices por donde pasan el 60% y el 10% en peso de la totalidad de la muestra analizada:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{Ecuación 2. Coeficiente de uniformidad}$$

Donde:

- $D(x)$: Es la abertura del tamiz o diámetro efectivo (mm) por donde pasa el x % en peso de la totalidad de la muestra de suelo analizada.
- Cu : Coeficiente de uniformidad

Según este, un suelo que de valores inferiores a 2 es considerado como un suelo muy uniforme, mientras que un coeficiente inferior a 5 sería un suelo uniforme como se aprecia en la figura 6 la curva de granulometría.

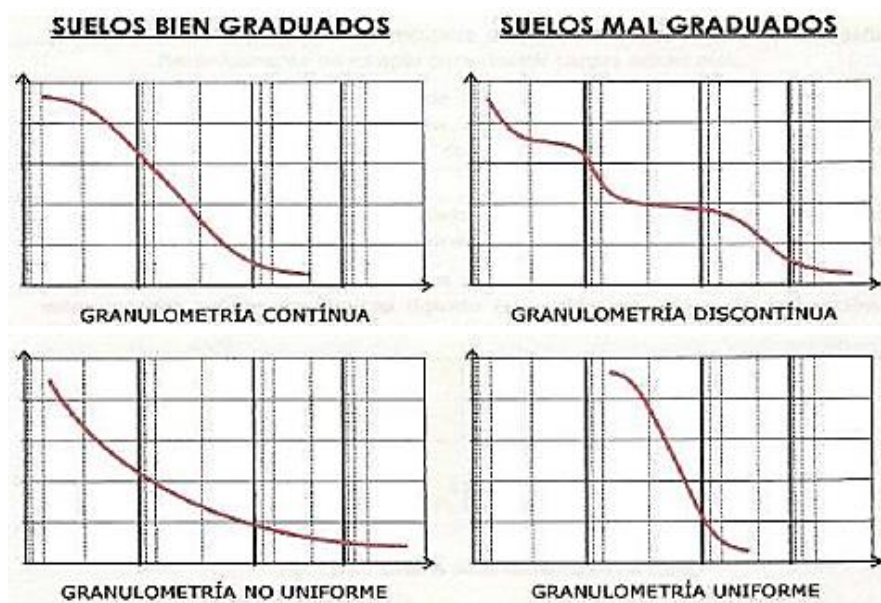


Figura 6. Interpretación de la curva granulométrica.

Fuente: Bañon y Bevia, 2010

d. *Límites de consistencia del suelo.*

Su unidad de medida es en ciento, donde el suelo cambia de un estado líquido a un plástico es un límite líquido (LL) y cuando el suelo cambia de un estado plástico a un semisólido y de un semisólido a un sólido es el límite plástico (PL) y el límite de contracción (SL), respectivamente (Braja, 1999, p.15), podemos visualizar en la figura 7.

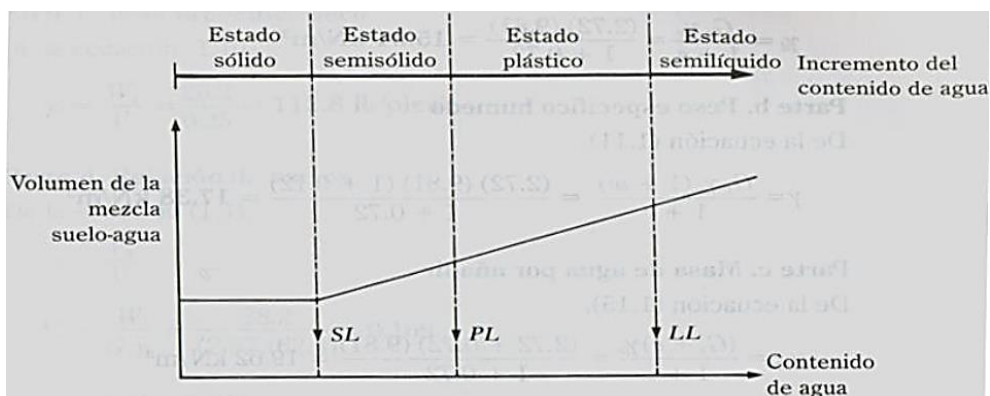


Figura 7. Definición de los límites de Atterberg

Fuente: Braja, 1999.

Donde tendremos:

- Límite líquido
- Límite Plástico
- Límite de contracción

Y para el índice de plasticidad vendría ser la diferencia entre en límite líquido con el límite plástico, siendo la siguiente ecuación:

$$PI = LL - LP \qquad \text{Ecuación 3. Índice de plasticidad}$$

Donde:

- PI: Índice de plasticidad.

- LL: Límite líquido
- LP: Límite plástico

e. *Compactación.*

La compactación es el comportamiento donde se desea obtener mejores características de los suelos a utilizar en obra, de tal manera que resulte duradero. (Montejo, 2002).

- La prueba de proctor estándar se utiliza para materiales arcillosos, limos su estructura del equipo la podemos visualizar en la figura 8

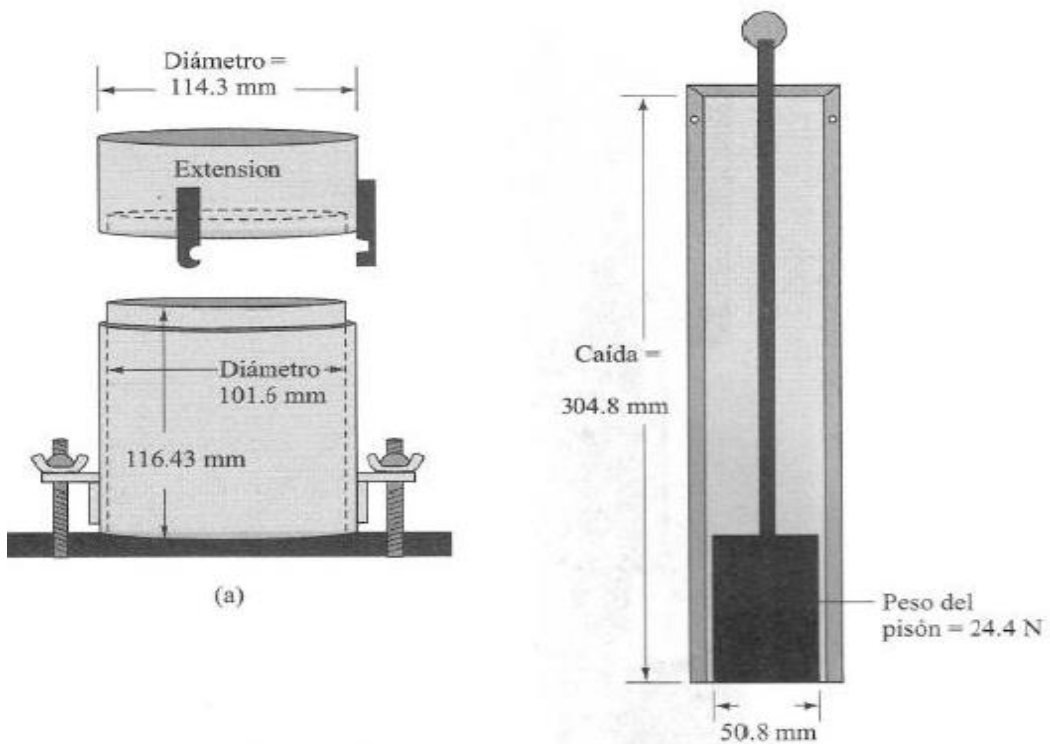


Figura 8. Equipo de la prueba proctor estándar: (a) molde; (b) pisón

Fuente: Braja, 1999.

Y en la tabla 5 vemos las especificaciones que tiene el proctor estándar.

Tabla 5*Especificaciones para la prueba proctor estándar*

Concepto	Método A	Método B	Método C
Diámetro del molde	101,6 mm	101,6 mm	152,4 mm
Volumen del molde	943,3 cm ³	943,3 cm ³	2 124 cm ³
Peso del pisón	24,4 N	24,4 N	24,4 N
Altura de caída del pisón	304,8 mm	304,8 mm	304,8 mm
Número de golpes del pisón por capa suelo	25	25	25
Número de capas de compactación suelo por usarse	3	3	3
Energía de compactación suelo por usarse	591,3 KN-m/m ³ Porción que pasa la malla N° 4 (4,57 mm) Se usa si 20 % o menos por peso de material retenido en la malla N°4	591,3 KN-m/m ³ Porción que pasa la malla de 9,5 mm. Se usa si el suelo retenido en la malla N° 4 es más del 20 % y 20 % o menos por peso es retenido en la malla de 9,5 mm	591,3 KN-m/m ³ Porción que pasa la malla de 19 mm. Se usa si más de 20 % por peso del material es retenido en la malla de 9,5 mm, y menos de 30 % por peso es retenido en la malla de 19 mm

Fuente: MTC, 2014

Prueba proctor modificado: para realizar el ensayo del proctor modificado se lleva con el mismo molde, con un volumen de 943,3 cm³, que se utiliza en el proctor estándar solo que en este caso se realiza con cinco capas y con un pisón que pesa 44,5 N. la caída del martillo es de 457,2 mm. El número de golpes de martillo por capa es de 25 al igual que el proctor estándar.

Debido a que incrementa el esfuerzo de compactación, la prueba proctor modificada resulta en un incremento del peso específico seco máximo del suelo y en la tabla 6 vemos las especificaciones que tiene el proctor modificado.

Tabla 6*Especificaciones para la prueba proctor modificado*

Concepto	Método A	Método B	Método C
Diámetro del molde	101,6 mm	101,6 mm	152,4 mm
Volumen del molde	943,3 cm ³	943,3 cm ³	2 124 cm ³
Peso del pisón	44,5 N	44,5 N	44,5 N
Altura de caída del pisón	457,2 mm	457,2 mm	457,2 mm
Número de golpes del pisón por capa suelo	25	25	56
Número de capas de compactación suelo por usarse	5	5	5
Energía de compactación Suelo por usarse	591,3 KN-m/m ³ Porción que pasa la malla N° 4 (4,57 mm) Se usa si 20 % o menos por peso de material retenido en la malla N°4	591,3 KN-m/m ³ Porción que pasa la malla de 9,5 mm. Se usa si el suelo retenido en la malla N° 4 es más del 20 % y 20 % o menos por peso es retenido en la malla de 9,5 mm	591,3 KN-m/m ³ Porción que pasa la malla de 19 mm. Se usa su más de 20% por peso del material es retenido en la malla de 9,5 mm, y menos de 30 % por peso es retenido en la malla de 19 mm

Fuente: MTC, 2014

f. CBR (California Bearing Ratio).

El resultado, índice CBR, es la capacidad de soporte del suelo, Según la norma ASTM D 1883, el CBR se trata de un ensayo en el que el suelo se somete a la penetración de un vástago cilíndrico a una velocidad constante. Por cada espécimen de suelo se calculan dos valores de CBR como se muestra en la figura 9, uno a 0,1” de penetración, y el otro a 0,2” de penetración. La ASTM recomienda reportar el de 0,1” mientras este sea menor que el de 0,2”. En el caso en el que el valor de CBR para 0,1” fuera mayor que el de 0,2” habría que repetir el ensayo para ese espécimen.

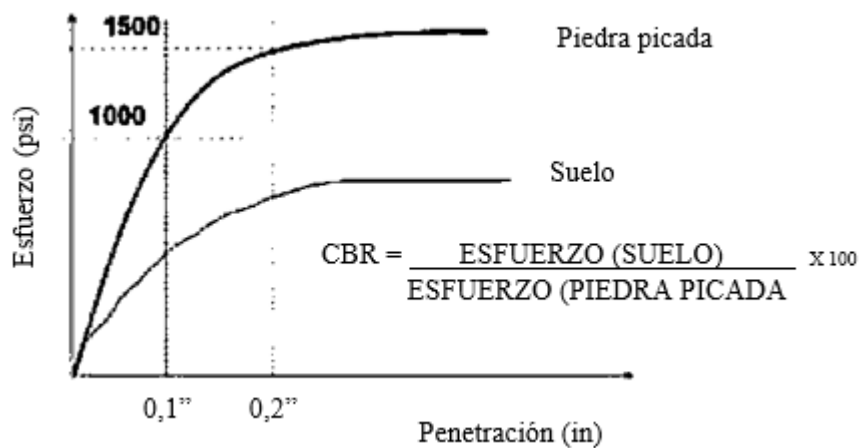


Figura 9. Determinación de la relación de soporte CBR

Fuente: Bañon y Bevia, 2010

g. *Ensayo de módulo resiliente.*

Para obtener el módulo resiliente a partir del CBR, se empleará la siguiente ecuación que correlaciona el M_r – CBR, mediante las ecuaciones de la tabla 7 y tabla 8.

Tabla 7

Determinación del módulo resiliente según CBR

Descripción	Ecuación
Para CBR < 10 %	$M_R(\text{psi}) = 1\ 500 \times \text{CBR}$
Para CBR de 10 % a 20 %	$M_R(\text{psi}) = 3\ 000 \times \text{CBR}^{0.65}$
Para CBR > 20 %	$M_R(\text{psi}) = 4\ 326 \times \text{Ln CBR} + 241$

Fuente: AASHTO, 1993.

Tabla 8

Determinación del módulo resiliente para todo tipo de casos de CBR

Descripción	Ecuación
Para todos los casos	$M_R(\text{psi}) = 2\ 555 \times \text{CBR}^{0.64}$

Fuente: AASHTO, 2002.

El ensayo del módulo resiliente es similar a un ensayo triaxial, se aplica un esfuerzo desviador cíclico a la muestra previamente confinada. El esfuerzo desviador está en función de la velocidad, carga y confinamiento (Ordóñez y Minaya, 2006, p. 10).

El esfuerzo desviador está en función de la velocidad directriz de la vía. Si el vehículo se desplaza lentamente, como en zonas agrestes de fuertes pendiente (carretera central, velocidad entre 10 a 20 Km/h), el terreno de fundación podrá deformarse mucho más que en el caso el vehículo circulase rápidamente (Ordóñez y Minaya, 2006, p. 10) y en la figura 10 vemos el equipo de triaxial usado para el ensayo de resiliencia.

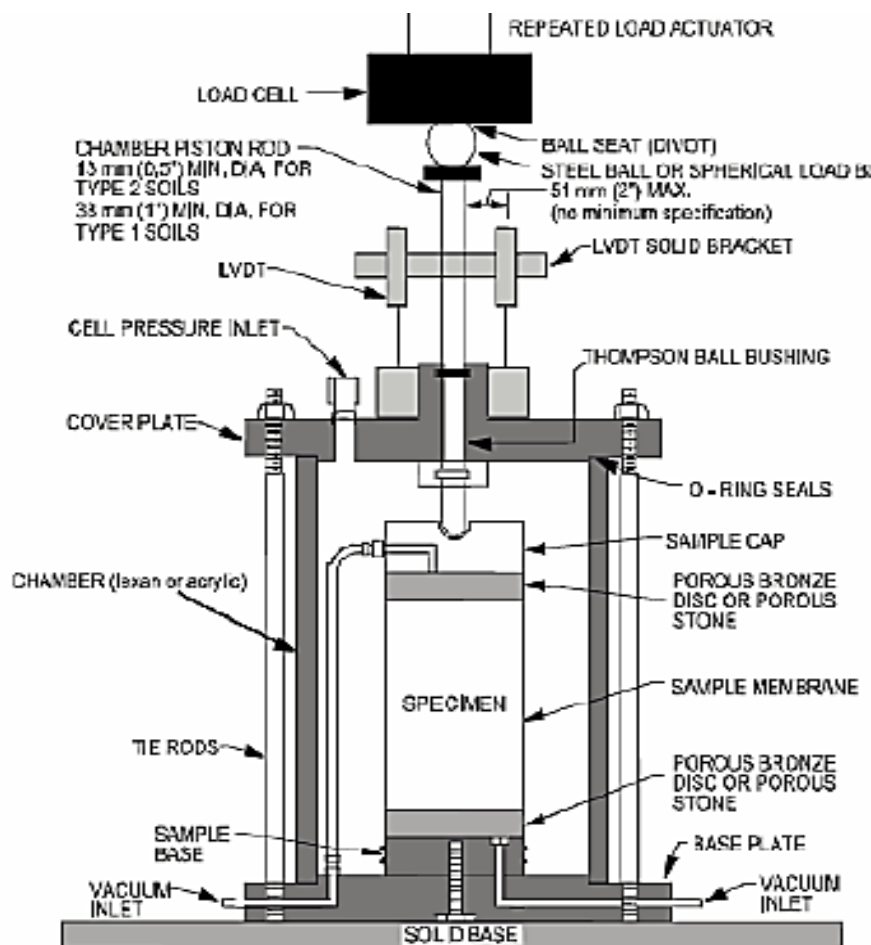


Figura 10. Celda triaxial cíclica ensayo de resiliencia.

Fuente: Ordóñez y Minaya, 2006.

2.2.2. Capacidad de soporte del suelo.

La capacidad de soporte del suelo es el grado de resistencia que tiene el suelo ante una fuerza o impacto, mayormente es usado en el diseño de carreteras.

Los reglamentos estatales en EE.UU. recomiendan que el valor CBR de la subrasante debe ser como mínimo 8 y 10 % caso contrario, se deberá primero estabilizar el terreno antes de construir la estructura del pavimento (Ordóñez y Minaya, 2006, p. 29).

2.2.2.1. Estabilización de suelo.

La estabilización de suelos se puntualiza como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Para suelos inadecuados o pobres, en este caso son los más conocidas y utilizaos como estabilización suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto y otros productos diversos (MTC, 2014, p. 92).

2.2.2.2. Criterios geotécnicos para establecer la estabilización de suelos.

Se considerarán como suelos aptos para capas de sub rasante a los suelos con CBR mayor al 6 %. (Leiva, 2016, p. 26). Para indicar que tipo de estabilizante es preciso establecer el tipo de suelo existente. Los suelos que se encuentran en este ambiente son: los limos, las arcillas, o las arenas limosas o arcillosas.

A continuación se presenta tabla 9 y tabla 10 siendo guías para la selección de un estabilizante, que satisfaga la necesidad del tipo de suelo hallado, cumpliendo así con el MTC.

Tabla 9

Guía referencial para la selección del tipo de estabilizador

Área	Clase de suelo	Tipo de estabilizador recomendado	Restricción en LL y IP del suelo	Restricción en el porcentaje que < 200	Observaciones
1 A	SW o SP	(1) Asfalto			
		(2) Cemento Portland			
		(3) Cal – Cemento – Cenizas volantes	IP no excede de 25		
1 B	SW – SM o SP – SM o SW – SC o SP - PC	(1) Asfalto	IP no excede de 10		
		(2) Cemento Portland	IP no excede de 30		
		(3) Cal	IP no excede de 12		
		(4) Cal – Cemento – Cenizas - Volantes	IP no excede de 25		
1 C	SM o SC o SM - SC	(1) Asfalto	IP no excede de 10	No debe exceder el 30% en peso	
		(2) Cemento Portland	(b)		
		(3) Cal	IP no menor de 12		
		(4) Cal – Cemento – Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2 A	GW o GP	(1) Asfalto			Solamente material bien graduado
		(2) Cemento Portland			El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la malla N° 4
		(3) Cal – Cemento – Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2 B	GW – GM o GP – GM o GW – GC o GP – GC	(1) Asfalto	IP no excede de 10		Solamente material bien graduado
		(2) Cemento Portland	IP no excede de 30		El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la malla N° 4
		(3) Cal	IP no menor de 12		
		(4) Cal – Cemento – Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2 C	GM o GC o GM – GC	(1) Asfalto	IP no excede de 10	No debe exceder el 30% en peso	Solamente material bien graduado
		(2) Cemento Portland	(b)		El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la malla N° 4
		(3) Cal	IP no menor de 12		
		(4) Cal – Cemento – Ceniza	IP no excede de 25		
3	CH o CL o MH o ML o CH o OL o ML –CL	(1) Cemento Portland	LL no menor de 40 IP no menor de 20		Suelos orgánicos y fuertemente ácidos contenidos en esta área no son susceptibles a la estabilización por métodos ordinarios.
		(2) Cal	IP no menor de 12		
$IP = \frac{IP + 20 + (50 - \text{porcentaje que pasa la malla } N^{\circ} 200)}{4}$			Sin restricción u observación		
			No es necesario aditivo estabilizador	Fuente: US Army Corps of Engineers	

Fuente: MTC, 2014.

Tabla 10

Guía complementaria referencial para la selección del tipo de estabilizador

Tipo de estabilizador recomendado	Norma técnica	Suelos(1)	Dosificación(3)	Curado (apertura al tránsito)(5)	Observaciones
Cemento	EG – CBT- 2008 Sección 3068 ASTM C150 AASHTO M85	A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 Y A-7 LL>40 % IP≥18 % CMO (2) < 1,0 % Sulfatos (SO4²) < 0,2 % Abrasión < 50 % Durabilidad SO4 CA(4) - AF ≤ 10 % - AG ≤ 12 % Durabilidad SO4 MG - AF ≤ 15 % - AG ≤ 18 %	2,12 %	7 días	Diseño de mezcla acuerdo a recomendaciones de la PCA (Portland Cement Association)
Emulsión	ASTM D2397 o AASHTO M208	A-1,A-2 y A-3 Pasante malla N° 200 ≤ 10 % IP ≤ 8 % Equiv. Arena ≥ 40 % CMO(2) < 10 % Sulfatos (SO4²) < 0.6 % Abrasión < 50 % Durabilidad SO4 CA(4) - AF ≤ 10 % - AG ≤ 12 % Durabilidad SO4 MG - AF ≤ 15 % - AG ≤ 18 %	4 – 8 %	Mínimo 24 horas	Cantidad de aplicación a ser definida de acuerdo a resultados del ensayo Marshall modificado o Illinois
Cal	EG-CBT-2608 Sección 3678 AASHTO M216 ASTM C9777	A-2,A-2-7, A-6 y A-7 10 % ≤ IP ≤ 50 % CMO(2) < 3.0 % Sulfatos (SO4²) < 0.2 % Abrasión < 50 %	2 – 8 %	Mínimo 72 horas	Para IP > 50 %, se puede aplicar cal en dos etapas. Diseño de mezcla de acuerdo a la Norma ASTM D 6276.
Cloruro de Calcio	ASTM D98 ASTM D345 ASTM E449 MTC E1109	A-1, A-2 y A-3 IP ≤ 15 % CMO(2) < 3.0 % Sulfatos (SO4²) < 0.2 % Abrasión < 50 %	1 a 3 % en peso del suelo seco	24 horas	
Cloruro de Sodio	EG- CBT -2008 Sección 309B ASTM E534 MTC E 1109	A-2-4, A-2-5 ,A-2-6, A-27 8 % ≤ IP ≤ 15 % 4.5 < Ph < 8.5 CMO(2) < 3.0 % Abrasión < 50 %	50 -80 kg/m³	07 días	La cantidad de sal depende de los resultados (dosificación) y tramo de prueba.
Cloruro de Magnesio	MTC E 1109	A-1, A-2 y A-3 IP ≤ 15 % CMO(2) < 3.0 % PH: mínimo 5 Abrasión < 50 %	50 – 80kg/m³	48 horas	La cantidad de sal depende de los resultados de laboratorio (dosificación) y tramo de prueba
Enzimas	EG-CBT-2008 Sección 308B MTC E 1109	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7 6% ≤ IP ≤ 15 % 4.5 < pH < 8.5 CMO(2) no debe de contener Abrasión < 50 % % < N° 200: 10 – 35 %	1L/30-33m³	De acuerdo a especificaciones del fabricante	
Aceites Sulfonados		Aplicable en suelos con partículas finas limosas o arcillosas, con LL bajo, arcillas y finos muy plásticos CMO(2) < 1.0 % Abrasión < 50 %		De acuerdo a especificaciones del fabricante	

- (1) Espesor de tratamiento por capas de 6 a 8”
Tamaño máximo: 2”, debe carecer de restos vegetales
Los suelos naturales, materiales de bancos de préstamo o mezcla de ambos que sean objeto de estabilización, deben estar definidos en el Expediente Técnico del proyecto.
- (2) CMO: Contenido de materia orgánica
- (3) Los diseños o dosificaciones deben indicar: formula de trabajo, tipo de suelo, cantidad de estabilizador, volumen de agua, valor de CBR o resistencia a compresión simple o resultados de ensayos Marshall modificado o Illinois, según corresponda al tipo de estabilizador aplicado.
- (4) Para altitudes mayores a 3000 msnm
- (5) Después de finalizado el proceso de compactación.

Fuente: MTC, 2014.

a. Estabilización mecánica de suelos.

En este caso la estabilización mecánica de suelos es mejorar el suelo existente sin un cambio de la estructura, como herramienta se usa la compactación reduciendo los vacíos que haya en el suelo.

b. Estabilización por combinación de suelos.

Es la combinación de materiales del suelo existente disgregado en un espesor de 15 cm colocándose el material de préstamo. (MTC, 2014).

c. Estabilización por sustitución de los suelos.

El suelo al construirlo sobre el suelo nuevo es reemplazado por un material adecuado, cumpliendo los parámetros dados por el MTC.

En el primer caso, el suelo es retirado con una profundidad de 15 cm, una vez retirado se pasa se verifica si el suelo cumpla con los rendimientos requeridos. En el segundo caso, el mejoramiento con material totalmente adicionado implica la remoción total del suelo natural existente, de acuerdo al espesor de reemplazo.

d. Suelos estabilizados con cal.

El suelo – cal se obtiene con la mezcla del suelo, cal y agua, donde al mezclarlo con la cal tiende a volver más friable y granular, aumentando su límite plástico y humedad. Tiende a fisurarse en algunas ocasiones pero esto se debe cuando la carretera se ubica en zonas calurosas; razón por la cual es fundamental considerar el curado de estas capas estabilizadoras con cal (MTC, 2014).

e. Suelos estabilizados con cemento.

El material llamado suelo – cemento se obtiene con la mezcla de cemento, agua y otras eventuales adiciones, seguida de una compactación y un curado adecuados. Volviéndose así el suelo más rígido teniendo una resistencia más alta y un módulo de elasticidad de elasticidad más bajo que el concreto. (MTC, 2014).

f. Suelos estabilizados con escoria.

Hoy día las escorias de acería o de otros hornos de fundición se emplean en muchas partes de mundo, en la fabricación del cemento, como agregados en la fabricación de hormigón, como material de base y sub base en los pavimentos, en la estabilización de sub rasantes, en la carpeta asfáltica formando parte de ligante bituminoso; en la agricultura también se ha encontrado aplicación, así como en el tratamiento de aguas residuales. Al emplearse este sub producto en construcción de infraestructura vial se evita explotar nuevas canteras, manteniendo el paisaje de la zona; como no requiere procesar los agregados se reduce el consumo de energía y combustibles y se reducen las emisiones de CO₂ al ambiente (MTC, 2014).

g. Estabilización con cloruro de sodio.

El principal uso de la sal es como control del polvo en bases y superficies de rodadura para tránsito ligero. También se utiliza en zonas muy secas para evitar la rápida evaporación del agua de compactación. La mezcla sobre la vía es el conjunto de operaciones que, mediante la mezcla sobre la plataforma de la vía del suelo con la sal y con el agua, utilizando el equipo adecuado, permite obtener la mezcla de suelo – sal que satisfaga los requisitos establecidos. Para mezclar es más adecuado

el uso de rastras con discos rotatorios. La compactación se puede iniciar en cualquier momento luego de perfilado la superficie con el equipo adecuado al tipo de suelo. Cuando se observe que se ha perdido la sal por efecto del tránsito o las lluvias, la superficie debe rociarse con 450 g de sal por cada metro cuadrado (MTC, 2014).

h. Estabilización con cloruro de calcio.

Este producto trabaja de forma similar a la sal común, pero es preferible debido al efecto oxidante que tiene el cloruro de sodio. En todo caso, el cloruro de calcio ayuda al proceso de compactación y contribuye con la resistencia del suelo, previene el desmoronamiento de la superficie y es un pallativo del polvo (MTC, 2014).

i. Estabilización con cloruro de magnesio.

El cloruro de magnesio (MgCl) es un cloruro en forma de cristales de color blanco, más efectivo que el cloruro de calcio para incrementar la tensión superficial produciendo una superficie de rodado más dura. Químicamente, el cloruro de magnesio está constituido aproximadamente por un 10,5 % de magnesio, un 33,5% de cloro, un 52 % y un 4 % de impurezas, grasoso al tacto por su gran contenido de humedad. En los caminos pavimentados, el cloruro de magnesio puede utilizarse para prevenir la formación de hielo sobre la calzada, o bien para derretir hielo sobre el pavimento, debido a que permite bajar el punto de congelamiento del agua e impedir la formación de hielo, a temperaturas ambientales por debajo de los -5 °C (MTC, 2014).

j. Estabilización con productos asfálticos.

La mezcla de un suelo con un producto asfáltico puede tener como finalidad:

Un aumento de su estabilidad por las características aglomerantes del ligante que envuelve las partículas del suelo.

Una impermeabilización del suelo, haciéndolo menos sensible a los cambios de humedad y por tanto más estable en condiciones adversas.

El proceso de curado en la estabilización con asfalto tiene una gran importancia, depende de muchas variables, como cantidad de asfalto aplicado, humedad y viento, cantidad de lluvias y la temperatura ambiente; razón por la cual es fundamental considerar el curado de estas capas estabilizadas o tratadas con asfalto (MTC, 2014).

k. Estabilización con geosintéticos.

A diferencia de los suelos, los geosintéticos proporcionan resistencia a la tracción y una mejora significativa en el rendimiento y construcción de pavimentos.

2.2.3. Sistema Rocamix

El Sistema ROCAMIX es un sistema de estabilización y de impermeabilización de suelos que se diferencia de los métodos tradicionales porque torna la compactación del suelo en estado totalmente irreversible. El producto ROCAMIX consiste en una solución acuosa de aceites sulfonados, que al incorporarse al mismo suelo del lugar produce en él cambios fundamentales, químicos físicos de estructura, condicionándolo para alcanzar elevados índices CBR y compactaciones superiores

al 110 % del proctor, aumentando la capacidad portante y la resistencia al esfuerzo cortante. Estos cambios afectan principalmente a la fracción coloidal de las arcillas y al agua contenida en el suelo, en partículas al agua higroscópica distribuida sobre las superficies de las partículas del suelo, al agua retenida por tensión superficial en los puntos de contacto de las partículas y al agua capilar infiltrada en los poros entre ellas (Hernández, 2012, p. 14)

2.2.3.1. Composición del Sistema Rocamix.

El sistema ROCAMIX está compuesto por dos productos:

- Aditivo sólido: Es una mezcla de cemento Portland.
- Producto ROCAMIX: Es un compuesto líquido concentrado, semi-viscoso, formado por la mezcla de monómeros y polímeros con catalizadores aceleradores de penetración.

2.2.3.2. Aplicaciones del Sistema Rocamix.

Este Sistema plantea numerosas aplicaciones utilizando el mismo suelo del lugar, según esto las podemos agrupar de la siguiente forma: (www.rocamix.com)

a. Estabilizaciones.

Se plantea que con las bases estabilizadoras construidas con este sistema se obtienen:

- Autopistas
- Carreteras
- Pistas de aeropuerto

- Parqueos
- Áreas de ocio
- Áreas deportiva
- Base de almacenamiento
- Basureros
- Estabilización de taludes
- Relleno de zanjas
- Canalizaciones

b. Impermeabilizaciones.

El agua es uno de los problemas más importantes que existen en el mundo actualmente, es por eso que este Sistema se puede utilizar en la impermeabilización de:

- Presas
- Lagos
- Acueductos
- Rehabilitaciones de redes
- Embalses para piscicultura
- Estanques de agua de mar
- Otros tipos de embalses.

2.2.3.3. Método de aplicación del sistema ROCAMIX.

Para la construcción de carreteras se considera lo siguiente:

- Creación de la forma del camino y escarificación del suelo.

- Luego se riega con ROCAMIX.
- Distribución de las bolsas de cemento según la cantidad prevista se puede mecanizar
- Vaciado del contenido de las bolsas de cemento se puede mecanizar.
- Se mezcla cuidadosamente (en este caso con arado de discos)
- Compactación del suelo con rodillo de pata de cabra-si necesario.
- Compactación final con rodillo neumático
- Tratamiento superficial con riego asfáltico tipo R-1.
- Riego de distribución con material árido.

2.2.3.4. Dosificación del Sistema ROCAMIX + cemento en dependencia de la clasificación del suelo.

En la figura 11 vemos la clasificación de los suelos por AASHTO/SUCS y con el sistema ROCAMIX, para la dosificación de su utilización.

CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS metodología AASHTO /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
<p>¡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</p>							<p>Los suelos A-7-5 y A-7- 6 si tienen humedades por encima de la óptima deben ser secados antes el ensayo.</p>				
<p>¡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</p>											

Figura 11. Clasificación de los suelos metodología AASHTO /SUCS y SISTEMA ROCAMIX
Fuente: ROCAMIX, 2010.

2.3. Definición de términos.

Subrasante: Es la capa natural que soporta la estructura vial (AASHTO, 1993).

Estabilización de suelo: Es el mejoramiento de las propiedades que se encuentran en el suelo a través mecanismos químicos, naturales entre otro (MTC, 2013).

Sistema Rocamix: Es un aditivo químico que estabiliza e impermeabiliza el suelo

Clasificación de suelos: Es la determinación y cuantificación de las diferentes propiedades de un suelo, efectuadas mediante ensayos, teniendo como objetivo establecer una división sistemática de los diferentes tipos de suelos existentes atendiendo a la similitud de sus características físicas (Bañon y Bevia, 2010).

SUCS: Es un Sistema Unificado de Clasificación de suelos, desarrollada en EE.UU. adoptado por la ASTM (American Society of Materials) como parte de sus métodos normalizados (Bañon y Bevia, 2010).

AASHTO: Es un sistema de clasificación denominada American Association of State Highway and Transportation officials, desarrollada en EE.UU., utilizada más para carreteras (Bañon y Bevia, 2010).

Contenido de humedad: Es la relación del peso del agua contenida en el suelo, esto podemos expresar en porcentajes, determinándolo mediante el secado de una muestra del suelo en horno.

Índice de plasticidad: Es la diferencia numérica entre el límite líquido y límite pastico, indicando los márgenes que trabaja el agua en la arcilla si fuese el caso. (Bañon y Bevia, 2010).

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Tipo de la investigación

Tipo aplicada, con un nivel de investigación descriptiva.

3.2. Diseño de la investigación

Experimental.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población es la subrasante entre la prolongación de la Av. San Antonio de Padua y de la calle 04 de la asociación de vivienda de 2 de octubre del centro poblado San Antonio del distrito de Moquegua de la provincia de Mariscal Nieto de la región de Moquegua.

3.3.2. Muestra

La muestra será obtenida mediante tres calicatas con una profundidad mínima de 1,6 m y un máximo de 1,80 m entre la prolongación de la Av. San Antonio de Padua

y de la calle 04 de la asociación de vivienda 2 de octubre del C. P. San Antonio – Moquegua.

3.3.2.1. Tipo de muestra.

Es una muestra no probabilística e intencional, porque se escoge sus unidades no en forma fortuita, sino en forma arbitraria, designando a cada unidad según características que al investigador resulten de relevancia (Sabino, 1996).

3.3.2.2. Tamaño de muestra.

Según CE-010 pavimentos urbanos (SENCICO, 2010, pág., 14), nos indica que según tipo de vía, en nuestro caso es colectora se debe de realizar como mínimo un punto de investigación en un área 3000 m².

En el cuadro 4.1 del manual de carreteras – suelos, geología, geotecnia y pavimentos – Sección suelos y pavimentos, 2014 en la pág. 26 nos indica que para una carretera de bajo volumen de tránsito carreteras con un IMDA ≤ 200 veh/día, de una calzada es una 1 calicata x km.

En la investigación se analizó 03 calicatas en la vía, con el propósito de encontrar una mejor referencia de las propiedades geotécnicas del área de estudio.

3.3.2.3. Número de ensayos requeridos para la caracterización de la resistencia de la sub rasante.

Cantidad total de ensayos realizados se verá en la tabla 11, que se presentara a continuación:

Tabla 11*Cantidad de ensayos realizados en laboratorio.*

Ensayos de laboratorio	Cantidad		
	C - 01	C - 02	C - 03
Ensayos estándares			
Análisis granulométrico por tamizado (M.T.C – E107, ASTM D-422)	01	01	01
Clasificación SUCS (ASTM D-2487)	01	01	01
Clasificación de suelos AASHTO (ASTM D-3282)	01	01	01
Humedad de suelo y rocas en el laboratorio (M.T.C – E108, ASTM D-2216)	01	01	01
Ensayo de límite líquido de los suelos (M.T.C – E110, ASTM D-4318)	01	01	01
Ensayo de límite plástico de los suelos e Índice de plasticidad (M.T.C – E111, ASTM D-4318)	01	01	01
Peso específico y absorción de Agr. grueso (M.T.C – E206)	01	01	01
Método de ensayo estándar para la gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua (ASTM D-854, MTC – E113)	01	01	01
Ensayos químicos			
Sales solubles (M.T.C – E219)	01	01	01
Cloruros (ASTM D – 512)	01	01	01
Sulfatos (ASTM D – 516)	01	01	01
PH (M.T.C – E129)	01	01	01
Ensayos especiales			
Ensayo de proctor modificado (M.T.C – E115, ASTM D-1557)	01	01	01
Densidad del suelo INSITU mediante el método del cono de arena (MTC E-117)	01	01	01
Equivalente de arena (M.T.C – E114, ASTM D-2419)	01	01	01
Ensayo para determinar la densidad y peso unitario del suelo INSITU mediante el cono de arena (ASTM D1556, MTC E-117)	01	01	01
Ensayo de CBR (M.T.C – E132, ASTM D-1883)	01	01	01
Ensayo de expansión libre (M.T.C – E132, ASTM D – 4546)	01	01	01
Cantidad de ensayos de sub rasante más adición del sistema rocamix (cemento + líquido rocamix)			
Ensayo de CBR (M.T.C – E132, ASTM D-1883)	-	03	-
Ensayo de expansión libre (M.T.C – E132, ASTM D – 4546)	-	03	-
Cantidad de ensayos de sub rasante más adición de cemento			
Ensayo de CBR (M.T.C – E132, ASTM D-1883)	-	01	-
Ensayo de expansión libre (M.T.C – E132, ASTM D – 4546)	-	01	-
Cantidad de ensayos de sub rasante más adición de cal			
Ensayo de CBR (M.T.C – E132, ASTM D-1883)	-	01	-
Ensayo de expansión libre (M.T.C – E132, ASTM D – 4546)	-	01	-

3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos

Los instrumentos que se utilizarán son:

- Equipos de campo: equipos requeridos en muestreo de suelos y rocas (MTC E101) y obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo) (MTC E105).
- Equipos de laboratorio para los ensayos de suelos, según cada ensayo normado en la MTC según manual de ensayo de materiales (2016)
- Manuales según ministerio de transporte y comunicaciones
- Equipo de cómputo: para el proceso de datos.
- Información bibliográfica: según referencias bibliográficas

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados

Para la presentación de los resultados se llevó a cabo el siguiente procedimiento Metodológico mostrado en la figura 12.

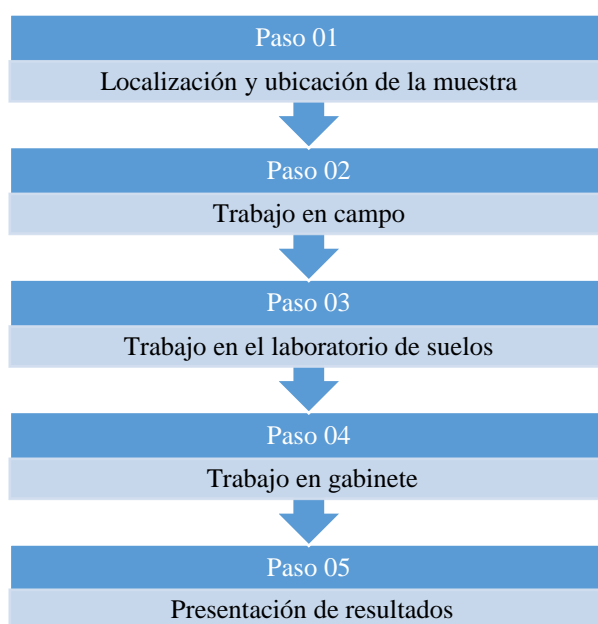


Figura 12. Procedimiento metodológico para el análisis e interpretación de resultados

4.1.1. Localización y ubicación de la muestra

El “Mejoramiento de la capacidad de soporte del suelo a nivel de subrasante a través de la utilización del sistema rocamix” tiene la siguiente ubicación geográfica:



Figura 13. Localización y ubicación de calicatas

4.1.2. Trabajo de campo

Se ha realizado actividades en campo, llevando así un registro de las calicatas realizadas, anotando los espesores de los estratos encontrados, tales como forma y textura, ejecutando la estratigrafía de cada calicata (ver apéndice B) y obteniendo la clasificación de los suelos (SUCS Y AASHTO), corroborándolo en laboratorio con ensayos.

Se obtuvo de las calicatas material suficiente para realizar los distintos ensayos en laboratorio correspondiente, siendo identificadas y embaladas para su traslado al laboratorio según norma MTC – E 101.

4.1.2.1. Calicatas.

Se realizaron tres (03) calicatas en el área que se desarrollara la investigación, realizando una profundidad de 1,60 m como mínimo y 1,80 m como máximo distribuidas convenientemente en la vía según la distribución de las manzanas de la asociación de vivienda 2 de octubre con el objetivo de obtener las características y propiedades de la subrasante de este modo también se realizara el Perfil Estratigráfico del suelo en estudio, en la tabla 12 apreciaremos el cuadro de coordenadas de las calicatas realizadas.

Tabla 12

Cuadro de coordenadas de las calicatas realizadas

Descripción	Progresiva (km)	Lado	Profundidad (m)	Coordenadas (UTM)	
				Norte	Este
Calicata - 1	0+000,00	Izq.	1,60	8096379,00	293977,48
Calicata - 2	0+100,16	Izq.	1,60	8096434,04	293986,11
Calicata - 3	0+155,87	Der.	1,80	8096280,41	293959,81

Las calicatas se realizaron de la siguiente manera:

- Calicata 01: Se realizó en la progresiva 0+000, al lado izquierdo de la vía, donde se detectó según su clasificación la presencia de un suelo granular, siendo este una arena mal graduada con arcilla y limo con grava, a una profundidad de 1,60 m, realizándose el perfil estratigráfico (ver apéndice B), de dicha calicata se extrajo cinco (05) sacos de material para realizar los ensayos en laboratorio.



Figura 14. Visualización de la calicata 01 durante su recojo de muestra.

- Calicata 02: Se realizó en la progresiva 0+100,16 al lado izquierda de la vía, donde se vio la presencia de un suelo granular, su clasificación es una arena mal graduada limo arcilla con grava, con una profundidad de 1,60 m, realizándose el perfil estratigráfico (ver apéndice B), de dicha calicata se extrajo diez (10) sacos de material para realizar los ensayos en el laboratorio.

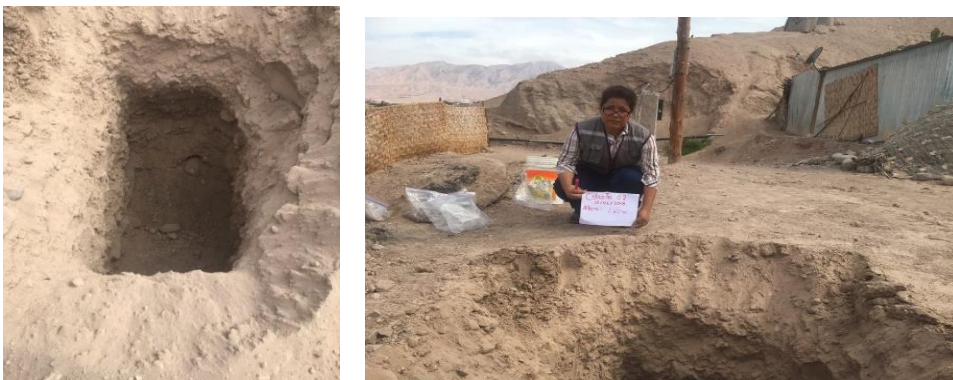


Figura 15. Visualización de la calicata 02 durante el recojo de muestra

- Calicata 03.- Se realizó en el km 0+155,87, al lado derecha de la vía, donde se detectó la presencia de un suelo granular, estando dentro de la clasificación de una arena mal graduada limo arcilla con grava a una profundidad de 1,80 m, realizándose el perfil estratigráfico de está (ver apéndice B), de dicha calicata se extrajo nueve (09) sacos de material para realizar los ensayos en laboratorio.



Figura 16. Visualización de la calicata 03 durante el recojo de muestra.

En campo también se desarrolló el ensayo de densidad del suelo INSITU mediante el método del cono de arena (MTC E-117) aplicándolo en las tres (03) calicatas.

4.1.3. Trabajo en el Laboratorio de Suelos

Se han realizado ensayos en dos instalaciones:

4.1.3.1. Laboratorio de materiales, concreto y mecánica de suelos de la carrera profesional de Ingeniería Civil de la Universidad José Carlos Mariátegui.

La cantidad de ensayos realizados en el laboratorio M.C.M.S. de la Universidad José Carlos Mariátegui, fueron supervisados y visados por el jefe del laboratorio el

Dr. Guido Elar Ordoñez Carpio, a continuación se mostrará cada ensayo realizado en las instalaciones.

- Análisis granulométrico de suelos por tamizado (MTC E107, ASTM D 422 – standard test method for particle – size analysis of soils.).



Figura 17. Tamices utilizados y material ya separados en el ensayo de análisis granulométrico

- Humedad de suelo y rocas en el laboratorio (MTC E108, ASTM D 2216 – standard test method of laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock.).



Figura 18. Contenido de humedad de las tres (03) calicatas realizadas.

- Determinación del límite líquido de suelos (MTC E110, NTP 339.129: suelos. método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos).



Figura 19. Realización del ensayo para determinar el límite líquido

- Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.) (MTC E111, NTP 339.129: suelos. método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos).



Figura 20. Realización del ensayo de límite plástico

- Peso específico y absorción de agregados gruesos (MTC E 206, NTP 400.021: Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso).



Figura 21. Realización del ensayo del peso específico y absorción del agregado grueso.

- Método de ensayo estándar para la gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua



Figura 22. Realización del ensayo estándar para la gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua

- Método de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agrado fino (MTC E 114, NTP 339.146:2000: suelos. método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo, ASTM D2919: standard test method for determining durability of adhesive joints stressed in shear by tension loading)

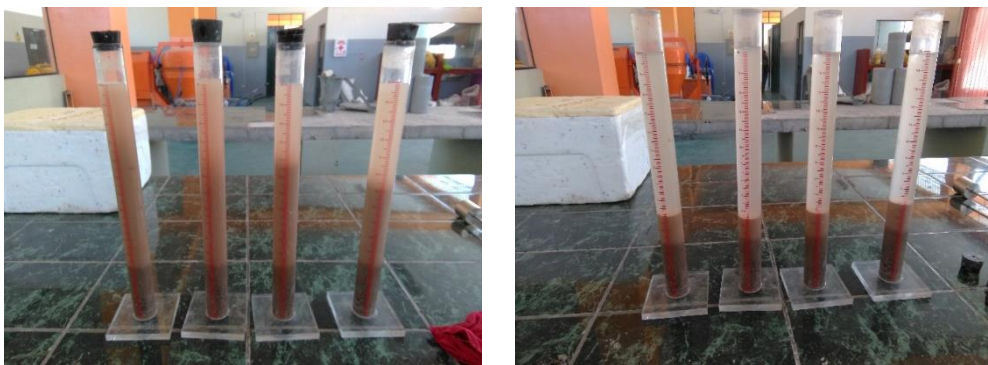


Figura 23. Realización del ensayo de equivalente de arena.

- Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada – proctor modificado (MTC E 115, NTP 339.141: Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 Kn-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³)), ASTM D 1557: estándar test methods for

laboratory compaction characteristics of soil using modified effort (2700 kn-
m/m³ (56000 pie-lbf/pie³)))



Figura 24. Realización del ensayo proctor modificado de la C-1



Figura 25. Realización del ensayo proctor modificado de la C-2



Figura 26. Realización del ensayo proctor modificado de la C-3

- CBR de Suelos (MTC E132, ASTM D1883: standard test method for cbr (california bearing ratio) of laboratory – compacted soil.)



Figura 27. Realización del ensayo de CBR

- Determinación de la expansión del material (ASTM D 4546)

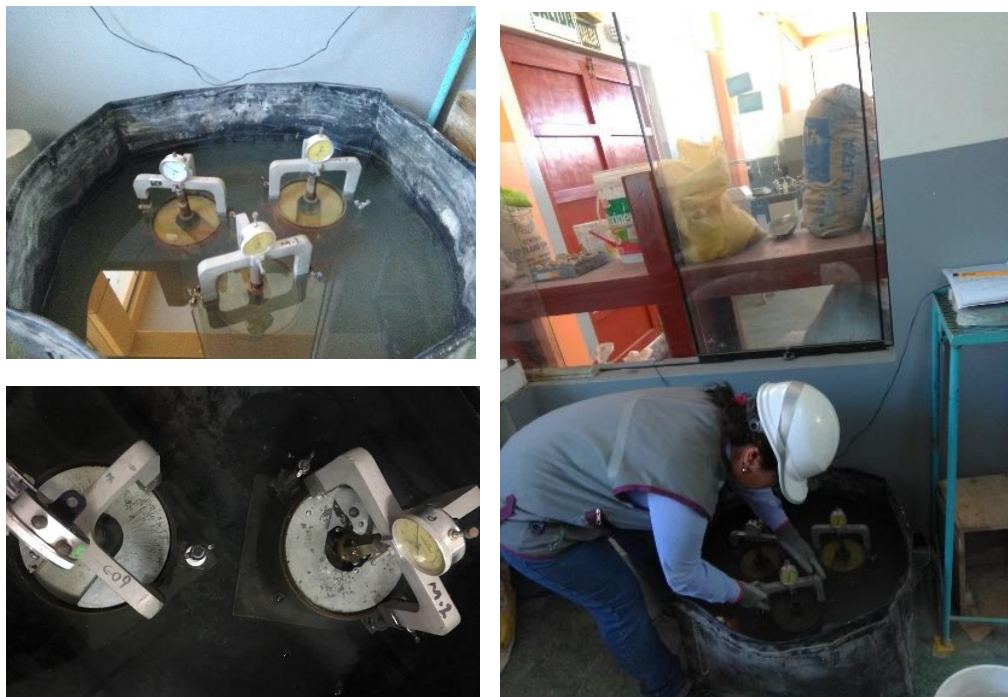


Figura 28. Muestras sumergidas en agua para determinación de la expansión del material.

- Determinación de la resistencia a la penetración



Figura 29. Determinación de la resistencia a la penetración.

4.1.3.2. La empresa privada Federico Paucar Tito E.I.R.L.

Este laboratorio privado realizó el siguiente listado de ensayos para la realización de esta tesis.

- Ensayos químicos (sales solubles - M.T.C E219, cloruros - ASTM D-512, sulfatos ASTM D516 y PH - M.T.C E129), para las tres muestras (C1, C2 y C3)
- CBR de suelos (MTC E132, ASTM D1883: standard test method for CBR (california bearing ratio) of laboratory – compacted soil.) para la muestra de la C2
- Diseño de suelo - cal.
- Diseño de suelo – cemento.

Todos los ensayos realizados contemplan su certificación, dados por laboratorio M.C.M.S. de la Universidad José Carlos Mariátegui y el laboratorio de la Empresa privada Federico Paucar Tito E.I.R.L. (ver apéndice C).

4.1.4. Trabajo en gabinete

En el registro de las excavaciones realizadas se visualiza los componentes que tiene cada una de ellas, obteniendo la clasificación AASHTO y SUCS, aspectos que se corroboran en la presentación de los certificados de cada ensayo realizado, viéndolo en el apéndice C.

4.1.5. Presentación de resultados

4.1.5.1. Efectos del Sistema Rocamix en el suelo a nivel de la subrasante.

De los resultados obtenidos tendremos que el suelo es homogéneo desde la progresiva 0+000 – 0+155,87, presentan suelos granulares, siendo una Arena mal Graduado con arcillo limosa con grava en la tabla 11, veremos los resultados obtenidos de los diferentes ensayos realizados en la tabla 13.

Tabla 13

Propiedades físicas, mecánicas y químicas del suelo

Ensayos de laboratorio / Componentes	Normas	Calicatas		
		C - 01	C - 02	C - 03
Ensayos estándares				
Análisis granulométrico de suelos por tamizado				
- % Grava	M.T.C – E107, ASTM D-422	35,31	39,77	43,27
- % Arena		57,88	52,38	46,60
- % Finos		6,81	7,85	10,13
Clasificación SUCS	NTP 339.135, ASTM D-2487	SP –SC	SP - SC	SP –SC
Clasificación de suelos AASHTO	NTP 339.134, ASTM D-3282	A-2-4	A-2-4	A-2-4
Contenido de humedad				
- % Muestra Total	M.T.C – E108,	4,00	2,20	0,60
- % Fracción >3/4”	ASTM D-2216	1,40	2,90	0,30
- % Fracción <3/4”		6,00	2,90	0,70
Ensayo de límite líquido de los suelos	M.T.C – E110, ASTM D-4318	29,00 %	24,00 %	23,00 %
Ensayo de límite plástico de los suelos	M.T.C – E111, ASTM D-4318	22,00 %	17,00 %	16,00 %
Índice de plasticidad	M.T.C – E111, ASTM D-4318	7,00 %	7,00 %	7,00 %

Tabla 13*Cantidad de ensayos realizados en laboratorio (continuación)*

Ensayos de laboratorio / Componentes	Normas	Calicatas		
		C - 01	C - 02	C - 03
Peso específico y absorción de agr. grueso				
- Peso específico (g)	M.T.C – E 206, ASTM C127	2,560	2,587	2,571
- Absorción (%)		1,40	1,60	1,40
Método de ensayo para gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua	MTC E 113, ASTM D-854	1,121 g	1,231 g	1,179 g
Ensayos Químicos				
Sales Solubles	M.T.C – E219	0,178 %	0,117 %	0,103 %
Cloruros	ASTM D – 512	0,31 %	0,34 %	0,28 %
Sulfatos	ASTM D – 516	0,03 %	0,05 %	0,025 %
pH (Potencial de hidrogeno)	M.T.C – E129	8,13	8,32	8,47
Ensayos Especiales				
Ensayo de proctor modificado				
- Densidad máxima (g/cm ³)	M.T.C – E115, ASTM D-1557	2,117	2,170	2,181
- Humedad óptima (%)		8,46	6,60	7,45
Densidad del suelo INSITU mediante el método del cono de arena				
- Densidad suelo seco	MTC E-117	3,815	1,999	2,470
- Densidad suelo húmedo		3,960	2,035	2,497
Equivalente de arena	M.T.C – E114, ASTM D-2419	63	47	42
Ensayo de CBR 95 %				
- 0,1” (%)	M.T.C – E132, ASTM D-1883	14,1	14,5	17,0
- 0,2” (%)		19,9	19,9	23,4
Ensayo de CBR 100 %				
- 0,1” (%)	M.T.C – E132, ASTM D-1883	44,0	27,8	42,7
- 0,2” (%)		58,9	38,2	61,1
Ensayo de expansión libre				
- 55 golp (%)	ASTM D –	3,9	30,1	3,9
- 26 golp (%)	4546	2,8	18,5	2,4
- 12 golp (%)		2,5	13,4	0,7

Fuente: Laboratorio de materiales, concreto y mecánica de suelos de la carrera de Ingeniería Civil,

2018.

El mejoramiento que se vio en el efecto del sistema rocamix incremento el CBR del suelo con una dosificación de 13,33 ml del aditivo rocamix más 50,83 g de cemento tipo IP se aprecia en la tabla 14.

Tabla 14

Ensayo de CBR, con el Sistema Rocamix

Ensayos de laboratorio / componentes	Normas	Calicata C-2
Ensayo de CBR 95 %		
- 0,1” (%)		66,33
- 0,2” (%)	M.T.C – E132,	71,67
Ensayo de CBR 100 %	ASTM D-1883	
- 0,1” (%)		86,60
- 0,2” (%)		102,67
Ensayo de Expansión Libre	ASTM D – 4546	0,09

Fuente: Laboratorio de Federico Paucar Tito EIRL, 2018.

4.1.5.2. Las propiedades físicas y mecánicas son la base del comportamiento de la capacidad de soporte del suelo a nivel de la sub rasante.

a. Propiedades físicas del suelo.

- *Análisis granulométrico por tamizado.*

La realización del ensayo tiene como finalidad clasificar el suelo, mediante el tamizado del material, lo apreciamos en la tabla 15 los respectivos valores de cada calicata.

Tabla 15*Análisis granulométrico, resultados finales de mallas.*

Malla		Porcentaje que pasa		
Tamiz	(mm)	C-1 (%)	C-2 (%)	C-3 (%)
5 "	125,100	100,00	100,00	100,00
4 "	101,600	100,00	100,00	100,00
3 "	75,000	98,60	100,00	97,65
2 1/2"	63,500	97,21	100,00	95,30
2 "	50,800	96,47	98,44	90,09
1 1/2 "	38,100	95,56	94,91	86,99
1"	25,400	90,82	88,61	84,08
3/4"	19,000	87,51	85,54	79,71
1/2"	12,500	80,82	77,90	73,00
3/8"	9,500	75,30	72,76	67,80
Nº 4	4,760	64,69	60,23	56,73
Nº 010	2,000	48,68	50,07	46,99
Nº 020	0,840	35,80	38,94	37,96
Nº 030	0,600	30,13	33,41	33,31
Nº 040	0,425	25,00	28,51	29,09
Nº 060	0,260	15,45	23,42	23,44
Nº 140	0,106	8,07	12,61	15,33
Nº 200	0,075	6,81	7,85	10,13

Fuente: Laboratorio de materiales, concreto y mecánica de suelos de la carrera de Ingeniería Civil, 2018.

En la tabla 16 veremos la clasificación de suelos según el tamaño de partículas

Tabla 16*Análisis granulométrico, resultados finales*

Tipo de material		Porcentaje que pasa		
		C-1 (%)	C-2 (%)	C-3 (%)
Grava	75 mm – 4,75 mm	35,31	39,77	43,27
Arena	4,75 mm – 0,075 mm	57,88	52,38	46,60
Material fino	0,075 mm – 0,005 mm	6,81	7,85	10,13

Fuente: Laboratorio de materiales, concreto y mecánica de suelos de la carrera de Ingeniería Civil, 2018.

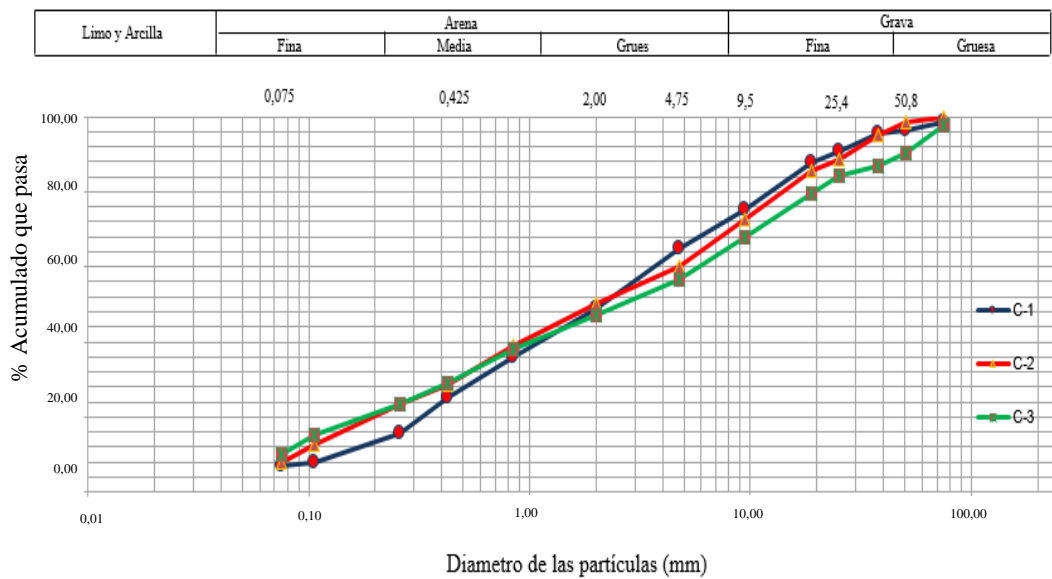


Figura 30. Curva granulométrica de las tres calicatas.

- *Contenido de humedad.*

La determinación de la humedad natural (Ensayo MTC E 108) presentada en la tabla 17, mostrando también la humedad óptima hallada mediante el ensayo del proctor modificado.

Tabla 17

Contenido de humedad, resumen de resultados

Descripción	C-1 (%)	C-2 (%)	C-3 (%)
Contenido de humedad	4,00	2,20	0,60
Óptimo contenido de humedad	8,46	6,60	7,45

Fuente: Laboratorio de materiales, concreto y mecánica de suelos de la carrera de Ingeniería Civil, 2018.

- *Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.*

En la tabla 18 mostraremos los resultados de los límites líquidos y plásticos, así como también los índices de plasticidad y poder clasificar el suelo, y ver qué tipo de estabilizante según recomendación por el MTC se realizaría el comparativo con el sistema rocamix.

Tabla 18

L.L., L.P. e Índice de plasticidad, resumen de resultados

Descripción	C-1 (%)	C-2 (%)	C-3 (%)
Límite líquido	29,00	24,00	23,00
Límite plástico	22,00	17,00	16,00
Índice de plasticidad	7,00	7,00	7,00

Fuente: Laboratorio de materiales, concreto y mecánica de suelos de la carrera de Ingeniería Civil,

2018.

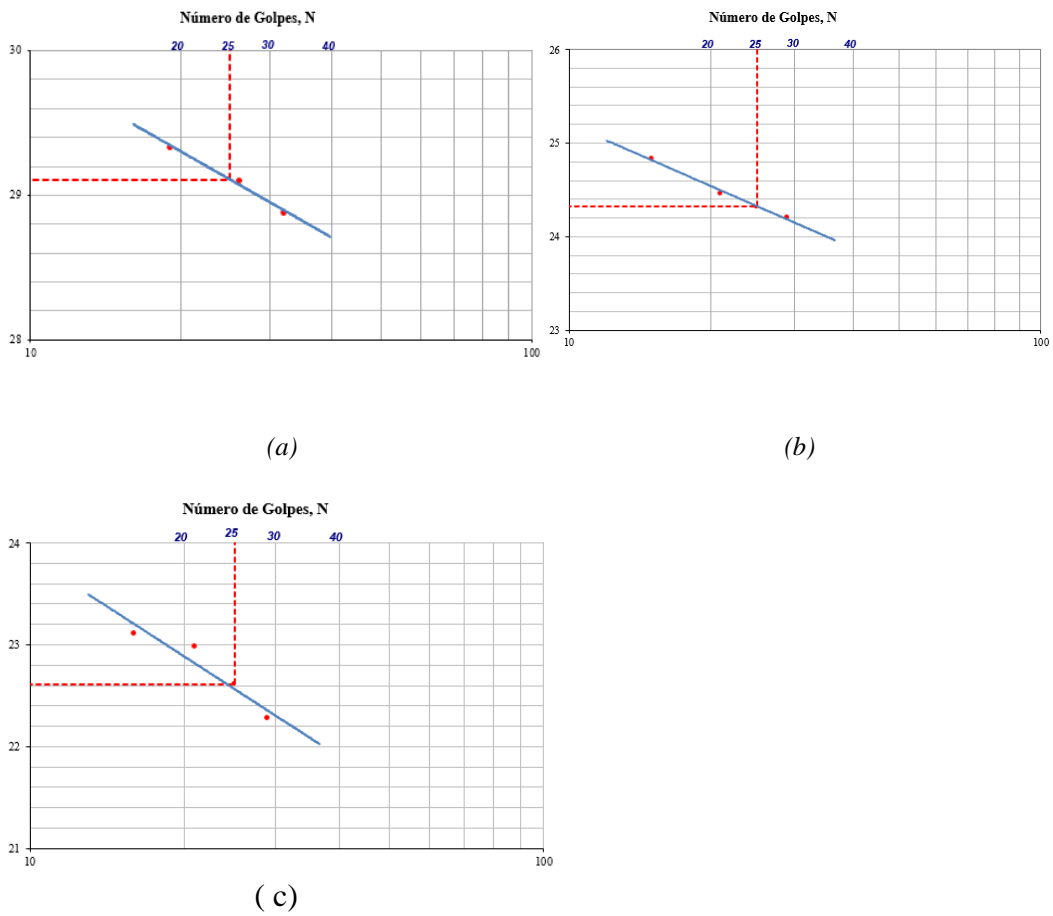


Figura 31. Límite líquido de la C-1 (a), C-2 (b) y C-3(c)

- *Clasificación de suelos.*

Se clasifico en los siguientes sistemas, teniendo en cuenta los siguientes criterios, que veremos en la tabla 19.

Tabla 19*Sistemas de clasificación de suelos – SUCS y AASHTO.*

Descripción	C-1 (%)	C-2	C-3
% que pasa N° 4	64,69	60,23	56,73
% que pasa N° 10	48,68	50,07	46,99
% que pasa N° 40	25,00	28,51	29,09
% que pasa N° 200	6,81	7,85	10,13
Límite líquido	29,11	24,50	22,79
Límite plástico	22,33	16,80	15,60
Índice plástico	6,78	7,69	7,19
Coficiente de uniformidad (Cu)	27,01	52,79	-
Coficiente de curvatura (Cc)	0,66	0,56	-
Clasificación SUCS	SP SC	SP SC	SP SC
Denominación	Arena mal graduada con arcilla y grava	Arena mal graduada con arcilla y grava	Arena mal graduada con arcilla y grava
Clasificación AASHTO	A-2-4	A-2-4	A-2-4
Denominación	Grava y arena arcillosa o limosa	Grava y arena arcillosa o limosa	Grava y arena arcillosa o limosa

Fuente: Laboratorio de materiales, concreto y mecánica de suelos de la carrera de Ingeniería Civil, 2018.

- *Peso específico y absorción de agregado grueso.*

En la siguiente tabla 20 veremos el resumen del peso específico y absorción del agregado grueso de las calicatas.

Tabla 20*Peso específico y absorción de agregado grueso, resumen de resultados*

Descripción	C-1	C-2	C-3
Peso específico (g)	2,560	2,587	2,571
Absorción (%)	1,40	1,60	1,40

Fuente: Laboratorio de materiales, concreto y mecánica de suelos de la carrera de Ingeniería Civil, 2018.

- *Método de Ensayo para gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua.*

En la tabla 21, veremos el resumen de los ensayos realizado a cada calicata.

Tabla 21

Ensayo para gravedad especifica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua, resumen de resultados

Descripción	C-1	C-2	C-3
Método de ensayo para gravedad especifica de sólidos de suelos mediante picnómetro de agua (g)	1,121	1,231	1,179

Fuente: Laboratorio de materiales, concreto y mecánica de suelos de la carrera de Ingeniería Civil, 2018.

b. Propiedades mecánicas del suelo.

- Ensayo proctor modificado.

Con este ensayo determinamos la relación contenido de humedad y peso específico seco, donde determinaremos la humedad óptima y la densidad máxima seca, a continuación veremos en la tabla 22.

Tabla 22

Resumen de resultados del ensayo proctor

Descripción	C-1	C-2	C-3
Densidad máxima seca (g/cm^3)	2,117	2,170	2,181
Humedad óptima (%)	8,46	6,60	7,45

Fuente: Laboratorio de materiales, concreto y mecánica de suelos de la carrera de Ingeniería Civil, 2018.

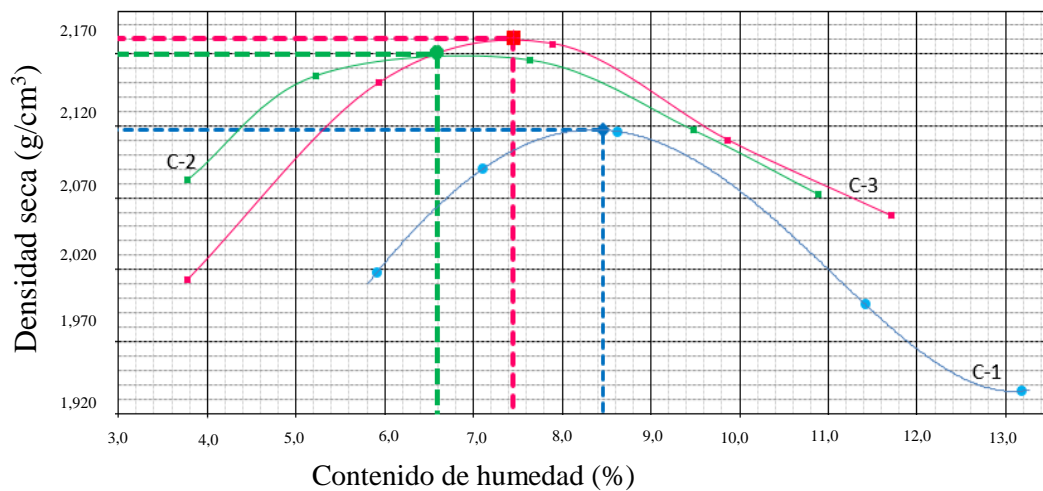


Figura 32. Resumen de la curva de humedad vs densidad

- *Ensayo de Densidad del suelo Insitu mediante el método del cono de arena.*

Con este ensayo podremos determinar la densidad seca y la densidad húmeda del suelo a continuación veremos en la tabla 23.

Tabla 23

Resumen de resultados de densidad del suelo Insitu

Descripción	C-1	C-2	C-3
Densidad del suelo seco (g/cm ³)	3,815	1,999	2,470
Densidad del suelo húmedo (g/cm ³)	3,960	2,035	2,497

Fuente: Laboratorio de materiales, concreto y mecánica de suelos de la carrera de Ingeniería Civil, 2018.

- *Equivalente de arena.*

Es una proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo o material arcilloso en los suelos o agregados finos, en la tabla 24 veremos los siguientes resultados.

Tabla 24

Resumen de resultados del ensayo de equivalente de arena

Descripción	C-1	C-2	C-3
Equivalente de arena	63	47	42

Fuente: Laboratorio de materiales, concreto y mecánica de suelos de la carrera de Ingeniería Civil, 2018.

- *CBR (California Bearing Ratio).*

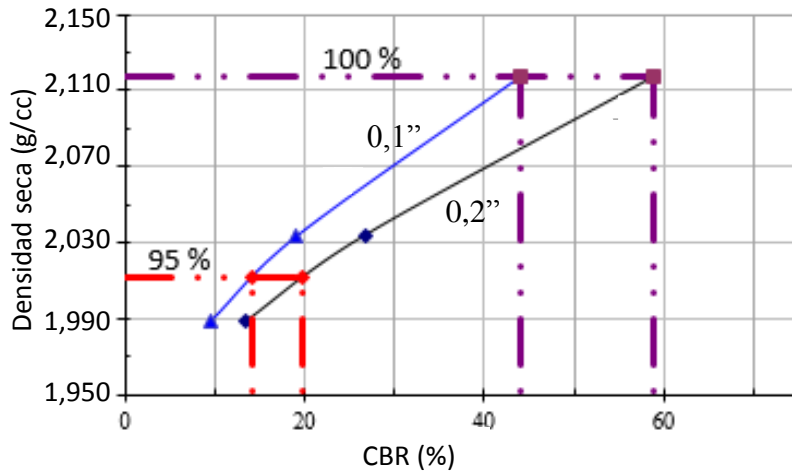
El CBR es el índice que se utiliza para determinar la capacidad de soporte de los suelos, determinando la sub rasante, en la tabla 25 veremos la capacidad de soporte sin el sistema rocamix.

Tabla 25

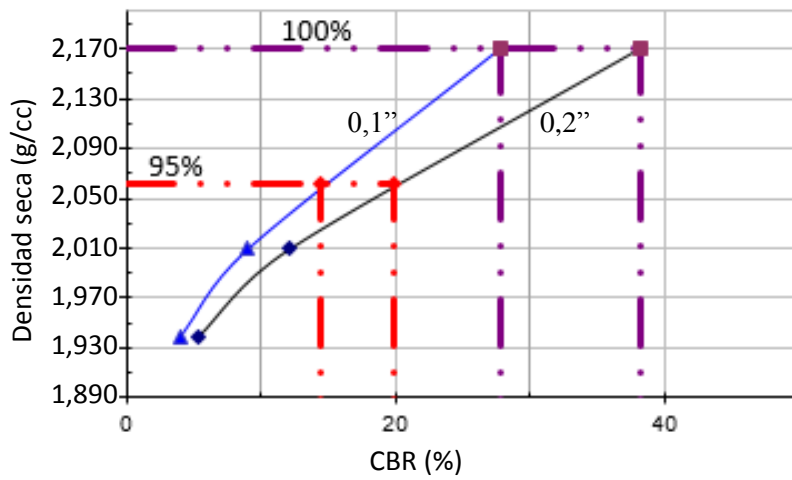
Resumen de resultados de CBR del suelo sin estabilizante.

Descripción	Penetración 0,1”		Expansión (%)
	100 % MDS	95 % MDS	
C-1	44,0	14,1	3,9
C-2	27,8	14,5	30,1
C-3	42,7	17,0	3,9

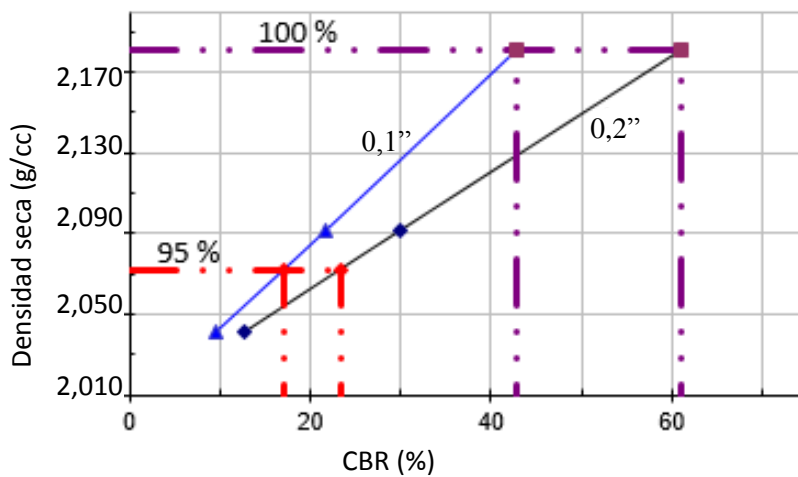
Fuente: Laboratorio de materiales, concreto y mecánica de suelos de la carrera de Ingeniería Civil, 2018.



(a)



(b)



(c)

Figura 33. De la C-1 (a), C-2 (b) y C-3 (c) es la curva densidad seca vs CBR

Aplicando la estadística en la tabla 26

Tabla 26

Resumen de resultados de CBR de las calicatas

Descripción	Penetración 0,1”		Expansión (%)
	100 % MDS	95 % MDS	
Cantidad de datos	3	3	3
Media aritmética	38,1667	15,2000	12,6333
Desviación estándar	9,0013	1,57162	15,1266
Mínimo	27,8000	14,1000	3,9000
Máximo	44,0000	17,0000	30,1000
Varianza	81,0233	2,4700	228,8133
Mediana	42,7000	14,5000	3,9000
Promedio aritmético	38,1667	15,2000	12,6333

c. Propiedades químicas del suelo.

Los análisis químicos, se desarrollaron en el laboratorio de Federico Paucar Tito EIRL, mostrados en la tabla 27, los cuales nos servirá para elegir el tipo de estabilizante recomendado por el MTC.

Tabla 27

Resumen de resultados de CBR

Descripción	C-1	C-2	C-3
Sales solubles	0,18	0,12	0,10
Cloruros	0,31	0,34	0,28
Sulfatos	0,03	0,05	0,03
pH (Potencial de hidrogeno)	8,13	8,32	8,47

Fuente: Laboratorio de Federico Paucar Tito EIRL, 2018.

4.1.5.3. Dosificación del Sistema Rocamix en el mejoramiento de la capacidad de soporte del suelo a nivel de sub rasante.

Para estudiar el comportamiento del suelo estabilizado se empleó la dosificación dada por el manual del Sistema Rocamix dado en el manual de aplicación del sistema rocamix, pág. 3, donde según la clasificación Rocamix, nuestra muestra corresponde a un R2, y su dosificación sería de 0,5 litro de Rocamix concentrado por m³ y de 15/20 kilogramos por m³ de cemento, según Suarez , 2015, en su tesis

titulada “Análisis del Sistema Rocamix para la impermeabilización de suelos, en las presas Pitucchocha y Yanamancha del distrito de Huarcocondo provincia Anta - Cusco”, indica que en 3000 g. De suelo se necesita 30,5 g de Cemento y 8 ml de Rocamix concentrado por m³, entonces para nuestra investigación nos guiaremos de lo que nos indica Suarez en la tabla 28.

Tabla 28

Dosificación con sistema rocamix

Dosificación	Suelo	Cemento	Rocamix
Dosificación 01	5000 g	50,8 g	13,3 ml

Para saber si es la proporción adecuada se realizaron ensayos de CBR a la C-2, mostrados en la tabla 29, con la proporción dada del peso seco del suelo

Tabla 29

Resultados de los ensayos de CBR aplicando el Sistema Rocamix

Adición	Penetración 0,1”		Expansión (%)
	100 % MDS	95 % MDS	
Dosificación 01	87,5	67,5	0,09
Dosificación 01	86,0	66,0	0,08
Dosificación 01	86,3	65,5	0,09

Fuente: Laboratorio de Federico Paucar Tito EIRL, 2018.

Aplicando la estadística, veremos en la tabla 30

Tabla 30

Resultados de los datos de la dosificación 01

Descripción	Penetración 0,1”		Expansión (%)
	100 % MDS	95 % MDS	
Cantidad de datos	3	3	3
Media aritmética	86,6000	66,3333	0,0867
Desviación estándar	0,7937	1,0408	0,0058
Mínimo	86,6000	65,5000	0,0800
Máximo	87,5000	67,5000	0,0900
Varianza	0,6300	1,0833	0,0000
Mediana	86,3000	66,0000	0,0900
Promedio Aritmético	86,6000	66,3333	0,0867

4.1.5.4. Determinar la dimensión de estabilidad entre el uso del Sistema Rocamix y los estabilizantes recomendadas por el MTC.

Para la investigación la dimensión estabilidad fue desarrollada en dos estabilizantes recomendados por el MTC, suelo – cemento y suelo – cal, aplicando estos estabilizantes en el ensayo de CBR, obteniendo los siguientes resultados mostrados en la tabla 31.

Tabla 31

Resumen de los resultados aplicando estabilizantes de suelo – cemento y suelo - cal

Descripción	Penetración 0,1”		Expansión (%)
	100 % MDS	95 % MDS	
Suelo – cal (2,5 %)	76,2	55,0	0,07
Suelo – cemento (1,5 %)	91,2	77,0	0,08

Fuente: Laboratorio de Federico Paucar Tito EIRL, 2018

En la figura 34 veremos el comportamiento de los estabilizantes recomendados por el MTC y el estabilizante del sistema Rocamix, aplicados al ensayo de CBR.

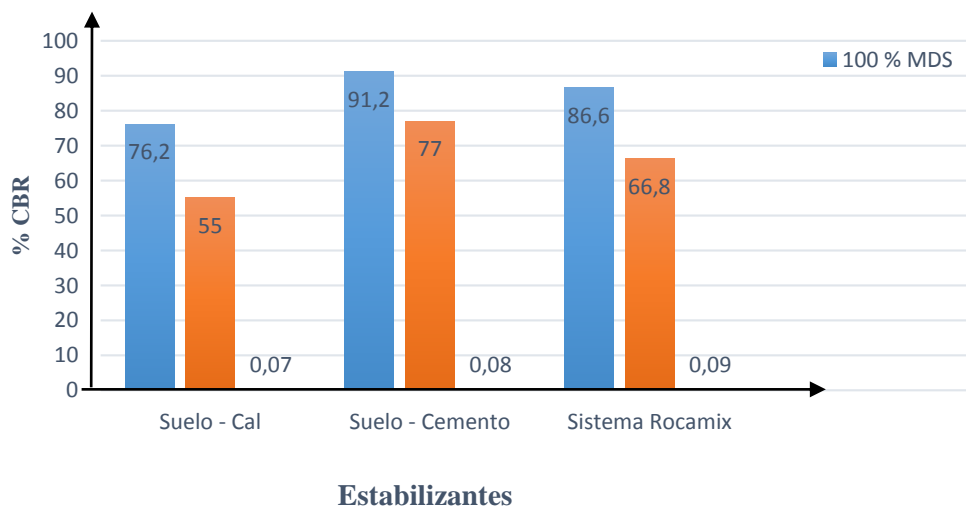


Figura 34. Estabilizante VS % CBR

4.1.5.5. Determinar si hay un impacto económico en la utilización del Sistema Rocamix.

Para determinar el impacto económico modularémos el diseño estructural de un pavimento a nivel de afirmado, utilizando los datos de un estudio de tráfico desarrollada por la Municipalidad Provincial Mariscal Nieto para el proyecto Mejoramiento del servicio de transitabilidad peatonal y vehicular de las calles de las asociaciones de vivienda Pequeños Artesanos, Vicente Zeballos, Los Tuneles Nueva Vida, Talleres Las Torres, Sol Eterno y Alto andino de la junta vecinal II, Liberación Chen Chen, del Centro Poblado Chen Chen, Distrito Moquegua, Provincia Mariscal Nieto, ubicada en la parte posterior de la Asociación de Vivienda 02 de octubre, área donde se ejecutó nuestra investigación, siendo el número de Ejes Equivalentes Total 32074,57 este valor se considera entre 25000 a 75000 por presentar un tráfico tipo 1 (menor a 50 vehículos por día), el MTC nos recomienda para vías de bajo volumen de tránsito utilizar la ecuación 04 del Método AUSTROADS.

$$e = [219 - 211x(\log_{10} \text{CBR}) + 58x(\log_{10} \text{CBR})^2] \times \log_{10} \left(\frac{N_{\text{rep}}}{120} \right)$$

Ecuación 4. Método AUSTROADS

Donde:

- e = espesor de la capa afirmado en mm
- CBR = valor del CBR de la subrasante
- Nreq = Número de repeticiones de EE para el carril de diseño

En la tabla 32, se resume la determinación de espesores de afirmado en función del índice de CBR, según la ecuación 4.

Tabla 32*Resultados del cálculo de espesor "e" del afirmado*

Descripción	CBR	e (mm)	e (cm)
Para sub rasante sin estabilizante	14,50 %	126,64	12,66 cm
Para sub rasante con sistema rocamix	66,33 %	65,77	6,57 cm
Para sub rasante con cemento	77,00 %	66,41	6,64 cm
Para sub rasante con cal	55,00 %	66,64	6,66 cm

En la tabla 32, al mejorar la sub rasante con el sistema rocamix, el espesor disminuye 60,87 mm.

En la tabla 33 se muestra el análisis de costos unitarios pero sin estabilizante y en la tabla 34 se muestra análisis de costo unitario de la sub rasante + Sistema Rocamix, en la tabla 35 la sub rasante + cemento y en la tabla 36 la sub rasante + cal, para el análisis de estas tablas se hizo uso del programa S10 costos y presupuestos versión 2005.

Tabla 33*ACU de la sub rasante sin aditivo estabilizante.*

Partida	01.01.00	Sub-rasante sin aditivo estabilizante				
Rendimiento	m ³ /día	MO 800,00	EQ.800,00	Costo unitario directo por : m ³	42,14	
Código	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/)	Parcial (S/)
Mano de Obra						
010101005	Peón	hh	1,0000	0,0100	8,75	0,09
Materiales						
0207040001	Material granular zarandeado	m ³		1,00	38,00	38,00
Equipos						
0301190002	Rodillo vibratorio liso	hm	1,0000	0,0100	145,00	1,45
0301200001	Motoniveladora	hm	1,0000	0,0100	160,00	1,60
0301220005	Camión cisterna	hm	1,0000	0,0100	100,00	1,00
						4,05

Tabla 34*ACU de la sub rasante con el sistema rocamix*

Partida	01.01.01	Sub-rasante con sistema rocamix					
Rendimiento	m³/día	MO 800,00	EQ.800,00	Costo unitario directo por : m³		84,95	
Código	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
					(S/)	(S/)	
Mano de obra							
010101005	Peón	hh	1,0000	0,0100	8,75	0,09	
						0,09	
Materiales							
0213010001	Cemento portland tipo I (42,5 Kg)	bol		0,3588	23,50	8,43	
0213010008	Sistema rocamix concentrado	l		0,5000	144,76	72,38	
						80,81	
Equipos							
0301190002	Rodillo vibratorio liso	hm	1,0000	0,0100	145,00	1,45	
0301200001	Motoniveladora	hm	1,0000	0,0100	160,00	1,60	
0301220005	Camión cisterna	hm	1,0000	0,0100	100,00	1,00	
						4,05	

Tabla 35*ACU de la sub rasante con cemento 1,5 %*

Partida	01.01.02	Sub-rasante con cemento 1,5 %					
Rendimiento	m³/día	MO 800,00	EQ.800,00	Costo unitario directo por : m³		16,59	
Código	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
					(S/)	(S/)	
Mano de Obra							
010101005	Peón	hh	1,0000	0,0100	8,75	0,09	
						0,09	
Materiales							
0213010001	Cemento portland tipo I (42.5 Kg)	bol		0,5297	23,50	12,45	
						12,45	
Equipos							
0301190002	Rodillo vibratorio liso	hm	1,0000	0,0100	145,00	1,45	
0301200001	Motoniveladora	hm	1,0000	0,0100	160,00	1,60	
0301220005	Camión cisterna	hm	1,0000	0,0100	100,00	1,00	
						4,05	

Tabla 36*ACU de la sub rasante con cal 2,5 %*

Partida	01.01.03	Sub-rasante con cal 2,5 %					
Rendimiento	m³/día	MO 800,00	EQ.800,00	Costo unitario directo por : m³		27,81	
Código	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
					(S/)	(S/)	
Mano de Obra							
010101005	Peón	hh	1,0000	0,0100	8,75	0,09	
						0,09	
Materiales							
0213020001	Cal	kg		37,5700	0,63	23,67	
						23,67	
Equipos							
0301190002	Rodillo vibratorio liso	hm	1,0000	0,0100	145,00	1,45	
0301200001	Motoniveladora	hm	1,0000	0,0100	160,00	1,60	
0301220005	Camión cisterna	hm	1,0000	0,0100	100,00	1,00	
						4,05	

En la tabla 37 analizaremos el costo del afirmado para el tramo de 155,87 m de largo con un ancho de 6,00 m

Tabla 37*Resumen de evaluación económica*

Descripción	e (m)	Largo x ancho (m²)	Costo x m³ (s/)	Costo Total (s/)
Para sub rasante sin estabilizante	0,13	935,22	42,14	5123,32
Para sub rasante con sistema rocamix	0,06	935,22	84,95	4766,81
Para sub rasante con cemento	0,06	935,22	16,59	930,92
Para sub rasante con cal	0,06	935,22	27,81	1560,51

4.2. Contrastación de hipótesis

Para la contrastación de hipótesis se utilizara el programa de estadística SPSS.

4.2.1. Hipótesis general

El uso del sistema rocamix mejora la capacidad de soporte del suelo a nivel de la sub rasante entre la prolongación de la Av. San Antonio de Padua y la calle 04 de la asociación de vivienda 2 de octubre del C.P. San Antonio – Moquegua.

4.2.1.1. Formulación de hipótesis.

H_0 : El uso del sistema rocamix no mejora la capacidad de soporte del suelo a nivel de la subrasante entre la prolongación de la Av. San Antonio de Padua y la calle 04 de la asociación de vivienda 2 de octubre del C.P. San Antonio – Moquegua.

H_a : El uso del sistema rocamix mejora la capacidad de soporte del suelo a nivel de la subrasante entre la prolongación de la Av. San Antonio de Padua y la calle 04 de la asociación de vivienda 2 de octubre del C.P. San Antonio – Moquegua.

4.2.1.2. Estadístico de prueba.

El estadístico de prueba utilizado es el análisis de varianza de un factor, cuyos resultados se muestran a continuación en la tabla 38 y en tabla 39 junto con la figura 35.

Tabla 38

Estadística descriptiva de hipótesis general

Variable dependiente: Capacidad de soporte del suelo			
Tratamientos	Media	Desviación	N
Sin sistema rocamix	15,2000	1,57162	3
Con sistema rocamix	66,3333	1,04083	3
Total	40,7667	28,03224	6

Tabla 39

ANOVA de hipótesis general

Variable dependiente: Capacidad de soporte del suelo					
Fuentes de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tratamientos	3921,927	1	3921,927	2207,463	,000
Error	7,107	4	1,777		
Total	3929,033	5			

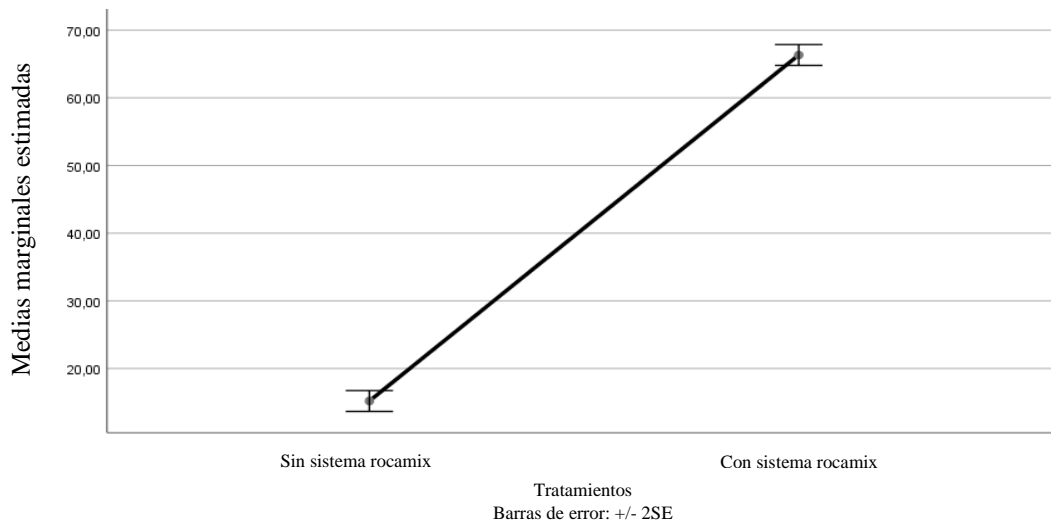


Figura 35. Gráfico de medias marginales estimadas de capacidad de soporte del suelo de la hipótesis general

4.2.1.3. Toma de decisión.

Se observa que el p-valor (Sig.) = 0,000 es menor a 0,05 de significancia; se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, donde se concluye que el uso del sistema rocamix mejora la capacidad de soporte del suelo a nivel de la sub rasante entre la prolongación de la Av. San Antonio de Padua y la calle 04 de la asociación de vivienda 2 de octubre del C.P. San Antonio – Moquegua.

4.2.2. Hipótesis específicas

4.2.2.1. Hipótesis específica 01.

Las propiedades mecánicas y físicas son la base de la capacidad de soporte del suelo a nivel de subrasante entre la prolongación de la Av. San Antonio de Padua y de la calle 04 de la asociación de vivienda 2 de octubre del C.P. San Antonio – Moquegua.

a. *Formulación de hipótesis.*

H₀: Las propiedades mecánicas y físicas no son la base de la capacidad de soporte del suelo a nivel de subrasante entre la prolongación de la Av. San Antonio de Padua y de la calle 04 de la asociación de vivienda 2 de octubre del C.P. San Antonio – Moquegua.

H_a: Las propiedades mecánicas y físicas son la base del comportamiento de la capacidad de soporte del suelo a nivel de subrasante entre la prolongación de la Av. San Antonio de Padua y de la calle 04 de la asociación de vivienda 2 de octubre del C.P. San Antonio – Moquegua.

b. *Estadístico de prueba.*

El estadístico de prueba utilizado es estadística para una muestra cuyos resultados se muestran a continuación en la tabla 40 y en tabla 41.

Tabla 40

Estadística para una muestra en hipótesis 1

Descripción	N	Media	Desviación	Desv. Error promedio
Capacidad de soporte	3	15,2000	1,57162	0,90738

Tabla 41

Prueba de la media para una muestra en hipótesis 1

Descripción	Valor de prueba = 10					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Capacidad de soporte	5,731	2	0,029	5,20000	1,2959	9,1041

c. *Toma de decisión.*

Se observa que el p-valor (Sig.) = 0,029 es menor a 0,05 de significancia; se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, donde se concluye que las propiedades mecánicas y físicas son la base de la capacidad de soporte del suelo a

nivel de sub rasante entre la prolongación de la Av. San Antonio de Padua y la calle 04 de la asociación de vivienda 2 de octubre del C.P. San Antonio – Moquegua.

4.2.2.2.Hipótesis específica 02.

La dosificación dada por el manual del sistema rocamix si es la adecuada para el mejoramiento de la capacidad de soporte del suelo a nivel de subrasante obtenidos del CBR, cumpliendo la categoría S2 de la sub rasante como mínimo.

a. Formulación de hipótesis.

H_0 : No es la dosificación adecuada para el mejoramiento de la capacidad de soporte del suelo a nivel de subrasante obtenidos del CBR, cumpliendo la categoría S2 de la subrasante como mínimo.

H_a : Sí es la dosificación adecuada para el mejoramiento de la capacidad de soporte del suelo a nivel de subrasante obtenida del CBR, cumpliendo la categoría S2 de la subrasante como mínimo.

b. Estadístico de prueba.

El estadístico de prueba utilizado es el análisis de varianza de un factor, cuyos resultados se muestran a continuación en la tabla 42 y en tabla 43 junto con la figura 36.

Tabla 42

Estadística descriptiva hipótesis 2

Variable dependiente: capacidad de soporte del suelo			
Tratamientos	Media	Desviación	N
Sin Sistema Rocamix	21,1500	9,40452	2
Con Sistema Rocamix	76,4667	11,13134	6
Total	62,6375	27,51072	8

Tabla 43

ANOVA en hipótesis 2

Capacidad de soporte del suelo					
Fuentes de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	4589,900	1	4589,900	38,899	0,001
Dentro de grupos	707,978	6	117,996		
Total	5297,879	7			

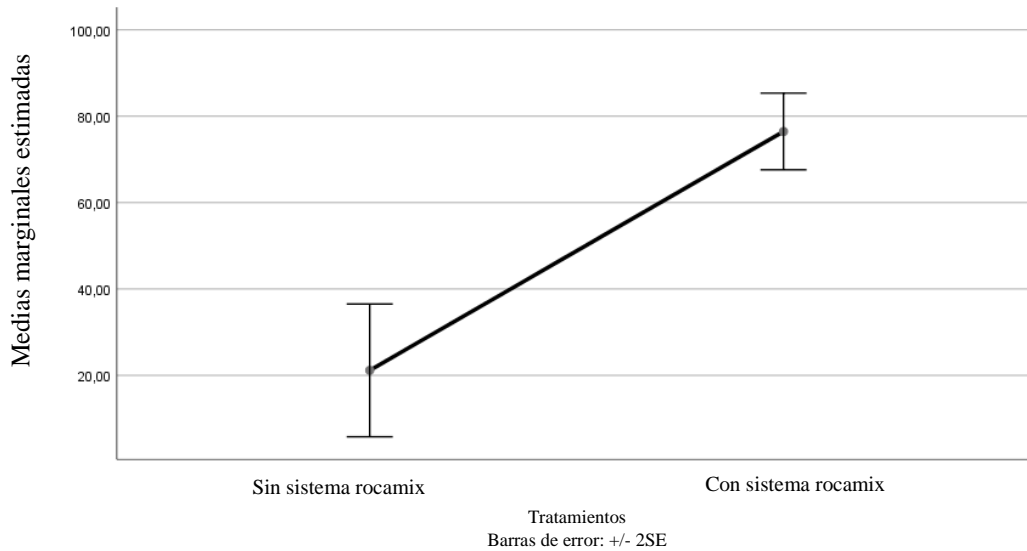


Figura 36. Gráfico de medias marginales estimadas de capacidad de soporte del suelo de la hipótesis 2.

c. Toma de decisión.

Se observa que el p-valor (Sig.) = 0,001 es menor a 0,05 de significancia; se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, donde se concluye que si es la dosificación adecuada para el mejoramiento de la capacidad de soporte del suelo a nivel de subrasante obtenidos del CBR, cumpliendo la categoría S2 de la subrasante como mínimo.

4.2.2.3. Hipótesis específica 03.

La estabilidad de la capacidad de soporte del suelo a nivel de la subrasante mediante el uso del sistema rocamix es similar a los estabilizantes recomendados por el MTC.

a. *Formulación de hipótesis.*

H₀: La estabilidad de la capacidad de soporte del suelo a nivel de la subrasante mediante el uso del sistema rocamix es similar a los estabilizantes recomendados por el MTC.

H_a: La estabilidad de la capacidad de soporte del suelo a nivel de la subrasante mediante el uso del sistema rocamix es diferente a los estabilizantes recomendados por el MTC.

b. *Estadístico de prueba.*

El estadístico de prueba utilizado es el análisis de varianza de un factor, cuyos resultados se muestran a continuación en la tabla 44 y en tabla 45 junto con el figura 37.

Tabla 44

Estadística descriptiva en hipótesis 3

Variable dependiente: Resultados de la aplicación de estabilizantes de suelo-cemento, suelo-cal			
Tratamientos	Media	Desviación	N
Suelo - cal	55,0000	.	1
Suelo - cemento	77,0000	.	1
Con sistema rocamix	66,3333	1,04083	3
Total	66,2000	7,81505	5

Tabla 45

ANOVA en hipótesis 3

Resultados de la aplicación de estabilizantes de suelo-cemento, suelo-cal					
Fuentes de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tratamientos	242,133	2	121,067	111,754	,009
Error	2,167	2	1,083		
Total	244,300	4			

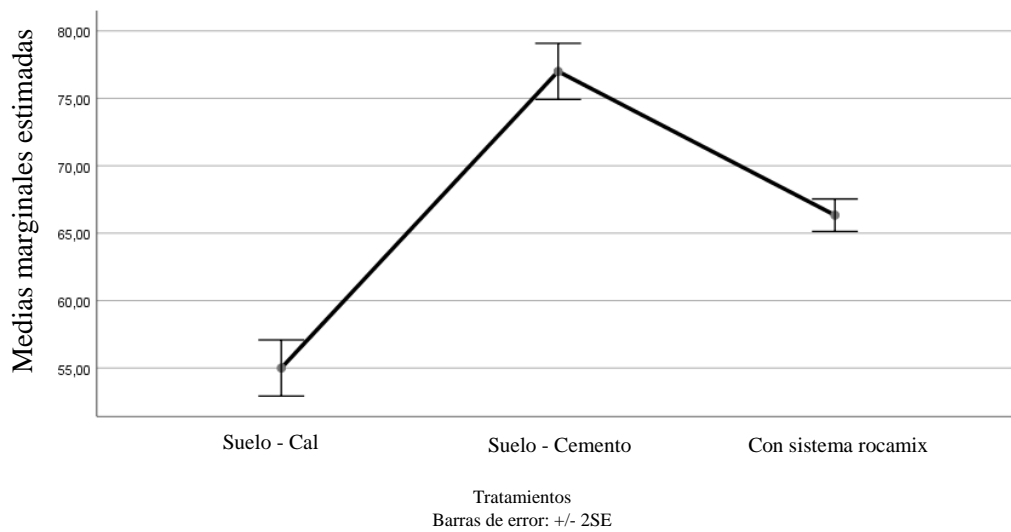


Figura 37. Gráfico de medias marginales estimadas de resultados de la aplicación de estabilizantes de suelo - cemento, suelo - cal de la hipótesis 3.

c. *Toma de decisión.*

Se observa que el p-valor (Sig.) = 0,009 es menor a 0,05 de significancia; se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, donde se concluye que la estabilidad de la capacidad de soporte del suelo a nivel de la subrasante mediante el uso del Sistema Rocamix es diferente a los estabilizantes recomendados por el MTC.

4.2.2.4. Hipótesis específica 04.

Si hay un impacto económico positivo utilizando el Sistema Rocamix

a. *Formulación de hipótesis.*

H_0 : No hay un impacto económico positivo utilizando el sistema rocamix.

H_a : Sí hay un impacto económico positivo utilizando el sistema rocamix.

b. *Estadístico de prueba.*

Para la estadística de prueba, lo analizaremos mediante la comparación, mostrada en la tabla 46.

Tabla 46

Descripción en hipótesis 4

Descripción	Costo total (S/)
Para sub rasante sin estabilizante	5123,32
Para sub rasante con sistema rocamix	4766,81
Para sub rasante con cemento	930,92
Para sub rasante con cal	1560,51

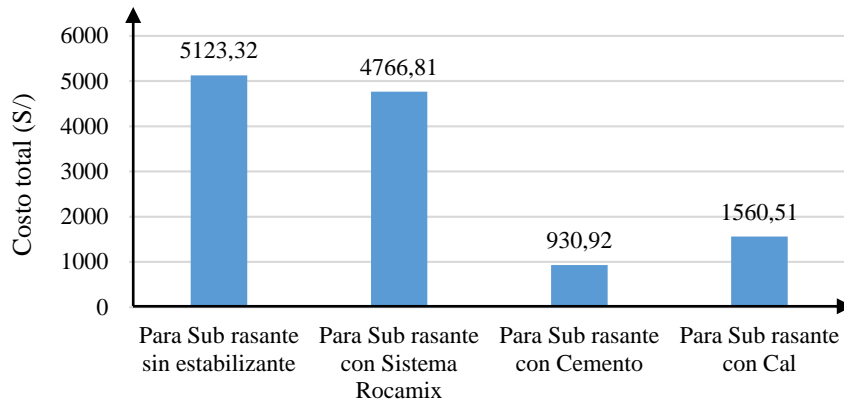


Figura 38. Diagrama de la hipótesis 4

c. *Toma de decisión.*

Según la Tabla 46 y la figura 38, se observa que el costo total con el Sistema Rocamix (S/ 4766,81) es mayor al costo total de la sub rasante con cemento y con cal, mientras que es menor con la sub rasante sin estabilizante. Por tanto, se concluye que hay un impacto económico utilizando el sistema rocamix.

4.3. Discusión de resultados

La capacidad de soporte de la subrasante para mejorarla se tuvieron que realizar ensayos y a la vez verificar si los resultados responderían a los problemas planteados al principio de esta investigación y cotejar a la vez con las investigaciones de otros autores, respecto a la hipótesis general presentada en el ítem 1.7.1. podemos consentir que el resultado observado tiene una tendencia a mejorar considerablemente la capacidad de soporte de la subrasante; a través del sistema rocamix, con este resultado podemos concertar con otras investigación como la de Bisset (2012) donde nos indica que el sistema rocamix si mejora la subrasante en la ciudad de la Habana Cuba pero Suarez (2015) nos refuta el resultado indicándonos que el producto si funciona pero no en todos los ámbitos completamente; la impermeabilización no lo ha completado, por lo cual para la investigadora no cumpliría con todos sus objetivos planteados; la investigación fue llevada en la ciudad de Cusco - Perú.

También los resultados mostrados en los ítems 4.1. y 4.2, responderían los problemas específicos planteados anteriormente, donde las hipótesis bosquejadas; algunas fueron rechazadas y otras fueron corroboradas, llegando a un cotejo con otros autores, en el caso del problema específico que si las propiedades físicas y mecánicas son la base de la capacidad de soporte; este argumento también está ilustrado en el manual del MTC; y en nuestro caso las propiedades halladas descritas en el ítem 4.1. Si se aceptaría la hipótesis en el ítem 1.7.2.; habiendo indicado que las propiedades si son la base para el comportamiento de la capacidad de soporte de la sub rasante, así también la dosificación planteada para esta investigación fue analizada y presentada en los ítems 4.1 y 4.2; corroborando la

hipótesis específica planteada en el ítem 1.7.2.; confrontando este resultado con los autores Aiman (2014) y Junco del Pino y Morales (2010), se llega a la concordancia que si existe una dosificación correcta y que si es la dada por el manual del Sistema Rocamix; ambos autores comprobaron su efectividad.

El sistema rocamix al compararlo con otros estabilizantes recomendados por el MTC se visualiza que si existe una diferencia y no una similitud como se planteó en la hipótesis específica presentada en el ítem 1.7.2., anulando dicha hipótesis, y al contrastar este resultado el investigador Díaz (2010); nos muestra que efectivamente si hay una diferencia con el material que el uso y este caso es el cemento Portland; existiendo variaciones en los resultados.

Hernández (2012) nos indica que la estabilización química con el aditivo Rocamix resulta un método muy beneficioso económicamente teniendo un impacto positivo; confirmando así nuestra hipótesis planteada en el ítem 1.7.2. y Junco del Pino y Morales (2010), también confirma que al utilizar el sistema rocamix se genera un ahorro que pueden llegar de 20 a 45% respecto a los costos de construcción convencional.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Primera. El sistema rocamix sí mejoró en un CBR 100 % en un 102,67 % en un CBR de 0,2” y en 0,1” en un 86,60 % y disminuyó la expansión hasta un 0,09 % pero no satisface económicamente, ya que se produce una demanda económica mayor que al utilizar un estabilizante recomendado por el MTC (suelo – cemento).

Segunda. Se realizó la identificación de las propiedades mecánicas y físicas de la subrasante en estudio del terreno natural, concluyendo que son la base para el cálculo de la capacidad de soporte, observando, que el producto final de la evaluación (en este caso es el CBR) estaría dentro de las categorías de subrasante dadas por el MTC encontrándose en una subrasante buena teniendo un CBR al 100 % de la sub rasante de 38,2 % a 1”, un CBR al 95 % de 15,2 % a 1” y una expansión de 12,63 %, siendo este el promedio de las tres calicatas realizadas.

Tercera. Llegamos a la conclusión que la dosificación dada por el manual del sistema rocamix si es la adecuada, utilizando esta dosificación en la muestra donde el CBR era mucho menor (en el muestreo de la C- 2); tenemos el siguiente resultado que el CBR mejora en un 86,6 % al 100 % y 66,33 % al 95 % de 0,1”.

Cuarta. Los estabilizantes recomendados por el MTC (cemento y cal) contienen en un 95 % de CBR el cemento 77 %, la cal un 55 % y el sistema rocamix tiene un 66,33 % y en un 100 % tiene un 91,2 % el cemento, la cal 76,2 % y el sistema rocamix 86,6 %, estos valores son diferentes y no son similares, rechazando la hipótesis planteada en nuestra investigación.

Quinta. El impacto económico es positivo al usar el sistema Rocamix frente al terreno natural, teniendo una diferencia de costo de S/ 356,51 y frente a los estabilizantes recomendados por el MTC tenemos en el cemento de S/ 4192,40 y con la cal de S/ 3562,81.

5.2. Recomendaciones

Primera. Se recomienda abastecer el estabilizante Sistema Rocamix en grandes proporciones al mercado peruano para así poder abaratar costos del líquido ya que este estabilizante si cumple con lo requerido por el MTC, recordando que este producto es recientemente introducido a los estabilizante químicos utilizados en el Perú por ende su costo es elevado.

Segunda. Se deberá de tener cuidado al escoger la dosificación en la tabla de clasificación brindada en el manual del sistema rocamix.

Tercera. Se recomienda que se realicen trabajos que evalúen una buena dosificación vs costo en el caso de cemento y el sistema rocamix líquido, y cómo varían las propiedades físicas y mecánicas de los suelos al ser estabilizados por estos medios.

Cuarta. Se recomienda profundizar el tema para otros tipos de suelos en el Perú.

Quinta. Para realizar el análisis del tipo de suelo se debe de tener cuidado en realizar los ensayos predecesoras al CBR, recomendando que los ensayos estén realizados tal y como indica la norma presentada en el manual del MTC.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aiman, M. (2014). *Empleo de un suelo arenoso fino como subrasante de carreteras mediante estabilizaciones mecánicas y químicas*, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Habana, Cuba
- ASTM D1883. (2009). *Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory - Compacted Soil (Annual book of ASTM Standards Vol. 04.08 ed.)*. EEUU.
- AASHTO. (1993). *Flexible Pavement Structural Design*, Publicado por la American Association of State Highway and Transportation Highway Officials, USA.
- AASHTO. (2002). *Flexible Pavement Structural Design*, Publicado por la American Association of State Highway and Transportation Highway Officials, USA.
- Bañon, L. y Bevía J. (2010). *Manual de Carreteras Construcción y Mantenimiento (vol. 2)*, Universidad de Alicante. Departamento de Ingeniería de la Construcción, Obras Públicas e Infraestructura Urbana, España.
- Braja, M. (1999). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (4ta Edición)*, México.
- Bisset, T. (2012). *Análisis de la influencia del aditivo Rocamix en la reducción de la absorción Capilar de un suelo fino*, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Habana, Cuba
- Crespo Villalaz, C. (2007). *Vías de comunicación (4ta ed.)*. México D.F.: Editorial Limusa S.A. de C.V.

- Delgado, R. (2011). *Estabilización de suelos para atenuar efectos de plasticidad del material de subrasante de la carretera Montecristi*, Universidad Técnica de Manabí Centro de Estudio de Posgrado de la ciudad de Portoviejo, Manabí, Ecuador.
- Díaz, C. (2010). *Estabilización de un suelo de la Formación Toledo con Cemento Portland y Sistema Rocamix Líquido*, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Habana, Cuba
- Gutiérrez, J. (2007). *Modelación Geotécnica de Pavimentos Flexibles con Fines de Análisis y Diseño en el Perú*, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Junco del Pino, J. y Morales, P. (2010). *Estabilización e impermeabilización de suelos mediante el empleo de ROCAMIX y su efecto en el tiempo*, Artículo de la Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura de CUJAE.
- Hernández, M. (2012). *Análisis técnico económico de la estabilización de un suelo con el aditivo Rocamix para subrasante*, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Habana, Cuba
- Laboratorio de Federico Paucar Tito EIRL. (2018). *Certificados de calidad (ensayos de suelos)*, Moquegua, Perú.
- Laboratorio de materiales, concreto y mecánica de suelos de la carrera de Ingeniería Civil (2018). *Certificados de calidad (ensayos de suelos)*, Universidad José Carlos Mariátegui, Moquegua, Perú.

- Leiva, R. (2016). *Utilización de bolsas de polietileno para el mejoramiento de suelo a nivel de la subrasante en el Jr. Arequipa, progresiva km 0+000 – km 0+100, distrito de Orcotuna, Concepción,, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.*
- Menéndez, J. R. (2013). *Ingeniería de Pavimentos: diseño y gestión de pavimentos (1° Ed.)*. Lima, Perú: imprenta ICG.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). *Manual de Carreteras – Especificaciones técnicas generales para construcción EG – 2013*, Lima, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014). *Manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos*, Lima, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*, Lima, Perú.
- Montejo A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras (2° Ed.)*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia ediciones y publicaciones.
- Olarte J. (2015). *Proceso innovado para determinar el espesor de subrasante mejorada en suelos limo – arcillosos aplicada en la carretera Puente Raither – Puente Paucartambo*, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Ordoñez H., A., y Minaya G., S. (2006). *CBR de subrasantes arenosas y limo-arcillosas*. Lima: UNI.

PREDES y CIP-MOQUEGUA. (2004). *Conociendo los suelos de Moquegua*, cartilla informativa publicada por PREDES fondo Editorial, Centro de Estudios y Prevención de desastres.

ROCAMIX company S. A. (2010). *Manual de laboratorio para ensayos ROCAMIX*— versión 3. Recuperado de <http://www.rocamix.es/documentos.php>

Rico, A. y Del Castillo, H. (2005). *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas (Vol. 1)*. México: Editorial Limusa S.A.

Sabino, C. (1996). *El proceso de investigación*, Publicado también por Ed. Panamericana, Bogotá, y Ed. Lumen, Buenos Aires.

SENCICO (2010). *Reglamento Nacional de Edificaciones Norma CE. 010 Pavimentos Urbanos*, Lima, Perú