



Universidad
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Propuesta del mejoramiento de la
subrasante de pavimentos flexibles
usando las geomallas biaxiales
en suelos de bajo valor de
Soporte California – distrito de Ahuac**

para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Edward Vidal Orejon Estrada

Huancayo, 2018



Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

ASESOR

ING. AUGUSTO GARCIA CORZO

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por brindarme salud, sabiduría para poder asumir con responsabilidad los problemas que se nos presentan en la vida.

A mis padres Leonidas y Marciala, por brindarme su amor, dedicación y apoyo incondicional en todas las decisiones que tome.

A mis hermanas Mary, Deysi, Elizabeth, Berna y Yessica porque siempre estuvieron apoyándome en los momentos más duros y ser mi motivación.

A mis tios Edmundo y Amanda, por ser unos padres más, y su apoyo incondicional

A mi asesor Ing. Augusto E. García Corzo, por ser guía y transmitirme todos los conocimientos para la elaboración de la presente investigación.

A los docentes de la Universidad Continental, por transmitirme su experiencia y conocimiento

Edward Vidal

DEDICATORIA

Dedico esta investigación a todas las personas que me apoyaron desde el inicio de mi carrera, en especial a mis padres Leonidas Orejon Benites y Marciala Estrada Gamboa (†), por ser mi inspiración

Edward Vidal

ÍNDICE

ASESOR.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	xvi
CAPÍTULO I.....	18
1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	20
1.2.1 Problema general.....	20
1.2.2 Problemas específicos.....	20
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
1.3.1 Objetivo general.....	20
1.3.2 Objetivos específicos.....	21
1.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
1.4.1 Hipótesis general.....	21
1.4.2 Hipótesis específicas.....	21
1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
1.5.1 Justificación teórica.....	22
1.5.2 Justificación práctica.....	22
CAPÍTULO II.....	24
2. MARCO TEÓRICO - CONCEPTUAL.....	24
2.1 ANTECEDENTES.....	24

2.1.1 Antecedentes internacionales	24
2.1.2 Antecedentes nacionales	26
2.2 BASE TEÓRICA.....	30
2.2.1 Mejoramiento de subrasante	30
2.2.2 Elementos típicos del pavimento flexible.....	31
2.2.3 Mejoramiento mediante geomallas.....	32
2.2.4 Refuerzo en vías con geomallas biaxiales	35
2.2.5 Estudio de tráfico.....	40
2.2.6 Diseño de carretera por el método AASHTO	42
2.2.7 Estabilización por sustitución de suelos	54
2.2.8 Método AASHTO para diseño de pavimentos flexibles reforzados con geomallas Maccaferri	55
2.2.9 Método de Giroud y Han	56
CAPÍTULO III.....	61
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	61
3.1 MÉTODO, TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.....	61
3.1.1 Método de la investigación	61
3.1.2 Tipo de Investigación.....	61
3.1.3 Nivel de Investigación.....	61
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	62
3.2.1 Diseño de la investigación utilizada.....	62
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	62
3.3.1 Población.....	62
3.3.2 Muestra	62
3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	63
3.4.1 Variables Dependiente.....	63
3.4.2 Variables Independientes:.....	64
3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	64
3.5.1 Bibliográfica.....	64

3.5.2 De campo	64
3.5.3 Ensayos.....	65
3.6 TÉCNICAS UTILIZADAS EN EL PROCESAMIENTO DE DATOS.....	65
3.6.1.....	65
CAPITULO IV	66
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	66
4.1 DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA	66
4.1.1 Estudio de mecánica de suelos.....	66
4.1.3 Estabilización por sustitución de suelos	74
4.1.2 Diseño de espesores para pavimento flexible.....	75
4.2 APORTE ESTRUCTURAL EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE CON GEOMALLAS MACCAFERRI	79
4.3.1 Utilizando el método AASHTO para diseño de pavimentos reforzados con geomallas	79
4.3 RESUMEN DE ESPESORES CALCULADOS.....	82
4.4 COMPROBACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE DISEÑO DE GIROUD Y HAN 82	
4.5 COSTO DE LAS ALTERNATIVAS DE MEJORAMIENTO	83
4.5.1 Sistema convencional reemplazo de material.....	83
4.6 SISTEMA DE REFUERZO CON GEOMALLAS BIAXIALES MACCAFERRI. 84	
4.6.1 Método AASHTO para diseño de pavimentos con geomallas biaxiales . 84	
4.7 RESUMEN DE COSTOS	86
4.8 PROGRAMACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS.....	89
4.8.1 Sistema convencional reemplazo de material.....	89
4.8.2 Sistema de refuerzo con geomallas biaxiales	90
4.9 RESUMEN DE TIEMPOS	91
4.10 PROPUESTA DE MEJORAMIENTO	92
4.11 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	95
CONCLUSIONES	98
RECOMENDACIONES	100

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
ANEXO 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA	105
ANEXO 02: ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS DEL TRAMO EN ESTUDIO	106
ANEXO 03: RESUMEN ESTUDIO DE TRÁFICO PARA EL PERIODO DE DISEÑO DE 20 AÑOS.....	121
ANEXO 04: HOJA DE CÁLCULO DE LOS ESPESORES PARA DIFERENTES VALORES DE CBR PROGRAMA AASHTO 93.....	122
ANEXO 05: HOJA DE METRADOS.....	124
ANEXO 06: ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO	125
ANEXO 07: COTIZACIÓN DE LAS GEOMALLAS	131
ANEXO 08: PANEL FOTOGRÁFICO TOMA DE MUESTRA DEL TRAMO EN ESTUDIO	132
ANEXO 09: PLANOS.....	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sección típica de un pavimento flexible	30
Figura 2. Geomallas	32
Figura 3. Geomallas uniaxiales	33
Figura 4. Geomallas biaxiales	34
Figura 5. Geomallas multiaxiales.....	34
Figura 6. Sección típica de estructuras de pavimento asfáltico.....	35
Figura 7. Sistema de contención lateral de la geomalla dentro de una sección de pavimento flexible	36
Figura 8. Sistema de mejoramiento de la capacidad portante a partir de la inclusión de la geomalla en la interfaz de subrasante de la capa base de agregado	37
Figura 9. Mecanismo de refuerzo efecto de membrana tensionada	38
Figura 10. Esfuerzo normal en la interface material granular subrasante	58
Figura 11. Ahuellamiento en vía no pavimentada	60
Figura 12. Ubicación del tramo en estudio	67
Figura 13. Programación de las metodologías del sistema convencional para estabilización de subrasante por reemplazo de material de las partidas que difieren .	90
Figura 14. Programación de las metodologías para estabilización de subrasante con geomallas biaxiales de las partidas que difieren	90

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. LCR (Layer coeficiente ratio) vs. CBR de la subrasante.....	56
Gráfico 2. Curva del proctor modificado calicata 3+075.....	71
Gráfico 3. Curva valor de soporte california	72
Gráfico 4. Perfil estratigráfico, estudio de mecánica de suelos	73
Gráfico 5. Determinación del coeficiente LCR para MacGrid EGB 20	81
Gráfico 6. Determinación del coeficiente LCR para MacGrid EGB 30	81
Gráfico 7. Costo del corte de material hasta la subrasante para cada tipo de mejoramiento.....	86
Gráfico 8. Costo de la estabilización de la subrasante para cada tipo de estabilización. No incluye pavimento	87
Gráfico 9. Costos por partidas analizadas.....	88
Gráfico 10. Cuadro resumen de costo que diferencia a los sistemas de estabilización de subrasante. Incluyendo todas las partidas analizadas	89
Gráfico 11. Tiempos por partidas analizadas	91
Gráfico 12. Tiempos totales por tipo y método de estabilización	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Costo de sistemas de mejoramiento	26
Tabla 2. Comparación de espesores.....	28
Tabla 3. Comparación de costos con el uso de geomallas multiaxiales	28
Tabla 4. Propiedades físicas de geomalla MacGrid EGB 20 considerado para el refuerzo de vías en pavimentos flexibles.....	38
Tabla 5. Propiedades mecánicas de geomalla MacGrid EGB 20 considerado para el refuerzo de vías en pavimentos flexibles.....	39
Tabla 6. Propiedades físicas de geomalla MacGrid EGB 30 considerado para el refuerzo de vías en pavimentos flexibles.....	39
Tabla 7. Propiedades mecánicas de geomalla MacGrid EGB 30 considerado para el refuerzo de vías en pavimentos flexibles.....	40
Tabla 8. Número de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2 tn, en el carril de diseño para pavimentos flexibles.....	42
Tabla 9. Número de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2t, en el carril de diseño	43
Tabla 10. Categorías de subrasante	43
Tabla 11. Módulo de resiliencia para diferentes tipos de CBR.....	45
Tabla 12. Valores recomendados de nivel de confiabilidad para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de tráfico.....	46
Tabla 13. Coeficiente estadístico de la desviación estándar normal (Z_r) para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según el nivel de confiabilidad seleccionado y el rango de tráfico.....	46
Tabla 14. Índice de serviciabilidad inicial (P_i) según rango de tráfico	48
Tabla 15. Índice de serviciabilidad final (P_t) según rango de tráfico	48
Tabla 16. Diferencia de serviciabilidad según rango de tráfico	49
Tabla 17. Coeficientes estructurales de las capas del pavimento a_i	50
Tabla 18. Calidad de drenaje.....	52
Tabla 19. Valores recomendados del coeficiente de drenaje m_i para bases y sub bases granulares no tratadas en pavimentos flexibles	52
Tabla 20. Valores recomendados de espesores mínimos de capa superficial y base granular.....	53
Tabla 21. Espesores recomendados para estabilización por sustitución de suelos.....	54
Tabla 22. Operacionalización de la variable dependiente	63
Tabla 23. Operacionalización de la variable independiente	64
Tabla 24. Descripción de las calicatas	64

Tabla 25. Cuadro resumen de calicatas con coordenadas UTM.....	67
Tabla 26. Registro estratigráfico progresiva 3+075.....	68
Tabla 27. Granulometría calicata progresiva 3+075.....	69
Tabla 28. Límites de consistencia Progresiva, 3+075.....	69
Tabla 29. Resumen de límites de consistencia de los tramos en estudio.....	70
Tabla 30. Proctor Modificado Progresiva 3+075.....	70
Tabla 31. Valor de soporte california (CBR) Calicata 3+075.....	71
Tabla 32. Resumen de resultados estudio de mecánica de suelos.....	74
Tabla 33. Cálculo de espesor de mejoramiento MTC - 2014.....	74
Tabla 34. Altura del material de reemplazo tomando como sugerencia las recomendaciones del Ministerio de Transportes.....	75
Tabla 35. Valores recomendados de nivel de confiabilidad para el caso estudiado ...	76
Tabla 36. Coeficiente estadístico de la desviación estándar normal de diseño.....	76
Tabla 37. Diferencia de serviciabilidad para el diseño.....	77
Tabla 38. Valores recomendados del coeficiente de drenaje m_i , para base y sub base granular no tratada en pavimento flexible.....	78
Tabla 39. Diferencia de serviciabilidad para el diseño.....	78
Tabla 40. Espesores de Carpeta estructural del pavimento en función a los CBR.....	79
Tabla 41. Cálculo de los nuevos espesores por el aporte de la geomalla biaxial, para las geomallas tipo MacGrid EGB 20 y tipo MacGrid EGB 30 para CBR de 2.6%.....	80
Tabla 42. Espesores calculados para las condiciones señaladas.....	82
Tabla 43. Tabla de datos de diseño por el método de Giroud y Han.....	82
Tabla 44. Costo del corte de material suelto hasta nivel de subrasante, sistema de remplazo de material.....	83
Tabla 45. Costo de reemplazo de material por los dos métodos convencionales.....	83
Tabla 46. Cálculo del costo de pavimento de acuerdo a los espesores obtenidos usando recomendación de Oviedo Bellott. Incluyendo el remplazo de material.....	84
Tabla 47. Cálculo del costo de pavimento de acuerdo a los espesores obtenidos usando recomendación del manual de carreteras EG - 2014 incluyendo el remplazo de material.....	84
Tabla 48. Costo del corte del material suelto hasta nivel de subrasante.....	85
Tabla 49. Costo del mejoramiento con geomalla biaxiales MacGrid EGB 20, MacGrid EGB 30.....	85
Tabla 50. Costo del pavimento de acuerdo a los espesores obtenidos con geomalla biaxial tipo MacGrid EGB 20, incluyendo la geomalla.....	85
Tabla 51. Costo del pavimento de acuerdo a los espesores obtenidos con geomalla biaxial tipo MacGrid EGB 30.....	86

Tabla 52. Porcentaje de ahorro para el mejoramiento en función a Oviedo Bellott (2013)	87
Tabla 53. Porcentaje de ahorro para el mejoramiento en función al MTC - 2014	87
Tabla 54. Cuadro resumen de costo total para cada sistema de estabilización	88
Tabla 55. Porcentaje de Ahorro con referencia a las recomendaciones de Oviedo Bellott (2013)	89
Tabla 56. Porcentaje de Ahorro con referencia a las recomendaciones de MTC - 2014	89
Tabla 57. Tiempos por partidas analizadas y por tipo de estabilización empleada	91
Tabla 58. Resumen de tiempos obtenidos con los métodos de estabilización de subrasante	92
Tabla 59. Resumen de espesor de la subrasante en función a las recomendaciones de Oviedo Bellott (2013), y al MTC (2014)	92
Tabla 60. Resumen de número estructural (SN) en función a Oviedo Bellott (2013), MTC (2014), y Geomallas Biaxiales	93
Tabla 61. Porcentaje de Ahorro con referencia a las recomendaciones de Oviedo Bellott (2013)	93
Tabla 62. Porcentaje de Ahorro con referencia a las recomendaciones de MTC (2014)	93
Tabla 63. Resumen de tiempos obtenidos con los métodos de estabilización de subrasante	94
Tabla 64. Puntuación para el análisis de conveniencia en el mejoramiento de subrasante, en diferentes sistemas	94
Tabla 65. Valor de los indicadores	95
Tabla 66. Resumen de resultados CBR tramo en estudio	95
Tabla 67. Duración de días para cada sistema de mejoramiento	97

RESUMEN

El pavimento flexible es una de las estructuras más usadas a nivel nacional debido a su bajo costo y facilidad de colocación. Sin embargo debido a que nuestro país presenta una variedad geomorfológica que comprende desde la costa con suelos arenosos, pasando por la sierra con suelos arcillosos y la selva con suelos orgánicos, nos da a entender la variedad de suelos. Estos suelos en algunos casos son suelos inadecuados con CBR inferiores al 6%, que establece la norma. En estos casos se recomienda estabilizar la subrasante de forma mecánica, o usando los geosintéticos (geomallas) y otros. En este sentido es indispensable establecer cuál sería la propuesta adecuada para el mejoramiento de la subrasante de pavimentos flexibles usando las geomallas biaxiales en suelos de bajo valor de soporte california.

En este sentido el estudio realizado se inició con el objetivo de: determinar la propuesta adecuado para el mejoramiento de la subrasante de pavimentos flexibles usando las geomallas biaxiales en suelos, considerando las particularidades encontradas en el proyecto de pavimentación del distrito de Ahuac.

Para la investigación realizada se determinó el CBR del suelo, posteriormente se realizó el diseño siguiendo la metodología AASHTO. Una vez determinado los espesores se incorporaron la geomallas como refuerzo para la disminución de espesores. Teniendo la variación de espesores se calculó los nuevos costos y tiempos de la estabilización mecánica así mismo la estabilización con el uso de geomallas.

La investigación realizada es de tipo aplicada con un nivel descriptivo, con un diseño de investigación no experimental de tipo transversal. La muestra está constituido por un tramo del Jr. Unión del proyecto de pavimento flexible distrito de Ahuac.

En el estudio se llegó a determinar que es factible el uso de las geomallas porque incrementó el número estructural (SN), siendo más económicas que un mejoramiento mecánico y así mismo disminuye el tiempo de colocación.

Palabras claves: Pavimento, geomallas biaxiales, mejoramiento de subrasante.

ABSTRACT

The flexible pavement is one of the most used structures nationwide due to its low cost and ease of placement. However, because our country has a geomorphological variety that includes from the coast with sandy soils, through the sierra with clay soils and the jungle with organic soils, it gives us to understand the variety of soils. These soils are in some cases inadequate soils with CBR lower than 6%, which establishes the norm. In these cases it is recommended to stabilize the subgrade mechanically, or using geosynthetics (geogrids) and others. In this sense, it is essential to establish what would be the appropriate proposal for the improvement of the subgrade of flexible pavements using biaxial geogrids in low-value california support soils.

In this sense, the study started with the objective of: determining the adequate proposal for the improvement of the subgrade of flexible pavements using the biaxial geogrids in soils, considering the particularities found in the paving project of the Ahuac district.

For the research carried out, the CBR of the soil was determined, then the design was carried out following the AASHTO methodology. Once the thicknesses were determined, the geogrids were incorporated as reinforcement for the thickness reduction. Taking the variation of thicknesses, the new costs and times of the mechanical stabilization were calculated, as well as the stabilization with the use of geogrids.

The research carried out is of a type applied with a descriptive level, with a non-experimental research design of transversal type. The sample is constituted by a section of the Jr. Union of the project of flexible pavement district of Ahuac.

In the study, it was determined that the use of geogrids is feasible because it increased the structural number (SN), being cheaper than mechanical improvement and also decreasing the time of placement.

Keywords: Pavement, biaxial geogrids, subgrade improvement.

INTRODUCCIÓN

Las geomallas biaxiales son unos polímeros que tienen la capacidad de incrementar la capacidad de soporte de un determinado material. Esta geomalla proporciona confinamiento lateral, absorbiendo los esfuerzos generados por la carga transmitida de los vehículos a la estructura del pavimento, siendo materiales altamente resistentes a la intemperie. Teniendo como preámbulo estas características en el proyecto al de Mejoramiento de pistas y veredas del distrito de Ahuac al presentarse deficiencias y un CBR < 6%, Se sugirió la posibilidad de la innovación tecnológica usando este material; sin embargo en vista que es un nuevo material y su aplicación no es muy conocida se optó por el remplazo de material.

Teniendo estos antecedentes surgió la idea de investigar las propiedades de este material, así como los costos y el tiempo que implica su uso en suelos con bajo valor de soporte californiana “CBR” en pavimentos flexibles, en este sentido se planteó el objetivo general de: Establecer la propuesta adecuada para el mejoramiento de la subrasante de pavimentos flexibles usando las geomallas biaxiales en suelos de bajo valor de Soporte California – Distrito de Ahuac. Para lograr este objetivo se dividió el proyecto en cinco capítulos:

En el capítulo I: se realizó el planteamiento del problema identificando el problema general y la variable a estudiar, también se realizó la justificación de la investigación de forma teórica y práctica, además se planteó la hipótesis general y específica

En el capítulo II: se realizó el planteamiento del marco teórico, donde inicialmente se identificó los antecedentes del estudio, en las bases teóricas se consideró la metodología de diseño por el método AASHTO 93, además se consideró el método AASHTO para diseño de pavimentos flexibles reforzados con geomalla, también se hizo un análisis para la evaluación de cargas por el método Giroud y Han.

En el capítulo III: se planteó el marco metodológico definiéndose la investigación como aplicada en vista que pretende mejorar la capacidad del suelo con bajo CBR, en el nivel de investigación hasta un nivel descriptivo correlacional porque se describe las alternativas considerando el aspecto estructural, costos y tiempo de ejecución. El diseño de la investigación es no experimental de tipo transversal, en lo que concierne a la población y muestra se consideró para el estudio el proyecto en ejecución “Mejoramientos de pistas y veredas del distrito de Ahuac”

En el capítulo IV: se determinó el CBR mediante el estudio de mecánica de suelos comprobando que el suelo es inadecuado para la cimentación del pavimento. Desde el punto de vista normativo es recomendable realizar un remplazo del material por lo que se determinó la altura de mejoramiento en 40 cm. Posteriormente se verificó el número estructural requerido para el nivel de tráfico

En el capítulo V: se hizo la discusión de resultados comprobándose que todas las hipótesis de partida eran verdaderas, llegándose a concluir que la propuesta adecuada para el mejoramiento de la subrasante de pavimentos flexibles usando las geomallas biaxiales en suelos de bajo valor de soporte california en el distrito de Ahuac es la geomalla MacGrid EGB 30 porque el número estructural requerido es 3.95, del mismo modo existe un ahorro en 15.96% con respecto a un sistema de mejoramiento por sustitución de suelos y un ahorro en tiempo de 7 días aproximadamente.

El uso de las geomallas actualmente no está claramente normado por tanto es indispensable seguir investigando en esta rama de la ingeniería civil, en vista que en la ejecución de proyectos viales frecuentemente se presentan suelos de baja capacidad portante, situaciones en las cuales el ing. Responsable tiene que proporcionar una propuesta adecuada, considerando no solamente el aspecto estructural sino también el aspecto económico y temporal del proyecto. En este sentido la culminación de la presente investigación, fue de gran satisfacción para el autor.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una de las estructuras viales más utilizadas a nivel nacional e internacional, es el pavimento flexible por el costo relativamente económico y la disponibilidad de materiales que se requiere para su ejecución, esta estructura vial debido a la complejidad de factores que intervienen en su diseño y ejecución debe estar sujeta a la experimentación y a las modificaciones permanentes considerando las características del lugar y condiciones ambientales, las capas granulares a usar y el suelo o terreno de fundación. Además, el país al poseer una gran variabilidad geomorfológica, que comprende la costa, sierra y selva, cabe la probabilidad de encontrar suelos cohesivos y de buena capacidad portante hasta suelos orgánicos inestables de baja capacidad portante. Dentro de estas variedades de suelos, los suelos que se definen como de difícil manejo o problemáticos son aquellos caracterizados como de baja resistencia y expansividad los que originarán “problemas serios en el proceso constructivo como en el comportamiento posterior de la estructura del pavimento”. (Gómez, 2002), (p.81).

Estas características llevan a los profesionales a estar buscando diversas soluciones a cada inconveniente que se presenta en la ejecución del pavimento flexible, los problemas más comunes están relacionados como se indicó con los suelos de baja resistencia y que se pueden catalogar como suelos de bajo valor de soporte California (CBR). En el aspecto normativo se establece que cuando se presenten casos donde el CBR sea menor al 6% (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014), se está en la obligación de realizar la estabilización de suelos de fundación de la subrasante, para lo cual, existen diversos métodos. Uno de los cuales se denomina mejoramiento o

estabilización por sustitución y consiste en cortes masivos del terreno de fundación y su posterior mejoramiento con material de préstamo. La estructura de los pavimentos flexibles está compuesta por capas de material granular, estas variarán en sus dimensiones o espesores dependiendo en gran medida de la capacidad de soporte del terreno de fundación. Adicionalmente se establece en la norma como sugerencia que es posible el uso de geosintéticos (polímeros de alta resistencia dentro de los cuales se clasifican las geomallas biaxiales), sin determinar un aspecto normativo definido para el uso de estos materiales. En este aspecto queda a criterio y experiencia del responsable, el mejoramiento del suelo a nivel de subrasante mediante el remplazo de material o mediante una alternativa sustentada como las geomallas con el objetivo de mejorar el comportamiento del pavimento, considerando un dimensionamiento apropiado de las bases granulares.

El uso de geomallas biaxiales desde un punto de vista normativo es factible, sin embargo (Oviedo, 2013), (p.26-27). Establece que económicamente el reemplazo del material en suelos de bajo índice de resistencia CBR es la opción más viable y además determina y recomienda espesores de capas granulares de hasta 80 cm para valores de CBR de 3%. A su vez (Orrego, 2014). Establece que el uso de geomallas para una determinada carpeta estructural no implica ahorro, como se puede pensar al disminuir en un 35% los espesores de la carpeta asfáltica, sin embargo, sugiere que podría darse ahorros por la disposición del material de reemplazo, dejando entrever que el uso de geomallas sintéticas no serían convenientes para las condiciones estudiadas.

Considerando estos puntos normativos y los estudios realizados por (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014) y (Oviedo, 2013), se pudo observar que en el proyecto de pavimentación flexible en el Distrito de Ahuac, el expediente técnico consideraba un diseño de pavimento flexible para un periodo de vida de 20 años con características generales para todos los tramos, con un hipotético CBR de 10% para el suelo de fundación, además de considerar un presupuesto y un tiempo de ejecución establecido para el diseño propuesto. Sin embargo, en la ejecución del proyecto se verificó que la resistencia del suelo era inferior a lo determinado por la consultora, es decir necesariamente se requiere de un mejoramiento a nivel de subrasante.

Con estos parámetros considerados en el expediente técnico de la obra, tales como: diseño de la carpeta estructural definida para un CBR de 10%, costos establecidos, el tiempo de ejecución que se va a incrementar por el mejoramiento y el acceso a los materiales de reemplazo; el uso de las geomallas biaxiales es una solución posible que podría aplicarse, pero no se tiene claramente establecido que propuestas o

alternativas serían las adecuadas para el uso de geomallas en el mejoramiento de la subrasante de pavimentos flexibles considerando el aspecto de aporte estructural de este material y los espesores de las capas granulares, el costo y el tiempo de ejecución para la obra señalada en el Distrito de Ahuac. Aspecto que debe definirse para tomar una decisión acertada y elegir el procedimiento de mejoramiento viable entre las alternativas señaladas.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema general

¿Cuál es la propuesta adecuada para el mejoramiento de la subrasante de pavimentos flexibles usando las geomallas biaxiales en suelos de bajo valor de soporte california – Distrito de Ahuac?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es el índice de resistencia CBR del suelo de fundación característico en el proyecto de pavimentos flexibles ejecutada en el Distrito de Ahuac?
- ¿Cuál es el aporte estructural de la geomallas biaxiales, como refuerzo de la subrasante de pavimentos flexibles con bajo valor de soporte California, en el Distrito de Ahuac?
- ¿Cómo varía el costo del mejoramiento de una subrasante estabilizada con geomallas biaxiales, respecto a la estabilización por sustitución de la subrasante de bajo valor de soporte california, en el Distrito de Ahuac?
- ¿Cómo varía el tiempo de ejecución del pavimento flexible para una subrasante estabilizada con geomallas biaxiales, respecto a un pavimento flexible con estabilización por sustitución de la subrasante de bajo valor de soporte California, en el Distrito de Ahuac?

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivo general

Establecer la propuesta adecuada para el mejoramiento de la subrasante de pavimentos flexibles usando las geomallas biaxiales en suelos de bajo valor de Soporte California – Distrito de Ahuac

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar el índice de resistencia CBR del suelo de fundación característico en el proyecto de pavimentos flexibles ejecutada en el Distrito de Ahuac.
- Calcular el aporte estructural de la geomallas biaxiales, como refuerzo de la subrasante de pavimentos flexibles con bajo valor de soporte California, en el Distrito de Ahuac.
- Estimar en qué medida varía el costo del mejoramiento de una subrasante estabilizada con geomallas biaxiales, respecto a la estabilización por sustitución de la subrasante de bajo valor de soporte California, en el Distrito de Ahuac.
- Determinar cómo varía el tiempo de ejecución del pavimento flexible para una subrasante estabilizada con geomallas biaxiales, respecto a un pavimento flexible con estabilización por sustitución de la subrasante de bajo valor de soporte California, en el Distrito de Ahuac.

1.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Hipótesis general

El uso de geomallas biaxiales como refuerzo de la subrasante de pavimentos flexibles en suelos con bajo valor de soporte California, tengan mejoras técnicas y económicas.

1.4.2 Hipótesis específicas

- El índice de resistencia CBR del suelo de fundación característico en el proyecto de pavimentos flexibles ejecutada en el Distrito de Ahuac, es menor al 6% que establece la norma del MTC 2014.
- El aporte estructural de la geomallas biaxiales, como refuerzo de la subrasante de pavimentos flexibles con bajo valor de soporte California, permite modificar el número estructural.
- El costo del mejoramiento de una subrasante estabilizada con geomallas biaxiales, respecto a la estabilización por sustitución de la subrasante de bajo valor de soporte California, es menor considerando que disminuye el espesor de la subrasante.

- El tiempo de ejecución del pavimento flexible para una subrasante estabilizada con geomallas biaxiales, respecto a un pavimento flexible con estabilización por sustitución de la subrasante de bajo valor de soporte californiana, disminuye considerando que el espesor de la subrasante mejorada disminuye.

1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 Justificación teórica

El estudio que plantea realizar la propuesta de mejoramiento de subrasante utilizando las geomallas tiene una importancia teórica, puesto que se basa en el análisis de la estructura del pavimento mediante el uso del método AASHTO 93, obteniendo una composición estructural de capas de carpeta asfáltica, base, sub base, y mejoramiento si fuese necesario. Para posteriormente plantear una propuesta de mejoramiento mediante el uso de geomallas biaxiales de tipo MacGrid EGB 20 y MacGrid EGB 30. El análisis permitirá determinar si es económica y técnicamente viable el uso de las geomallas en comparación con la estabilización por sustitución. Y como esta afecta en el tiempo de la ejecución del proyecto. Los aspectos considerados dentro del análisis son la variación de los espesores, determinación del Numero Estructural (SN), costo de las partidas analizadas, tiempo de ejecución. Estos parámetros permitirán determinar la resistencia y vida útil del pavimento.

1.5.2 Justificación práctica

La propuesta de mejoramiento de la subrasante nace de la necesidad de implementar nuevas tecnologías económicamente viables sin afectar la capacidad estructural del pavimento para el periodo de diseño y nivel de tráfico.

La investigación está basado en principio en determinar la capacidad portante del suelo, para lo cual se hicieron excavaciones de 1.50 m de altura debajo del nivel de subrasante a lo largo del perfil longitudinal. Las muestra tomadas fueron de forma aleatoria de acuerdo a la conveniencia del estudio. Una vez realizada la excavación se procedió a la identificación de la calicata, extracción de la muestra y su posterior análisis en el laboratorio. Dentro del laboratorio se realizaron los siguientes ensayos: granulometría, proctor modificado, límites de consistencia y valor de soporte californiana "CBR". Una vez obtenido los datos del laboratorio se procedió a realizar el cálculo de la estructura del pavimento por el método de diseño del AASHTO 93, obteniendo nuevos valores de SN "número estructural", posteriormente se realizó los cálculos añadiendo la geomalla biaxial MacGrid EGB 20 y MacGrid EGB 30, por el método AASHTO para el diseño de pavimentos flexibles reforzado con geomallas, con lo cual se obtuvo nuevos

valores de espesor de carpeta asfáltica, base y sub base. Con los nuevos valores de la estructura del pavimento se procedió al cálculo de los costos y tiempo de la estructura reforzada y no reforzada.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO - CONCEPTUAL

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Antecedentes internacionales

(Tapia, Barona, Inga, 2009). En la tesis *“Diseño de un pavimento utilizando geomallas en tramo de la carretera Bajada de Chanduy - Aguas Verdes – Pocito (absc. 2+920 hasta absc. 3+600)”*, Ecuador – 2009, presentado en la Escuela Superior Politécnica Del Litoral, para obtener el título de Ing. Civil. A falta de conocimiento en cuanto a nuevas alternativas de diseño utilizando nuevas tecnologías como el uso de geosintéticos, ha permitido que las bondades de estos productos sean utilizados para solucionar la problemática de cada obra. Por tal sentido esa investigación pretende demostrar técnicamente, que se puede optimizar recursos al momento de construir obras viales usando geomallas. El objetivo de utilizar estas nuevas tecnologías es disminuir los costos de los proyectos y así más personas puedan ser beneficiadas. La ingeniería como tal busca nuevas alternativas con un fin social. La metodología de diseño se realizó mediante el método de diseño del AASHTO 93 para obtener los primeros resultados de la carpeta estructural. De los estudios realizados se obtuvieron los siguientes datos:

- El CBR para el diseño de esta vía se consideró 2%, datos que se obtuvo del estudio de mecánica de suelos del proyecto, realizándose la transformación de esta a un módulo resiliente, cuyo valor es $M_r = 3000$ psi.
- Procesado los datos por la metodología AASHTO 93 se obtuvo el SN, este valor sirvió para determinar la composición estructural, conformada por carpeta asfáltica, base granular y sub base.

- Teniendo en cuenta el valor de SN se hizo el recalcu de la nueva composición estructural usando las geomallas biaxiales. Encontrándose nuevos valores de espesores de carpeta asfáltica, base granular, sub base granular.
- Estas diferencias en espesores entre una estructura reforzada y sin refuerzo de geomallas, sirvió para hacer un comparativo en costo, determinando si es beneficiosa o no la utilización de las geomallas
- Se llegó a las siguientes Conclusiones: El refuerzo con geomallas incrementa el valor del SN = 2.61. La disminución de espesores por el uso de geomalla disminuyen los costos del proyecto. En \$18845.88. Es recomendable utilizar la gradación tipo 2, puesto que la granulometría es mas de acorde en la interacción suelo geomalla.

(Gavilanes, 2012). En la tesis. *“Diseño de la estructura del pavimento con reforzamiento de geosintéticos aplicado a un tramo de la carretera Zumbahua – La Maná”*, Ecuador – 2012. Presentado en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, para obtener el título de Ing. Civil. El estudio está basado en el análisis de un pavimento tradicional en comparación con un pavimento reforzado con geomalla biaxiales en la carretera de Latacuanga – Zumbahua – La Mana. Para el estudio y diseño del pavimento se tuvieron muchos parámetros tal es el clima, estudio de tráfico, estudio de mecánica de suelos, la cual determinará el suelo predominante. Una vez obtenido los resultados de los estudio se procedió al diseño del pavimento por medio del método AASHTO 93, Método Shell, y el método Tensar para sistemas reforzados con geomallas basado en el método AASHTO 93.

- Para la realización del diseño del pavimento se utilizó el método AASHTO 93, así mismo se utilizó las recomendaciones realizadas por el Ministerio De Transportes Y Obras Publicas Del Ecuador. Los parámetros utilizados para el diseño fueron los siguientes: Amplitud y composición del tráfico, Número de cargas equivalentes, etc.
- Posteriormente se realizó el diseño de la estructura del pavimento por el método “Shell”, para periodos de diseño de 10 y 20 años respectivamente. El método Shell es considerado el más viable debido a que controla las deformaciones y los esfuerzos que se producen, y así controlar las fallas estructurales en los pavimentos.
- Finalmente se diseña la estructura del pavimento, partiendo como referencia el método AASHTO 93. El tipo de geomalla a utilizar será el MacTex 20s, que tiene

una resistencia a la tensión de 20KN/m. obteniendo un menor costo como indica la Tabla 1.

Tabla 1. Costo de sistemas de mejoramiento

PERIODO DE DISEÑO DE 20 años	TOTAL
Estructura no reforzada	\$ 26.464.17
Estructura reforzada	\$ 26.068,71

Fuente: Gavilanes D., 2012

2.1.2 Antecedentes nacionales

(Silva, 2016), en la tesis *“Mejoramiento de la subrasante con geomallas multiaxiales tipo tx140 y tx160, aplicado a un tramo de la calle Alemania – La Molina – Cajamarca 2016”*, Perú – 2016, presentado en la Universidad Privada del Norte, para obtener el título de Ing. Civil, en la investigación busca proponer nuevas técnicas para el mejoramiento de subrasante en suelos inestables, para lo cual plantea el uso de geomallas multiaxiales. Para dicha investigación se realiza diseños con y sin uso de geomallas en suelo arcillosos con CBR de 2.5% y presencia de nivel freático. Para el diseño con el uso de geomallas se utilizó el software spectra pave 4.0. Obteniendo como resultado el incremento en la capacidad de soporte de la subrasante, y por consiguiente disminución de los espesores de la carpeta estructural. La metodología que se usó para el diseño de pavimento flexible usando geomallas fue la investigación hecha por los doctores J. P: Giroud y Jie Han, basado en los principios de metodología Giroud and Noiray. Una vez que fue identificada la zona de estudio se procedió al levantamiento topográfico de la vía, para la cual se utilizó equipos topográficos tales como estación total, prismas, libreta de campo, trípodes. El levantamiento se realizó en una longitud de 80 ml.

Del mismo modo para el diseño se realizó el estudio de tráfico de la vía analizada encontrándose vehículos de las siguientes características: 1RS, 1RD, 1RS+ RD, 2RD. El nivel de serviciabilidad fue tomada del manual del (1). La cantidad de vehículos se determinó por conteos visuales. Una vez determinada la cantidad de vehículos se procedió al cálculo del EAL's, donde el valor de EAL's = $1 \cdot 10^5$.

En el estudio se evaluó la subrasante con la finalidad de conocer las propiedades físicas y mecánicas, se extrajo la muestra de una calicata, las muestras extraídas se llevaron al laboratorio y se realizaron los siguientes ensayos: Granulometría, Límites de Atterber, Valor de soporte California (CBR), Densidad (proctor modificado), Humedad. El ensayo de CBR arrojó el valor de 2.5%, por lo que se consideró un suelo altamente

inestable. Estas características físico mecánicas sirvió como punto de partida para el diseño de la carpeta estructural de pavimento usando las geomallas. Se llegó a la siguiente conclusión: las geomallas multiaxiales tx140, tx160, mejoran la subrasante en promedio en un 63%. En cuanto al ensayo de laboratorio para el tramo en estudio se obtuvo valores de CBR de 2.50%, la cual nos indica que es un suelo inestable. Los espesores para un mejoramiento convencional son mayores en referencia a los espesores incluyendo el refuerzo de la geomalla.

(Orrego, 2014), en la tesis *“Análisis técnico - económico Del Uso De Geomallas Como Refuerzo De Bases Granulares En Pavimentos Flexibles”*. Perú – 2014, presentado en la Pontificia Universidad Católica del Perú para obtener el título de Ing. Civil. En la presente investigación se busca analizar el uso de geosintéticos, específicamente geomallas. Determinar si son económicamente viables conservando el número estructural para la cual fue diseñada. Para la verificación del estudio se diseñó una estructura no reforzada y estructuras reforzadas con geomallas biaxiales y multiaxiales. Para dicha investigación se realizó un bosquejo de todos los polímeros existentes en el mercado y las metodologías de diseño.

Estos modelamientos sirvieron como lineamientos de acuerdo a las especificaciones generales presentados por él (1). La metodología que se utilizó fue la del AASHTO 1993, esta ecuación nace en principio de la ecuación AASHO que data de 1961. La metodología AASHTO 93 busca medir el desempeño del pavimento insertando un valor adimensional conocido como “número estructural” o SN. Para determinar el SN se consideran parámetros como: tránsito, confiabilidad, variabilidad, módulo de resiliencia, serviciabilidad.

Para la investigación de este proyecto se sectorizo en seis zonas, basada en la información de la empresa a cargo del proyecto “Odebrech”, zonas con secciones nuevas y secciones por rehabilitar. Realizándose estudios de tráfico por zona.

Dentro de los estudios de mecánica de suelos se obtuvieron valores de CBR de 17.06% para secciones nuevas, y CBR de 30.50 % para rehabilitaciones. Estos valores de CBR sirvieron para el cálculo tradicional por la metodología AASHTO. Obteniéndose valores para cada sección.

Para el diseño con refuerzo de geomallas biaxiales y multiaxiales se tomó como referencia los espesores calculados de forma convencional, así también las características de la subrasante.

Dentro de la comparación de espesores, en lo general se obtuvo disminución para todas las secciones analizadas como se aprecia en la Tabla 2.

Tabla 2. Comparación de espesores

SECCIÓN DE DISEÑO	NO REFORZADO (CM)	REFORZADO CON BX (CM)	REFORZADO CON TX (CM)
1	33	23	19
2	19	15	15

Fuente: ORREGO C., 2014

En la comparación económica para cada sección de tramo analizado se obtuvo menor costo en vías no reforzadas como muestra la Tabla 3.

Tabla 3. Comparación de costos con el uso de geomallas multiaxiales

SECCIÓN DE DISEÑO	COSTO SECCIÓN NO REFORZADO S./ML	COSTO SECCIÓN REFORZADO CON BX S./ML	COSTO SECCIÓN REFORZADO CON TX S./ML
1	88.96	97.28	96.30

Fuente: ORREGO C., 2014

Llegando a las siguientes conclusiones: Los espesores de la carpeta estructural disminuyen significativamente tanto en el caso de secciones reforzadas con geomallas biaxiales y multiaxiales. Para el caso de las geomallas biaxiales la disminución es de un 35 %, y para el caso de las multiaxiales es de 45 %. Las variaciones de espesores de las geomallas biaxiales y multiaxiales son mínimas, puesto que para ambos casos predomina el criterio de los espesores mínimos. Sin embargo el beneficio es significativo. El simple hecho de colocar refuerzo biaxial o multiaxial incrementa la vida útil del pavimento. Para el caso económico el costo de la sección no reforzada es menor en comparación, debido a que el material de base planteado no requiere de refuerzo. Sin embargo si analizamos el costo de instalación existe una reducción de costos de una sección reforzada en comparación con una sección no reforzada. Los mínimos espesores recomendados no permite el ahorro. El ahorro en cuanto a la colocación en secciones reforzadas y no reforzadas se basa en otras variables como, disponibilidad de material, distancia de transporte. El uso de refuerzo es rentable siempre y cuando el precio del material granular es mayor de \$12/m³.

(Vidal, 2002), en la tesis “Optimización De Costos En Carreteras Aplicando El Sistema De Refuerzo Con Geomallas” Perú – 2002 presentado en la Universidad Nacional de Ingeniería, para obtener el título de Ing. Civil, en la investigación plantea la implementación de nuevas tecnologías novedosas para satisfacer la demanda de los diferentes proyectos como la estabilización de suelos, especialmente en proyectos viales nos conlleva a realizar estudios con el uso de geomallas. Investigaciones

realizadas en países como EE: UU nos demuestran que la utilización de refuerzos en pavimentos incrementan la vida útil. El uso de refuerzos en pavimentos es un punto de partida para solucionar problemas en vías no pavimentadas como es a nivel de afirmado o pavimentos con problemas de baja capacidad de soporte, así mismo la poca disponibilidad de material nos conlleva a implementar estos nuevos sistemas que representaran un ahorro significativo, en un país de diferente morfología.

El refuerzo de suelo se da principalmente para condiciones de suelos con baja capacidad portante, las geomallas generan una mejor repartición de carga sobre el terreno de fundación. Para esta investigación se consideró algunos aspectos para el diseños tales como:

a. Influencia de las condiciones de clima

El clima es uno de los factores determinantes para la sectorización de diseños en pavimentos flexibles debido a diferentes condiciones ambientales dentro de un proyecto como:

- Precipitación pluvial.
- Expansión por congelamiento.
- Contracción y expansión debido al gradiente de temperatura en un día.
- Congelamiento – deshielo y cambios de humedad.

Estos aspectos son fundamentales puesto que el Perú cuenta con zonas de sierra, costa y selva. Estos cambios de temperatura ocasionan en algunos casos fallas tempranas en pavimentos flexibles.

Las geomallas están diseñadas para soportar deformaciones de 2% a 5%. En Europa estas deformaciones pueden alcanzar valores de 3.5% aproximadamente en climas semejantes a los andes peruanos.

En la investigación se obtuvieron valores menores a 3%

b. Condiciones de carga y tráfico en pavimento

Las cargas a la cual están sometidas los pavimentos están determinados por el conteo de vehículos que pasan por un carril, estas a su vez influenciarán en la vida útil del pavimento por lo que de su importancia en el diseño.

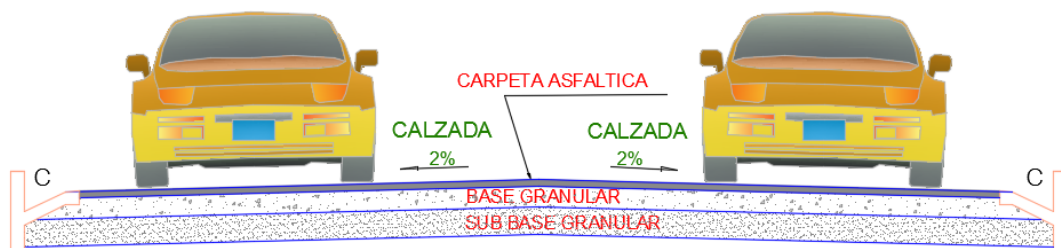
La principal falla de los pavimentos es la sobrecarga a la cual están sometidos, estas sobrecargas no son consideradas en su general por un mal estudio de tráfico. Se

llegó a las siguientes conclusiones: La aplicación del sistema suelo geomalla genera un ahorro significativo en la construcción de pavimentos asfálticos, adecuado para todo tipo de proyecto a fines. Es recomendable el uso de refuerzo con geomallas en suelos inestables de bajo valor de soporte califonia, para valores menores a 3%. El uso de geomallas para el mejoramiento de suelos inestables y alto contenido de humedad está considerado como una estabilización mecánica. En Países como Ecuador y Colombia se ha implementado este tipo de estabilización obteniendo resultados satisfactorios en ambos países. Reducción de espesores en comparación con un sistema tradicional. Estos resultados se obtuvieron de investigaciones realizadas a escala real donde se demostró una mejor capacidad de resistencia al tráfico.

2.2 BASE TEÓRICA

Los pavimentos son estructuras compactadas que reciben las cargas generadas por los vehículos, se apoyan en un conjunto de capas superpuestas que garantizan una distribución uniforme de los esfuerzos axiales y su transmisión al suelo o terreno natural, evitando las deformaciones del pavimento. (2 pág. 2), define que la finalidad de las capas estratificadas de un pavimento es resistir las cargas transmitidas por el tráfico, además de estar condicionado a aspectos económicos y durabilidad. Los elementos de mayor importancia para un pavimento de tipo flexible son las capas que conforman la “Estructura del Pavimento” conformadas estas por una subrasante mejorada, la sub base granular y base granular, carpeta asfáltica, como se puede apreciar en la Figura 1.

Figura 1. Sección típica de un pavimento flexible



Fuente: Elaboración propia

2.2.1 Mejoramiento de subrasante

Desde el punto de vista normativo el mejoramiento del suelo de subrasante consiste en mejorar las propiedades físicas y mecánicas. La estabilización de suelos se realiza en suelos inadecuados e inestables, estos suelos inestables son aquellos que

presentan un CBR < 6%. Existen diferentes mecanismos desde la sustitución de suelos, incorporación de geosintéticos (geomalla) entre otros, queda a criterio del Ing. Responsable determinar el tipo de estabilización de acuerdo al contexto que se encuentre, salvaguardando el costo y tráfico para lo que fue diseñado.

2.2.2 Elementos típicos del pavimento flexible

Los elementos típicos que componen una estructura de pavimentos flexibles son:

a. La subrasante

En la normativa del (1). Se define que: la subrasante es el nivel de corte o relleno definitivo, sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado. La subrasante del terreno al ser el elemento que soportará la estructura del pavimento, deberá ser evaluada correctamente. Al tratarse de un elemento importante para el apoyo de la carpeta del pavimento es importante determinar las características físicas y mecánicas con la finalidad de controlar posibles fallas en la estructura. El (1), recomienda compactar la subrasante al 95% del proctor modificado norma (MTC EM 115)

b. Sub base

La sub base si bien es cierto es la capa de menor calidad y de bajo costo, pero de suma importancia debido a que cumple una función importante como es la interacción de la estructura del pavimento tales como “base y carpeta asfáltica” y la subrasante.

Otra de las funciones que cumple la sub base granular es el drenaje, además de controlar la ascensión capilar de agua, ya que en época de heladas el agua que asciende capilarmente se tiende a hinchar por su congelamiento, lo cual produce fallas en el pavimento.

c. Base

Es un material seleccionado producto de la combinación de piedra chancada y material gravoso, o material estabilizado con 0 % de finos. Se ubica debajo de la carpeta asfáltica siendo de suma importancia por lo que supera en costo a la sub base pero mucho más económico que la carpeta asfáltica.

Una de las características de la base es la alta capacidad de soporte de las deformaciones producido por la sobrecarga vehicular, así mismo disipa y transmite los esfuerzos a las capas inferiores. La gradación de la base está relacionada en función a la altitud donde se desarrolla el proyecto. De ahí la responsabilidad de los ingenieros en seleccionar el material adecuado.

d. Capa de rodadura

Es la capa a nivel de rasante de la vía, apoyada sobre la base granular conformada, cuya finalidad es de generar una circulación fluida y segura de los vehículos. Al ser una capa bituminosa por lo general protege a las capas que se encuentran debajo de ellas de la saturación y degradación producto del intemperismo. La capa de rodadura es una capa flexible capaz de soportar deformaciones y transmitir los esfuerzos a las capas inferiores.

2.2.3 Mejoramiento mediante geomallas

2.2.3.1 Las geomallas

Las geomallas son geosintéticos fabricados de un material polímero y puede ser usado en suelo, roca, tierra, u otro material relacionado con la geotecnia como parte integral de un proyecto de ingeniería civil, estructura. Los geosintéticos están hechos a partir de materiales poliméricos, naturales o sintéticos.

Geosintéticos primarios usados para refuerzo, están formados por una red regular de elementos de resistencia a la tracción con aberturas de tamaño suficiente para dispositivo de seguridad con alrededor de material de relleno (3).

Las geomallas tienen una apariencia de malla abierta. Cuya principal aplicación es la de transmitir los esfuerzo de forma más homogénea.

Según su fabricación pueden ser extruidas, tejidas o soldadas; y según el sentido de desarrollo del refuerzo pueden ser uniaxiales, biaxiales o multiaxiales como se aprecia en la Figura 2.

Figura 2. Geomallas



Fuente: Danilo Galecio Castillo TDM, 2009

2.2.3.2 Tipos de geomallas

Entonces el propósito del sistema de refuerzo busca mejorar el comportamiento de toda la estructura, evitando posibles fallas debido a la discontinuidad en la estructura del pavimento.

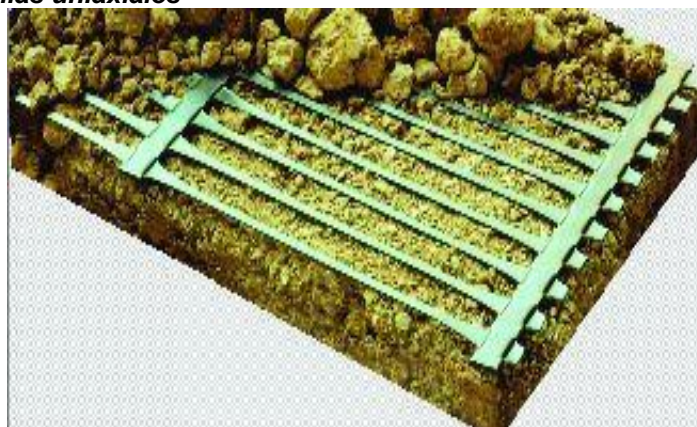
Las geomallas usadas dentro de un sistema de pavimento realizan dos de las principales funciones de los geosintéticos: separación y refuerzo (4).

Se pueden clasificar las geomallas en dos grupos, por el sentido del desarrollo del refuerzo y por su fabricación.

a. Geomallas uniaxiales

Las geomallas uniaxiales como se aprecia en la Figura 3. Son polímeros (unidireccionales) inertes que desarrollan mayor resistencia a la tensión en la dirección longitudinal, debido a su geometría razón por la cual son utilizados generalmente en la estabilización de muros, taludes y terraplenes. Estas geomallas de acuerdo a su fabricación pueden ser extruidas y soldadas.

Figura 3. Geomallas uniaxiales



Fuente: Tensar Earth Technologies ,2009

b. Geomallas biaxiales

Las geomallas biaxiales son de tipo bidimensionales compuesta de la unión de propilenos, inertes con características homogéneas como se aprecia en la Figura 4. En este caso el proceso de extrusión y estiramiento es en el sentido longitudinal y transversal. Al tratarse de una estructura bidimensional presenta alta resistencia en dos direcciones, y debido a las aberturas rectangulares estas generan mayor confinamiento lateral a las superficies inestables, tal es el caso de la sub base y subrasante. Si son usadas en la base, aumenta la resistencia a la tensión tanto en vías no pavimentadas como en pavimentos rígidos y flexibles. Las podemos utilizar para refuerzo de

terraplenes, retención de caídos en sección de roca, como gaviones en márgenes de ríos, reparación de fallas en taludes, etc. Las geomallas pueden ser extruidas, soldadas o tejidas, estas a su vez pueden ser utilizadas de acuerdo a la necesidad.

Figura 4. Geomallas biaxiales

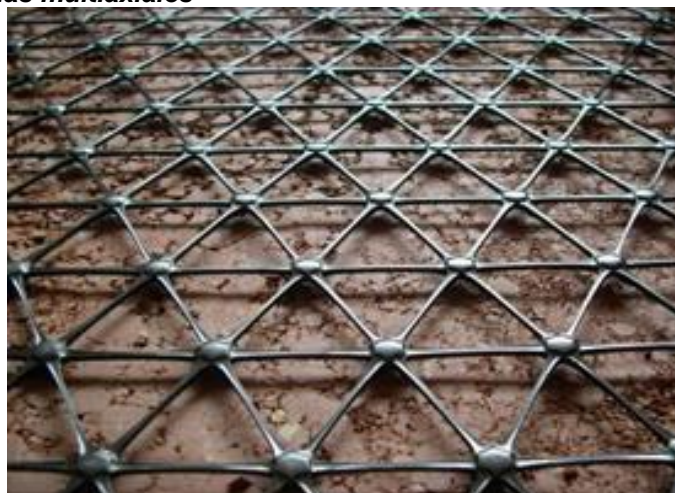


Fuente: Geosistemas, Pavco, 2012

c. Geomallas Multiaxiales

Este tipo de geomallas están estiradas en tres direcciones formando triángulos, de gran rigidez en los nudos. Estas geomallas fueron desarrolladas como una mejora o evolución de las geomallas biaxiales. La apertura de estas geomallas es triangular, que es la forma geométrica más estable como se aprecia en la Figura 5. Al tratarse de composiciones inertes resisten las diferentes condiciones climatológicas y degenerativas, así como el desgaste, las rasgaduras y el punzonamiento. Al igual que las geomallas biaxiales se usan para reforzamiento de suelos blandos, gracias a su característica de aumentar la capacidad portante, así como el confinamiento lateral del material granular.

Figura 5. Geomallas multiaxiales



Fuente: GeoCon, 2016

d. Funciones y aplicaciones

La principal función de las geomallas como ya se mencionó anteriormente es el refuerzo, ya que al tratarse de polímeros inertes resistentes a las diferentes condiciones climáticas generan alta resistencia a la tracción producido por las sobrecargas. Las geomallas pueden ser utilizadas para contrarrestar diferentes problemas tales como: estabilización de suelos, muros, taludes, etc.

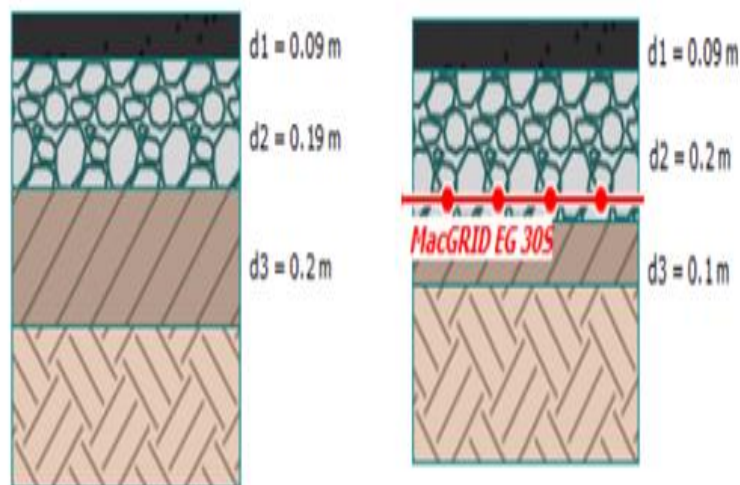
2.2.4 Refuerzo en vías con geomallas biaxiales

2.2.4.1 Generalidades

Los pavimentos flexibles generalmente consisten en capas que soportan las cargas debidas al tráfico. La primera parte es la subrasante que puede ser el terreno natural o generalmente un suelo con estabilización mecánica cuando el CBR de la subrasante es menor que 6%, donde se compacta el material prestado a una densidad especificada. La sub base es la capa que esta sobre la subrasante con un CBR mayor o igual que 40% y con las especificaciones mencionadas anteriormente, encima de esta está la base con un CBR mayor igual que 80% y por último la carpeta asfáltica, que está comprendida de agregados materiales y materiales bituminosos, como se visualiza en la Figura 6.

Los datos recogidos han sido analizados de forma conservadora y se ha generado una metodología de diseño completa aplicable sólo a geomallas integrales rígidas de alta resistencia con alto módulo de tracción, resistencia a la unión y caracterizadas por una gran capacidad de enclavamiento tal como geomallas MacGrid EGB 20 y MacGrid EGB 30.

Figura 6. Sección típica de estructuras de pavimento asfáltico



Fuente: Maccaferri, 2016

Para incluir las geomallas en el diseño de pavimentos flexibles se realizaron ensayos en laboratorio y posteriormente se verificó en campo a escala real, obteniendo una metodología de diseño de pavimentos flexibles reforzada con geomallas.

2.2.4.2 Mecanismos de refuerzo generados por las geomallas

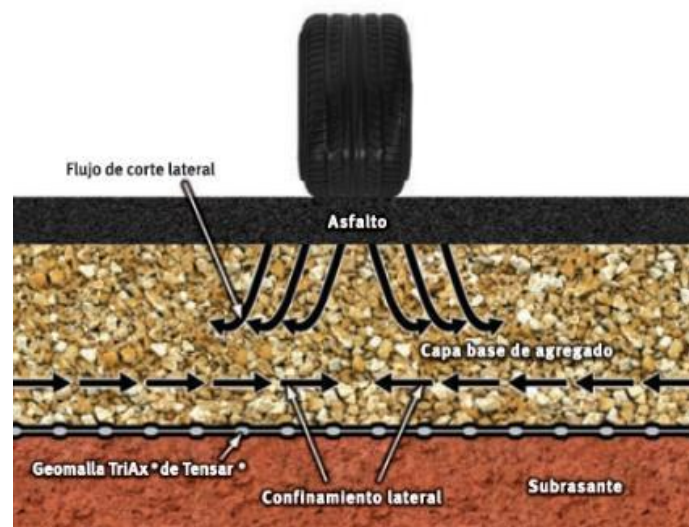
Se han identificado tres mecanismos fundamentales de refuerzo que implican el uso de geomallas para reforzar materiales de pavimento según el cuerpo de ingenieros del ejército de los EE. UU.

- Restricción o contención lateral
- Capacidad de carga mejorada
- Efecto de membrana tensada

a. Contención lateral de los materiales

Este se refiere al confinamiento lateral del material desde debajo de la carga. Dado que la mayoría de los agregados utilizados en los sistemas de pavimento son materiales dependientes del esfuerzo, un confinamiento lateral mejorado da como resultado un aumento en el módulo del material de la base o sub base. Se mantienen la rigidez de la estructura tanto en la parte superior y en la parte inferior de la geomalla cuando se instala dentro de una capa de relleno granular. Se da por medio de la trabazón que se produce entre las partículas de agregado y la geomalla de refuerzo como se puede apreciar en la Figura 7. Este mecanismo aumenta el módulo de la capa granular sobre la geomalla, además se reducen las deformaciones verticales y los ahuellamientos en la superficie de rodadura.

Figura 7. Sistema de contención lateral de la geomalla dentro de una sección de pavimento flexible



Fuente: Contención lateral, Tensar Earth Technologies, Inc.

b. Capacidad de carga mejorada

Este efecto es el que está relacionado con el uso de las geomallas en subrasantes blandas. Se le conoce también como el efecto zapato de nieve. Consiste en proporcionar alta rigidez lateral debida a la tablazón por la interacción de la geomalla y el material granular. El material granular se introduce en los orificios de la geomalla incrementando la rigidez y no permitiendo la existencia de desplazamientos horizontal y vertical de acuerdo al tipo de geomalla, previniendo posibles fallas debido a las sobrecargas sometidas por los vehículos que transitan la vía. Como se intenta expresar en la Figura 8. Generalmente este sistema se utiliza en las superficies sin pavimentar en las que se requiere una estabilización con el fin de obtener una superficie de trabajo estable

Figura 8. Sistema de mejoramiento de la capacidad portante a partir de la inclusión de la geomalla en la interfaz de subrasante de la capa base de agregado



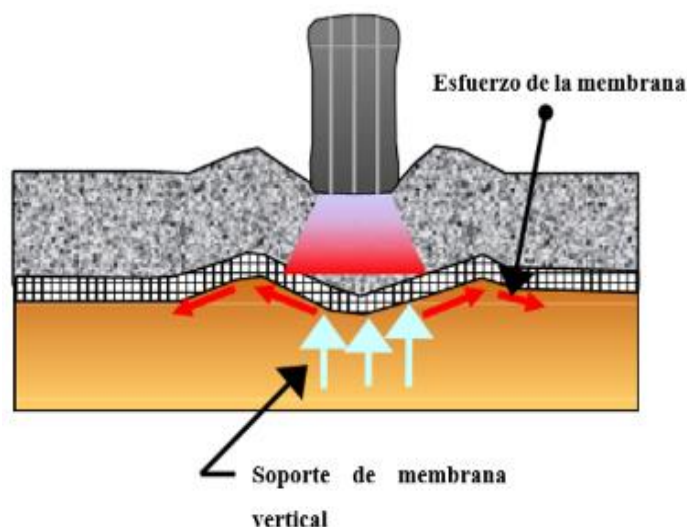
Fuente: Capacidad de carga mejorada, Tensar Earth Technologies, Inc.

c. Efecto de membrana tensada

El efecto de membrana tensada se basa en el concepto de una distribución de esfuerzo vertical mejorada resultante del esfuerzo de tracción en una membrana deformada, como se muestra en la Figura 9. Ilustra el efecto de membrana tensada. En las primeras etapas de la investigación con respecto al refuerzo de la geomalla de los sistemas de pavimento, se pensó que el efecto de membrana tensada era el mecanismo de refuerzo primario. Sin embargo, investigaciones posteriores han demostrado que se obtienen beneficios de refuerzo sin deformación significativa de la sección de pavimento. Así, la restricción lateral se ha identificado como el mecanismo de refuerzo primario, seguido por el concepto de capacidad de carga mejorada y el efecto de membrana

tensada. La contribución real de cada uno de estos mecanismos al refuerzo global proporcionado al sistema de pavimento aún no se ha cuantificado.

Figura 9. Mecanismo de refuerzo efecto de membrana tensionada



Fuente: Membrana tensionada Pavco, 2012

d. Geomallas Maccaferri (MacGrid)

Las geomallas MacGrid son estructuras planares compuesta por polímeros de alta resistencia a la fricción, usados para la estabilización de taludes y como refuerzo de suelos inestables.

Las geomallas que se utilizarán serán de tipo:

- MacGRID EGB 20, con un valor de resistencia a la tensión de 20 KN/m
- MacGRID EGB 30, con un valor de resistencia a la tensión de 30 KN/m

En las Tablas 4, 5, 6, 7: Se listan las diferentes clases de geomalla MacGrid con sus respectivas propiedades físicas y mecánicas que se utilizó en el proyecto en estudio.

Tabla 4. Propiedades físicas de geomalla MacGrid EGB 20 considerado para el refuerzo de vías en pavimentos flexibles

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	ENSAYOS	EGB 20
Abertura nominal de la malla longitudinal (MD)	mm		38
Abertura nominal de la malla transversal (TD)	mm		36
Polímero			Polipropileno
Color			negro

Fuente: Maccaferri, 2018

Tabla 5. Propiedades mecánicas de geomalla MacGrid EGB 20 considerado para el refuerzo de vías en pavimentos flexibles

PROPIEDADES MECÁNICAS	UNIDADES	ENSAYO	EGB 20
Resistencia longitudinal a la tracción (MD)	kN/m	ASTM D 6637	20
Resistencia transversal a la tracción (TD)	kN/m	ASTM D 6637	20
Resistencia longitudinal al 2% de deformación (MD)	kN/m	ASTM D 6637	7
Resistencia transversal al 2% de deformación (TD)	kN/m	ASTM D 6637	7
Resistencia longitudinal al 5% de deformación (MD)	kN/m	ASTM D 6637	14
Resistencia transversal al 5% de deformación (TD)	kN/m	ASTM D 6637	14
Eficiencia de las juntas	%	GRI GG2	93
Rigidez Flexural	Mg-cm	ASTM D 1388	1,000,000
Espesor mínimo de la costilla Longitudinal (MD)	mm	ASTM D 1777	1.3
Espesor mínimo de la costilla Transversal (TD)	mm	ASTM D 1777	1.00
Estabilidad de las Aperturas	m-N/deg	COE Method	0.7

Fuente: Maccaferri, 2018

Tabla 6. Propiedades físicas de geomalla MacGrid EGB 30 considerado para el refuerzo de vías en pavimentos flexibles

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	ENSAYOS	EGB 30
Abertura nominal de la malla longitudinal (MD)	mm		36
Abertura nominal de la malla transversal (TD)	mm		38
Polímero			Polipropileno
Color			negro

Fuente: Maccaferri, 2018

Tabla 7. Propiedades mecánicas de geomalla MacGrid EGB 30 considerado para el refuerzo de vías en pavimentos flexibles

PROPIEDADES MECÁNICAS	UNIDADES	ENSAYO	EGB 30
Resistencia longitudinal a la tracción (MD)	kN/m	ASTM D 6637	30
Resistencia transversal a la tracción (TD)	kN/m	ASTM D 6637	30
Resistencia longitudinal al 2% de deformación (MD)	kN/m	ASTM D 6637	10.5
Resistencia transversal al 2% de deformación (TD)	kN/m	ASTM D 6637	10.5
Resistencia longitudinal al 5% de deformación (MD)	kN/m	ASTM D 6637	21
Resistencia transversal al 5% de deformación (TD)	kN/m	ASTM D 6637	21
Eficiencia de Juntas	%	GR1 GG2	93
Rigidez Flexural	mg-cm	ASTM D 1388	3,500,000
Espesor mínimo de la costilla Longitudinal (MD)	mm	ASTM D 1777	2
Espesor mínimo de la costilla Transversal (TD)	mm	ASTM D 1777	1.5
Estabilidad de las Aperturas	m-N/deg	COE Method	1.4

Fuente: Maccaferri, 2018

2.2.5 Estudio de tráfico

El estudio de tráfico es de suma importancia para que el ing. Responsable pueda determinar el correcto diseño de la vía. El estudio tiene como objetivo conocer el volumen medio diario anual de cada tipo de vehículo que circula por las vías principales, el cual brindará información para el diseño del pavimento.

2.2.5.1 Número de repeticiones de ejes equivalentes

Para el diseño de pavimento flexible es de suma importancia la suma de vehículos pesados entre camiones y ómnibus. Según el AASHTO el efecto del tráfico se mide en ejes equivalentes (EE) acumulados. El deterioro del pavimento se da por un eje simple de dos ruedas convencionales cargado con 8.2 tn de peso, con neumáticos a la presión de 820 lbs/pulg², (1).

(1). Establece para el cálculo del número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 tn, en el periodo de diseño, se usara la siguiente expresión por tipo de vehículo; el resultado final será la sumatoria de los diferentes tipos de vehículos pesados considerados:

$$N_{rep \text{ de } EE_{8.2 \text{ tn}}} = \sum [EE_{\text{dia-carril}} \times F_{ca} \times 365]$$

Dónde:

- $N_{rep \text{ de } EE_{8.2t}}$: Número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 tn.
- $EE_{\text{dia-carril}}$:Ejes equivalentes por cada tipo de vehículo pesado, por día para el carril de diseño
- F_{ca} : Factor de crecimiento acumulado por tipo de vehículo pesado
- 365 : Número de días del año
- \sum : Sumatoria de ejes equivalentes de todos los tipos de vehículo pesado, por día para el carril de diseño por factor de crecimiento acumulado por 365 días del año.

Del mismo modo:

$$N_{rep \text{ de } EE_{8.2t}} = IMD_{pi} \times F_d \times F_c \times F_{vpi} \times F_{pi}$$

Donde:

- IMD_{pi} : Corresponde al índice medio diario según tipo de vehículo pesado seleccionado
- F_d : Factor direccional
- F_c : Factor Carril de diseño
- F_{vp} : Factor vehículo pesado del tipo seleccionado (i) calculado según su composición de ejes.
- F_{pi} : Factor de presión de neumáticos.

2.2.5.2 Clasificación de número de repeticiones de ejes equivalentes en el periodo de diseño

El manual se determinó los siguientes rangos.

a. Caminos pavimentados

Para los caminos pavimentados se determinó 15 rangos, desde 75,000 EE hasta 30'000,000 EE, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Número de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2 tn, en el carril de diseño para pavimentos flexibles

TIPOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE
Tp5	> 1'000,000 EE <= 1'500,000 EE
Tp6	> 1'500,000 EE <= 3'000,000 EE
Tp7	> 3'000,000 EE <= 5'000,000 EE
Tp8	> 5'000,000 EE <= 7'500,000 EE
Tp9	> 7'500,000 EE <= 10'000,000 EE
Tp10	> 10'000,000 EE <= 12'500,000 EE
Tp11	> 12'500,000 EE <= 15'000,000 EE
Tp12	> 15'000,000 EE <= 20'000,000 EE
Tp13	> 20'000,000 EE <= 25'000,000 EE
Tp14	> 25'000,000 EE <= 30'000,000 EE
Tp15	>30000000 EE

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, (p75)

2.2.6 Diseño de carretera por el método AASHTO

2.2.6.1 Metodologías de diseño

Los procedimientos adoptados según el manual de carreteras MTC - 2014 para nuestro país son:

- Methodology AASHTO 93 Guide for Design of Pavement Structures 1993.
- Análisis de la performance o comportamiento del pavimento durante el periodo de diseño.

El diseño es influenciado por las cargas de tráfico vehicular que soporta el pavimento y las características de la subrasante que soporta la estructura del pavimento.

Las cargas de tráfico vehicular impuestas al pavimento, están expresadas en ESALs, Equivalent Single Axle Loads 18-kip o 80-kN o 8.2 t, que se denominan Ejes Equivalentes (EE). La sumatorias de ESALs durante el periodo de diseño es referida como (W18) o ESALD, en el Manual se denominan Número de Repeticiones de EE de 8.2 t. (1)

Las características de acuerdo al (1) son:

- a) Caminos de bajo volumen de tránsito, mayor a 150,000 pero menor a 1'000,000 EE en el carril y periodo de diseño, como muestra la Tabla 9.

Tabla 9. Número de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2t, en el carril de diseño

TIPOS TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE
Tp0	> 75,000 EE < =150,000 EE
Tp1	> 150,000 EE < =300,000 EE
Tp2	> 300,000 EE < =500,000 EE
Tp3	> 500,000 EE < =750,000 EE
Tp4	> 750,000 EE < =1'000,000 EE

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, (p128)

b) El manual divide a la subrasante en 6 categorías en base a su capacidad de soporte CBR, como se aprecia en la Tabla 10.

Tabla 10. Categorías de subrasante

CATEGORÍAS DE SUBRASANTE	CBR
So: 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 Extraordinaria	CBR >= 30%

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, (p130)

La subrasante inadecuada y pobre, no se consideran aptos para soportar la estructura del pavimento, por lo que se requiere de una estabilización de suelos, de las cuales la más común y utilizada es la estabilización mecánica que consiste en el reemplazo del material de la subrasante por un material apto.

2.2.6.2 Método guía AASHTO 93 de diseño

La guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 93, proporciona un conjunto completo de procedimientos que pueden utilizarse para el diseño y rehabilitación de pavimentos.

El método AASHTO 93, es un método matemático basado en la aproximación, sirve para determinar el número estructural (SN). Este número es un valor adimensional que determina la capacidad de soporte de la estructura del pavimento para determinado valor de CBR, sometido a sobrecargas del tráfico, así mismo a determinadas condiciones climáticas. Las aproximaciones se hacen considerando los mínimos espesores determinados por el MTC - 2014.

2.2.6.3 Periodo de diseño

El periodo de diseño va en función de las necesidades del proyecto, el profesional responsable evaluará las condiciones a las cuales estará sometida la estructura del pavimento. El periodo de diseño podrá ser entre 10 y 20 años para el caso de pavimentos flexibles.

2.2.6.4 Variables

La ecuación básica para el diseño de la estructura de un pavimento flexible es la siguiente (5):

$$\log_{10} W_{t18} = Z_R * S_0 + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32$$

$$* \log_{10} M_R - 8.07$$

Con la ecuación se determinará los siguientes conceptos:

a) W18

Es el número acumulado de ejes simples equivalentes a 18000 lb (80KN), para el periodo de diseño, corresponde al número de repeticiones de EE de 8.2 tn; la cual se determinó en el estudio de tráfico, (1).

b) Módulo de resiliencia (MR)

Llamamos deformación resiliente a las que su recuperación es inmediata, y las llamamos plásticas a aquellas que permanecen después de cesar la carga.

El módulo de resiliencia mide el nivel de la elasticidad de los suelos. Los resultados están basados a pruebas de laboratorio, la prueba está basada en el ensayo (AASHTO 274). El módulo resiliente da como resultado la relación entre el contenido de finos, humedad, etc. Debido a que muchas instituciones no cuentan con las

herramientas para determinar el M_R , se desarrolló en relación en función a valor de CBR y VRS (6), (p.37).

El Módulo de Resiliencia o módulo resiliente según otros autores (M_R), es una medida de la rigidez del suelo de subrasante, y la ecuación que lo correlaciona con el CBR, recomendada por el MEPDG (Mechanistic Empirical Pavement Design Guide):

$$M_R(psi) = 2555xCBR^{0.64}$$

La Tabla 11. Nos muestra la variación del módulo de resiliencia con respecto al CBR, siguiendo la correlación de la ecuación mencionada anteriormente.

Tabla 11. Módulo de resiliencia para diferentes tipos de CBR

CBR% SUBRASANTE	MÓDULO RESILIENTE SUBRASANTE (MR) (PSI)	MÓDULO RESILIENTE SUBRASANTE (MR) (MPA)
6	8,043.00	55.45
7	8,877.00	61.2
8	9,669.00	66.67
9	10,426.00	71.88
10	11,153.00	76.9

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, (p132)

c) Confiabilidad (%R)

La confiabilidad de un proceso de diseño-desempeño de pavimentos es la probabilidad de que una sección de pavimento diseñada mediante el proceso se realice satisfactoriamente sobre las condiciones de tráfico y medio ambiente para el período de diseño (5). Dicha probabilidad depende de la variabilidad de los factores que intervienen o influyen en la estructura del pavimento y su comportamiento. Pero si las condiciones son diferentes a las esperadas, como pronóstico climático extraordinario, crecimiento excepcional del tráfico pesado mucho mayor a lo previsto, la calidad de construcción no deseada, se reducirá la vida útil prevista del pavimento.

El manual recomienda los siguientes valores para la confiabilidad de acuerdo a los diferentes rangos de tráfico, como se visualiza en la Tabla 12.

Tabla 12. Valores recomendados de nivel de confiabilidad para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO		NIVEL DE CONFIABILIDAD (%R)	
	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS			
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	Tp0	100,000	150,000	65%
	Tp1	150,001	300,000	70%
	Tp2	300,001	500,000	75%
	Tp3	500,001	750,000	80%
	Tp4	750 001	1, 000,000	80%
Resto de Caminos	Tp5	1,000,001	1,500,000	85%
	Tp6	1,500,001	3,000,000	85%
	TP7	3,000,001	5,000,000	85%
	Tp8	5,000,001	7,500,000	90%
	Tp9	7,500,001	10'000,000	90%
	Tp10	10'000,001	12'500,000	90%
	Tp11	12'500,001	15'000,000	90%
	Tp12	15'000,001	20'000,000	95%
	Tp13	20'000,001	25'000,000	95%
	Tp14	25'000,001	30'000,000	95%
	Tp15		>30'000,000	95%

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, (p133)

d) Coeficiente estadístico de desviación estándar normal (Zr)

La confiabilidad no se ingresa directamente en la ecuación básica para diseño de estructuras de pavimento, sin embargo, se utiliza el coeficiente estadístico de Desviación Estándar Normal (Zr); que representa el valor de la Confiabilidad seleccionada, para un conjunto de datos en una distribución normal, en la Tabla 13. Se puede apreciar los diferentes valores de los coeficientes estadísticos de desviación estándar para diferentes tipos de tráfico.

Tabla 13. Coeficiente estadístico de la desviación estándar normal (Zr) para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según el nivel de confiabilidad seleccionado y el rango de tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (ZR)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	Tp0	100,001	150,000	-0.385
	Tp1	150,001	300,000	-0.524
	Tp2	300,001	500,000	-0.674
	Tp3	500,001	750,000	-0.842
	Tp4	750 001	1,000,000	-0.842

	Tp5	1,000,001	1,500,000	-1.036
	Tp6	1,500,001	3,000,000	-1.036
	TP7	3,000,001	5,000,000	-1.036
	Tp8	5,000,001	7,500,000	-1.282
	Tp9	7,500,001	10'000,000	-1.282
Resto de Caminos	Tp10	10'000,001	12'500,000	-1.282
	Tp11	12'500,001	15'000,000	-1.282
	Tp12	15'000,001	20'000,000	-1.645
	Tp13	20'000,001	25'000,000	-1.645
	Tp14	25'000,001	30'000,000	-1.645
	Tp15		>30'000,000	-1.645

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, (p135)

e) Desviación estándar combinada (So)

Este parámetro toma en cuenta la variabilidad esperada del pronóstico del tránsito y de otros factores que influyen en el comportamiento del pavimento como la calidad de construcción, los factores climáticos, el medio ambiente, etc. y está representado en un valor numérico. La guía AASHTO 93, nos recomienda valores de la desviación estándar combinada (So) que varían entre 0.40 y 0.50 para los pavimentos flexibles. Tomando en cuenta esta recomendación el manual de carreteras, nos sugiere el valor de 0.45.

f) Índice de serviciabilidad presente (PSI)

Se emplea para evaluar la serviciabilidad del pavimento de una vía y establece la condición funcional o capacidad de servicio actual del pavimento, que se refleja en la comodidad que siente el usuario al transitar por dicha vía. Se evalúan en una escala de 0 a 5, en donde la condición óptima que representa la mejor comodidad teórica, corresponde al máximo valor.

g) Serviciabilidad inicial (Pi)

Es la condición de una vía recientemente construida. Siendo los índices de serviciabilidad para los diferentes tipos de tráfico los que se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Índice de serviciabilidad inicial (Pi) según rango de tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (PI)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	Tp1	150,001	300,000	3.8
	Tp2	300,001	500,000	3.8
	Tp3	500,001	750,000	3.8
	Tp4	750 001	1,000,000	3.8
Resto de Caminos	Tp5	1,000,001	1,500,000	4
	Tp6	1,500,001	3,000,000	4
	TP7	3,000,001	5,000,000	4
	Tp8	5,000,001	7,500,000	4
	Tp9	7,500,001	10'000,000	4
	Tp10	10'000,001	12'500,000	4
	Tp11	12'500,001	15'000,000	4
	Tp12	15'000,001	20'000,000	4.2
	Tp13	20'000,001	25'000,000	4.2
	Tp14	25'000,001	30'000,000	4.2
	Tp15		>30'000,000	4.2

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, (p137)

h) Serviciabilidad final o terminal (PT)

La Serviciabilidad final (Pt), es el nivel aceptable antes que el pavimento sea rehabilitado.

En la Tabla 15. Se muestran valores de Pt para diferentes volúmenes de tráfico.

Tabla 15. Índice de serviciabilidad final (Pt) según rango de tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL (PT)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	Tp1	150,001	300,000	2
	Tp2	300,001	500,000	2
	Tp3	500,001	750,000	2
	Tp4	750 001	1,000,000	2

	Tp5	1,000,001	1,500,000	2.5
	Tp6	1,500,001	3,000,000	2.5
	TP7	3,000,001	5,000,000	2.5
	Tp8	5,000,001	7,500,000	2.5
	Tp9	7,500,001	10'000,000	2.5
Resto de Caminos	Tp10	10'000,001	12'500,000	2.5
	Tp11	12'500,001	15'000,000	2.5
	Tp12	15'000,001	20'000,000	3
	Tp13	20'000,001	25'000,000	3
	Tp14	25'000,001	30'000,000	3
	Tp15		>30'000,000	3

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, (p138)

i) Variación de serviciabilidad (Δ PSI)

La Tabla 16. Muestra la diferencia entre la Serviciabilidad Inicial y Terminal asumida para el proyecto en desarrollo.

Tabla 16. Diferencia de serviciabilidad según rango de tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DIFERENCIAL DE SERVICIABILIDAD (Δ PSI)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	Tp1	150,001	300,000	1.8
	Tp2	300,001	500,000	1.8
	Tp3	500,001	750,000	1.8
	Tp4	750 001	1,000,000	1.8
Resto de Caminos	Tp5	1,000,001	1,500,000	1.5
	Tp6	1,500,001	3,000,000	1.5
	TP7	3,000,001	5,000,000	1.5
	Tp8	5,000,001	7,500,000	1.5
	Tp9	7,500,001	10'000,000	1.5
	Tp10	10'000,001	12'500,000	1.5
	Tp11	12'500,001	15'000,000	1.5
	Tp12	15'000,001	20'000,000	1.2
	Tp13	20'000,001	25'000,000	1.2
	Tp14	25'000,001	30'000,000	1.2
	Tp15		>30'000,000	1.2

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, (p139)

j) Número estructural propuesto (SNR)

Es un número abstracto que expresa la capacidad estructural requerida por el pavimento para condiciones de calidad de suelo, condiciones de tráfico variación de serviciabilidad durante la vida útil del pavimento y condiciones ambientales.

Representa el espesor total del pavimento a colocar y debe ser transformado al espesor efectivo de cada una de las capas que lo constituirán, o sea de la capa de rodadura, de base y sub base, mediante el uso de los coeficientes estructurales, esta conversión se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Dónde:

- a_1, a_2, a_3 : Coeficiente estructural de las capas: superficial, base y sub base, respectivamente
- D_1, D_2, D_3 : Espesor de las capas: superficial, base y sub base, respectivamente
- m_2, m_3 : Coeficiente de drenaje para las capas de base y sub base, respectivamente

El método de diseño AASHTO 93, al tratarse de un método de aproximaciones, presenta una serie de combinaciones, por tal sentido el responsable del proyecto determinará la combinación más adecuada en función a las necesidades del proyecto.

La Tabla 17. Muestra los valores de los coeficientes estructurales considerados en el presente manual:

Tabla 17. Coeficientes estructurales de las capas del pavimento a_i

COMPONENTE DEL PAVIMENTO	COEFICIENTE	VALOR COEFICIENTE ESTRUCTURAL a_i (cm)	OBSERVACIÓN
CAPA SUPERFICIAL			
Carpeta Asfáltica en Caliente, módulo 2,965 MPa (430,000 PSI) a 20 oC (68 oF)	a_1	0.170 / cm	Capa Superficial recomendada para todos los tipos de Tráfico
Carpeta Asfáltica en Frío, mezcla asfáltica con emulsión.	a_1	0.125 / cm	Capa Superficial recomendada para Tráfico < 1'000,000 EE

Micropavimento 25mm	a_1	0.130 / cm	Capa Superficial recomendada para Tráfico < 1'000,000 EE
Tratamiento Superficial Bicapa.	a_1	(*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico < 500,000EE. No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8%; y, en vías con curvas pronunciadas, curvas de volteo, curvas y contracurvas, y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
Lechada asfáltica (slurry seal) de 12mm.	a_1	(*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico < 500,000EE No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8% y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
(*) no se considera no tener aporte estructural			
BASE			
Base Granular CBR 80%, compactada al 100% de la MDS	a2	0.052 / cm	Capa de Base recomendada para Tráfico \leq 10'000,000 EE
Base Granular CBR 100%, compactada al 100% de la MDS	a2	0.054 / cm	Capa de Base recomendada para Tráfico > 10'000,000 EE
Base Granular Tratada con Asfalto (Estabilidad Marshall = 1500 lb)	a2a	0.115 / cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cemento (resistencia a la compresión 7 días = 35 kg/cm ²)	a2b	0.070 cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cal (resistencia a la compresión 7 días = 12 kg/cm ²)	a2c	0.080 cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
SUB BASE			
Sub Base Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS	a3	0.047 / cm	Capa de Sub Base recomendada con CBR mínimo 40%, para todos los tipos de tráfico

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, (p141)

Para resolver la ecuación AASHTO 93, se necesita determinar los coeficientes de drenaje, estas a su vez están dadas por las siguientes variables.

- a. La calidad del drenaje.
- b. Exposición a la saturación, que es el porcentaje de tiempo durante el año en que un pavimento está expuesto a niveles de humedad que se aproximan a la saturación.

La Tabla 18. Presenta valores de la calidad de drenaje con el tiempo que tarda el agua en ser evacuada.

Tabla 18. Calidad de drenaje

CALIDAD DEL DRENAJE	TIEMPO EN QUE TARDA EL AGUA EN SER EVACUADA
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	El agua no evacua

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, (p142)

La Tabla 19. Se presenta los valores de coeficiente de drenaje m_i , para porcentajes del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación y calidad del drenaje.

Tabla 19. Valores recomendados del coeficiente de drenaje m_i para bases y sub bases granulares no tratadas en pavimentos flexibles

CALIDAD DEL DRENAJE	P=% DEL TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD CERCANO A LA SATURACIÓN			
	MENOR QUE 1%	1% - 5%	5% - 25%	MAYOR QUE 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.2
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.8
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.6
Muy pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.4

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, (p142)

Para determinar las secciones de estructuras de pavimentos flexibles, se consideraron los siguientes mínimos recomendados, como indica la Tabla 20:

Tabla 20. Valores recomendados de espesores mínimos de capa superficial y base granular

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		CAPA SUPERFICIAL	BASE GRANULAR
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	Tp1	150,001	300,000	TSB, o Lechada Asfáltica (Slumy Seal): 12mm, o Micro pavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frio: 50mm Carpeta Asfáltica en caliente:50 mm	150 mm
	Tp2	300,001	500,000	TSB, o Lechada Asfáltica (Slumy Seal): 12mm, o Micropavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frio: 60mm Carpeta Asfáltica en caliente:60 mm	150 mm
	Tp3	500,001	750,000	Micro pavimento: 25mm, Carpeta Asfáltica en Frio: 60mm, Carpeta Asfáltica en caliente: 70mm	150 mm
	Tp4	750 001	1,000,000	Micropavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frio: 70mm Carpeta Asfáltica en caliente: 80mm	200 mm
Resto de caminos	Tp5	1,000,001	1,500,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 80mm	200 mm
	Tp6	1,500,001	3,000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 90mm	200 mm
	TP7	3,000,001	5,000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 90mm	200 mm
	Tp8	5,000,001	7,500,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 100mm	250 mm
	Tp9	7,500,001	10'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 110mm	250 mm
	Tp10	10'000,001	12'500,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 120mm	250 mm

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, (p145)

2.2.7 Estabilización por sustitución de suelos

El mejoramiento por sustitución se da por la presencia de suelos inadecuados, suelos que presenten un $CBR < 6\%$, así brindar una adecuada cimentación a la estructura del pavimento. Este mecanismo consiste en la remoción y remplazo del suelo. Para lo cual se seguirá con los siguientes procedimientos:

a) (1), determina. Se calculará el número estructural (SN) del pavimento para un periodo de 20 años. El material a reemplazar presentará un $CBR \geq 10\%$ e IP menor a 10. Este número estructural (SN) calculado se denominará SN_m (mejorado), luego se calculará el SN del pavimento para el CBR del material de subrasante existente (menor a 6%), que se denominará SNe (existente).

b) (1), establece. Se realizará la diferencia algebraica de números estructurales.

$$\Delta SN = SNe - SN_m$$

c) (1), estipula. Una vez determinado el material de remplazo ($CBR \geq 10\%$), a colocar (según SN_m calculado), se obtendrán los valores correspondientes de coeficiente estructural (a_i) y coeficiente de drenaje (m_i), de esta forma se obtendrá el espesor de mejoramiento.

$$E = \frac{\Delta SN}{a_i \times m_i}$$

Espesores recomendados de material a reemplazar, según la Tabla 21:

Tabla 21. Espesores recomendados para estabilización por sustitución de suelos

3% ≤ CBR ≤ 6%		
TRÁFICO		ESPESORES DE REEMPLAZO CON MATERIAL CBR > 10% (CM)
0	25000	25
25001	75000	30
75001	150000	30
150001	300000	35
300001	550000	40
500001	750000	40
750001	1000000	45

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, (p100)

2.2.8 Método AASHTO para diseño de pavimentos flexibles reforzados con geomallas Maccaferri

El aporte estructural de la geomalla se da por el incremento del esfuerzo del coeficiente.

Se muestra la ecuación basada de la ecuación de la AASHTO 93:

$$SN = a_1D_1 + a_2LCRD_2m_2 + a_3D_3m_3$$

El coeficiente LCR es un valor adimensional mayor a uno. Este valor depende en gran medida de las propiedades físico-químico de las geomallas. Determinados por ensayos de laboratorio. Para la cuantificación del valor se hicieron pruebas de secciones reforzadas (SNr), y secciones no reforzadas (SNU). Para la veracidad del estudio se realizaron en condiciones similares para ambos casos.

$$LCR = \frac{SN_r - SN_u}{a_2D_2} + 1$$

El valor de LCR oscila entre 2 a 1.5 dependiendo básicamente del valor de CBR de la subrasante, ESAL y profundidad de ahuellamiento de la vía.

El aporte de la geomalla es intrascendente en suelos con CBR superior a 3%, caso contrario se da para suelos con CBR igual al 1%.

La reducción en espesor de la base puede ser evaluada con el uso de una geomalla asumiendo que no existe una capa de sub base.

$$D_2 = \frac{SN_r - a_1D_1m_2}{LCRa_2m_2}$$

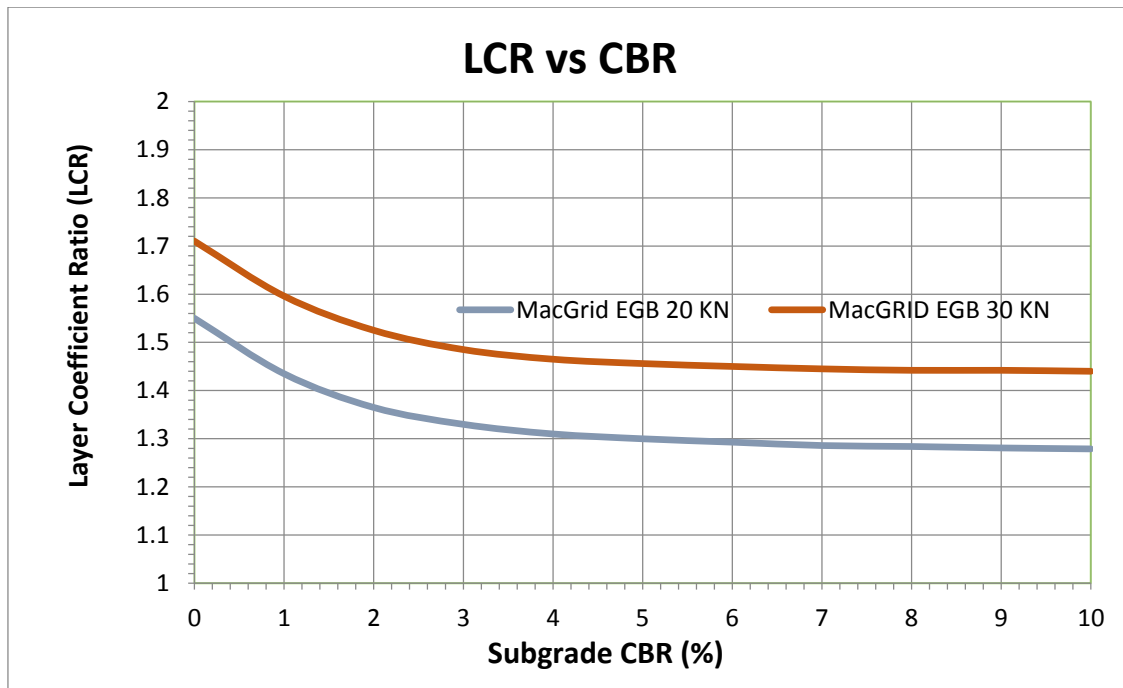
Se puede reducir el espesor de la capa de asfalto mediante la ecuación.

$$D_1 = \frac{SN_r - LCRa_2D_2}{a_1}$$

Los valores de los espesores de las diferentes capas del pavimento tienen como referencia a datos obtenidos de la primera tabulación de la estructura no reforzada mediante el método AASHTO 93. Con la inclusión del coeficiente LCR característico del tipo de geomalla utilizado, como se aprecia en la Gráfico 1. así obtener nuevos valor de número estructural (SNr), la cual deberá ser igual o superior a la obtenida de la estructura no reforzada (SNU), pasando a determinar la sección de las nuevas capas de base, sub base y carpeta asfáltica.

(7), En la tesis. *“Influencia De La Geomalla En El Diseño Del Pavimento Flexible En La Vía De Evitamiento Norte – Cajamarca, 2017”*. Aplica el Método AASHTO para diseño de pavimentos flexibles reforzados con geomallas coextruidas. Con lo cual se puede evidenciar el uso de la metodología en otro contexto de la investigación.

Gráfico 1. LCR (Layer coeficiente ratio) vs. CBR de la subrasante



Fuente: Design of flexible road pavements with MacGrid geogrids

2.2.9 Método de Giroud y Han

2.2.9.1 Evaluación de cargas

La carga por rueda "P", es la carga aplicada por una de las cargas en un eje simple y la carga aplicada por un set de ruedas en un eje tándem. La relación entre la carga por rueda y la presión de contacto:

$$P = pA$$

Dónde:

P : Carga por rueda (kN)

A : Área de contacto de la rueda (m_2)

p : Presión de contacto de la rueda (kPa), para fines prácticos se considera igual a la presión de inflado

Suponiendo que la presión se aplica en un área circular de radio r , tenemos:

$$A = \pi r^2$$

A partir de las ecuaciones tenemos:

$$r = \sqrt{\frac{P}{\pi p}}$$

2.2.9.2 Relación de módulos de material granular y subrasante

La relación de módulos $R_E = E_{MG}/E_{SR}$ para efectos de esta metodología se puede estimar mediante las siguientes correlaciones con el CBR:

$$E_{MG} = 36CBR_{MG}^{0.3}$$

Dónde:

- E_{MG} : Módulo del material granular (MPa).
- CBR_{MG} : CBR del material.

Para la subrasante se asume una condición no drenada, el valor de C_u se puede obtener ($CBR < 5$) usando la siguiente correlación (Girou & Noray 1981):

$$C_u = f_c CBR_{SR}$$

Dónde:

- C_u : Cohesión no drenada del suelo de subrasante (kPa).
- CBR_{SR} : CBR de la subrasante.
- f_c : Factor igual a 30kPa.

Heukelom y Klomp (1962) desarrollaron la siguiente correlación lineal entre el CBR de la subrasante y el módulo resiliente (para $CBR < 10$) en suelos finos con base en mediciones en campo:

$$E_{SR} = 10.35CBR_{SR}$$

De esta manera R_E se expresa como:

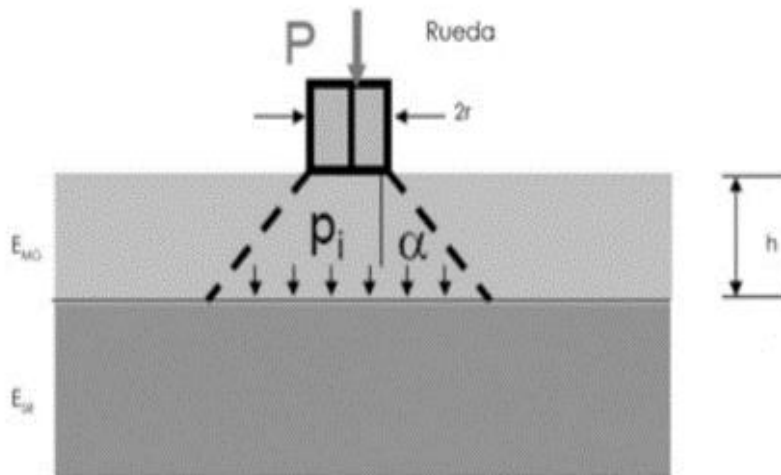
$$R_E = \frac{E_{MG}}{E_{SR}} = \frac{3.48CBR_{MG}^{0.3}}{CBR_{SR}}$$

En el caso del refuerzo con geomallas y geotextiles para la relación de módulos, R_E los autores recomiendan un valor de 5.0.

2.2.9.3 Esfuerzos sobre el suelo de subrasante

Se asume que la carga aplicada por una rueda en el caso de ejes simples o un set de llantas en un eje tándem se distribuye de manera uniforme en un área circular de radio r , según la Figura 10. Así mismo, los esfuerzos se distribuyen de acuerdo con el ángulo de distribución de esfuerzos, α (8).

Figura 10. Esfuerzo normal en la interface material granular subrasante



Fuente: Manual de software y diseño Geosoft Pavco, 2012

De esta manera el esfuerzo normal (presión) “p”, en la interface material granular/subrasante está dada por la siguiente ecuación:

$$p_i = \frac{P}{\pi(r + h \tan\alpha)^2}$$

Despejando h:

$$h = \frac{r}{\tan\alpha} \left(\sqrt{\frac{P}{\pi r^2 p_i}} - 1 \right)$$

Para prevenir la falta de la subrasante se debe cumplir que:

$$p_i \leq mN_c C_u$$

Dónde:

- m : Coeficiente de movilización de capacidad portante

Con lo que se obtiene:

$$h \geq \frac{r}{\tan\alpha} \left(\sqrt{\frac{P}{\pi r^2 m N_c C_u}} - 1 \right)$$

Empíricamente el método relación el ángulo inicial de distribución de carga, α_1 , a través de un espesor de material granular sobre un suelo blando, como se muestra a continuación:

$$\tan\alpha_1 = \tan\alpha_0 \left[1 + 0.204 \left(\frac{E_{MG}}{E_{SR}} - 1 \right) \right] = \tan\alpha_0 \left[1 + 0.204 \left(\frac{3.48 CBR_{MG}^{0.3}}{CBR_{SR}} - 1 \right) \right]$$

El ángulo de distribución de carga decrece conforme aumenta el número de repeticiones de carga, como se aprecia en la Figura 11. Este fenómeno fue medido en laboratorio por medio de pruebas de placa dinámicas Gabr (2001), por lo que $1/\tan\alpha$ es una función lineal de $\log N$:

$$\frac{1}{\tan \alpha} = \frac{1 + k \log N}{\tan \alpha_1}$$

Dónde:

- k : Constante que depende del espesor de material granular y el refuerzo.
- α : Ángulo de distribución de carga cuando el número de repeticiones de carga es N .
- α_1 : Ángulo de distribución de carga cuando el número de repeticiones es uno (1).

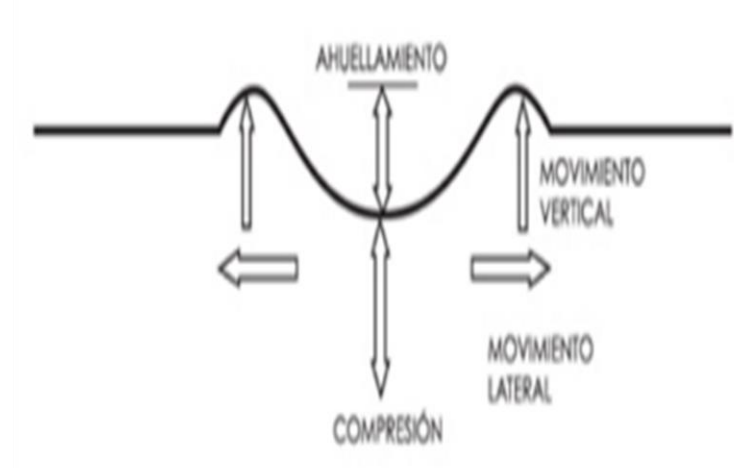
Finalmente, y basados en ensayos de campo y laboratorio se obtiene que el espesor de material granular “ h ”, es:

$$h = \frac{0.868 + (0.661 - 1.006 * J^2) \left(\frac{r}{h}\right)^{\frac{3}{2}} \log N}{1 + 0.204 \left(\frac{3.48 CBR_{MG}^{0.3}}{CBR_{SR}} - 1\right)} \left(\sqrt{\frac{\frac{P}{\pi r^2}}{\frac{s}{f_s} \left[1 - 0.9 e^{-\left(\frac{r}{h}\right)^2}\right] N_c f_c CBR_{SR}}} - 1 \right) r$$

Dónde :

- h [m] : Espesor de la capa de material granular requerido. Se recomienda como mínimo un espesor de 0.1 m.
- J [$m - N^\circ$] : Módulo de rigidez torsional de geosintético.
- N : Número de repeticiones de carga.
- P [kN] : Carga por rueda kN, $2P$ es igual a la carga del eje.
- r [m] : Radio del área de contacto de la llanta.
- CBR_{SR} [%] : CBR de la subrasante.
- CBR_{MG} [%] : CBR del material granular.
- s [mm] : Ahuellamiento permitido, es un criterio de serviciabilidad que generalmente se encuentra entre 25-100mm. Un criterio de falla de 75mm se ha usado ampliamente para esta aplicación. Para bajos volúmenes de tráfico (AASHTO 1993) considera ahuellamientos permitidos entre 13-75mm.

Figura 11. Ahuellamiento en vía no pavimentada



Fuente: Manual de software y diseño Geosoft Pavco, 2012

- f_s : Factor igual a 75mm
- f_c : Factor igual a 30kPa
- N_c : Factor de capacidad portante. $N_c=3.14$ y $J=0$ en el caso sin refuerzo, $N_c=5.14$ para el refuerzo con geotextiles y $N_c=5.71$ en el caso de geomallas biaxiales coextruídas.

(9), en la tesis “Mejoramiento de la subrasante con geomallas Multiaxiales tipo tx140 y tx160, aplicado a un tramo de la calle Alemania – La Molina – Cajamarca 2016”, aplica la metodología de diseño para vías a nivel de afirmado desarrollado por Giroud Y Han

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 MÉTODO, TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 Método de la investigación

El método general que se aplicó en este estudio fue el método científico, ya que es un estudio sistemático, controlado, empírico. Los pasos que se aplicaron con este método científico fueron la observación, la inducción, la formulación de problemas, objetivos, hipótesis, recolección de información, comprobación de hipótesis y conclusiones.

3.1.2 Tipo de Investigación

El tipo de Investigación realizado es APLICADO, porque pretende solucionar los suelos con un bajo CBR, planteando nuevas alternativas económicamente viables, sin alterar la capacidad de la estructura para el tipo de tráfico para la cual fue diseñada. (HERNÁNDEZ S., 2014),(p.42), señala que la Inv. Aplicada es de importancia porque incluye lo que tiene por justificación adelantos y productos tecnológicos

3.1.3 Nivel de Investigación

El nivel de investigación es Descriptivo, puesto que se ha descrito mediante el estudio técnico y económico de las alternativas para el mejoramiento del suelo con bajo valor de soporte californiana, es una alternativa aceptable el uso de geomallas, en vista que mejoran la capacidad de soporte de la subrasante, además de describir las características del costo y tiempo de un proyecto. (10), (p.88) señalan que mediante

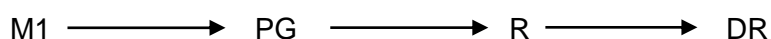
el nivel descriptivo se “pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar como se relacionan estas”.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1 Diseño de la investigación utilizada.

El diseño para el presente estudio es no experimental, de tipo transversal ya que se comparó y analizó minuciosamente los resultados, a fin de poder seleccionar una alternativa conveniente y contribuir al conocimiento de la aplicación del sistema reforzado con geomallas biaxiales. Hernández et al (2014, p.152) señala que la Investigación no Experimental es aquella que “observa los fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para analizarlos.

La gráfica de este diseño es:



Dónde:

- M1 : Muestra u Objeto de Estudio (Suelo con bajo valor de soporte califonia).
- PG : Propuesta de Mejoramiento con Geomalla Biaxial.
- R : Resultado del número estructural, costo y tiempo obtenidos.
- DR : Discusión de Resultados.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1 Población

La población está compuesta por todas las obras viales de pavimento flexible en las principales vías del distrito de Áhuac – Chupaca.

3.3.2 Muestra

El tipo de muestreo es no probabilístico, seleccionando los puntos de estudio por aspectos normativos. Hernández et al (2014, p.190) señala que el tipo de muestra no probabilístico “la elección de los casos no depende de que todos tengan la misma posibilidad de ser elegidos, sino de la decisión de un investigador o grupo de personas que recolectan los datos”.

Se ha considerado como muestra del estudio las vías en ejecución del proyecto “Mejoramientos de pistas y veredas del distrito de Ahuac, ubicado en el Jr. Unión que comprende el tramo de la progresiva prog: 2+560.74 – 4+188.95. Para la investigación se ha considerado tres calicatas para definir el CBR predominante de las vías en estudio. Estas calicatas en estudio se ubicaron en las progresivas: 3+075, 3+450, 3+825.

3.3.3 Tipo de muestra:

La muestra fue no probabilística por conveniencia, ya que no se aplicó el criterio de aleatoriedad en su selección.

3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.4.1 Variables Dependiente

V.D: Mejoramiento de subrasante en pavimentos flexibles

En los proyectos de pavimento flexible cuando se encuentra un CBR inferior a lo establecido por la norma se procede a mejorar la subrasante, por diferentes procedimientos lo que modifica los costos y el tiempo de ejecución. La operacionalización de la variable dependiente, se muestra en la Tabla 22:

Tabla 22. Operacionalización de la variable dependiente

V.D	CONCEPTO	DIMENSIONES	INDICADORES	HERRAMIENTA
MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES	Es incrementar la capacidad de soporte de la subrasante establecido en el CBR con la finalidad de optimizar el SN del pavimento flexible, esto modificará el costo y tiempo de ejecución del proyecto	Aspecto estructural	Numero estructural (SN)	Ecuación AASHTO
		Costo de ejecución	Costo unitario	Partidas del proyecto
		Tiempo de ejecución	Tiempo de reemplazo de material	Rendimiento

Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Variables Independientes:

La Tabla 23. Nos muestra la operacionalización de la variable independiente.

V.I: Geomallas Biaxiales

Tabla 23. Operacionalización de la variable independiente

V.I.	CONCEPTO	DIMENSIONES	INDICADORES	HERRAMIENTA
GEOMALLAS BIAXIALES	Las geomallas biaxiales son estructuras de tipo bidimensionales compuesta de la unión de propilenos, inertes con características homogéneas. En este caso el proceso de extrusión y estiramiento es en el sentido longitudinal y transversal.	Aporte estructural	Coficiente de aporte "LCR"	Ecuación AASHTO Con Geomallas
		Aspecto económico	Precio del material	Costo unitario

Fuente: Elaboración propia

3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1 Bibliográfica

Los libros y antecedentes utilizados para la investigación están basados en el Manual de diseño de carreteras, Publicaciones científicas "Oviedo Bellott", Expediente técnico, Catálogo de Maccaferri.

3.5.2 De campo

Se realizaron calicatas cada 500 m. A lo largo de todo el proyecto. De las cuales se extrajeron muestras para su análisis en el laboratorio de mecánica de suelos. El objeto de la investigación está basado en 3 calicatas ubicadas en el Jr. Unión, estas calicatas presentan el siguiente orden, como se aprecia en la Tabla 24:

Tabla 24. Descripción de las calicatas

CALICATA	UBICACIÓN	PROFUNDIDAD	PROGRESIVA
C - 8	Jr. Unión	1.50 m	3+075
C - 9	Jr. Unión	1.50 m	3+450
C - 10	Jr. Unión	1.50 m	3+825

Fuente: Elaboración propia

3.5.3 Ensayos

El estudio de mecánica de suelos, sirvió para definir la capacidad portante del suelo (CBR), prueba determinante para decidir si se requiere algún tipo de tratamiento para el mejoramiento de la subrasante del suelo o en su defecto no requiere ningún tipo de tratamiento. Los ensayos son los siguientes: granulometría, límites de consistencia, proctor modificado, valor de soporte california "CBR".

3.6 TÉCNICAS UTILIZADAS EN EL PROCESAMIENTO DE DATOS

3.6.1 Fase de Diseño

- Diseño con AASHTO 93
- Diseño AASHTO con geomallas
- Análisis de costos
- Análisis de tiempos

3.6.2 Fase de Gabinete

- Procesamiento de la información recolectada.
- Procesamiento de resultados obtenidos
- procesamiento de la información y presentación de resultados.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA

El diseño de pavimento flexible de la carretera se realizó considerando el manual de carreteras y tomando como referencia los datos del expediente “MEJORAMIENTO DE PISTAS Y VEREDAS DE LAS PRINCIPALES VÍAS DEL DISTRITO DE ÁHUAC, PROVINCIA DE CHUPACA, REGIÓN JUNÍN”

4.1.1 Estudio de mecánica de suelos

Al tratarse la zona de ser netamente agrícola, donde predomina un suelo de tipo cultivo se realizó el estudio de mecánica de suelos con la finalidad de determinar la capacidad portante del suelo para lo cual se realizaron 3 calicatas.

Las muestras de cada calicata fueron extraídas de forma cuidadosa e identificada, para su posterior análisis de laboratorio. Los resultados de las muestras de las calicatas, nos servirán para plantear alternativas de solución que sean las más adecuadas en función a la necesidad del proyecto. Los ensayos de mayor importancia que sirvieron como indicadores de las principales características físicas y mecánicas son:

Ensayos que se realizaron:

- Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422, MTC E 107.
- Límite Líquido de los suelos ASTM D-4318, MTC E 110.
- Límite Plástico e Índice de plasticidad ASTM D-4318, MTC E 111.
- Clasificación SUCS ASTM D-516.
- Clasificación AASHTO M-145.

- Proctor Modificado ASTM D-1557, MTC E 115.
- California Bearing Ratio ASTM D-1883, MTC E 132.

En la Tabla 25. Se plantea el cuadro resumen de las calicatas con sus respectivas coordenadas UTM.

Tabla 25. Cuadro resumen de calicatas con coordenadas UTM

CALICATA	UBICACIÓN	PROF.	PROG.	COORDENADAS UTM	
				ESTE	NORTE
C - 8	Jr. Unión	1.50 m	3+075	465123.486	8664679.07
C - 9	Jr. Unión	1.50 m	3+450	465347.183	8664377.62
C - 10	Jr. Unión	1.50 m	3+825	465574.658	8664071.2

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 12. Se aprecia enmarcado con rojo el tramo del proyecto objeto de estudio.

Figura 12. Ubicación del tramo en estudio







Fuente: Google earth, 2018

a) Registro estratigráfico

Dentro del registro estratigráfico se aprecia que los primeros 0.50 m de suelo de fundación presenta material de relleno contaminado con material de cultivo inapropiado para la subrasante de la calzada, seguidamente se aprecia otro estrado de 0.50m con un tipo de suelo según la clasificación SUCS como (CL) "arcilla arenosa", material inadecuado para para el uso de subrasante. Las deficiencias encontradas por

el tipo de suelo conllevan a presentar nuevas alternativas económicamente viables para el mejoramiento de la misma. Como se puede apreciar en la siguiente Tabla 26:

Tabla 26. Registro estratigráfico progresiva 3+075

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN		CONDICIÓN DE LA CALICATA (FOTOGRAFÍA)	DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL : COLOR, HUMEDAD NATURAL, PLASTICIDAD, ESTADO NATURAL DE COMPACTAD, FORMA DE LAS PARTICULAS, TAMAÑO MÁXIMO DE PIEDRAS, PRESENCIA DE MATERIA ORGÁNICA, ETC.
	SÍMBOLOS	GRÁFICO		
0.5	Re			Relleno de material, tierra de cultivo con bolonería de 5" en un 20% aproximadamente, cementación débil, consistencia dura, color amarillento a marrón oscuro.
1.0	CL			Arcilla con arena, cementación fuerte, consistencia dura, color amarillento a rojizo, en estado seco, con 76.7% de finos, Limite Líquido 41.56%, Limite Plástico 25.95% e Índice Plástico 15.62%.
1.1	SC			Arena arcillosa, cementación fuerte, consistencia dura, color marrón claro, gravas blanquecinas, con botonería de 4" en un 20% aproximadamente.
1.5	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS			NOTA: C-08 – JR. UNIÓN, PROGRESIVA 3+075
	Re:	Material de relleno		
	S/M:	Sin muestra		

Fuente: Laboratorio Dosed, 2014

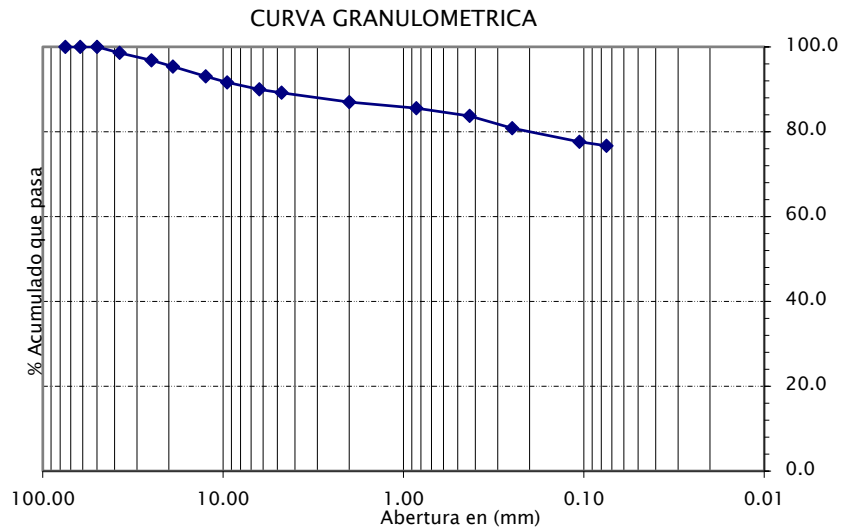
Los otros registros estratigráficos de las progresivas 3+450, 3+825 se adjuntan en los anexos.

b) Granulometría

La granulometría sirve para determinar el tipo de suelos. Esta nominación es en función a la nomenclatura AASHTO y SUCS. En la progresiva 3+075 se determinó que para el tramo en estudio el suelo es de tipo (CL) "arcilla limpia" según la norma AASHTO y A-7-6 (12) según la norma SUCS. Suelo característico de ser inestable con baja capacidad portante, como se aprecia en la Tabla 27.

Tabla 27. Granulometría calicata progresiva 3+075

Tamiz	Abertura	% Acum.
3"	75.00	100.0
2 ½"	62.00	100.0
2"	50.00	100.0
1 ½"	37.50	98.6
1"	25.00	96.8
¾"	19.00	95.4
½"	12.50	93.1
3/8"	9.50	91.6
¼"	6.30	90.0
Nº4	4.75	89.2
Nº10	2.00	87.0
Nº20	0.85	85.6
Nº40	0.43	83.7
Nº60	0.25	80.8
Nº140	0.106	77.6
Nº200	0.075	76.7



Fuente: Laboratorio Dosed, 2014

Las otras granulometrías de las progresivas 3+450, 3+825 se adjuntan en los anexos.

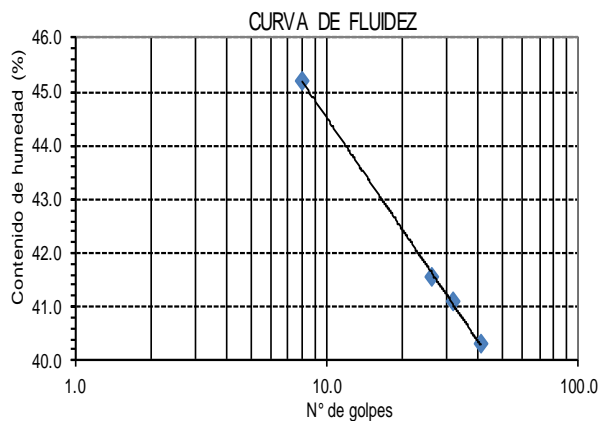
c) Límites de consistencia

El ensayo de los límites de consistencia permite determinar el Límite Líquido (LL), Límite Plástico (LP), y el Índice de Plasticidad (IP), esto a su vez para ver el contenido de finos que contenga el suelo, como se aprecia en la Tabla 28. Los límites de consistencia nos permite determinar el óptimo contenido de agua que debe tener un suelo fino capaz de soportar una carga determinada, pasada la humedad requerida el suelo no presenta resistencia y es inestable, por esa razón de su importancia.

Tabla 28. Límites de consistencia Progresiva, 3+075

Lim. Líquido	
Nº GOL	w (%)
41.0	40.32
32.0	41.07
26.0	41.55
8.0	45.21

Lim. Plástico	
25.26 %	
26.63 %	



LIMITE LIQUIDO	41.56 %
LIMITE PLASTICO	25.95 %
INDICE PLASTICO	15.62 %

CLASIF. SUCS :	CL
----------------	----

Arcilla limpia	
----------------	--

CLASIF. AASHTO :	A-7-6 (12)
------------------	--------------

JR. LA UNION, PROGRESIVA 3+075	
--------------------------------	--

CALICATA Nº	C-08
-------------	------

PROF. (m)	0.50m · 1.10m
-----------	---------------

Fuente: Laboratorio Dosed, 2014

Los ensayos de límites de consistencia de la progresiva, 3+075, 3+450, 3+825 contienen los siguientes resultados como indica la Tabla 29.

Tabla 29. Resumen de límites de consistencia de los tramos en estudio

PROGRESIVA	LÍMITE LÍQUIDO (LL)	LÍMITE PLÁSTICO (LP)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP)
3+075	41.56%	25.95%	15.62%
3+450	34.00%	19.15%	14.85%
3+825	47.33%	31.75%	15.59%

Fuente: Laboratorio Dosed, 2014

Demostrando que es un suelo arcilloso con alto contenido de finos e inestable. Los ensayos de las otras calicatas se adjuntan en los anexos.

d) Proctor modificado

El proctor modificado es un ensayo que permite determinar el grado de compactación de un suelo, utilizando un óptimo contenido de humedad. Este ensayo se determina aplicando una determinada energía, generada por el pisón de 56 lbf. El ensayo de Proctor Modificado, sirve para realizar los controles de calidad al momento de conformar las capas de material de relleno. La capa de base y sub base se debe conformar al 100% de la máxima densidad seca, mientras que la capa de subrasante se debe conformar al 95 % de la máxima densidad seca. En la Tabla 30. Se muestra un extracto del Proctor Modificado. Del mismo modo se parecía en el Gráfico 2. La curva del proctor modificado.

Tabla 30. Proctor Modificado Progresiva 3+075

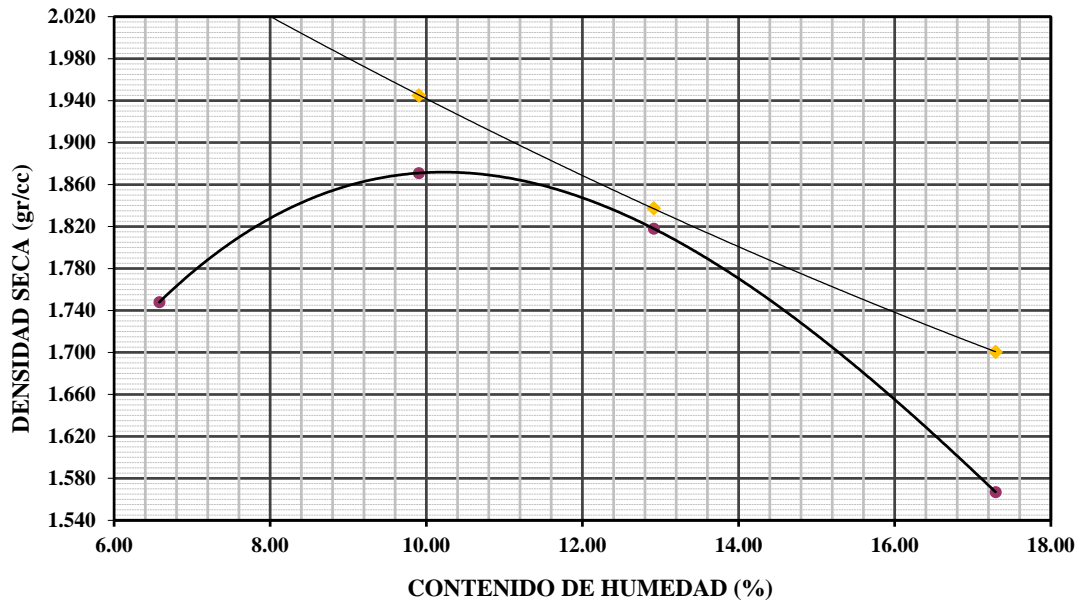
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	2104	PESO DEL MOLDE (gr.) :			3105	METODO	"C"
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4			
PESO SUELO COMPACTADO + MOLDE	7026	7432	7425	6971			
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	3921	4327	4320	3866			
PESO VOLUMETRICO HUMEDO	1.864	2.057	2.053	1.838			
CONTENIDO DE HUMEDAD							
RECIPIENTE Nro.	1	2	3	4			
PESO SUELO HUMEDO + TARA	99.22	94.74	114.41	82.11			
PESO SUELOS SECO + TARA	94.53	88.36	104.09	73.43			
PESO DE LA TARA	23.25	23.95	24.19	23.25			
PESO DE AGUA	4.69	6.38	10.32	8.68			
PESO DE SUELO SECO	71.28	64.41	79.90	50.18			
CONTENIDO DE AGUA	6.58	9.90	12.91	17.29			
PESO VOLUMETRICO SECO	1.748	1.871	1.818	1.567			

DENSIDAD MAXIMA SECA:	1.871 gr/cm ³
HUMEDAD OPTIMA:	10.20 %
GRAVEDAD DE SOLIDOS:	2.409

CURVA DE SATURACION			
2.079	1.945	1.837	1.701

Fuente: Laboratorio Dosed, 2014

Gráfico 2. Curva del proctor modificado calicata 3+075

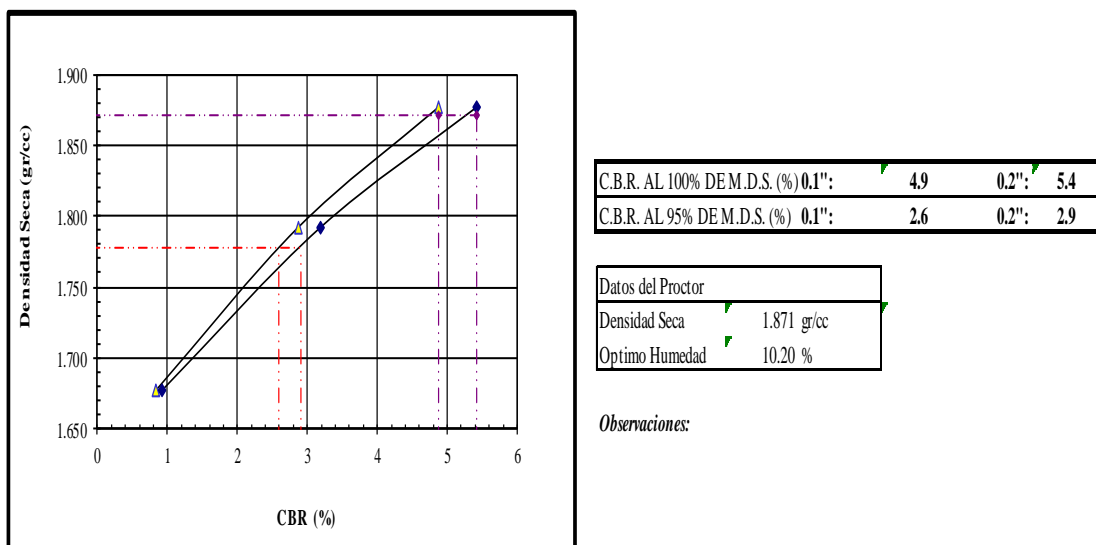


Fuente: Laboratorio Dosed, 2014

e) Valor de soporte california (CBR)

El CBR nos permite determinar la capacidad de soporte del suelo. Para diferente tipo de suelos, estos pueden ser base, sub base, y subrasante. Para los tramos en estudio se determinó un CBR promedio de 3%, sin embargo para el diseño de la vía se consideró el menor valor de CBR = 2.6%. Se presenta un cuadro de resumen con los resultados obtenidos en las 3 calicatas que son tema de estudio. En la Tabla 31 y el Gráfico 3. Se aprecia los resultados del CBR.

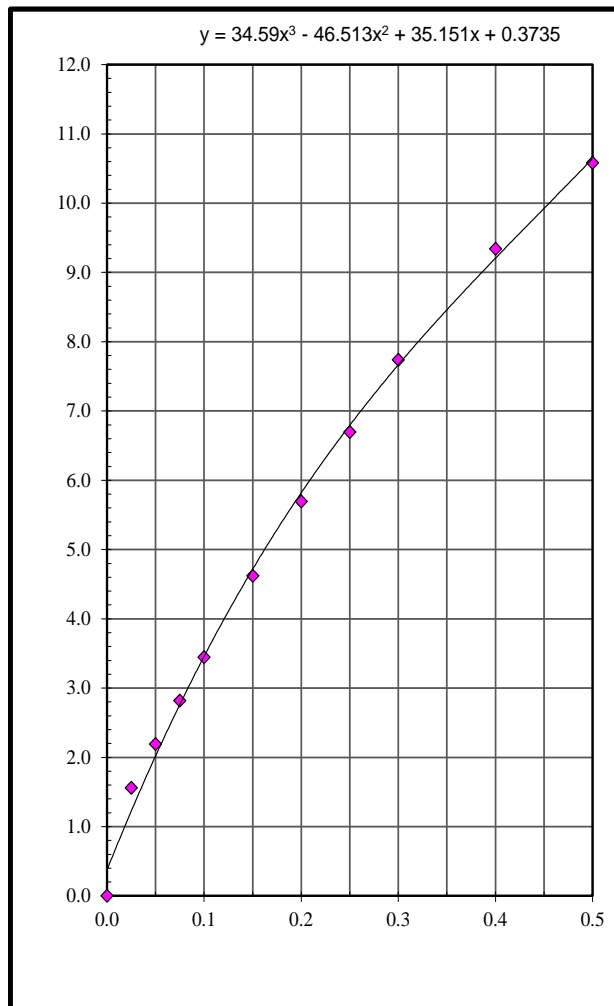
Tabla 31. Valor de soporte california (CBR) Calicata 3+075



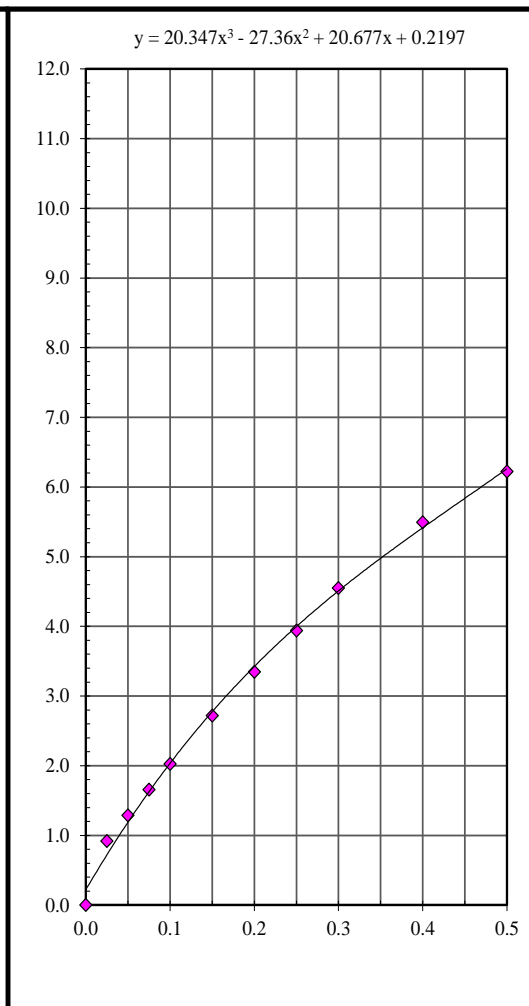
Fuente: Laboratorio Dosed, 2014

Gráfico 3. Curva valor de soporte california

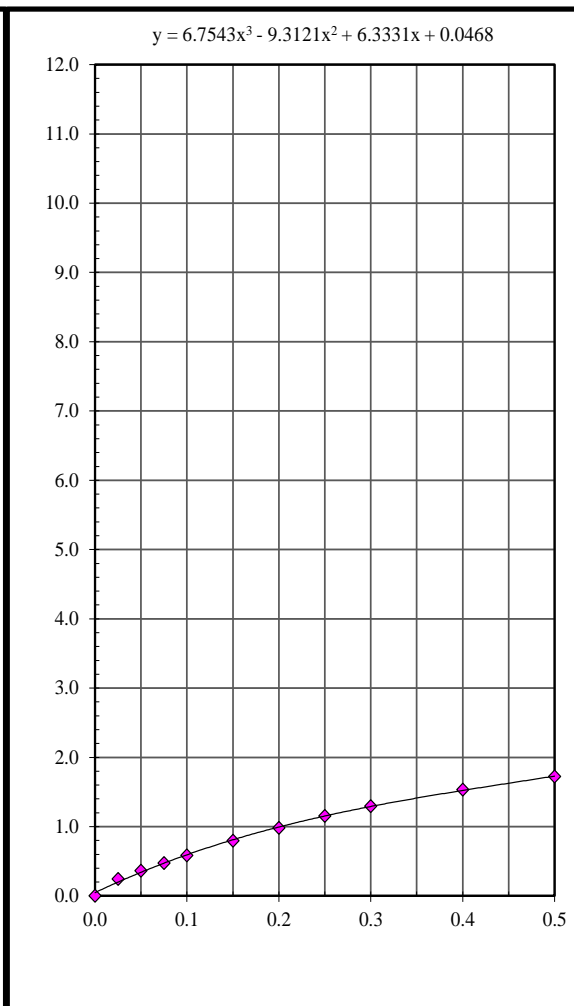
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES

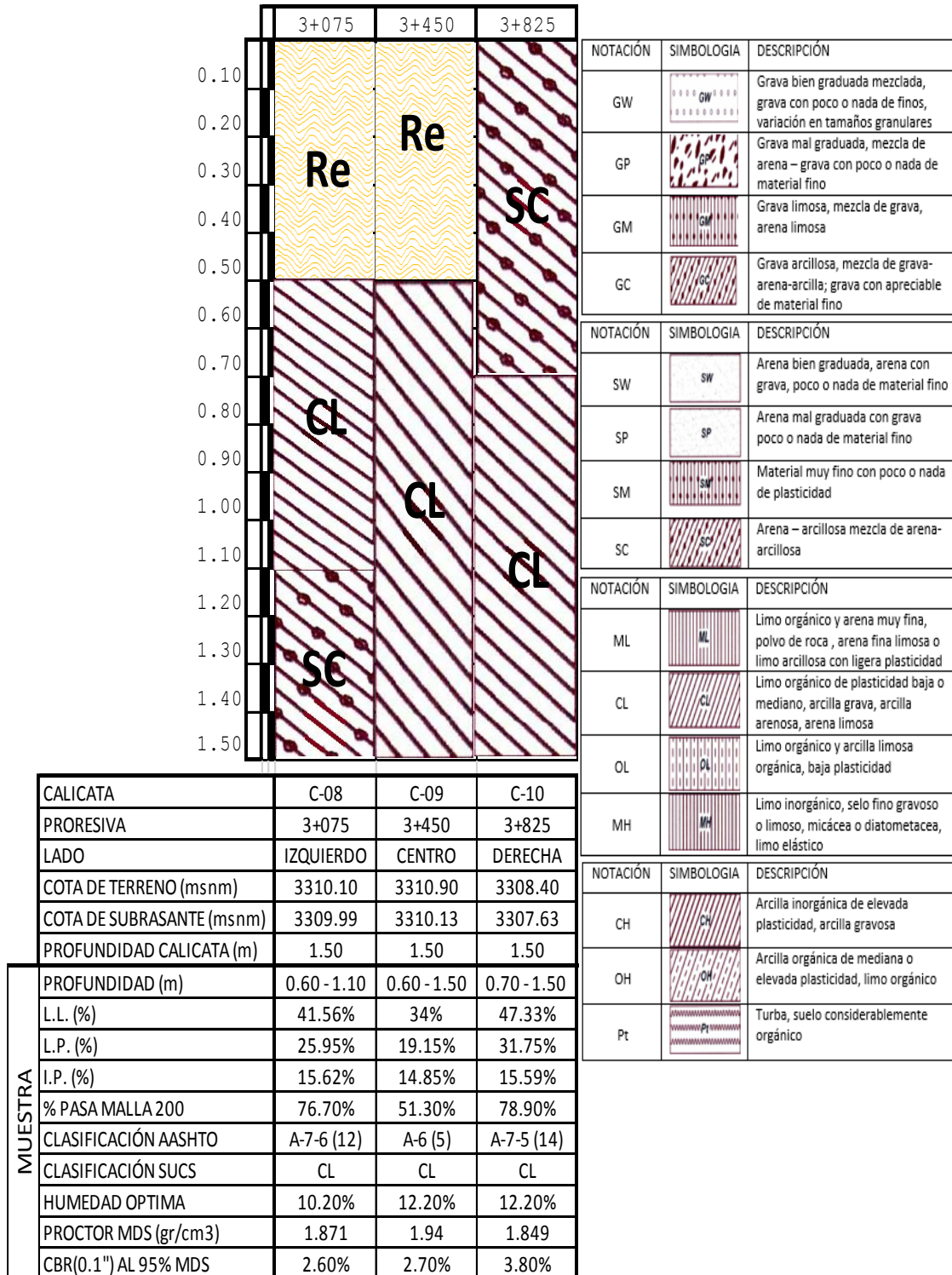


Fuente: Laboratorio Dosed, 2014

f) Perfil estratigráfico

En el Gráfico 4. Se presenta el perfil estratigráfico del estudio concerniente a las 3 calicatas del Jr. Unión. Donde se aprecia los resultados obtenidos y el tipo de suelos.

Gráfico 4. Perfil estratigráfico, estudio de mecánica de suelos



Fuente: Laboratorio Dosed, 2014

g) Resumen estudio de mecánica de suelos

Como se puede apreciar en la Tabla 32. El Jr. Unión que comprende la progresiva 2+560.74 – 4+188.95, presenta un CBR<6%, típico de suelos inadecuados e inestables de baja capacidad portante. Este resultado conlleva a buscar una alternativa adecuada para lo cual existen diversos métodos como la estabilización por remplazo de material, estabilización con geosintéticos (geomallas). Por las razones ya mencionadas se propone estabilizar el suelo con geomallas biaxiales de tipo MacGrid EGB 20 y MacGrid EGB 30.

Tabla 32. Resumen de resultados estudio de mecánica de suelos

PROCEDENCIA					GRANULOMETRÍA (% QUE PASA)				LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO (%)	CLASIFICACIÓN		PROCTOR		CBR	
UBICACIÓN	Lado	Calicata	Muestra	Prof. (m)	2"	3/4"	N°10	N°200				SUCS	AASHTO	MDS gr/cm3	OCH %	100% MDS	95% MDS
Jr. La Unión	Izquierda	C - 8	M - 1	0,00 - 1.50	100	95.40	87.00	76.70	41.56%	25.95%	15.62%	CL	A-7-6 (12)	1.87	10.20%	4.90%	2.60%
Jr. La Unión	Centro	C - 9	M - 1	0,00 - 1.50	100	98.20	65.80	51.30	34.00%	19.15%	14.85%	CL	A-6 (5)	1.94	12.20%	4.90%	2.70%
Jr. La Unión	Derecha	C - 10	M - 1	0,00 - 1.50	100	99.00	95.40	78.90	47.33%	31.75%	15.59%	CL	A-7-5 (14)	1.85	12.20%	5.70%	3.80%

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Estabilización por sustitución de suelos

En nuestro proyecto se determinó un CBR = 2.6%. Como se aprecia en el estudio de mecánica de suelos. Este CBR considerado por el MTC – 2014; como un suelo inestable e inadecuado, no apto para la cimentación de la estructura del pavimento, conlleva a calcular el espesor de mejoramiento de acuerdo al acápite 2.2.7. Siguiendo las recomendaciones establecidas por (1).

En la Tabla 33. Se aprecia los espesores de mejoramiento adoptado en función al CBR de cada tramo estudiado.

Tabla 33. Cálculo de espesor de mejoramiento MTC - 2014

REPLAZO DE MATERIAL Jr UNION TRAMO 2+560 - 4188				
UBICACIÓN	PROGRESIVA	CBR %	H CALC. (cm)	H ADOP. (cm)
JR. UNIÓN	3+075	2.60%	31.75	35
JR. UNIÓN	3+450	2.70%	30.80	35
JR. UNIÓN	3+825	3.80%	21.59	25

Fuente: Elaboración propia

a) Recomendaciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Las recomendaciones sugeridas por él (1), en la sección: suelos y pavimentos nos hace referencia, que al obtener un CBR<6% considerado suelos pobre e inadecuados se sugiere remover el suelo y reemplazar la subrasante con un suelo con mejores características físicas y mecánicas. Para lo cual hace referencia los espesores recomendados de mejoramiento en función al CBR y EE, como se aprecia en la Tabla 34.

Tabla 34. Altura del material de reemplazo tomando como sugerencia las recomendaciones del Ministerio de Transportes

UBICACIÓN	PROGRESIVA	EE 20 AÑOS	ALT. REPLAZO DE MATERIAL (cm)
Jr. Unión	2+560.74 – 4+188.95	7.47E + 05	40

Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Diseño de espesores para pavimento flexible

Para el diseño de espesores para los casos analizados se tomará en consideración las recomendaciones del manual, los cuales están basados en los parámetros descritos en la sección 2.2.6.

a) Nrep de EE_{8.2 tn}

Según el expediente técnico analizado se tomó el número de ejes equivalentes para periodos de diseño de 10 y 20 años, sin embargo para realizar el presente proyecto se consideró el periodo de 20 años de diseño, el cual se calculó mediante un conteo de tráfico, tomado como referencia los datos del expediente técnico.

Los ejes equivalentes calculados para el periodo de 20 años es el siguiente:

$$W_{20 \text{ años}} = 7.47 \text{ E } +05 \text{ (Repeticiones de carga de 8,2 t)}$$

b) Módulo de Resiliencia (MR)

Usando la fórmula que sugiere el manual de carreteras EG - 2014

$$M_R(\text{psi}) = 2555 \times \text{CBR}^{0.64}$$

Se calculó el módulo de resiliencia para CBR = 3% que pertenece a la subrasante a estabilizar y CBR = 10% que pertenece al material de reemplazo.

$$CBR S_R = 3.00\% \rightarrow M_R = 5161$$

$$CBR S_R = 10.00\% \rightarrow M_R = 11153$$

c) Confiabilidad (%R)

Para la cantidad de ejes equivalentes el nivel de confiabilidad (%R) será:

$$t = 20 \text{ años} \rightarrow R = 80 \%$$

El cual se obtuvo de la Tabla 35.

Tabla 35. Valores recomendados de nivel de confiabilidad para el caso estudiado

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS	NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	Tp3 500,001 750,000	80%

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, (p134)

d) Coeficiente estadístico de desviación estándar normal (Zr)

Para la cantidad de ejes equivalentes se obtuvo de la Tabla 36. Donde el coeficiente estadístico de desviación estándar normal es:

Tabla 36. Coeficiente estadístico de la desviación estándar normal de diseño

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS	DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (ZR)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	Tp0	100,001 150,000	-0.385
	Tp1	150,001 300,000	-0.524
	Tp2	300,001 500,000	-0.674
	Tp3	500,001 750,000	-0.842
	Tp4	750 001 1,000,000	-0.842

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, (p135)

$$t = 20 \text{ años} \rightarrow Z_R = -0.841$$

e) Desviación estándar combinada (So)

En el Manual se adopta para los diseños recomendados el valor de 0.45

f) Variación de serviciabilidad (Δ PSI)

Es la diferencia entre la Serviciabilidad Inicial y Terminal asumida para el proyecto en desarrollo. La cual se obtuvo de la Tabla 37.

$$\Delta\text{PSI} = 1.80$$

Tabla 37. Diferencia de serviciabilidad para el diseño

TIPO DE CAMINO	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DIFERENCIA DE SERVICIABILIDAD (Δ PSI)
	Tp1	150,001	300,000	1.8
Caminos de Bajo Volumen de Tráfico	Tp2	300,001	500,000	1.8
	Tp3	500,001	750,000	1.8
	Tp4	750,000	1,000,000	1.8

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, (p139)

g) Espesores calculados

Los valores de los coeficientes estructurales considerados según el manual son:

- $a_1 = 0.17/cm.$
- $a_2 = 0.052/cm.$
- $a_3 = 0.047/cm.$

Y los coeficientes de drenaje:

En la Tabla 38. Se presenta valores de coeficiente de drenaje m_i , para porcentajes del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación y calidad del drenaje.

Tabla 38. Valores recomendados del coeficiente de drenaje m_i , para base y sub base granular no tratada en pavimento flexible

CALIDAD DEL DRENAJE	P=% DEL TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD CERCANO A LA SATURACIÓN			
	MENOR QUE 1%	1% - 5%	5% - 25%	MAYOR QUE 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 - 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 - 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, (p142)

De donde obtenemos:

$$m_1 = 1 \text{ y } m_2 = 1$$

Teniendo los datos anteriormente mencionados, como se aprecia en la Tabla 39. Se calculó los espesores tentativos para el periodo de diseño 20 años y para CBRs que varían de 2.6% a 3.8%, obteniendo los diferentes espesores de la estructura del pavimento para cada tipo de CBR como se aprecia en la Tabla 40.

Los límites mínimos de los espesores calculados están basados en la tablas que nos recomienda el (1).

h) Datos para el diseño de pavimento flexible

Tabla 39. Diferencia de serviciabilidad para el diseño

DATOS	PERIODO DE DISEÑO (t = 20 años)
R =	80%
$Z_R =$	-0.841
$S_0 =$	0.45
$\Delta PSI =$	1.8
CBR BASE	80.00%
CBR SUB BASE	40.00%
CBR SUBRASANTE	variable

Fuente: Elaboración propia

i) Ecuación de diseño Método AASHTO

$$\log_{10} W_{t18} = Z_R * S_0 + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32$$

$$* \log_{10} M_R - 8.07$$

Tabla 40. Espesores de Carpeta estructural del pavimento en función a los CBR

	SN Requerido =	3.63	3.60	3.32
	SN Calculado =	3.78	3.78	3.46
	CBR S _R	2.60%	2.70%	3.80%
(t = 20 años)	Carpeta Asfáltica (cm)	7	7	7
	Base Granular (cm)	15	15	15
	Sub Base Granular (cm)	15	15	15
	Mat. Reemplazo (cm)	35	35	25

Fuente: Elaboración propia

El espesor asumido para el tramo en estudio que comprende las progresivas del Jr. Unión será para el suelo con el menor CBR, la cual será de 2.6%.

4.2 APOORTE ESTRUCTURAL EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE CON GEOMALLAS MACCAFERRI

4.3.1 Utilizando el método AASHTO para diseño de pavimentos reforzados con geomallas

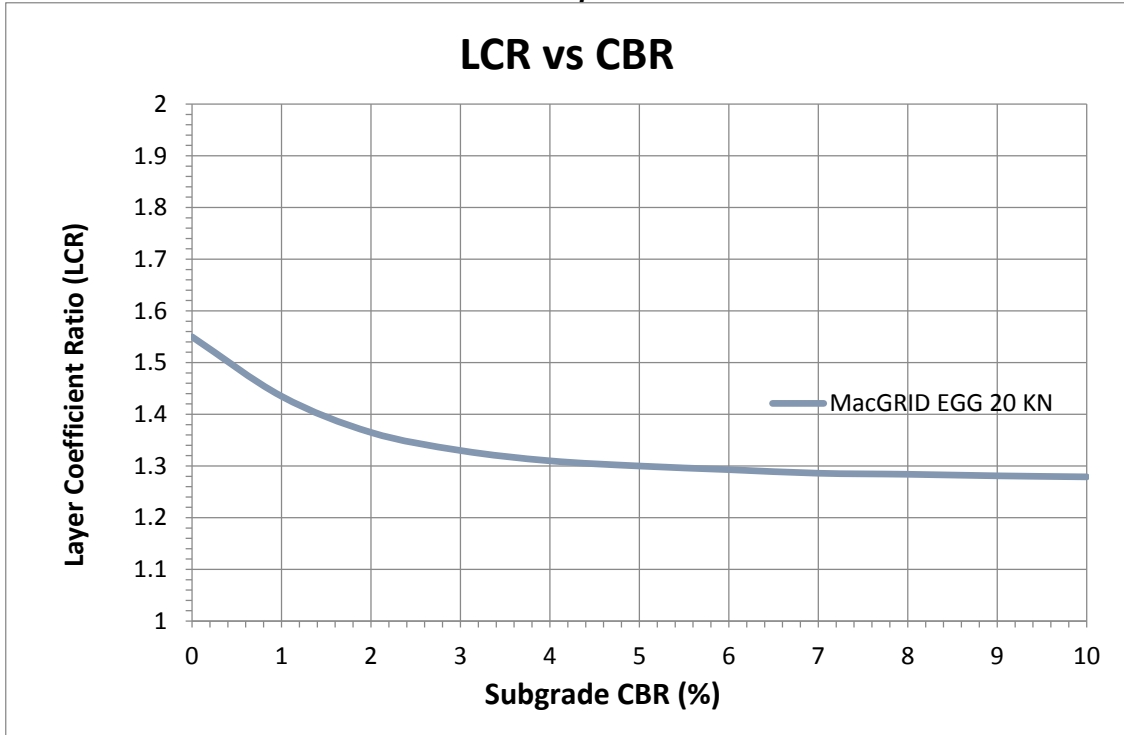
El procedimiento explicado en el punto 2.2.8. Se desarrolló en una hoja de cálculo, para un CBR de 2.6%. Al tratarse del menor valor obtenido de las 3 calicatas analizadas en el laboratorio. En la tabla 41. Se aprecia los resultados de los nuevos espesores reforzados con las geomallas de tipo MacGrid EGB 20 y MacGrid EGB 30. En el Gráfico 5, 6. Se aprecia los valores de los coeficientes de aporte "LCR" de las geomallas biaxiales, las cuales se utilizaron para el cálculo de la estructura del pavimento reforzado con geomallas.

Tabla 41. Cálculo de los nuevos espesores por el aporte de la geomalla biaxial, para las geomallas tipo MacGrid EGB 20 y tipo MacGrid EGB 30 para CBR de 2.6%

CBR		2.60%									
		CÁLCULO DE SN		ESPESOR EQUIVALENTE		Ec. SNr CÁLCULO DE D3r		CÁLCULO DE ESPESORES		VERIFICANDO	
	a1	0.17	a1	0.17	a1	0.17					
	a2	0.052						a2	0.052	a2	0.052
	a3	0.047	a3	0.05	a3	0.047		a3	0.047	a3	0.047
EGB 20 KN	D1	7	D1	7	D1	7		7		7	
	D2	15			LCR	1.34		D2r	15	D2r	15
	D3	42	D3'	58	D3r	43.583		D3r	26.99	D3r	27.5
EGB 30 KN	D1	7	D1	7	D1	7		7		7	
	D2	15			LCR	1.5		D2r	15	D2r	15
	D3	42	D3'	58.40	D3r	38.9		D3r	22.34	D3r	22.5
	m2	1						m2	1	m2	1
	m3	1	m3	1	m3	1		m3	1	m3	1
	SN	3.93	SN	3.93	SN	3.93		SN		SN	
					SN gr 20 KN	2.048		SN gr 20 KN	2.05	SN gr 20 KN	2.07
					SN gr 30 KN	1.83		SN gr 30 KN	1.83	SN gr 30 KN	1.84

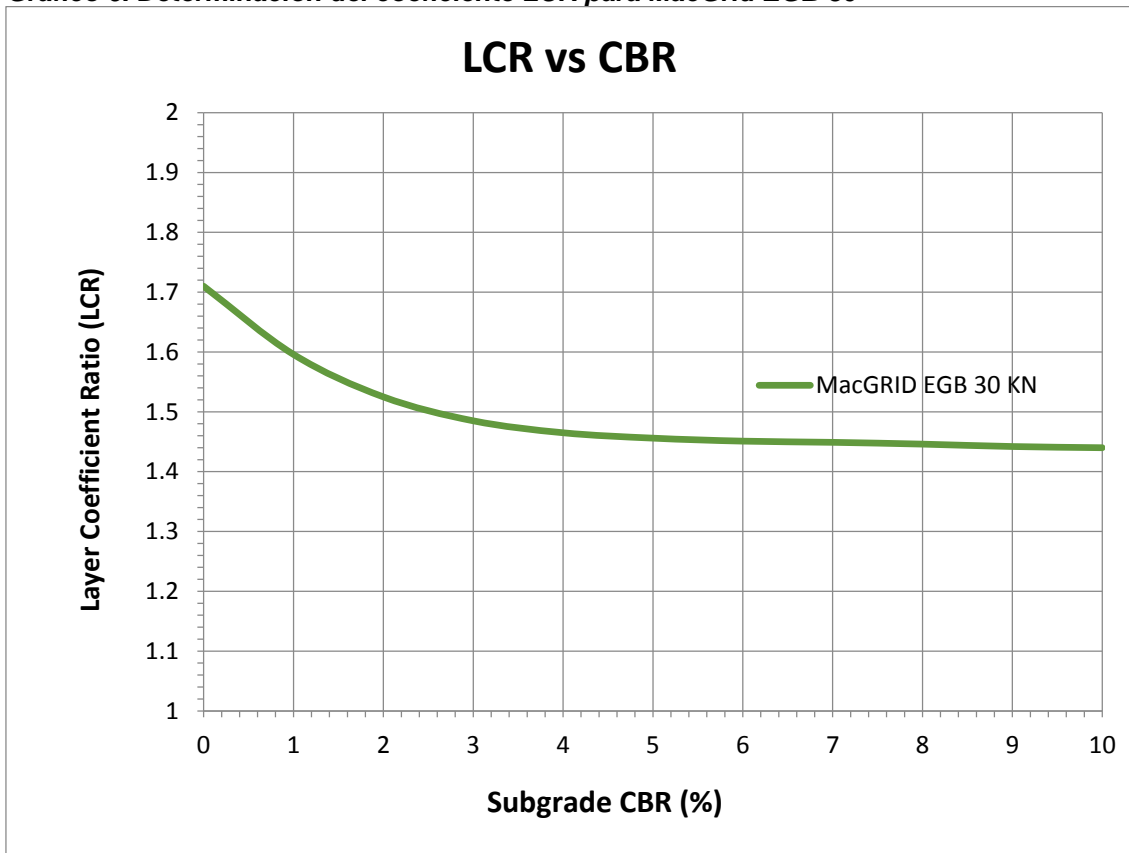
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 5. Determinación del coeficiente LCR para MacGrid EGB 20



Fuente: Maccaferri, 2018

Gráfico 6. Determinación del coeficiente LCR para MacGrid EGB 30



Fuente: Maccaferri, 2018

4.3 RESUMEN DE ESPESORES CALCULADOS

Los espesores obtenidos se muestran en la Tabla 42. Dichos espesores serán utilizados para el cálculo del costo posteriormente.

Tabla 42. Espesores calculados para las condiciones señaladas

DESCRIPCIÓN	CBR = 2.6 %			
	OVIEDO BELLOTT	EG - 2014	MacGRID EGB 20	MacGRID EGB 30
CARPETA ASFÁLTICA (cm)	7	7	7	7
BASE GRANULAR(cm)	15	15	15	15
SUB BASE GRANULAR (cm)	15	15	27.5	22.5
ESPESOR DE MEJORAMIENTO (cm)	80	40	-	-

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los cálculos realizados se obtuvo que, con el uso de las geomallas biaxiales el espesor de mejoramiento disminuye en un 100% debido a la alta resistencia a la tracción de las geomallas.

4.4 COMPROBACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE DISEÑO DE GIROUD Y HAN

Utilizando las fórmulas del acápite 2.2.9. Se desarrolló el cálculo, como se aprecia en la Tabla 43. Para determinar el valor del espesor de h, para una subrasante con un CBR de 2.6%.

Tabla 43. Tabla de datos de diseño por el método de Giroud y Han

DATOS	CALCULO CBR 2.6 %	
	SIN REFUERZO	GEOMALLAS BIAXIALES
$CBR_{SR} [\%] =$	2.6	2.6
$CBR_{MG} [\%] =$	10.00	10.00
$E_{MG} =$	71.83	71.83
$E_{SR} =$	26.91	26.91
$R_E =$	2.67	2.67
$R_E (Eleg) =$	2.7	2.7
$s (mm) =$	20	20
$f_s (mm) =$	75	75
$f_c (kPa) =$	30	30
$N_c =$	3.14	5.71
$J (kN) =$	0	0.65

r (m) =	0.15	0.15
N	747000	747000
P (kN) =	40	40
h(asumido) =	0.90	0.50

Fuente: Elaboración propia

Con esta comprobación se pudo verificar que el aporte de las geomallas son significativas debido a que solo se necesita 0.50 m de material de afirmado con uso de geomallas biaxiales en comparación con 0.90 m de material sin el uso de geomallas.

4.5 COSTO DE LAS ALTERNATIVAS DE MEJORAMIENTO

Tomando como referencia los metrados del expediente, y las partidas que corresponden a la pavimentación, se calculó el costo de las partidas que difieren para las dos alternativas.

4.5.1 Sistema convencional reemplazo de material

Se calculó el costo del corte del material suelto hasta el nivel de subrasante, tomando como referencia las recomendaciones establecidas por Oviedo Bellott y MTC – 2014 para el caso de los sistemas de reemplazo de material, como se visualiza en la Tabla 44.

Tabla 44. Costo del corte de material suelto hasta nivel de subrasante, sistema de reemplazo de material

DESCRIPCIÓN	ESPESOR (cm)	METRADO (m3)	CU	PARCIAL
OVIEDO BELLOTT	80	13335.04	S/. 5.48	S/. 73,076.02
MANUAL - 2014	40	8776.05	S/. 5.48	S/. 48,092.76

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 45. Del mismo modo se determinó el costo del reemplazo de material siguiendo las recomendaciones dadas por Oviedo Bellott, y las recomendaciones establecidas por el Manual - 2014.

Tabla 45. Costo de reemplazo de material por los dos métodos convencionales

DESCRIPCIÓN	ESPESOR (cm)	METRADO(m3)	C.U.	PARCIAL (S/.)
OVIEDO BELLOTT	80	9117.98	S/. 38.76	S/. 353,412.75
MANUAL - 2014	40	4558.99	S/. 38.76	S/. 176,706.37

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46. Cálculo del costo de pavimento de acuerdo a los espesores obtenidos usando recomendación de Oviedo Bellott. Incluyendo el remplazo de material

DESCRIPCIÓN	ESPESOR (cm)	METRADO(m3)	C.U.	PARCIAL (S/.)
CARPETA ASFÁLTICA (m3)	7	797.82	S/. 201.77	S/. 160,976.73
BASE GRANULAR (m3)	15	1709.62	S/. 52.86	S/. 90,370.54
SUB BASE GRANULAR (m3)	15	1709.62	S/. 49.38	S/. 84,421.06
REM. DE MATERIAL	80	9117.98	S/. 38.76	S/. 353,412.75
			TOTAL	S/. 689,181.08

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 46. Se aprecia el costo de la estructura del pavimento incluyendo el remplazo del material de acuerdo a las recomendaciones establecidas por Oviedo Bellott.

Espesores calculados para 0.40 m de material de remplazo y con un CBR mínimo de 10% (1).

Tabla 47. Cálculo del costo de pavimento de acuerdo a los espesores obtenidos usando recomendación del manual de carreteras EG - 2014 incluyendo el remplazo de material

DESCRIPCIÓN	ESPESOR (cm)	METRADO(m3)	C.U.	PARCIAL (S/.)
CARPETA ASFÁLTICA (m3)	7	797.82	S/. 201.77	S/. 160,976.73
BASE GRANULAR (m3)	15	1709.62	S/. 52.86	S/. 90,370.54
SUBBASE GRANULAR (m3)	15	1709.62	S/. 49.38	S/. 84,421.06
REM. DE MATERIAL (cm)	40	4558.99	S/. 38.76	S/. 176,706.37
			TOTAL	S/. 512,474.70

Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo en la Tabla 47. Se observa el costo de la estructura del pavimento siguiendo las recomendaciones establecidas por el Manual de Carreteras del MTC – 2014. Para un espesor de remplazo de 40 cm y un CBR mínimo de 10%.

4.6 SISTEMA DE REFUERZO CON GEOMALLAS BIAXIALES

MACCAFERRI

4.6.1 Método AASHTO para diseño de pavimentos con geomallas biaxiales

El costo del pavimento para los espesores calculados para los tipos de geomallas tipo MacGrid EGB 20 y MacGrid EGB 30, se muestran en las siguientes tablas:

En la Tabla 48. Se determinó el costo del corte del material suelto hasta el nivel de subrasante, tomando como referencia el refuerzo con geomallas biaxiales MacGrid EGB 20 y MacGrid EGB 30.

Tabla 48. Costo del corte del material suelto hasta nivel de subrasante

DESCRIPCIÓN	METRADO (m3)	CU	PARCIAL
MacGrid EGB 20	5641.75	S/. 5.48	S/. 30,916.78
MacGrid EGB 30	5071.87	S/. 5.48	S/. 27,793.87

Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo se determinó el costo del mejoramiento utilizando la geomalla biaxial de tipo MacGrid EGB 20 y MacGrid EGB 30, como se muestra en la Tabla 49.

Tabla 49. Costo del mejoramiento con geomalla biaxiales MacGrid EGB 20, MacGrid EGB 30

DESCRIPCIÓN	METRADO (m2)	C.U.	PARCIAL (S/.)
MacGrid EGB 20	11397.47	S/. 3.45	S/. 39,321.27
MacGrid EGB 30	11397.47	S/. 5.73	S/. 65,307.50

Fuente: Elaboración propia

También se determinó el costo del pavimento con el uso de geomallas biaxiales de tipo MacGrid EGB 20 y MacGrid EGB 30 con se muestran en la Tabla 50, 51. Respectivamente.

Tabla 50. Costo del pavimento de acuerdo a los espesores obtenidos con geomalla biaxial tipo MacGrid EGB 20, incluyendo la geomalla

DESCRIPCIÓN	ESPESOR (cm)	METRADO (m3)	C.U.	PARCIAL (S/.)
CARPETA ASFÁLTICA (m3)	7	797.82	S/. 201.77	S/. 160,976.73
BASE GRANULAR (m3)	15	1709.62	S/. 52.86	S/. 90,370.54
SUB BASE GRANULAR (m3)	27.5	3134.30	S/. 49.38	S/. 154,771.94
GEOMALLA MacGrid EGB 20	-	11397.47	S/. 3.45	S/. 39,321.27
			TOTAL	S/. 445,440.48

Fuente: Elaboración propia

Tabla 51. Costo del pavimento de acuerdo a los espesores obtenidos con geomalla biaxial tipo MacGrid EGB 30

DESCRIPCIÓN	ESPESOR (cm)	METRADO(m3)	C.U.	PARCIAL (S/.)
CARPETA ASFÁLTICA (m3)	7	797.82	S/. 201.77	S/. 160,976.73
BASE GRANULAR (m3)	15	1709.62	S/. 52.86	S/. 90,370.54
SUB BASE GRANULAR (m3)	22.5	2564.43	S/. 49.38	S/. 126,631.59
GEOMALLA MacGrid EGB 30	-	11397.47	S/. 5.73	S/. 65,307.50
TOTAL				S/. 443,286.36

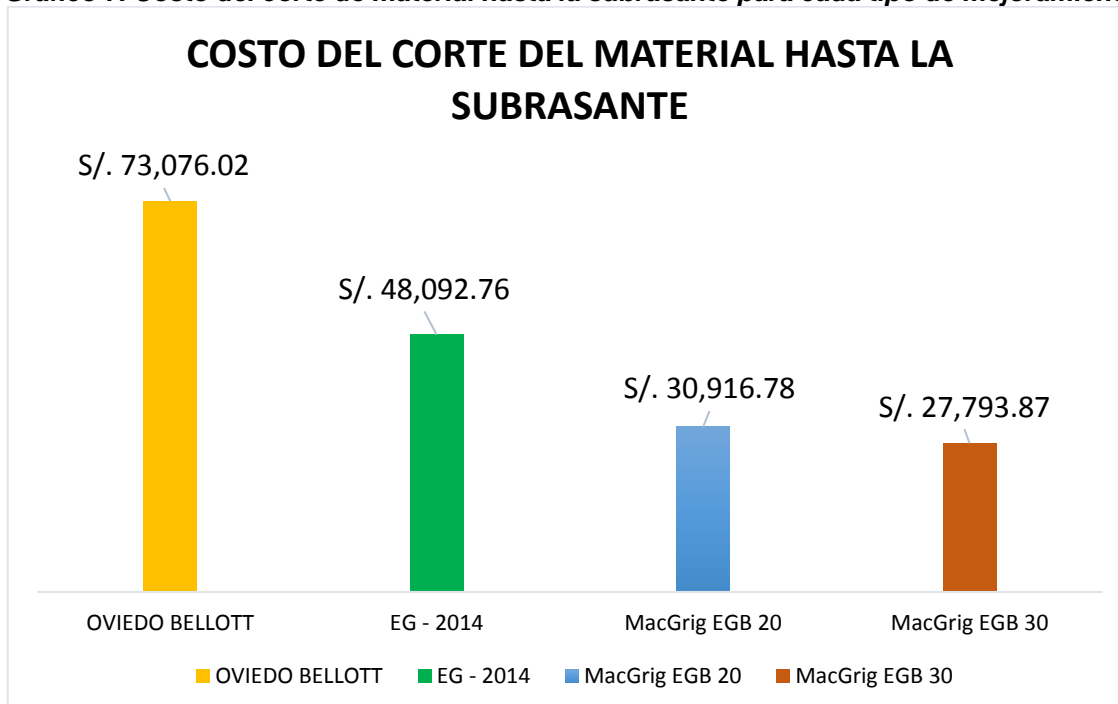
Fuente: Elaboración propia

4.7 RESUMEN DE COSTOS

Ordenando los resultados de los costos obtenidos por los distintos métodos, se obtuvieron las siguientes tablas y figuras.

La diferencia de costos entre los métodos empleados, se pueden apreciar en la Gráfico 7. Para el corte de material suelto hasta el nivel de subrasante.

Gráfico 7. Costo del corte de material hasta la subrasante para cada tipo de mejoramiento

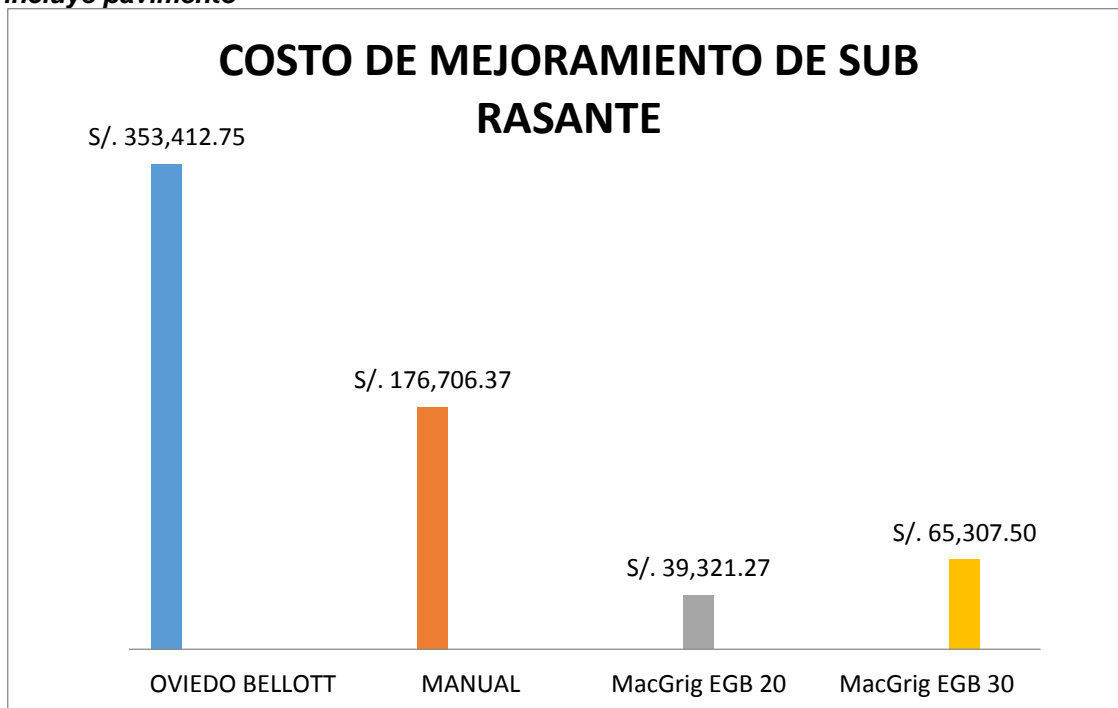


Fuente: Elaboración propia

La estabilización mecánica se analizó con las recomendaciones de la investigación que fue nominada al Premio Graña Mejoramiento de subrasante de baja capacidad portante por, (11), así como con las recomendaciones del Manual de

Carreteras del MTC-2014; mientras que, la estabilización con geomallas se analizó con los métodos AASHTO para geomallas biaxiales de tipo MacGRID EGB 20 y MacGRID EGB 30. Los costos por estabilización, se presentan en el Gráfico 8.

Gráfico 8. Costo de la estabilización de la subrasante para cada tipo de estabilización. No incluye pavimento



Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de ahorro concerniente al mejoramiento de subrasante, tomando en consideración las recomendaciones del ingeniero Oviedo Bellott (2013) y del MTC-2014 se aprecia en la Tabla 52, 53.

Tabla 52. Porcentaje de ahorro para el mejoramiento en función a Oviedo Bellott (2013)

DESCRIPCIÓN	OVIEDO BELLOTT	MacGrig EGB 20	MacGrig EGB 30
COSTO	S/. 353,412.75	S/. 39,321.27	S/. 65,307.50
% AHORRO	-	88.87%	81.52%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 53. Porcentaje de ahorro para el mejoramiento en función al MTC - 2014

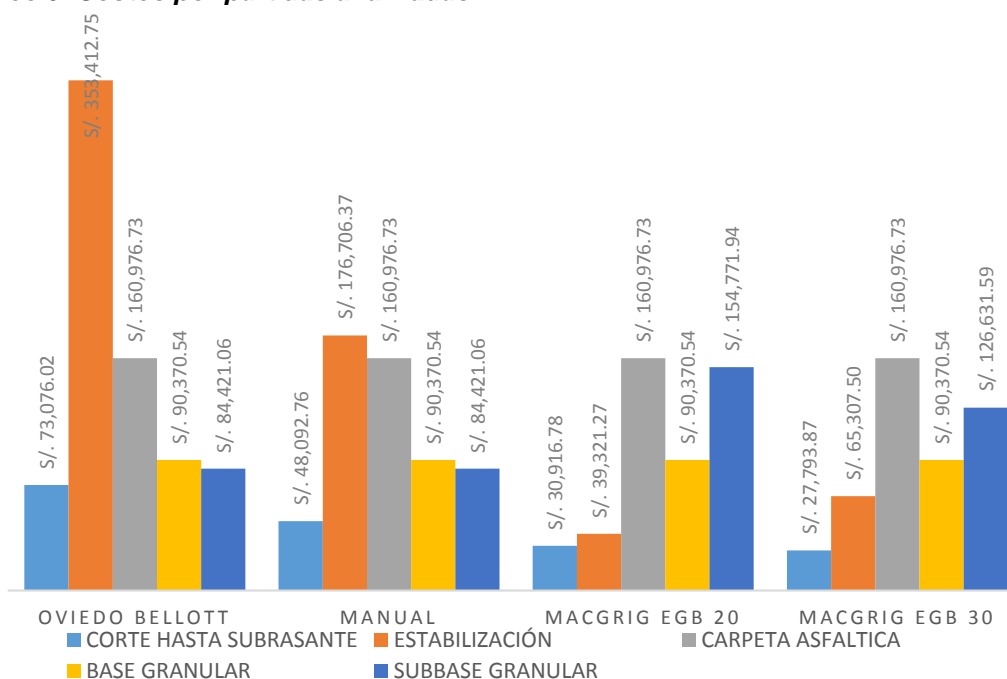
DESCRIPCIÓN	MANUAL	MacGrig EGB 20	MacGrig EGB 30
COSTO	S/. 176,706.37	S/. 39,321.27	S/. 65,307.50
% AHORRO	-	77.75%	63.04%

Fuente: Elaboración propia

Los costos por partidas analizadas considerando el corte hasta la subrasante, sub base, base granular, carpeta asfáltica y la estabilización de la subrasante se presentan

en el Gráfico 9. Teniendo en cuenta las formas de estabilización de la subrasante, mencionadas anteriormente. Donde podemos apreciar que el costo de la estabilización mecánica siguiendo la recomendación de la investigación de (11), es considerablemente mayor que las otras, esto debido al espesor de reemplazo para suelos de subrasante con CBR de 2.6%.

Gráfico 9. Costos por partidas analizadas



Fuente: Elaboración propia

Y el resumen de los costos por cada método de estabilización se presenta en la Tabla 54. Que vienen a ser la suma total de los costos de las partidas analizadas.

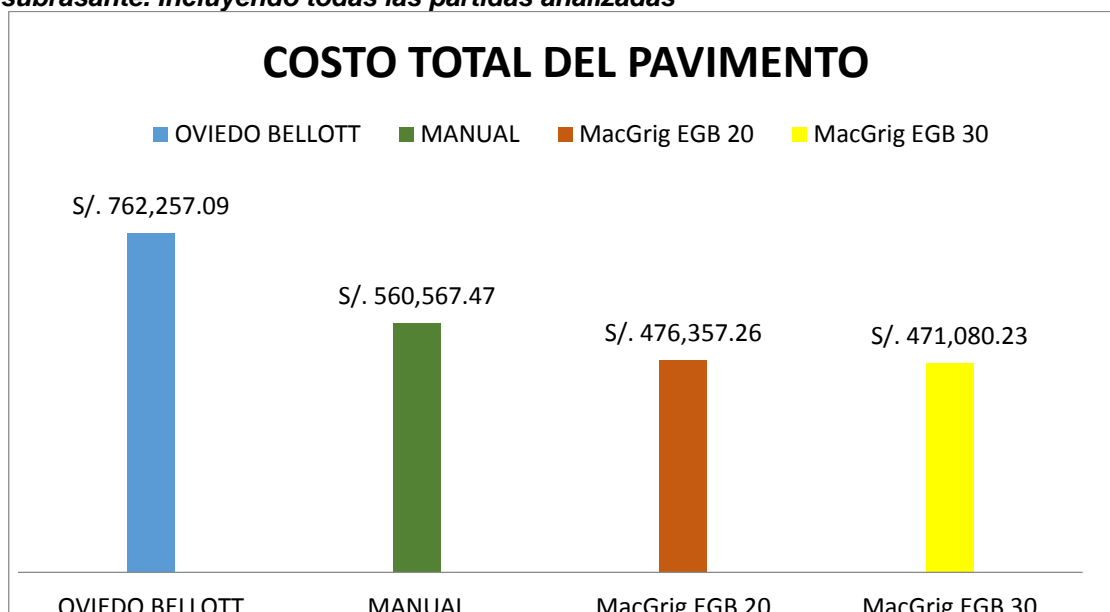
Tabla 54. Cuadro resumen de costo total para cada sistema de estabilización

REEMPLAZO DE MATERIAL		GEOMALLAS	
OVIEDO BELLOTT	MANUAL - 2014	MacGrig EGB 20	MacGrig EGB 30
S/. 762,257.09	S/. 560,567.47	S/. 476,357.26	S/. 471,080.23

Fuente: Elaboración propia

Los costos generales por partidas analizadas considerando el corte hasta la subrasante, sub base, base granular, la carpeta asfáltica y estabilización de la subrasante se presentan en el Gráfico 10. Donde se aprecia que el costo de la estabilización mecánica siguiendo la recomendación de (11). Es considerablemente mayor que las otras, esto debido al espesor de reemplazo para suelos de subrasante con CBR de 2.6%.

Gráfico 10. Cuadro resumen de costo que diferencia a los sistemas de estabilización de subrasante. Incluyendo todas las partidas analizadas



Fuente: Fuente: Elaboración propia

Los porcentajes de ahorro teniendo en consideración las recomendaciones del ingeniero Oviedo Bellott (2013), y las recomendaciones del MTC (2014) se aprecian en la Tabla 55, 56. Respectivamente.

Tabla 55. Porcentaje de Ahorro con referencia a las recomendaciones de Oviedo Bellott (2013)

DESCRIPCIÓN	OVIEDO BELLOTT	MacGrig EGB 20	MacGrig EGB 30
COSTO	S/. 762,257.09	S/. 476,357.26	S/. 471,080.23
% AHORRO	0.00%	37.51%	38.20%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 56. Porcentaje de Ahorro con referencia a las recomendaciones de MTC - 2014

DESCRIPCIÓN	MANUAL - 2014	MacGrig EGB 20	MacGrig EGB 30
COSTO	S/. 560,567.47	S/. 476,357.26	S/. 471,080.23
% AHORRO	0.00%	15.02%	15.96%

Fuente: Elaboración propia

4.8 PROGRAMACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

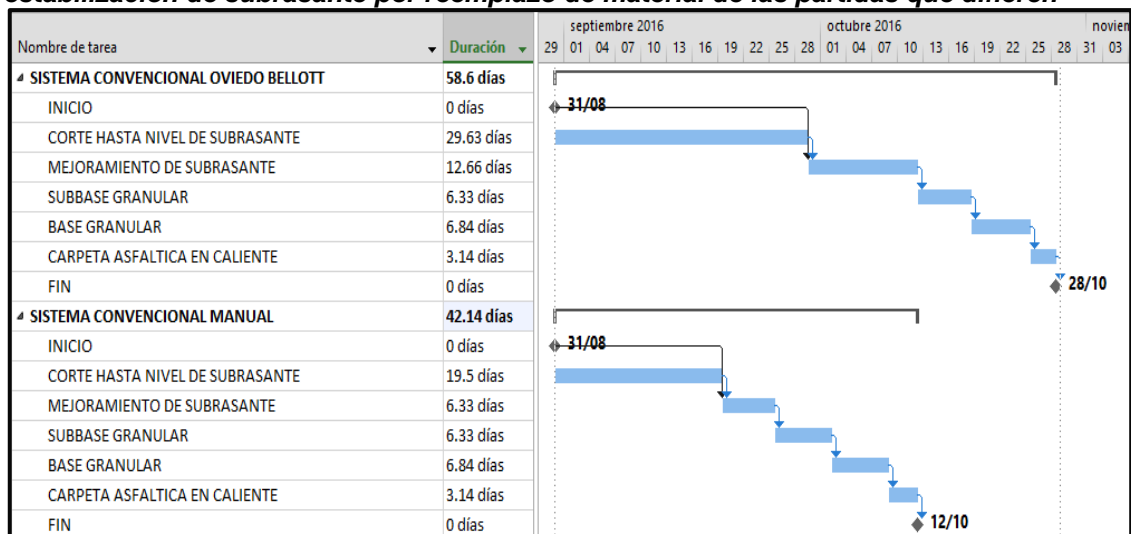
La programación de las actividades o partidas analizadas se realizó con la ayuda de Microsoft Project para ambos sistemas.

4.8.1 Sistema convencional reemplazo de material

Se realizó la programación de la estabilización mecánica que consiste en el reemplazo de material siguiendo la recomendación de (11). Y la recomendación del

manual de carreteras (EG-2014) como se presenta en la Figura 13. Teniendo una diferencia mínima en cuanto al conjunto de partidas analizadas.

Figura 13. Programación de las metodologías del sistema convencional para estabilización de subrasante por reemplazo de material de las partidas que difieren



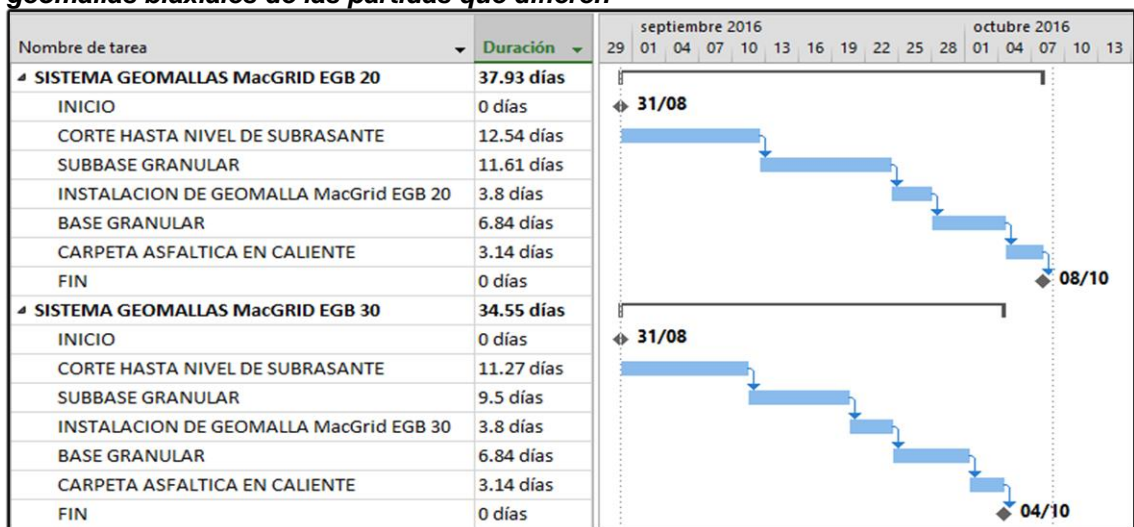
Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar, hay una diferencia consistente de 16.46 días en el tiempo del mejoramiento de la subrasante en cuanto a los dos métodos, relacionados al remplazo de material esto debido a cortes masivos y mayor espesor de mejoramiento entre los sistemas analizado.

4.8.2 Sistema de refuerzo con geomallas biaxiales

Se realizó la programación de las partidas analizadas para la estabilización de subrasante con geomallas, como se presenta en la Figura 14.

Figura 14. Programación de las metodologías para estabilización de subrasante con geomallas biaxiales de las partidas que difieren



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar los tiempos son parecidos teniendo variaciones en el tiempo de sub base granular, esto debido al metrado de este, que genera mayor tiempo en dicha partida.

4.9 RESUMEN DE TIEMPOS

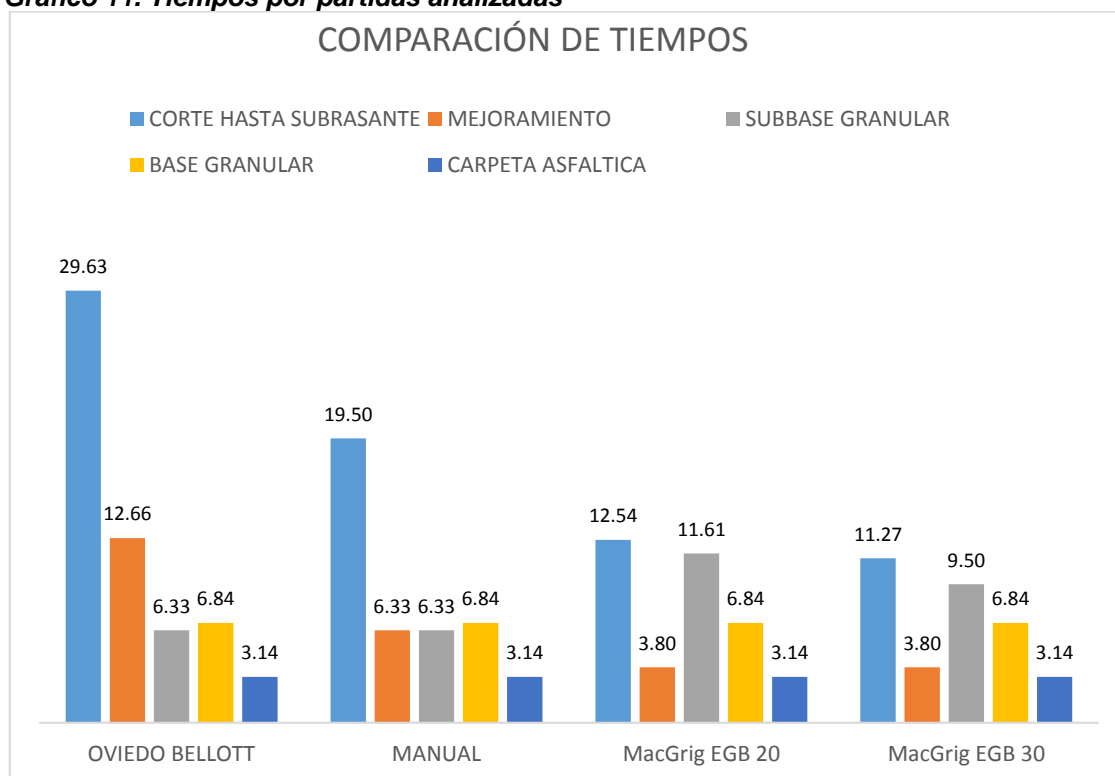
Ordenando los resultados de los tiempos obtenidos por los distintos métodos, como se aprecia en la tabla 57. Así mismo en el Gráfico 11.

Tabla 57. Tiempos por partidas analizadas y por tipo de estabilización empleada

DESCRIPCIÓN	REEMPLAZO DE MATERIAL		ESTABILIZACIÓN CON GEOMALLAS	
	OVIEDO BELLOTT	MANUAL - 2014	MacGrig EGB 20	MacGrig EGB 30
CORTE HASTA SUBRASANTE (días)	30	20	13	11
MEJORAMIENTO (días)	13	6	4	4
SUB BASE GRANULAR (días)	6	6	12	9
BASE GRANULAR (días)	7	7	7	7
CARPETA ASFALTICA (días)	3	3	3	3
TOTAL (días)	59	42	38	35

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 11. Tiempos por partidas analizadas



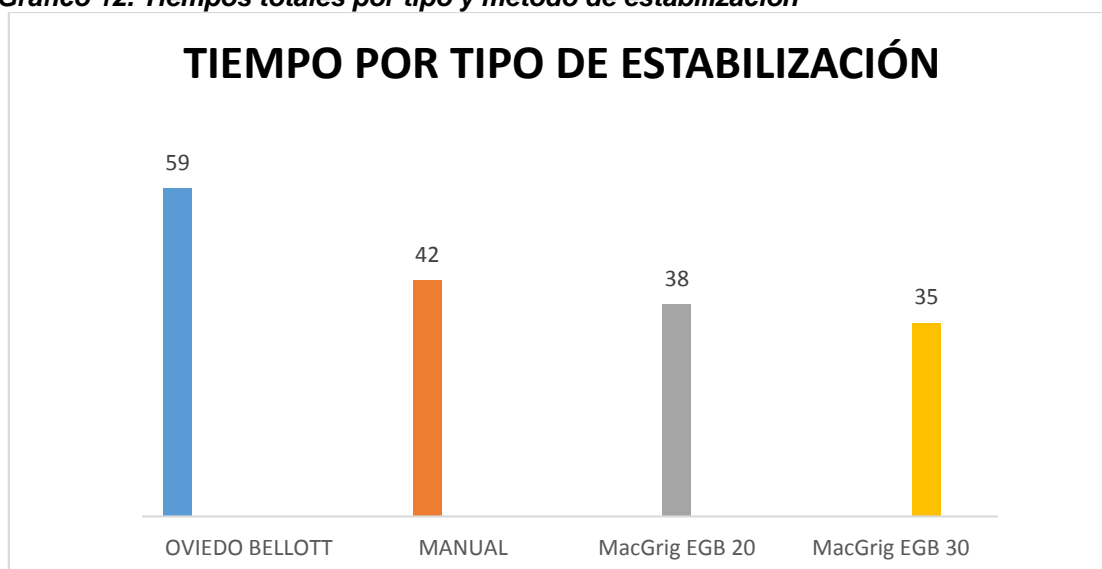
Fuente: Elaboración propia

Tabla 58. Resumen de tiempos obtenidos con los métodos de estabilización de subrasante

REEMPLAZO DE MATERIAL		ESTABILIZACIÓN CON GEOMALLAS	
OVIEDO BELLOTT (días)	MANUAL – 2014 (días)	MacGrid EGB 20 (días)	MacGrid EGB 30 (días)
59	42	38	35

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 12. Tiempos totales por tipo y método de estabilización



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 58. Y el Grafico 12. Se muestra el resumen del tiempo que demanda cada tipo de estabilización. Esta disminución de un sistema a otro se ve reflejada en la reducción de los espesores del mejoramiento de subrasante, así mismo en la disminución de las capas de sub base.

4.10 PROPUESTA DE MEJORAMIENTO

Habiendo evaluado y realizado el análisis del uso de la geomalla biaxial “Maccaferri” de tipo MacGrid EGB 20, y MacGrid EGB 30. En comparación con las recomendaciones establecidas por Oviedo Bellott (2013), así mismo el MTC - 2014. Se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 59. Resumen de espesor de la subrasante en función a las recomendaciones de Oviedo Bellott (2013), y al MTC (2014)

DESCRIPCIÓN	OVIEDO BELLOTT(2013)	MTC (2014)	MacGrid EGB 20	MacGrid EGB 30
ESPESOR(cm)	80	40	-	-

Fuente: Elaboración propia

Basado en las recomendaciones de Oviedo Bellott (2013), el espesor de mejoramiento mecánico apropiado para un suelo con un CBR de 2.6% es aproximadamente de 80 cm. De acuerdo a cálculos y recomendaciones del MTC – 2014, se requiere un mejoramiento de 40 cm. Sin embargo con el uso de las geomallas MacGrid EGB 20 y MacGrid EGB 30, como se aprecia en la Tabla 59. No requiere ningún mejoramiento.

Tabla 60. Resumen de número estructural (SN) en función a Oviedo Bellott (2013), MTC (2014), y Geomallas Biaxiales

DESCRIPCIÓN	OVIEDO BELLOTT(2013)	MTC (2014)	MacGrid EGB 20	MacGrid EGB 30
SN	5.19	3.93	3.97	3.95

Fuente: Elaboración propia

El mínimo SN de diseño, para el tipo de tráfico estudiado y la condiciones de CBR de subrasante con valor de 2.6 %, es de SN = 3.93. Para los casos estudios todos cumplen con las condiciones de número estructural (SN), la cual garantiza un buen desempeño del pavimento para el periodo de diseño con la cual fue diseñado, tal como se aprecia en la Tabla 60.

Tabla 61. Porcentaje de Ahorro con referencia a las recomendaciones de Oviedo Bellott (2013)

DESCRIPCIÓN	OVIEDO BELLOTT	MacGrid EGB 20	MacGrid EGB 30
COSTO	S/. 762,257.09	S/. 476,357.26	S/. 471,080.23
% AHORRO	-	37.51%	38.20%

Fuente: Elaboración propia

Haciendo la comparación de costos con las recomendaciones de Oviedo Bellott (2013), y el uso de las geomallas biaxiales se puede apreciar que para el tipo MacGrid EGB 20 se obtiene un ahorro del 37.51% y para el tipo MacGrid EGB 30 se obtiene un ahorro del 38.20%. Por lo cual el uso de geomallas biaxiales de ambos tipos es más económico que la estabilización mecánica, como se visualiza en la Tabla 61.

Tabla 62. Porcentaje de Ahorro con referencia a las recomendaciones de MTC (2014)

DESCRIPCIÓN	MANUAL -2014	MacGrid EGB 20	MacGrid EGB 30
COSTO	S/. 560,567.47	S/. 476,357.26	S/. 471,080.23
% AHORRO	-	15.02%	15.96%

Fuente: Elaboración propia

Realizando la comparación en costo con respecto a las recomendaciones del MTC-2014, y el uso de las geomallas biaxiales de tipo MacGrid EGB 20 se aprecia que existe un ahorro en 15.02%, en cuanto a las partidas analizadas. Caso similar sucede con la comparación con la geomalla de tipo MacGrid EGB 30, donde se aprecia que hay un ahorro de 15.96 %. Evidenciado estos resultados en la Tabla 62.

Tabla 63. Resumen de tiempos obtenidos con los métodos de estabilización de subrasante

REEMPLAZO DE MATERIAL		ESTABILIZACIÓN CON GEOMALLAS	
OVIEDO BELLOTT (días)	MANUAL – 2014 (días)	MacGrid EGB 20 (días)	MacGrid EGB 30 (días)
59	42	38	35

Fuente: Elaboración propia

Al comparar los cuatro sistemas analizados se aprecia que el sistema de remplazo de material siguiendo las recomendaciones de Oviedo Bellott demandaría 59 días, siendo el mayor tiempo en comparación con los otros métodos de estabilización.

Mediante el uso de las Geomallas Biaxiales MacGrid EGB 30 solo se requiere de 35 días, la cual es la de menor tiempo en comparación con los otros sistemas analizados. Como se aprecia en la Tabla 63.

Tabla 64. Puntuación para el análisis de conveniencia en el mejoramiento de subrasante, en diferentes sistemas

PROPUESTA	ESPESOR	SN	COSTO MATERIAL	COSTO SISTEMA	TIEMPO	PUNTUACIÓN TOTAL
OVIEDO BELLOTT	0	1	0	0	0	1
MTC (2014)	0	0	0	0	0	0
MacGrid EGB 20	0	0	1	0	0	1
MacGrid EGB 30	1	0	0	1	1	3

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los cuadros analizados se obtuvo que la propuesta más conveniente para el mejoramiento de la subrasante es, usando la geomalla biaxiales Maccaferri de tipo MacGrid EGB 30. Por la disminución significativa de los espesores de mejoramiento, así mismo la modificación del SN, disminución de los costos y disminución del tiempo de ejecución de las partidas analizadas. Obteniendo una puntuación de 3 como indica la Tabla 64

Tabla 65. Valor de los indicadores

INDICADOR	MAYOR VALOR	MENOR VALOR
ESPESOR	0	1
SN	1	0
COSTO DEL MATERIAL	0	1
COSTO TOTAL DEL SISTEMA	0	1
TIEMPO	0	1

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 65. Presenta la valoración de cada indicador.

4.11 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

1. En el Distrito de Ahuac para la ejecución del Expediente Técnico se presentó un estudio de suelos que no representaba los perfiles de suelo encontrados en las excavaciones, por lo que para realizar el presente estudio se consideró inicialmente que el índice de resistencia CBR del suelo de fundación característico en el proyecto de pavimentos flexibles ejecutada en el Distrito de Ahuac, era menor al 6% que establece la norma del MTC-2014. Aspecto problemático que fue confirmado al realizar el estudio de mecánicas de suelo correspondientes a las progresivas tomadas como muestra. Obteniéndose que para los tramos en estudio se optó por el CBR de menor valor la cual fue de 2.6%, para el diseño de la vía. En la Tabla 66. Se aprecia los resultados obtenidos en las tres calicatas que son tema de estudio.

Tabla 66. Resumen de resultados CBR tramo en estudio

PROGRESIVA	DENSIDAD SECA (g/cm ³)	HÚMEDA ÓPTIMA %	% M.D.S.	CBR % (0.1")
3+075	1.871	10.2	95	2.6
3+450	1.94	12.2	95	2.7
3+825	1.849	12.2	95	3.8

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en el tramo estudiado, el suelo presenta un CBR en promedio del 3 %, típico de suelos inadecuados e inestables de baja capacidad portante. Por lo que el estudio permitió comprobar la idea inicial respecto a la capacidad portante del suelo en estudio en el Distrito de Ahuac, por tanto se acepta la hipótesis. Esta condición problemática necesariamente obliga al Ing.

Responsable realizar una propuesta de mejoramiento del suelo para proporcionar una subrasante con un CBR mayor a lo establecido en la normativa.

2. Los cálculos realizados de acuerdo al tráfico y al periodo de diseño de 20 años y teniendo en cuenta que el tipo de suelo descrito en el estudio de mecánica de suelos del expediente técnico, consideraban un suelo adecuado con un CBR de 10%, lo cual no implicaba realizar ningún tipo de mejoramiento. Sin embargo, los nuevos estudios determinaron que era necesario reforzar la subrasante, para lo cual inicialmente se planteó que el aporte estructural de las geomallas biaxiales, como refuerzo de pavimentos flexibles con bajo valor de soporte California, permitirán modificar el número estructural, se debe señalar que un mayor número estructural (SN) proporcionan una mayor capacidad de soporte. Considerando esto, determinar si existe la modificación estructural con el uso de las geomallas biaxiales fue un aspecto problemático debido a que la estructura del pavimento sin geomallas biaxiales presentó un SN inicial con un valor de 3.93. Mientras que, una vez realizado los cálculos con la aplicación de la geomalla biaxial de tipo MacGrid EGB 20 se obtuvo un SN de 3.97. Y con el uso de las geomallas biaxiales de tipo MacGrid EGB 30 se obtuvo un SN de 3.95, comprobando de esta manera que los usos de las geomallas modifica el SN de la estructura del pavimento; por tanto se acepta la hipótesis que se planteó al inicio del estudio.
3. El aporte estructural, no es el único beneficio de las geomallas biaxiales, también es necesario verificar aspectos de igual importancia al proponer el uso de este nuevo material; como el costo de implementar este material en vez del mejoramiento mecánico con material de préstamo. En este sentido, previamente a realizar el estudio se consideró que el costo del mejoramiento del pavimento con geomallas biaxiales, respecto a la estabilización mecánica de la subrasante de bajo valor de soporte California, es menor. Esto se comprobó y se aceptó como válida la hipótesis; al verificar mediante un análisis de costos unitarios que al utilizar el mejoramiento propuesto por Oviedo Bellott (2013) el costo se incrementa en comparación al mejoramiento normado por el MTC - 2014. Mientras que si se usara las geomallas no sería necesario ningún tipo de mejoramiento presentándose un ahorro del 15.02% para la geomalla tipo EGB 20 mientras que para el tipo MacGrid EGB 30 el ahorro sería de 15.96%, comprobándose de esa forma que si existe un ahorro con el uso de las geomallas para la muestra considerada.
4. En los proyectos de carreteras el tiempo de ejecución es de importancia. Por tanto el uso de nuevos materiales que pueden disminuir el tiempo de ejecución de las partidas permitiría lograr la ejecución de los proyectos dentro de los tiempos

establecidos. En este sentido se tenía establecido por los antecedentes estudiados que mediante el uso de la geomallas, el tiempo de ejecución del pavimento flexible para una subrasante reforzada con geomallas biaxiales, respecto a un pavimento flexible con estabilización mecánica de la subrasante de bajo valor de soporte californiana, acorta el tiempo de ejecución debido a la disminución de espesores de las capas de la estructura del pavimento.

Tabla 67. Duración de días para cada sistema de mejoramiento

REEMPLAZO DE MATERIAL		ESTABILIZACIÓN CON GEOMALLAS	
OVIEDO BELLOTT (días)	MANUAL – 2014 (días)	MacGrid EGB 20 (días)	MacGrid EGB 30 (días)
59	42	38	35

Fuente: Elaboración propia

Esto se pudo comprobar al obtener una disminución de 7 días con el uso de las geomallas de tipo MacGrid EGB 30, mientras que para la geomalla MacGrid EGB 20 se disminuyó en 4 días, con respecto al Manual – 2014, por lo tanto se acepta la hipótesis de partida.

CONCLUSIONES

1. De acuerdo a las recomendaciones establecidas por el MTC (2014), en la sección suelos y pavimentos, para CBR con valor de 2.6% se requiere realizar remplazo de material de 40 cm. Debido a que los suelos con estas características físicas y mecánicas son considerados como suelos inapropiados e inestables de bajo valor de soporte. Sin embargo mediante el uso de las geomallas biaxiales de tipo MacGrid EGB 20 y MacGrid EGB 30, para CBR igual al 2.6 % no se requiere de ningún tipo de mejoramiento, debido al aporte estructural de la geomalla.
2. La estabilización de subrasante con geomallas biaxiales aumenta la resistencia del pavimento flexible, y esto se nota en la modificación del Número Estructural, que es un número abstracto que expresa la capacidad estructural requerida por el pavimento para las condiciones como la calidad del suelo, las condiciones de tráfico, la variación de serviciabilidad durante la vida útil del pavimento y condiciones ambientales. Ya que para una subrasante con CBR de 2.6 % se obtiene un número estructural (SN) de 3.93, mientras que, para las mismas características y condiciones, implementando las geomallas como forma de reforzar el pavimento se obtiene un número estructural (SN) de 3.97 con el uso de geomallas de tipo MacGRID EGB 20 y (SN) de 3.95 para tipo MacGRID EGB 30.
3. El costo de las partidas analizadas realizando la estabilización mecánica previamente explicada, que incurre en el mejoramiento de subrasante; es considerablemente mayor que el costo de estas partidas analizadas realizando el reforzamiento con geomallas; lo cual amplía la ventaja del reforzamiento con geomallas sobre la estabilización mecánica; esta diferencia se debe en parte al metrado de dichas partidas ya que con la colocación de geomallas no sólo se reduce el costo de material de préstamo, si no que se reduce el metrado de las capas del pavimento flexible ya que el espesor de estas se reduce. El ahorro aproximado para el tramo en estudio considerando las recomendaciones del MTC (2014) haciendo a la suma de 15.02 %, con el uso de las geomallas tipo MacGRID EGB 20, y de 15.96 %, con la geomalla de tipo MacGRID EGB 30. Observándose un ahorro significativo en ambos casos.
4. El tiempo de ejecución para las partidas analizadas realizando una estabilización mecánica que consiste en reemplazar el material de la subrasante con CBR menor a 6% que son subrasantes consideradas pobres e inadecuadas según el manual de carreteras MTC–2014 es ligeramente mayor que el tiempo para las partidas

analizadas realizando una estabilización con geomallas, lo que indica que en cuanto a tiempo tenemos una ligera ventaja de la estabilización con geomallas respecto a la estabilización mecánica de la subrasante encontrándose una diferencia de 4 días, para el caso del uso de geomallas MacGrid EGB 20 y de 7 días con geomallas MacGrid EGB 30 .

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar una compatibilización del estudio de mecánica de suelos del proyecto con respecto al terreno de fundación. Para verificar que el CBR considerado en el proyecto están de acorde a los encontrados en los nuevos estudios realizados previo a la ejecución. Esto con la finalidad de tomar acciones en caso de que los resultados sean adversos y atente contra la vida útil del pavimento para la cual fue diseñada.
2. Una vez verificado el estudio de mecánica de suelos se recomienda recalcular con los nuevos datos el número estructural (SN) para posteriormente comparar con los datos del expediente técnico.
3. Dado el caso que el número estructural (SN) replanteado es superior con respecto al expediente técnico. Recomendamos proponer alternativas de solución técnica y económicamente viables que no alteren la capacidad estructural del pavimento. Una de las alternativas de solución para suelos inestables e inadecuados es el uso de geomallas biaxiales.
4. Se recomienda el uso de geomallas biaxiales debido a que se reduce el tiempo de corte del material inapropiado, así mismo la no necesidad de realizar el mejoramiento debido a la capacidad de absorber los esfuerzos generados por las cargas del vehículo, aspecto característico de las geomallas. Así también la reducción de espesores de la base, sub base y/o carpeta asfáltica si fuese el caso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Ministerio de Transportes y Comunicaciones.** *Manual de carreteras. Especificaciones técnicas generales para la construcción EG - 2014.* Lima : s.n., 2014.
2. **MONTEJO F., Alfonso.** *Ingeniería de pavimentos.* segunda. Bogota : Universidad Católica de Colombia, 2002. pág. 378. Vol. segunda reimprección de la segunda edición. 9599603629.
3. **National Highway Institute.** *Geosynthetic desing and construction guidelines.* Virginia : s.n., 1998.
4. **DEPARTMENT OF THE ARMY U.S. ARMY CORPS OF ENGINEER.** *Use de geogrids in pavement construction.* Washington : s.n., 2003.
5. **American Association of State Highway and Transportation Officials.** *Guía para el diseño de estructuras de pavimento.* Washington : AASHTO, 1993.
6. **TAPIA G., Miguel.** *PAVIEMTOS.* pág. 105.
7. **Díaz C., Wilmer.** *INFLUENCIA DE LA GEOMALLA EN EL DISEÑO DEL PAVIEMNTO FLEXIBLE EN LA VIA DE EVITAMIENTO NORTE - CAJAMARCA, 2017.* CAJAMARCA : s.n., 2017. pág. 72, TESIS.
8. **Geosistemas Pavco.** *Manual de software de diseño Geosoft Pavco.*
9. **SILVA A., Mayra .** *Mejormamiento de la subrasante con geomallas multiaxiales tipo tx140 y tx160 la Molina - Cajamarca 2016.* Cajamarca, Universidad Privada del Norte. Cajamarca : s.n., 2016. pág. 96, tesis, Pregrado.
10. **HERNÁNDEZ S., ROBERTO.** *Metodología de la Investigación.* Sexta Edición. D.F. : McGRAW-HILL, 2014. pág. 634. 978-1-4562-2396-0.
11. **OVIEDO B., Ramon.** *Mejoramamiento de subrasantes de baja capacidad portante por medio de la aplicación de correlación deflectométrica.* Lima : s.n., 2013.
12. *Costos y tiempos en carreteras.* **Ibañez, Walter.** Lima : Macro, 2011.
13. **Giroud, Jean Pierre y Noiray, Laure.** *Geotextile-Reinforced Unpaved Road Design.* Chicago, Illinois, Estados Unidos : s.n., 1981.
14. **Giroud, Jean Pierre y Han, Jie.** *Design Method for Geogrid-Reinforced Unpaved Roads.* Julio de 2004.

15. **Bustamante Noboa, Andrés Sebastián.** *Evaluación en el nivel de resistencia de una subrasante, con el uso combinado de una geomalla y un geotextil.* Cuenca, Ecuador : s.n., 2016.
16. **Beltrán B., Carlos Arturo.** Ventajas de la utilización de geosintéticos para el refuerzo de pavimento en la carrera 7 estación transmilenio Museo Nacional. Bogotá, Colombia : s.n., 2013.
17. **Ministerio de Obras Públicas y comunicaciones.** *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes.* Quito : s.n., 2002.
18. **Palma, Ismael.** Estabilización y refuerzo en vías con geomallas biaxiales. Cancún, Quintana Roo, México : s.n., 14 de Noviembre de 2012.
19. **American Society for Testing and Materiales.** *ASTM D4439 Standard Terminology for Geosynthetics .* 1997.
20. **Tello Villarruel, David TDM Perú.** *Uso de geomallas en caminos mineros.*
21. **Departamento de Ingeniería de Geosistemas Pavco.** *Soluciones con geotextiles tejidos y no tejidos.*
22. **Danilo Galecio Castillo TDM.** *Uso de geomallas biaxiales caminos - Sistema Spectra (R).* 2009.
23. **BASF The Chemical Company.** *Geocompuestos drenantes.*
24. **AQUAPRUF S.A.** *Manual de instalacion de geomembranas de polietileno HDPE.* Medellín : s.n.
25. **Bonterra Ibéroca S.I.** *Geoceldas Bonterra para la estabilización de suelos.*
26. **Tensar Earth Technologies, Inc.** Sistemas para pavimentos Mejoramiento de subrasantes: Construcción sobre suelos blandos.
27. **Moreno Rubio, Javier.** *Efecto de equipo y procedimiento de medida en la determinación del módulo resiliente y resistencia a tracción indirecta de las mezclas bituminosas.* 2005.
28. **OTERO Freddy y MONTEJO Diego.** *Evaluación del comportamiento mecánico de una estructura bicapa, reforzada con geomalla biaxial, compuesta por afirmado in vías sobre subrasante blanda, aplicable a vías no pavimentadas.* Bogota, Pontificia Universidad Javeriana. Bogota : s.n., 2016. pág. 64, tesis, Pregrado.

29. **GAVILANES D., Nydia.** *Diseño De La Estructura Del Pavimento Con Reforzamiento De Geosinteticos Aplicado A Un Tramo De La Carretera Zumbahua - La Maná.* Escuela de Civil, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. QUITO : s.n., 2012. pág. 232, Tesis Pregrado.
30. **TAPIA D., Andres; BARONA F., Fabricio; INGA M., Luis.** *Diseño de un Paviemnto Utilizando Geomallas en tramo de la Carretera Bajada de Chanduy - Aguas Verdes - Potoci (absc. 2+920 hasta absc 3+600.* Ingenieria, Escuela Superior Politecnica del Litoral. Guayaquil : s.n., 2009. pág. 71, Tesis Pre grado.
31. **HERNÁNDEZ S., ROBERTO.**
32. **VIDAL V., Manuel.** *optimización de costos en carreteras aplicando el sistema de refuerzo con geomallas.* Lima, Universidad Nacional de Ingenieria. Lima : s.n., 2002. pág. 373, Tesis, Pregrado.
33. **Pavco, Geosoft.** *manual de diseñ con geosinteticos.* Bogota : norte grafico, 2012.
34. **ORREGO C., Daniel.** *Análisis tècnico-económico del uso de geomallas como refuerzo de bases granulares en pavimentos flexibles.* Lima : s.n., 2014. pág. 81, Tesis, pregrado.

ANEXOS

ANEXO 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO DE PROYECTO DE TESIS: “PROPUESTA DEL MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES USANDO LAS GEOMALLAS BIAXIALES EN SUELOS DE BAJO VALOR DE SOPORTE CALIFORNIA – DISTRITO DE AHUAC.”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE DE ESTUDIO	METODOLOGÍA
<p>Problema general:</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Cuál es la propuesta adecuada para el mejoramiento de la subrasante de pavimentos flexibles usando las geomallas biaxiales en suelos de bajo valor de soporte california – Distrito de Ahuac? <p>Problemas específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Cuál es el índice de resistencia CBR del suelo de fundación característico en el proyecto de pavimentos flexibles ejecutada en el Distrito de Ahuac? ¿Cuáles es el aporte estructural de la geomallas biaxiales, como refuerzo de la subrasante de pavimentos flexibles con bajo valor de soporte de california, en el Distrito de Ahuac? ¿Cómo varia el costo del mejoramiento de una subrasante estabilizada con geomallas biaxiales, respecto a la estabilización por sustitución de la subrasante de bajo valor de soporte de california, en el distrito de Ahuac? ¿Cómo varia el tiempo de ejecución del pavimento flexible para na subrasante estabilizada con geomallas biaxiales, respecto a un pavimento flexible con estabilización por sustitución de la subrasante de bajo valor de soporte de california, en el distrito de Ahuac? 	<p>Objetivo general:</p> <ul style="list-style-type: none"> Establecer la propuesta adecuada para el mejoramiento de la subrasante de pavimentos flexibles usando las geomallas biaxiales de bajo valor de soporte de california – distrito de Ahuac. <p>Objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Determinar el índice de resistencia CBR del suelo de fundación característico en el proyecto de pavimentos flexibles ejecutada en el Distrito de Ahuac. Determinar el aporte estructural de la geomallas biaxiales, como refuerzo de la subrasante de pavimentos flexibles con bajo valor de soporte California, en el Distrito de Ahuac. Establecer en qué medida varía el costo del mejoramiento de una subrasante estabilizada con geomallas biaxiales, respecto a la estabilización por sustitución de la subrasante de bajo valor de soporte california, en el Distrito de Ahuac. Establecer como varía el tiempo de ejecución del pavimento flexible para una subrasante estabilizada con geomallas biaxiales, respecto a un pavimento flexible con estabilización por sustitución de la subrasante de bajo valor de soporte california, en el Distrito de Ahuac. 	<p>Hipótesis general:</p> <ul style="list-style-type: none"> El uso de geomallas biaxiales como refuerzo de la subrasante de pavimentos flexibles en suelos con bajo valor de soporte california, tengan mejoras técnicas y económicas. <p>Hipótesis específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> El índice de resistencia CBR del suelo de fundación característico en el proyecto de pavimentos flexibles ejecutada en el Distrito de Ahuac, es menor al 6% que establece la norma del MTC 2014. El aporte estructural de la geomallas biaxiales, como refuerzo de la subrasante de pavimentos flexibles con bajo valor de soporte california, permite modificar el número estructural. El costo del mejoramiento de una subrasante estabilizada con geomallas biaxiales, respecto a la estabilización por sustitución de la subrasante de bajo valor de soporte california, es menor considerando que disminuye el espesor de la subrasante. El tiempo de ejecución del pavimento flexible para una subrasante estabilizada con geomallas biaxiales, respecto a un pavimento flexible con estabilización por sustitución de la subrasante de bajo valor de soporte california, disminuye considerando que el espesor de la subrasante mejorada disminuye 	<p>Variable dependiente:</p> <p>Mejoramiento De Subrasante De Pavimentos Flexibles Es incrementar la capacidad de soporte de la subrasante establecida en el CBR con la finalidad de optimizar el SN del pavimento flexible, esto modificará el costo y tiempo de ejecución del proyecto.</p> <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> Número estructural (SN) Costo unitario Tiempo de remplazo de material <p>Variable Independiente:</p> <p>Geomallas biaxiales Las geomallas biaxiales son estructuras de tipo bidimensionales compuesta de la unión de propilenos, inertes con características homogéneas. En este caso el proceso de extrusión y estiramiento es en el sentido longitudinal y transversal.</p> <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> Coefficiente de aporte “LCR” Precio del material. 	<p>Tipo de Investigación: Este trabajo de investigación será del tipo APLICADO.</p> <p>Nivel de Investigación: El nivel de la investigación es Descriptivo, puesto que se ha descrito el estudio técnico y económico de las alternativas para el mejoramiento de suelos de bajo valor de soporte california.</p> <p>Diseño de Investigación: El diseño para el presente estudio es no experimental, de tipo transversal, para lo cual se siguió con el siguiente esquema:</p> <p>M1 -> PG -> R -> DR</p> <p>Dónde:</p> <ul style="list-style-type: none"> M1 = Muestra u objeto de estudio. PG = Propuesta de mejoramiento con geomallas biaxiales. R = Resultado de Número Estructural, costo y tiempo obtenidos DC = Discusión de resultados <p>Población y muestra: La población está compuesta por todas las obras viales de pavimento flexible en las principales vías del distrito de Áhuac – Chupaca. El tipo de muestreo es no probabilístico, Se ha considerado como muestra del estudio las vías en ejecución del proyecto “Mejoramientos de pistas y veredas del distrito de Ahuac, ubicado en el Jr. Unión que comprende el tramo de la progresiva prog: 2+560.74 – 4+188.95.</p>

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 02: ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS DEL TRAMO EN ESTUDIO

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CALICATA - 08

ANEXO A1: Registro Estratigráfico Calicata - 08

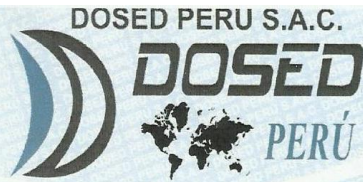
 <small>DS00103992014</small>	DOSED SAC MECANICA DE SUELOS Y GEOTECNIA	REGISTRO DE EXCAVACION <small>ASTM D2488 - 09a</small> <small>Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure)</small>		
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES				
CERTIFICADO N° OBRA CONSTRUYE ATENCION METODO DE EXCAV	DS00103992014 MEJORAMIENTO DE PISTAS Y VEREDAS DE LAS PRINCIPALES VIAS DEL DISTRITO DE AHUAC, PROVINCIA DE CHUPACA, REGION JUNIN CONSORCIO EOLO ING. JESUS ALBERTO VARGAS FALCONI Manual	EXCAVACION : C-08 NIVEL FREATICO : NO SE ENCONTRO TAMAÑO EXCAV : 1.50m INICIO : 23/09/2014 TERMINO : 23/09/2014 REGISTRADO POR : F.A.A.J. REVISADO POR : A.E.C.G.		
PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION		CONDICION DE LA CALICATA (FOTOGRAFIA)	DESCRIPCION Y CLASIFICACION DEL MATERIAL : COLOR, HUMEDAD NATURAL, PLASTICIDAD, ESTADO NATURAL DE COMPACIDAD, FORMA DE LAS PARTICULAS, TAMAÑO MAXIMO DE PIEDRAS, PRESENCIA DE MATERIA ORGANICA, ETC.
	SIMBOLOS	GRAFICO		
0.5	Re			Relleno de material , tierra de cultivo con boloneria de 5" en un 20% aproximadamente, cementacion debil, consistencia dura, color amarillento a marron oscuro.
1.0	CL			Arcilla con arena, cementacion fuerte, consistencia dura, color amarillento a rojiso, en estado seco, con 76.7% de finos, Limite Liquido 41.56%, Limite Plastico 25.95% e Indice Plastico 15.62%.
1.5	SC			Arena arcillosa, cementacion fuerte, consistencia dura, color marron claro, gravas balquesinas, con boloneria de 4" en un 20% aproximadamente.
IDENTIFICACION DE MUESTRAS Re: Material de relleno S/M: Sin muestra			NOTA: C-08 - JR. LA UNION, PROGRESIVA 3+075	

DOSED PERU SAC.
 Ing. Adolfo E. Camayo Ginche
 CIP. 153550
 Gerente de Mecánica de Suelos y Geotecnia

Paje: Chupaca # 2052 | El Tambo | Huancayo | Perú | Domicilio Fiscal
 Jr. Arequipa # 1045 | Chilca | Huancayo | Perú | Oficina de Laboratorio
 +51 981783290 | RPM # 151690 | acamayog@dosedperu.com
 www.dosedperu.com

Fuente: Laboratorio Dosed, 2014

ANEXO A2: Granulometría Calicata - 08



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
MECANICA DE SUELOS Y ASFALTO

INFORME N° DS00103992014

Peticionario: Consorcio Eolo
 Proyecto/Obra: Mejoramiento de Pistas y Veredas de Las Principales Vias del Distrito de Ahuac, Provincia de Chupaca, Region Junin
 Atención: Ing. Jesus Alberto Vargas Falconi
 Fecha de recepción: miércoles, 24 de septiembre de 2014
 Fecha de emisión: martes, 07 de octubre de 2014

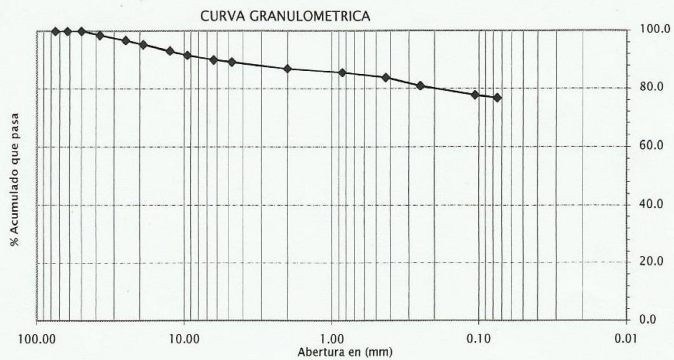
ANALISIS GRANULOMETRICO NTP 339,128 - ASTM D422

Código: ASTM D422 - 63(2007)e1 NTP 339.128:1999
 Título: Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico

LIMITES DE CONSISTENCIA NTP 339,129 - ASTM D4318

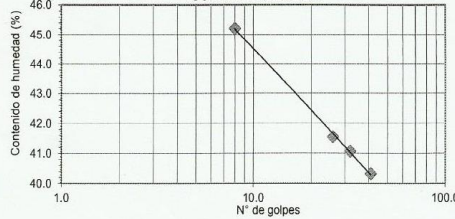
Código: ASTM D4318 - 10e1 NTP 339.129:1999
 Título: Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos

Tamiz	Abertura	% Acum.
3"	75.00	100.0
2 1/2"	62.00	100.0
2"	50.00	100.0
1 1/2"	37.50	98.6
1"	25.00	96.8
3/4"	19.00	95.4
1/2"	12.50	93.1
3/8"	9.50	91.6
1/4"	6.30	90.0
N°4	4.75	89.2
N°10	2.00	87.0
N°20	0.85	85.6
N°40	0.43	83.7
N°60	0.25	80.8
N°140	0.106	77.6
N°200	0.075	76.7



Lim. Líquido

N° GOL	w (%)
41.0	40.32
32.0	41.07
26.0	41.55
8.0	45.21



LIMITE LIQUIDO	41.56 %
LIMITE PLASTICO	25.95 %
INDICE PLASTICO	15.62 %

CLASIF. SUCS:	CL
Arcilla limpia	
CLASIF. AASHTO:	A-7-6 (12)
JR. LA UNION, PROGRESIVA 3+075	
CALICATA N°	C-08
PROF. (m)	0.50m - 1.10m

Lim. Plástico

25.26 %
26.63 %

OBSERVACIONES : Muestras provista e identificada por el interesado
 El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio salvo que la reproducción sea en su totalidad. (GUÍA PERUANA INDECOPI: GP 004: 1993)

EQUIPO UTILIZADO:

Tamices ESTANDAR TEST SIEVE ASTM E-11 ESPECIFICACION (ELE INTERNATIONAL)
 Cazuela de casagrande con contador de golpes, Marca Forney LA-3715, Serie N° 119
 Estufa utilizada: PyS EQUIPOS STHX-2A-120°C, Serie 13018 - Calibrada por PyS EQUIPOS METROLOGIA (Certificado de Calibración N° 1064/14)
 Balanza utilizada OHAUS V11P30T, N° Serie 30901097 - 30000gr. Calibrada por PyS EQUIPOS METROLOGIA (Certificado de Calibración SM-283-2014)

DOSED PERU S.A.C.
 Ing. Adolfo E. Camayo Ginche
 CIP. 153550
 Gerente de Mecánica de Suelos y Geotecnia

Pste. Chupaca # 2052 | El Tambo | Huancayo | Perú | Domicilio Fiscal
 Jr. Arequipa # 1045 | Chilca | Huancayo | Perú | Oficina de Laboratorio
 +51 981783290 | RPM # 151690 | acamay@dozedperu.com
 www.dozedperu.com

ANEXO A3: Proctor Modificado Calicata - 08



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

MTC - E-115

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO : "Mejoramiento de Pistas y Veredas de las Principales Vías del Distrito de Ahuac, Provincia de Chupaca, Región Junín"
PETICIONARIO : Consorcio Eolo
ATENCIÓN : Ing. Jesus Alberto Vargas Falconi
FECHA DE RECEPCION : miércoles, 24 de septiembre de 2014
FECHA DE EMISIÓN : viernes, 10 de octubre de 2014
PROGRESIVA : 3+075
UBICACIÓN : Jr Unión, C - 08

VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	2104		PESO DEL MOLDE (gr.) :	3105	METODO	"C "
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4		
PESO SUELO COMPACTADO + MOLDE	7026	7432	7425	6971		
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	3921	4327	4320	3866		
PESO VOLUMETRICO HUMEDO	1.864	2.057	2.053	1.838		

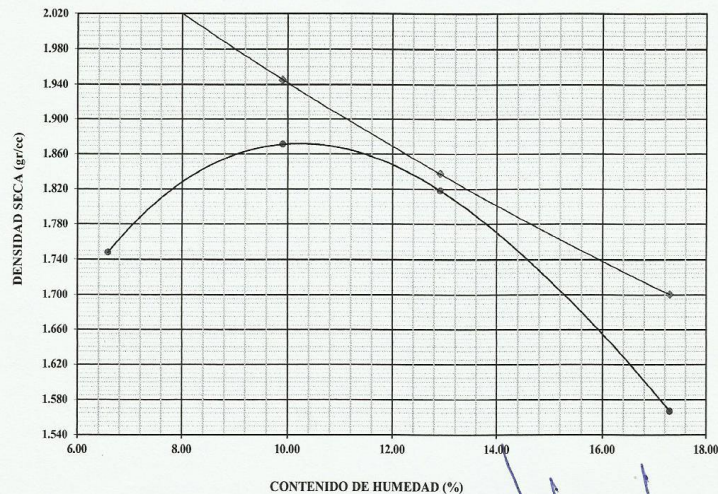
CONTENIDO DE HUMEDAD

RECIPIENTE Nro.	1	2	3	4
PESO SUELO HUMEDO + TARA	99.22	94.74	114.41	82.11
PESO SUELOS SECO + TARA	94.53	88.36	104.09	73.43
PESO DE LA TARA	23.25	23.95	24.19	23.25
PESO DE AGUA	4.69	6.38	10.32	8.68
PESO DE SUELO SECO	71.28	64.41	79.90	50.18
CONTENIDO DE AGUA	6.58	9.90	12.91	17.29
PESO VOLUMETRICO SECO	1.748	1.871	1.818	1.567

DENSIDAD MAXIMA SECA:	1.871 gr/cm ³
HUMEDAD OPTIMA:	10.20 %
GRAVEDAD DE SOLIDOS:	2.409

CURVA DE SATURACION			
2.079	1.945	1.837	1.701

GRAFICO DEL PROCTOR




Ing. Adolfo E. Camayo Ginche
 CIP. 153550
 Gerente de Mecánica de Suelos y Geotecnia


Psje. Chupaca # 2052 | El Tambo | Huancayo | Perú | Domicilio Fiscal
 Jr. Arequipa # 1045 | Chilca | Huancayo | Perú | Oficina de Laboratorio
 +51 981783290 | RPM #151690 | acamayo@dosedperu.com
 www.dosedperu.com

Fuente: Laboratorio Dosed, 2014

ANEXO A4.01: Valor De Soporte California "CBR" Calicata - 08



DOSED PERU S.A.C.
DOSED
PERÚ



DS00103992014

ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
MTC E - 132

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO : "Mejoramiento de Pistas y Veredas de las Principales Vías del Distrito de Ahuac. Provincia de Chucabaca. Región Junín"

PETICIONARIO : Consorcio Eolo

ATENCIÓN : Ing. Jesus Alberto Vargas Falconi

FECHA DE RECEPCION : miércoles, 24 de septiembre de 2014

FECHA DE EMISIÓN : viernes, 10 de octubre de 2014


PROGRESIVA : 3+075

UBICACIÓN : Jr Unión, C - 08

CUADRO DATOS CBR						
Molde Nº	13		23		7	
Nº Capa	5		5		5	
Golpes por capa Nº	56		25		10	
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + Suelo húmedo	10807	10824	8752	8778	10332	10397
Peso de molde (gr)	6549	6549	4685	4685	6516	6516
Peso del suelo húmedo (gr)	4258	4275	4067	4093	3816	3881
Volumen del molde (cc)	2048	2026	2050	2049	2049	2093
Densidad húmeda (gr/cc)	2.079	2.110	1.984	1.997	1.863	1.854
% de humedad	10.80	11.10	10.73	11.66	11.06	7.94
Densidad seca (gr/cc)	1.877	1.899	1.792	1.788	1.677	1.718
Tarro Nº	-	-	-	-	-	-
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	66.35	71.7	80.92	83.8	47.2	49.6
Tarro + Suelo seco (gr.)	62.09	66.8	75.27	77.5	45.8	47.7
Peso del Agua (gr.)	4.26	4.8	5.64	6.3	5.06	1.9
Peso del tarro (gr.)	22.7	23.1	22.7	23.8	22.7	23.4
Peso del suelo seco (gr.)	39.4	43.7	52.6	53.7	23.1	24.3
% de humedad	10.80	11.10	10.73	11.66	11.06	7.94
Promedio de Humedad (%)	10.80	11.10	10.73	11.66	11.06	7.94

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
	00:00	0	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000
	09:30	24	0.958	1.0	0.826	1.068	1.1	0.921	1.470	1.5	1.267
	09:30	48	1.360	1.4	1.172	1.958	2.0	1.688	2.360	2.4	2.034
	09:30	72	2.645	2.6	2.280	3.460	3.5	2.983	5.168	5.2	4.455
		96	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000

PENETRACION													
PENETRACION pulg	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE Nº 13				MOLDE Nº 23				MOLDE Nº 7			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Kg	kg/cm2	kg/cm2	%	Kg	kg/cm2	kg/cm2	%	Kg	kg/cm2	kg/cm2	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.025		32	2			19	1			5	0		
0.050		44	2			26	1			7	0		
0.075		57	3			34	2			10	0		
0.100	70.3	70	3	3.4	4.9	41	2	2.0	2.9	12	1	0.6	0.8
0.150		94	5			55	3			16	1		
0.200	105.5	115	6	5.71	5.4	68	3	3.4	3.2	20	1	1.0	0.9
0.250		136	7			80	4			23	1		
0.300		157	8			92	5			26	1		
0.400		189	9			111	5			31	2		
0.500		214	11			126	6			35	2		

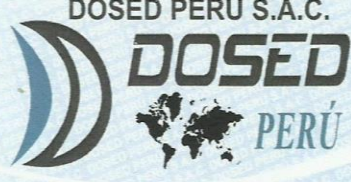




Ing. Adolfo E. Camayo Ginche
CIP. 153550
Gerente de Mecánica de Suelos y Geotecnia

Paje. Chupeca # 2052 | El Tambo | Huancayo | Perú | Domicilio Fiscal
Jr. Arequipa # 1045 | Chilca | Huancayo | Perú | Oficina de Laboratorio
+51 981783290 | RPM # 151690 | acamay@doosedperu.com
www.doosedperu.com

Fuente: Laboratorio Dosed, 2014

ANEXO A4.02: Valor De Soporte De California "CBR" Calicata - 08



DS00103982014

ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
MTC E - 132

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO : "Mejoramiento de Pistas y Veredas de las Principales Vías del Distrito de Ahuac, Provincia de Chupaca, Región Junín"

PETICIONARIO : Consorcio Eolo

ATENCIÓN : Ing. Jesus Alberto Vargas Falconi

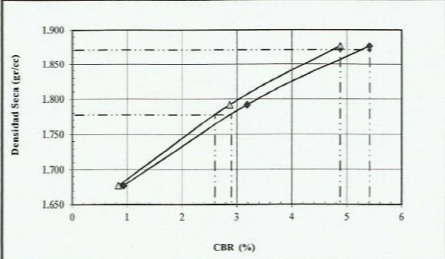
FECHA DE RECEPCION : miércoles, 24 de septiembre de 2014

FECHA DE EMISIÓN : viernes, 10 de octubre de 2014

PROGRESIVA : 3+075

UBICACIÓN : Jr Unión, C - 08

GRAFICO DE PENETRACIÓN DE CBR



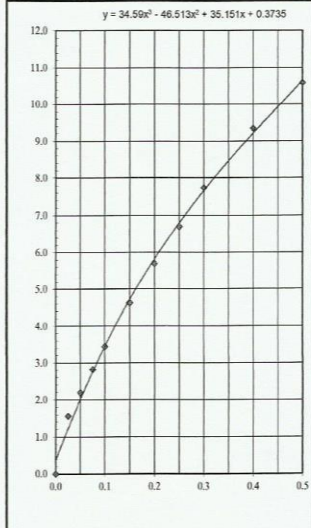
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	4.9	0.2":	5.4
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	2.6	0.2":	2.9

Datos del Proctor	
Densidad Seca	1.871 gr/cc
Óptimo Humedad	10.20 %

Observaciones:

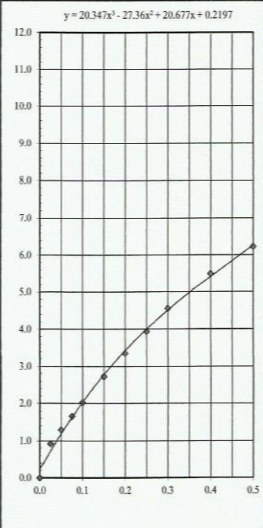
EC = 56 GOLPES

$y = 34.59x^2 - 46.513x + 35.151x + 0.3735$



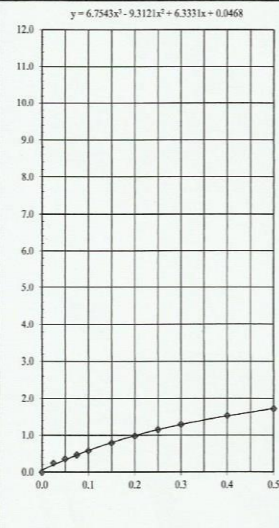
EC = 25 GOLPES


$y = 20.347x^3 - 27.36x^2 + 20.677x + 0.2197$



EC = 12 GOLPES

$y = 6.7543x^3 - 9.3121x^2 + 6.3331x + 0.0468$





Ing. Adolfo E. Camayo Ginche
CIP. 153550
Gerente de Mecánica de Suelos y Geotecnia

Paje. Chupaca # 2052 | El Tambo | Huancayo | Perú | Domicilio Fiscal
 Jr. Arequipa # 1045 | Chilca | Huancayo | Perú | Oficina de Laboratorio
 +51 981783290 | RPM # 151690 | acamayo@dosedperu.com
 www.dosedperu.com

Fuente: Laboratorio Dosed, 2014

ESTUDIO MECÁNICA DE SUELOS CALICATA - 09

ANEXO B1: Registro Estratigráfico Calicata - 09




 <small>DS00103992014</small>	DOSED SAC MECANICA DE SUELOS Y GEOTECNIA LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	REGISTRO DE EXCAVACION ASTM D2488 - 09a Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure)		
CERTIFICADO N° : DS00103992014 OBRA : MEJORAMIENTO DE PISTAS Y VEREDAS DE LAS PRINCIPALES VIAS DEL DISTRITO DE AHUAC, PROVINCIA DE CHUPACA, REGION JUNIN CONSTRUYE : CONSORCIO FOLO ATENCION : ING. JESUS ALBERTO VARGAS FALCONI METODO DE EXCAV : Manual	EXCAVACION : C-09 NIVEL FREATICO : NO SE ENCONTRO TAMAÑO EXCAV : 1.50m INICIO : 22/09/2014 TERMINO : 22/09/2014 REGISTRADO POR : F.A.A.J. REVISADO POR : A.E.C.G.			
PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION		CONDICION DE LA CALICATA (FOTOGRAFIA)	DESCRIPCION Y CLASIFICACION DEL MATERIAL : COLOR, HUMEDAD NATURAL, PLASTICIDAD, ESTADO NATURAL DE COMPACIDAD, FORMA DE LAS PARTICULAS, TAMAÑO MAXIMO DE PIEDRAS, PRESENCIA DE MATERIA ORGANICA, ETC.
	SIMBOLOS	GRAFICO		
0.5	Re			Relleno de material de prestamo (Suelo granular), contaminado con desperdicios, cementacion fuerte, consistencia dura, color amarillento.
1.0	CL			Arcilla limpia con arena y grava, cementacion fuerte, consistencia dura, color amarillento, en estado seco, con 51.3% de finos, Limite Liquido 34.00%, Limite Plastico 19.15% e Indice Plastico de 14.85%
1.5				
IDENTIFICACION DE MUESTRAS Re: Material de relleno S/M: Sin muestra			NOTA: C-09 - JR. UNION, PROGRESIVA 3+450	


DOSEOPERUSAC
 Ing. Adolfo E. Camayo Ginche
 CIP. 153550
 Gerente de Mecánica de Suelos y Geotecnia


Paje: Chupaca # 2059 | El Tambo | Huancayo | Perú | Domicilio Fiscal
 Jr. Ancoziza # 1045 | Chilca | Huancayo | Perú | Oficina de Laboratorio
 +51 981783990 | RPA #151690 | acamayog@dosedperu.com
 www.dosedperu.com


Fuente: Laboratorio Dosed, 2014

ANEXO B3: Proctor Modificado Calicata - 09



DOSED PERU S.A.C.
DOSED PERÚ





ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO
MTC - E-115

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO : "Mejoramiento de Pistas y Veredas de las Principales Vías del Distrito de Ahuac, Provincia de Chupaca, Región Junin"

PETICIONARIO : Consorcio Eolo

ATENCIÓN : Ing. Jesus Alberto Vargas Falconi

FECHA DE RECEPCION : miércoles, 24 de septiembre de 2014

FECHA DE EMISIÓN : viernes, 10 de octubre de 2014

PROGRESIVA : 3+075

UBICACIÓN : Jr Unión, C - 08

VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	2104		PESO DEL MOLDE (gr.) :	3105		METODO	"C"
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4			
PESO SUELO COMPACTADO + MOLDE	7026	7432	7425	6971			
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	3921	4327	4320	3866			
PESO VOLUMETRICO HUMEDO	1.864	2.057	2.053	1.838			

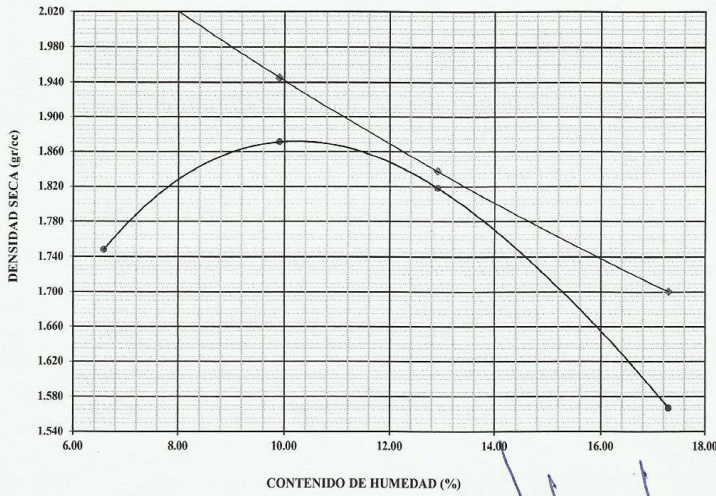
CONTENIDO DE HUMEDAD


RECIPIENTE Nro.	1	2	3	4
PESO SUELO HUMEDO + TARA	99.22	94.74	114.41	82.11
PESO SUELOS SECO + TARA	94.53	88.36	104.09	73.43
PESO DE LA TARA	23.25	23.95	24.19	23.25
PESO DE AGUA	4.69	6.38	10.32	8.68
PESO DE SUELO SECO	71.28	64.41	79.90	50.18
CONTENIDO DE AGUA	6.58	9.90	12.91	17.29
PESO VOLUMETRICO SECO	1.748	1.871	1.818	1.567

DENSIDAD MAXIMA SECA:	1.871 gr/cm ³
HUMEDAD OPTIMA:	10.20 %
GRAVEDAD DE SOLIDOS:	2.409

CURVA DE SATURACION			
2.079	1.945	1.837	1.701

GRAFICO DEL PROCTOR






DOSED PERU SAC
Ing. Adolfo E. Camayo Ginche
CIP. 153550
Gerente de Mecánica de Suelos y Geotecnia


Pse. Chupaca # 2052 | El Tambo | Huancayo | Perú | Domicilio Fiscal
 Jr. Arequipa # 1045 | Chilca | Huancayo | Perú | Oficina de Laboratorio
 +51 981783290 | RPM # 151690 | acamayod@dosedperu.com
 www.dosedperu.com


Fuente: Laboratorio Dosed, 2014

ANEXO B1.01: Valor De Soporte California "CBR" Calicata - 09



DOSED PERU S.A.C.
DOSED
PERU





DS00103982014

ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
MTC E - 132

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO : "Mejoramiento de Pistas y Veredas de las Principales Vías del Distrito de Ahuac, Provincia de Chucaca, Región Junín"

PETICIONARIO : Consorcio Eolo

ATENCIÓN : Ing. Jesus Alberto Vargas Falconi

FECHA DE RECEPCION : miércoles, 24 de septiembre de 2014

FECHA DE EMISIÓN : viernes, 10 de octubre de 2014


PROGRESIVA : 3+075

UBICACIÓN : Jr Unión, C - 08

CUADRO DATOS CBR						
Molde N°	13		23		7	
N° Capa	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		10	
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + Suelo húmedo	10807	10824	8752	8778	10332	10397
Peso de molde (gr)	6549	6549	4685	4685	6516	6516
Peso del suelo húmedo (gr)	4258	4275	4067	4093	3816	3881
Volumen del molde (cc)	2048	2026	2050	2049	2049	2093
Densidad húmeda (gr/cc)	2.079	2.110	1.984	1.997	1.863	1.854
% de humedad	10.80	11.10	10.73	11.66	11.06	7.94
Densidad seca (gr/cc)	1.877	1.899	1.792	1.788	1.677	1.718
Tarro N°	-	-	-	-	-	-
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	66.35	71.7	80.92	83.8	47.2	49.6
Tarro + Suelo seco (gr.)	62.09	66.8	75.27	77.5	45.8	47.7
Peso del Agua (gr.)	4.26	4.8	5.64	6.3	5.06	1.9
Peso del tarro (gr.)	22.7	23.1	22.7	23.8	22.7	23.4
Peso del suelo seco (gr.)	39.4	43.7	52.6	53.7	23.1	24.3
% de humedad	10.80	11.10	10.73	11.66	11.06	7.94
Promedio de Humedad (%)	10.80	11.10	10.73	11.66	11.06	7.94

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
	00:00	0	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000
	09:30	24	0.958	1.0	0.826	1.068	1.1	0.921	1.470	1.5	1.267
	09:30	48	1.360	1.4	1.172	1.958	2.0	1.688	2.360	2.4	2.034
	09:30	72	2.645	2.6	2.280	3.460	3.5	2.983	5.168	5.2	4.455
		96	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000

PENETRACION														
PENETRACION pulg	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE N° 13					MOLDE N° 23				MOLDE N° 7			
		CARGA		CORRECCION			CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Kg	kg/cm2	kg/cm2	%		Kg	kg/cm2	kg/cm2	%	Kg	kg/cm2	kg/cm2	%
0.000		0	0			0	0			0	0			
0.025		32	2			19	1			5	0			
0.050		44	2			26	1			7	0			
0.075		57	3			34	2			10	0			
0.100	70.3	70	3	3.4	4.9	41	2	2.0	2.9	12	1	0.6	0.8	
0.150		94	5			55	3			16	1			
0.200	105.5	115	6	5.71	5.4	68	3	3.4	3.2	20	1	1.0	0.9	
0.250		136	7			80	4			23	1			
0.300		157	8			92	5			26	1			
0.400		189	9			111	5			31	2			
0.500		214	11			126	6			35	2			

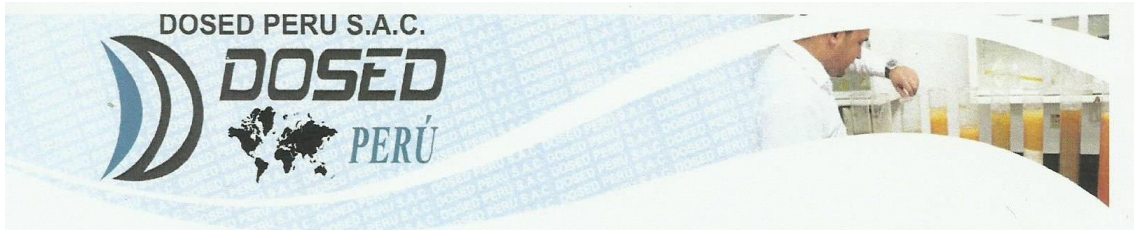


Ing. Adolfo E. Camayo Ginche
CIP. 153560
Gerente de Mecánica de Suelos y Geotecnia

Psje. Chupaca # 2052 | El Tambo | Huancayo | Perú | Domicilio Fiscal
 Jr. Arequipa # 1045 | Chilca | Huancayo | Perú | Oficina de Laboratorio
 +51 981783290 | RPM #151690 | acamayo@dosedperu.com
 www.dosedperu.com

Fuente: Laboratorio Dosed, 2014

ANEXO B1.02: Valor De Soporte California "CBR" Calicata - 09



ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

MTC E - 132

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO : "Mejoramiento de Pistas y Veredas de las Principales Vías del Distrito de Ahuac, Provincia de Chupaca, Región Junín"

PETICIONARIO : Consorcio Eolo

ATENCIÓN : Ing. Jesus Alberto Vargas Falconi

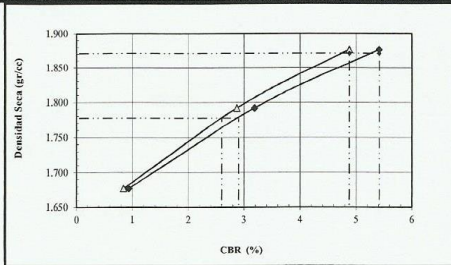
FECHA DE RECEPCION : miércoles, 24 de septiembre de 2014

FECHA DE EMISIÓN : viernes, 10 de octubre de 2014

PROGRESIVA : 3+075

UBICACIÓN : Jr Unión, C - 08

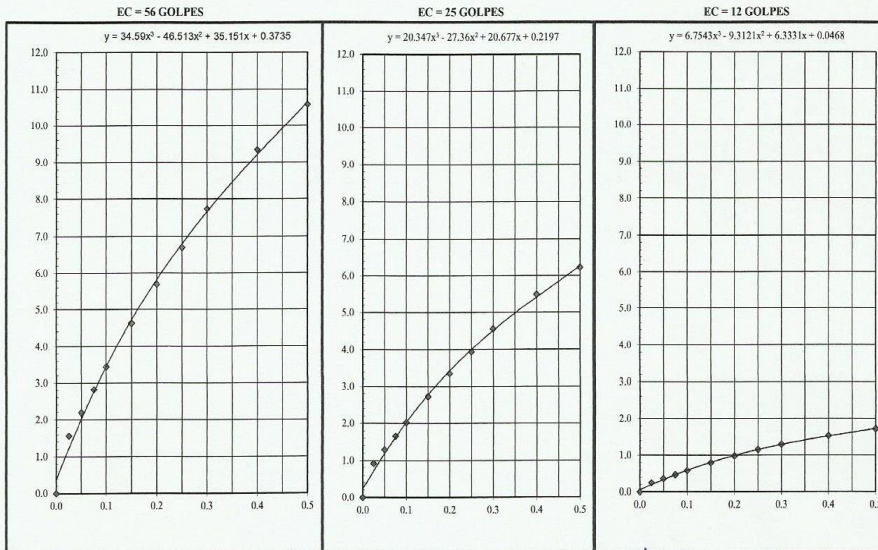
GRAFICO DE PENETRACIÓN DE CBR



C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	4.9	0.2"	5.4
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	2.6	0.2"	2.9

Datos del Proctor	
Densidad Seca	1.871 gr/cc
Optimo Humedad	10.20 %

Observaciones:



DOSED PERU S.A.C.
 Ing. Adolfo E. Camayo Ginche
 CIP. 153550
 Gerente de Mecánica de Suelos y Geotecnia

Psje. Chupaca # 2052 | El Tambo | Huancayo | Perú | Domicilio Fiscal
 Jr. Arequipa # 1045 | Chilca | Huancayo | Perú | Oficina de Laboratorio
 +51 981783290 | RPM # 151690 | acamayo@dosedperu.com
 www.dosedperu.com

Fuente: Laboratorio Dosed, 2014

ESTUDIO MECÁNICA DE SUELOS CALICATA - 10

ANEXO C1: Registro Estratigráfico Calicata - 10



 DS00103992014		DOSED SAC MECANICA DE SUELOS Y GEOTECNIA	REGISTRO DE EXCAVACION ASTM D2488 - 09a Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure)
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES			
CERTIFICADO N°	DS00103992014		EXCAVACION : C-10
OBRA	MEJORAMIENTO DE PISTAS Y VEREDAS DE LAS		NIVEL FREATICO : NO SE ENCONTRO
	PRINCIPALES VIAS DEL DISTRITO DE AHUAC,		TAMAÑO EXCAV : 1.50m
	PROVINCIA DE CHUPACA, REGION JUNIN		INICIO : 24/09/2014
CONSTRUYE	CONSORCIO EOLO		TERMINO : 24/09/2014
ATENCION	ING. JESUS ALBERTO VARGAS FALCONI		REGISTRADO POR : F.A.A.J.
METODO DE EXCAV	: Manual		REVISADO POR : A.E.C.G.

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION		CONDICION DE LA CALICATA (FOTOGRAFIA)	DESCRIPCION Y CLASIFICACION DEL MATERIAL : COLOR, HUMEDAD NATURAL, PLASTICIDAD, ESTADO NATURAL DE COMPACIDAD, FORMA DE LAS PARTICULAS, TAMAÑO MAXIMO DE PIEDRAS, PRESENCIA DE MATERIA ORGANICA, ETC.
	SIMBOLOS	GRAFICO		
0.3	SC			Arena arcillosa, cementacion fuerte, consistencia dura, color amarillento a marron oscuro.
0.5				
1.0	CL			Arcilla limpia con presencia de grava, cementacion debil color oscuro, con 60% finos
1.5				

IDENTIFICACION DE MUESTRAS Re: Material de relleno S/M: Sin muestra	NOTA: C-10 - JR. LA UNION, PROGRESIVA 3+825
---	--

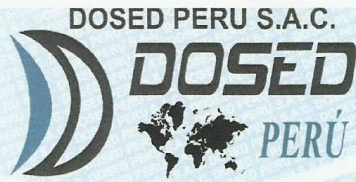


DOSED PERÚ SAC.
 Ing. Adolfo E. Camayo Ginche
 CIP. 153550
 Gerente de Mecánica de Suelos y Geotecnia

Paje, Chupaca # 9052 | El Tambo | Huancayo | Perú | Domicilio Fiscal
 Jr. Aconcagua # 1045 | Chilca | Huancayo | Perú | Oficina de Laboratorio
 +51 981783290 | RPM #151690 | acamayog@dosedperu.com
 www.dosedperu.com

Fuente: Laboratorio Dosed, 2014

ANEXO C2: Granulometría Calicata - 10



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
MECANICA DE SUELOS Y ASFALTO

INFORME N° DS00103992014

Peticionario: Consorcio Eolo
 Proyecto/Obra: Mejoramiento de Pistas y Veredas de Las Principales Vias del Distrito de Ahuac, Provincia de Chupaca, Region Junin
 Atención: Ing. Jesus Alberto Vargas Falconi
 Fecha de recepción: miércoles, 24 de septiembre de 2014
 Fecha de emisión: viernes, 10 de octubre de 2014

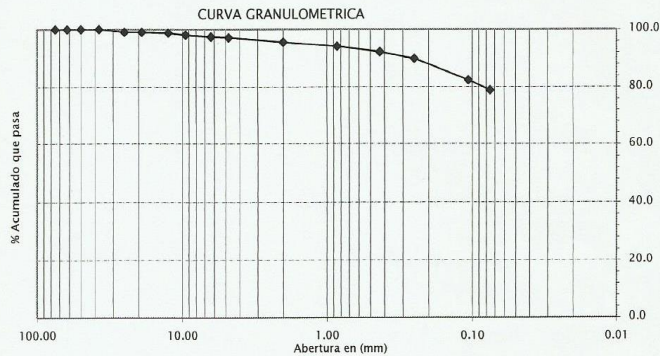
ANALISIS GRANULOMETRICO NTP 339,128 - ASTM D422

Código: ASTM D422 - 63(2007)e1 NTP 339.128-1999
 Título: Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico

LIMITES DE CONSISTENCIA NTP 339,129 - ASTM D4318

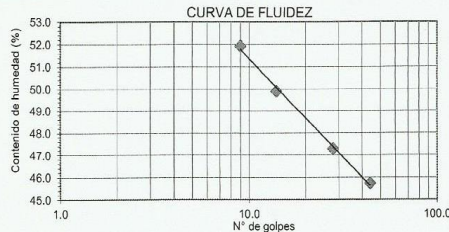
Código: ASTM D4318 - 10e1 NTP 339.129-1999
 Título: Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils SUELOS. Método de ensayo para determinar el limite liquido, limite plástico e índice de plasticidad de suelos

Tamiz	Abertura	% Acum.
3"	75.00	100.0
2 1/2"	62.00	100.0
2"	50.00	100.0
1 1/2"	37.50	100.0
1"	25.00	99.0
3/4"	19.00	99.0
1/2"	12.50	98.7
3/8"	9.50	98.0
1/4"	6.30	97.4
N°4	4.75	97.1
N°10	2.00	95.4
N°20	0.85	94.1
N°40	0.43	92.2
N°60	0.25	89.8
N°140	0.106	82.4
N°200	0.075	78.9



Lim. Líquido

N° GOL	w (%)
44.0	45.74
28.0	47.29
14.0	49.90
9.0	51.93



Lim. Plástico

31.58 %
31.91 %

LIMITE LIQUIDO	47.33 %
LIMITE PLASTICO	31.75 %
INDICE PLASTICO	15.59 %

CLASIF. SUCS :	CL
Arenilla limpia con arena y grava	
CLASIF. AASHTO :	A-7-5 (14)
JR. LA UNION, PROGRESIVA 3+825	
CALICATA N°	C-10
PROP. (m)	0.70m - 1.50m

OBSERVACIONES : Muestras provista e identificada por el interesado
 El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio salvo que la reproducción sea en su totalidad. (GUÍA PERUANA INDECOPI: GP 004: 1993)

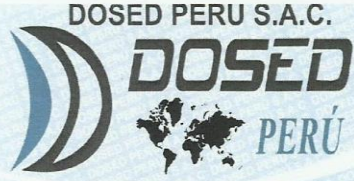
EQUIPO UTILIZADO:
 Tamices ESTANDAR TEST SIEVE ASTM E-11 ESPECIFICACION (ELE INTERNATIONAL)
 Cazuela de casagrande con contador de golpes, Marca Forney LA-3715, Serie N° 119
 Estufa utilizada: PyS EQUIPOS STHX-2A-120°C, Serie 13018 - Calibrada por PyS EQUIPOS METROLOGIA (Certificado de Calibración N° 1064/14)
 Balanza utilizada OHAUS V11P30T, N° Serie 30901097 - 30000gr. Calibrada por PyS EQUIPOS METROLOGIA (Certificado de Calibración SM-283-2014)




Psje. Chupaca # 2052 | El Tambo | Huancayo | Perú | Domicilio Fiscal
 Jr. Arequipa # 1045 | Chilca | Huancayo | Perú | Oficina de Laboratorio
 +51 981783290 | RPM # 151690 | acamay@dosedperu.com
 www.dosedperu.com

Fuente: Laboratorio Dosed, 2014

ANEXO C3: Proctor Modificado Calicata - 10



DOSED PERU S.A.C.
DOSED
PERÚ



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO
MTC - E-115

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO : "Mejoramiento de Pistas y Veredas de las Principales Vías del Distrito de Ahuac, Provincia de Chupaca, Region Junin"

PETICIONARIO : Consorcio Eolo

ATENCIÓN : Ing. Jesus Alberto Vargas Falconi

FECHA DE RECEPCIÓN : miércoles, 24 de septiembre de 2014

FECHA DE EMISIÓN : viernes, 10 de octubre de 2014

PROGRESIVA : 3+825

UBICACIÓN : Jr. Unión C-10

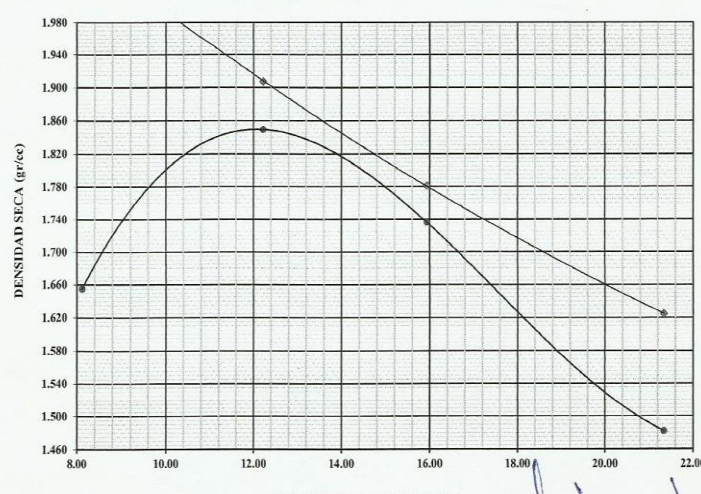
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	2104		PESO DEL MOLDE (gr.) :	3105		METODO	"C"
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4			
PESO SUELO COMPACTADO + MOLDE	6869	7470	7341	6889			
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	3764	4365	4236	3784			
PESO VOLUMETRIC HUMEDO	1.789	2.075	2.013	1.799			


CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE Nro.	1	2	3	4	
PESO SUELO HUMEDO + TARA	71.68	69.67	81.87	63.30	
PESO SUELOS SECO + TARA	68.29	65.06	74.41	57.03	
PESO DE LA TARA	26.54	27.34	27.61	27.64	
PESO DE AGUA	3.39	4.61	7.46	6.27	
PESO DE SUELO SECO	41.75	37.73	46.80	29.39	
CONTENIDO DE AGUA	8.12	12.22	15.94	21.34	
PESO VOLUMETRIC SECO	1.655	1.849	1.736	1.482	

DENSIDAD MAXIMA SECA:	1.849 gr/cm ³
HUMEDAD OPTIMA:	12.20 %
GRAVEDAD DE SOLIDOS:	2.487

CURVA DE SATURACION			
2.069	1.907	1.781	1.625

GRAFICO DEL PROCTOR






DOSED PERU S.A.C.
Ing. Adolfo E. Camayo Ginche
CIP. 153550
Gerente de Mecánica de Suelos y Geotecnia


Paje. Chupaca # 2052 | El Tambo | Huancayo | Perú | Domicilio Fiscal
 Jr. Arequipa # 1045 | Chilca | Huancayo | Perú | Oficina de Laboratorio
 +51 981783290 | RPM #151690 | acamay@dosedperu.com
 www.dosedperu.com

Fuente: Laboratorio Dosed, 2014

ANEXO C4.01: Valor De Soporte California "CBR" Calicata - 10



DOSED PERU S.A.C.
DOSED
PERÚ



DS00103982014

ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
MTC E - 132

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO : "Mejoramiento de Pistas y Veredas de las Principales Vías del Distrito de Ahuac, Provincia de Chupaca, Region Junin"

PETICIONARIO : Consorcio Eolo

ATENCIÓN : Ing. Jesus Alberto Vargas Falconi

FECHA DE RECEPCIÓN : miércoles, 24 de septiembre de 2014

FECHA DE EMISIÓN : viernes, 10 de octubre de 2014


PROGRESIVA : 3+825

UBICACIÓN : Jr. Unión C-10

CUADRO DATOS CBR						
Molde Nº	13		23		7	
Nº Capa	5		5		5	
Golpes por capa Nº	56		25		10	
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + Suelo húmedo	10825	10841	8674	8699	10377	10443
Peso de molde (gr)	6549	6549	4685	4685	6516	6516
Peso del suelo húmedo (gr)	4276	4292	3989	4014	3861	3927
Volumen del molde (cc)	2048	2026	2050	2049	2049	2093
Densidad húmeda (gr/cc)	2.088	2.119	1.946	1.959	1.885	1.876
% de humedad	12.92	13.13	12.83	13.87	13.23	7.94
Densidad seca (gr/cc)	1.849	1.873	1.724	1.720	1.664	1.738
Tarro Nº	-	-	-	-	-	-
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	59.88	64.7	72.29	74.8	47.2	49.6
Tarro + Suelo seco (gr.)	55.62	59.8	66.65	68.6	45.8	47.7
Peso del Agua (gr.)	4.26	4.8	5.64	6.2	5.06	1.9
Peso del tarro (gr.)	22.7	23.1	22.7	23.8	22.7	23.4
Peso del suelo seco (gr.)	33.0	36.7	44.0	44.8	23.1	24.3
% de humedad	12.92	13.13	12.83	13.87	13.23	7.94
Promedio de Humedad (%)	12.92	13.13	12.83	13.87	13.23	7.94

EXPANSION												
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		
				mm	%		mm	%		mm	%	
		00:00	0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000	
		10:45	24	0.333	0.3	0.287	0.890	0.9	0.767	1.360	1.4	1.172
		10:45	48	0.759	0.8	0.654	1.756	1.8	1.514	2.165	2.2	1.866
		10:45	72	1.586	1.6	1.367	2.468	2.5	2.128	4.242	4.2	3.657
			96	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000

PENETRACIÓN													
PENETRACION pulg	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE Nº 13				MOLDE Nº 23				MOLDE Nº 7			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Kg	kg/cm2	kg/cm2	%	Kg	kg/cm2	kg/cm2	%	Kg	kg/cm2	kg/cm2	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.025		37	2			20	1			4	0		
0.050		52	3			28	1			6	0		
0.075		67	3			36	2			8	0		
0.100	70.3	82	4	4.0	5.7	44	2	2.2	3.1	9	0	0.5	0.7
0.150		110	5			59	3			13	1		
0.200	105.5	136	7	6.72	6.4	72	4	3.6	3.4	16	1	0.8	0.7
0.250		160	8			85	4			19	1		
0.300		184	9			98	5			21	1		
0.400		223	11			119	6			25	1		
0.500		252	12			135	7			28	1		




DOSED PERU S.A.C.
Ing. Adolfo E. Camayo Ginche
CIP. 153560
Gerente de Mecánica de Suelos y Geotecnia


Psje. Chupaca # 2052 | El Tambo | Huancayo | Perú | Domicilio Fiscal
Jr. Arequipa # 1045 | Chilca | Huancayo | Perú | Oficina de Laboratorio
+51 981783990 | RPM #151690 | acamay@dosedperu.com
www.dosedperu.com


Fuente: Laboratorio Dosed, 2014

ANEXO C4.02: Valor De Soporte California "CBR" Calicata - 10



DOSED
PERÚ





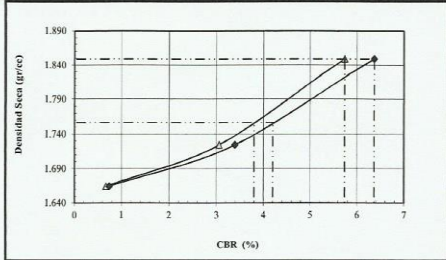
DS00103992014

ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
MTC E - 132

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO : "Mejoramiento de Pistas y Veredas de las Principales Vias del Distrito de Ahuac, Provincia de Chupaca, Region Junin"
PETICIONARIO : Consorcio Eolo
ATENCIÓN : Ing. Jesus Alberto Vargas Falconi
FECHA DE RECEPCIÓN : miércoles, 24 de septiembre de 2014
FECHA DE EMISIÓN : viernes, 10 de octubre de 2014
PROGRESIVA : 3+825
UBICACIÓN : Jr. Unión C-10

GRAFICO DE PENETRACIÓN DE CBR



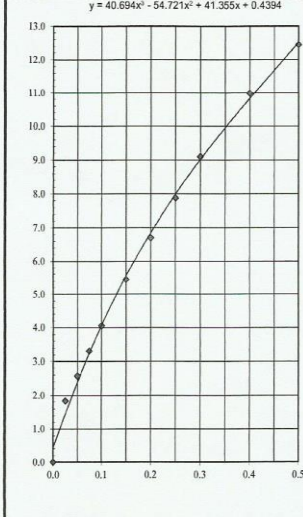
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	5.7	0.2":	6.4
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	3.8	0.2":	4.2

Datos del Proctor	
Densidad Seca	1.849 gr/cc
Óptimo Humedad	12.20 %

Observaciones:

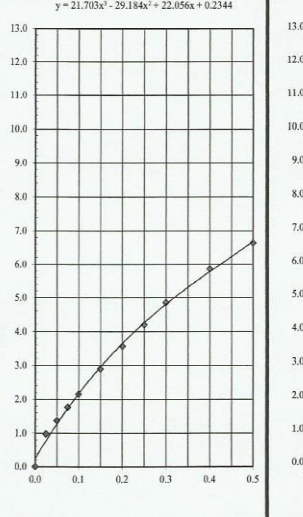
EC = 56 GOLPES

$y = 40.694x^3 - 54.721x^2 + 41.355x + 0.4394$



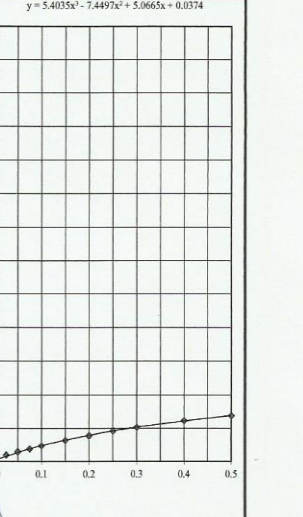
EC = 25 GOLPES


$y = 21.703x^3 - 29.184x^2 + 22.056x + 0.2344$



EC = 12 GOLPES

$y = 5.4035x^3 - 7.4497x^2 + 5.0665x + 0.0374$





Ing. Adolfo E. Camayo Ginche
CIP: 153550
Gerente de Mecánica de Suelos y Geotecnia

Psje. Chupaca # 2052 | El Tambo | Huancayo | Perú | Domicilio Fiscal
 Jr. Arequipa # 1045 | Chilca | Huancayo | Perú | Oficina de Laboratorio
 +51 981783290 | RPM #151690 | acamayo@dosedperu.com
 www.dosedperu.com

Fuente: Laboratorio Dosed, 2014

ANEXO 03: RESUMEN ESTUDIO DE TRÁFICO PARA EL PERIODO DE DISEÑO DE 20 AÑOS.

AÑO	BUS			CAMIONES													EAL ANUAL	EAL ACUMULADO
	2 EJES	3 EJES	4 EJES	2 EJES	3 EJES	4 EJES	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	3S3	2T2	2T3	3T2	3T3		
2012																		
2013	10,683	4,617	0	6,574	0	418	0	0	1,081	0	0	0	0	0	0	0	23,374	2.34E+04
2014	21,794	9,419	0	13,412	0	852	0	0	2,205	0	0	0	0	0	0	0	47,682	4.77E+04
2015	33,349	14,413	0	20,523	0	1,303	0	0	3,374	0	0	0	0	0	0	0	72,963	7.30E+04
2016	45,367	19,607	0	27,918	0	1,773	0	0	4,590	0	0	0	0	0	0	0	99,255	9.93E+04
2017	57,865	25,009	0	35,609	0	2,262	0	0	5,855	0	0	0	0	0	0	0	126,598	1.27E+05
2018	70,863	30,626	0	43,608	0	2,770	0	0	7,170	0	0	0	0	0	0	0	155,036	1.55E+05
2019	84,380	36,468	0	51,926	0	3,298	0	0	8,538	0	0	0	0	0	0	0	184,611	1.85E+05
2020	98,439	42,544	0	60,578	0	3,847	0	0	9,960	0	0	0	0	0	0	0	215,369	2.15E+05
2021	113,060	48,863	0	69,575	0	4,419	0	0	11,439	0	0	0	0	0	0	0	247,357	2.47E+05
2022	128,266	55,435	0	78,933	0	5,013	0	0	12,978	0	0	0	0	0	0	0	280,625	2.81E+05
2023	144,080	62,270	0	88,664	0	5,631	0	0	14,578	0	0	0	0	0	0	0	315,223	3.15E+05
2024	160,526	69,378	0	98,785	0	6,274	0	0	16,242	0	0	0	0	0	0	0	351,206	3.51E+05
2025	177,631	76,770	0	109,311	0	6,943	0	0	17,973	0	0	0	0	0	0	0	388,627	3.89E+05
2026	195,419	84,458	0	120,258	0	7,638	0	0	19,773	0	0	0	0	0	0	0	427,546	4.28E+05
2027	213,919	92,454	0	131,643	0	8,361	0	0	21,644	0	0	0	0	0	0	0	468,021	4.68E+05
2028	233,159	100,769	0	143,483	0	9,113	0	0	23,591	0	0	0	0	0	0	0	510,116	5.10E+05
2029	253,169	109,417	0	155,796	0	9,895	0	0	25,616	0	0	0	0	0	0	0	553,894	5.54E+05
2030	273,979	118,411	0	168,603	0	10,708	0	0	27,721	0	0	0	0	0	0	0	599,423	5.99E+05
2031	295,622	127,765	0	181,921	0	11,554	0	0	29,911	0	0	0	0	0	0	0	646,774	6.47E+05
2032	318,130	137,493	0	195,772	0	12,434	0	0	32,189	0	0	0	0	0	0	0	696,018	6.96E+05
2033	341,539	147,610	0	210,178	0	13,349	0	0	34,557	0	0	0	0	0	0	0	747,232	7.47E+05

Fuente: Expediente técnico

ANEXO 04: HOJA DE CÁLCULO DE LOS ESPESORES PARA DIFERENTES VALORES DE CBR PROGRAMA AASHTO 93

1. Cálculo SN, para CBR = 2.6 %.

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' window. The 'Tipo de Pavimento' section has 'Pavimento flexible' selected. The 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' section shows '80 % Zr=-0.841' and 'So = 0.45'. The 'Serviciabilidad inicial y final' section shows 'PSI inicial = 4.2' and 'PSI final = 2.4'. The 'Módulo resiliente de la subrasante' section shows 'Mr = 4709 psi'. The 'Tipo de Análisis' section has 'Calcular SN' selected, with 'W18 = 747000' and 'Número Estructural SN = 3.63'. The 'Calcular' button is highlighted.

Fuente: Programa AASHTO 93

2. Cálculo SN, para CBR = 2.7%.

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' window. The 'Tipo de Pavimento' section has 'Pavimento flexible' selected. The 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' section shows '80 % Zr=-0.841' and 'So = 0.45'. The 'Serviciabilidad inicial y final' section shows 'PSI inicial = 4.2' and 'PSI final = 2.4'. The 'Módulo resiliente de la subrasante' section shows 'Mr = 4825 psi'. The 'Tipo de Análisis' section has 'Calcular SN' selected, with 'W18 = 747000' and 'Número Estructural SN = 3.60'. The 'Calcular' button is highlighted.

Fuente: Programa AASHTO 93

3. Cálculo SN, para CBR = 3.8%.

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. The window title is 'Ecuación AASHTO 93'. The interface is divided into several sections:

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for 'Pavimento flexible' (selected) and 'Pavimento rígido'.
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu set to '80 % Zr=-0.841' and a text box for 'So' with the value '0.45'.
- Serviciabilidad inicial y final:** Text boxes for 'PSI inicial' (4.2) and 'PSI final' (2.4).
- Módulo resiliente de la subrasante:** Text box for 'Mr' (6004) with the unit 'psi'.
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Four empty text boxes for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'.
- Tipo de Análisis:** Radio buttons for 'Calcular SN' (selected) and 'Calcular W18'. A text box shows 'W18 = 747000'.
- Número Estructural:** A text box shows 'SN = 3.32'.

At the bottom, there are two buttons: 'Calcular' and 'Salir'.

Fuente: Programa AASHTO 93

ANEXO 05: HOJA DE METRADOS

PLANILLA DE METRADOS								
ITEM	DESCRIPCION	UND	Nº VECES	Nº ELEM	MEDIDAS			PARCIAL
					L	A	e/h	
001	PAVIMENTO CON GEOMALLAS BIAXIALES TIPO EGB 20							
	MOVIMIENTO DE TIERRA							
01.01	CORTE DE MATERIAL SUELTO HASTA NIVEL DE SUBRASANTE PAV C/G EGB 20	m3	1.00	1.00	1628.21	7.00	0.50	5641.75
	PAVIMENTO							
01.02	SUMINISTRO E INSTALACION DE GEOMALLAS BIAXIALES TIPO EGB 20	m2	1.00	1.00	1628.21	7.00	-	11397.47
01.03	SUB-BASE GRANULAR	m3	1.00	1.00	1628.21	7.00	0.28	3134.30
01.04	BASE GRANULAR	m3	1.00	1.00	1628.21	7.00	0.15	1709.62
01.05	CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE	m3	1.00	1.00	1628.21	7.00	0.07	797.82
001	PAVIMENTO CON GEOMALLAS BIAXIALES TIPO EGB 30							
	MOVIMIENTO DE TIERRA							
01.01	CORTE DE MATERIAL SUELTO HASTA NIVEL DE SUBRASANTE PAV C/G EGB 30	m3	1.00	1.00	1628.21	7.00	0.45	5071.87
	PAVIMENTO							
01.02	SUMINISTRO E INSTALACION DE GEOMALLAS BIAXIALES TIPO EGB 30	m2	1.00	1.00	1628.21	7.00	-	11397.47
01.03	SUB-BASE GRANULAR	m3	1.00	1.00	1628.21	7.00	0.23	2564.43
01.04	BASE GRANULAR	m3	1.00	1.00	1628.21	7.00	0.15	1709.62
01.05	CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE	m3	1.00	1.00	1628.21	7.00	0.07	797.82
001	PAVIMENTO REPLAZO MECANICO							
	MOVIMIENTO DE TIERRA							
01.01	CORTE DE MATERIAL SUELTO HASTA NIVEL DE SUBRASANTE PAV C/G EGB 30	m3	1.00	1.00	1628.21	7.00	0.77	8776.05
	REPLAZO DE MATERIAL DE LA SUBRASANTE	m3	1.00	1.00	1628.21	7.00	0.40	4558.99
01.02	PAVIMENTO							
01.03	SUB-BASE GRANULAR	m3	1.00	1.00	1628.21	7.00	0.15	1709.62
01.04	BASE GRANULAR	m3	1.00	1.00	1628.21	7.00	0.15	1709.62
01.05	CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE	m3	1.00	1.00	1628.21	7.00	0.07	797.82
001	PAVIMENTO OVIEDO BELLOT							
	MOVIMIENTO DE TIERRA							
01.01	CORTE DE MATERIAL SUELTO HASTA NIVEL DE SUBRASANTE	m3	1.00	1.00	1628.21	7.00	1.17	13335.04
	REPLAZO DE MATERIAL DE LA SUBRASANTE	m3	1.00	1.00	1628.21	7.00	0.80	9117.98
01.02	PAVIMENTO							
01.03	SUB-BASE GRANULAR	m3	1.00	1.00	1628.21	7.00	0.15	1709.62
01.04	BASE GRANULAR	m3	1.00	1.00	1628.21	7.00	0.15	1709.62
01.05	CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE	m3	1.00	1.00	1628.21	7.00	0.07	797.82

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 06: ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

ANEXO 06.01: ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO- GEOMALLA MacGrid EGB 20

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0201001 PAVIMENTO CON GEOMALLA MacGrid EGB 20

Subpresupuesto 001 INSTALACION DE GEOMALLAS BIAXIALES

Partida 01.01 (010303010106-0201001-01) CORTE DE MATERIAL SUELTO HASTA NIVEL DE SUBRASANTE

Costo unitario directo por: m3 5.48

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
0101010002	CAPATAZ	hh	0.0018	20.44	0.04
0101010005	PEON	hh	0.0356	12.52	0.45
0.49					
Equipos					
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		0.01	0.01
030118000200	TRACTOR DE ORUGAS CAT D6D	hm	0.0178	280.00	4.98
4.99					

Partida 01.02 (010301090203-0201001-01) SUMINISTRO E INSTALACION DE GEOMALLA BIAIXIAL TIPO MacGrid EGB 20

Costo unitario directo por: m2 3.45

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
0101010002	CAPATAZ	hh	0.0003	20.44	0.01
0101010005	PEON	hh	0.0053	12.52	0.07
0.08					
Materiales					
0210020003	GEOMALLA MacGrid EGB 20	m2	1.1000	3.06	3.37
3.37					

Partida 01.03 (010304010103-0201001-01) SUB-BASE GRANULAR

Costo unitario directo por: m3 49.38

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
0101010002	CAPATAZ	hh	0.0030	20.44	0.06
0101010004	OFICIAL	hh	0.0296	13.88	0.41
0101010005	PEON	hh	0.1778	12.52	2.23
2.70					
Materiales					
020704000100	MATERIAL GRANULAR PARA SUB BASE	m3	1.2000	30.00	36.00
0290130021	AGUA	und	0.1000	1.00	0.10
36.10					
Equipos					
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		0.08	0.08
030110000600	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOP 101-135HP 10-12T	hm	0.0296	165.00	4.88
030120000100	MOTONIVELADORA 125 HP	hm	0.0296	190.00	5.62
10.58					

Partida 01.04 (010706030002-0201001-01) BASE GRANULAR

Costo unitario directo por: m3 52.86

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
0101010002	CAPATAZ	hh	0.0032	20.44	0.07
0101010004	OFICIAL	hh	0.0320	13.88	0.44
0101010005	PEON	hh	0.1920	12.52	2.40
2.91					
Materiales					
020704000100	MATERIAL GRANULAR PARA BASE	m3	1.2000	32.00	38.40
0290130021	AGUA	und	0.1000	1.00	0.10
38.50					
Equipos					
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		0.09	0.09
030110000600	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOP 101-135HP 10-12T	hm	0.0320	165.00	5.28
030120000100	MOTONIVELADORA 125 HP	hm	0.0320	190.00	6.08
11.45					

Fuente: Elaboración propia

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0201002 PAVIMENTO CON GEOMALLA MacGrid EGB 30

Subpresupuesto 001 PAVIMENTO CON GEOMALLA MacGrid EGB 30

Partida 01.05 (010304020303-0201002-01) PAVIMENTO DE CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE

		Costo unitario directo por:			m3	201.77
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	0.0315	20.44	0.64	
0101010003	OPERARIO	hh	0.0315	16.16	0.51	
0101010005	PEON	hh	0.1890	12.52	2.37	
						3.52
Materiales						
0201050005	MEZCLA ASFALTICA	m3	1.3000	132.66	172.46	
						172.46
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		0.18	0.18	
030110000400	RODILLO NEUMATICO AUTOPREPULSADO 5.5 - 20 ton	hm	0.0315	134.53	4.24	
030110000500	RODILLO TANDEM EST 8-10 ton	hm	0.0315	198.57	6.25	
030139000200	PAVIMENTADORA SOBRE ORUGAS 105 HP 10-16' (INCLUYE EQUIPO DE	hm	0.0315	479.91	15.12	
						25.79

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 06.02: ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS - GEOMALLA MacriGrid EGB

30

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0201002 PAVIMENTO CON GEOMALLA MacGrid EGB 30

Subpresupuesto 001 PAVIMENTO CON GEOMALLA MacGrid EGB 30

Partida 01.01 (010303010106-0201002-01) CORTE DE MATERIAL SUELTO HASTA NIVEL DE SUBRASANTE
Costo unitario directo por: m3 5.48

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
Mano de Obra					
0101010002	CAPATAZ	hh	0.0018	20.44	0.04
0101010005	PEON	hh	0.0356	12.52	0.45
0.49					
Equipos					
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		0.01	0.01
030118000200	TRACTOR DE ORUGAS CAT D6D	hm	0.0178	280.00	4.98
4.99					

Partida 01.02 (010301090204-0201002-01) SUMINISTRO E INSTALACION DE GEOMALLA BIAIXIAL TIPO MacGrid EGB 30
Costo unitario directo por: m2 5.73

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
Mano de Obra					
0101010002	CAPATAZ	hh	0.0003	20.44	0.01
0101010005	PEON	hh	0.0053	12.52	0.07
0.08					
Materiales					
021002000400	GEOMALLA BIAIXIAL MacGrid EGB 30	m2	1.2000	4.71	5.65
5.65					

Partida 01.03 (010304010103-0201002-01) SUB-BASE GRANULAR
Costo unitario directo por: m3 49.38

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
Mano de Obra					
0101010002	CAPATAZ	hh	0.0030	20.44	0.06
0101010004	OFICIAL	hh	0.0296	13.88	0.41
0101010005	PEON	hh	0.1778	12.52	2.23
2.70					
Materiales					
020704000100	MATERIAL GRANULAR PARA SUB BASE	m3	1.2000	30.00	36.00
0290130021	AGUA	und	0.1000	1.00	0.10
36.10					
Equipos					
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		0.08	0.08
030110000600	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOP 101-135HP 10-12T	hm	0.0296	165.00	4.88
030120000100	MOTONIVELADORA 125 HP	hm	0.0296	190.00	5.62
10.58					

Partida 01.04 (010706030002-0201002-01) BASE GRANULAR
Costo unitario directo por: m3 52.86

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
Mano de Obra					
0101010002	CAPATAZ	hh	0.0032	20.44	0.07
0101010004	OFICIAL	hh	0.0320	13.88	0.44
0101010005	PEON	hh	0.1920	12.52	2.40
2.91					
Materiales					
020704000100	MATERIAL GRANULAR PARA BASE	m3	1.2000	32.00	38.40
0290130021	AGUA	und	0.1000	1.00	0.10
38.50					
Equipos					
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		0.09	0.09
030110000600	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOP 101-135HP 10-12T	hm	0.0320	165.00	5.28
030120000100	MOTONIVELADORA 125 HP	hm	0.0320	190.00	6.08
11.45					

Fuente: Elaboración propia

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0201002 PAVIMENTO CON GEOMALLA MacGrid EGB 30

Subpresupuesto 001 PAVIMENTO CON GEOMALLA MacGrid EGB 30

Partida	01.05	(010304020303-0201002-01)	PAVIMENTO DE CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE	Costo unitario directo por:	m3	201.77	
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cantidad	Preco \$/.	Parcial \$/.
			Mano de Obra				
0101010002	CAPATAZ			hh	0.0315	20.44	0.64
0101010003	OPERARIO			hh	0.0315	16.16	0.51
0101010005	PEON			hh	0.1890	12.52	2.37
							3.52
			Materiales				
0201050005	MEZCLA ASFALTICA			m3	1.3000	132.66	172.46
							172.46
			Equipos				
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES			%mo		0.18	0.18
030110000400	RODILLO NEUMATICO AUTOPREPULSADO 5.5 - 20 ton			hm	0.0315	134.53	4.24
030110000500	RODILLO TANDEM EST 8-10 ton			hm	0.0315	198.57	6.25
030139000200	PAVIMENTADORA SOBRE ORUGAS 105 HP 10-16' (INCLUYE EQUIPO DE			hm	0.0315	479.91	15.12
							25.79

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 06.03: ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS – PAVIMENTO TRADICIONAL

Análisis de precios unitarios

Presupuesto **0201003 PAVIMENTO TRADICIONAL**

Subpresupuesto **001 PAVIMENTO TRADICIONAL**

Partida	01.01	(010303010106-0201003-01)	CORTE DE MATERIAL SUELTO HASTA NIVEL DE SUBRASANTE	Costo unitario directo por:	m3	5.48	
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
Mano de Obra							
0101010002	CAPATAZ			hh	0.0018	20.44	0.04
0101010005	PEON			hh	0.0356	12.52	0.45
0.49							
Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES			%mo		0.01	0.01
030118000200	TRACTOR DE ORUGAS CAT D6D			hm	0.0178	280.00	4.98
4.99							
Partida	01.02	(010706010003-0201003-01)	REPLAZO DE MATERIAL DE LA SUBRASANTE	Costo unitario directo por:	m3	38.76	
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
Mano de Obra							
0101010002	CAPATAZ			hh	0.0111	20.44	0.23
0101010005	PEON			hh	0.0667	12.52	0.84
1.07							
Materiales							
020704000100	MATERIAL GRANULAR PARA REPLAZO DE MATERIAL			m3	1.2000	28.00	33.60
0290130021	AGUA			und	0.1000	1.00	0.10
33.70							
Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES			%mo		0.05	0.05
030110000600	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOP 101-135HP 10-12T			hm	0.0111	165.00	1.83
030120000100	MOTONIVELADORA 125 HP			hm	0.0111	190.00	2.11
3.99							
Partida	01.03	(010304010103-0201003-01)	SUB-BASE GRANULAR	Costo unitario directo por:	m3	49.38	
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
Mano de Obra							
0101010002	CAPATAZ			hh	0.0030	20.44	0.06
0101010004	OFICIAL			hh	0.0296	13.88	0.41
0101010005	PEON			hh	0.1778	12.52	2.23
2.70							
Materiales							
020704000100	MATERIAL GRANULAR PARA SUB-BASE			m3	1.2000	30.00	36.00
0290130021	AGUA			und	0.1000	1.00	0.10
36.10							
Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES			%mo		0.08	0.08
030119000200	RODILLO VIBRATORIO DYNAPAC LISO CA-15			hm	0.0296	165.00	4.88
030120000100	MOTONIVELADORA CAT 120B			hm	0.0296	190.00	5.62
10.58							
Partida	01.04	(010706030002-0201003-01)	BASE GRANULAR	Costo unitario directo por:	m3	52.86	
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
Mano de Obra							
0101010002	CAPATAZ			hh	0.0032	20.44	0.07
0101010004	OFICIAL			hh	0.0320	13.88	0.44
0101010005	PEON			hh	0.1920	12.52	2.40
2.91							
Materiales							
020704000100	MATERIAL GRANULAR PARA BASE			m3	1.2000	32.00	38.40
0290130021	AGUA			und	0.1000	1.00	0.10
38.50							
Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES			%mo		0.09	0.09
030110000600	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOP 101-135HP 10-12T			hm	0.0320	165.00	5.28
030120000100	MOTONIVELADORA 125 HP			hm	0.0320	190.00	6.08
11.45							

Fuente: Elaboración propia

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0201003 PAVIMENTO TRADICIONAL

Subpresupuesto 001 PAVIMENTO TRADICIONAL

Partida 01.06 (010304020303-0201003-01) PAVIMENTO DE CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE

		Costo unitario directo por:			m3	201.77
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cantidad	Preco S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	0.0315	20.44	0.64	
0101010003	OPERARIO	hh	0.0315	16.16	0.51	
0101010005	PEON	hh	0.1890	12.52	2.37	
						3.52
Materiales						
0201050005	MEZCLA ASFALTICA	m3	1.3000	132.66	172.46	
						172.46
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		0.18	0.18	
030110000400	RODILLO NEUMATICO AUTOPREPULSADO 5.5 - 20 ton	hm	0.0315	134.53	4.24	
030110000500	RODILLO TANDEM EST 8-10 ton	hm	0.0315	198.57	6.25	
030139000200	PAVIMENTADORA SOBRE ORUGAS 105 HP 10-16' (INCLUYE EQUIPO DE	hm	0.0315	479.91	15.12	
						25.79

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 07: COTIZACIÓN DE LAS GEOMALLAS

MACCAFERRI

AMERICA LATINA

Engineering a Better Solution

DESCRIPCIÓN DE PRECIOS					
Cantidad	Unid.	Descripción de los Materiales	Precio Unitario	% IGV	Precio Total con IGV
2,172.50	Metro cuadrado	Geomalla MacGrid EGB 20 (3.95x50)	US\$ 0.94	18.00	US\$ 2,409.74
2,172.50	Metro cuadrado	Geomalla MacGrid EGB 30 (3.95x50)	US\$ 1.45	18.00	US\$ 3,717.15
Valor total:					US\$ 6,126.88

CONDICIONES COMERCIALES	
Forma de Pago:	Factura Contado
Flete:	Puesto en fábrica
Impuestos:	18 % IGV
Entrega:	E Inmediata. puesto en Planta Maccaferri, Lurín - Lima. km33 de la Nueva Panamericana Sur.
Validez:	7 Días
Transporte:	Por parte del cliente.

OBSERVACIONES

- De ser aceptada la cotización, favor emitir la Orden de Compra a Nombre de: MACCAFERRI CONSTRUCTION S.A.C. con RUC 20521749378
- Depósito en cuenta en dolares n°: BCP 194-1781170-1-25 a Nombre de MACCAFERRI CONSTRUCTION S.A.C.
- El Cliente y Transportista deberán traer su guía de remisión al recojo del material.

C3ND-00675-2018 v DRAFT p. 3/5



Fuente: Maccaferri, 2018

ANEXO 08: PANEL FOTOGRÁFICO TOMA DE MUESTRA DEL TRAMO EN ESTUDIO

Fotografía 01: Toma de muestra calicata Prog: 3+075



Fuente: Extracción de muestra

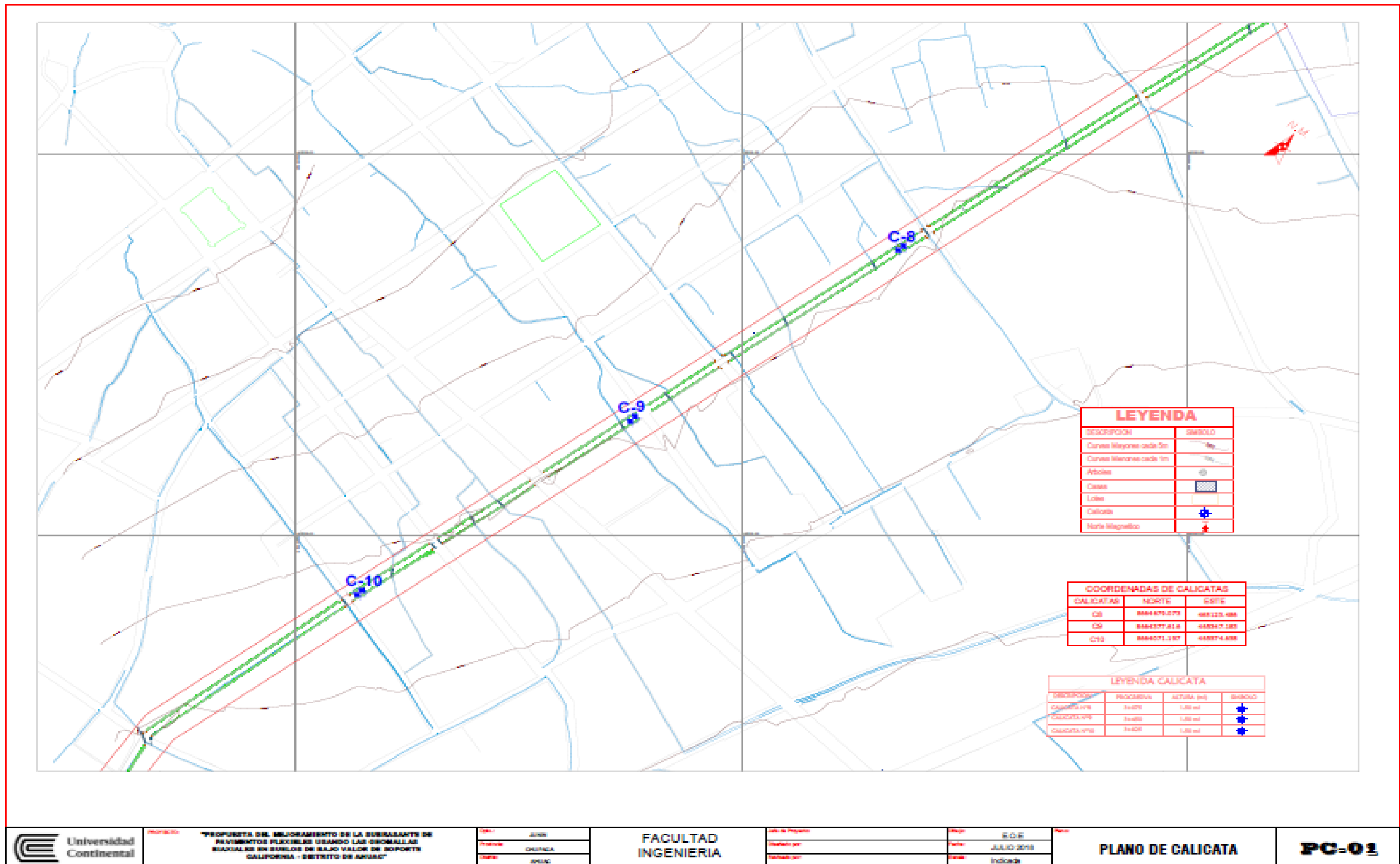
Fotografía 02: Toma de muestra Calicata Prog: 3+450



Fuente: Extracción de muestra

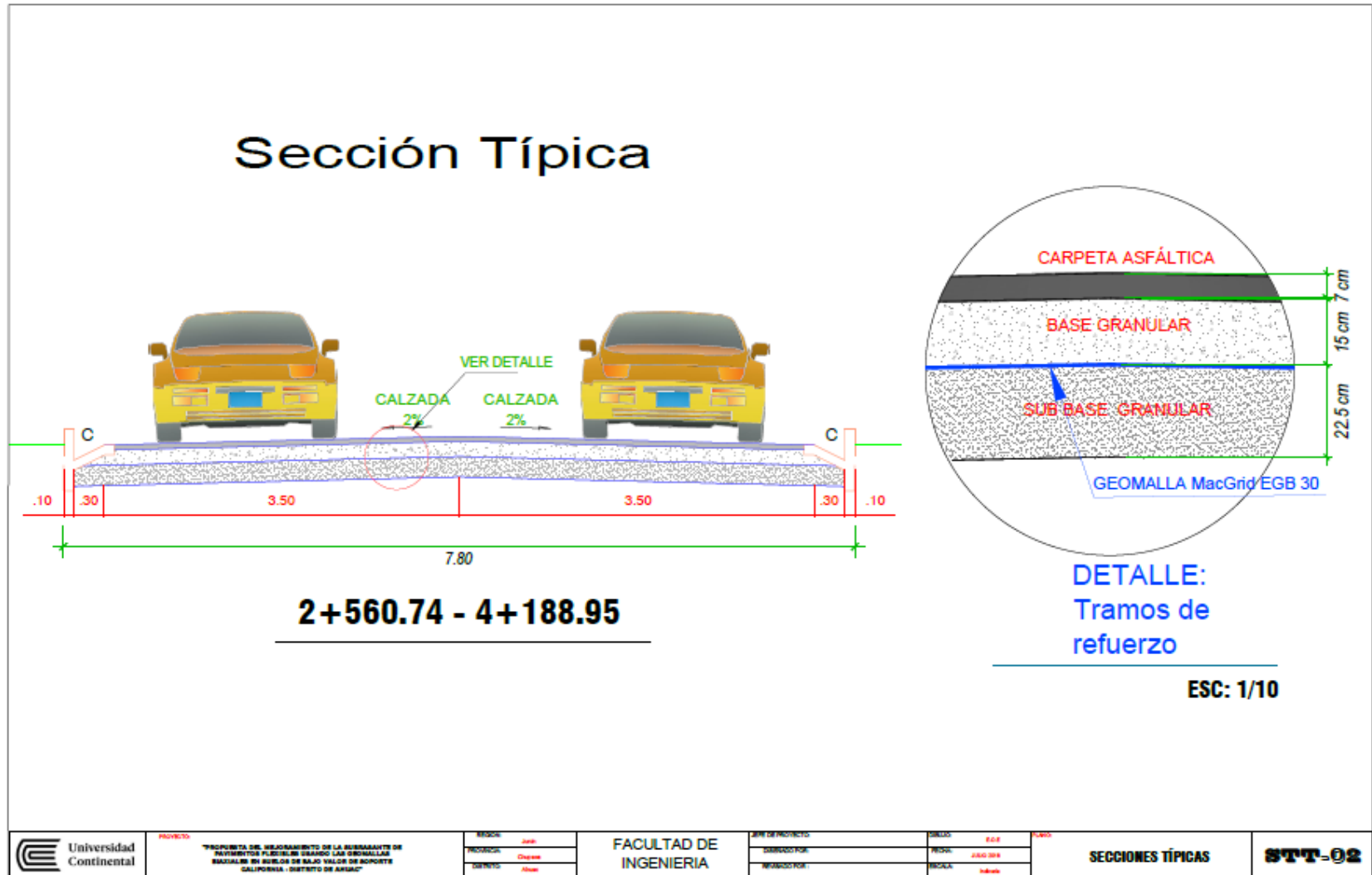
ANEXO 09: PLANOS

ANEXO 08.01: Plano de calicatas



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 08.02: Plano de sección típica geomalla biaxial recomendable MacGrid EGB 30



Fuente: Elaboración Propia