

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

PROPUESTA DEL MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE PAVIMENTOS
FLEXIBLES USANDO GEOMALLAS BIAXIALES EN SUELOS DE BAJO
VALOR DE SOPORTE CALIFORNIA-DISTRITO DE SANTA RITA
DE SIGUAS, AREQUIPA

TESIS

Presentada por:

Bach. RÓMULO BONIFAZ HUALLPA USECCA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

TACNA – PERÚ
2025

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

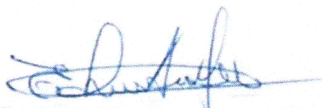
Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

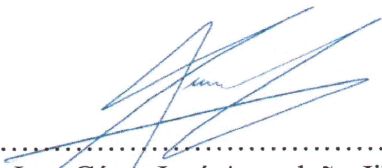
**“PROPUESTA DEL MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE
PAVIMENTOS FLEXIBLES USANDO GEOMALLAS BIAXIALES
EN SUELOS DE BAJO VALOR DE SOPORTE CALIFORNIA -
DISTRITO DE SANTA RITA DE SIGUAS, AREQUIPA”**

Tesis sustentada y aprobada el día 22 de mayo del 2023 estando integrado
el Jurado Calificador por:

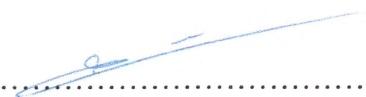
PRESIDENTE


:
MSc. Ing. Edgar Chura Arocutipa

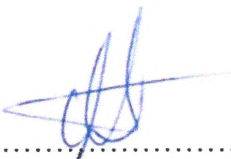
SECRETARIO


:
Mtro. Ing. César José Avendaño Jihuallanga

VOCAL


:
Dr. Ing. Martin Paucara Rojas

ASESOR DE TESIS

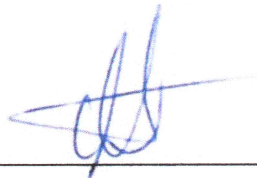

:
Dr. Ing. Victor Yapuchura Platero

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Victor Yapuchura Platero, en mi condición de ASESOR acreditado con Resolución de Facultad N° 190-2022-FIAG/UNJBG del 23 de marzo del 2022, del Trabajo de Tesis titulado: "PROPUESTA DEL MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES USANDO GEOMALLAS BIAXIALES EN SUELOS DE BAJO VALOR DE SOPORTE CALIFORNIA - DISTRITO DE SANTA RITA DE SIGUAS, AREQUIPA". Presentado por el Bach. Rómulo Bonifaz Huallpa Usecca. Para optar el título profesional de Ingeniero Civil.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y similitud de trabajos de investigación y producción intelectual de la UNJBG; considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual TURNITIN, cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 14 %. Por lo que CERTIFICO LA SIMILARIDAD de la tesis enunciada líneas arriba, la cual esta expedita para continuar con los trámites para optar el título profesional de Ingeniero Civil, según corresponda para su publicación en el Repositorio Institucional.

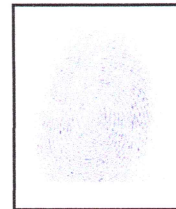
Tacna, 14 de marzo del 2025.



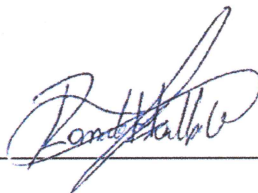
FIRMA ASESOR

Nombres y apellidos: Dr. Ing. Victor Yapuchura Platero

DNI: 00451289

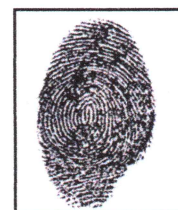


Huella dactilar



FIRMA AUTOR

Nombres y apellidos: Rómulo Bonifaz Huallpa Usecca



Huella dactilar

DEDICATORIA

A mi madre, quien estuvo siempre apoyándome y brindándome su mano amiga, dándome siempre una palabra de aliento para lograr mis metas, a Dios que me provee de salud, inteligencia, discernimiento y fortaleza para seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser mi mayor inspiración, por darme vida y permitirme alcanzar mis sueños.

A todos los docentes que han sido parte de mi formación profesional, por su apoyo incondicional, sus enseñanzas y sus conocimientos compartidos.

A mis padres, mis hermanos, y amistades, quienes siempre han estado a mi lado para ayudarme y me han motivado a superarme día a día.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xvii

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I 19	
ASPECTOS GENERALES	19
1.1 ANTECEDENTES	19
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	24
1.3.1 Interrogante general.....	24
1.3.2 Interrogantes específicas	24
1.4 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS	25
1.4.1 Hipótesis general.....	25
1.4.2 Hipótesis específicas.....	25
1.5 JUSTIFICACIÓN	26
1.6 DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS	27
1.6.1 Objetivo general.....	27
1.6.2 Objetivos específicos	27

1.7	DEFINICIÓN DE VARIABLES.....	28
1.7.1	Caracterización de las variables	28
1.7.2	Medición operacional de las variables	28
1.8	ALCANCES Y LIMITACIONES	29
1.8.1	Alcances	29
1.8.2	Limitaciones	29

CAPÍTULO II 30

MARCO TEÓRICO.....	30	
2.1	CONCEPTOS GENERALES	30
2.1.1	La subrasante	30
2.1.2	Sub base	31
2.1.3	Base	32
2.1.4	Capa de rodadura	33
2.2	GEOMALLAS COMO REFUERZOS EN LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO	33
2.2.1	Introducción al uso de geomallas	33
2.2.2	Las Geomallas	34
2.2.3	Geomalla como refuerzo de la subrasante	39
2.3	MECANISMOS DE REFUERZO GENERADOS POR LAS GEOMALLAS	42
2.3.1	Restricción o contención lateral	42
2.3.2	Optimización de la capacidad de soporte	43
2.3.3	Membrana Tensionada.....	45
2.4	PROCEDIMIENTO AASHTO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MEJORADOS CON GEOMALLAS.....	47
2.5	MÉTODO DE GIROUD Y HAN PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES REFORZADOS CON GEOMALLAS.....	51
2.5.1	Evaluación de Cargas	52

2.5.2	Relación de Módulos de Material Granular y Subrasante	53
2.5.3	Esfuerzo Sobre la Subrasante	54
2.6	PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN EN CAMPO.	59

CAPÍTULO III 69

MARCO METODOLÓGICO.....	69
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	69
3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	69
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN.....	70
3.4 PROCEDIMIENTO GENERAL DE DISEÑO Y OPTIMIZACION MEDIANDTE USO DE GEOMALLAS.....	71
3.5 RECONOCIMIENTO DEL PROYECTO.....	72
3.5.1 Ubicación del proyecto.	72
3.5.2 Diseño del Pavimento del Proyecto Estudiado.	73
3.5.3 Exploración en Campo.....	73
3.5.4 Ensayos de Laboratorio.....	74
3.5.5 Resumen de Estudio de Mecánica de Suelos	75
3.6 REESTABILIZACION POR SUSTITUCION DE SUELOS.....	76
3.6.1 Recomendaciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones ..	77
3.7 CÁLCULO DE ESPESORES PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES SEGÚN AASHTO.....	77
3.7.1 Cálculo de Ejes Equivalentes Nrep de $EE_{8.2tn}$	78
3.7.2 Módulo de Resiliencia (MR)	78
3.7.3 Confiabilidad (%R)	78
3.7.4 Coeficiente estadístico de desviación estándar normal (Zr)	79
3.7.5 Desviación estándar combinada (So)	79
3.7.6 Diferencia de Serviciabilidad (Δ PSI).....	80
3.7.7 Espesores calculados.	80
3.7.8 Datos para diseño del pavimento flexible.....	82

3.7.9 Ecuación de diseño Método AASHTO	82
3.8 USO DEL METODO AASHTO PARA DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON GEOMALLAS TENSAR.	83
3.8.1 Parámetros generales de los modelos híbridos.....	83
CAPÍTULO IV 85	
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	85
4.1 RESUMEN DE ESPESORES CALCULADOS	85
4.1.1 Análisis a través del Método de Diseño de Giroud y Han.....	86
4.2 COSTOS DE ALTERNATIVAS DE MEJORAMIENTO	87
4.2.1 Sistema tradicional de sustitución de material	87
4.2.2 Sistema de fortalecimiento a través de geomallas biaxiales.	89
4.3 ANALISIS DE COSTOS DE LOS RESULTADOS.	90
4.4 ANÁLISIS DEL TEMPORAL DE LOS RESULTADOS	94
4.4.1 Método Convencional sustitución de material.	94
4.4.2 Sistema de Refuerzo con geomallas biaxiales	95
4.4.3 Resumen de tiempos	96
4.5 PROPUESTAS PARA EL MEJORAMIENTO	98
4.6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	101
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	104
5.1 CONCLUSIONES	104
5.2 RECOMENDACIONES	105
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107

ANEXOS 110

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Traslapes recomendados por geomalla.....	62
Tabla 2. Características de las calicatas	74
Tabla 3. Resultados obtenidos del estudio de mecánica de suelos	75
Tabla 4. Estimación del espesor de mejora MTC-2016.....	76
Tabla 5. Altura del material de reemplazo tomando como referencia recomendaciones del Ministerio de Transportes	77
Tabla 6. Valores recomendados de nivel de confiabilidad para el caso en estudio..	79
Tabla 7. Coeficiente estadístico de la desviación estándar normal de diseño.....	79
Tabla 8. Diferencia de serviciabilidad para diseño	80
Tabla 9. Valores recomendados del coeficiente de drenaje m_i , para base y sub base granular no tratada en pavimento flexible	81
Tabla 10. Diferencia de serviciabilidad de pavimento flexible.....	82
Tabla 11. Espesores Estructurales de la Carpeta del Pavimento según el CBR ...	83

Tabla 12. Cálculo de nuevos espesores con aporte de geomalla biaxial tipo MacGrid EGB20 y MacGrid EGB30 para un CBR=4.9%.....	84
Tabla 13. Espesores determinados para las condiciones presentes	85
Tabla 14. Tabla con datos para el diseño con el método de Giroud y Han	86
Tabla 15. Coste corte de material hasta nivel de subrasante	87
Tabla 16. Coste de reemplazo de material por método de sustitución de suelos.....	88
Tabla 17. Cálculo del coste de pavimento conforme a los espesores obtenidos del MTC, incluyendo reemplazo de material	88
Tabla 18. Costo de corte de material suelto hasta nivel de subrasante	89
Tabla 19. Coste de mejoramiento con geomallas biaxiales MacGrid EGB20 y MacGrid EGB30.....	89
Tabla 20. Costo de pavimento con geomalla biaxial tipo MacGrid EGB20, incluye geomalla.....	90
Tabla 21. Costo de pavimento con geomalla biaxial tipo MacGrid EGB30, incluye geomalla.....	90
Tabla 22. Porcentaje de ahorro en mejoramiento de subrasante en función del MTC-2016.....	92
Tabla 23. Cuadro resumen de costo total por sistema de estabilización.....	94

Tabla 24. Cuadro de tiempos por partidas y tipo de estabilización empleada.....	96
Tabla 25. Resumen de tiempos para los métodos de estabilización de subrasante...	97
Tabla 26. Resumen de espesor de subrasante.....	99
Tabla 27. Resumen de número estructural (SN).....	99
Tabla 28. Costo de implementación y ahorro dependiendo del método	100
Tabla 29. Tiempo de ejecución en días según métodos.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Geomalla.....	35
Figura 2. Geomalla uniaxial	37
Figura 3. Geomallas biaxiales	38
Figura 4. Geomalla multiniaxial	39
Figura 5. Distribución de esfuerzos	40
Figura 6. Proceso de confinamiento Lateral	42
Figura 7. Distribución de zonas de confinamiento	43
Figura 8. Sistema para aumentar la capacidad de soporte	44
Figura 9. Efecto de “zapato de nieve”.....	44
Figura 10. Efecto de Membrana Tensionada	45
Figura 11. Sección de la estructura con sus respectivos coeficientes de capa	48
Figura 12. CBR Vs. Número de ciclos en secciones no reforzadas y reforzadas con Geomallas	49
Figura 13. Aporte de Geomallas mediante el LCR Vs. CBR	50
Figura 14. Esfuerzos sobre el suelo subrasante	55
Figura 15. Ahuellamiento en carretera no pavimentada	59
Figura 16: Rollos de geomalla apilados correctamente	60

Figura 17: Instalación y despliegue de la geomalla	61
Figura 18: Traslape de geomalla en campo.	63
Figura 19: Colocación de la geomalla en curva.....	64
Figura 20: Corrección de arrugas y corte de geomalla..	64
Figura 21: Instalación de la geomalla a través de clavijas.....	65
Figura 22: Grapas grandes de gran calibre para fijación de geomalla.....	65
Figura 23: Geomalla rectilínea y alineada..	66
Figura 24: Distribución de material en la geomalla.....	67
Figura 25: Diagrama de flujo diseño y optimización usando geomallas..	72
Figura 26: Diseño de Pavimento Flexible Santa Rita de Sigvas.....	73
Figura 27: Resumen de costos de corte de material suelto hasta nivel de subrasante.....	91
Figura 28: Resumen de costos de estabilización de subrasante por tipo de estabilización, sin incluir pavimento.....	92
Figura 29: Costo por partidas, por tipo de método..	93
Figura 30: Programación de los trabajos considerados en el sistema convencional para estabilización de subrasante por reemplazo de material..	94
Figura 31: Programación de los trabajos considerando el sistema de estabilización de subrasante con geomallas biaxiales.....	95
Figura 32: Tiempos por partidas.....	97
Figura 33: Tiempo total de ejecución por tipo y método de estabilización... ..	98

RESUMEN

El pavimento flexible es ampliamente utilizado en el país debido a su menor costo y facilidad de instalación. No obstante, la diversidad geomorfológica del territorio peruano, que abarca suelos arenosos en la costa, arcillosos en la sierra y orgánicos en la selva, genera desafíos en su implementación. En muchos casos, estos suelos presentan un bajo valor de soporte, con CBR inferiores al 6% establecido en la normativa, lo que los hace inadecuados para la construcción de pavimentos. Para mejorar la subrasante en estos casos, se recomienda estabilizar el suelo mediante métodos mecánicos o el uso de materiales geosintéticos, como las geomallas.

En este contexto, la investigación tiene como objetivo proponer una solución eficiente para el mejoramiento de la subrasante en pavimentos flexibles, empleando geomallas biaxiales en suelos con baja capacidad de soporte. El estudio se basó en un tramo del Jr. Unión, perteneciente al proyecto de pavimentación del distrito de Santa Rita de Sigwas, en Arequipa.

El proceso inició con la determinación del CBR del suelo, seguido del diseño del pavimento según la metodología AASHTO. Posteriormente, se analizaron distintas alternativas incorporando geomallas para evaluar su impacto en la reducción de

espesores. Con estos datos, se compararon los costos y tiempos entre la estabilización mecánica y la estabilización con geomallas.

Se llevó a cabo una investigación aplicada, de nivel descriptivo y diseño no experimental de tipo transversal. Los resultados obtenidos indican que el uso de geomallas no solo mejora el número estructural (SN) del pavimento, sino que también resulta más económico que el mejoramiento mecánico tradicional, además de reducir significativamente el tiempo de ejecución.

Palabras clave: Geomallas, Mejoramiento, CBR, Subrasante, Pavimento.

ABSTRACT

Flexible pavement is widely used across the country due to its lower cost and ease of installation. However, Peru's diverse geomorphology, which includes sandy soils in the coastal region, clayey soils in the highlands, and organic soils in the jungle, presents challenges for its implementation. In many cases, these soils have low bearing capacity, with CBR values below the 6% required by regulations, making them unsuitable for pavement construction. To improve the subgrade in such cases, mechanical stabilization or the use of geosynthetic materials, such as geogrids, is recommended.

In this context, the study aims to propose an efficient solution for improving the subgrade of flexible pavements by using biaxial geogrids in low-bearing-capacity soils. The research focused on a section of Jr. Unión, part of the pavement project in the Santa Rita de Sigwas district in Arequipa.

The process began with determining the soil's CBR value, followed by pavement design based on the AASHTO methodology. Subsequently, different alternatives incorporating geogrids were analyzed to assess their impact on reducing layer thicknesses. Using this data, costs and execution times were compared between mechanical stabilization and stabilization with geogrids.

This is an applied research study with a descriptive scope and a non-experimental, cross-sectional design. The results indicate that the use of geogrids not only enhances the pavement's structural number (SN) but also proves to be more cost-effective than traditional mechanical stabilization, while significantly reducing construction time.

Keywords: Geogrids, Improvement, CBR, Subgrade, Pavement.

INTRODUCCIÓN

Las geomallas biaxiales son materiales poliméricos diseñados para mejorar la capacidad portante de los suelos, proporcionando confinamiento lateral y absorbiendo los esfuerzos generados por la carga vehicular en la estructura del pavimento. Además, destacan por su alta resistencia a las condiciones climáticas adversas.

En el proyecto de mejoramiento de pistas y veredas del distrito de Santa Rita de Sigvas, se identificaron deficiencias en el suelo, con valores de CBR inferiores al 6%, lo que llevó a considerar la posibilidad de aplicar esta tecnología innovadora. Sin embargo, debido a la falta de experiencia en su uso y a que su aplicación aún no es ampliamente conocida, se optó por el reemplazo del material en lugar de incorporar geomallas.

A partir de este antecedente, surgió la necesidad de investigar más a fondo las propiedades de este material, así como los costos y tiempos asociados a su implementación en suelos de baja capacidad portante en pavimentos flexibles. En este contexto, se planteó como objetivo general del estudio: definir una propuesta óptima para el mejoramiento de la subrasante de pavimentos flexibles mediante el uso de geomallas biaxiales en suelos con bajo valor de Soporte California en el distrito de Santa Rita de Sigvas.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 ANTECEDENTES

Vidal (2002), en su tesis “Optimización De Costos En Carreteras Aplicando El Sistema De Refuerzo Con Geomallas” Perú – 2002 de la la Universidad Nacional de Ingeniería, propone la aplicacion de tecnologías innovadoras para satisfacer la necesidad de diversos proyectos como la estabilización de suelos, enfocandonos en proyectos via publica,lo que nos implusa a investigar el uso de geomallas. Investigaciones llevadas a cabo en E.E.U.U evidencian que la aplicación de refuerzos en suelos que prolonga durabilidad de estos. La utilidad de consolidar los caminos es un comienzo para solucionar problemas en rutas sin pavimentar, asi como en caminos pavimentado con limitada capacidad de soporte. Además, la limitada disponibilidad de agregados nos implusa a emplear nuevos sistemas consiguiendo un ahorro significativo, en un país de diversa morfología.

El fortalecimiento de caminos se da mayoritariamente en situaciones donde la baja capacidad portante es limitada, las geomallas contribuyen a una distribucion mas eficiente de la carga sobre el suelo de fundación.

Velasquez Lujerio (2009), realizó una investigación para mostrar las ventajas de la utilización de geomallas para el refuerzo de bases, sub-bases y subrasantes en caminos pavimentados o sin pavimentar, esto mediante la utilización del Software

SpectraPave2™, que permite diseñar un pavimento flexible sin reforzar y reforzado mediante geomalla biaxial, también el programa muestra un detalle de los ahorros en sobre- excavaciones, agregados y otros gastos para el proyecto. La investigación concluye que usar geomallas aporta al mejoramiento estructural de las carreteras y su instalación, por lo general, contribuye en la utilidad de suelos morlamnte son deficientes para formar la base del proyecto.

Gavilanes (2012) realizó un análisis comparativo entre el modelo de base del pavimento convencional y el pavimento con refuerzo de geomalla biaxial en el tramo de la carretera Latacunga-Zumbahua-La Maná. Para el diseño de la carretera sin refuerzo y con refuerzo, se recopiló, analizó y estudió diversos datos con el fin de calcular el grosor de las capas que conformarían ambas estructuras. Se concluyó que los espesores de la estructura de vía reforzada con geomalla biaxial eran menores que los de la estructura tradicional, lo que generaba ahorros en material, mano de obra y costos de equipos. Además, el costo de maquinaria, transporte e instalación de la geomalla y los materiales se redujo significativamente.

Cruz (2013), en su tesis, presenta de manera clara, explícita y experimental la teoría básica sobre el uso de geomallas y su impacto en el comportamiento mecánico de los suelos. En su investigación desarrolla el método de diseño para carreteras no pavimentadas reforzadas con geomallas Tensar, desarrollado por Giroud y Han. Asimismo, explica el método para carreteras reforzadas con geomallas del US Army Corps of Engineers (ETL-1110-1-189). La investigación concluye que el

procedimiento de diseño de pavimento flexible con ETL-1110-1-189 es el de mayor utilidad práctica.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El pavimento flexible es una de las estructuras viales más populares y más utilizadas a nivel nación e internacional, pues su construcción resulta relativamente más económica, esto también depende de la disponibilidad de agregados y materiales que se requiere para su ejecución. Estas vías están sometidas desde su puesta en servicio y durante su vida útil a diversos procesos de deterioro.

La importancia que tiene las vías de interconexión y pavimentos en el desarrollo social y económico de una sociedad, hacen imprescindible que estas sean duraderas en el tiempo, Desde que el ser humano comenzó con la construcción de obras civiles, siempre se han presentado inconvenientes en los tipos de suelos de cimentaciones que se encontraban. Esto llevó a desarrollar técnicas de ingeniería que mejoraran las condiciones de suelos pobres.

Nuestro país posee una gran variedad geomorfológica, teniendo 8 regiones naturales, y en las que existe la probabilidad de encontrar suelos cohesivos y de buena capacidad portante o en caso contrario suelos orgánicos inestables de baja capacidad portante. Estos últimos suelos se conocen también de difícil manejo o problemáticos, pues se caracterizan por la baja resistencia y expansividad que presentan, dichas características originan serios problemas durante el proceso

constructivo, así como problemas en el posterior comportamiento de la estructura del pavimento.

Por esto surge la necesidad de buscar múltiples soluciones a los problemas que se presentan durante la ejecución del proyecto vial, siendo los más comunes los relacionados a los suelos de baja resistencia y/o suelos de bajo valor de soporte California (CBR). Las normas del ministerio de Transportes y Comunicaciones establecen que en caso se presente un CBR menor al 6%, existe la obligación de ejecutar la estabilización de suelos de fundación de la subrasante, mediante algún método presente en la normativa, siendo uno de estos el avance o asentamiento por sustitución, que consiste en extracciones extensas de suelos de la base y su optimización mediante la utilización de materiales adicionales. También se establece en la normativa como sugerencia, el uso de geosintéticos, pero siendo este optativo y no definitivo para la utilización de estos materiales.

La utilización de geomallas normativamente hablando es posible, pero Orrego (2014) indica que utilizar geomallas para una determinada estructura vial no siempre significa ahorro, como se piensa al lograr la reducción en los espesores de la carpeta asfáltica y/o fases granulares de la vía, no obstante, sugiere que el ahorro podría verse reflejado en la cantidad de material utilizado para dicho reemplazo, esto se podría comprender como que el uso de geomallas sintéticas no son convenientes para las condiciones que estudiaremos.

Teniendo en cuenta las normas y estudios realizados, se observó que en el proyecto vial de pavimento flexible del distrito de Santa Rita de Sigwas, se consideró en el expediente técnico un periodo de vida de 20 años de la vía proyectada con características similares en todos los tramos, con un CBR promedio de 6.40% para los suelos de fundación, esto avalado con un informe técnico de laborarlo de mecánica de suelos, concretos y pavimentos, en dicho expediente, corroborado por el contratista mediante estudios en un laboratorio particular; teniendo un presupuesto y plazo de ejecución para el diseño de la estructura vial propuesta. Sin embargo y cuidando la responsabilidad que asume el contratista en la ejecución de proyectos, pues estos son responsables 7 años posteriores a la ejecución del proyecto, de cualquier imperfección en la ejecución de la obra; haciendo la revisión correspondiente de los documentos entregados, un muestro del terreno de fundación y con la experiencia adquirida por los ejecutores, se hace necesario el mejoramiento del nivel de subrasante del proyecto.

Los costos y plazos iniciales considerados en el expediente técnico para la ejecución del proyecto conceptual se verán modificados por los nuevos o mayores trabajos que surjan debido al mejoramiento de suelos. El uso de geomallas podría ser una solución aplicable; sin embargo, no se cuenta con propuestas claras ni con alternativas definidas para afrontar estas modificaciones. La utilización de geomallas para la mejora de suelos flexibles, junto con la ayuda estructural que proporcionan, afectará los volúmenes de las capas granulares, los costos y los

plazos de ejecución de la obra en cuestión, aspectos que serán analizados en el presente estudio. Es fundamental definir de manera clara las alternativas de solución para facilitar la toma de decisiones y seleccionar el mejor procedimiento de mejoramiento vial.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1 Interrogante general

¿Cuál es la mejor propuesta, usando geomallas, para para el mejoramiento de la subrasante de pavimento flexible en suelos de bajo valor de soporte california en el distrito de Santa Rita de Sigvas – Arequipa?

1.3.2 Interrogantes específicas

- ¿Cuánto varía el aporte estructural al utilizar geomallas como refuerzo en la subrasante con bajo valor de soporte California de pavimentos flexibles, en el proyecto ejecutado en el distrito de Santa Rita de Sigvas – Arequipa?
- ¿Cuál es la variación de los costos económicos al comparar la estabilización de la subrasante con geomallas frente a la sustitución de material en suelos con bajo valor de soporte California en el distrito de Santa Rita de Sigvas – Arequipa?
- ¿Cuánto varía el plazo de ejecución de pavimento flexible en una subrasante estabilizada con geomallas, respecto a una estabilización por sustitución de

material, en subrasantes de bajo valor de soporte california en el distrito de Santa Rita de Sigwas - Arequipa?

1.4 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

1.4.1 Hipótesis general

La utilización de geomallas para refuerzo de subrasante de pavimentos flexibles en suelos de bajo valor de soporte california, generan mejoras técnicas y un ahorro económico,

1.4.2 Hipótesis específicas

- El uso de geomallas como refuerzo de la subrasante con bajo valor de soporte california, en la estructura vial en pavimentos flexibles, posibilita la modificación del número estructural.
- El uso de geomallas en la subrasante disminuye los costos en comparación con el mejoramiento mediante la sustitución de material, debido a la reducción del espesor requerido de la subrasante.
- La aplicación de geomallas en la estabilización de la subrasante reduce los tiempos de ejecución del pavimento flexible en relación con la sustitución de material, ya que requiere menor cantidad de agregado y menor manipulación de materiales en la obra.

1.5 JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo servirá a estudiantes interesados en investigar más sobre el tema, se busca que el lector vea de forma explícita como se ve afectado el comportamiento mecánico del suelo, por el uso de geomallas en el mejoramiento de subrasantes de bajo valor de soporte California, contribuyendo de cierta manera al momento de tomar una decisión en la elección del tipo de mejoramiento que se desea aplicar, ya sea por sustitución de material o reforzamiento con uso de geomallas.

Este estudio permitirá lograr contribuir en la comunidad y brindar una comparativa entre los métodos utilizados para el mejoramiento de subrasantes, como es el mejoramiento por sustitución de material y el reforzamiento con dientes tipo de geomallas, modificando esto últimos las dimensiones de las capas que conforman la vía, resultando también en la variación de costos y plazos de ejecución, y proponiendo el de mejor comportamiento funcional y económico, esto en beneficio de la población de Santa Rita de Sigvas.

1.6 DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo general

- Proponer la manera adecuada de mejoramiento de subrasante para pavimentos flexibles mediante el uso de geomallas biaxiales en suelos de bajo valor de soporte California en el distrito de Santa Rita de Siguan - Arequipa.

1.6.2 Objetivos específicos

- Estimar el aporte de resistencia estructural con geomallas, en el mejoramiento de la subrasante con bajo valor de soporte California del proyecto de pavimento flexible en el distrito de Santa Rita de Siguan - Arequipa.
- Realizar la comparativa de costo entre el mejoramiento de subrasante reforzada con geomallas biaxiales vs el remplazo de la subrasante de bajo valor de soporte califonia en el distrito de Santa Rita de Siguan - Arequipa.
- Determinar la diferencia en el tiempo de ejecución entre un pavimento flexible con subrasante reforzada con geomallas biaxiales y otro con subrasante sustituida debido a su bajo valor de soporte California, en el distrito de Santa Rita de Siguan - Arequipa.

1.7 DEFINICIÓN DE VARIABLES

1.7.1 Caracterización de las variables

a) Variables dependientes

- Mejoramiento de subrasante de pavimentos flexibles: Es mejorar la capacidad portante de la subrasante referenciado con el CBR, cuya finalidad es aumentar el SN del pavimento.

b) Variables independientes

- Utilización de Geomallas Biaxiales: Son estructuras de tipo bidimensionales compuesto de la unión del propileno, inertes con características homogéneas. Presentándose esfuerzos de extrusión y estiramiento en sentido longitudinal y transversal.

1.7.2 Medición operacional de las variables

- Mejoramiento de subrasante de pavimentos flexibles: determinado en función del aspecto estructural, costo de ejecución y tiempo de ejecución.
- Utilización de Geomallas Biaxiales: determinado en función del aporte estructural y el aspecto económico.

1.8 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.8.1 Alcances

- El propósito de este estudio es examinar, cotejar y sugerir el método más adecuado para mejorar la subrasante de pavimento flexible, ya sea mediante el reemplazo de materiales o el uso de geomallas de diversas clases, en terrenos de bajo valor de soporte en California, ubicados en el distrito de Santa Rita de Siguas en Arequipa. El estudio permitirá entender la contribución de geomallas en la estructura del pavimento, la variación en el costo de emplear esta tecnología en comparación con otras ya existentes, y la variación en el tiempo requerido para llevar a cabo estos trabajos, manteniendo la finalidad y objetivos del proyecto vial.

1.8.2 Limitaciones

- El presente trabajo ha estudiado el caso particular de la obra: “MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN EL AA.HH. VILLA SAN ANTONIO, DISTRITO DE SANTA RITA DE SIGUAS, PROVINCIA DE AREQUIPA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, II ETAPA”, pero en todo el distrito existen una mayor cantidad de obras viales en ejecución o próximas a estarlo, y cada una presenta un tipo característico particulares de suelo, sirviendo el presente trabajo como una referencia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 CONCEPTOS GENERALES

2.1.1 La subrasante

Tapia et al. (2005) definen a la subrasante como “la cimentación del pavimento y en ocasiones puede estar constituidas por el terreno natural, cuando este material es de buena calidad, o bien, por un material seleccionado” (p.08)

Esta capa cumple un papel fundamental, ya que debe recibir y soportar las cargas generadas por el tránsito, las cuales son transferidas a través del pavimento. Para garantizar su funcionalidad durante el periodo de vida útil del proyecto, es esencial que la subrasante no experimente deformaciones ni deterioros que comprometan la estabilidad del pavimento.

Las principales funciones de la subrasante incluyen:

- Distribuir de manera eficiente las cargas vehiculares al terraplén.
- Impedir que los materiales finos y plásticos del terraplén contaminen el pavimento.
- Prevenir la absorción del pavimento por parte de las terracerías formadas por fragmentos de roca (pedraplén).

- Evitar que las irregularidades en la superficie de la cama de los cortes se reflejen en la capa de rodadura.
- Homogeneizar los espesores del pavimento, especialmente en zonas donde los materiales del terraplén presentan variaciones significativas.
- Reducir los espesores del pavimento, lo cual resulta particularmente beneficioso cuando los materiales del terraplén requieren un espesor considerable.

2.1.2 Sub base

Montejo (2002):

La subbase bien diseñada impide la penetración de los materiales que constituyen en la base con los de la subrasante y, por otra parte, actúa como filtro de la base impidiendo que los finos de la subrasante la contaminen menoscabando su calidad. (p.04)

Además, la subbase contribuye a mitigar los cambios volumétricos de la subrasante, los cuales pueden ser consecuencia de variaciones en la humedad (expansión) o de condiciones extremas de temperatura (heladas). Gracias a esta función, se evita que dichas deformaciones se manifiesten en la superficie de rodadura.

Otro aspecto clave de la subbase es su capacidad para soportar los esfuerzos generados por las cargas vehiculares, distribuyéndolos de manera adecuada hacia la subrasante.

Su función también tiene un enfoque económico, ya que permite reducir costos al utilizar materiales de menor calidad en la parte inferior del pavimento, mientras que los materiales de mejor desempeño se colocan en las capas superiores. Aunque esto puede incrementar el espesor total del pavimento, en términos generales, resulta en una solución más rentable.

2.1.3 Base

Orejon (2018), Es un compuesto que resulta de la mezcla de piedra triturada y material granular, así como el material estabilizado con 0% de finos. Se posiciona por debajo de la capa asfáltica y es esencial, debido al costo superior de la sub-base, pero considerablemente más asequible que la capa asfáltica.

Una de las propiedades de la base tiene una capacidad alta dando soporte de las distorsiones producido por el peso vehicular, así mismo lograr disipar y transferir las tensiones hacia los niveles inferiores. La gradación de la base está relacionada con la altitud en la que se desarrolla el proyecto. Por lo tanto, es crucial que los ingenieros deben seleccionar el material adecuado.

2.1.4 Capa de rodadura

Tapia et al. (2005), Es la parte que soporta directamente las solicitaciones del tránsito y aporta las características funcionales y estructuralmente absorbe los esfuerzos horizontales y parte de los verticales. En condiciones de alta intensidad de tránsito puede llegar a alcanzar espesores considerables.

Las carpetas se construyen de concretos hidráulicos o con mezclas asfálticas en frío o en caliente, denominándose en este caso concretos asfálticos, los cuales pueden contener algún agente modificador para mejorar alguna de sus características.

2.2 GEOMALLAS COMO REFUERZOS EN LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

2.2.1 Introducción al uso de geomallas

Las vías soportan cargas cada vez mayores por el tipo de tráfico que soportan, dichas cargas provocan el agrietamiento de la vía, que juntamente con el agua, agudizan el deterioro de los componentes del pavimento. En general el proceso que se sigue para solucionar dicho problema es la remoción y tendido de una nueva capa de rodadura, pero al ser este un problema no nuevo, se tienen experiencias de dicho procedimiento y, si no cambiaron las condiciones de trabajo, las fisuras vuelven a aparecer, recortando la vida útil del nuevo pavimento. Se han tomado también otras medidas, como aumentar los grosores de los componentes de la vía, volviéndose en

una solución mucho más costosa, incluso en lugares donde dichos materiales son difíciles de conseguir, se vuelve una solución poco práctica.

Por otro lado, el refuerzo estructural busca incrementar la resistencia a la tracción en toda la estructura del pavimento, evitando la formación de discontinuidades bajo la carga del tránsito. En este contexto, la utilización de geomallas surgió en Estados Unidos durante la década de 1980 como una solución práctica.

Las geomallas son materiales flexibles fabricados a partir de hilos de poliéster, nylon o fibra de vidrio de alta densidad, así como de polietileno de alta densidad y/o polipropileno. Su diseño consiste en una red de elementos de alta resistencia a la tracción, con aberturas estratégicamente distribuidas que permiten una eficiente interacción mecánica con el suelo y los agregados circundantes. Como resultado, el uso de geomallas mejora la capacidad portante de las capas del pavimento y reduce la deformación, proporcionando un refuerzo efectivo a la estructura vial.

2.2.2 Las Geomallas

“Son materiales geosintéticos con polímeros, utilizado para reforzar suelos, piedras, muros, caminos, tierra siendo material esencial de un proyecto de ingeniería civil, geotecnia y sus diversas estructuras” (Orejon, 2018, p.33).

Los geosintéticos son materiales fabricados a partir de compuestos poliméricos, ya sean de origen natural o sintético. Su aplicación en la ingeniería civil es diversa, destacándose su uso en el refuerzo, separación, filtración y drenaje de suelos. Dentro de los geosintéticos, las geomallas ocupan un lugar relevante debido a su diseño en forma de malla abierta, lo que les permite distribuir los esfuerzos mecánicos de manera más uniforme.

Las geomallas pueden clasificarse según su proceso de fabricación y la dirección en la que desarrollan su refuerzo. En cuanto a su fabricación, estas pueden ser extruidas, tejidas o soldadas. Según la dirección del refuerzo, se dividen en geomallas uniaxiales, biaxiales y multiaxiales.

Figura 1

Geomalla.



Nota. La figura muestra la Geomalla en el suelo. Fuente: Orejon et al. (2018).

2.2.2.1 Tipos de Geomallas

Las geomallas que se utilizan en el sistema de pavimento realizan dos funciones principales de los geosintéticos; separar y reforzar. Por lo tanto, el objetivo del sistema de refuerzo es optimizar el rendimiento de la totalidad de la estructura, previniendo cualquier fallo ocasionado por la discontinuidad de dicho pavimento.

- Geomallas uniaxiales

Tensor Earth Technologies (2009):

De acuerdo con Tensor Earth Technologies (2009), las geomallas uniaxiales son estructuras poliméricas diseñadas para ofrecer una alta resistencia a la tracción en una sola dirección, principalmente en sentido longitudinal. Gracias a su geometría, se utilizan ampliamente en la estabilización de muros, taludes y terraplenes, ya que permiten soportar cargas elevadas sin deformaciones significativas.

Estas geomallas pueden ser fabricadas mediante procesos de extrusión y soldadura.

Figura 2

Geomalla uniaxial.



Nota. La figura muestra la Geo malla uniaxial en el suelo. Fuente: Tensar Earth Technologies (2009).

- **Geomallas Biaxiales**

Según Geosistemas, Pavco (2012), las geomallas biaxiales presentan una estructura bidimensional compuesta por polipropileno inerte con características homogéneas. Su proceso de fabricación incluye la extrusión y el estiramiento en las direcciones longitudinal y transversal, lo que les otorga una alta resistencia en ambos sentidos. Gracias a sus aberturas rectangulares, estas geomallas proporcionan un mayor confinamiento lateral a superficies inestables, como la subbase y la subrasante.

El uso de geomallas biaxiales permite mejorar la resistencia a la tracción en diferentes tipos de vías, tanto pavimentadas como no pavimentadas. Además, son empleadas en el refuerzo de terraplenes, la contención de

materiales en cortes rocosos, la protección de ríos mediante gaviones y la reparación de fallas en taludes. Dependiendo de la necesidad específica del proyecto, estas geomallas pueden ser extruidas, soldadas o tejidas.

Figura 3.

Geomallas biaxiales.



Nota. La figura muestra la Geomallas biaxiales. Fuente: Pavco (2012).

- **Geomallas Multiaxiales**

Las geomallas multiaxiales, según GeoCon (2016), están diseñadas con una estructura triangular que les proporciona gran rigidez en los nudos. Estas geomallas representan una evolución de las biaxiales, mejorando su desempeño en la estabilización de suelos blandos. La geometría triangular es una de las más estables, lo que permite una mayor resistencia a las condiciones climatológicas adversas, al desgaste, a las rasgaduras y al punzonamiento.

Figura 4.

Geomalla multiaxial.



Nota. La figura muestra la Geomalla multiaxial. Fuente: Tensar Earth Technologies (2009).

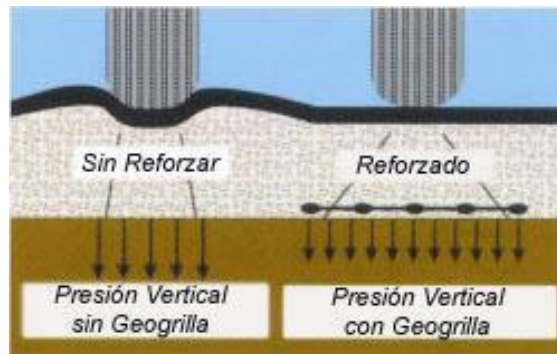
2.2.3 Geomalla como refuerzo de la subrasante

Tensar (2013), Las subrasantes pobres representan un problema frecuente en la construcción de pavimentos. Como fundación del pavimento, la subrasante que falle conducirá a un deterioro rápido de su estructura, esto es visible cuando una carga es aplicada directamente sobre el pavimento, en ese momento las partículas individuales del relleno oscilan y rompen la parte superior de la subrasante la cual se moviliza hacia arriba para llenar los vacíos formados, este mecanismo se conoce como “bombeo”. Aunque estos movimientos pueden ser bastantes pequeños el bombeo puede causar contaminación del relleno y una gran reducción de su resistencia a la fricción, la capacidad portante disminuye y el agregado se mueve lateralmente creando surcos o baches en la superficie. Tradicionalmente, las subrasantes pobres o contaminadas por efecto de “bombeo” han sido removidas y

reemplazadas con relleno importado o estabilizadas químicamente. Ambas opciones son caras tanto en dinero como tiempo, en especial comparadas con la solución de geomallas.

Figura 5.

Distribución de esfuerzos.



Nota. La figura muestra la Distribución de esfuerzos. Fuente: Tensar (2013).

Tensar (2013), “Al instalar una geomalla multiaxial entre el relleno de mejoramiento y la subrasante, las partículas del relleno penetran en las aberturas de la geomalla trabándose en sus aperturas triangulares reduciendo la oscilación, movimientos laterales y el efecto de “bombeo”” (p.44). Este entrelazado mecánico mejora la distribución de las cargas verticales y permite la formación de un arco estructural bajo la carga, lo que incrementa la capacidad portante del suelo, prolonga la vida útil de la estructura y reduce la cantidad de material granular requerido para el mejoramiento.

Históricamente, el diseño de plataformas de trabajo con geomallas se ha basado en métodos que buscan cuantificar los beneficios del refuerzo geosintético en la interfase "mejoramiento-subrasante". Giroud y Noiray (1981) y Tensar Corporation (1986) desarrollaron métodos basados en la teoría de distribución de esfuerzos para calcular la presión vertical sobre la subrasante generada por las cargas de rodadura. Sin embargo, estos métodos iniciales no consideraban algunos factores críticos, como las propiedades mecánicas de los materiales de la capa base y el refuerzo.

En las últimas dos décadas, el uso de geomallas en la estabilización de subrasantes ha sido objeto de numerosas investigaciones. Tensar (2013) destaca que los avances en el conocimiento sobre el comportamiento de las geomallas han permitido a Giroud y Han desarrollar un método de diseño mejorado, conocido como el "Método Giroud-Han". Este nuevo enfoque incorpora variables adicionales, como la resistencia y el módulo del material de base, la variación de los ángulos de distribución de esfuerzos y el módulo de estabilidad del refuerzo geosintético.

El "Método Giroud-Han" permite a los diseñadores predecir con mayor precisión el comportamiento estructural de las plataformas de trabajo con geomallas, optimizando el uso de materiales, maquinaria y tiempo de ejecución de obras. Este enfoque ha demostrado ser más eficiente y económico en comparación con los métodos tradicionales.

2.3 MECANISMOS DE REFUERZO GENERADOS POR LAS GEOMALLAS

Se encontraron 3 mecanismos fundamentales de refuerzo relacionados al uso de geomallas para reforzar la estructura del pavimento, esto de acuerdo al cuerpo de ingenieros del ejército de los Estados Unidos de América.

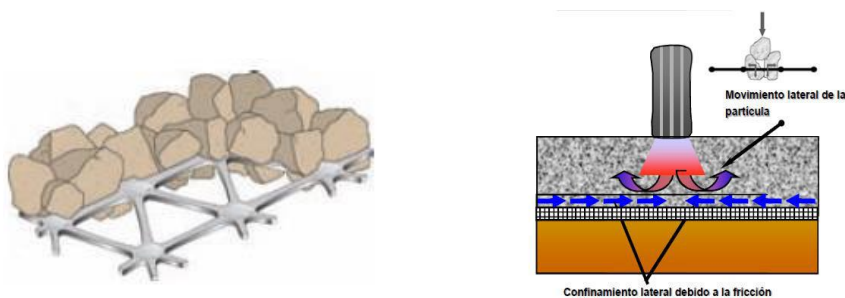
2.3.1 Restricción o contención lateral

USACOE (2003), “Este mecanismo se obtiene por medio de la trabazón que se produce entre las partículas de agregado y la geomalla de refuerzo” (p.75). Figura n.º6. La restricción lateral impide el movimiento de las partículas, lo que incrementa el módulo de la base granular ubicada encima de la geomalla. Este refuerzo también contribuye a la reducción de deformaciones verticales y minimiza los ahuellamientos en la superficie de rodadura.

Diversos estudios han confirmado que este mecanismo es clave para mejorar el desempeño estructural de la geomalla.

Figura 6.

Proceso de confinamiento Lateral.

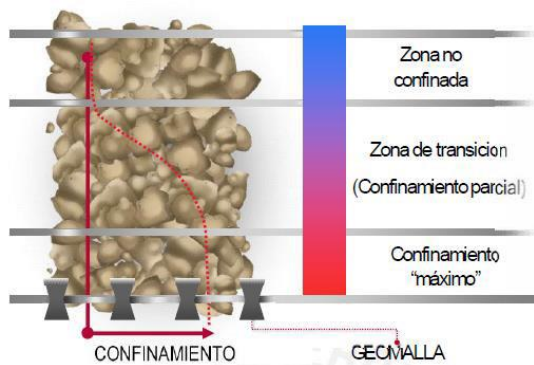


Nota. La figura muestra el Mecanismo de confinamiento Lateral. Fuente: USACOE (2003).

Tensar (2013), En algunos casos, cuando el espesor de la capa a reforzar es muy grande, será necesario colocar más de una capa de geomalla para asegurar el correcto comportamiento del material y una capa lo suficientemente rígida para soportar las solicitaciones sobre la estructura.

Figura 7.

Distribución de zonas de confinamiento.



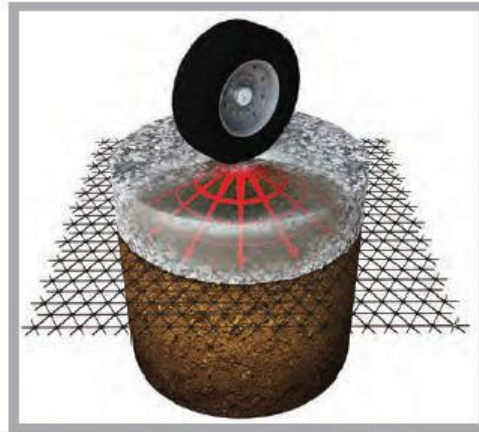
Nota. La figura muestra la Distribución de zonas de confinamiento. Fuente: Valencia (2009).

2.3.2 Optimización de la capacidad de soporte

Tensar (2013), “Este mecanismo logra desplazar la superficie de falla, ubicada en un principio en la subrasante blanda, hacia una de mayor resistencia, en este caso la capa granular” (p.57). Esto es posible gracias a la rigidez estructural de la geomalla, que redistribuye las cargas sobre un área mayor (Figura 8), reduciendo los esfuerzos que debe soportar el suelo blando.

Figura 8.

Sistema para aumentar la capacidad de soporte.



Nota. La figura muestra la Distribución de zonas de confinamiento. Fuente: Tensar (2013).

Tensar (2013), “Este es un mecanismo considerado al momento de trabajar en vías no pavimentadas o cuando la capacidad portante de la subrasante es muy baja” (p.60). También se le conoce como efecto del “zapato de nieve” por su similitud con este objeto utilizado en algunos países para poder caminar sobre este tipo de terreno (Figura n.º 9)

Figura 9.

Efecto de “zapato de nieve”.



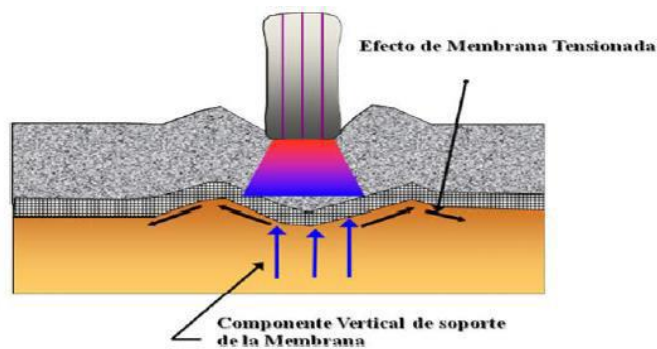
Nota. La figura muestra el efecto de “zapato de nieve”. Fuente: Tensar (2013).

2.3.3 Membrana Tensionada

Tensar (2013), Este mecanismo se origina cuando se presenta una deformación considerable en el terreno natural debido a cargas vehiculares presentes sobre la vía; en este se desarrollan esfuerzos importantes que son soportados por la resistencia a la tensión que tiene el refuerzo (Figura n.º 10)

Figura 10.

Efecto de Membrana Tensionada.



Nota. La figura muestra el efecto de membrana tensionada. Fuente: USACE (2003).

Uno de los mecanismos fundamentales en la estabilidad de las estructuras viales es el confinamiento lateral de los materiales granulares, lo que ofrece cuatro beneficios principales:

- Limitación del desplazamiento lateral de los agregados en la base o subbase
Wavin y Pavco (2016) explican que la incorporación de una o varias capas de geomalla en la base permite la interacción por cortante entre el agregado y la geomalla, restringiendo su desplazamiento lateral (p. 108). Como resultado, la carga por cortante se transfiere desde la capa granular hacia la geomalla, generando un estado de tensión que reduce la deformación lateral

de la base y, en consecuencia, la deformación vertical de la superficie de la vía.

- Incremento del confinamiento y la resistencia de la base o subbase

De acuerdo con Wavin y Pavco (2016), una adecuada interacción entre la geomalla y la capa granular incrementa la rigidez estructural de esta última (p. 108). Un aumento en el módulo de la base contribuye a la reducción de deformaciones verticales recuperables, lo que se traduce en una menor fatiga del pavimento.

- Optimización en la distribución de esfuerzos sobre la subrasante

Wavin y Pavco (2016) señalan que, en estructuras estratificadas donde la base o subbase está sobre un material menos rígido, el incremento del módulo de la capa granular permite una distribución más uniforme de los esfuerzos verticales sobre la subrasante (p. 108). Esto disminuye la concentración de esfuerzos y promueve una deformación superficial uniforme y reducida

- Reducción del esfuerzo y la deformación por corte en la subrasante

Wavin y Pavco (2016) explican que la severidad del estado de esfuerzos y la deformación vertical en la subrasante disminuyen debido a los siguientes mecanismos:

1. Reducción de la deformación por corte transmitida desde los materiales granulares hacia la subrasante, debido a la absorción de cargas tensionales por parte de la geomalla.
2. Disminución de los esfuerzos verticales aplicados sobre la subrasante, lo que mejora su estabilidad estructural.

2.4 PROCEDIMIENTO AASHTO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MEJORADOS CON GEOMALLAS.

La contribución estructural de la geomalla en un pavimento flexible se mide a través del aumento en el coeficiente de esfuerzo de la capa base de la vía, expresado mediante la siguiente ecuación:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 LCR D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad (1)$$

Donde:

a_i = Coeficiente de la capa i (1/pulg)

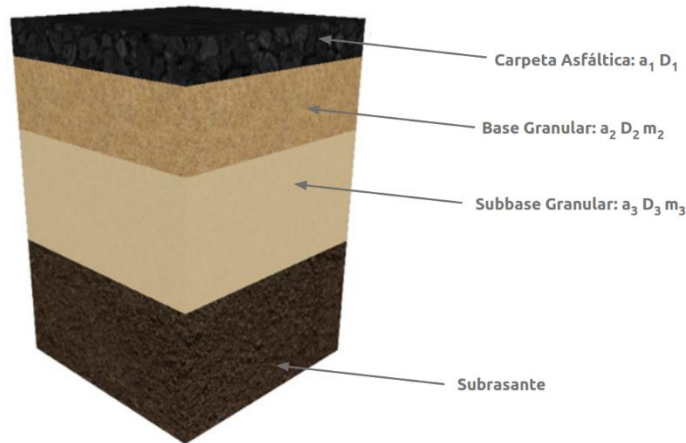
D_i = Espesor de la capa i (pulg)

m_i = Coeficiente de drenaje de la capa i

Los subíndices 1, 2 y 3 representan, respectivamente, la carpeta asfáltica, la base y la subbase.

Figura 11.

Sección de la estructura con sus respectivos coeficientes de capa.



Nota. La figura muestra la estructura completa de una carpeta asfáltica con sus respectivos coeficientes de capa. Fuente: Wavin y Pavco (2016).

Según Wavin y Pavco (2016), el LCR (Coeficiente de Refuerzo de la Capa) tiene un valor mayor a uno, el cual se obtiene a partir de ensayos de laboratorio y pruebas de campo en pavimentos flexibles con y sin refuerzo de geomallas. Esta variación se refleja en la siguiente ecuación:

$$LCR = \frac{SN_r - SN_u}{a_2 D_2} + 1 \quad (2)$$

Donde:

SN_r = Número estructural de la parte reforzada

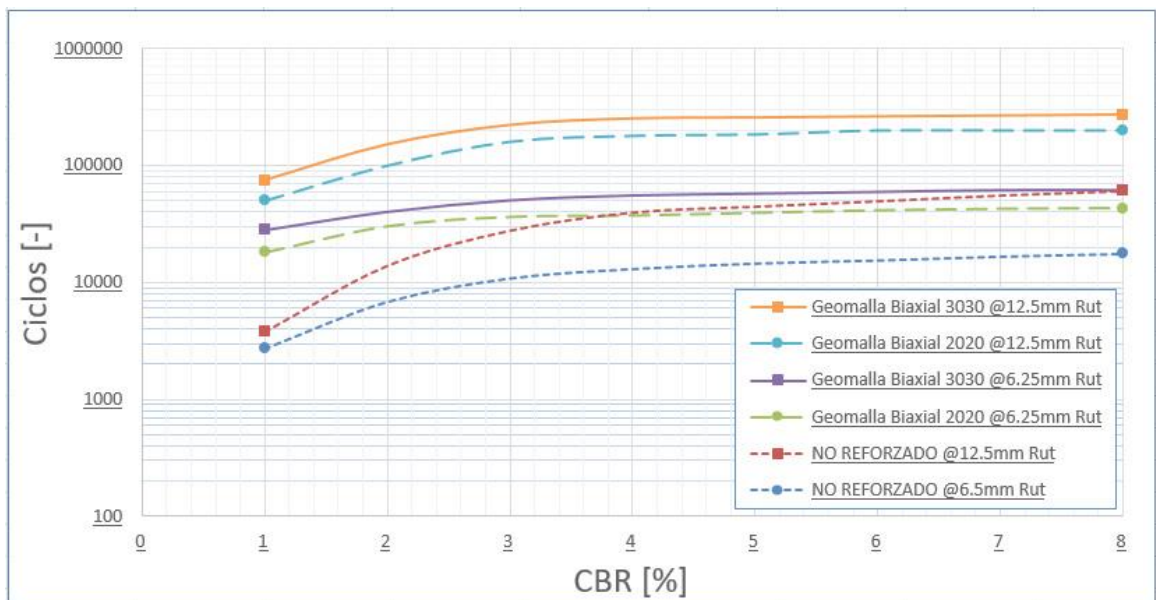
SN_u = Número estructural de la parte sin reforzar

En estudios realizados por Wavin y Pavco (2016), los valores SN_r y SN_u fueron evaluados bajo las mismas condiciones de pavimentación, es decir, con igual espesor de la base, mismo índice CBR en la subrasante y profundidad de

ahuellamiento similar (Rut), aunque con distintos periodos de vida útil, como se ilustra en la Figura 12..

Figura 12.

CBR Vs. Número de ciclos en secciones no reforzadas y reforzadas con Geomallas.

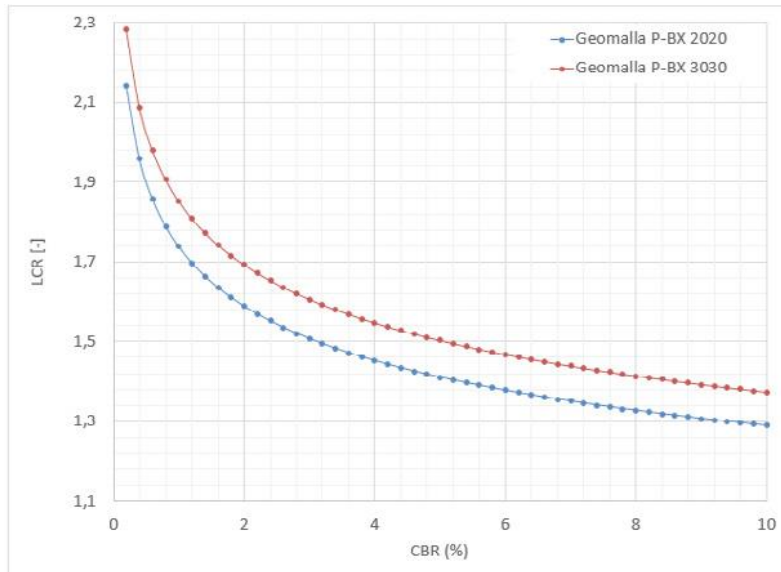


Nota. La figura muestra una comparación de secciones reforzadas con geomallas y otra sección no reforzada. Fuente: Wavin y Pavco (2016).

A partir de la ecuación 2, se puede calcular el LCR basado en los ensayos ejecutados sobre la sección representativa de la vía. La Figura 13 muestra los valores de LCR obtenidos en ensayos de pavimentos empíricos, tanto en estructuras sin refuerzo como en aquellas reforzadas con geomallas de 20 kN/m y 30 kN/m de resistencia a la tracción.

Figura 13.

Aporte de Geomallas mediante el LCR Vs. CBR



Nota. La figura muestra el aporte realizado por las geomallas. Fuente: Wavin y Pavco (2016).

El LCR varía entre 1,3 y 2 en función del CBR de la subrasante y el número de ESALs (carga equivalente de ejes simples) considerando una profundidad de ahuellamiento de 12,5 mm en la carpeta asfáltica.

Como se observa en la Figura 13, la contribución estructural del refuerzo con geomallas tiende a estabilizarse cuando el CBR de la subrasante supera el 4%. En cambio, para valores de CBR entre 1% y 4%, el aporte estructural del refuerzo es significativamente mayor.

Es importante destacar que el LCR no influye en toda la capa del pavimento, ya que el refuerzo tiene un alcance limitado a 15 cm. Esto implica que cualquier reducción

en los espesores de la estructura no puede exceder la profundidad de acción efectiva de la geomalla.

El espesor de la base puede reducirse mediante el uso de geomallas, lo cual se determina utilizando la ecuación (3), siempre y cuando no exista una capa de subbase.

$$D_2 = \frac{SN_r - a_1 D_1 m_1}{LCR a_2 m_2} + 1 \quad (3)$$

En algunos casos, también podría optimizarse el espesor de la capa asfáltica. No obstante, esta modificación debe ser evaluada por el diseñador con base en otros criterios y principios de diseño, con el fin de evitar fallas estructurales. La ecuación aplicable a esta situación es la siguiente:

$$D_1 = \frac{SN_r - LCR a_2 D_2 m_2}{a_1} + 1 \quad (4)$$

Con los valores de espesor y coeficientes estructurales (D_1 , a_1 , D_2 , a_2 , m_2) de una sección sin refuerzo, se puede calcular el SN (Número Estructural) de una sección reforzada. Considerando que el CBR de la subrasante está directamente vinculado al LCR (ver Figura 13), es posible determinar el espesor D_2 de un pavimento reforzado mediante la ecuación (2). Esto permite optimizar el uso de materiales y generar ahorros económicos en la construcción

2.5 MÉTODO DE GIROUD Y HAN PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES REFORZADOS CON GEOMALLAS.

El método en cuestión fue desarrollado por los académicos J.P. Giroud y Jie Han y se dio a conocer en la edición de agosto de 2004 de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles (ASCE). Este enfoque se basa en la teoría de la capacidad

portante, sustentada por verificaciones en campo y ensayos de laboratorio, lo que permite prever con alta precisión el comportamiento de una vía.

De acuerdo con Giroud y Han (2004), es posible determinar el espesor adecuado de material granular compactado para estabilizar un suelo blando, tanto con o sin el uso de refuerzos geosintéticos, considerando las condiciones específicas de la subrasante.

Este procedimiento está orientado a lograr una plataforma de compactación suficientemente estable sobre el terreno blando, de modo que se puedan ejecutar las labores de conformación de estructuras de relleno o capas granulares de pavimento sin que se presenten problemas como deformaciones significativas o ahuellamiento.

2.5.1 Evaluación de Cargas

Orejon (2018), 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:

$$P = pA \quad (5)$$

Donde:

P = Carga de la rueda (kN)

A = Área de contacto de la rueda (m²)

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:

$$A = \pi r^2 \quad (6)$$

A raíz de las ecuaciones 5 Y 6, tenemos:

$$r = \sqrt{\frac{P}{\pi p}} \quad (7)$$

2.5.2 Relación de Módulos de Material Granular y Subrasante

Wavin y Pavco (2016), La relación de módulos $RE=EMG/ESR$ para efectos de esta metodología, se puede estimar mediante las siguientes correlaciones con el CBR:

$$E_{MG} = 36CBR_{MG}^{0.3} \quad (\text{AASHTO}) \quad (8)$$

Donde:

E_{MG} = Módulo del material granular (MPa)

CBR_{MG} = CBR del material granular

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

$$C_U = f_C CBR_{SR} \quad (9)$$

Donde:

C_U = Es la cohesión no drenada del suelo de subrasante (kPa).

CBR_{SR} = CBR del material granular.

f_c = Factor igual a 30 kPa

Por otro lado, Heukelom y Klomp (1962) establecieron una relación lineal entre el CBR de la subrasante y el módulo resiliente en suelos finos con CBR inferior a 10, basándose en mediciones realizadas en campo:

$$E_{SR} = 10.35CBR_{SR} \quad (10)$$

Donde:

E_{SR} = Módulo de la subrasante (MPa)

De esta manera RE se expresa como:

$$RE = \frac{E_{MG}}{E_{SR}} = \frac{3.48CBR_{MG}^{0.3}}{CBR_{SR}} \quad (11)$$

En cuanto al refuerzo con Geomallas y Geotextiles para la relación de módulos (RE), se sugiere limitar su valor a un máximo de 5.0.

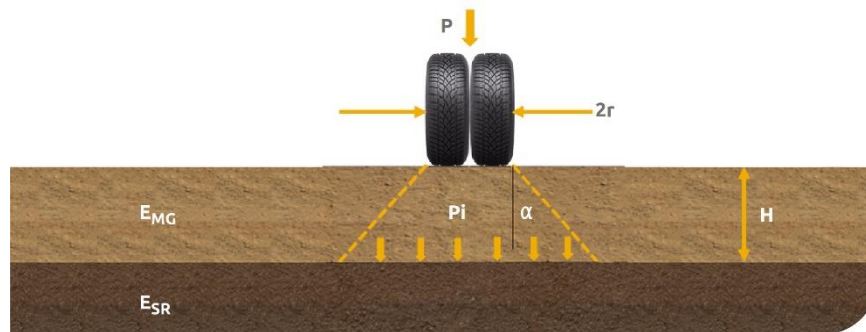
2.5.3 Esfuerzo Sobre la Subrasante

Orejon (2018), “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 ” (p. 57). Asimismo, los esfuerzos se reparten conforme al ángulo de distribución de carga, representado por α .

Figura 14.

Esfuerzos sobre el suelo subrasante.



Nota. La figura muestra los esfuerzos producidos sobre la subrasante. Fuente: Wavin y Pavco (2016).

De esta manera, la presión normal "p" en la interfaz entre el material granular y la subrasante se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$p = \frac{P}{\pi(r+h \tan\alpha)^2} \quad (12)$$

Para h tenemos:

$$h = \frac{r}{\tan\alpha} \left(\sqrt{\frac{P}{\pi r^2 p_i}} - 1 \right) \quad (13)$$

Para evitar la falla del suelo de subrasante, se debe cumplir la siguiente condición:

$$P_i = mN_c C_U \quad (14)$$

Donde:

m = coeficiente de movilidad de la capacidad de soporte, el cual depende del tipo de Geosintético empleado (Geomalla o Geotextil) y de su resistencia.

Con lo que se obtiene:

$$h \geq \frac{r}{\tan\alpha} \left(\sqrt{\frac{P}{\pi r^2 m N_c C_U}} - 1 \right) \quad (15)$$

De manera empírica, este método establece una relación entre el ángulo inicial de distribución de carga (α_1) y el espesor de la capa de material granular sobre un suelo blando, como se detalla a continuación:

$$\begin{aligned} \tan\alpha_1 &= \tan\alpha_0 \left[1 + 0.204 \left(\frac{E_{MG}}{E_{SR}} - 1 \right) \right] \\ \tan\alpha_1 &= \tan\alpha_0 \left[1 + 0.204 \left(\frac{3.48 CBR_{MG}^{0.3}}{CBR_{SR}} - 1 \right) \right] \end{aligned} \quad (16)$$

Se ha observado que el ángulo de distribución de carga disminuye conforme aumenta el número de aplicaciones de carga. Este comportamiento fue registrado en ensayos de laboratorio mediante pruebas de placa dinámica realizadas por Gabr (2001), donde se determinó que $1/\tan\alpha$ sigue una relación lineal con $\log N$.

$$\frac{1}{\tan \alpha} = \frac{1+k \log N}{\tan \alpha_1} \quad (17)$$

Donde:

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

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

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

(18)

Donde:

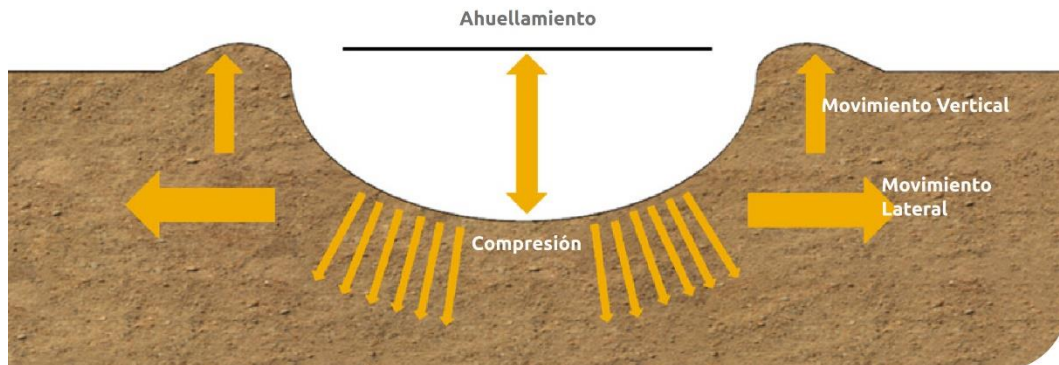
h [m] = Espesor de la capa de material granular requerido, Se recomienda como mínimo un espesor de 0.1 m.

J [m-N/°] = Módulo de rigidez del Geosintético.

N	= Cantidad de repeticiones de carga.
P [kN]	= Carga en cada rueda kN, 4P equivalente a la carga del eje.
r [m]	= Radio de la superficie de contacto de la rueda.
CBR _{SR} [%]	= CBR de la subrasante.
CBR _{BG} [%]	= CBR del material granular.
S [mm]	= Ahuellamiento aceptado, es un criterio de capacidad de servicio que usualmente se situa entre 25-100mm. Se ha utilizado extensamente un criterio de falla de 75mm para esta aplicación. Para tráfico reducido (AASHTO 1993) evalua ahuellamientos autorizados entre 13-75 mm.
f _s	= Factor igual a 75 mm
f _c	= Factor igual a 30 kPa
mN _c	= Factor de capacidad portante, correspondiente a N _c =3.14 y J=0 en el escenario sin refuerzo, y entre 3.90 y 7.30 para el refuerzo con Geotextiles Tejidos, en funcion su resistencia y 5,71 en el caso de Geomallas Biaxiales Coextruidas.

Figura 15.

Ahuellamiento en carretera no pavimentada.



Nota. La figura muestra el ahuellamiento en carreteras no pavimentadas. Fuente: Wavin y Pavco (2016).

2.6 PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN EN CAMPO.

Al recibir el material en la zona de trabajo, es fundamental verificar que corresponda con el producto solicitado. A simple vista, las geomallas pueden parecer similares, pero presentan diferencias en sus características técnicas y estructurales. Es recomendable inspeccionarlas cuidadosamente para asegurarse de que no tengan daños ocasionados durante su manipulación o transporte.

Para su almacenamiento, se deben evitar condiciones que puedan afectar su integridad, como el contacto prolongado con lodo, concreto húmedo u otras sustancias que puedan adherirse a la superficie de la geomalla. Si es necesario almacenarlas a la intemperie, pueden permanecer descubiertas por un máximo de

seis meses. En cuanto a la disposición, se pueden apilar horizontalmente hasta una altura de cinco rollos o colocarlas en posición vertical.

Figura 16.

Rollos de geomalla apilados correctamente,



Nota. La figura muestra el traslado correcto de geomallas. Fuente: Tensar (2013)

- Retirar capa vegetal, eliminar raíces, pequeños troncos, todo tipo de vegetación y desechos presentes en el ancho de vía a intervenir.
- Nivelar la superficie con equipo adecuado para lograr la mayor uniformidad posible.
- Realizar la colocación de la geomalla durante el día, sin presencia de lluvia. No es recomendable instalar los rollos de geomalla en la noche, pues la iluminación artificial no garantiza la visibilidad necesaria ni permite identificar y subsanar de manera inmediata algún defecto que pudiera surgir durante su instalación.

- Para su instalación, la geomalla debe desenrollarse en la vía siguiendo la misma dirección del flujo vehicular, de manera que el eje longitudinal del rollo quede alineado con el tránsito. Sin embargo, en suelos con baja capacidad portante, es preferible desplegar la geomalla de forma transversal o perpendicular a la alineación del terraplén del camino.

Figura 17.

Instalación y despliegue de la geomalla,



Nota. La figura muestra la colocación y tendido de geomallas. Fuente: Tensar (2013)

- Realizar los traslapes con rollos adyacentes en sus costados y extremos, conforme a los datos de la table 1.

Tabla 1*Traslapes recomendados por geomalla*

Resistencia de la subrasante	¿Se debe eliminar la vegetación?	Orientación de BX ³	Traslape de BX ⁴	¿Ataduras? ^{1,2}	¿Tráfico directo? ⁵
CBR ≤ 0.5	N	T o L	90 cm	S	N
0.5 ≤ CBR ≤ 2	Usualmente	L	60cm - 90cm	N	N
2 ≤ CBR ≤ 4	S	L	30cm - 60cm	N	Limitado
4 ≤ CBR	S	L	30 cm	N	S

Nota. Datos tomados de Tensar et al. (2013).

Nota;

- S=Si, normalmente se requiera; N=No, normalmente no requiere.
- Orientación de la geomalla (eje del rollo en relación con el tráfico):
T= Transversal, L=Longitudinal.
- Regla general de traslape de la geomalla: Traslape= 90 cm para $CBR \leq 1$; Traslape=30 cm para $CBR \geq 3$; interpolar.
- Trafico directo se refiere solo a equipos convencionales con neumáticos.

- Realizar el traslape de geomallas en la misma dirección en la que se colocara el relleno para evitar que se levanten los traslapes a medida que se avanzan los trabajos. Para acelerar los trabajos de traslape de geomalla se recomienda colocar los rollos en el extremo más alejado del área de

cobertura primero, avanzando hacia el extremo donde se esparcirá el relleno.

Figura 18.

Traslape de geomalla en campo.



Nota. La figura muestra el traslape de geomallas. Fuente: Tensar (2013)

En el caso de subrasantes muy blandas, se recomienda usar ataduras de cable de nylon, esto para mantener las dimensiones de traslape, pero debe considerarse que estas ataduras no se consideran como conexiones estructurales, simplemente se realizar por proceso constructivo de manera auxiliar.

Cuando se encuentren elementos inamovibles dentro del trazado, como curvas, tapas de drenaje u otras estructuras, la geomalla deberá ser cortada con herramientas adecuadas, como cuchillos o sierras mecánicas de mano. En este proceso, es imprescindible utilizar equipo de protección personal y respetar las dimensiones de traslape requeridas para garantizar la continuidad del refuerzo.

Figura 19.

Colocación de la geomalla en curva.



Nota. La figura muestra la colocación en curvas de geomallas. Fuente: Tensar (2013).

Figura 20.

Corrección de arrugas y corte de geomalla.



Nota. La figura muestra la corrección de arrugas y el corte de geomallas. Fuente: Tensar (2013).

Es importante realizar la colocación de la geomalla en jornadas de trabajo diarias, para mantener la alineación correcta a lo largo del proyecto.

Para mantener la alineación y la estabilidad de la geomalla en toda el área de intervención, es necesario sujetarla antes de su despliegue total. Se debe fijar en el inicio del rollo, en la parte intermedia y en las esquinas, empleando pequeños montículos de material, arandelas, clavijas o grapas de gran calibre que se coloquen a través de las aberturas de la geomalla sin causar desgarros.

Figura 21.

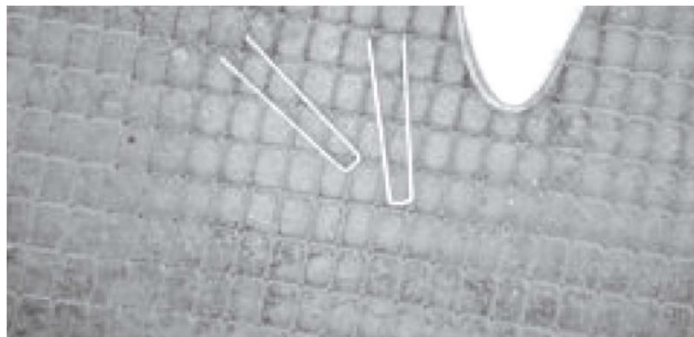
Instalación de la geomalla a través de clavijas.



Nota. La figura muestra la fijación de geomallas. Fuente: Tensar (2013)

Figura 22.

Grapas grandes de gran calibre para fijación de geomalla.



Nota. La figura muestra grapas grandes para fijación de geomallas. Fuente: Tensar (2013)

El tensado adecuado de la geomalla es esencial para su correcto funcionamiento. Para ello, una vez desplegada, debe alinearse y estirarse manualmente a lo largo de todo el rollo, eliminando cualquier arruga. Dependiendo de las condiciones del proyecto, puede ser necesario utilizar clavijas o grapas adicionales para mantener la geomalla en su lugar antes de colocar el material de relleno.

Figura 23.

Geomalla rectilínea y alineada.



Nota. La figura muestra geomallas alineadas y estiradas. Fuente: Tensar (2013)

Durante el esparcido del material sobre la geomalla, el movimiento de la maquinaria puede generar ondulaciones en el refuerzo. Si estas son leves, se pueden corregir tensando nuevamente la geomalla en la zona afectada. En casos donde las ondulaciones sean más pronunciadas, será necesario retirar las fijaciones o el material acumulado para permitir que la geomalla se ajuste correctamente en los bordes y extremos del rollo.

Para evitar daños en la geomalla, no se debe permitir que vehículos con orugas circulen directamente sobre ella. Antes de realizar estos desplazamientos, se debe contar con una capa de relleno de al menos 15 cm de espesor sobre la geomalla.

También se debe tener precaución con los accesorios o dispositivos de la maquinaria pesada, evitando que queden atrapados o enganchen la geomalla. Las cuchillas deben elevarse de forma progresiva mientras se vierte el material de relleno, procurando que este caiga en cascada sobre la geomalla en lugar de ser empujado directamente sobre ella.

Figura 24.

Distribución de material en la geomalla.



Nota. La figura muestra la distribución de material en las geomallas. Fuente: Tensar (2013)

En el proceso de compactación, se pueden emplear métodos estándar. Sin embargo, en terrenos con suelos muy blandos, se recomienda el uso de compactación estática

con rodillos livianos en lugar de técnicas vibratorias. Es fundamental mantener el nivel óptimo de humedad en el relleno para lograr una compactación eficaz. Si el tráfico de maquinaria genera surcos, estos deben rellenarse de inmediato para reforzar la sección afectada.

Una compactación inadecuada puede provocar la formación de surcos en la superficie bajo las cargas de las ruedas, lo que disminuye el espesor efectivo del relleno y genera un incremento de la tensión en la subrasante.

Si la geomalla sufre algún daño durante o después de su instalación, la reparación debe realizarse colocando un parche que cubra un metro más allá del área afectada en todas las direcciones, sustituyendo el relleno según sea necesario.

Cuando se formen surcos bajo las ruedas de los vehículos pesados, no se recomienda nivelar la superficie directamente, ya que esto suele indicar deficiencias en el espesor del relleno, un nivel de humedad inadecuado o problemas de compactación. En estos casos, la solución más efectiva es agregar material de relleno adicional y proceder a su compactación en las áreas que lo requieran.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación realizada se enmarca dentro de la categoría aplicada, dado que tiene como propósito abordar y resolver un problema específico relacionado con suelos de baja capacidad portante (CBR reducido). Se plantea la evaluación de soluciones técnicas y económicamente viables que permitan mejorar las condiciones del suelo sin afectar la capacidad estructural del pavimento, considerando las exigencias del tráfico para el cual ha sido diseñado.

Este tipo de investigación resulta relevante debido a que integra avances tecnológicos innovadores y materiales modernos en el diseño y construcción de infraestructuras viales.

3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño empleado es de carácter no experimental y transversal, dado que se basa en la comparación y análisis detallado de resultados obtenidos con distintas técnicas, permitiendo seleccionar la alternativa más favorable. Con ello, se contribuye a la difusión del conocimiento sobre el empleo de geomallas biaxiales como refuerzo en pavimentos flexibles.

En una investigación no experimental, los fenómenos son observados en su contexto natural sin ser modificados deliberadamente. En este caso, el estudio se inicia con la identificación de un suelo con bajo CBR, seguido por la propuesta de mejoramiento mediante la incorporación de geomallas. Posteriormente, se evalúan los valores obtenidos en términos de número estructural, costos y tiempos de ejecución, concluyendo con el análisis y discusión de los resultados.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN

La población considerada en este estudio abarca todas las obras de pavimentación flexible ubicadas en las principales vías del distrito de Santa Rita de Sigwas, en la región Arequipa.

La muestra seleccionada es de tipo no probabilístico, comprendiendo las vías que forman parte del proyecto: “MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN EL AA.HH. VILLA SAN ANTONIO, DISTRITO DE SANTA RITA DE SIGUAS, PROVINCIA DE AREQUIPA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, II ETAPA”. Se realizaron 2 calicatas en dicha zona, también se tomó información de calicatas del expediente técnico, y así definir el CBR que predominaba en dichas vías.

Estas fueron realizadas en las progresivas:

- C-01(calle 03 cuadra 01, prog 0+140)

- C-02(calle 04, cuadra 01, prog 0+020)
- C-03(calle 06, cuadra 01, prog 0+040)
- C-04(calle 01, cuadra 01, prog 0+440)

Ademas, corroboradas a solicitud del contratista con un laboratorio particular (LABCONSULT) de reconocida trayectoria, en las progresivas:

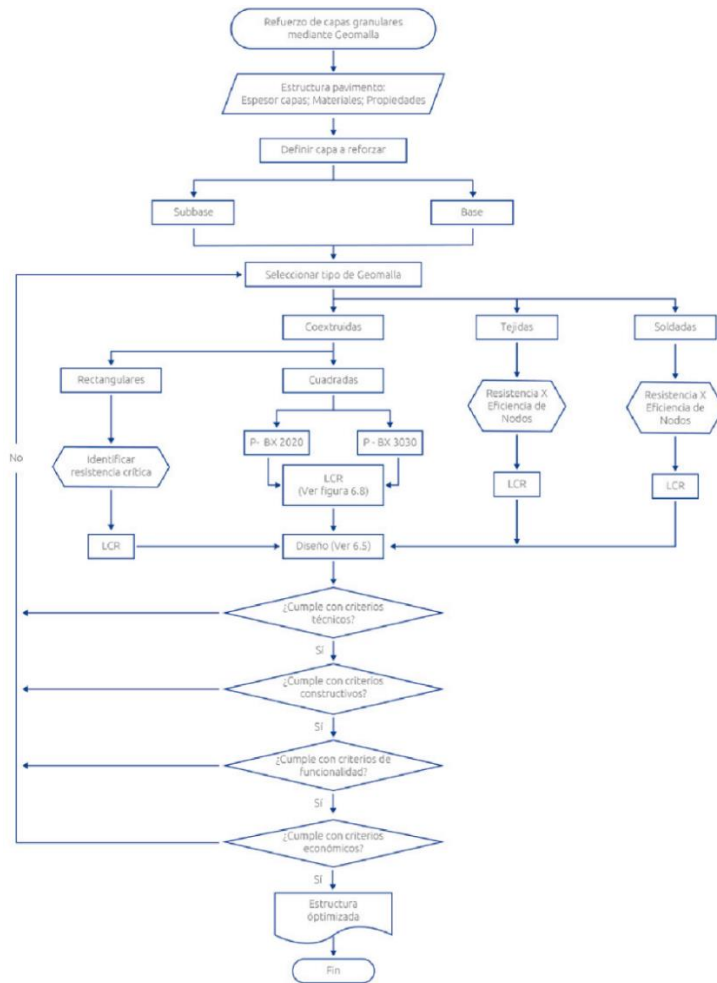
- C-01, calle 01 prog 0+170
- C-02, Av, Principal prog 0+190.

3.4 PROCEDIMIENTO GENERAL DE DISEÑO Y OPTIMIZACION MEDIANDTE USO DE GEOMALLAS.

Se muestra el diagrama de flujo del proceso general de diseño y optimización de estructuras de pavimento mediante uso de Geomallas.

Figura 25.

Diagrama de flujo diseño y optimización usando geomallas.



Nota. La figura muestra el diagrama de flujo de diseño y optimización usando geomallas. Fuente: Wavin y Pavco (2016)

3.5 RECONOCIMIENTO DEL PROYECTO.

3.5.1 Ubicación del proyecto.

- Departamento : Arequipa
- Provincia : Arequipa

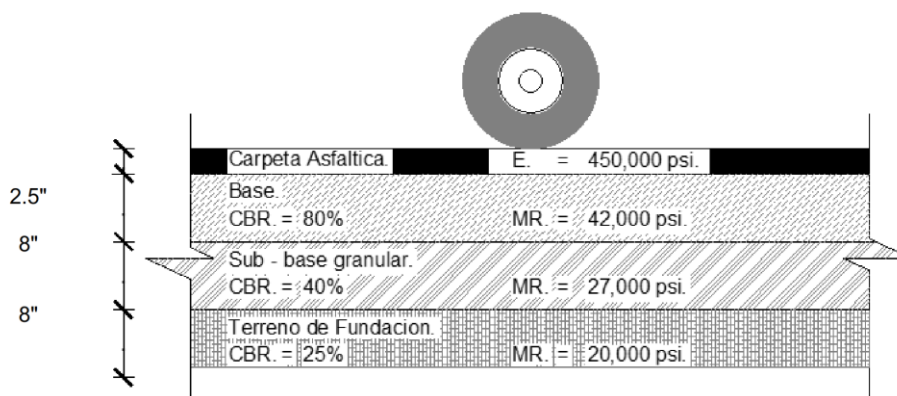
- Distrito : Santa Rita de Sigwas

3.5.2 Diseño del Pavimento del Proyecto Estudiado.

Para el diseño del pavimento se adoptaron los datos señalados en la gráfica siguiente, estos datos son presentados en el expediente técnico del proyecto: “MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN EL AA.HH. VILLA SAN ANTONIO, DISTRITO DE SANTA RITA DE SIGUAS, PROVINCIA DE AREQUIPA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, II ETAPA”.

Figura 26.

Diseño de Pavimento Flexible Santa Rita de Sigwas.



Nota. Expediente Técnico Santa Rita de Sigwas, 2020.

3.5.3 Exploración en Campo.

Los ensayos se distribuyeron a lo largo del proyecto para garantizar que las muestras obtenidas fueran representativas. Posteriormente, los datos de campo y los resultados de laboratorio de mecánica de suelos fueron analizados para sustentar la

propuesta técnica. Este estudio se basó en la evaluación de cuatro calicatas cuyas características se detallan en la Tabla 2.:

Tabla 2

Características de las calicatas.

CALICATA	UBICACIÓN	HALTURA	PROGRESIVA
C-1	CALLE 3, CUADRA 01	1.20 m	0+140
C-2	CALLE 4, CUADRA 01	1.20 m	0+020
C-3	CALLE 6, CUADRA 01	1.20 m	0+040
C-4	CALLE 1, CUADRA 1	1.20 m	0+440

Nota. Datos de elaboración propia.

3.5.4 Ensayos de Laboratorio.

Las muestras recolectadas en campo fueron sometidas a análisis en un laboratorio especializado en mecánica de suelos y pavimentos, bajo las normativas ASTM y AASHTO.

Los ensayos realizados fueron los siguientes:

- Contenido de humedad ASTM D2216
- Análisis granulométrico ASTM A1422
- Límites de consistencia ASTM D4318
- Próctor Modificado ASTM D1557
- CBR (California Bearing Ratio) ASTM D1883

3.5.5 Resumen de Estudio de Mecánica de Suelos

En la Tabla 3, se muestra el resumen de resultados del estudio de mecánica de suelos del proyecto: “MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN EL AA.HH. VILLA SAN ANTONIO, DISTRITO DE SANTA RITA DE SIGUAS, PROVINCIA DE AREQUIPA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, II ETAPA”. Se determinó que el valor de CBR se encuentra en el rango de 6% a 7%, lo que indica la presencia de suelos con baja capacidad portante e inestabilidad. Dado este contexto, se consideró la aplicación de geomallas biaxiales como estrategia de mejoramiento del suelo, eligiendo los modelos MacGrid EGB 20 y MacGrid EGB 30 como posibles soluciones técnicas para optimizar la estabilidad y el desempeño del pavimento.

Tabla 3

Resultados obtenidos del estudio de mecánica de suelos.

PROCEDENCIA				GRANULOMETRIA (% QUE PASA)				LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE PLASTICO (%)	CLASIFICACION		PROCTOR		CBR	
UBICACIÓN	CALICATA	MUESTRA	PROF.(m)	2"	3/4"	N°10	N°200				SUCS	AASHTO	MDS gr/cm3	OCH %	100% MDS	95% MDS
CALLE 3, CUADRA 01	C-1	M-1	0.00 - 1.20	100.00	90.40	69.09	34.40	34.50%	17.82%	16.68%	CL	A-7-6(0)	1.74	9.50%	6.80%	5.80%
CALLE 4, CUADRA 01	C-2	M-2	0.00 - 1.20	100.00	90.10	67.54	23.83	31.87%	18.43%	13.44%	CL	A-7-6(0)	1.72	9.70%	6.50%	5.50%
CALLE 6, CUADRA 01	C-3	M-3	0.00 - 1.20	100.00	91.00	67.38	20.09	23.17%	17.04%	6.13%	ML	A-4(8)	1.65	10.50%	4.90%	4.70%
CALLE 1, CUADRA 1	C-4	M-4	0.00 - 1.20	100.00	91.30	69.28	25.01	30.67%	20.07%	10.60%	CL	A-6(9)	1.65	10.63%	6.20%	5.60%

Nota. Datos de elaboración propia.

3.6 REESTABILIZACION POR SUSTITUCION DE SUELOS.

En el proyecto estudiado tiene un CBR: 6.40%, suelos con este CBR son considerados por el MTC -2016 como suelos inestables e inadecuados, no apto para la cimentación de estructuras de pavimento, también se observa en la fig. 25 que el CBR adecuado según diseño de expediente técnico del proyecto: “MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN EL AA.HH. VILLA SAN ANTONIO, DISTRITO DE SANTA RITA DE SIGUAS, PROVINCIA DE AREQUIPA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, II ETAPA” es: CBR=25%, esto quiere decir que se debe calcular el espesor de mejoramiento por sustitución de suelos, siguiendo las recomendaciones por el MTC-2016.

La Tabla 4 presenta los espesores de mejora implementados conforme al CBR de las áreas analizadas.

Tabla 4

Estimación del espesor de mejora MTC-2016.

REEMPLAZO DE MATERIAL SANTA RITA DE SIGUAS				
UBICACIÓN	PROGRESIVA	CBR %	H CALC. (cm)	H ADOP. (cm)
CALLE 3, CUADRA 01	0+140	6.80%	33.55	35
CALLE 4, CUADRA 01	0+020	6.50%	31.64	35
CALLE 6, CUADRA 01	0+040	4.90%	34.87	35
CALLE 1, CUADRA 1	0+440	6.20%	29.64	30

Nota. Datos de elaboración propia.

3.6.1 Recomendaciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones

El MTC-2016 ofrece sugerencias en la sección: Suelos y Pavimentos, señala que si el suelo tiene un CBR tan bajo, se le considera pobre e inadecuado. Se recomienda su eliminación y sustituir la subrasante por un suelo que tenga mejores propiedades físicas y mecánicas. Para ello, presenta espesores sugeridos para mejora basándose en el CBR y EE, tal como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5

Altura del material de reemplazo tomando como referencia recomendaciones del Ministerio de Transportes.

UBICACIÓN	PROG.	EE 20 AÑOS	ALT. REEMPLAZO DE SUELO (cm)
CALLE 3, CUADRA 01	0+140	7.54E+05	40
CALLE 4, CUADRA 01	0+020	7.23E+05	40
CALLE 6, CUADRA 01	0+040	7.85E+05	40
CALLE 1, CUADRA 1	0+440	7.19E+05	40

Nota. Datos de elaboración propia.

3.7 CÁLCULO DE ESPESORES PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES SEGÚN AASHTO

Para el cálculo de espesores en los casos analizados, se tomaron en cuenta las directrices establecidas en el Manual del MTC-2016, las cuales se basan en el método AASHTO.

3.7.1 Cálculo de Ejes Equivalentes Nrep de EE_{8.2m}

Según el análisis del expediente técnico, se determinó el número de ejes equivalentes para periodos de diseño de 10 y 20 años. Para este estudio en particular, se adoptó un periodo de diseño de 20 años, considerando los datos extraídos del expediente técnico.

Los ejes equivalentes calculados para este periodo son los siguientes:

$$W_{20 \text{ años}} = 7.37E + 05$$

3.7.2 Módulo de Resiliencia (MR)

Haciendo uso de la formula del manual de carreteras EG-2016

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

De acuerdo a los cálculos el módulo de resiliencia para CBR = 6.40% de la subrasante a estabilizar y CBR = 25% que es solicitud del expediente técnico.

$$CBR S_R = 6.40\% \rightarrow M_R = 6435$$

$$CBR S_R = 25.00\% \rightarrow M_R = 21452$$

3.7.3 Confiabilidad (%R)

De acuerdo a la cantidad de ejes equivalentes el nivel de confiabilidad (%R) será:

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

Como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6*Valores recomendados de nivel de confiabilidad para el caso en estudio.*

TIPO DE CAMINO	TRÁFICO		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)	
	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS			
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	Tp3	500,001	7.50E+05	80%

Nota. Datos tomados del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016.

3.7.4 Coeficiente estadístico de desviación estándar normal (Z_r)

De acuerdo a la cantidad de ejes equivalentes se tiene la tabla 7, donde el coeficiente estadístico de desviación estándar normal es:

Tabla 7*Coeficiente estadístico de la desviación estándar normal de diseño.*

TIPO DE CAMINO	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Z_R)
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	-0.843

Nota. Datos tomados del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016.

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

3.7.5 Desviación estándar combinada (S_o)

Siguiendo las recomendaciones del Manual del MTC, se establece un valor de 0.45 para la desviación estándar combinada en los diseños de pavimento.

3.7.6 Diferencia de Serviabilidad (ΔPSI)

Esta variación se define como la diferencia entre la serviabilidad inicial y la serviabilidad final prevista para el proyecto en ejecución, según los valores indicados en la Tabla 8 del manual.

$$\Delta PSI = 1.80$$

Tabla 8

Diferencia de serviabilidad para diseño.

TIPO DE CAMINO	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DIFERENCIA DE SERVICIALIDAD (ΔPSI)
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

Nota. Datos tomados del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016.

3.7.7 Espesores calculados.

De acuerdo con el manual del MTC, se presentan estos números de coeficientes estructurales:.

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

y los coeficientes de drenaje m_i se presentan en la tabla 9, para porcentajes de tiempo que la estructura vial estará expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación y calidad de drenaje.

Tabla 9

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

Nota. Datos tomados del MTC, 2016.

Obtenemos:

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

A partir de los datos obtenidos previamente y con base en la Tabla 10, se realizó el cálculo de los espesores preliminares para el periodo de diseño de 20 años, considerando los valores de CBR obtenidos en los estudios de mecánica de suelos. Como resultado, se determinaron los espesores estructurales correspondientes a cada tipo de CBR, los cuales se presentan en la Tabla 11.

Cabe señalar que los espesores mínimos determinados están fundamentados en los valores recomendados en el Manual del MTC-2016.

3.7.8 Datos para diseño del pavimento flexible.

Tabla 10

Diferencia de serviciabilidad de pavimento flexible.

DATOS	PERIODO DE DISEÑO
	(t = 20 años)
R =	80%
Z _R =	-0.842
S ₀ =	0.45
ΔPSI	1.8
CBR BASE	80.00%
CBR SUB BASE	40.00%
CBR SUBRASANTE	10.00%

Nota. Datos de elaboración propia.

3.7.9 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 11
Espesores Estructurales de la Carpeta del Pavimento según el CBR

	SN Requerido =	3.63	3.6	3.32	3.58
	SN Calculado =	3.78	3.78	3.46	3.69
	CBR Sn	6.80%	6.50%	4.90%	6.20%
(t=20 años)	Carpeta Asfáltica (cm)	7.5	7.5	7.5	7.5
	Base Granular (cm)	20	20	20	20
	Sub Base Granular (cm)	20	20	20	20
	Mat. Reemplazo (cm)	40	40	40	40

Nota. Datos de elaboración propia.

El espesor asumido para el proyecto será de 40 cm.

3.8 USO DEL METODO AASHTO PARA DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON GEOMALLAS TENSAR.

3.8.1 Parámetros generales de los modelos híbridos

Se llevó a cabo el procedimiento mencionado en el punto 2.4. Este se registró en una hoja Excel, con un CBR del 4.9%, ya que este es el valor más bajo encontrado de las 4 muestras realizadas y cuyas muestras fueron examinadas en laboratorio. La Tabla 12 presenta los hallazgos de los espesores recalculados y reforzados mediante geomallas biaxiales MacGrid EGB 20 y MacGrid EGB 30.

Tabla 12

Cálculo de nuevos espesores con aporte de geomalla biaxial tipo MacGrid EGB20 y MacGrid EGB30 para un CBR=4.9%

CBR	4.90%		CÁLCULO DE SN		ESPEJOR 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	58.4	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

Nota. Datos de elaboración propia.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 RESUMEN DE ESPESORES CALCULADOS

Se muestran en la tabla 13 los espesores obtenidos en los cálculos previos, estos espesores serán utilizados posteriormente en el cálculo de costos.

Tabla 13

Espesores determinados para las condiciones presentes.

DESCRIPCIÓN	CBR = 4.9%		
	EG - 2016	MacGRID EGB 20	MacGRID EGB 30
SUPERFICIE DE RODADURA ASFÁLTICA (cm)	7.5	7.5	7.5
BASE GRANULAR (cm)	30	20	20
SUB BASE GRANULAR (cm)	30	25	25
ESPELOR DE MEJORAMIENTO (cm)	40	-	-

Nota. Datos de elaboración propia.

Según los cálculos realizados, se nota que mediante la utilización de geomallas biaxiales se redujo en un 100% el espesor de mejora, lo cual se debe a la elevada resistencia a la tracción que exhiben las geomallas biaxiales.

4.1.1 Análisis a través del Método de Diseño de Giroud y Han

Con la ayuda de las fórmulas presentadas en 2.5., se llevó a cabo el cálculo para determinar el valor del espesor h para la subrasante en análisis, con un CBR del 4.9%. Estos resultados se presentan en la tabla 14.

Tabla 14

Tabla con datos para el diseño con el método de Giroud y Han

CBR = 4.9%		
DATOS	SIN REFUERZO	GEOMALLAS BIAXIALES
CBRSR[%]=	4.9	4.9
CBRMG[%]=	25.00	25.00
EMG=	71.83	71.83
ESR=	26.91	26.91
RE=	2.67	2.67
RE(Eleg)=	2.70	2.70
s (mm)=	20.00	20.00
fs (mm)	75.00	75.00
fc (kPa)=	30	30
NC=	3.14	5.71
J (kN)=	0.00	0.65
r (m)=	0.15	0.15
N	737,000	737,000
P (Kn)=	40	40
h(asumido)=	1.00	0.50

Nota. Datos de elaboración propia.

Es evidente que la contribución proporcionada por las geomallas es considerable, ya que solo se necesitan 0.50 m de material afirmado mediante el uso de geomallas biaxiales, en comparación con el 1.00 de material que se necesita sin la utilización de geomallas.

4.2 COSTOS DE ALTERNATIVAS DE MEJORAMIENTO

Se llevó a cabo el cálculo del costo de los trabajos para llevar a cabo el mejoramiento de subrasante en las dos opciones, basándose en las partidas y metrados del expediente implicados en estos trabajos relacionados con la colocación de carpeta asfáltica.

4.2.1 Sistema tradicional de sustitución de material

Se llevó a cabo el cálculo del costo de corte de material hasta el nivel de subrasante, considerando las sugerencias del MTC-2016 para optimizar terrenos de cimentación con baja capacidad de soporte, tal como se ilustra en la tabla 15.

Tabla 15

Coste corte de material hasta nivel de subrasante.

DETALLE	ALTURA (cm)	METRADO (m3)	CU	PARCIAL
<i>OVIEDO BELLOTT</i>	<i>80</i>	<i>13,335.04</i>	<i>S/. 5.49</i>	<i>S/. 73,076.03</i>
<i>MTC – 2016</i>	<i>40</i>	<i>8,776.05</i>	<i>S/. 5.49</i>	<i>S/. 48,092.77</i>

Nora. Datos de elaboración propia.

Asimismo, se determinó el costo de la sustitución de material conforme a los consejos del MTC-2016, tal como se evidencia en la tabla 16.

Tabla 16*Coste de reemplazo de material por método de sustitución de suelos.*

DETALLE	ALTURA (cm)	METRADO (m3)	CU	PARCIAL
OVIEDO BELLOTT	80	9,117.98	S/. 38.77	S/. 73,076.03
MANUAL – 2014	40	4,558.99	S/. 38.77	S/. 176,706.38

Fuente. Datos de elaboración propia

En la tabla 17 se muestra el coste de estructura de pavimento, donde también se considera el remplazo de material conforme las recomendaciones establecidas por el MTC-2016

Tabla 17*Cálculo del coste de pavimento conforme a los espesores obtenidos del MTC, incluyendo reemplazo de material.*

DESCRIPCIÓN	ESPESOR (cm)	METRADO(m3)	C.U.	PARCIAL (S/.)
CARPETA ASFALTICA (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

Nota. Datos de elaboración propia

El material de remplazo es para espesores de 0.40 m y con un CBR de 25% como mínimo, según los requerimientos del expediente técnico.

4.2.2 Sistema de fortalecimiento a través de geomallas biaxiales.

El costo del corte del material suelto hasta el nivel de subrasante se muestra en la tabla 18, tomando como referencia el refuerzo con geomallas biaxiales MacGrid EGB20 y MacGrid EGB30.

Tabla 18

Costo de corte de 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

Nota. Datos de elaboración propia

Asimismo, se estableció el costo del mejoramiento empleando geomallas biaxiales como MacGrid EGB20 y MacGrid EGB30, tal como se describe en la tabla 19.

Tabla 19

Coste de mejoramiento con geomallas biaxiales MacGrid EGB20 y MacGrid EGB30.

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

Nota. Datos de elaboración propia

Además, se determinó el costo del pavimento reforzado con geomallas biaxiales MacGrid EGB20 y MacGrid EGB30, tal como se muestra en las tablas 20 y 21.

Tabla 20*Costo de pavimento con geomalla biaxial tipo MacGrid EGB20, incluye 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

Nota. Datos de elaboración propia

Tabla 21*Costo de pavimento con geomalla biaxial tipo MacGrid EGB30, incluye 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)	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

Nota. Datos de elaboración propia

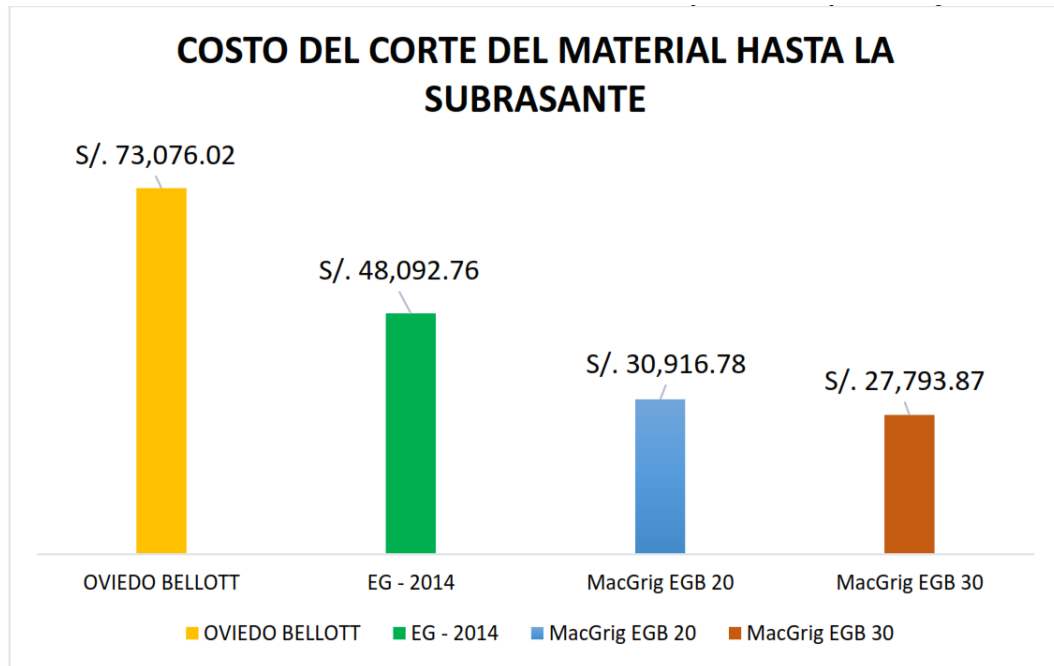
4.3 ANALISIS DE COSTOS DE LOS RESULTADOS.

Organizando los resultados obtenidos de los costos de los distintos métodos, se presentan los siguientes gráficos y tablas.

En la Figura 27, cuando se corta el material suelto hasta el nivel de subrasante, se observa la diferencia en el costo de cada procedimiento utilizado.

Figura 27.

Resumen de costos de corte de material suelto hasta nivel de subrasante.



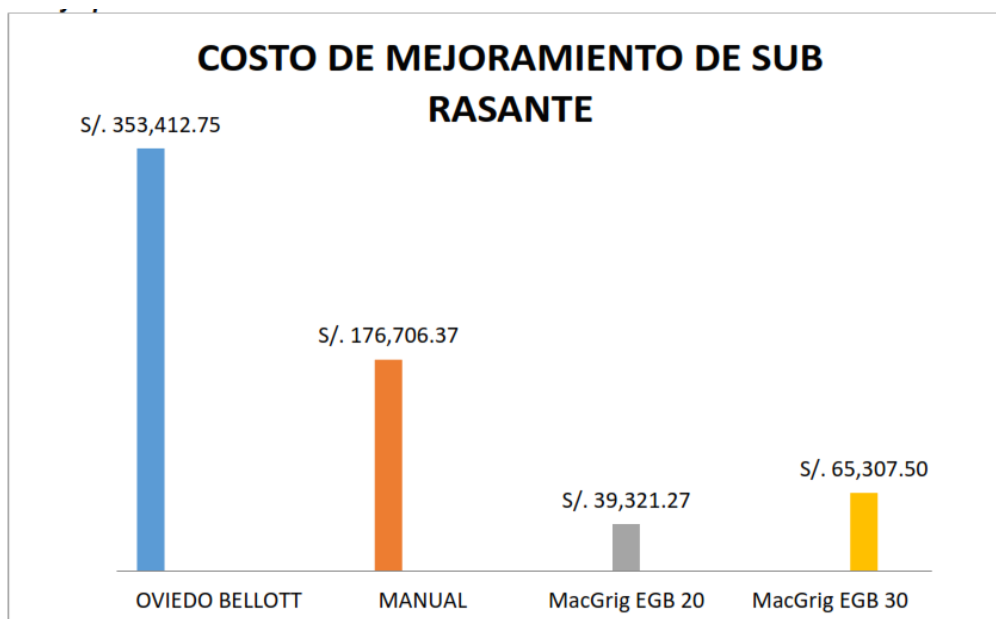
Nota. La figura muestra el costo de corte de material considerando cada método. Elaboración propia

Se adoptaron los consejos del Manual de Carreteras del MTC-2016 para la estabilización mecánica. Se realizó un análisis para la estabilización de terrenos con geomallas utilizando el método AASHTO, al igual que para geomallas biaxiales.

La figura 28 muestra los gastos asociados a estos trabajos.

Figura 28.

Resumen de costos de estabilización de subrasante por tipo de estabilización, sin incluir pavimento.



Nota. La figura muestra el costo de mejoramiento de sub rasante considerando cada método. Elaboración propia

También en la tabla 22 se presentan los índices de ahorro asociados al mejoramiento de subrasante, considerando los consejos del MTC-2016.

Tabla 22

Porcentaje de ahorro en mejoramiento de subrasante en función del MTC-2016

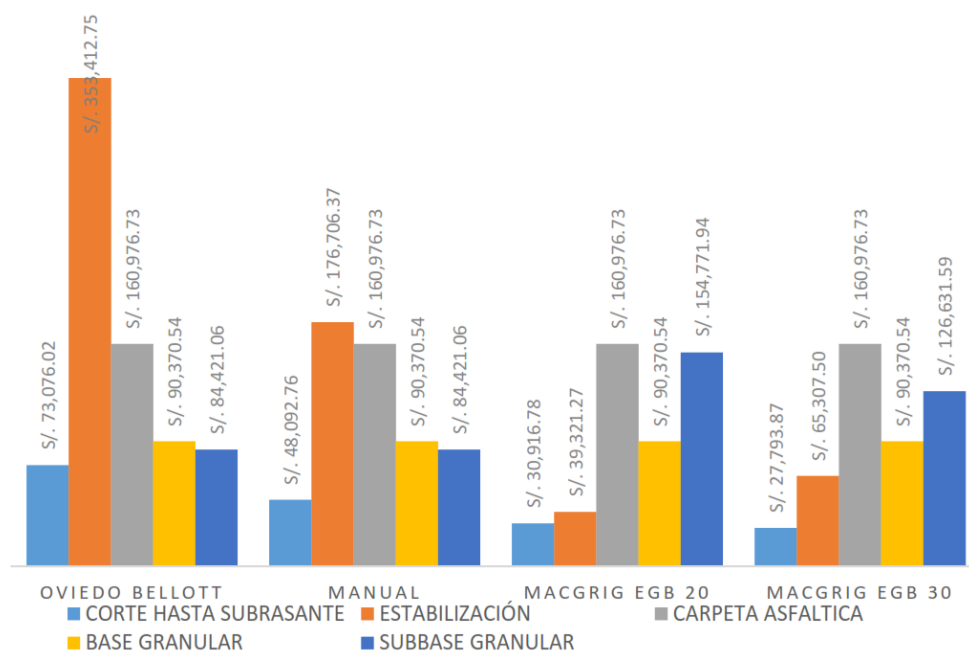
DESCRIPCIÓN	MANUAL	MacGrig EGB 20	MacGrig EGB 30
COSTO	S/. 176,706.37	S/. 39,321.27	S/. 65,307.50
% AHORRO	-	77.75%	63.04%

Nota. Datos de elaboración propia

La figura 29 muestra los costos por componente, teniendo en cuenta el corte hasta la subrasante, la estabilización de la subrasante, la subbase granular, la base granular y la carpeta asfáltica. En esta gráfica se puede observar que, siguiendo las recomendaciones del MTC, el costo de la estabilización mecánica es significativamente superior.

Figura 29.

Costo por partidas, por tipo de método.



Nota. La figura muestra el costo por partidas por método. Elaboración propia

Se presenta en la tabla 23 el resumen de costos por cada método de estabilización, considerando la sumatoria total de las partidas analizadas.

Tabla 23

Cuadro resumen de costo total por 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

Nota. Datos de elaboración propia

4.4 ANÁLISIS DEL TEMPORAL DE LOS RESULTADOS

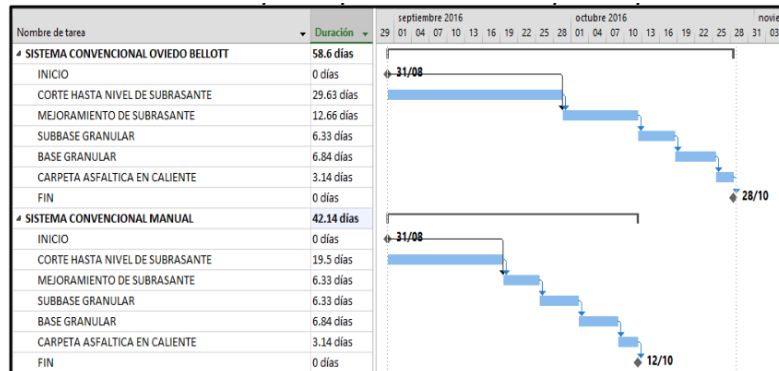
En ambos métodos, se empleó el software Microsoft Project para la programación de las actividades examinadas.

4.4.1 Método Convencional sustitución de material.

La programación de las actividades de estabilización mecánica de terrenos de baja capacidad se llevó a cabo, tal como se muestra en la figura 26.

Figura 30.

Programación de los trabajos considerados en el sistema convencional para estabilización de subrasante por reemplazo de material.



Nota. La figura muestra la programación de los trabajos de forma tradicional para estabilización de subrasante. Elaboración propia

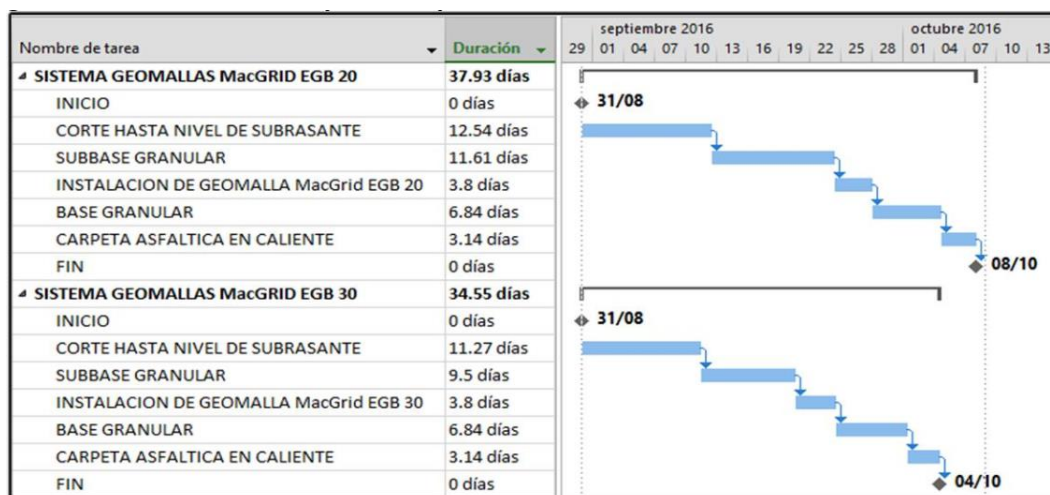
Se puede observar que habrá una diferencia de 16 días entre los dos métodos de mejoramiento de subrasante, esto debido a cortes masivos y mayor espesor en el mejoramiento.

4.4.2 Sistema de Refuerzo con geomallas biaxiales

Se realizó la programación de los trabajos de estabilización de subrasante con geomallas, como se aprecia en la figura 27.

Figura 31.

Programación de los trabajos considerando el sistema de estabilización de subrasante con geomallas biaxiales.



Nota. La figura muestra la programación de trabajos considerando la estabilización de subrasante con geomallas biaxiales. Elaboración propia

Se observa que los tiempos de ejecución son muy parecidos, presentándose una ligera diferencia en el tiempo de colocación de sub base granular, por la cantidad de metrado, provocando esto un mayor tiempo de ejecución.

4.4.3 Resumen de tiempos

Se presentan en la tabla 24 y en el grafico 4, los resultados de los tiempos obtenidos por los distintos métodos estudiados.

Tabla 24

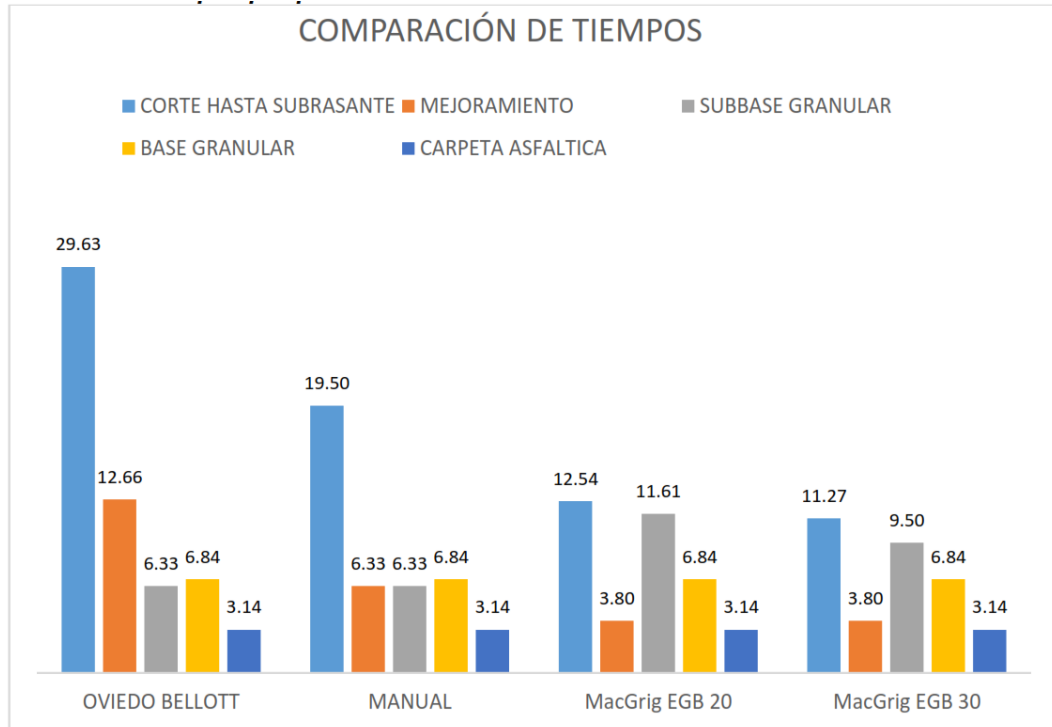
Cuadro de tiempos por partidas y tipo de estabilización empleada.

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

Nota. Datos de elaboración propia

Figura 32.

Tiempos por partidas.



Nota. La figura muestra el tiempo por trabajo por partidas según métodos. Elaboración propia

Tabla 25

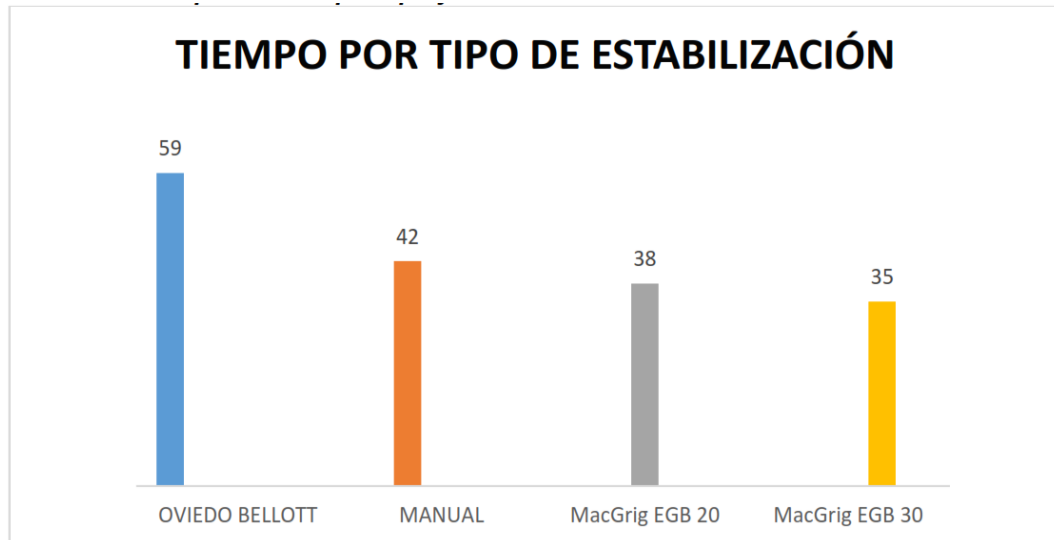
Resumen de tiempos para los métodos de estabilización de subrasante.

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

Nota. Datos de elaboración propia.

Figura 33.

Tiempo total de ejecución por tipo y método de estabilización.



Nota. La figura muestra el tiempo por tipo de estabilización. Elaboración propia.

La tabla 25 y la figura 33 presentan el resumen del tiempo de ejecución por cada tipo de estabilización. Se nota una reducción en el tiempo de implementación de un método a otro, esto se atribuye a la disminución de los espesores de mejora de subrasantes e incluso a la reducción de las capas de la estructura vial.

4.5 PROPUESTAS PARA EL MEJORAMIENTO

Tras llevar a cabo y evaluar la utilización de geomalla biaxial de MacGrid EGB 20 y MacGrid EGB 30, en contraste con las sugerencias del MTC-2016, se consiguieron los resultados siguientes:

Tabla 26*Resumen de espesor de subrasante.*

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

Nota. Datos de elaboración propia.

De acuerdo con las sugerencias del MTC – 2016, se necesita un espesor de mejora de 40 cm, mientras que con la utilización de geomallas MacGrid EGB 20 y MacGrid EGB 30 no se necesita ninguna mejora.

Tabla 27*Resumen de número estructural (SN).*

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

Nota. Datos de elaboración propia.

El mínimo SN de diseño, correspondiente al tipo de tráfico analizado y a las condiciones de subrasante con un valor del 4.9%, es SN = 3.93. Se satisfacen las condiciones de número estructural (SN) en los casos analizados, lo que asegura un rendimiento óptimo del pavimento durante el periodo de diseño para el que fue diseñado, como se muestra en la tabla 27.

Se llevó a cabo la comparación en términos de costo, en comparación con las recomendaciones del MTC-2016 y la utilización de geomallas biaxiales MacGrid EGB 20, se observa un ahorro del 15.02%; de la misma forma, se observa un ahorro del 15.96%, tal como se refleja en la tabla 28.

Tabla 28

Costo de implementación y ahorro dependiendo del método.

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

Nota. Datos de elaboración propia.

Tras llevar a cabo la comparación de los sistemas estudiados, se nota que el sistema de sustitución de material del MTC-2016 tiene una duración de 42 días, mientras que en sistemas que utilizan geomallas estos pueden disminuir a 35 días, lo que representa una diferencia de 1 semana, tal como se muestra en la tabla 29.

Tabla 29

Tiempo de ejecución en días según métodos.

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

Notar. Datos de elaboración propia.

4.6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- a) Los cálculos efectuados con base en el tráfico y el periodo de diseño de 20 años, tomando en cuenta el tipo de suelo identificado en el estudio de mecánica de suelos del expediente técnico, indicaban inicialmente que la subrasante presentaba un CBR del 10%, lo que no requería un mejoramiento adicional. Sin embargo, estudios más recientes evidenciaron la necesidad de reforzar la subrasante. Como alternativa, se propuso el uso de geomallas biaxiales, considerando que estas podrían mejorar el número estructural (SN) del pavimento flexible, especialmente en suelos con bajo soporte California. El análisis realizado permitió determinar el impacto de las geomallas biaxiales en la estructura del pavimento. Se observó que sin la incorporación de geomallas, el SN inicial era de 3.93. Luego, con la aplicación de la geomalla biaxial MacGrid EGB 20, el SN aumentó a 3.97, mientras que con la geomalla MacGrid EGB 30, el SN alcanzó un valor de 3.95. Esto confirma que la utilización de geomallas produce una modificación estructural en la subrasante, validando así la hipótesis planteada al inicio del estudio.
- b) Además del beneficio estructural, es crucial analizar la viabilidad económica de implementar geomallas biaxiales en comparación con el mejoramiento mecánico mediante material de préstamo. Antes de realizar

el estudio, se consideró que el costo de utilización de geomallas biaxiales sería menor en relación con la estabilización mecánica de la subrasante. Este supuesto fue validado mediante un análisis de costos unitarios, evidenciándose que el costo del mejoramiento propuesto por Oviedo Bellott (2013) resultaba más elevado en comparación con el establecido por el MTC en 2014. En contraste, la incorporación de geomallas eliminó la necesidad de mejoramiento mecánico, generando un ahorro del 15.02% con la geomalla EGB 20 y del 15.96% con la geomalla MacGrid EGB 30. Estos resultados demuestran que la aplicación de geomallas puede representar una solución más eficiente en términos de costos.

- c) En los proyectos viales, la duración de la ejecución es un factor determinante. La implementación de materiales innovadores que contribuyan a reducir los plazos de construcción es fundamental para garantizar el cumplimiento de los cronogramas establecidos. En este contexto, antecedentes previos indicaban que la aplicación de geomallas biaxiales en la subrasante podría disminuir los tiempos de ejecución del pavimento flexible en comparación con la estabilización mecánica tradicional. Este supuesto se corroboró en el presente estudio, donde se identificó una reducción de 7 días en el tiempo de ejecución al emplear la geomalla MacGrid EGB 30 y de 4 días con la geomalla MacGrid EGB 20, en comparación con el procedimiento especificado en el Manual de 2014.

Estos resultados respaldan la hipótesis inicial y confirman la ventaja temporal de esta tecnología en la construcción de pavimentos flexibles.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Conforme a las recomendaciones del MTC (2016) en la sección de suelos y pavimentos, para suelos con un CBR de 2.6% se requiere la sustitución del material en un espesor de 40 cm, ya que estos se consideran inadecuados e inestables con baja capacidad de soporte. Sin embargo, con la incorporación de geomallas biaxiales tipo MacGrid EGB 20 y MacGrid EGB 30, no es necesario realizar dicho mejoramiento debido al refuerzo estructural que proporcionan.
- La aplicación de geomallas biaxiales en la subrasante incrementa la resistencia del pavimento flexible, lo que se refleja en la variación del Número Estructural (SN). Este parámetro cuantifica la capacidad estructural del pavimento en función de factores como calidad del suelo, condiciones de tráfico y factores ambientales. En este estudio, para una subrasante con CBR de 2.6%, se obtuvo un SN de 3.93 sin geomallas. No obstante, al emplear geomallas biaxiales, el SN se incrementó a 3.97 con MacGrid EGB 20 y a 3.95 con MacGrid EGB 30.

- El análisis de costos comparativo entre la estabilización mecánica y el reforzamiento con geomallas evidenció que el costo de la primera es significativamente mayor. Esto se debe a que, al colocar geomallas, no solo se reduce la cantidad de material de préstamo requerido, sino también el espesor de las capas del pavimento flexible. El ahorro calculado en el tramo de estudio, en base a las recomendaciones del MTC (2014), asciende al 15.02% con MacGrid EGB 20 y al 15.96% con MacGrid EGB 30, demostrando una reducción considerable de costos en ambos casos.
- El tiempo de ejecución también se ve optimizado con el uso de geomallas en comparación con la estabilización mecánica, la cual implica la remoción y reemplazo del material de subrasante con CBR inferior al 6%, considerado inadecuado según el manual de carreteras MTC (2014). La implementación de geomallas redujo el tiempo de obra en 4 días con MacGrid EGB 20 y en 7 días con MacGrid EGB 30, evidenciando una ventaja en términos de eficiencia constructiva.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se sugiere llevar a cabo una verificación de compatibilidad entre el estudio de mecánica de suelos del proyecto y las condiciones reales del terreno de fundación, asegurando que el CBR considerado en el diseño

sea consistente con los resultados de los estudios actualizados previos a la ejecución de la obra. Esto permitirá adoptar medidas correctivas oportunas en caso de discrepancias que puedan comprometer la durabilidad del pavimento.

- Una vez confirmado el estudio de mecánica de suelos, se recomienda recalcular el Número Estructural (SN) con los datos actualizados y compararlo con el valor obtenido en el expediente técnico.
- Si el SN recalculado es superior al contemplado en el expediente técnico, se deben evaluar alternativas viables desde el punto de vista técnico y económico, sin comprometer la capacidad estructural del pavimento. Una opción recomendable para terrenos inestables es la implementación de geomallas biaxiales.
- Se recomienda el uso de geomallas biaxiales debido a sus beneficios, como la eliminación de la necesidad de retirar material inadecuado, la absorción eficiente de esfuerzos generados por el tráfico vehicular y la reducción de espesores en las capas de base, subbase y carpeta asfáltica, optimizando así costos y tiempos de ejecución.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cruz, E. (2013). *Influencia de Geomallas en los Parámetros Mecánicos De Materiales para Vías Terrestres* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México] Repositorio UNAM. https://repositorio.unam.mx/contenidos/influencia-de-geomallas-en-los-parametros-mecnicos-de-materiales-para-vias-terrestres-72063?c=r1EOKV&d=false&q=:*:*&i=1&v=1&t=search_0&as=0
- Gavilanes, N. (2012). *Diseño de la estructura del pavimento con reforzamiento de geosintéticos aplicado a un tramo de la carretera Zumbahua – La Maná – Quito*. Ecuador.
- George B. y George, F. (1972). *Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. (1era ed.) Editorial Limusa-Wiley.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013*. [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-13%20Especificaciones%20Tecnicas%20Generales%20para%20Construcci%C3%B3n%20-%20EG-2013%20-%20\(Versi%C3%B3n%20Revisada%20-%20JULIO%202013\).pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-13%20Especificaciones%20Tecnicas%20Generales%20para%20Construcci%C3%B3n%20-%20EG-2013%20-%20(Versi%C3%B3n%20Revisada%20-%20JULIO%202013).pdf).
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos*. [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-13%20Especificaciones%20Tecnicas%20Generales%20para%20Construcci%C3%B3n%20-%20EG-2013%20-%20\(Versi%C3%B3n%20Revisada%20-%20JULIO%202013\).pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-13%20Especificaciones%20Tecnicas%20Generales%20para%20Construcci%C3%B3n%20-%20EG-2013%20-%20(Versi%C3%B3n%20Revisada%20-%20JULIO%202013).pdf).

uales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-05-
14%20Seccion%20Suelos%20y%20Pavimentos_Manual_de_Carreteras_OK.pdf.

Montejo, A. (2002). *Ingeniería De Pavimentos Para Carreteras*. (Segunda Reimpresión de la Segunda Edición). Agora Editores.

Orejon, E. (2018). *Propuesta del mejoramiento de la subrasante de pavimentos flexibles usando las geomallas biaxiales en suelos de bajo valor de Soporte California – distrito de Ahuac* [Tesis de pregrado, Universidad Continental] Repositorio Educativo Digital Institucional Continental.

Tapia, M. (2005). *Pavimentos*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Tensar International Corporation (2013). *Propiedades y ventajas en el desempeño de las Geomallas Tensar Triax*.

The Tensar Corporation (1996). *Design guideline for flexible pavements with tensar geogrid reinforced base layers*. Estado Unidos, abril 1996.

U.S. Army Corps of Engineers (2003). *Use of geogrids in pavement construction. Technical Letter ETL 1110-1-189*. Washington D.C. 2003.

Valencia, R. (2009). *Nuevas tendencias en el diseño y construcción de carreteras reforzadas con geomallas*. San José.

Velásquez Lujerio, E.P. (2009). *Uso de geomallas en la estructura de carreteras afirmadas, para trabajos de operación de los equipos en la explotación minera a cielo abierto.*
[Tesis de pregrado, Universidad Católica Los Ángeles de Chimbote]

Vidal V. M. (2002). *Optimización de Costos en Carreteras Aplicando el Sistema de Refuerzo con Geomallas.* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería].
Lima-Perú.

Wavin y Pavco. (2016). *Diseño de Infraestructura con Geosintéticos (10ma ed.)*
<https://www.geosoftpavco.com/index.html>

ANEXOS

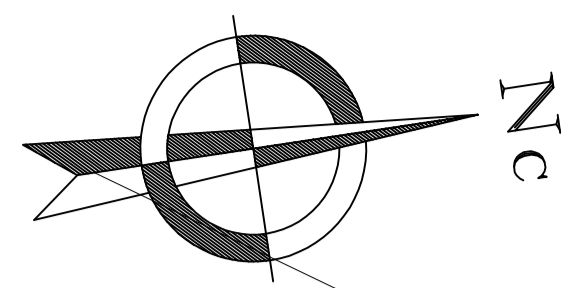
ANEXO A: MATRIZ DE CONSISTENCIA DE LA INVESTIGACIÓN

ANEXO B: PLANO DE UBICACIÓN DEL PROYECTO

ANEXO C: ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS DE LA ZONA EN ESTUDIO

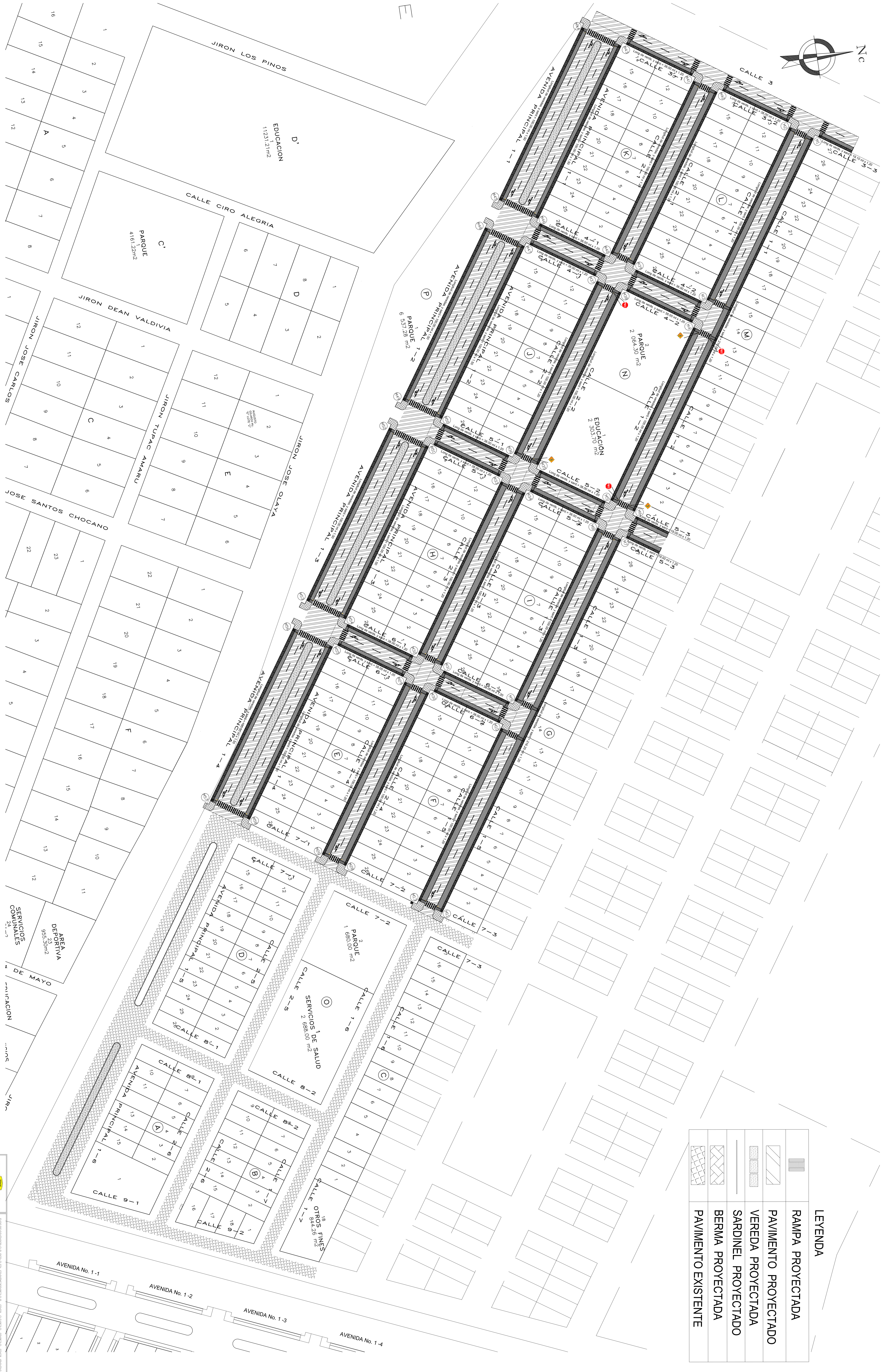
ANEXO D: HOJA DE METRADOS

ANEXO E: ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO



LEYENDA

	RAMPA PROYECTADA
	PAVIMENTO PROYECTADO
	VEREDA PROYECTADA
	SARDINEL PROYECTADO
	BERMA PROYECTADA
	PAVIMENTO EXISTENTE



MUNICIPALIDAD DISTRICTAL DE SANTA RITA DE SURUBUS

PROYECTO: Mejoramiento de la Infraestructura via, urbanismo en el barrio, villa santa rita.

FRASE: PLANTEAMIENTO

UBICACION: LUGAR: SANTA RITA DE SURUBUS, DISTRITO: SANTA RITA DE SURUBUS, PROVINCIA: SANTA RITA DE SURUBUS, REGION: SANTA RITA DE SURUBUS.

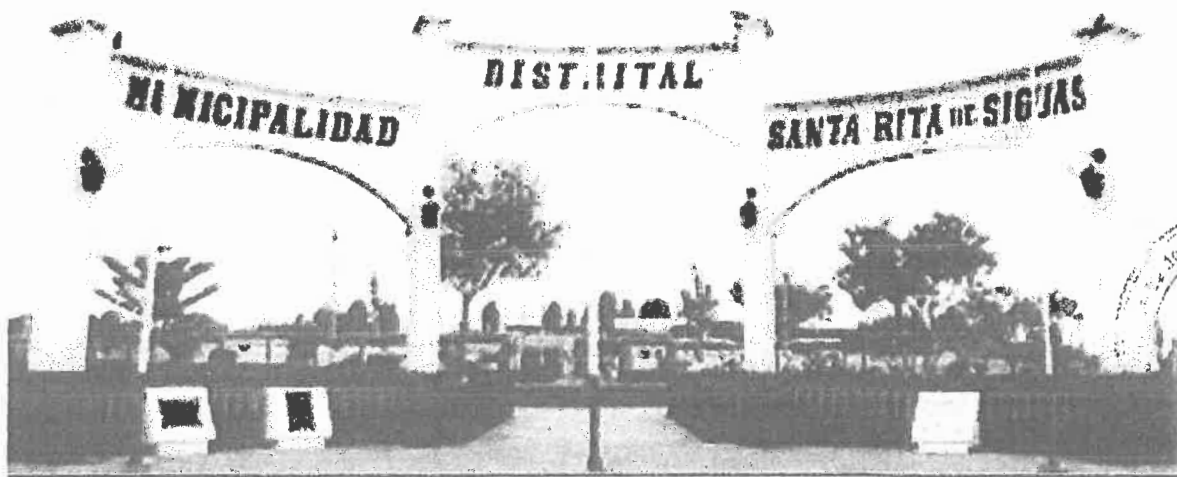
FECHA: INDICADA: NOVIEMBRE 2020

ESCALA: INDICADA: P-1

ELABORADO POR: O.A.F.M.

REVISADO POR: O.A.F.M.

ESTUDIO GEOTECNICO CALICATAS
**INFORME TECNICO DE LABORATORIO DE MECANICA
DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS**



**PROYECTO: MEJORAMIENTO DE LA
INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN EL
AA.HH. VILLA SAN ANTONIO, DISTRITO DE
SANTA RITA DE SIGUAS – AREQUIPA –
AREQUIPA II ETAPA.**

UBICACIÓN:

DISTRITO: SANTA RITA DE SIGUAS

PROVINCIA : AREQUIPA

DEPARTAMENTO: AREQUIPA

SETIEMBRE 2020

000149
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS GEOTECNIA, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

RUC Nº 10024304812

JR. LOS NARANJOS 120 URB. LA FLORIDA - JULIACA - PERU

edycahuapaza@hotmail.com.pe Cel 950 809411 RPM # 994 574385

ÍNDICE

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS DEL PROYECTO DE PAVIMENTACIÓN

"MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN EL AA.HH. VILLA SAN ANTONIO , DISTRITO DE SANTA RITA DE SIGUAS - AREQUIPA - AREQUIPA II ETAPA"

1. OBJETIVOS
2. UBICACION
3. ACCESIBILIDAD
4. TRABAJOS REALIZADOS
5. CARACTERISTICAS GEOTECNICAS
 - 5.1 CARACTERISTICAS DE LAS CALICATAS
 - 5.2 CLASIFICACION DE SUELOS
6. PERFIL ESTRATIGRAFICO.
7. ANALISIS QUIMICO DE AGRESIVIDAD DEL SUELO (PRESENCIA DE SALES SOLUBLES TOTALES EN EL SUELO)
8. CONCLUSIONES
9. RECOMENDACIONES
10. ANEXOS

ANEXO 1 : PERFIL ESTRATIGRAFICO POR CALLE O JIRON

ANEXO 2 : ENSAYOS DE LABORATORIO



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
GEOTECNIA CONCRETOS Y PAVIMENTOS

Miguel Quispe Fernandez

INGENIERO CIVIL

Reg. Colegio de Ingenieros del Peru Nº 61843

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTECNIA, CONCRETOS Y PAVIMENTOS**RUC N° 10024304812****JR. LOS NARANJOS 120 URB. LA FLORIDA - JULIACA - PERU**

edycahuapaza@hotmail.com.pe Cel 950 809411 RPM # 994 574385

"MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN EL AA.HH. VILLA SAN ANTONIO, DISTRITO DE SANTA RITA DE SIGUAS - AREQUIPA - AREQUIPA II ETAPA"**1.0 OBJETIVOS**

El objetivo principal del presente estudio es realizar el ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS del terreno de fundación para la Construcción de la Infraestructura Vial "MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN EL AA.HH. VILLA SAN ANTONIO, DISTRITO DE SANTA RITA DE SIGUAS - AREQUIPA - AREQUIPA II ETAPA"

2.0 UBICACIÓN

En las Calles:

Calle 3, Calle 4, Calle 6 y Calle1 del AA.HH. Villa San Antonio, se encuentra ubicada en el Distrito de Santa Rita de Siguas Provincia de Arequipa Departamento de Arequipa.

3.0 ACCESIBILIDAD

Es accesible al AA.HH. Villa San Antonio por la Carretera asfaltada de Arequipa – La Joya, Vitor, Desvio Sta Rita de Siguas, Santa Rita de Sigua, específicamente Por vía terrestre es accesible desde la ciudad de Lima por una carretera asfaltada que llega a Pedregal, Cruce Santa Rita de Siguas. El tiempo de recorrido de la ciudad de Arequipa hasta el AA.HH. Villa San Antonio es de una distancia de 80 Km en un tiempo de 1.00 horas. Por vía aérea existen salidas diarias de vuelos de Lima a Arequipa con un tiempo de 1.30 horas.

4.0 TRABAJOS REALIZADOS

Los trabajos realizados consistieron en las siguientes fases:

- Trabajos de campo
- Ensayos en laboratorio
- Trabajos de Gabinete

4.1 Trabajos de campo

Se ha realizado un reconocimiento de las vías de la Urbanización, el área circundante al proyecto, para luego tener una visión de los aspectos geotécnicos.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
GEOTECNIA CONCRETOS Y PAVIMENTOS

Miguel Quispe Fernandez
INGENIERO CIVIL

Doc. Colección de Ingeñeros del Perú N° 84042



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS GEOTECNIA, CONCRETOS Y PAVIMENTOS**RUC Nº 10024304812****JR. LOS NARANJOS 120 URB. LA FLORIDA - JULIACA - PERU**

edycahuapaza@hotmail.com.pe Cel 950 809411 RPM # 994 574385

Se ubicaron los pozos de exploración, con la descripción geotécnica de los estratos encontrados para obtener los perfiles estratigráficos.

De los pozos de obtuvo muestras alteradas o disturbadas de suelo en forma representativa para poder ser ensayadas en el laboratorio del tipo estándar, para luego ser identificadas y obtener su clasificación.

4.2 Ensayos de Laboratorio

Las muestras obtenidas en campo, fueron analizadas en el Laboratorio de mecánica de Suelos y Pavimentos, según las normas de ASTM y AASHTO.

Los ensayos que se han realizado son los siguientes:

• Contenidos de humedad	ASTM D2216
• Análisis granulométrico	ASTM A1422
• Límites de consistencia	ASTM D4318
• Próctor Modificado	ASTM D1557
• CBR	ASTM D1883

4.3 Trabajos de gabinete

Se interpretaron los resultados obtenidos en laboratorio, se realizaron su zonificación geotécnica de acuerdo a los resultados obtenidos y el perfil estratigráfico de las calicatas, ubicadas en las vías contempladas en el proyecto.

5.0 CARACTERÍSTICAS GEOTECNICAS**5.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS CALICATAS**

De los datos de campo y de los resultados obtenidos en laboratorio se definen las siguientes características físicas mecánicas del terreno de fundación:

- **CALICATA Nº 01: CALLE 3, CDRA 01, 0+140**

Estrato Nº	:	01
Profundidad	:	0.00-0.20 m
Humedad natural	:	06.50 %
Clasificación SUCS	:	PT
Clasificación AASHTO	:	A-6 (0)

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
GEOTECNIA CONCRETOS Y PAVIMENTOS

Miguel Crispín Fernandez
INGENIERO CIVIL
Reg. Colegio de Ingenieros del Peru Nº 61843



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS GEOTECNIA, CONCRETOS Y PAVIMENTOS**RUC Nº 10024304812****JR. LOS NARANJOS 120 URB. LA FLORIDA - JULIACA - PERU**

edycahuapaza@hotmail.com.pe Cel 950 809411 RPM # 994 574385

Estrato Nº	:	02
Profundidad	:	0.20-1.20 m
Humedad natural	:	10.20 %
Límite líquido	:	34.50 %
Índice Plástico	:	16.68 %
Clasificación SUCS	:	CL
Clasificación AASHTO	:	A-7-6 (0)
Máxima densidad seca	:	1.74 g/cc
Optima contenido de humedad	:	09.50 %
Valor relativo de soporte al 100%:	:	6.8 %
Valor relativo de soporte al 95%:	:	5.8 %

• **CALICATA Nº 02: CALLE 4, CDRA 1 0+020**

Estrato Nº	:	01
Profundidad	:	0.00-0.20 m
Humedad natural	:	07.20 %
Clasificación SUCS	:	PT
Clasificación AASHTO	:	A-6 (0)

Estrato Nº	:	02
Profundidad	:	0.20-1.20 m
Humedad natural	:	10.65 %
Límite líquido	:	31.87 %
Índice Plástico	:	13.44 %
Clasificación SUCS	:	CL
Clasificación AASHTO	:	A-7-6 (0)

Máxima densidad seca	:	1.72 g/cc
Optima contenido de humedad	:	09.70 %
Valor relativo de soporte al 100%:	:	6.5 %
Valor relativo de soporte al 95%:	:	5.5 %

• **CALICATA Nº 03: CALLE 6, CDRA 1, 0+040**

Estrato Nº	:	01
Profundidad	:	0.00-0.20 m
Humedad natural	:	07.333 %



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
GEOTECNIA, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

Miguel Quispe Fernandez
INGENIERO CIVIL

Reg. Cole. de Ingenieros del Perú Nº 61843

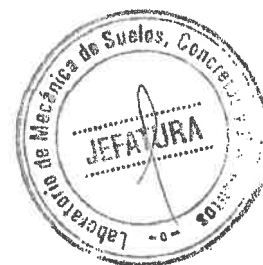
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTECNIA, CONCRETOS Y PAVIMENTOS**RUC N° 10024304812****JR. LOS NARANJOS 120 URB. LA FLORIDA - JULIACA - PERU**

edycahuapaza@hotmail.com.pe Cel 950 809411 RPM # 994 574385

Clasificación SUCS	:	PT
Clasificación AASHTO	:	A-6 (0)
Estrato N°	:	02
Profundidad	:	0.20-1.20 m
Humedad natural	:	11.40 %
Límite líquido	:	23.17 %
Índice Plástico	:	6.13 %
Clasificación SUCS	:	ML
Clasificación AASHTO	:	A-4 (8)
Máxima densidad seca	:	1.65 g/cc
Optima contenido de humedad	:	10.50 %
Valor relativo de soporte al 100%:	:	4.9 %
Valor relativo de soporte al 95%:	:	4.7 %

• **CALICATA N° 04: CALLE 1 CDRA 1, 0+440**

Estrato N°	:	01
Profundidad	:	0.00-0.20 m
Humedad natural	:	07.67 %
Clasificación SUCS	:	PT
Clasificación AASHTO	:	A-6 (0)
Estrato N°	:	02
Profundidad	:	0.20-1.20 m
Humedad natural	:	11.07 %
Límite líquido	:	30.67 %
Índice Plástico	:	10.60 %
Clasificación SUCS	:	CL
Clasificación AASHTO	:	A-6 (9)
Máxima densidad seca	:	1.65 g/cc
Optima contenido de humedad	:	10.63 %
Valor relativo de soporte al 100%:	:	6.2 %
Valor relativo de soporte al 95%:	:	5.6 %

5.2 CLASIFICACION DE SUELOSLABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
GEOTECNIA, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

Miguel Quispe Fernandez
INGENIERO CIVIL
Reg. Colegio de Ingenieros del Peru N° 61843

De la interpretación de los ensayos de laboratorio y evaluación visual en campo, mediante la ejecución de calicatas del terreno de fundación se ha elaborado un perfil estratigráfico de los tipos de suelos identificados que se muestra en el Cuadro adjunto, en la cual se distribuyen los diferentes tipos de suelos representativos, lo que ha permitido determinar las características geotécnicas y el comportamiento mecánico de los suelos.

De acuerdo a la clasificación SUCS del análisis estándar está conformada mayormente de suelos arcillosos y arenosos; PT con 20%, CL con 40% y SC con un 20% como predominantes.

6.0 PERFIL ESTRATIGRAFICO

En el área de estudio se han obtenido suelos finos de origen aluvial y residual, que varían desde arcillas, arenas, limos y suelos orgánicos.

El Nivel freático es variable en las calicatas estudiadas en algunos no se ha ubicado, esto debido a que existe la variación de la topografía del terreno.

7.0 ANALISIS QUIMICO DE AGRESIVIDAD DEL SUELO (PRESENCIA DE SALES SOLUBLES TOTALES EN EL SUELO)

De los ensayos efectuados de la presencia de sales como es el Contenido de Sulfatos, Cloruros y Sales solubles Totales en el Suelo y el Agua de acuerdo a la norma de Suelos y Cimentaciones BS1377-Parte 3, el suelo de fundación contiene entre 0.029% a 0.036 % de sales solubles.

De las especificaciones Generales para la construcción de Carreteras, de acuerdo a la Norma del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC E 219 el contenido de Sales solubles totales no debe ser mayor al 0.50 %.

8.0 CONCLUSIONES

- Se realizó la prospección visual y manual del suelos mediante la apertura de calicatas a cielo abierto con profundidades en un promedio de 1.20 m.
- En la zona estudiada el suelo de fundación está compuesto de arenas, arcillas, arcillas orgánicas y limos de tipo CL, Pt, MH, de clasificación A-2-4, A-6, A-7-6,
- La capacidad de soporte del terreno de fundación en zonas críticas varía entre 5.00c % a 7.50%.
- El contenido de sales solubles totales es de 0.036%.
- El promedio de los resultados Obtenidos son:



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTECNIA, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

RUC N° 10024304812

JR. LOS NARANJOS 120 URB. LA FLORIDA - JULIACA - PERU

edycahuapaza@hotmail.com.pe Cel 950 809411 RPM # 994 574385

01-14-13

- CBR : 6.40 %
- Limite Liquido : 34.24%
- Índice Plástico : 18.02%
- Clasificación SUCS : CL (Arcilla Inorgánicas de Plasticidad media a Alta)
- Clasificación ASSTHO : A-7-6(0)

9.0 RECOMENDACIONES

De acuerdo al estudio de suelos se recomienda lo siguiente:

- Realizar el mejoramiento del terreno de fundación compuestos de suelos finos de baja capacidad de soporte.
- Se recomienda colocar la siguiente estructura del pavimento:
 - Pavimento Flexible 0.07 mts (asfalto al frio)
 - Base Granular 0.20 mts
- **El Material para Sub Base Granular deberán satisfacer los siguientes requisitos de calidad:**
 - Curva de Gradación "A" superiores a 3000 m.s.n.m (ASTM D 1241).
 - Abrasión 50% max (MTC E 207)
 - CBR 40% min (MTC E 132)
 - Limite Liquido 25% max (MTC E 110)
 - Índice de Plasticidad 4% max (MTC E 111)
 - Equivalente de Arena 35% min (MTC E 114)
 - Sales Solubles 1% max (MTC E 219)
 - Partículas Chatas y Alargadas 20% max (MTC E 211)
- Las densidades individuales (Di) deben ser, como mínimo, el cien por ciento (100%) de la obtenida en el ensayo próctor modificado de referencia (MTCE 115)
- Se recomienda realizar las obras de drenaje adecuados para las aguas superficiales y subterráneas existentes, para evitar daños a la estructura del pavimento.



Atentamente

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
GEOTECNIA CONCRETOS Y PAVIMENTOS

Miguel Quispe Fernandez

INGENIERO CIVIL

Reg. Colegio de Ingenieros del Peru N° 61843

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTECNIA, CONCRETOS Y PAVIMENTOS 006 / 5

RUC N° 10024304812

JR. LOS NARANJOS 120 URB. LA FLORIDA - JULIACA - PERU

edycahuapaza@hotmail.com.pe Cel 950 809411 RPM # 994 574383

142

ANEXO 1

PERFIL ESTRATIGRAFICO



REGISTRO DE EXCAVACIÓN

PROYECTO MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN LA VILLA SAN ANTONIO, DISTRITO DE SANTA RITA
 PROVINCIA DE AREQUIPA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA

TIPO TERRENO DE FUNDACION

CALICATA C-1

ZONA CALLE 3, 0+140

PROF. (m)	TIPO DE EXCAVACION	SIMBOLO	CLASIFICACION SUCS - AASHTO	DESCRIPCION DEL MATERIAL	ENSAYOS EN LABORATORIO			
					LL	LP	IP	H.N
0,20	A CIELO ABIERTO		SM	ARENAS LIMOSAS MEZCLAS DE ARENA Y LIMO. PIEDRAS PEQUEÑAS W% BAJA y NP				
0,40								
0,60			SP A-1-a	ARENAS MAL GRADUADAS CON POCO FINO PIEDRAS PEQUEÑAS W% BAJA y NP SEMI COMPACTO	22,08	20,65	1,43	
0,80								
1,00								
1,20								
1,40								
1,60								
1,80								
2,00								



OBSERVACIONES

Tec. Epifanio Mamani Gutierrez
 MECANICA DE SUELOS PAVIMENTOS Y CONCRETOS
 DNI. 80031875

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
 GEOTECNIA CONCRETOS Y PAVIMENTOS

Miguel Guispe Fernandez
 INGENIERO CIVIL

Roa Calle 14, Locación del Cerro 18010

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

PROYECTO MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN LA VILLA SAN ANTONIO, DISTRITO DE SANTA RITA
 PROVINCIA DE AREQUIPA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA

TIPO TERRENO DE FUNDACION

CALICATA C-2

ZONA CALLE 4, CDR 1, 0+020

PROF. (m)	TIPO DE EXCAVACION	SIMBOLO	CLASIFICACION SUCS - AASHTO	DESCRIPCION DEL MATERIAL	ENSAYOS EN LABORATORIO			
					LL	LP	IP	HN
0,20	A CIELO ABIERTO		SM	ARENAS LIMOSAS				
0,40				MEZCLAS DE ARENA Y LIMO. PIEDRAS PEQUEÑAS W% BAJA y NP				
0,60	A CIELO ABIERTO		SP A-1-a	ARENAS MAL GRADUADAS				
0,80				CON POCO FINO				
1,00				PIEDRAS PEQUEÑAS W% BAJA y NP	21,38	19,67	1,71	2,90
1,20				SEMI COMPACTO				
1,40								
1,60								
1,80								
2,00								



OBSERVACIONES

Tec. Epifanio Mamani Gutierrez
 MECANICA DE SUELOS PAVIMENTOS Y CONCRETOS
 DNI. 80031875

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
 GEOTECNIA CONCRETOS Y PAVIMENTOS
 Miguel Quispe Fernandez
 INGENIERO CIVIL
 Dpto. Colón de Inocencio del R.

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

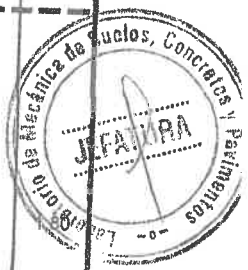
PROYECTO MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN LA VILLA SAN ANTONIO, DISTRITO DE SANTA RITA
 PROVINCIA DE AREQUIPA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA

TIPO TERRENO DE FUNDACION

CALICATA C-3

ZONA CALLE 6, CUADRA 1, 0+040

PROF. (m)	TIPO DE EXCAVACION	SIMBOLO	CLASIFICACION SUCS - AASHTO	DESCRIPCION DEL MATERIAL	ENSAYOS EN LABORATORIO			
					LL	LP	IP	R.N
0,20	A CIELO ABIERTO		SM	ARENAS LIMOSAS				
0,40				MEZCLAS DE ARENA Y LIMO. PIEDRAS PEQUEÑAS W% BAJA y NP				
0,60			SP A-1-a	ARENAS MAL GRADUADAS				
0,80				CON POCO FINO				
1,00				PIEDRAS PEQUEÑAS W% BAJA y NP	22,28	21,03	1,24	
1,20				SEMI COMPACTO				
1,40								
1,60								
1,80								
2,00								



OBSERVACIONES

Tec. Epifanio Mamani Gutiérrez
 MECANICA DE SUELOS PAVIMENTOS Y CONCRETOS
 DNI. 80031875

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
 GEOTECNIA, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

Miguel Quispe Fernandez
 INGENIERO CIVIL
 Reg. Colegio de Ingenieros del Peru N° 61843

REGISTRO DE EXCAVACION

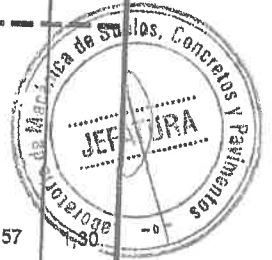
PROYECTO MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN LA VILLA SAN ANTONIO, DISTRITO DE SANTA RITA
 PROVINCIA DE AREQUIPA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA

TIPO TERRENO DE FUNDACION

CALICATA C-4

ZONA CALLE 1, CDRA 4, 0+440

PROF. (m)	TIPO DE EXCAVACION	SIMBOLO	CLASIFICACION SUCS - AASHTO	DESCRIPCION DEL MATERIAL	ENSAYOS EN LABORATORIO			
					LL	LP	LP	HN
0,20	A CIELO ABIERTO		SM	ARENAS LIMOSAS				
0,40				MEZCLAS DE ARENA Y LIMO. PIEDRAS PEQUEÑAS W% BAJA y NP				
0,60	A CIELO ABIERTO		SP A-1-a	ARENAS MAL GRADUADAS				
0,80				CON POCO FINO				
1,00				PIEDRAS PEQUEÑAS W% BAJA y NP	22,48	20,91	1,57	
1,20				SEMI COMPACTO				
1,40								
1,60								
1,80								
2,00								



OBSERVACIONES

Epifanio Mamani Gutierrez
 Terc. Epifanio Mamani Gutierrez
 MECANICA DE SUELOS PAVIMENTOS Y CONCRETOS
 DNI. 60031875

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
 GEOTECNIA CONCRETOS Y PAVIMENTOS

Miguel Orospe Fernandez
 MIGUEL OROSPE FERNANDEZ
 INGENIERO CIVIL
 Reg. Colegio de Ingenieros del Peru N° 61843

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTECNIA, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

000137

RUC N° 10024304812

JR. LOS NARANJOS 120 URB. LA FLORIDA - JULIACA - PERU

edycalhuapaza@hotmail.com.pe Cel 950 809411 RPM # 994 574385

ANEXO 2:

ENSAYOS DE LABORATORIO



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTECNIA, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

RUC N° 10024304812

JR. LOS NARANJOS 120 URB. LA FLORIDA - JULIACA - PERU

edycahuapaza@hotmail.com.pe Cel 950 809411 RPM # 994 574385

TERRENO DE FUNDACION

CALICATA N° 01



PROYECTO : MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN LA VILLA SAN ANTONIO, DISTRITO DE SANTA RITA SE SIGUAS
 PROVINCIA DE AREQUIPA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA

TIPO : TERRENO DE FUNDACION

TECN. RESPONS. : EPIFANIO M. GUTIERREZ

CALICATA : C-1

ING. RESPONS. : MIGUEL QUISPE FERNANDEZ

ZONA : CALLE 3, 0+140

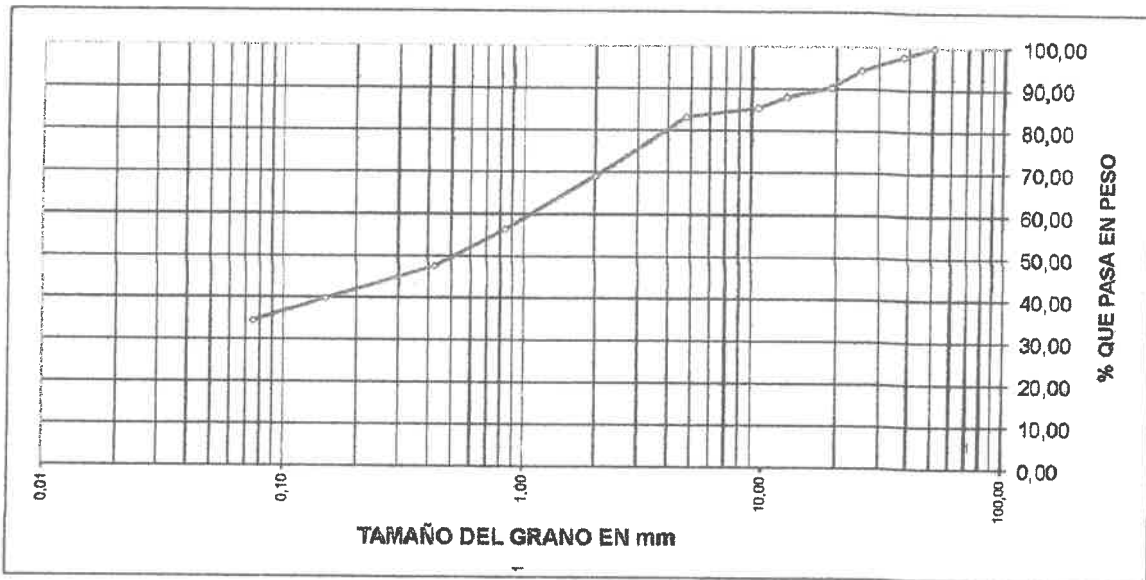
FECHA : martes, 15 de septiembre de 2020

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D-422)

Tamices ASTM	Abertura mm	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Especificaciones	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	75,000						Peso inicial : 5515 Grs
2 1/2"	63,000						Peso fracción : 566 Grs
2"	50,000				100,00		Grava : 16,80 %
1 1/2"	37,500	122,00	2,20	2,20	97,80		Arena : 48,80 %
1"	25,000	188,00	3,40	5,60	94,40		Fino : 34,40 %
3/4"	19,000	223,00	4,00	9,60	90,40		W natural : 2,20 %
1/2"	12,500	125,00	2,30	11,90	88,10		
3/8"	9,500	147,00	2,70	14,60	85,40		LIMITES DE CONSISTENCIA
No.04	4,750	124,00	2,20	16,80	83,20		L.L. : 22,08 %
No.10	2,000	96,00	14,11	30,91	69,09		L.P. : 20,65 %
No.20	0,840	88,00	12,64	43,55	56,45		I.P. : 1,43 %
No.40	0,425	60,00	8,82	52,37	47,63		
No.100	0,150	53,00	7,79	60,16	39,84		CLASIFICACION
No.200	0,075	37,00	5,44	65,60	34,40		SUCS : SP
<No.200		234,0	34,40	100,0			AASHTO : A-1-a



REPRESENTACION GRAFICA TAMAÑO DE LAS MALLAS U.S. STANDARD



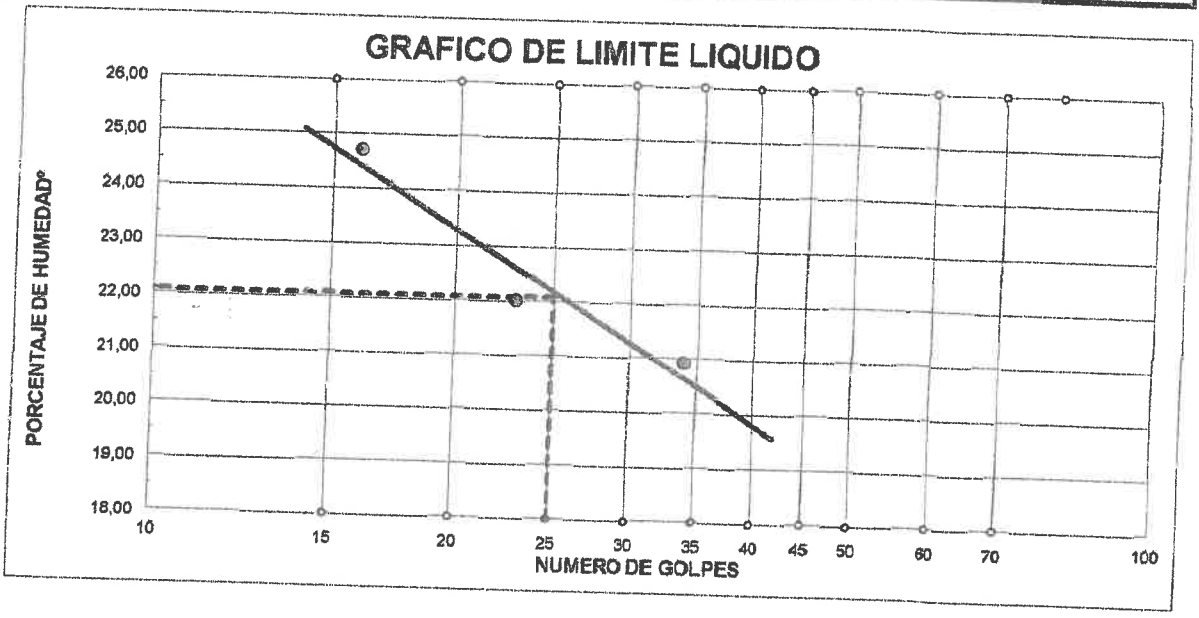
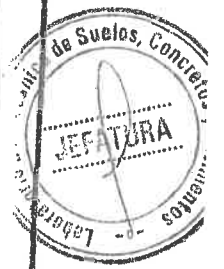
.....
 Teo. Epifanio Mamani Gutierrez
 TECNICA DE SUELOS PAVIMENTOS Y CONCRETOS
 DNI. 80031875

.....
 MIGUEL QUISPE FERNANDEZ
 INGENIERO CIVIL
 Reg. Coleg. de Ingenieros del Peru N° 61843

PROYECTO : MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN LA VILLA SAN ANTONIO, DISTRITO DE SANTA RITA SE
 PROVINCIA DE AREQUIPA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA
TIPO : TERRENO DE FUNDACION
TECN. RESP.: EPIFANIO M. GUTIERREZ
CALICATA : C-1
ING. RESP. : MIGUEL QUISPE FERNANDEZ
ZONA : CALLE 3, 0+140
FECHA : martes, 15 de septiembre de 2020

LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D-424)

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO	
	34	23	16		4	5
01. No. DE GOLPES						
02. TARRO No.	4	5	6			
03. SUELO HUMEDO * TARRO g	32,90	32,45	33,55		21,02	21,86
04. SUELO SECO * TARRO g	29,10	28,60	29,09		18,50	18,60
05. PESO DEL AGUA g	3,80	3,85	4,46		2,52	3,26
06. PESO DEL TARRO g	10,93	11,12	11,04		4,22	4,82
07. PESO DEL SUELO SECO g	18,17	17,48	18,05		14,28	13,78
08. HUMEDAD %	20,91	22,03	24,71		17,65	23,66
L.L.= 22,08 % L.P.= 20,65 % I.P.= 1,43 %						



.....
 Tec. Epifanio Mamani Gutierrez
 MECANICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETOS
 DNI. 80031875

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
 GEOTECHNIA CONCRETO Y PAVIMENTOS

 Miguel Quispe Fernandez
 INGENIERO CIVIL
 Reg. Col: Ingenieros del Peru N° 61843

PROYECTO : MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN LA VILLA SAN ANTONIO, DISTRITO DE SANTA RITA SE
PROVINCIA DE AREQUIPA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA

TIPO : TERRENO DE FUNDACION

TECN. RESP. : EPIFANIO M. GUTIERREZ

CALICATA : C-1

ING. RESP. : MIGUEL QUISPE FERNANDEZ

ZONA : CALLE 3, 0+140

FECHA : martes, 15 de septiembre de 2020

PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557)

ENSAYO N°	1	2	3	4	5
DETERMINACION DE DENSIDAD					
PESO MOLDE+SUELO	11.344	11.544	11.522		
PESO MOLDE	6.865	6.865	6.865		
PESO SUELO COMPACTADO	4.479	4.679	4.657		
VOLUMEN DEL MOLDE	2.077,3	2.077,3	2.077,3		
DENSIDAD HUMEDA	2,16	2,25	2,24		
DETERMINACION DE CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE N°	1	2	3	4	
SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	500,50	530,40	575,40		
SUELO SECO + RECIPIENTE	472,00	491,00	523,00		
PESO RECIPIENTE	0,00	0,00	0,00		
PESO DE AGUA	28,50	39,40	52,40		
PESO DE SUELO SECO	472,00	491,00	523,00		
CONTENIDO DE HUMEDAD	6,00	8,00	10,00		
DENSIDAD SECA	2,04	2,08	2,04		

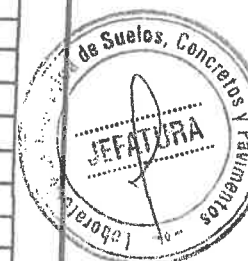
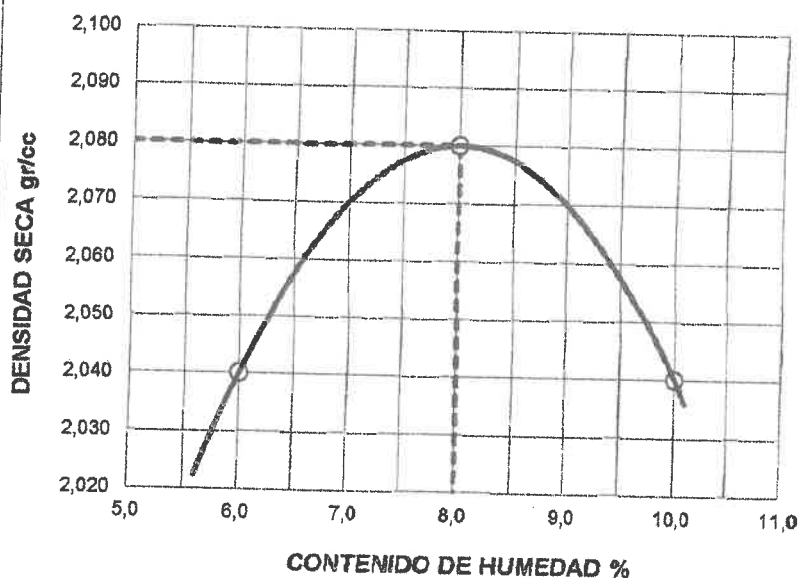


GRAFICO DE PROCTOR MODIFICADO



Max. densidad seca
2,080 gr/cm³

Conten. humedad óptima
8,00 %

Tec. Epifanio Mamani Gutiérrez
MECÁNICA DE SUELOS PAVIMENTOS Y CONCRETOS
DNI. 80031875

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
GEOTECNIA, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

Miguel Quispe Fernandez
INGENIERO CIVIL
Rep. Colección de Ingenieros del Perú N° 61842

PROYECTO	MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN LA VILLA SAN ANTONIO, DISTRITO DE SANTA RITA S; PROVINCIA DE AREQUIPA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA		
TIPO	TERRENO DE FUNDACION		
CALICATA	C-1	TECN. RESPONS.	EPIFANIO M. GUTIERREZ
ZONA	CALLE 3, 0+140	ING. RESPONS.	MIGUEL QUISPE FERNANDEZ
		FECHA	martes, 15 de septiembre de 2020

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.) (ASTM D-1883)

	7		8		9	
	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.
Molde N°	56		26		12	
Capa N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		26		12	
Condición de la muestra	56		26		12	
Peso molde + suelo húmedo	gr.	12612				
Peso del molde	gr.	7772	12571		12136	
Peso del suelo húmedo	gr.	4840	7916		7632	
Volumen del molde	cc.	2149	4655		4504	
Densidad Humeda	gr./cc	2.25	2.17		2.149	
Humedad	%	8.00	8.00		2.1	
Densidad seca	gr./cc	2.08	2.01		8.00	
					1.94	
Tarro N°	1		2		3	
Tarro suelo húmedo	gr.	466.4	420		337	
Tarro suelo seco	gr.	432	389		312	
Agua	gr.	34.4	31		25	
Peso del Tarro	gr.	0	0		0	
Peso del suelo seco	gr.	432	389		312	
Humedad	%	8.0	8.0		8.0	
Promedio de la humedad	%					

ENSAYO EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%
15-9-20	11.30	0									
16-9-20	11.30	24									
17-9-20	11.30	48									
18-9-20	11.30	72									
19-9-20	11.30	96									

PENETRACION

PENETRACION			Lectura Dial	Lectura corregida	Presiones Lb/plg ²	Lectura Dial	Lectura corregida	Presiones Lb/plg ²	Lectura Dial	Lectura corregida	Presiones Lb/plg ²
Tiempo	mm	plg									
0.30	0.600	0.25	26	295	98	20	235	78	14	174	58
1.00	1.300	0.50	55	586	195	44	475	158	20	235	78
1.30	1.900	0.075	96	997	332	77	806	269	38	415	138
2.00	2.500	0.100	144	1478	493	110	1137	379	75	786	262
3.00	3.800	0.150	224	2281	760	168	1719	573	122	1258	419
4.00	5.000	0.200	320	3244	1081	200	2040	680	144	1478	493
5.00	6.000	0.250	400	4046	1349	266	2702	901	174	1779	593
6.00	7.500	0.300	466	4708	1569	340	3444	1148	210	2140	713
8.00	10.000	0.400									
10.00	12.500	0.500									

.....
Tec. Epifanio Mamani Gutierrez
 MECANICA DE SUELOS PAVIMENTOS Y CONCRETOS
 DNI. 80031875

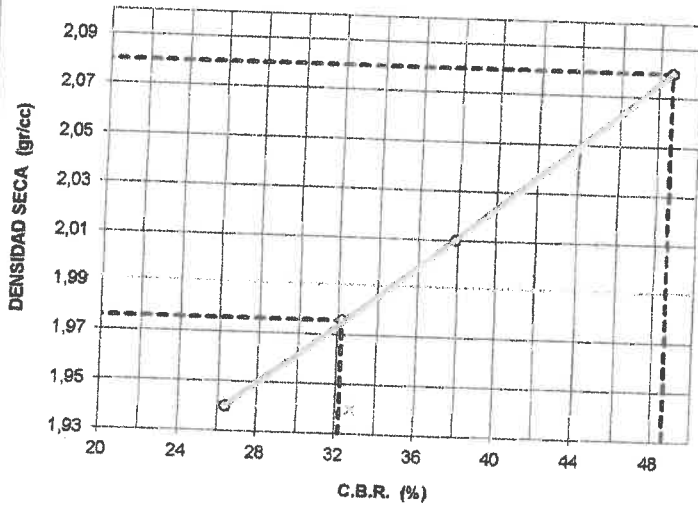
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
 GEOTECNIA Y CONCRETOS Y PAVIMENTOS

.....
Miguel Quispe Fernandez
 INGENIERO CIVIL
 Reg. Colegio de Ingenieros del Peru N° 61843



PROYECTO	MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN LA VILLA SAN ANTONIO, DISTRITO DE SANTA RITA SE SIGUAS PROVINCIA DE AREQUIPA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA		
TIPO	TERRENO DE FUNDACION	TECN. RESP. :	EPIFANIO M. GUTIERREZ
CALICATA	C-1	ING. RESP. :	MIGUEL QUISPE FERNANDEZ
ZONA	CALLE 3, 0+140	FECHA	martes, 15 de septiembre de 2020

GRAFICO DE C.B.R.



PARAMETROS DE C.B.R.

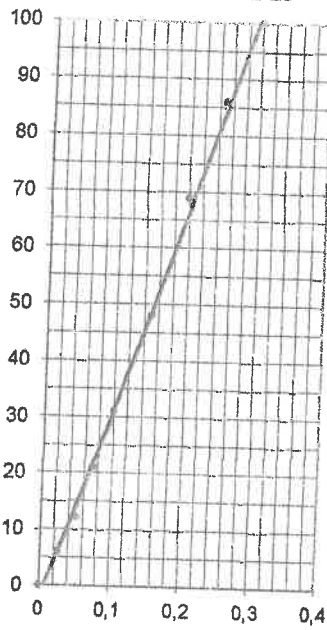
C.B.R.01" AL 100% = 48,6%
C.B.R. 01" AL 95% M.D.S. = 32,2%

LEYENDA

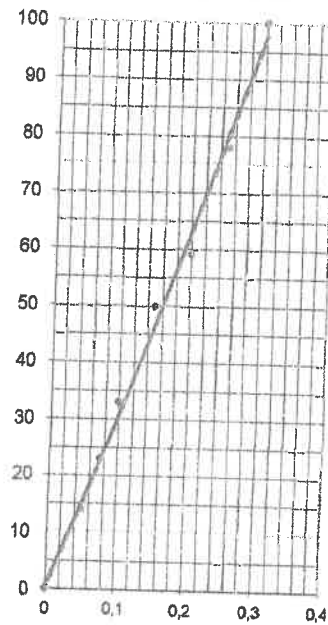
CURVA A 0.1"



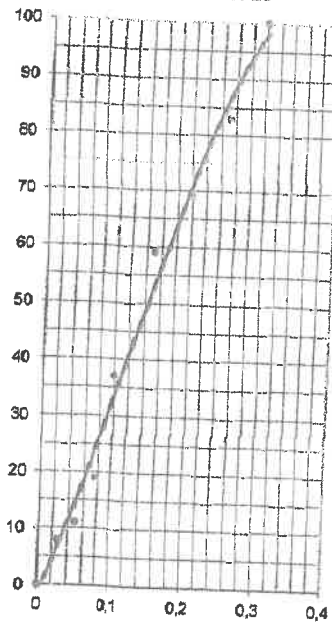
CURVA DE 56 GOLPES



CURVA DE 25 GOLPES



CURVA DE 12 GOLPES



Tec. Epifanio Mamenti Gutierrez
MECANICA DE SUELOS PAVIMENTOS Y CONCRETOS
DNI. 80031875

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
GEOTECNIA CONCRETOS Y PAVIMENTOS

Miguel Quispe Fernandez
INGENIERO CIVIL
Reg Cole: Ingenieros del Peru N° 61843

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTECNIA, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

RUC N° 10024304812

JR. LOS NARANJOS 120 URB. LA FLORIDA - JULIACA - PERU

edycahuapaza@hotmail.com.pe Cel 950 809411 RPM # 994 574385

TERRENO DE FUNDACION

CALICATA N° 02

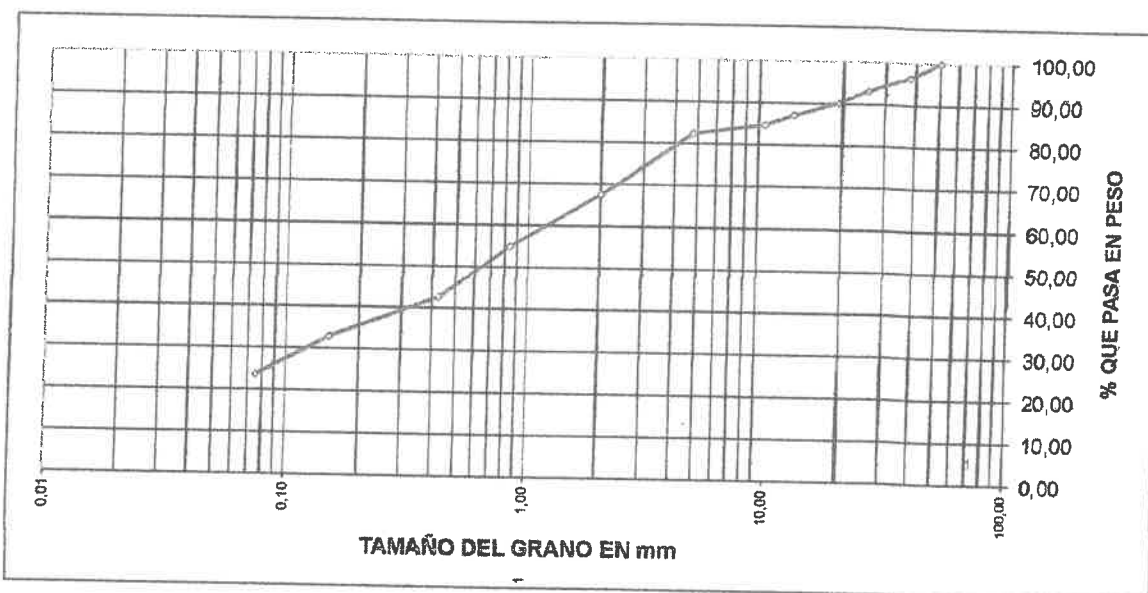


PROYECTO : MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN LA VILLA SAN ANTONIO, DISTRITO DE SANTA RITA SE SIGUAS		TECN. RESPONS. : EPIFANIO M. GUTIERREZ	
PROVINCIA DE AREQUIPA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA		ING. RESPON. : MIGUEL QUISPE FERNANDEZ	
TIPO : TERRENO DE FUNDACION		FECHA	: martes, 15 de septiembre de 2020
CALICATA : C-2			
ZONA : CALLE 4, CDR 1, 0+020			

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D-422)

Tamices ASTM	Abertura mm	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Especificaciones	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	75,000						Peso inicial : 4980 Grs
2 1/2"	63,000						Peso fracción : 590 Grs
2"	50,000				100,00		Grava : 17,50 %
1 1/2"	37,500	177,00	3,60	3,60	96,40		Arena : 58,87 %
1"	25,000	165,00	3,30	6,90	93,10		Fino : 23,63 %
3/4"	19,000	150,00	3,00	9,90	90,10		W natural : 2,60 %
1/2"	12,500	144,00	2,90	12,80	87,20		
3/8"	9,500	123,00	2,50	15,30	84,70		LIMITES DE CONSISTENCIA
No.04	4,750	110,00	2,20	17,50	82,50		L.L. : 21,38 %
No.10	2,000	107,00	14,96	32,46	67,54		L.P. : 19,67
No.20	0,840	90,00	12,58	45,04	54,96		I.P. : 1,71
No.40	0,425	88,00	12,31	57,35	42,65		CLASIFICACION
No.100	0,150	70,00	9,79	67,14	32,86		SUCS : SP
No.200	0,075	66,00	9,23	76,37	23,63		AASHTO : A-1-a
<No.200		169,0	23,63	100,0			

REPRESENTACION GRAFICA TAMAÑO DE LAS MALLAS U.S. STANDARD



Tec. Epifanio Mamani Gutierrez
MECANICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETOS
DNI. 80031875

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
GEOTECNIA, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

Miguel Quispe Fernandez
INGENIERO CIVIL
Reg. Colegio de Ingenieros del Peru N° 61843

PROYECTO : MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN LA VILLA SAN ANTONIO, DISTRITO DE SANTA RITA SE
PROVINCIA DE AREQUIPA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA

TIPO : TERRENO DE FUNDACION

TECN. RESP.: EPIFANIO M. GUTIERREZ

CALICATA : C-2

ING. RESP. : MIGUEL QUISPE FERNANDEZ

ZONA : CALLE 4, CDR 1, 0+020

FECHA : martes, 15 de septiembre de 2020

LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D-424)

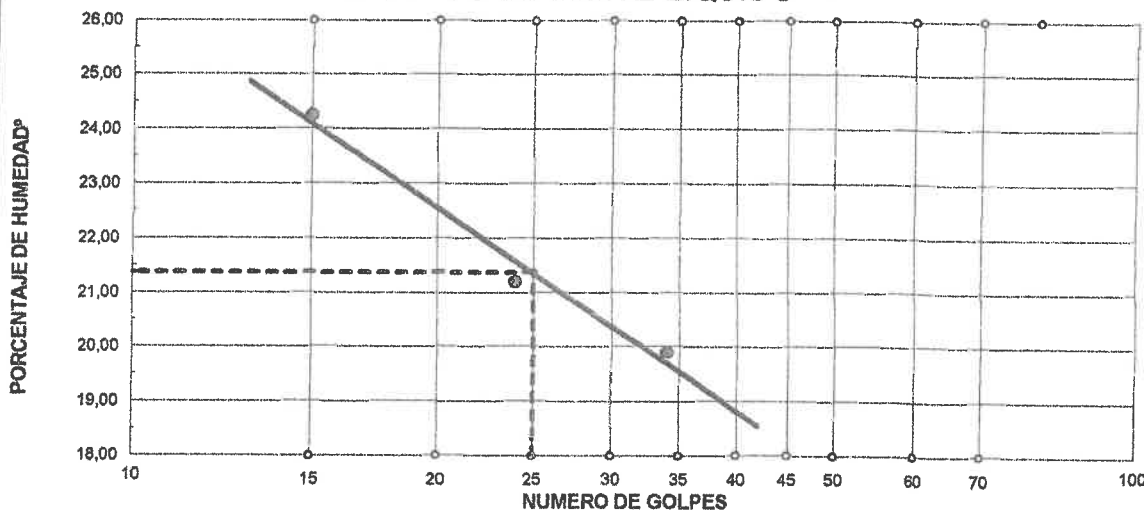
DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	No. DE GOLFES	24	15	2	3
01. No. DE GOLFES	34	24	15		
02. TARRO No.	6	7	8	2	3
03. SUELO HUMEDO * TARRO	g 32,60	32,00	33,25	22,80	22,70
04. SUELO SECO * TARRO	g 29,00	28,35	28,91	19,50	20,00
05. PESO DEL AGUA	g 3,60	3,65	4,34	3,30	2,70
06. PESO DEL TARRO	g 10,90	11,14	11,01	4,20	4,80
07. PESO DEL SUELO SECO	g 18,10	17,21	17,90	15,30	15,20
08. HUMEDAD	% 19,89	21,21	24,25	21,57	17,76

L.L.= 21,38 %

L.P.= 19,67 %

I.P.= 1,71 %

GRAFICO DE LIMITE LIQUIDO



Tec. Epifanio Maman Gutierrez
MECÁNICA DE SUELOS PAVIMENTOS Y CONCRETOS
DNI. 80031875

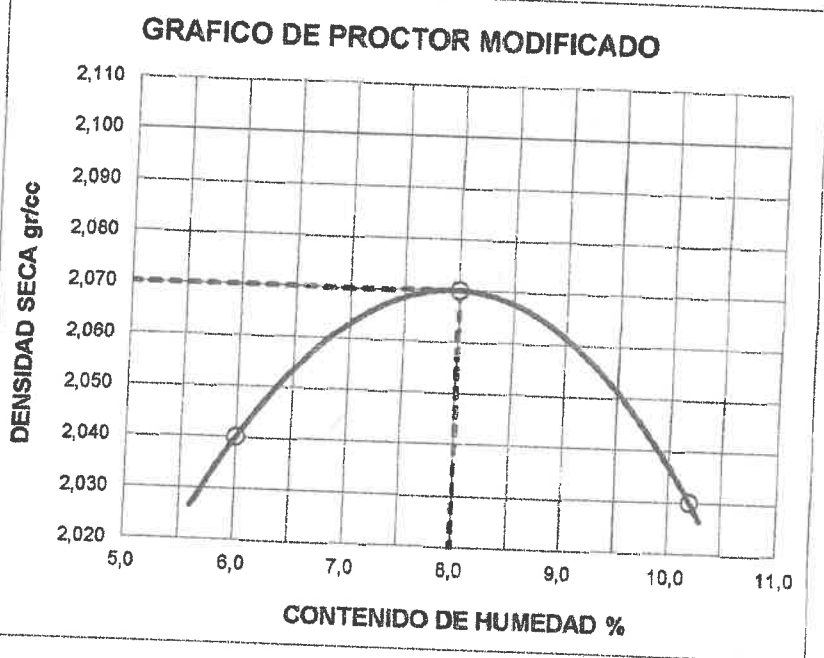
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
GEOTECNIA CONCRETOS Y PAVIMENTOS

Miguel Quispe Fernandez
INGENIERO CIVIL
Reg. Colegio de Ingenieros del Peru N° 61843

PROYECTO : MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN LA VILLA SAN ANTONIO, DISTRITO DE SANTA RITA SE
 PROVINCIA DE AREQUIPA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA
TIPO : TERRENO DE FUNDACION
CALICATA : C-2
ZONA : CALLE 4, CDR 1, 0-020
TECN. RESP. : EPIFANIO M. GUTIERREZ
ING. RESP. : MIGUEL QUISPE FERNANDEZ
FECHA : martes, 15 de septiembre de 2020

PROCTOR MODIFICADO
(ASTM D-1557)

ENSAYO N°	1	2	3	4	5
DETERMINACION DE DENSIDAD					
PESO MOLDE+SUELO	11.350	11.510	11.517		
PESO MOLDE	6.865	6.865	6.865		
PESO SUELO COMPACTADO	4.485	4.645	4.652		
VOLUMEN DEL MOLDE	2.077,3	2.077,3	2.077,3		
DENSIDAD HUMEDA	2,16	2,24	2,24		
DETERMINACION DE CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE N°	1	2	3	4	
SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	493,00	525,00	572,00		
SUELO SECO + RECIPIENTE	465,00	486,00	519,00		
PESO RECIPIENTE	0,00	0,00	0,00		
PESO DE AGUA	28,00	39,00	53,00		
PESO DE SUELO SECO	465,00	486,00	519,00		
CONTENIDO DE HUMEDAD	6,00	8,00	10,20		
DENSIDAD SECA	2,04	2,07	2,03		



Max. densidad seca
2,070 gr/cm³
 Cont. humedad óptima
8,00 %

Top. Epifanio Mamaní Gutiérrez
 MECANICA DE SUELOS PAVIMENTOS Y CONCRETOS
 DNI. 80031875

MIGUEL QUISPE FERNANDEZ
 INGENIERO CIVIL
 DNI. 80031875

PROYECTO : MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN LA VILLA SAN ANTONIO, DISTRITO DE SANTA RITA S
 PROVINCIA DE AREQUIPA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA

TIPO : TERRENO DE FUNDACION

CALIGATA : C-2

ZONA : CALLE 4, CDR 1, 0+020

TECN. RESPON. : EPIFANIO M. GUTIERREZ

ING. RESPON. : MIGUEL QUISPE FERNANDEZ

FECHA : martes, 15 de septiembre de 2020

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.)
 (ASTM D-1883)

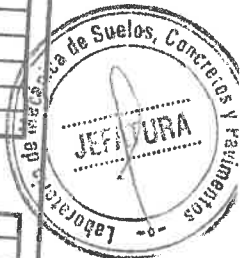
Molde N°	7		8		9	
	56		25		12	
Capa N°	5		5		5	
Condición de la muestra	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.
Peso molde + suelo húmedo	gr.	12570				
Peso del molde	gr.	7773	12555		12148	
Peso del suelo húmedo	gr.	4797	7917		7635	
Volúmen del molde	cc.	2149	4638		4513	
Densidad Humeda	gr./cc	2.23	2149		2149	
Humedad	%	7.90	2.16		2.1	
Densidad seca	gr./cc	2.07	8.00		8.00	
			2.00		1.94	
Tarro N°		1		2		3
Tarro suelo húmedo	gr.	485	419		336	
Tarro suelo seco	gr.	431	388		311	
Agua	gr.	34	31		25	
Peso del Tarro	gr.	0	0		0	
Peso del suelo seco	gr.	431	388		311	
Humedad	%	7.9	8.0		8.0	
Promedio de la humedad	%					

ENSAYO EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%
15-9-20	11.30	0									
16-9-20	11.30	24									
17-9-20	11.30	48									
18-9-20	11.30	72									
19-9-20	11.30	96									

PENETRACION

PENETRACION			Lectura Dial	Lectura corregida	Presiones Lb/plg ²	Lectura Dial	Lectura corregida	Presiones Lb/plg ²	Lectura Dial	Lectura corregida	Presiones Lb/plg ²
Tiempo	mm	plg									
0.30	0.600	0.25	25	285	95	18	214	71	13	164	55
1.00	1.300	0.50	54	576	192	42	455	152	19	225	75
1.30	1.900	0.075	95	987	329	75	786	262	37	405	135
2.00	2.500	0.100	143	1468	489	108	1117	372	74	776	259
3.00	3.800	0.150	223	2271	757	166	1699	566	121	1248	416
4.00	5.000	0.200	319	3234	1078	198	2020	673	143	1468	489
5.00	6.000	0.250	399	4036	1345	264	2682	894	173	1769	590
6.00	7.500	0.300	465	4698	1566	338	3424	1141	209	2130	710
8.00	10.000	0.400									
10.00	12.500	0.500									



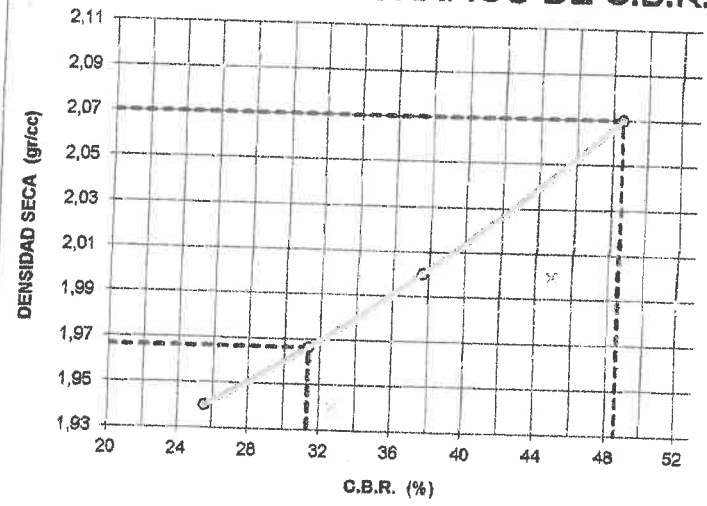
E. Mamaní Gutiérrez
 Tec. Epifanio Mamaní Gutiérrez
 MECANICA DE SUELOS PAVIMENTOS Y CONCRETOS
 DNI. 80031875

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
 GEOTECNIA CONCRETOS Y PAVIMENTOS

Miguel Quispe Fernandez
 MIGUEL QUISPE FERNANDEZ
 INGENIERO CIVIL
 Reg. Colección de Ingenieros del Peru N° 61843

PROYECTO : MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN LA VILLA SAN ANTONIO, DISTRITO DE SANTA RITA SE SIGUAS
 PROVINCIA DE AREQUIPA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA
TIPO : TERRENO DE FUNDACION
CALICATA : C-2
ZONA : CALLE 4, CDR 1, 0+020
TECN. RESP. : EPIFANIO M. GUTIERREZ
ING. RESP. : MIGUEL QUISPE FERNANDEZ
FECHA : martes, 15 de septiembre de 2020

GRAFICO DE C.B.R.

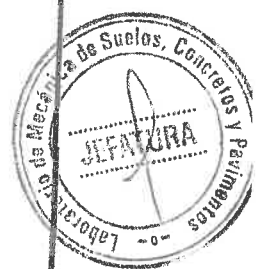


PARAMETROS DE C.B.R.

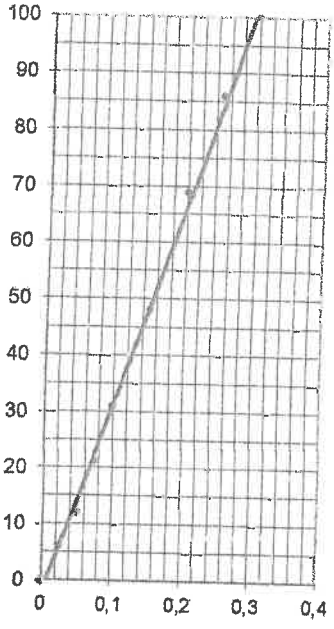
C.B.R. 01" AL 100% = 48,5%
 C.B.R. 01" AL 95% M.D.S. = 31,3%

LEYENDA

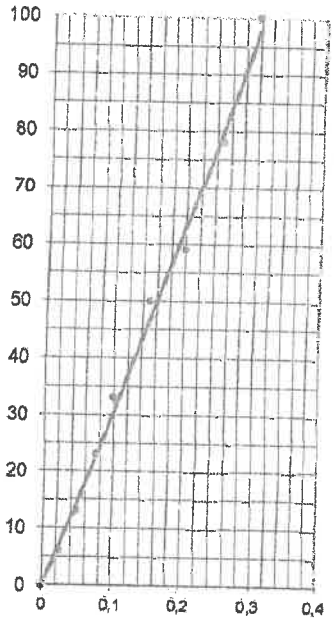
CURVA A 0.1"



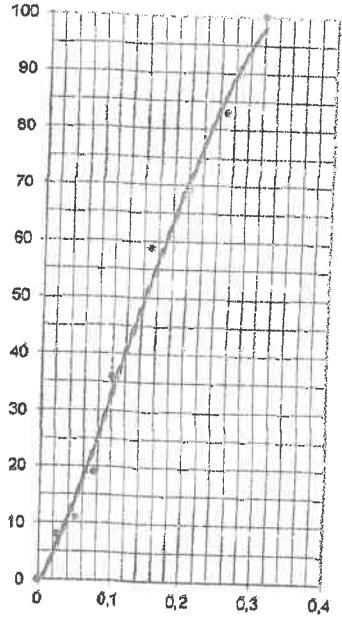
CURVA DE 56 GOLPES



CURVA DE 25 GOLPES



CURVA DE 12 GOLPES



.....
 Tec. Epifanio Mamani Gutierrez
 MECANICA DE SUELOS PAVIMENTOS Y CONCRETOS
 DNI. 80031875

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
 GEOTECHNIA CONCRETOS Y PAVIMENTOS

 Miguel Quispe Fernandez
 INGENIERO CIVIL
 Reg. Colegio de Ingenieros del Peru N° 61843

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTECNIA, CONCRETOS Y PAVIMENTOS
RUC N° 10024304812
JR. LOS NARANJOS 120 URB. LA FLORIDA - JULIACA - PERU
edycalhuapaza@hotmail.com.pe Cel 950 809411 RPM # 994 574385

00012

TERRENO DE FUNDACION
CALICATA N° 03



PROYECTO : MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN LA VILLA SAN ANTONIO, DISTRITO DE SANTA RITA DE SIGUAS
 PROVINCIA DE AREQUIPA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA

TIPO : TERRENO DE FUNDACION

CALICATA : C-3

ZONA : CALLE 6, CUADRA 1, 0+040

TECN. RESPONS. : EPIFANIO M.GUTIERREZ

ING. RESPONS. : MIGUEL QUISPE FERNANDEZ

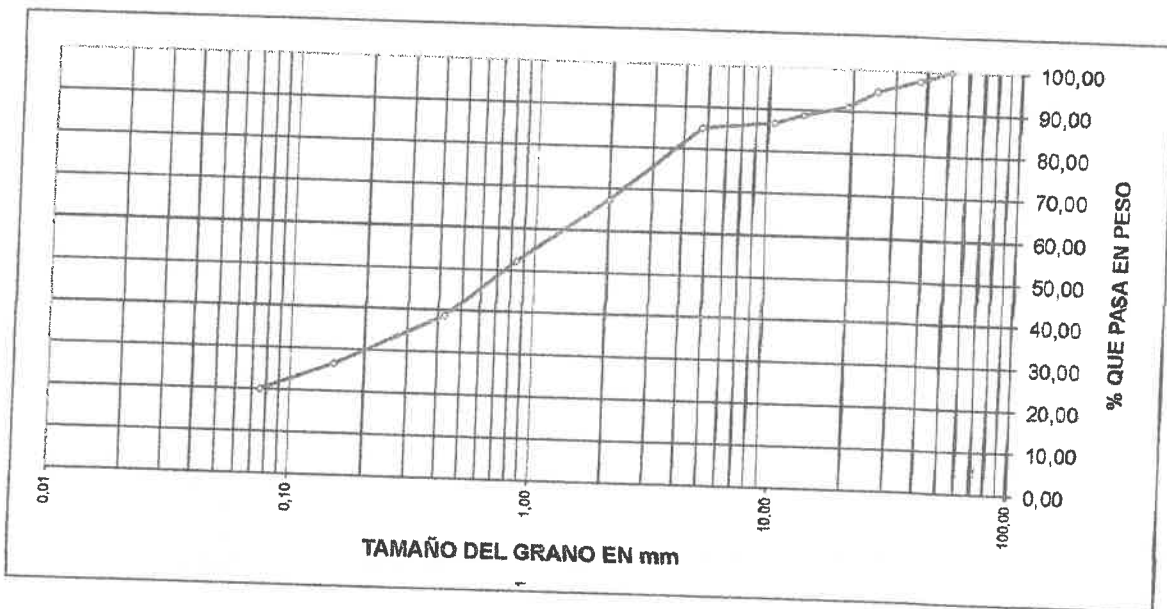
FECHA : martes, 15 de septiembre de 2020

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D-422)

Tamices ASTM	Abertura mm	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Especificaciones	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	75,000						
2 1/2"	63,000						Peso inicial : 5515 Grs
2"	50,000						Peso fracción : 550 Grs
1 1/2"	37,500	133,00	2,40	2,40	100,00		Grava : 15,00 %
1"	25,000	156,00	2,80	5,20	97,60		Arena : 64,91 %
3/4"	19,000	210,00	3,80	9,00	91,00		Fino : 20,09 %
1/2"	12,500	120,00	2,20	11,20	88,80		W natural : 1,80 %
3/8"	9,500	109,00	2,00	13,20	86,80		
No.04	4,750	98,00	1,80	15,00	85,00		LIMITES DE CONSISTENCIA
No.10	2,000	114,00	17,62	32,62	67,38		L.L. : 22,28 %
No.20	0,840	98,00	15,15	47,77	52,23		L.P. : 21,03 %
No.40	0,425	88,00	13,60	61,37	38,63		I.P. : 1,24 %
No.100	0,150	78,00	12,05	73,42	26,58		CLASIFICACION
No.200	0,075	42,00	6,49	79,91	20,09		SUCS : SP
<No.200		130,0	20,09	100,0			AASHTO : A-1-a



REPRESENTACION GRAFICA TAMAÑO DE LAS MALLAS U.S. STANDARD



Epifanio Mamani Gutierrez
Tec. Epifanio Mamani Gutierrez
 LABORATORIO DE SUELOS PAVIMENTOS Y CONCRETOS
 DNI. 80031875

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
 GEOTECNIA CONCRETOS Y PAVIMENTOS

Miguel Quispe Fernandez
Miguel Quispe Fernandez
 INGENIERO CIVIL
 Reg. Colegio de Ingenieros del Peru N° 61843

PROYECTO : MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN LA VILLA SAN ANTONIO, DISTRITO DE SANTA RITA SE
PROVINCIA DE AREQUIPA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA

TIPO : TERRENO DE FUNDACION

TECN. RESP. : EPIFANIO M. GUTIERREZ

CALICATA : C-3

ING. RESP. : MIGUEL QUISPE FERNANDEZ

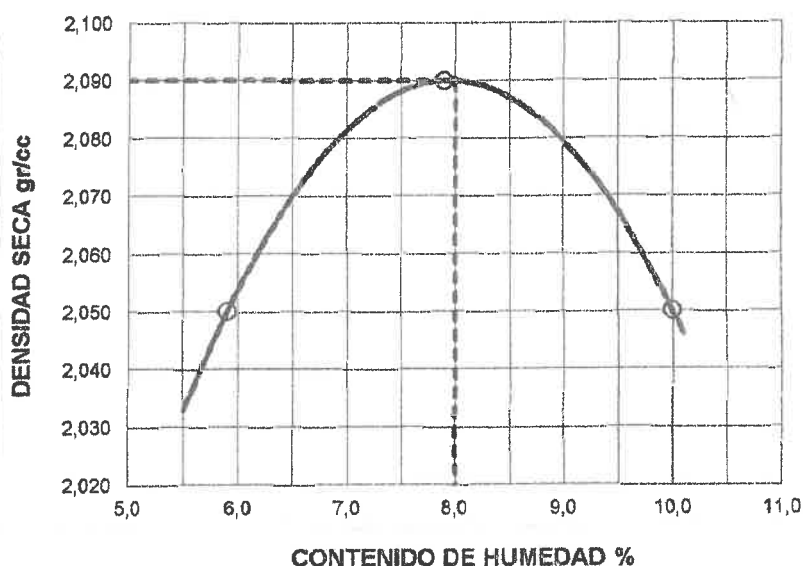
ZONA : CALLE 6, CUADRA 1, 0-040

FECHA : martes, 15 de septiembre de 2020

PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557)

ENSAYO N°	1	2	3	4	5
DETERMINACION DE DENSIDAD					
PESO MOLDE+SUELO	11.364	11.564	11.542		
PESO MOLDE	6.865	6.865	6.865		
PESO SUELO COMPACTADO	4.499	4.699	4.677		
VOLUMEN DEL MOLDE	2.077,3	2.077,3	2.077,3		
DENSIDAD HUMEDA	2,17	2,26	2,25		
DETERMINACION DE CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE N°	1	2	3	4	
SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	499,00	530,00	574,00		
SUELO SECO + RECIPIENTE	471,00	491,00	522,00		
PESO RECIPIENTE	0,00	0,00	0,00		
PESO DE AGUA	28,00	39,00	52,00		
PESO DE SUELO SECO	471,00	491,00	522,00		
CONTENIDO DE HUMEDAD	5,90	7,90	10,00		
DENSIDAD SECA	2,05	2,09	2,05		

GRAFICO DE PROCTOR MODIFICADO



Max. densidad seca
2,090 gr/cm³

Conten. humedad óptima
8,00 %

Tec. Epifanio Mamaní Gutierrez
MECÁNICA DE SUELOS PAVIMENTOS Y CONCRETOS
DNI. 80031875

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS,
GEOTECNIA, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

Miguel Quispe Fernandez
INGENIERO CIVIL
Registro Profesional del Perú N° 61843

PROYECTO	MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN LA VILLA SAN ANTONIO, DISTRITO DE SANTA RITA SI PROVINCIA DE AREQUIPA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA		
TIPO	TERRENO DE FUNDACION		
CALICATA	C-3	TECN. RESPONS.	EPIFANIO M. GUTIERREZ
ZONA	CALLE 6, CUADRA 1, 0+040	ING. RESPONS.	MIGUEL QUISPE FERNANDEZ
		FECHA	martes, 15 de septiembre de 2020

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.) (ASTM D-1883)

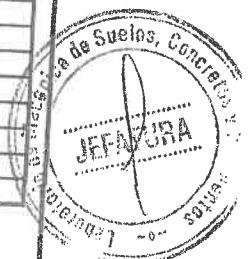
Molde N°	7		8		9	
	56		25		5	
Capa N°	5		5		9	
Golpes por capa N°	56		25		5	
Condición de la muestra	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.
Peso molde + suelo húmedo gr.	12632		12665		12133	
Peso del molde gr.	7771		7915		7631	
Peso del suelo húmedo gr.	4861		4650		4502	
Volúmen del molde cc.	2149		2149		2149	
Densidad Humeda gr./cc	2,26		2,16		2,09	
Humedad %	7,90		8,00		8,00	
Densidad seca gr./cc	2,09		2,00		1,94	
Tarro N°	1		2		3	
Tarro suelo húmedo gr.	465		419		336	
Tarro suelo seco gr.	431		388		311	
Agua gr.	34		31		25	
Peso del Tarro gr.	0		0		0	
Peso del suelo seco gr.	431		388		311	
Humedad %	7,9		8,0		8,0	
Promedio de la humedad %						

ENSAYO EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%
15-9-20	11,30	0									
16-9-20	11,30	24									
17-9-20	11,30	48									
18-9-20	11,30	72									
19-9-20	11,30	96									

PENETRACION

PENETRACION			Lectura Dial	Lectura corregida	Presiones Lb/plg ²	Lectura Dial	Lectura corregida	Presiones Lb/plg ²	Lectura Dial	Lectura corregida	Presiones Lb/plg ²
Tiempo	mm	plg									
0,30	0,600	0,25	25	285	95	19	225	75	13	164	55
1,00	1,300	0,50	54	576	192	43	465	155	19	225	75
1,30	1,900	0,075	95	987	329	76	796	265	37	405	135
2,00	2,500	0,100	143	1468	489	109	1127	376	74	776	259
3,00	3,800	0,150	223	2271	757	167	1709	570	121	1248	416
4,00	5,000	0,200	319	3234	1078	199	2030	677	143	1468	489
5,00	6,000	0,250	399	4036	1345	265	2692	897	173	1769	590
6,00	7,500	0,300	465	4698	1566	339	3434	1145	209	2130	710
8,00	10,000	0,400									
10,00	12,500	0,500									



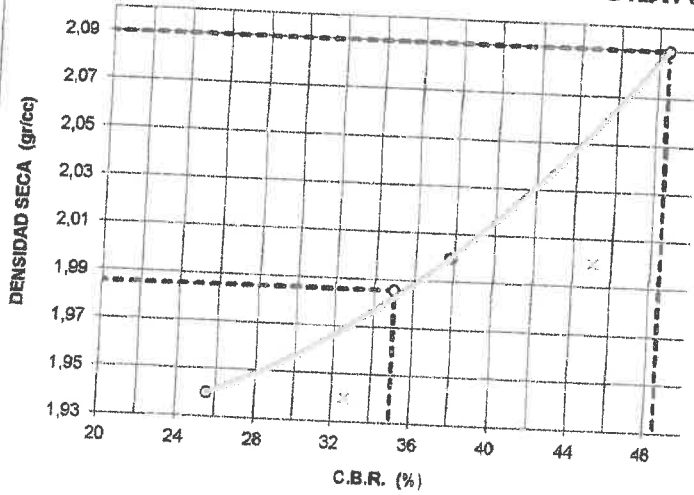
Epifanio M. Gutiérrez
 Top. Epifanio Mamani Gutiérrez
 MECANICA DE SUELOS PAVIMENTOS Y CONCRETOS
 DNI. 80031875

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
 GEOTECNIA CONCRETOS Y PAVIMENTOS

Miguel Quispe Fernandez
 MIGUEL QUISPE FERNANDEZ
 INGENIERO CIVIL
 Reg. Colegio de Ingenieros del Peru N° 61843

PROYECTO : MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN LA VILLA SAN ANTONIO, DISTRITO DE SANTA RITA DE SIGUAS
 PROVINCIA DE AREQUIPA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA
TIPO : TERRENO DE FUNDACION
CALICATA : C-3
ZONA : CALLE 6, CUADRA 1, 0-040
TECN. RESP. : EPIFANIO M. GUTIERREZ
ING. RESP. : MIGUEL QUISPE FERNANDEZ
FECHA : martes, 15 de septiembre de 2020

GRAFICO DE C.B.R.

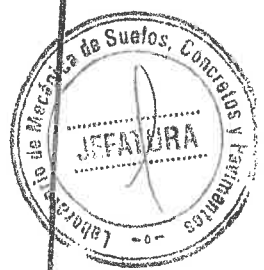


PARAMETROS DE C.B.R.

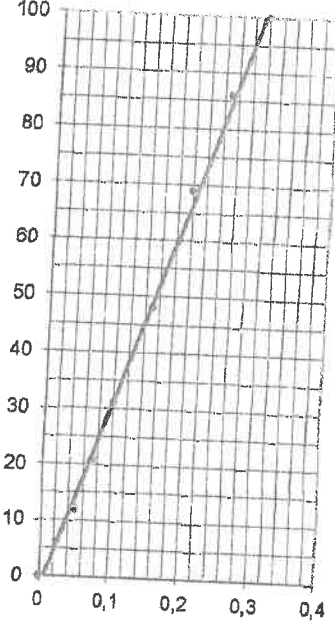
C.B.R.01" AL 100% = 48,5%
 C.B.R. 01" AL 95% M.D.S. = 35,0%

LEYENDA

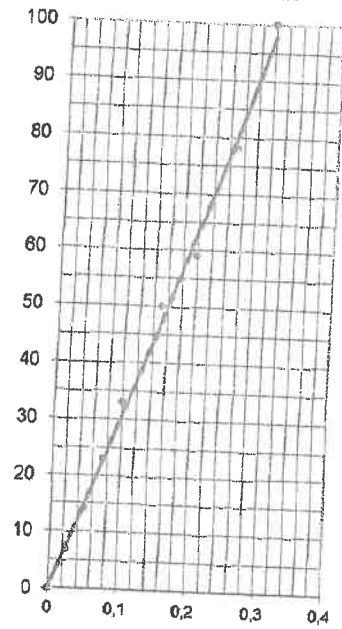
— CURVA A 0.1"



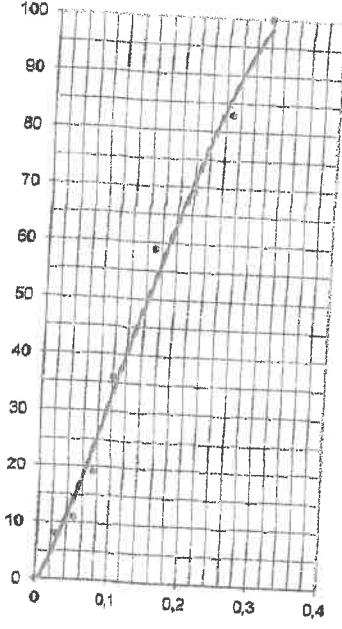
CURVA DE 66 GOLPES



CURVA DE 25 GOLPES



CURVA DE 12 GOLPES



.....
 Tec. Epifanio Mamoní Gutiérrez
 MECÁNICA DE SUELOS PAVIMENTOS Y CONCRETOS
 DNI. 80031875

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
 GEOTECNIA CONCRETOS Y PAVIMENTOS

.....
 Miguel Quispe Fernandez
 INGENIERO CIVIL
 Reg. Colegio de Ingenieros del Peru N° 61843

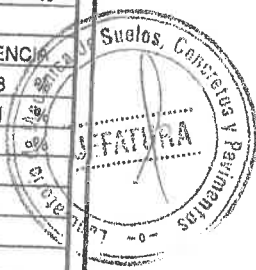
PROYECTO : MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN LA VILLA SAN ANTONIO, DISTRITO DE SANTA RITA SE DIGUAS
 PROVINCIA DE AREQUIPA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA

TIPO : TERRENO DE FUNDACION
CALICATA : C-4
ZONA : CALLE 1, CDRA 4, 0+440

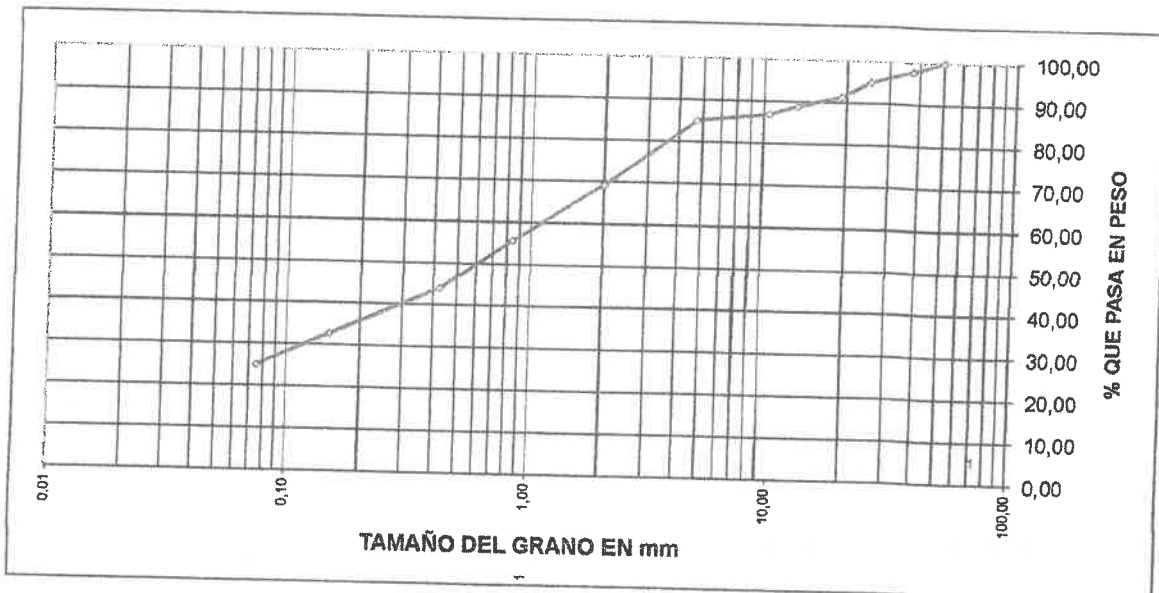
TECN. RESPONS. : EPIFANIO M.GUTIERREZ
ING. RESPONS. : MIGUEL GUIPE FERNANDEZ
FECHA : martes, 15 de septiembre de 2020

**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO
 (ASTM D-422)**

Tamices ASTM	Abertura mm	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Especificaciones	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	75,000						Peso inicial : 5400 Grs
2 1/2"	63,000						Peso fracción : 530 Grs
2"	50,000				100,00		Grava : 15,00 %
1 1/2"	37,500	123,00	2,30	2,30	97,70		Arena : 59,99 %
1"	25,000	145,00	2,70	5,00	95,00		Fino : 25,01 %
3/4"	19,000	198,00	3,70	8,70	91,30		W natural : 1,30 %
1/2"	12,500	122,00	2,30	11,00	89,00		
3/8"	9,500	112,00	2,10	13,10	86,90		
No.04	4,750	105,00	1,90	15,00	85,00		LIMITES DE CONSISTENCIA
No.10	2,000	98,00	15,72	30,72	69,28		L.L. : 22,48
No.20	0,840	85,00	13,63	44,35	55,65		L.P. : 20,91
No.40	0,425	72,00	11,55	55,90	44,10		I.P. : 1,57
No.100	0,150	71,00	11,39	67,29	32,71		CLASIFICACION
No.200	0,075	48,00	7,70	74,99	25,01		SUCS : SP
<No.200		156,0	25,02	100,0			AASHTO : A-1-a



**REPRESENTACION GRAFICA
 TAMAÑO DE LAS MALLAS U.S. STANDARD**



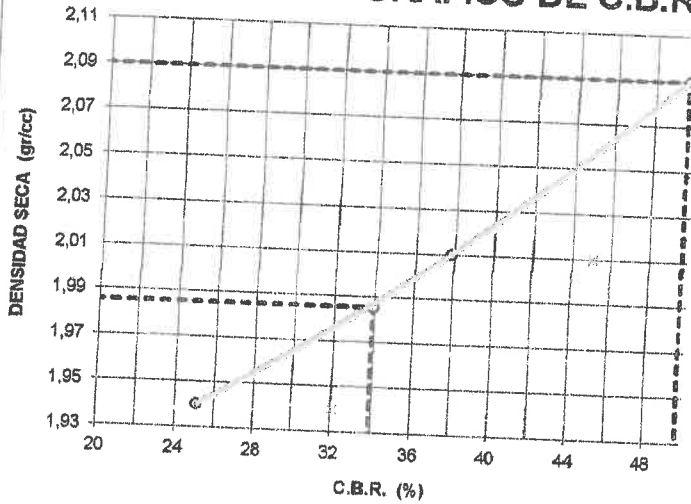
[Signature]
Tec. Epifanio Mamani Gutierrez
 MECANICA DE SUELOS PAVIMENTOS Y CONCRETOS
 DNI. 80031875

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
 GEOTECNIA CONCRETOS Y PAVIMENTOS

[Signature]
Miguel Guispe Fernandez
 INGENIERO CIVIL
 Reg. Colegio de Ingenieros del Peru N° 61843

PROYECTO	MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN LA VILLA SAN ANTONIO, DISTRITO DE SANTA RITA SE DIGUAS PROVINCIA DE AREQUIPA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA		
TIPO	TERRENO DE FUNDACION	TECN. RESP.	EPIFANIO M. GUTIERREZ
CALICATA	C-4	ING. RESP.	MIGUEL QUISPE FERNANDEZ
ZONA	CALLE I. CDRA 4. D-440	FECHA	martes, 15 de septiembre de 2020

GRAFICO DE C.B.R.

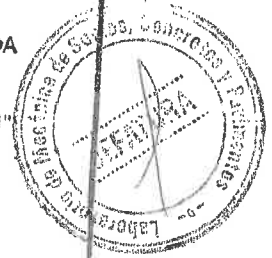


PARAMETROS DE C.B.R.

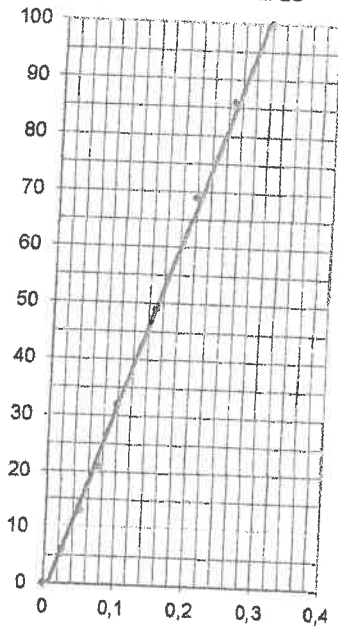
C.B.R.01" AL 100% = 49,7%
C.B.R. 01" AL 95% M.D.S. = 33,8%

LEYENDA

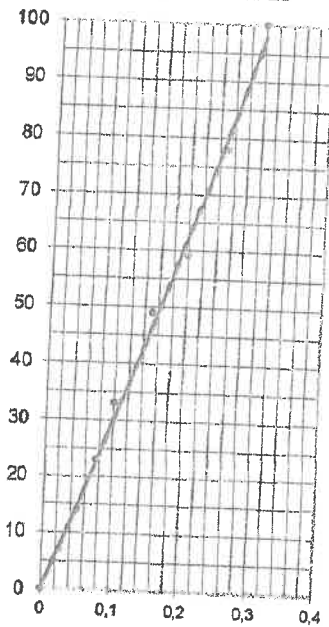
— CURVA A 0.1"



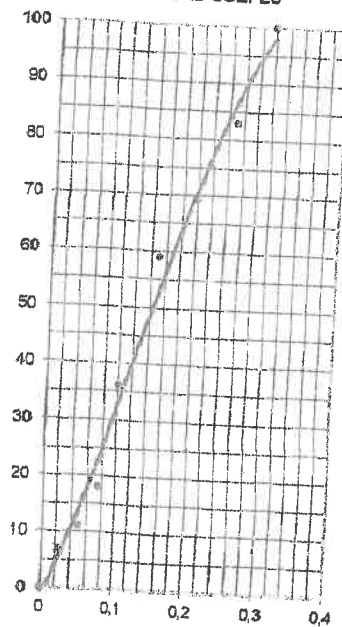
CURVA DE 56 GOLPES



CURVA DE 25 GOLPES



CURVA DE 12 GOLPES



[Signature]
Tec. Epifanio Mamani Gutierrez
MECANICA DE SUELOS PAVIMENTOS Y CONCRETOS
DNI. 80031875

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
GEOTECNIA CONCRETOS Y PAVIMENTOS
[Signature]
Miguel Quispe Fernandez
INGENIERO CIVIL
Reg. Colegio de Ingenieros del Peru N° 61843