UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

**Propuesta de mejora del comportamiento mecánico de Pavimentos
Flexibles mediante la aplicación de polvo de fibra de vidrio reciclado
sobre subrasante arcillosa de baja plasticidad aplicada al tramo I de la
carretera Rodríguez de Mendoza, Amazonas - Perú**

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(ES)

Carhuapoma Najarro, Cynthia Sthefani Alexandra (0000-0002-4117-5224)

Tito Sánchez, Jaime Belisario (0000-0001-9499-0903)

ASESOR

Campos De la Cruz, Fernando José (0000-0002-7827-2861)

Lima, 23 de Junio del 2021

DEDICATORIA

Este proyecto de tesis está dedicado con todo mi cariño a Dios y a mi familia, por estar siempre a mi lado. De manera especial a mi madre, que, con sus consejos de disciplina y perseverancia, permitieron motivarme día a día en esta etapa de mi vida.

Cynthia Carhuapoma

A Dios y a mis Padres por brindarme todo su apoyo y amor durante mi etapa universitaria, esto es para ustedes.

Jaime Tito

AGRADECIMIENTOS

Al finalizar el trabajo de investigación queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento al Ingeniero Fernando Campos, por ser guía y compañía durante todo el desarrollo de la presente tesis.

Asimismo, agradecer a nuestras familias, quienes estuvieron con nosotros en todo momento, brindándonos su apoyo incondicional durante toda nuestra etapa universitaria.

Finalmente, agradecer a los profesores de la carrera de Ingeniería Civil, quienes nos brindaron consejos y orientación en diferentes etapas del proyecto a presentar, muchas gracias.

RESUMEN

En la actualidad, la funcionalidad de pavimentos flexibles se ve afectada por la deficiencia de información detallada de los parámetros de Diseño de Pavimentos. Las fallas internas, desencadenan problemas de desplazamientos y deformaciones, los cuales afectan directamente en la funcionalidad de la estructura del pavimento.

En el Perú, el desarrollo del uso de materiales de construcción ha originado que se incrementen las cantidades de residuos de vidrio y se produzca un impacto ambiental negativo. Sin embargo, estos residuos, poseen un potencial para ser usados, incorporándose como agentes estabilizantes de suelos en subrasante de pavimentos, por las útiles propiedades mecánicas de resistencia a la compresión y corte que poseen. Esto permite, reducir el impacto medioambiental y contribuir a la ejecución de pavimentos eco-sostenibles.

En ese contexto, la presente investigación, está orientada en desarrollar una estabilización de suelo, un diseño de pavimentos bajo la metodología AASHTO, y un posterior análisis del comportamiento mecánico del diseño de pavimentos realizado. Por un lado, la estabilización de suelo de subrasante arcillosa se realiza mediante la aplicación de polvo de residuos de vidrio. Por otro lado, se hace uso de la metodología AASHTO 1993, con el fin de diseñar el paquete estructural y obtener valores de espesores de capa en escenarios de suelo estabilizado con piedra Over propuesto por JNR y otro en el que el suelo se encuentre estabilizado con polvo de fibra de vidrio reciclado, propuesto por la presente investigación. Posteriormente, se realizó un análisis comparativo de espesores y la influencia directa del valor de CBR en muestras no estabilizadas y estabilizadas, para la determinación del número estructural en el Diseño de pavimentos. Finalmente, se realizó un modelado del comportamiento mecánico de cada capa de la estructura del pavimento, mediante el uso del software computacional 3D Move, con el fin de obtener valores de esfuerzos normales, esfuerzos cortantes y desplazamientos en cada capa del pavimento para suelos no estabilizados y estabilizados.

Palabras clave: Pavimentos Flexibles; Subrasante; Arcilla de baja plasticidad; Estabilización; Polvo de Fibra de vidrio, AASHTO.

Proposal to improve the mechanical behavior of Flexible Pavements through the application of recycled glass powder on low plasticity clayey subgrade applied to section applied to section I of the Rodriguez de Mendoza Highway

ABSTRACT

Currently, the functionality of flexible pavements is affected by the deficiency of detailed information in the Pavement Design parameters. Internal failures trigger displacement and deformation problems, which directly affect the functionality of the pavement structure.

In Peru, the development of the use of construction materials has led to an increase in the amounts of glass waste and a negative environmental impact. However, these residues have a potential to be used, being incorporated as soil stabilizing agents in subgrade of pavements, due to the useful mechanical properties they possess. This allows reducing the environmental impact and contributing to the implementation of eco-sustainable pavements.

In this context, the present research is aimed at developing soil stabilization, a pavement design under the AASHTO methodology and a subsequent analysis of the mechanical behavior of the pavement design carried out. On the one hand, clay subgrade soil stabilization is carried out by applying glass waste powder. On the other hand, the Empirical AASHTO 1993 methodology is used, in order to design the structural package and obtain layer thickness values in scenarios of stabilized soil with the proposed material and another in which the soil is stabilized with other type of material. Subsequently, a comparative analysis of thicknesses and the direct influence of the CBR value in non-stabilized and stabilized samples will be carried out in the pavement design carried out to determine the structural number. Finally, a mechanical behavior modeling is carried out, applying the use of the Windepav computer software to obtain deformation and deflection values in each layer of the pavement for unstabilized and stabilized soils.

Keywords: [Flexible Flooring; Subgrade; Clay; Stabilization; waste glass powder,

AASHTO].

TABLA DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	REALIDAD PROBLEMÁTICA	1
1.2	CARACTERÍSTICAS DEL PROBLEMA.....	3
1.3	LIMITACIONES DEL PROBLEMA	3
1.4	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.5	DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	4
1.6	JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	4
1.7	ESTADO DEL ARTE	5
1.8	HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	7
1.8.1	Hipótesis	8
1.8.2	Objetivo General	8
1.8.3	Objetivos Específicos.....	8
1.9	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	9
2	MARCO TEÓRICO.....	12
2.1	PAVIMENTOS	12
2.1.1	Definición.....	12
2.1.2	Tipos de Pavimentos	12
2.1.3	Comportamiento mecánico de Pavimentos	13
2.2	PAVIMENTOS FLEXIBLES	15
2.2.1	Elementos y funciones del Pavimento Flexibles.....	15
2.3	FACTORES QUE INFLUYEN EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	16
2.3.1	Tránsito	16
2.3.2	Condiciones ambientales	17
2.3.3	Tipos de suelo	17
2.3.4	CBR de subrasante	18
2.3.5	Módulo Resiliente de suelos en subrasante	19
2.4	LÍMITES DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL PAVIMENTO	20
2.4.1	Suelos arcillosos y su influencia en subrasante de pavimentos flexibles ..	20
2.4.2	Propiedades de los suelos arcillosos	20

2.5	ESTABILIZACIÓN DE SUELOS EN SUBRASANTE	22
2.5.1	Importancia de estabilización de subrasante en Pavimentos flexibles	22
2.5.2	Estabilización de suelo arcilloso	22
2.6	POLVO DE FIBRA DE VIDRIO COMO AGENTE ESTABILIZANTE	23
2.6.1	Composición de Polvo de Fibra de vidrio.....	23
2.6.2	Propiedades mecánicas del Polvo de fibra de vidrio reciclado.....	23
2.6.3	Acción de polvo de fibra de vidrio como material estabilizante de suelos	24
2.6.4	Procedimiento para la obtención de polvo de fibra de vidrio molido	25
2.6.5	Empresas recicladoras de polvo de fibra de vidrio reciclado	27
2.7	METODOLOGÍA DE DISEÑO AASHTO 1993	27
2.8	METODOLOGÍA DE DISEÑO AASHTO 2008	30
2.8.1	Indicadores de desempeño predictivo.....	30
2.8.2	Análisis de Predicción de la falla.....	30
3	METODOLOGÍA.....	31
3.1	NIVEL DE INVESTIGACIÓN	31
3.2	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	31
3.3	PROCEDIMIENTO	31
3.3.1	Variables de estudio y operacionalización	34
3.3.2	Metodologías e Instrumentos de obtención de datos.....	34
3.3.3	Procesamiento y Análisis de datos	34
4	FASE PRELIMINAR: ZONA DE ESTUDIO Y PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN PRELIMINAR	35
4.1	DESCRIPCIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO.....	35
4.1.1	Descripción de la zona de estudio.....	35
4.1.2	Características del suelo en zona de estudio	36
4.1.3	Descripción de método de estabilización aplicado en la Carretera Rodríguez de Mendoza.....	38
4.2	PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN Y COMPATIBILIDAD CON POLVO DE FIBRA DE VIDRIO	38
4.2.1	Propiedades de Polvo de fibra de vidrio	38
4.2.2	Compatibilidad entre polvo de fibra de vidrio y suelo arcilloso	39

5	FASE PRELIMINAR: ZONA DE ESTUDIO Y PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN PRELIMINAR.....	44
5.1	PLAN EXPERIMENTAL.....	44
5.1.1	Metodología Experimental según Normativa E050 y AASHTO.....	44
5.2	ESTUDIO DE EXPLORACIÓN DE SUELOS.....	45
5.2.1	Reconocimiento del terreno y extracción de muestras de suelo natural ..	45
5.3	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE SUELO ARCILLOSO NATURAL.....	50
5.3.1	Ensayo Granolumétrico por tamizado (ASTM D422 -NTP400.012) en muestras no estabilizadas.....	50
5.3.2	Ensayo de Límites de Attemberg (ASTM D4318 – NTP 339.129) en muestras no estabilizadas.....	52
5.3.3	Ensayo de Proctor Modificado (ASTM D 1557 – NTP 339.141) en muestras no estabilizadas.....	55
5.3.4	Ensayo de CBR (ASTM D1833– NTP 339.145) en muestras no estabilizadas	57
6	MEJORA DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO.....	58
6.1	DOSIFICACIÓN DE SUELO ARCILLOSOS- POLVO DE FIBRA DE VIDRIO RECICLADO.....	59
6.2	ENSAYOS FÍSICOS DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO ARCILLOSO ESTABILIZADO	60
6.2.1	Ensayo Granulométrico por Tamizado (ASTM D422 – NTP 400.012)	60
6.2.2	Ensayo de Límites de Attemberg (ASTM D4318– NTP 339.129)	62
6.3	ENSAYOS MECÁNICOS DE MUESTRAS DE SUELO ARCILLOSO ESTABILIZADO CON POLVO DE FIBRA DE VIDRIO	64
6.3.1	Ensayo de Proctor Modificado (ASTM D 1557– NTP 339.141)	64
6.3.2	Ensayo de California Bearing Ratio (ASTM D 1883– NTP 339.145)	69
6.4	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ENSAYOS FÍSICOS Y MECÁNICOS DE MUESTRAS DE SUELO ARCILLOSO ESTABILIZADO CON POLVO DE FIBRA DE VIDRIO.....	77
7	DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE BAJO LA METODOLOGÍA AASHTO 1993	82
7.1	DISEÑO DE PAVIMENTO PROPUESTO BAJO CONDICIONES DE ESTABILIZACIÓN CON POLVO DE FIBRA DE VIDRIO RECICLADO	82
7.1.1	Consideraciones y Limitaciones de Diseño de Pavimento flexible	82

7.1.2	Propuesta de Diseño de Pavimento flexible (Tr= 10 años)	84
7.1.3	Propuesta de Diseño de Pavimento flexible (Tr= 20 años)	86
8	COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE ESTABILIZADO	89
8.1	ANÁLISIS MECÁNICO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE ESTABILIZADO	89
8.1.1	Metodología Multicapa Elástica	89
8.2	MODELADO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE ESTABILIZADO	92
8.2.1	Aplicación 3D Move	92
9	ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LA PROPUESTA	128
9.1	COMPARATIVO DE PROPUESTAS ECONÓMICAS DE ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE TESIS	128
9.2	PROPUESTA ECONÓMICA DE ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE DE PAVIMENTO FLEXIBLE (Tr= 10 AÑOS Y 20 AÑOS)	129
9.3	PROPUESTA ECONÓMICA DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y ESTABILIZACIÓN (Tr= 10 AÑOS Y 20 AÑOS)	129
9.4	PROPUESTA ECONÓMICA DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y ESTABILIZACIÓN (COSTO POR KM)	130
10	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	131
10.1	VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS DE MEJORA DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO	131
10.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ENSAYOS FÍSICOS DE MUESTRAS ESTABILIZADAS	131
10.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ENSAYOS MECÁNICOS MUESTRAS ESTABILIZADAS	132
10.4	ANÁLISIS DEL DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE 93	133
10.5	ANÁLISIS DE MODELADO MECÁNICO EN 3D MOVE	133
10.6	ANÁLISIS ECONÓMICOS DE PROPUESTAS DE ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	135
11	CONCLUSIONES	137
12	RECOMENDACIONES	139
13	REFERENCIAS	140

14	ANEXOS	145
-----------	---------------------	------------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ranking Mundial de la Infraestructura vial de Perú.....	2
Tabla 2: Tabla de tamaño de partículas según el tipo de material.....	17
Tabla 3: Categoría de subrasante en función a valor de CBR	19
Tabla 4: Módulo resiliente según categoría de Subrasante	19
Tabla 5: Valores de propiedades mecánicas del Polvo de fibra de vidrio reciclado	24
Tabla 14: Propiedades físicas y mecánicas de subrasante natural.....	48
Tabla 34: Resultados de Ensayo de Proctor modificado con Dosificación de 12%	68
Tabla 36: Resultados de Ensayo de CBR con dosificación de 6% de polvo de fibra de vidrio	71
Tabla 38: Resultados de Ensayo de CBR con dosificación de 10% de polvo de fibra de vidrio	73
Tabla 41: Propiedades Físicas del suelo arcilloso estabilizado con 12% de polvo de fibra de vidrio.....	77
Tabla 42: Resultados de Ensayo de Proctor modificado en suelo estabilizado con diferentes dosificaciones de polvo de fibra de vidrio.....	78
Tabla 43: Resultados de Ensayo de CBR en suelo estabilizado con diferentes dosificaciones de polvo de fibra de vidrio.....	79
Tabla 44: Comparativo de resultados de Ensayos físicos	80
Tabla 45: Comparativo de resultados de Ensayos mecánicos	81
Tabla 46: Valores de CBR y Módulo resiliente de suelo arcilloso estabilizado	83
Tabla 48: Número estructural requerido para un valor de ESAL de 2.12 E+06	85
Tabla 51: Número estructural requerido para un valor de ESAL de 5.42 E+06	87
Tabla 52: Número estructural propuesto y requerido para un $T_r = 20$ años.....	87
Tabla 53: Comparativo de Diseño de Pavimentos según Propuesta JNR y Propuesta Tesis de Investigación ($T_r = 10$ años, $T_r = 20$ años)	88
Tabla 54: Propiedades mecánicas de materiales de cada capa del pavimento flexible	92
Tabla 55: Esfuerzos Máximos y Mínimos normales del Modelado del Pavimento Flexible diseñado por JNR	96
Tabla 56: Resultados de normales producidos en cada del Pavimento Flexible diseñado por JNR.....	97
Tabla 57: Esfuerzos Máximos y Mínimos de corte del Modelado del Pavimento Flexible diseñado por JNR	101

Tabla 59: Esfuerzos Máximos y Mínimos de corte del Modelado del Pavimento Flexible diseñado por JNR	106
Tabla 60: Esfuerzos Máximos y Mínimos de corte del Modelado del Pavimento Flexible diseñado por Tesis	110
Tabla 61: Resultados de desplazamientos producidos en cada del Pavimento Flexible diseñado por Tesis	111
Tabla 62: Esfuerzos Máximos y Mínimos de corte del Modelado del Pavimento Flexible diseñado por Tesis	115
Tabla 63: Resultados de desplazamientos producidos en cada del Pavimento Flexible diseñado por JNR	116
Tabla 64: Desplazamientos Máximos y Mínimos del Modelado del Pavimento Flexible diseñado por Tesis	120
Tabla 65: Resultados de desplazamientos producidos en cada del Pavimento Flexible diseñado por JNR	121
Tabla 76: Validación de eficiencia del modelado de cada capa del pavimento flexible ...	124
Tabla 77: Comparativo de resultados de Esfuerzos normales producidos en cada del Pavimento Flexible por diferentes propuestas de estabilización	125
Tabla 78: Comparativo de resultados de Esfuerzos cortantes producidos en cada del Pavimento Flexible por diferentes propuestas de estabilización	126
Tabla 79: Comparativo de resultados de desplazamientos producidos en cada del Pavimento Flexible por diferentes propuestas de estabilización	127
Tabla 80: Presupuesto de Estructura del Pavimento por tipo de Propuesta Tr= 10 años ..	128
Tabla 81: Presupuesto de Estructura del Pavimento por tipo de Propuesta Tr= 20 años ..	128
Tabla 82: Presupuesto de Estabilización del Pavimento por tipo de Propuesta Tr= 20 años	129
Tabla 83: Presupuesto de Estructura del Pavimento estabilizado por tipo de Propuesta para un periodo de diseño de	129
Tabla 84: Presupuesto de Estructura del Pavimento estabilizado por tipo de Propuesta para un periodo de diseño de	129
Tabla 89: Resultados de Diseños de espesores de propuestas de estabilización de carretera en estudio	135

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estado de la Red vial Nacional	1
Figura 2: Distribución de Esfuerzos en Pavimentos.....	14
Figura 3: Distribución de Deflexiones en Pavimentos	15
Figura 4: Distribución de Deflexiones en Pavimentos	16
Figura 5: Limites de Attemberg.....	18
Figura 6: Diagrama de Flujo del proceso de selección del tipo de Estabilización de suelos	22
Figura 7: Composición química del Polvo de fibra de vidrio reciclado.....	23
Figura 8: Reacciones químicas entre componentes de arcilla- Polvo de fibra de vidrio....	24
Figura 17: Variación de valores de Índice de Plasticidad en suelo estabilizados con Polvo de fibra de vidrio	41
Figura 18: Variación de valores de resistencia a la compresión en suelo estabilizados con Polvo de fibra de vidrio	41
Figura 33: Combinación del suelo arcillosos natural y 12% de polvo de fibra de vidrio reciclado.....	60
Figura 35: Clasificación del suelo según la Carta de Casa grande	63
Figura 38: Curva de compactación de muestra de suelo dosificado con 8% de polvo de fibra de vidrio reciclado	66
Figura 39: Curva de compactación de muestra de suelo dosificado con 10% de polvo de fibra de vidrio reciclado	67
Figura 43: Curva Esfuerzo Penetración de muestra estabilizada con 8 % de polvo de fibra de vidrio.....	72
Figura 44: Curva Esfuerzo Penetración de muestra estabilizada con 10% de polvo de fibra de vidrio.....	73
Figura 45: Curva Esfuerzo Penetración de muestra estabilizada con 12% de polvo de fibra de vidrio.....	74
Figura 48: Curva Densidad – CBR muestra estabilizada para dosificación de 10% de polvo de fibra de vidrio.....	76
Figura 49: Curva Densidad – CBR muestra estabilizada para dosificación de 12% de polvo de fibra de vidrio.....	76

Figura 53: Espesores de las capas que conforman la estructura del pavimento estabilizado con polvo de fibra de vidrio.....	87
Figura 54: Distribución de cargas entre capas del pavimento	89
Figura 55: Interfaz entre capas del pavimento según las características mecánicas de capas	90
Figura 56: Aplicación de carga sobre área circular	91
Figura 57: Onda de respuesta en términos de deformaciones ante esfuerzo aplicada para materiales elásticos	91
Figura 58: Distribución de cargas en el sistema de coordina x, y ,z	91
Figura 59: Ubicación de la carga producida por neumáticos según Propuesta de Estructura de Pavimento JNR	93
Figura 63: Aplicación de carga sobre la longitud de pavimento modelado según Propuesta de Tesis	95
Figura 67: Esfuerzos normales desarrollados en la capa de Carpeta asfáltica	99
Figura 68: Esfuerzos normales desarrollados en la capa de SubBase	99
Figura 69: Esfuerzos normales desarrollados en la capa de Subbase.....	100
Figura 76: Desplazamientos desarrollados en la capa de Base	109
Figura 77: Desplazamientos desarrollados en la capa de SubBase	109
Figura 78: Desplazamientos desarrollados en la capa de Subrasante.....	110
Figura 73: Esfuerzos normales desarrollados en la capa de Subrasante.....	113
Figura 74: Esfuerzos normales desarrollados en la capa de Base	114
Figura 75: Esfuerzos normales desarrollados en la capa de Base	114
Figura 76: Esfuerzos normales desarrollados en la capa de Subrasante.....	115
Figura 77: Esfuerzos cortantes desarrollados en la capa de Carpeta asfáltica.....	118
Figura 78: Esfuerzos cortantes desarrollados en la capa de Base.....	118
Figura 79: Esfuerzos cortantes desarrollados en la capa de SubBase	119
Figura 80: Esfuerzos cortantes desarrollados en la capa de Subrasante.....	119
Figura 81: Desplazamientos desarrollados en la capa de Carpeta asfáltica	122
Figura 82: Desplazamientos desarrollados en la capa de Base	123
Figura 83: Desplazamientos desarrollados en la capa de Subrasante.....	123
Figura 84: Desplazamientos desarrollados en la capa de Subrasante.....	124

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad Problemática

En el país, la infraestructura vial, es un componente de gran importancia dentro del patrimonio de un país, pues es el medio a través del cual se brinda conectividad terrestre de transporte a personas, vehículos y otras cargas (Vergara, 2015). En este contexto, el sistema vial está conformado por una red de pavimentos, que ofrecen a los usuarios un transporte cómodo, seguro y económico.

El sistema de transporte en el Perú se compone de 78,687 Km de carreteras, de las cuales el 84% se encuentran sin pavimentar, y el 16% pavimentadas, como se observa en la figura 1. El estado actual de las vías presenta una regular a baja calidad, debido al bajo mantenimiento periódico que se realiza a los pavimentos (MTC, 2013). Por lo que, el sistema no satisface los requerimientos de accesibilidad, transitabilidad, confiabilidad y seguridad que los usuarios demandan.

Figura 1: Estado de la Red vial Nacional

Figura 1: Estado de la Red vial Nacional. Adaptado de “Redes pavimentadas en Perú”, por Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2017.

Por otro lado, según el Banco Interamericano de Desarrollo (2018) el Perú es uno de los países latinoamericanos que se mantiene atrasado en infraestructura vial, ocupando el puesto 72, como se muestra en la tabla 1. Asimismo, el País se encuentra en el puesto 108 de calidad de la Infraestructura vial latinoamericana. Durante los últimos años en Perú, se ha observado un alto grado de deterioro de la red vial, y los costos estimados para la reparación de pavimentos son muy altos (Banco Mundial, 2018).

Tabla 1: Ranking Mundial de la Infraestructura vial de Perú

Edition	2012-13	2013-14	2014-15	2015-16	2016-17	2017-18
Rank	61 / 144	61 / 148	65 / 144	69 / 140	67 / 138	72 / 137
Score	4.3	4.3	4.2	4.2	4.2	4.2
	Peru Latin America and the Caribbean					

Nota: En la tabla se indica el Estado de la Calidad de vías durante los último 8 años en Perú. Adaptado de Análisis de Infraestructura vial en América Latina, por Banco Mundial. De desarrollo, 2018.

El efecto económico producto del deterioro de los pavimentos incide en sobrecostos de operación como son el aumento de los tiempos de recorridos, por lo que el transporte disminuye en eficiencia. Las vías en mal estado provocan que los usuarios disminuyan sus velocidades, lo que deriva a problemas de serviciabilidad en el diseño de pavimentos.

El pavimento es una estructura que tiene un período de diseño finito, por lo que su falla está prevista al término del periodo de diseño. Esto significa que, durante el período de vida de una estructura de pavimento, la misma iniciará un proceso de deterioro tal que al final de su vida útil manifestará un conjunto de fallas que reducirán su calidad de rodaje y en definitiva incrementarán los costos de los usuarios y los costos de mantenimiento del pavimento (Leiva, 2016).

Actualmente, uno de los grandes problemas en el diseño de pavimentos en el Perú recae en la calidad y la capacidad portante de los suelos de fundación, con repercusiones en la ejecución y costos elevados en el mantenimiento debido a la baja capacidad portante del suelo (Chávez & Odar, 2019). Los pavimentos se apoyan sobre suelos inestables, los cuales muchas veces no cumplen con los requisitos para soportar solicitaciones máximas de carga continua de vehículos. El ensayo más representativo para determinar la resistencia de suelos en Pavimentos es el Ensayo de CBR. Según la norma del MTC (2013), un suelo con (CBR <6%), no cumple con dicho valor, por lo que se requiere de reemplazo, mejoramiento o estabilización mediante medios mecánicos o químicos, con el fin de mejorar la calidad del suelo y proporcionar mayores beneficios frente a los ciclos de carga y descarga de vehículos (Rico, Del Castillo, 2005).

1.2 Características del problema

Los suelos arcillosos se caracterizan por poseer un CBR $<6\%$ en subrasantes de pavimentos, lo cual afecta negativamente la capacidad portante de la estructura del pavimento (Barrera, 2002). Los efectos identificados por la presencia de dichos suelos en la capa de subrasante están relacionados por cambios de estado volumétrico e hinchamiento de las partículas en el suelo al absorber agua (Badillo, 1995). Esto trae como consecuencia el desarrollo de desplazamientos entre partículas, disminuyendo la cohesión, aumentando la falla por corte y generando un terreno incapaz de brindar resistencia a las capas superiores del pavimento.

La carretera presenta diferentes características problemáticas a lo largo del trabajo. Por un lado, el tramo La Calzada- Soritor de vía se encuentra sobre una zona con relieve irregular. Por otro lado, la subrasante identificada es de tipo arcillosa de baja plasticidad (CL), con un CBR de 3.7% , lo que indica su baja capacidad portante. Finalmente, las condiciones ambientales son desfavorables, por la presencia de fuertes precipitaciones y humedad diaria.

1.3 Limitaciones del problema

En el mercado peruano, las soluciones de estabilización de suelos arcillosos, como el polvo de cal y geosintéticos, son de tipo estandarizado, las cuales no permiten solucionar todos los problemas que se presentan en suelos arcillosos en la misma magnitud (Menéndez, 2013). Frente a la necesidad de propuestas estandarizadas por las variaciones de necesidad entre suelos arcillosos, estas tienden a ser soluciones costosas y de poca accesibilidad por restricciones legales y fiscalizadoras para su compra. Asimismo, el efecto de incremento de CBR en subrasante, es variable, para arcillas de baja plasticidad.

Las soluciones mencionadas son debatibles frente a lo que la norma recomienda para casos en donde se tenga suelos bajo una clasificación de CL. Para suelos con estas características los agentes estabilizadores recomendados son polímeros que a su vez podrían tener una mayor influencia en la reducción del espesor del pavimento y en el costo del proyecto en conjunto al aumentar la capacidad de soporte del suelo.

1.4 Formulación del problema

¿Cómo se puede mejorar el comportamiento mecánico del paquete estructural del pavimento flexible con presencia de subrasante arcillosa del Tramo I de la carretera Rodríguez de Mendoza?

1.5 Delimitación de la zona de estudio

- Población

El proyecto “Mejoramiento de la Carretera Rodríguez de Mendoza- Empalme Ruta PE-5N- Tramo La Calzada- Soritor” de 14.2 km, el cual inicia en el departamento de Cajamarca y culmina en el departamento de Amazonas.

- Muestra

Se ha seleccionado el Tramo I: La Calzada-Soritor, progresiva con superficie de rodadura tipo carpeta asfáltica y un IMDA: 1054 veh/día. Este tramo necesita de mejoramiento de suelo en subrasante al predominar suelo arcilloso de baja plasticidad (CL) sobre el terreno de fundación.

- Variables de Estudio

Las variables de estudio corresponden a una variable dependiente y otra independiente. La variable independiente es el polvo de vidrio reciclado, mientras que la variable dependiente será el comportamiento mecánico de la estructura del pavimento flexible.

1.6 Justificación del Estudio

La funcionalidad que desarrolla una vía se debe en gran parte por la adecuada estructura que esta posee para soportar cargas. Por lo tanto, el terreno de fundación del pavimento debe de poseer un CBR $>6\%$ (MTC, 2013). Una subrasante con CBR bajo afecta la estabilidad de las capas que conforman la estructura e incrementa los gastos de mantenimiento vial por la propagación de fallas sobre la superficie de rodadura del pavimento flexible.

En este contexto, el uso de polvo de fibra de vidrio reciclado como material estabilizador del terreno de la subrasante, plantea brindar propiedades de resistencia al corte a la capa de fundación frente a cargas cíclicas, mejorando así su capacidad estructural. Asimismo, el incremento de la resistencia del suelo arcilloso permitirá realizar diseños de pavimentos, en los que se podrá reducir los espesores de la capa de base y subbase de la estructura del pavimento, por lo tanto, se podrá reducir los costos de construcción y mantenimiento de vías pavimentadas.

De esta forma se pretende modelar pavimentos flexibles con la capacidad de soportar cargas continuas, reduciendo la presencia de fallas, prolongando la vida útil del paquete estructural del pavimento y permitiendo el desarrollo de la serviciabilidad y confort para usuarios del pavimento.

1.7 Estado del Arte

Estudios de las constantes reducciones de la funcionalidad de pavimentos flexibles han planteado diversas soluciones para analizar y cuantificar los distintos procesos a realizar para mejorar el comportamiento mecánico de la estructura del pavimento. Para el tema propuesto se ha realizado la revisión de diversas referencias bibliográficas (artículos científicos, tesis y manuales) en donde se pueden identificar causas y efectos de la problemática, además de las metodologías utilizadas y los resultados principales de cada una de ellas. Las investigaciones por mencionar se dividen en las categorías de Estabilización de suelos y Diseño de Pavimentos, las cuales se mencionan a continuación.

Durante los últimos años se han desarrollado diferentes metodologías, para estabilizar el terreno de la subrasante por presencia de suelos arcillosos. (Babatunde, O.A., Sanbo A.H., 2019) en su artículo científico “*Black Cotton Soil Stabilization using Glass Powder*”, proporciona información de un mecanismo de estabilización de suelos arcillosos mediante el uso de vidrio pulverizado. Por un lado, se formaron muestras a suelos tratados por la combinación de suelo con vidrio pulverizado en diferentes cantidades de material seco total, como 2%, 4%, 6% y 8%. Por otro lado, para obtener valores de resistencia, las muestras se sometieron a ensayos de compresión simple no confinada y CBR. Los resultados obtenidos en con el ensayo de compresión simple no confinada muestran que el contenido de vidrio pulverizado para obtener el mayor esfuerzo a la compresión es de 4%, obteniéndose un esfuerzo de 140 kN/m^3 , lo cual es un 350% mayor al esfuerzo obtenido en la muestra cuyo esfuerzo en condiciones normales fue 42 kN/m^3 . Con respecto al ensayo de CBR, la muestra de suelo natural mejoró el valor máximo de CBR pasando 3.9% a 6% cuando se le añadió con un 6% de vidrio, mostrando un incremento de 95%.

Asimismo, (Meysam, P., Mohammad, M., Vahid, T., 2018) en su artículo científico “*Experimental investigation of using a recycled glass powder-based geopolymer to improve the mechanical behavior of clay soils*”, menciona la eficacia del uso de vidrio reciclado pulverizado como material de refuerzo para la subrasante. Para esta investigación se usaron contenidos de vidrio reciclado en polvo que se añadió varió de 3%, 6%, 9%, 12%, 15%, 20%

y 25%. Los resultados de los ensayos demostraron que la adición de vidrio tiene una influencia insignificante en la compactación, por otro lado, con el ensayo de Compresión no confinada se determinó que la adicción de 15% de vidrio muestra el mejor comportamiento pasando de 0.26 MPa a 2.15 Mpa. Los resultados de las pruebas confirmaron que se requería una fuente rica en sílice, como polvo de vidrio, para una mejor estabilización del suelo.

Por otro lado, (Jinu Rose, B., Joseph Jolly. K., Juny Mareena, S., Mariya, Thomas., 2017) en su artículo científico *“Effect of Glass Powder on Engineering Properties of Clayey Soil”*, el cual se basa en el estudio de los suelos arcillosos los cuales tienen baja resistencia y otras alteraciones físicas. El objetivo principal de este estudio es investigar el uso de polvo de vidrio en aplicaciones geotécnicas y evaluar los efectos del polvo de vidrio sobre la resistencia al corte, la compresibilidad y los valores CBR de suelos arcillosos mediante la realización de ensayos de corte directo, ensayos de compresión no confinada y prueba de CBR. El material de vidrio en polvo se agrega al suelo en diferentes proporciones como 2%, 4%, 6%, 8% y 10% y encuentre el porcentaje en el que se obtiene la resistencia máxima del suelo. Con base a los resultados de laboratorio se concluye que la cohesión, el ángulo de fricción interna y los valores esfuerzo último del suelo aumentan con la adición de polvo de vidrio, cuyo óptimo contenido a añadir es de 8%, obteniendo un ángulo de fricción interna de 37° , cohesión de 0.0071 N/mm² y un esfuerzo último de 0.07 N/mm², lo cual les son mucho mayores a los valores de la muestra sin tratar que tenían un ángulo de fricción interna de 16° , cohesión de 0.0056 N/mm² y un esfuerzo último de 0.058 N/mm². Con respecto al ensayo de CBR se pudo observar que el óptimo contenido de vidrio en polvo a añadir es de 6%, obteniéndose un CBR de 12.8% a diferencia del 3% de CBR del suelo natural.

Con respecto a la influencia de la estabilización de suelos durante la etapa de diseño de pavimentos, (Pokharel, Sanat., Leshchinsky, D., 2018) menciona en su artículo científico *“Crack Propagation prediction of asphalt pavement after maintance as”* la necesidad de predecir el comportamiento mecánico de los terrenos de fundación durante la etapa de diseño, con el fin de que se modele una estructura resistente, capaz de distribuir esfuerzos uniformes sobre cada capa del pavimento flexible. Para validar la propuesta, el autor realizó una relación entre número estructural del pavimento y la longitud de las grietas iniciales en función de las cargas variantes aplicadas sobre la estructura, utilizando la metodología de diseño de pavimentos 93. El resultado obtenido por la predicción de nuevo valor de funcionalidad considerando valores admisibles de $CBR > 6\%$, lo que permitió identificar que el diseño puede soportar cargas acumuladas de Ejes equivalentes, hasta un valor de 10.45 veces más

que su valor inicial. Esto permite concluir que el diseño de fatiga se cumple a medida que transcurre el tiempo, la aparición de grietas aumenta.

Asimismo, (Romel, Hassan, 2018) en el artículo científico “Permanent Deformation Response of Polymer- Treated Pavement Foundation Material under Transmitted Stress Pulses”, menciona la aplicación del Diseño de pavimentos Mecanicista para obtener valores del comportamiento mecánico de la estructura de un pavimento flexible, a partir del uso de materiales granulares estabilizados con diferentes porcentajes de CBR. Se realizaron pruebas triaxiales de carga repetida y compresión no confinada sobre suelos estabilizados y no estabilizados con el fin de determinar valores de resistencia y deformación. Asimismo, el uso de la metodología mecanicista permitió realizar un modelo elástico de la estructura en función de CBR, con el fin de medir la influencia del suelo sobre el pavimento y su acción de amortiguación ante cargas. Los resultados obtenidos muestran una respuesta de deformación baja de suelos estabilizados en subrasante en comparación con suelos no estabilizados, que sufrieron un comportamiento plástico con tendencia a fallar.

En este sentido, la metodología Mecánico- Empírica según lo mencionan (Saxena, Tompkins, 2018) en su artículo científico “Evaluation of characterization and performance Modeling of cementitiously stabilized layers in the Mechanistic- Empirical Pavement Design Guide” permite correlacionar las propiedades mecánicas de las capas granulares del pavimento y proyectar un comportamiento mecánico del pavimento para su periodo de diseño. Las capas que conforman el pavimento están conformadas por una base y subbase estabilizadas con cemento, para aumentar la rigidez entre interfaces de capas y desarrollar propiedades que permitan mejorar el comportamiento a la fatiga de las capas superficiales de asfalto y la formación de surcos a corto y largo plazo. Posterior a ello, se hizo uso de la Guía de diseño de pavimento empírico mecanicista (MEPDG) para llevar el modelado de pavimentos flexibles, obteniendo como resultados una proyección del comportamiento resistente de cada capa ante carga cíclica aplicada. Se determinó una reducción de 3% de deformaciones y un incremento de resistencia en un 5%.

1.8 Hipótesis y objetivos

1.8.1 Hipótesis

La estabilización con polvo de fibra de vidrio reciclado incrementa la capacidad portante (CBR) de suelo arcilloso de la subrasante del Tramo I de la carretera Rodríguez de Mendoza- La Calzada- Soritor en un valor mayor de CBR de 10%.

1.8.2 Objetivo General

Mejorar el comportamiento mecánico de la estructura del pavimento flexible mediante la aplicación de polvo de fibra de vidrio reciclado sobre la subrasante de la Carretera Rodríguez de Mendoza- Empalme Ruta PE-5N- La Calzada- Soritor.

1.8.3 Objetivos Específicos

- Identificar y caracterizar las propiedades físicas del suelo de la zona de estudio y la metodología aplicada para la estabilización del tramo I de la carretera Rodríguez de Mendoza.
- Evaluar el porcentaje óptimo de polvo de fibra de vidrio que incrementa el valor de CBR del suelo arcilloso de subrasante a partir de estudios previos.
- Determinar la capacidad portante del suelo según su grado de compactación, en muestras estabilizadas con polvo de fibra de vidrio reciclado.
- Diseñar la estructura del pavimento flexible en condiciones de suelo estabilizado mediante la metodología AASHTO 1993.
- Simular el comportamiento mecánico del pavimento flexible en condiciones estabilizadas mediante el uso del software 3D Move.
- Comparar técnica y económicamente la propuesta de diseño del pavimento según el expediente técnico existente y la propuesta de la presente investigación.

1.9 Descripción del Contenido

El tramo La Calzada- Soritor (Km 0+000 – Km 14+200) de la carretera Rodríguez de Mendoza, presenta 23 zonas críticas con presencia de suelos arcillosos de alta plasticidad y condiciones de suelo sobresaturados con valores de CBR entre 2.9% y 5.4 %.En ese contexto, el Manual de carreteras: Suelos, Geología y Pavimentos, 2014, menciona que valores de CBR < 6%, son suelos de mala calidad con baja resistencia ante carga, por lo que se deben de reemplazar o mezclar por un tipo de suelo o aditivo adecuado para soportar la carga proveniente de las capas superiores del pavimento, y mejorar sus propiedades de resistencia ante efectos de tránsito y condiciones de clima.

La presente investigación pretende evaluar mediante un análisis técnico comparativo las mejoras en el comportamiento mecánico de un suelo arcilloso de alta plasticidad mediante la aplicación de polvo de vidrio reciclado como agentes estabilizadores sobre subrasante arcillosa de un pavimento flexible, bajo la metodología de diseño AASHTO 1993 y AASHTO 2008, frente a la estabilización con material over de préstamo, propuesta por JNR ingenieros como solución óptima para la problemática en estudio. La investigación está compuesta de 6 capítulos, que involucran procesos de recopilación de información y su posterior experimentación, los cuales se mencionan a continuación.

El primer capítulo está orientado a brindar información teórica para describir el tema a desarrollar en la investigación. Por un lado, se muestra información relacionada a conceptos clave de Pavimentos flexibles, así como aquellos factores que influyen en el comportamiento de la estructura del Pavimento durante su diseño. Por otro lado, se muestra información de las propiedades de suelos, métodos de estabilización y factores que influyen en el diseño del pavimento. Asimismo, se explican Métodos de Estabilización de Suelos arcillosos, mencionando materiales y metodologías de estabilización. Finalmente, se menciona la metodología de Diseño de espesores de Pavimento Flexible AASHTO 1993 y AASHTO 2008.

El segundo capítulo, comprende la Metodología de la Investigación. En esta se define la población y muestra a estudiar, así como las Variables de estudio e Instrumentos de

investigación. Además, se desarrolla el método y las técnicas de procesamiento, experimentación y análisis de datos para realizar la propuesta de estabilización y posterior diseño de pavimento.

El tercer capítulo, comprende información técnica de la zona de estudio, recopilada a partir del Expediente técnico. La información descrita del proyecto está orientada a clasificar la vía, tipo de suelos, delimitación de zonas vulnerables y definición de variables de Diseño de pavimento de pavimento existente. Por otro lado, se muestra la propuesta de estabilización con polvo de fibra de vidrio reciclado, y se determina a partir de antecedentes de propuestas de estabilización de suelos arcillosos un porcentaje óptimo de material estabilizante a considerar durante el proceso de estabilización.

El cuarto capítulo, contiene información de la Metodología a desarrollar durante la experimentación, Estudio de Exploración de suelos y Recopilación de características físicas y mecánicas del suelo natural, según información obtenida del Expediente técnico. Por un lado, se escriben los procedimientos a realizar durante los Ensayos de Laboratorio, según la normativa E 050 de Suelos y Cimentaciones. Por otro lado, se describe el proceso de Reconocimiento del terreno y Extracción de muestras en campo. Finalmente, se muestran resultados recopilados del Estudio de mecánica de suelos del Expediente técnico, de la carretera. Se presentan valores de caracterización física del suelo arcilloso natural, y valores de resistencia en términos de CBR.

El quinto capítulo, contiene información del procedimiento a realizar para validar la propuesta de estabilización de caracterización de suelos. Se describe el proceso de dosificación a muestras naturales, para lo cual se determinará el porcentaje óptimo de polvo de fibra de vidrio reciclado, a aplicar sobre suelo arcilloso a estabilizar. Para su validación, se realizarán Ensayos estándar de Laboratorio, como Granulometría (NTP 400.012), Límites de Atterberg (NTP 339.129), Contenido de Humedad (NTP 339.127), Proctor Modificado (NTP 339.41) con el fin de caracterizar y determinar la composición mineralógica y valores de compactación de suelos estabilizados. Por otro lado, se ejecutará el Ensayo especial de CBR (NTP 339.145), con el fin de obtener valores máximos admisibles de resistencia. Posteriormente, se realizará un análisis de resultados obtenidos en laboratorio.

El sexto capítulo, muestra el diseño del Pavimento Flexible de la carretera Rodríguez de Mendoza- PE5N- Tramo I: La Calzada- Soritor (0+000 Km – 14+200 Km), bajo la Metodología Empírica AASHTO 1993 y AASHTO 2008. La primera metodología se aplicó para realizar un diseño de pavimento flexible y determinar espesores de la estructura del pavimento. La segunda metodología se utilizó para obtener valores del comportamiento mecánico de la estructura del pavimento aplicando el software 3D Move, en términos de deformaciones y desplazamientos en cada capa del pavimento, para suelos estabilizados y no estabilizados. Posterior a ello, se realizará un análisis técnico- económico entre las propuestas de diseño de pavimento que plantea la consultora JNR y la propuesta de diseño de la presente investigación. Finalmente, se presentan conclusiones, comentarios finales y Anexos empleados en la elaboración de la investigación.

2 MARCO TEÓRICO

El capítulo recopila información orientada a describir el escenario donde se realiza la investigación, así como las diferentes propiedades y metodologías para caracterizar la resistencia de la subrasante y evaluar la capacidad estructural del pavimento.

Por un lado, se desarrollan conceptos básicos de la estructura de pavimentos, necesarios para comprender la función de pavimentos como transporte. Por otro lado, se mencionan conceptos de suelo que permiten entender las propiedades mecánicas que conforman a las capas del pavimento y su aporte estructural sobre el mismo. Por otro lado, se mencionan conceptos de la metodología Empírica (AASHTO 93) y Mecánica (AASHTO 2008), esencial para el diseño de pavimentos flexibles y determinar el comportamiento mecánico que desarrolla el mismo ante carga cíclica durante un periodo de diseño.

2.1 Pavimentos

2.1.1 Definición

El pavimento es un sistema conformado por un conjunto de capas colocadas y apoyadas sobre un terreno de fundación denominado subrasante con el propósito de recibir directamente las cargas del tránsito y transmitirla a los estratos inferiores en forma disipada durante un periodo de tiempo y condiciones ambientales de la zona (García, 2018).

2.1.2 Tipos de Pavimentos

2.1.2.1 Pavimentos rígidos

Estos tipos de pavimento están conformados por tres tipos de capa, tienen un costo inicial mayor que los pavimentos flexibles, puesto que el concreto incrementa su resistencia en el tiempo, permitiendo un intervalo más prolongado de serviciabilidad y bajo mantenimiento. Su diseño tiene un periodo de 20 años, posterior a ello se realiza un mantenimiento en las juntas de losas.

La primera capa que lo conforma es una capa de rodadura compuesta por material de concreto hidráulico, la cual es la que absorbe en mayor proporción las cargas impuestas por vehículos y efecto de condiciones climáticas. La segunda capa, es la capa de subbase conformada por material compactado en un 80% (MTC,2014). La tercera capa corresponde a la capa de subrasante o el terreno de fundación, la cual recibe las cargas de las capas superiores a esta.

2.1.2.2 Pavimentos flexibles

Estos tipos de pavimento están conformados por cuatro tipos de capa, tienen un costo menor que los pavimentos flexibles. Tiene un periodo de vida útil entre 10 a 15 años, posterior a ello se realiza un mantenimiento rutinario sobre la carpeta asfáltica.

Este tipo de pavimento está compuesto por cuatro tipos de capas. La primera capa corresponde a la Capa de rodadura o Carpeta asfáltica, compuesta por material bituminoso o asfalto. Esta capa recibe el impacto de la presión de vehículos en su mayor proporción, sin embargo, tiende a fallar y sufrir deflexiones, debido a que el espesor es mínimo. La segunda capa, es la capa de base, conformada por material granular en mayor proporción que finos, ambos de buena calidad, compactado en un 80% (MTC,2014). La tercera capa, es la capa de subbase, conformada por material de menor calidad, con un porcentaje de compactación no menor a 40% (MTC, 2014). La última capa corresponde a la capa de subrasante, la cual debe de ser una capa con una resistencia a la compresión, en términos de CBR no menor a 6% (MTC, 2014).

2.1.2.3 Pavimentos Semi flexibles

Este tipo de pavimento es conocido como pavimento Semi Flexible, Intertrabado o Adoquinado. Tiene un periodo de vida útil de 10 a 15 años y está compuesto por 3 capas.

La primera capa corresponde a la capa de rodadura de material de adoquinado de dimensiones de 20 y 10 cm y espesor variable entre 4 y 8 pulgadas. Asimismo, en la parte inferior de esta capa se coloca una cama de arena de 2 a 4 pulgadas de espesor. La segunda capa está compuesta de material granular grueso de calidad alta, con un grado de compactación mayor al 80% (MTC,2014). La tercera capa está compuesta de material granular de mediana a baja calidad, con un grado de compactación no menor al 40% (MTC,2014).

2.1.3 Comportamiento mecánico de Pavimentos

2.1.3.1 Distribución de esfuerzos

Los pavimentos rígidos presentan una distribución de esfuerzos más homogénea en cada capa de su estructura. La capa de rodadura absorbe los esfuerzos de compresión provenientes de los vehículos en movimiento, debido a que el concreto trabaja eficientemente a compresión, lo que permite distribuir menores cargas a la capa de subbase y subrasante.

Por otro lado, los pavimentos flexibles presentan una distribución menos homogénea, la carga se distribuye puntualmente, por lo que afecta zonas específicas a lo largo de la longitud

del pavimento, esto puede evidenciarse, en la figura 2. La resistencia a la compresión del material bituminoso en la carpeta de rodadura, en gran parte de casos, no satisface las cargas dinámicas durante su periodo de diseño. Esto desencadena, daño en las capas inferiores a la capa de rodadura, generando desprendimientos entre partículas por la presencia de presiones internas que derivan a la falla.

Los pavimentos semi flexibles, tienden a tener una combinación de los comportamientos de pavimentos rígidos y flexibles. Su comportamiento final varía en función del tráfico propuesto en el diseño de pavimentos y condiciones de humedad.

Figura 2: Distribución de Esfuerzos en Pavimentos

Figura 2: Distribución de Esfuerzos en Pavimentos. Adaptado de “Manual de Pavimentos”, por Cementos Pacasmayo, 2020.

2.1.3.2 Distribución de deflexiones

La distribución de deflexiones deriva del comportamiento para transferir cargas desde la capa de rodadura hasta la última capa que conforma al pavimento.

Los pavimentos rígidos presentan un cuenco de deflexiones homogéneo, a medida que la carga se introduce sobre cada capa de pavimento se disipa sobre toda el área que conforma a la capa, hasta llegar a la última capa, correspondiente a la capa de subrasante. Esta última, recibe esfuerzos reducidos y es capaz de transferirlos sobre toda el área que la componen, permitiendo reducir deformaciones y deflexiones en toda la estructura del pavimento.

Los pavimentos flexibles presentan un cuenco de deflexiones heterogéneo, en el que la carga no se distribuye homogéneamente sobre cada capa del pavimento, lo que produce que las capas superiores a la subrasante no tengan la capacidad de absorber cargas y las cargas afecten directamente la subrasante. La figura 3, describe lo mencionado gráficamente. Los

efectos de esto involucran desestabilidad en la estructura del pavimento y fallas de ahuellamiento y corte.

Por otro lado, los Pavimentos Semi Flexibles presentan un cuenco de deflexiones mixto, el cual varía en función del tránsito y condiciones de humedad previstos en el diseño, además de la influencia en el proceso constructivo entre bloques de adoquines, ya que de este último depende la compactación y calidad final de la estructura del pavimento.

Figura 3: Distribución de Deflexiones en Pavimentos

Figura 3: Distribución de Deflexiones en pavimentos. Adaptado de “Manual de Pavimentos”, por Cementos Pacasmayo, 2020.

2.2 Pavimentos Flexibles

2.2.1 Elementos y funciones del Pavimento Flexibles

Los pavimentos flexibles cuentan con una serie de capas conformadas desde la capa de subrasante hasta la carpeta de rodadura. A continuación, se mencionan las características más importantes de cada uno de los elementos que conforman el pavimento de concreto.

2.2.1.1 Carpeta de rodadura

Es la capa ubicada en la parte superior de la estructura del pavimento, que soporta directamente las solicitaciones del tránsito y aporta las características funcionales del pavimento. Está conformado por mezclas de concreto hidráulico o con mezclas asfálticas en frío o en caliente.

2.2.1.2 Base

Es la capa ubicada sobre la parte inferior de la capa de rodadura y está compuesta de material granular compactado con un CBR $\geq 80\%$ (MTC,2014). La cual, tiene como principal función contener y distribuir las cargas provenientes de la capa de rodadura.

2.2.1.3 Subbase

Es la capa situada en la capa inferior a la base y sobre la capa subrasante, constituida por material granular con un CBR $\geq 40\%$ (MTC,2014). Esta capa tiene la función de drenar y controlar la cantidad de agua cercana a la subrasante, es decir, es una capa de transición necesaria para evitar la baja cohesión de partículas.

2.2.1.4 Subrasante

La subrasante es la capa esencial de la estructura de un pavimento, ubicada en la parte inferior de la estructura del pavimento, como se muestra en la figura 4. Esta capa tiene la función de recibir, transmitir y distribuir las cargas provenientes de capas superiores producidas por el tránsito, durante un periodo de tiempo de diseño. Por lo tanto, debe de poseer la suficiente capacidad portante para resistir a esfuerzos de carga y descarga.

Figura 4: Distribución de Deflexiones en Pavimentos

Figura 4: Estructura de pavimento flexible. Adaptado de “Manual de Pavimentos”, por Cementos Pacasmayo, 2020.

2.3 Factores que influyen en el comportamiento mecánico de la estructura del pavimento flexible

2.3.1 Tránsito

Uno de los problemas más significativos de los pavimentos flexibles, es el exceso repetitivo de cargas de tránsito, que inducen a la fractura y desintegración de la carpeta asfáltica y base del pavimento, generando grietas transversales y longitudinales, deflexiones y deformaciones. Esto induce a realizar un diseño óptimo para su durabilidad y sostenibilidad en el tiempo.

El valor del efecto del tránsito de todo tipo de vehículo se refleja en valores de ejes simples equivalentes de 8.2 Ton de peso, comúnmente llamados ESALs (Equivalent single axle load, por sus siglas en inglés) o peso que soporta la estructura de pavimento para un período de diseño. La estimación de este valor se da mediante repeticiones de cargas de tránsito, a considerarse para el cálculo de acumulación de deformaciones sobre el pavimento (fatiga).

2.3.2 Condiciones ambientales

El clima es un factor que afecta directamente a los materiales que conforman cada capa del pavimento. Las variaciones de temperatura y precipitaciones son factores que influyen en la resistencia, la compresibilidad y cambios volumétricos de los suelos. La humedad de suelos en capas granulares, contribuyen en la reducción de la resistencia. A mayor sea el porcentaje de humedad en suelos, mayor es la masa de agua presente en los poros de este.

2.3.3 Tipos de suelo

El tipo de suelo es un aspecto de gran importancia, ya que determina la resistencia de toda la estructura del pavimento. Los suelos pueden aportar dichas propiedades, a partir de su textura, plasticidad, el tamaño y la distribución granulométrica de sus partículas, propiedades que tienen una influencia significativa en el comportamiento de los suelos bajo carga.

2.3.3.1 Granulometría

El ensayo de Análisis granulométrico permite definir el tamaño de partículas y medir la importancia que tendrán según la fracción de suelo que representen. La tabla 2, muestra la clasificación del suelo en función del tamaño de partículas.

Tabla 2: Tabla de tamaño de partículas según el tipo de material

Tipo de Material		Tamaño de partículas
	Grava	75 mm - 4.75 mm
		Arena gruesa: 4.75 mm - 2.00 mm
	Arena	Arena media: 2.00 mm - 0.425 mm
Material Fino		Arena fina: 0.425 mm - 0.075 mm
	Limo	0.075 mm - 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 m

Nota: En la tabla se indica el tamaño de partículas de suelos en mm. Adaptado de Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, por Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2014.

2.3.3.2 Compactación

La composición de cada capa de la estructura debe de tener un grado de compactación adecuado que permita que las partículas se encuentren unidas ante carga y eviten su disgregación. La capa de base debe poseer un grado de compactación de 80%, mientras que la capa de subbase un grado de compactación de 30%, según lo indica el Manual de Suelos y Pavimentos (2014).

2.3.3.3 Plasticidad

La plasticidad es la propiedad de estabilidad de suelos ante un determinado límite de humedad sin disgregarse. Para determinar la cantidad de plasticidad y clasificar el tipo del material en función de la humedad que posee se debe de realizar el Ensayo de Límites de Atterberg (MTC E 112). La transición de cada tipo de límite se observa en la figura 5. A continuación, se describe la definición de cada tipo de Límites según el Manual de Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013).

- *Límite Líquido (LL)*: El suelo pasa del estado semilíquido a un estado plástico.
- *Límite Plástico (LP)*: El suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y falla.

Figura 5: Límites de Attemberg

Figura 5: Límites de Attemberg. Adaptado de “Variación del contenido de humedad en suelos”, por Braja M., 2013.

2.3.4 CBR de subrasante

El Manual de Suelos y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013), menciona la influencia directa del CBR de subrasante en el diseño de pavimentos. En esa línea, de acuerdo con la composición y compactación de los materiales que la conforman, se

determinará el espesor de cada capa de la estructura del pavimento. La calidad de la subrasante se puede evaluar, mediante el Ensayo de CBR o Capacidad de soporte o Resistencia a la deformación que puede soportar el suelo antes carga cíclica y continua. La tabla 3, muestra la clasificación de subrasante en función del CBR que la compone.

Tabla 3: Categoría de subrasante en función a valor de CBR

Categoría de subrasante	CBR
S0: Subrasante inadecuada	CBR < 3%
S1: Subrasante pobre	De CBR $\geq$ 3% a CBR < 6%
S2: Subrasante regular	De CBR $\geq$ 6% a CBR < 10%
S3: Subrasante buena	De CBR $\geq$ 10% a CBR < 20%
S4: Subrasante muy buena	De CBR $\geq$ 20% a CBR < 30%
S5: Subrasante excelente	De CBR $\geq$ 30%

Nota: La tabla muestra la clasificación de la subrasante en función de la variación del valor de CBR en %. Adaptado de Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, por Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2014.

2.3.5 Módulo Resiliente de suelos en subrasante

El valor de Módulo resiliente describe la capacidad de corte del suelo luego de aplicarse sobre el mismo una carga de compresión repetida. La tabla 4 muestra categorías de valores de Módulo resiliente.

Tabla 4: Módulo resiliente según categoría de Subrasante

Módulo resiliente Kg/cm2	Categoría
$300 \leq MR < 500$	S1
$500 \leq MR < 700$	S2
$700 \leq MR < 1000$	S3
$1000 \leq MR < 1500$	S4
$MP \geq 1500$	S5

Nota: En la tabla se indica el valor de Módulo resiliente en kg/cm2 según la categoría de subrasante. Adaptado de Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, por Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014.

Para obtener el Módulo Resiliente a partir del CBR se emplea la ecuación 1, la cual correlaciona los valores de Modulo resiliente y CBR desarrollada por AASHTO en su guía mecánica de pavimentos (2008). Asimismo, se presenta a manera referencial, en el Anexo 1 las correlaciones típicas entre las características de los suelos y el módulo de resiliencia.

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

Ecuación 1: Ecuación para hallar el Módulo Resiliente, por AASHTO, 2008.

2.4 Límites del Comportamiento mecánico del Pavimento

2.4.1 Suelos arcillosos y su influencia en subrasante de pavimentos flexibles

Según el MTC (2014), la presencia de suelos expansivos conformados por materiales de características inadecuadas ubicados sobre estratos cercanos a la subrasante afecta directamente la funcionalidad y serviciabilidad de la estructura del pavimento.

El suelo arcilloso, es aquél en el que predominan partículas muy pequeñas, de menos de 0,001 mm. de diámetro. Este tipo de suelo está conformado en un mayor porcentaje de arcillas y en menor porcentaje de otras partículas más grandes como son el limo y la arena. Esta granulometría permite que el agua proveniente de lluvias o subterránea se infiltre fácilmente en la capa de suelo con riesgo de sufrir cambios volumétricos debido a los cambios en su contenido de humedad, lo que genera, grietas entre las paredes de la capa de suelo ante una presión constante y cíclica impartida por el peso de vehículos.

2.4.2 Propiedades de los suelos arcillosos

Existen factores que afectan el comportamiento expansivo de los suelos arcillosos que influyen en la funcionalidad del pavimento. A continuación, se describen los diferentes factores que poseen los suelos arcillosos, y se deben considerar durante la etapa de diseño del pavimento (Zornberg, 2017).

- **Mineralogía de las Arcillas:** Los minerales de arcilla presentan características expansivas. Los minerales de arcilla pueden sufrir cambios volumétricos cuando el tamaño de sus partículas es muy pequeño (< 0.10 µm).
- **Plasticidad:** Presentan un comportamiento plástico sobre un rango grande de contenidos de humedad, y que tienen un alto Límite Líquido, lo que indica un gran potencial de encogimiento e hinchamiento entre partículas.

- **Resistencia al corte:** Poseen un alto índice plástico, con un valor alto de expansión y contracción, por lo que tienen baja capacidad al soporte de carga de 3 kg/m².
- **Estructura y Arreglo de Partículas del Suelo:** Arcillas con una estructura alargada tienden a ser más expansivas que las arcillas con estructura dispersa, debido a su poca capacidad de adherencia por su forma, generando vacíos.
- **Densidad Seca Inicial:** Las partículas presentan una densidad alta de suelo, por lo que están flotando, lo cual indica que existen mayores fuerzas de repulsión entre partículas y por ende una tendencia a disminuir la cohesión y resistencia.
- **Variaciones de Humedad:** Los cambios de humedad en las zonas con presencia de drenaje o aguas subsuperficiales del perfil de suelo son los que definen el hinchamiento o encogimiento.
- **Permeabilidad:** Los suelos arcillosos son casi impermeables, puesto que permiten el paso de agua a través de vacíos, por esta razón es que estos tipos de suelos retienen gran cantidad de agua causando a su vez problemas para la construcción de pavimentos.
- **Relación de vacíos:** Los suelos arcillosos generalmente poseen una proporción de vacíos mucho más alta que la que es posible en suelos granulares. Esto se debe a la granulometría y baja cohesión entre partículas.
- **Grado de saturación:** Es la relación entre el volumen de agua y el volumen de vacíos de una muestra de suelo arcilloso, cuando mayor sea el grado de saturación mayor será la permeabilidad y baja estabilidad del suelo ante carga aplicada.

2.5 Estabilización de Suelos en subrasante

2.5.1 Importancia de estabilización de subrasante en Pavimentos flexibles

La estructura del pavimento debe de distribuir las fuerzas aplicadas en la superficie impuestas por el tráfico de tal manera que las cargas no sean puntuales y el suelo posea la suficiente capacidad portante de amortiguar dichas fuerzas sin fallar. Cada capa del pavimento debe estar en condiciones de soportar el tráfico esperado durante el período para el cual se diseña, con el objeto de que todas lleguen al final de su vida útil con un deterioro similar de fatiga.

2.5.2 Estabilización de suelo arcilloso

El principal objetivo de la estabilización de suelos es aumentar la resistencia mecánica entre partículas, asegurando que las condiciones de humedad del suelo varíen dentro de los rangos adecuados. Por otro lado, la selección del método de estabilización de suelos se debe de realizar el proceso que se muestra en la figura 6. Asimismo, los métodos existentes de estabilización de suelos en el país se muestran en el anexo 1.

Figura 6: Diagrama de Flujo del proceso de selección del tipo de Estabilización de suelos

Figura 6: Diagrama de flujo del Proceso de selección del Tipo de estabilización de suelos. Adaptado de “Método de estabilización” Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, por, 2014.

2.6 Polvo de fibra de vidrio como agente estabilizante

La fibra de vidrio proviene del reciclaje de botellas, empaques medicamentos, equipos de protección individual, vidrios laminados fabricados en sectores industriales y de construcción. El reciclaje de estos materiales, se da mediante la trituración y molienda del mismo en plantas de reciclaje y tratamientos de los mismos. Las formas de tratamiento son en fibras y polvo fino (Zomberg, 2017).

2.6.1 Composición de Polvo de Fibra de vidrio

Los materiales que conforman a este tipo de residuos son de tipo sílice, polímeros y óxidos, los cuales aportan propiedades mecánicas de rigidez y resistencia. La composición por material en porcentajes se presenta en la figura 7.

Figura 7: Composición química del Polvo de fibra de vidrio reciclado

Figura 7: Reacciones químicas entre Componentes de arcilla - Polvo de residuos electrónicos, por Elaboración propia, 2020.

2.6.2 Propiedades mecánicas del Polvo de fibra de vidrio reciclado

Las propiedades que posee el Polvo de fibra de vidrio reciclado están relacionadas al incremento de resistencia, y cohesión entre partículas en suelos arcillosos. Asimismo, brindan mayor elasticidad, resistencia a tracción, compresión, flexión, y elevada resistencia al corte.

El desarrollo de las propiedades mencionadas anteriormente ocurren durante procesos químicos entre suelo y agente estabilizante. Los componentes de la arcilla, como la Alúmina (Al₂O₃) constituida de partículas de sílice y Silicato de Aluminio (2SiO₂) reaccionan con los componentes del polvo de fibra de vidrio, tales como Polímeros (CH₂-CH-CH₂) y Vidrio compuesto de Óxido de Silicio (SiO₂), Carbonato de Sodio (Na₂CO₃), Carbonato de Calcio (CaCO₃), formando compuestos que incrementan las propiedades de cohesión, resistencia y elasticidad.

La reacción química producida se obtiene la Zeolita Modificada que permite incrementar los valores de pH, lo que hace menos ácido el suelo y permite que la cohesión se desarrolle. Asimismo, se obtiene la Etringita, la cual aporta valor mecánico sobre el suelo, ya que incrementa la resistencia ante estiramiento longitudinal provocado por corte e incrementa la elasticidad ante el estiramiento transversal. La figura 8 muestra el proceso de reacción de suelo y material estabilizante y obtención de compuestos estabilizados del suelo.

Figura 8: Reacciones químicas entre componentes de arcilla- Polvo de fibra de vidrio

Figura 8: Reacciones químicas entre Componentes de arcilla - Polvo de fibra de vidrio, por Elaboración propia, 2020.

2.6.3 Acción de polvo de fibra de vidrio como material estabilizante de suelos

Las propiedades físicas y mecánicas del agente estabilizante brindan al suelo arcilloso son el incremento a la compresión y tracción, lo cual permite reducir la ocurrencia de agrietamientos y fallas sobre la capa de subrasante. La tabla 5 muestra los valores de propiedades mecánicas del polvo de fibra de vidrio reciclado por cm^2 de suelo arcilloso. El polvo de fibra de vidrio molido sigue un proceso de fabricación según la normal ASTM D578-99, inciso 4.2.2.

Tabla 5: Valores de propiedades mecánicas del Polvo de fibra de vidrio reciclado

Propiedades mecánicas	Unidad	Valor
Peso específico	g/cm^3	2.9
Resistencia a la compresión	Mpa	1080
Resistencia a la tracción	Mpa	69
Dureza	-	7

Nota: En la tabla se indica valores de propiedades mecánicas de resistencia a la compresión, tracción y dureza del Polvo de fibra de vidrio reciclado ante carga permanente y momentánea en kg/cm^2 . Adaptado de Effect of Glass Powder on Engineering Properties of Clayey Soil, por Jinu, Jolly, Mariya, 2017.

2.6.4 Procedimiento para la obtención de polvo de fibra de vidrio molido

Los procedimientos para la obtención de fibra de vidrio reciclada se realizan mediante medios mecánicos y de termofusión. Este material es reciclable en un 100% debido a que durante los procesos mecánicos y de fusión no se produce pérdida de material, con cada tonelada de fragmentos de vidrio limpio se obtiene otra tonelada de fibra de vidrio nuevo (Camelo, 2017). Para realizar este proceso se utilizan diferentes equipos, como el uso de la Máquina de los ángeles, la cual ejerce presión sobre el vidrio, el cual se tritura. Posteriormente, el material granulado obtenido se tamiza entre las mallas N°40 y N°200 o 5/8" con el fin de obtener una granulometría fina (García & Morales, 2018).

Por un lado, la fibra de vidrio se obtiene mediante una alta densidad a partir de la molienda de fibras cortas, bajo un sistema de resinas en seco como húmeda. Para mejorar su dispersión en productos floculares pueden requerirse la ejecución de sistemas RTM y RIM. Ambos sistemas inyectan a un molde con presión alta y a una temperatura de 85°C en Tanques resistente a alta presión y preparados para recibir procesos de extrusión. Por otro lado, los resultados obtenidos pueden variar en función al control de tiempo ejercido durante la presión impartida.

Figura 9: Sistemas de producción de polvo de fibra de vidrio, por Tecnología de plásticos, 2015.

Asimismo, para incrementar la viscosidad y la resistencia de este material durante su obtención, se añaden reactivos líquidos o partículas de polímeros (polipropileno, poliureas, poliisocianuratos, poliesters, poliepoxidos, nylon). Los polímeros PDCCPD tienen una alta rigidez, excelente resistencia al impacto, así como un buen aspecto superficial y resistencia a la corrosión lo que lo hace ideal para una amplia gama de aplicaciones. Mediante el uso de catalizadores se hace posible controlar el punto de inicio de reacción. La figura 10 muestra el proceso de obtención del polvo de fibra de vidrio reciclado.

Figura 10: Procedimientos de mezcla de fibra de vidrio reciclada y aditivos de resistencia, por Befesa plásticos, 2015.

El proceso de molienda incluye procedimientos de refinamiento y adición de aditivos los cuales se ejecutan en una planta compuesta por contenedores, silos y calderas que permiten la obtención de polvo de fibra de vidrio. La energía provista para la producción de Polvo de fibra de vidrio es de 17 GJoules por tonelada producida.

Figura 11: Planta de tratamiento de fibra de vidrio, por Befesa plásticos, 2015.

Las características del producto obtenido luego de su tratamiento y disposición final se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 6: Planta Tratamiento de Fibra de vidrio

Descripción del Producto	Tipo de Sizing	Diámetro promedio del Filamento	Densidad Nominal	Apariencia
731 DA 1/8"	Cationico	15.8 micrómetros	0.190 g/cm ³	Flocular
731 DA 1/16"	Cationico	15.8 micrómetros	0.375 g/cm ³	Flocular
737 BD 1/16"	Silano	15.8 micrómetros	0.620 g/cm ³	En Polvo

Nota: En la tabla se indica valores de diámetros de partículas y densidad nominal por tipo de fibra de vidrio producida en horno. Adaptado de Manual de Tratamiento de Fibra de vidrio, por Befesa Plásticos, 2015.

2.6.5 Empresas recicladoras de polvo de fibra de vidrio reciclado

Según información del Plan de Ambiente en Acción promovido por el Ministerio del Ambiente (2017) en el Perú solo existen 30 Plantas tratadoras de residuos de vidrio ubicadas en los departamentos de Callao, Piura, Arequipa, La libertad y Cusco. Las plantas reciclan y tratan en su gran mayoría vidrios provenientes de actividades de construcción de tanques y recipientes industriales, acabado de pavimentos asfálticos, revestimiento de elementos de plástico, entre otros productos usados en actividades de construcción, industriales y de minería.

2.7 Metodología de Diseño AASHTO 1993

La metodología AASHTO 1993, es una guía para el diseño estructural de pavimentos, que tiene como objetivo determinar el espesor de capas granulares y capas de rodadura capaces de soportar solicitaciones de tránsito vehicular. La ecuación 2 muestra el cálculo del número estructural "SN".

$$\log_{10} (W_{18}) = Z_R \times S_0 + 9.36 \times \log_{10} (SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} (\Delta PSI)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10} (M_R) - 8.07$$

Ecuación 2: Ecuación Empírica para determinar el número estructural, por AASHTO, 1993.

Donde:

SN: Número estructural

W18: Número de ejes equivalentes.

Zr: Desviación estándar normal

S0: Error de combinación estándar

Pi: Serviciabilidad inicial de la vía

A continuación, se describen cada una de las variables mencionadas:

- **Número de Ejes Equivalentes (W18):** Es un valor predictivo del peso por cada aplicación axial de vehículos que circulan por la vía. La predicción se realiza en función de información de IMDA y periodo de diseño de pavimento. El valor obtenido de la predicción se basa en repeticiones de carga de 8.2 Tn por volumen de tránsito de carril de diseño. Este factor se llama ESAL (Equivalent Axial Load Factor) por sus siglas en inglés.
- **Confiabilidad (%R):** Representa la probabilidad que una determinada estructura se comporte de acuerdo con lo previsto durante su periodo de diseño. Los valores se obtienen a partir del tráfico de diseño de la vía los cuales se observan en el anexo 24.
- **Desviación estándar normal (Zr):** Representa la variabilidad esperada de la predicción del tránsito y de factores ambientales y de construcción que afectan el comportamiento del pavimento. La guía AASHTO recomienda adoptar valores entre 0.40 y 0.50 o un promedio de 0.45. Los valores se observan en el anexo 25.
- **Error de combinación estándar:** Valor significativo que indica la variabilidad de la predicción durante el diseño.
- **Serviciabilidad inicial de la vía (Pi):** Refleja la comodidad de circulación ofrecida al usuario, varía de 0 a 5, donde 5 refleja una comodidad teórica muy buena y 0 la peor condición. Esto se observa en el anexo 26.
- **Serviciabilidad final (Pt):** Es la condición de una vía que requiere de algún tipo de rehabilitación. Los valores se observan en el anexo 26.
- **Variación de serviciabilidad (Δ PSI):** Diferencia entre la serviciabilidad inicial y terminal asumida para el proyecto en desarrollo.
- **Módulo resiliente de la subrasante (Mr):** Capacidad portante del terreno de fundación según el tipo de CBR que posee. Los valores se observan en el anexo 27.

- **Número estructural (SN):** Representa un valor numérico de la capacidad del pavimento en conjunto y permite determinar el conjunto de espesores de capas de la estructura del pavimento.

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

Ecuación 3: Número estructural del pavimento, por AASHTO, 1993.

C. Asfáltica	D1
Base	D2
Sub-Base	D3
Sub-Rasante	

Donde:

a_1, a_2, a_3 : Coeficientes estructurales de la carpeta asfáltica, base y subbase

D_1, D_2, D_3 : Números estructurales de la carpeta asfáltica, base y subbase

m_2, m_3 : Coeficientes de drenaje para capas de base y subbase

Por otro lado, para el cálculo de número estructurales de cada capa se utilizan las siguientes fórmulas. Asimismo, los coeficientes de drenaje de capas granulares se obtienen a partir del uso de nomogramas evidenciados en los anexos 18, 19 y 20.

- **Cálculo del espesor de Carpeta asfáltica**

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1}$$

$$SN_1 = a_1 * D_1$$

Ecuación 4: Valores de espesor y numero estructural de carpeta asfáltica, por AASHTO, 1993.

- **Cálculo del espesor de la Base**

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 * m_2}$$

$$SN_2 = D_2 * a_2 * m_2$$

Ecuación 5: Valores de espesor y número estructural de base, por AASHTO, 1993.

- **Cálculo del espesor de la Sub base**

$$D_3 = \frac{SN_3 - SN_2}{a_3 * m_3}$$

$$SN_3 = D_3 * a_3 * m_3$$

Ecuación 6: Valores de espesor y número estructural de subbase, por AASHTO, 1993.

2.8 Metodología de Diseño AASHTO 2008

Es la metodología más actualizada para el diseño de pavimentos basada en principios Mecánicos y Empíricos mediante el uso de modelos matemáticos y de regresión determinar tensiones, deformaciones y desplazamientos de la estructura del pavimento. Asimismo, considera diferentes escenarios de suelo, tráfico y clima, parámetros que correlaciona para predecir el daño que sufre la estructura del pavimento bajo en un periodo de tiempo. El procedimiento de análisis de la Guía Mecánico Empírica mencionado, se muestra en la el anexo 21.

2.8.1 Indicadores de desempeño predictivo

Los indicadores de desempeño están relacionados a predecir deformaciones y agrietamientos en capas del pavimento según las características atribuibles a las condiciones ambientales. A continuación, se detallan consideraciones para cada indicador.

- **Deformaciones en capas:** Representan depresiones longitudinales resultantes de la deformación plástica o permanente en cada capa del pavimento.
- **Agrietamiento:** Los tipos de agrietamiento proyectado son de tipo piel de cocodrilo producido por falla de fatiga y longitudinal producido por una falla de ahuellamiento.
- **Materiales:** Considera simulaciones del módulo de reacción del suelo en las diferentes capas, bajo el valor de CBR.
- **Clima:** Considera el valor de temperatura de la carpeta asfáltica y condiciones de precipitaciones.
- **Tránsito:** Considera valores de Ejes Equivalentes y periodo de diseño de la vía, generando espectros de carga.

2.8.2 Análisis de Predicción de la falla

La forma en la que predice estos deterioros es mediante el enfoque de acumulación de daño en función del tiempo, tránsito y condiciones ambientales de suelo y clima. Los modelos de deterioro de la guía fueron calibrados basándose en los tramos de prueba del LTPP (AASHTO 2002).

3 METODOLOGÍA

3.1 Nivel de Investigación

El nivel de la presente investigación es de tipo descriptivo orientado a describir la influencia de una subrasante arcillosa de alta plasticidad estabilizada con polvo de fibra de vidrio reciclado sobre el diseño de pavimentos flexibles (Benny, Sebastian & Juny, 2017). En este sentido, se describen las propiedades de resistencia de partículas de suelos de subrasante en términos de CBR de muestras estabilizadas.

3.2 Diseño de Investigación

El diseño de investigación es de tipo experimental ya que se realizan pruebas de laboratorio a suelos estabilizados con polvo de fibra de vidrio reciclado mediante ensayos físicos y mecánicos. Posteriormente, se realiza un diseño de espesores definitivo bajo la Metodología AASHTO 1993 y un modelado del comportamiento mecánico del pavimento estabilizado bajo la Metodología AASHTO 2008 usando el software de diseño 3D Move.

3.3 Procedimiento

El procedimiento desarrollado en la presente investigación está dividido en cuatro etapas, las cuales se detallan a continuación.

La primera está orientada en realizar una investigación de tipo descriptiva de las propiedades ingenieriles de resistencia mecánica de los materiales de polvo de fibra de vidrio como material estabilizante y describir su influencia sobre el incremento de CBR en suelos arcillosos. La metodología empleada para la obtención de las propiedades del suelo estabilizado se basa en los resultados de la Investigación *“Efecto del vidrio triturado en las propiedades ingenieriles de un suelo arcilloso”* (Saved & Chakraborty, 2020), la cual plantea el uso de un porcentaje óptimo de polvo de vidrio reciclado para estabilizar suelos arcillosos e incrementar valores de resistencia a la compresión y al corte en los mismos.

La segunda etapa describe el Estudio de exploración de suelos realizado para la extracción de muestras de campo de la zona de estudio para su posterior estabilización. Paralelamente, se proveerá de polvo de fibra de vidrio reciclado, para su posterior aplicación sobre muestras de campo sin estabilizar. Asimismo, se recopila información de las características físicas y mecánicas del suelo en condiciones naturales, según información del expediente técnico.

La tercera etapa, describe los procesos realizados en laboratorio para la ejecución de ensayos. Estos se dividen en dos tipos, los Ensayos estándar de caracterización de muestras suelos

estabilizados y los Ensayos especiales que validan la hipótesis de la presente investigación. Los primeros están orientados a obtener información de las características físicas del suelo estabilizado, tales como Granulometría (NTP 400.012), Límites de Atterberg (NTP 339.129), Contenidos de humedad (NTP 339.127), Compactación de suelos (Proctor Modificado– NTP 339.142). Mientras que los segundos están orientados en obtener valores de esfuerzos y capacidad portante del suelo al aplicarle carga puntual, tales como el Ensayo de CBR (NTP 339.14).

La cuarta etapa está relacionada al diseño de espesores del pavimento flexible de la carretera en estudio bajo la metodología AASHTO 1993, en función a un valor real mejorado de CBR obtenido durante la experimentación realizada en la tercera etapa. Posterior a ello, se realizará un modelamiento del pavimento en condiciones estabilizadas, que permitan determinar valores de desplazamientos y deflexiones que sufre el pavimento, mediante el software computacional 3D Move. Esto permitirá, realizar un análisis del comportamiento mecánico de la estructura y la influencia de la estabilización sobre la funcionalidad que desarrolla la vía en estudio.

Finalmente, se realiza un análisis comparativo técnico y económico de la estructura del pavimento flexible en cada capa que lo conforma. Se ha utilizado en esta etapa, la metodología AASHTO 1993, para el diseño de espesores propuestos por la consultora JNR, por lo que se desea continuar bajo el mismo escenario.

3.3.1 Variables de estudio y operacionalización

Tabla 7: Variables de estudio y operacionalización

Variable	Dimensión	Indicador	Unidad de medida	Instrumento de investigación
Independiente				
X: Subrasante arcillosa	Granulometría e IP de suelos	Tipo de suelo (Clasificación AASHTO)	Pascales	Ensayo de CBR
Dependiente				
Y: Comportamiento mecánico de la estructura del pavimento	Propiedades mecánicas de resistencia	Deformaciones y deflexiones en capas de pavimento	Milímetros	Modelamiento de Pavimento en software Windepav

Nota: Descripción e identificación de variables de la investigación. Elaboración propia, 2020.

3.3.2 Metodologías e Instrumentos de obtención de datos

Las metodologías empleadas en la investigación corresponden al Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC y la Metodología AASHTO 1993. La primera metodología ofrece documentos técnicos de carácter normativo a considerar durante la ejecución de ensayos de laboratorio. La segunda metodología brinda información de criterios de diseño de espesores de pavimentos flexibles y tomando en consideración las características y comportamiento de materiales bajo condiciones de tráfico y clima.

Finalmente, el tercer grupo está compuesto de cálculos e iteraciones realizadas para determinar el comportamiento mecánico de la estructura del pavimento flexible bajo un modelado del pavimento en condiciones estabilizadas con los softwares 3D Move.

3.3.3 Procesamiento y Análisis de datos

El procesamiento de los datos se hizo a través de tablas resumen con información característica del diseño de pavimentos descrito en el expediente técnico. Por otro lado, el análisis de datos se basó en un análisis estructural del comportamiento mecánico del pavimento en escenarios de subrasantes no estabilizadas y estabilizadas.

4 FASE PRELIMINAR: ZONA DE ESTUDIO Y PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN PRELIMINAR

4.1 DESCRIPCIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO

La carretera Rodríguez de Mendoza- Empalme Ruta PE-5N, Tramo I: La calzada – Soritor, se encuentra ubicada en la provincia de Moyobamba, Región de San Martín. La zona de estudio se delimitará al tramo I que comprende las progresivas 0+000 Km a 12+400 Km.

Figura 13: Ubicación geográfica Carretera Rodríguez de Mendoza

Figura 13: Ubicación geográfica de la Carretera Rodríguez de Mendoza, Adaptado de “Expediente técnico Carretera Rodríguez de Mendoza” por JNR., 2013.

4.1.1 Descripción de la zona de estudio

La tabla muestra información de clasificación de la vía, condiciones ambientales y diseño vial de la carretera, a partir de información mencionada por el expediente técnico de la consultora JNR. La tabla 8 describe la zona de estudio.

Tabla 8: Descripción de la zona de estudio

CLASIFICACIÓN BÁSICA DE LA VIA	
Clasificación de la Red vial	
(Función)	Carretera Secundaria
Eje Multimodal	IIRSA Norte
Red integral vial	Lambayeque, Chiclayo, Tarapoto
Zona de estudio	0+000 Km - 12+400 Km
Demanda de tráfico	1500 veh/día
CONDICIONES AMBIENTALES	
Orografía	Cordillera de los andes
Altitud	843.60 msnm - 1111.24 msnm
Relieve	Accidentado
Temperatura promedio	18°C
Precipitaciones	Lluvias intensas
DISEÑO VIAL	
Ancho de vía	3.50 m - 4.50 m
Pendientes	3.41% - 4.98%
Geometría	Sinuosa

Nota: En la tabla se indica información de la vía en estudio. Adaptado de “Expediente técnico Carretera Rodríguez de Mendoza”, por JNR., 2014.

4.1.2 Características del suelo en zona de estudio

El estudio de suelos realizado por la Consultora JNR brinda información de los resultados obtenidos de la caracterización de la subrasante durante exploraciones en campo. Las muestras extraídas fueron estudiadas en laboratorio, mediante ensayos de clasificación de

suelos mostrados en la tabla 9. Asimismo, se presentan resultados obtenidos durante la exploración de campo y caracterización del terreno de fundación y capas del pavimento que indica el expediente en la tabla 10.

Tabla 9: Ensayos de laboratorio en muestras representativas de suelos

Ensayos estándar de Suelos	Normativa
Análisis Granulométrico por tamizado	MTC E-107
Límites de Atterberg	MTC E-1010
Contenido de humedad	MTC E-108
Clasificación SUCS	ASTM D-2487
Clasificación AASHTO	AASHTO M-145
Ensayos de Compactación de suelos	Normativa
Proctor Modificado	MTC E-115
Relación de soporte de California (CBR)	MTC E-132

Nota: En la tabla se indican los Ensayos de laboratorio y Normativas, para clasificación de tipo de suelos y compactación. Adaptado de “Expediente técnico Carretera Rodríguez de Mendoza”, por JNR., 2014.

Tabla 10: Resultados de Ensayos de laboratorio en muestras representativas de suelos naturales

Capas granulares	Clasificación SUCS	Clasificación AASHTO	CBR (%)	Humedad (%)	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico (%)
Carpeta asfáltica	-	-	-	-	-	-	-
Base	GW	A-1a	60.00	16.96	50.92	25.10	25.82
Subbase	SM	A-2-4	40.00	19.09	58.11	31.23	26.88
Subrasante	CL	A-6	3.70	23.00	54.52	28.17	26.35

Nota: En la tabla se indica información resultados de ensayos físicos y mecánicos a suelo natural. Adaptado de “Expediente técnico Carretera Rodríguez de Mendoza”, por JNR., 2014.

4.1.3 Descripción de método de estabilización aplicado en la Carretera Rodríguez de Mendoza

La baja capacidad portante y la expansividad que presentan los suelos finos de subrasante, son los problemas más críticos presentes en el tramo I seleccionado como estudio. La propuesta realizada por la consultora JNR está enfocada en eliminar el material existente y colocar material granular de cantera (OVER 4 a 6”) con espesores de 80 cm sobre 23 zonas críticas identificadas (Anexo 2). La tabla 10 indica el espesor de reemplazo a utilizar según el tráfico del tramo I de la carretera en estudio.

Tabla 11: Espesores recomendados para Estabilización por Sustitución de Suelos según el tráfico proyectado

Período de Diseño	Tráfico		Espesor de Reemplazo con Material CBR < 10% (cm)
Tr= 10 años	3 000 001	5 000 000	75
Tr= 20 años	5 000 001	7 500 000	80
Promedio espesor de reemplazo de material de préstamo			80

Nota: En la tabla se indican los espesores de sustitución de suelos con CBR > 10%. Adaptado de Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, por Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014.

La norma EG-2000 indica combinar los suelos críticos con materiales de préstamo, escarificando previamente 15 cm, posterior a ello se colocará el material de préstamo bajo condiciones de humedad y compactación controlada.

4.2 Propuesta de estabilización y compatibilidad con polvo de fibra de vidrio

4.2.1 Propiedades de Polvo de fibra de vidrio

Según Javed & Chakraborty, 2020, el uso de polvo de vidrio en diferentes porcentajes incrementa la cohesión en suelos finos. La aplicación de polvo de fibra de vidrio en un 10% permite incrementar el valor de CBR en suelos arcillosos hasta en un valor de 15.8%. Este porcentaje óptimo, permite incrementar la resistencia a la compresión en un 50% y resistencia al corte en un 30%. Asimismo, permite reducir el límite plástico, lo que indica que la arcilla desarrolla un comportamiento elástico.

4.2.2 Compatibilidad entre polvo de fibra de vidrio y suelo arcilloso

4.2.2.1 Porcentaje óptimo de Polvo de fibra de vidrio reciclado

El polvo de fibra de vidrio es considerado como un material reciclado fino con alto porcentaje de sílice, como lo es el cemento. Por lo tanto, la norma NTP 339.134:1999 define que la estabilización con cemento debe estar entre rangos de 2% a 12% en peso seco de la muestra.

4.2.2.2 Normativa de dosificación de suelos arcillosos

En función de los antecedentes de estabilización de polvo de fibra de vidrio reciclado y normativa nacional, se ha seleccionado trabajar con un porcentaje de polvo de fibra de vidrio de 12%.

4.2.2.3 Dosificación de polvo de fibra de vidrio preliminar

La tabla 12 muestra cálculos realizados a partir del análisis realizado por Javed & Chakraborty, 2019, en su estudio de estabilización de suelos arcillosos con polvo de vidrio reciclado. Se realizaron tendencias de valores que describen el comportamiento mecánico del suelo de subrasante en función de suelos arcillosos en puntos críticos del Tramo I (0+000 Km – 14+200 Km) de la carretera Rodríguez de Mendoza.

Tabla 12: Influencia del % de polvo de fibra de vidrio reciclado en propiedades mecánicas de suelos arcillosos

% Óptimo Polvo de fibra de vidrio reciclado	Límites Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice de Plasticidad (%)	Gravedad específica (g/cm3)	Óptimo contenido de humedad (%)	Incremento de CBR en (%)	Resistencia a la compresión (kg/cm2)	Resistencia al corte (Kg/cm2)
0%	50%	28%	19%	2.64	17%	15.60%	0.63	0.18
2%	45%	26%	19%	1.89	17%	2.45%	0.73	0.54
4%	41%	23%	17%	1.95	16%	4.20%	0.87	0.64
6%	38%	22%	17%	2.00	15%	6.50%	1.05	0.77
8%	36%	19%	16%	2.03	13%	8.90%	1.34	0.99
10%	34%	18%	16%	2.03	11%	10.40%	1.20	1.06
12%								

Nota: En la tabla se indican valores de parámetros de caracterización y resistencia de suelos arcillosos estabilizados con polvo de fibra de vidrio reciclado. Elaboración Propia (2020).

A partir de los resultados obtenidos, se ha determinado que el porcentaje óptimo de polvo de fibra de vidrio reciclado a utilizar durante la estabilización de suelos arcillosos es de 10%.

Se ha seleccionado dicho porcentaje, ya que es el que tiene mayor valor de densidad específica, lo que brinda estabilidad a las partículas del suelo ante carga y valor de CBR.

El porcentaje óptimo de 10% en peso seco permite incrementar un valor de CBR crítico en un 15.8%, cumpliendo con lo planteado para el suelo en estudio en la ecuación 8. Esto permite incrementar el valor de CBR de 5.4% a 15.8%, valor que es competitivo y tiene un mejor performance, que el valor de 15.33% planteado en el expediente técnico. A continuación, se muestran gráficos de las tendencias de propiedades mecánicas del suelo estabilizado con polvo de fibra de vidrio.

Figura 14: Variación de densidad específica de suelos en función del porcentaje de polvo de fibra de vidrio utilizado

Figura 14: Variación de la densidad específica en suelos estabilizados con diferentes dosificaciones de polvo de fibra de vidrio utilizado, por Elaboración propia, 2020.

Figura 15: Variación de Límite líquido de suelos en función del porcentaje de polvo de fibra de vidrio utilizado

Figura 15: Variación del límite líquido en suelos estabilizados con diferentes dosificaciones de polvo de fibra de vidrio, por Elaboración propia, 2020.

Figura 16: Variación de Límite líquido de suelos en función del porcentaje de polvo de fibra de vidrio utilizado

Figura 16: Variación del límite líquido en suelos estabilizados con diferentes dosificaciones de polvo de fibra de vidrio reciclado, por Elaboración propia, 2020.

Figura 9: Variación de valores de Índice de Plasticidad en suelo estabilizados con Polvo de fibra de vidrio

Figura 17: Variación del valor de Índice de plasticidad en función del porcentaje de polvo de fibra de vidrio utilizado, por Elaboración propia, 2020.

Figura 10: Variación de valores de resistencia a la compresión en suelo estabilizados con Polvo de fibra de vidrio

Figura 18: Incremento de la resistencia a la compresión (kg/cm²) en función del porcentaje de polvo de fibra de vidrio utilizado, por Elaboración propia, 2020.

Figura 19: Variación de valores de resistencia al corte en suelo estabilizados con Polvo de fibra de vidrio

Figura 19: Incremento de la resistencia al corte en función del porcentaje de fibra de vidrio reciclado, por Elaboración propia, 2020.

Asimismo, en la tabla 12 presentan valores del Módulo Resiliente en función del valor de CBR incrementado por la estabilización del suelo con polvo de residuos electrónicos. El valor seleccionado como valor de entrada para el diseño de pavimento flexible, corresponde a un porcentaje de 12%, lo cual brinda un incremento del suelo natural de un CBR de 12.40% a un Módulo resiliente de 12,799.14 psi. La variación de los resultados del módulo resiliente, se muestran en la tabla 10.

Tabla 13: Variación de valores de CBR y Módulo resiliente en escenarios de suelo crítico y estabilizado

CBR (%) Crítico	<	% Óptimo Polvo de fibra de vidrio	CBR (%)	Módulo Resiliente crítico (psi)	Módulo Resiliente incrementado (psi)
3.70		0	3.70	1,801.33	5,902.55
3.70		2	4.20	1,801.33	6,401.33
3.70		4	4.60	1,801.33	6,785.09
3.70		6	6.50	1,801.33	8,465.56
3.70		8	8.90	1,801.33	10,351.43
3.70		10	10.4	1,801.33	11,436.48
3.70		12	12.40	1,801.33	12,799.14

Nota: En la tabla se indican valores de CBR y Módulo resiliente críticos y modificados por la estabilización de suelos arcillosos con polvo de residuos electrónicos en la zona de estudio, por Elaboración Propia, 2020.

Figura 20: Variación del valor de CBR

Figura 20: Incremento de CBR en función del porcentaje de polvo de fibra de vidrio utilizado, por Elaboración propia, 2020.

Asimismo, en la figura 18 se presenta la variación del Módulo resiliente en función del incremento del CBR por la adición de polvo de fibra de vidrio. Finalmente, el anexo 22 muestra la variación del Módulo resiliente en cada punto crítico a estabilizar.

Figura 21: Variación del valor de Módulo resiliente del suelo estabilizado

Figura 21: Incremento del Módulo resiliente en función del porcentaje de polvo de fibra de vidrio utilizado, por Elaboración propia, 2020.

5 FASE PRELIMINAR: ZONA DE ESTUDIO Y PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN PRELIMINAR

5.1 Plan Experimental

El plan experimental consiste en la elaboración de probetas de suelo de subrasante de la carretera en estudio estabilizadas con polvo de fibra de vidrio reciclado que permita incrementar su resistencia.

5.1.1 Metodología Experimental según Normativa E050 y AASHTO

El plan experimental, se desarrollará mediante la ejecución de ensayos a diferentes muestras naturales de suelos, con variación de dosificaciones y a través de ensayos según la normativa nacional de Suelos y Cimentaciones (E 0.50) y la normativa internacional ASTM. A continuación, se describen los Ensayos a ejecutar para obtener información de las características físicas y mecánicas del suelo.

5.1.1.1 Análisis Granulométrica por Tamizado (ASTM D421)

El análisis granulométrico permite determinar cuantitativa la distribución de tamaños de partículas de suelo y los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta 75 μm (No.200). Posteriormente, se realiza un análisis de los valores obtenidos de la curva granulométrica y constantes del mismo para clasificar al suelo.

5.1.1.2 Ensayos de Límites de Attemberg

Ensayo de Límite Líquido (NTP 339.129 / ASTM D4318)

Determina el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico.

Ensayo de Límite Plástico (NTP 339.129 / ASTM D4318)

Es el contenido de agua con el cual el suelo se disgrega y quiebra al formar pequeños rollos de 3.2 mm de diámetro. Los valores obtenidos se correlacionan en función a su

compresibilidad, permeabilidad, compatibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte con el fin de determinar el comportamiento del material ante modificaciones.

5.1.1.3 Ensayo de Compactación de Proctor Estándar (NTP 339.141/ ASTM D 1557)

El ensayo desarrolla procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar el contenido de humedad óptima y el peso específico seco máximo para una muestra de suelo compactado en el laboratorio.

Los suelos estudiados, son compactados en un molde de 101.6 o 152.4 mm (4 o 6 pulg) de diámetro con un pistón de 44.5 N (10 lbf) que cae de una altura de 457 mm (18 pulg) produciendo una Energía de Compactación de (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³)). El proceso se repite de acuerdo con el porcentaje de humedad estudiado con el fin de obtener valores de la máxima densidad para una humedad óptima.

5.1.1.4 Ensayo de CBR (NTP 339.145 / ASTM D 1883)

Describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte conocido como CBR (California Bearing Ratio), luego de haberse aplicado carga con un pistón. Este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia potencial de subrasante, subbase y material de base, incluyendo materiales reciclados para usar en pavimentos de vías y de campos de aterrizaje. Asimismo, este ensayo hace referencia a los ensayos para determinación de las relaciones de Peso Unitario - Humedad usando un equipo modificado.

5.2 Estudio de Exploración de suelos

5.2.1 Reconocimiento del terreno y extracción de muestras de suelo natural

La carretera en estudio contiene 23 puntos críticos con presencia de suelo arcilloso en subrasante en el tramo I, según lo indica el expediente técnico desarrollado por la empresa consultora JNR. Para delimitar la zona en estudio, se realizó una calicata representativa del terreno Tramo I (0+000 - 1+600 Km). La proyección, se puede visualizar en la figura 19 trazada sobre el relieve del terreno en Google Earth.

Por otro lado, se identificó la ruta de acceso a dicho punto y la topografía del lugar tomando como base las imágenes referenciales. La calicata por ejecutar se encuentra entre la

progresiva 1+640 km y se realizó a una altura de 1.50 m, la cual se presenta en la figura 20. Durante la visita de campo realizada, se observó presencia de vegetación en los laterales de la carretera, así como con humedad visible en suelos sobre superficie.

Figura 22: Trazado en relieve de la carretera en Estudio

Figura 22: Trazado de la ruta del tramo I de la carretera Rodríguez de Mendoza sobre el relieve natural del terreno, por Google Earth, 2020.

Figura 23: Vista panorámica progresiva 1+640 Km de carretera en estudio

Figura 23: Vista panorámica de la ruta del tramo I de la carretera Rodríguez de Mendoza sobre el relieve natural del terreno, Google Earth, 2020.

La figura 23 y el Anexo 40 y 41 muestran el proceso de ejecución y movimiento de tierras manual para la obtención de suelos del terreno en estudio se puede observar las siguientes imágenes.

Figura 24: Ejecución de calicata en progresiva 1+640 Km

Figura 24: Calicata realizada para obtener muestra del suelo de subrasante natural en la progresiva 1+ 640 KM de estudio, por Google Earth, 2020.

La información de la exploración de suelos indica la presencia de suelos finos en diferentes capas. En cuanto, al estrato de base ubicado entre los niveles de 0+00 y 0+40 m es una arena mal grada. Este suelo está rodeado por hojas de vegetación frondosa en la superficie y pequeñas raíces de vegetación en el interior. Por otro lado, el estrato de subbase ubicado entre los niveles de 0+40 y 0+80m y corresponde a un suelo limo arenosos. Finalmente, el estrato de subrasante de niveles 0+80 y 1.50 m está compuesto de arcillas de baja plasticidad con sobresaturación, alto contenido de humedad, desprendimiento fácil y color naranja oscuro. Esto puede observarse en la figura 25.

Figura 25: Muestra de suelo arcilloso y limoso de estratos de subbase y subrasante

Figura 25: Muestra del suelo de subrasante natural obtenido de la exploración de suelos en la progresiva 1+ 640 KM de estudio, por Elaboración propia, 2020.

Los resultados obtenidos de la exploración de subrasante se presentan en la tabla 13. Asimismo, la tabla 14 muestra los resultados obtenidos de la exploración de suelos de las capas del pavimento.

Tabla 6: Propiedades físicas y mecánicas de subrasante natural

RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO EN ZONAS INESTABLES (Calicata 1+640 km)												
N°	PROGRESIVA			SUELOS		ENSAYOS ESTÁNDARES			ENSAYOS ESPECIALES		ENSAYOS ESPECIALES	
	LADO			SUCS	AASHTO	LL	LP	IP	CONTENIDO HUMEDAD (%)	TAMIZ 200 %	PROCTOR MODIFICADO (%)	CBR (%)
	INICIAL (KM)	FINAL (KM)										
1	1+640	1+660	DERECHO	CL	A-6 (4)	34	23	11	16.5	54	30	5.4

Nota: En la tabla se indican valores de propiedades físicas de muestra de subrasante natural obtenida durante la exploración de suelos, por Elaboración Propia, 2020.

Tabla 15: Perfil estratigráfico de exploración de suelos en progresiva 1+640 Km

ESTATIGRAFÍA DE SUELO NATURAL DE LA CARRETERA RODRÍGUEZ SEMANA (TRAMO I)									
Profundidad (m)	Capa del Pavimento	Clasificación		Humedad (%W)	Constantes Físicas		Símbolo	Fotografía	Observaciones
		SUCS	AASHTO		L.L	I.P			
0.2-0.5	Base	A-2-4	SM-SC	7	16.6	4.05			Grava pobremente gradada con limo y arena no plástica. Color beige, con tamaño de partículas de 1 1/2" y forma semi-redondeada. Plasticidad moderada.
0.5-0.8	Sub base	A-1-b(0)	SP	12.6	15.4	5.1			Arena pobremente grada, textura rugosa y de forma sub redondeada.
0.8-1.5	Subrasante	A-6(4)	CL	16.5	34	11			El suelo es una arcilla arenosa de consistencia blanda, baja plasticidad. Color marrón rojizo. Con resistencia baja al corte. Suelo con baja capacidad.

Nota: En la tabla se presenta información estratigráfica de cada capa del pavimento según la exploración de suelos realizada, por Elaboración Propia, 2020.

5.3 Características físicas de suelo arcilloso natural

5.3.1 Ensayo Granolumétrico por tamizado (ASTM D422 -NTP400.012) en muestras no estabilizadas

Se realizó el análisis Granolumétrico por tamizado según lo establecido por las normas ASTM D-422. El tamaño máximo de muestra retenida en el tamiz de 1/2" obtenido fue de tipo arcilloso. Se seleccionó 500 gr de muestra en condiciones de humedad controlada, como se muestra en la figura 26.

Figura 26: Muestra de suelo arcilloso natural a ensayar

Figura 26: Selección de muestra natural y zarandeo de suelo arcilloso de baja plasticidad, según el Ensayo Granulométrico por tamizado, por Elaboración propia, 2012.

Asimismo, se realizó el cálculo para determinar el tamaño de agregado fino en estudio.

$$MF \text{ agregado fino} = \frac{\Sigma \% R. Ac. 3" + 1\frac{1}{2}" + 3/8" + \#4 + \#8 + \#16 + \#30 + \#50 + \#100}{100}$$

Ecuación 7: Tamaño máximo de agregado fino, por ASTM D422, 1993.

$$\text{Tamaño Máximo nominal agregado fino} = 0.66$$

Posteriormente, se tamizó el material seleccionado a través del uso de mallas, como se muestra en la figura 27. Los resultados obtenidos del Ensayo Granulométrico se presentan en la tabla 16.

Tabla 16: Porcentajes de material pasante por tamiz

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS				
Mallas	P. retenido (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
3"				
2 1/2"				
2"				
1 1/2"				
1"				
3/4"				100.00
1/2"	112.1	3.70	3.70	96.30
3/8"	78.8	2.60	6.30	93.70
1/4"	90.9	3.00	9.30	90.70
4	97	3.20	12.50	87.50
6	112.1	3.70	16.20	83.80
8	109.1	3.60	19.80	80.20
10	51.5	1.70	21.50	78.50
16	157.6	5.20	26.70	73.30
20	94	3.10	29.80	70.20
30	97	3.20	33.00	67.00
40	78.8	2.60	35.60	64.40
50	81.8	2.70	38.30	61.70
80	109.1	3.60	41.90	58.10
100	36.4	1.20	43.10	56.90
200	90.9	3.00	46.10	53.90
Pasante	1633.7	53.90	100.00	0.00

Nota: En la tabla se indican los valores de porcentajes pasantes del material en estudio, según el Ensayo Granulométrico por tamizado, por Elaboración propia, 2020.

Figura 27: Curva granulométrica de material natural arcilloso retenido

Nota: En la gráfica se indican los valores de porcentajes pasantes del material en estudio, según el Ensayo Granulométrico por tamizado, Elaboración propia, 2020.

Finalmente, los resultados presentados por la Curva granulométrica muestran que un 54% del material natural ensayado pasa por el tamiz N°200, lo que indica que más de la mitad del material es de tipo fino. Otro 64% pasa por el Tamiz N°40, otro 79% pasa por el Tamiz N°10, 88% y Tamiz N°4, un 94% por el Tamiz 3/8" y un 100% por el Tamiz de 3/4", lo que indica la presencia de arcillas. El anexo 42 muestra información detallada del Ensayo de laboratorio

5.3.2 Ensayo de Límites de Attemberg (ASTM D4318 – NTP 339.129) en muestras no estabilizadas

5.3.2.1 Límite Líquido

La muestra ensayada fue de 150n gr, la cual se tamizó el material por la malla 40 y se saturó por 24 horas antes del ensayo. Posteriormente, la muestra se coloca sobre el equipo de Casagrande y se aplican entre 15-25 golpes con una frecuencia de 1.9 a 2.1 por segundo, hasta que las dos mitades de la muestra se unan en el fondo de la ranura del equipo, finalmente se pesa.

El valor del contenido de humedad de la porción obtenida en el paso anterior, se coloca el recipiente con la muestra al horno por 24 horas. Este procedimiento se realizó 4 veces para esta investigación con el fin de obtener una interpretación gráfica.

Figura 28: Instrumento de Casa grande utilizado durante Ensayo de Límite Plástico

Figura 28: Colocación de muestra natural de suelo arcilloso de baja plasticidad sobre la cuchara de Casagrande, según el Ensayo de Límite líquido, Elaboración propia, 2020.

5.3.2.2 Límite Plástico

El ensayo de límite plástico se realiza con el material restante de muestra utilizado en el ensayo de Límite líquido. El objetivo es reducir el contenido de humedad del suelo, hasta que la muestra de suelo muestre fisuras. Luego, se reúne las porciones de suelo fisuradas y se calienta en horno por 24 horas para obtener el valor real de peso seco.

5.3.2.3 Resultados del Ensayo

Se realizaron ensayos de contenido de humedad a 5 muestras de suelo natural compactadas con 18 a 33 golpes. Los resultados muestran que el valor del Límite plástico es de 35.39% y el valor del Límite líquido es de 25.01. La tabla 17 muestra la información de entrada y resultados del ensayo.

Tabla 17: Resultados de Ensayos de Límite líquido y Límite plástico

NOMBRE DE ENSAYO	LÍMITE PLÁSTICO (%)			LÍMITE LÍQUIDO (%)	
PRUEBA N°	1	2	3	4	5
FRASCO N°	A-15	M-10	M-4	M-6	A-3
N° DE GOLPES	18	23	27	30	33
Contenido de humedad (%)	35.39	34.2	33.64	33.43	24.81
RESULTADOS	35.39			25.01	

Nota: En la tabla se indican los valores de porcentajes de Límite plástico y Límite líquido del material en estudio, según el Ensayo de Límites de Atterberg, por Elaboración propia, 2020.

5.3.2.4 Índice de plasticidad

El índice de plasticidad (IP) se obtiene de la diferencia del Límite líquido y del Límite plástico. En la tabla 17 se muestran los resultados del Ensayo de Límites de Atterberg.

Tabla 18: Resultados de Ensayos de Límites de Atterberg

Límite Líquido	34.08
Límite Plástico	25.01
Índice de plasticidad	9.07

Nota: En la tabla se indican los valores de porcentajes de Límite líquido, Límite plástico e índice de plasticidad del material en estudio, según el Ensayo de Límites de Atterberg, por Elaboración propia, 2020.

5.3.2.5 Clasificación del suelo

Los valores obtenidos anteriormente se ubican en la carta de plasticidad para clasificar nuestra muestra de suelo. Esto se presenta en la figura 29.

Figura 29: Clasificación del suelo

Figura 29: En la tabla se indican los valores de porcentajes de Límite líquido, Límite plástico e índice de plasticidad del material en estudio, según la Carta de Casa grande, por Elaboración propia, 2020.

Finalmente, en función de los resultados obtenidos de los Ensayos de granulometría y de los límites de Atterberg hallados en esta investigación, se puede clasificar al suelo como una Arcilla de baja plasticidad, la cual es del mismo tipo de suelo documentado en el expediente técnico. La clasificación SUCS y AASHTO se muestra en la siguiente tabla 19. Asimismo, el anexo 43, muestra información detallada del Ensayo de laboratorio.

Tabla 19: Resultados de Ensayos de Clasificación de suelo

Clasificación de suelos	
SUCS	CL
AASHTO	A-6 (4)

Nota: En la tabla se indican los valores obtenidos de la clasificación de suelos, según el Ensayo de Granulometría y Límites de Atterberg, por Elaboración propia, 2020.

5.3.3 Ensayo de Proctor Modificado (ASTM D 1557 – NTP 339.141) en muestras no estabilizadas

El ensayo Proctor se realizó sobre una muestra de suelo seca y tamizada por la malla N°4 y secada al horno por 24 horas en 4 muestras de variable contenido de humedad. Posteriormente, se deposita la muestra en una bandeja metálica y se mezcla manualmente, con la cantidad necesaria calculada según la norma ASTM 1557. La tabla 20 presenta los resultados obtenidos de las 4 muestras ensayadas, por otro lado, la cual figura 30 grafica los valores de compactación obtenidos.

Tabla 20: Resultados de Ensayos de Proctor Modificado

Ensayo Proctor Estándar (MTC E 116)				
# de Ensayo	1	2	3	4
Contenido de humedad	14.2%	16.2%	18.3%	20.3%
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.634	1.715	1.714	1.622

Nota: En la tabla se indican los valores obtenidos de compactación de suelo natural, según el Ensayo de Proctor Modificado, por Elaboración propia, 2020.

Figura 30: Curva de compactación de suelo natural según Ensayo de Proctor Modificado

Figura 30: En la gráfica se indican los valores obtenidos de compactación del suelo arcilloso natural, según el Ensayo de Proctor modificado, Elaboración propia, 2020.

De la curva de compactación, se puede determinar que la máxima densidad seca del y el óptimo contenido de humedad, los cuales se muestran en la tabla 21.

Tabla 21: Resultados de Máxima densidad seca y Óptimo contenido de humedad

Identificación	Máxima densidad seca (g/cm3)	Óptimo contenido de humedad (%)
Suelo natural	1.725	17.25

Nota: En la tabla se indican los valores de Máxima densidad seca y contenido de humedad del suelo arcilloso natural, según el Ensayo de Proctor modificado, por Elaboración propia, 2020.

La información de entrada y valores obtenidos del Ensayo de Proctor modificado se presentan en los Anexos 44 y 45.

5.3.4 Ensayo de CBR (ASTM D1833– NTP 339.145) en muestras no estabilizadas

El ensayo de CBR toma como punto de partida la ejecución del Ensayo Proctor. Posteriormente, se realizan los siguientes procesos.

- **Proceso de penetración:**

Se coloca la muestra de suelo compactado en la máquina de Marshall manual y también se colocan sobrecargas de pesos. Luego, se configura la velocidad de penetración 127 mm/min en la maquina Marshall. Se registra la carga cuando las deformaciones sea (0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.150, 0.200, 0.250, 0.300, 0.400 y 0.500 pulg).

Cuando el pistón penetre 0.5 pulgadas se detiene el funcionamiento de la máquina Marshall manual y se retira la muestra, este proceso se repite para 3 muestras con diferente contenido de humedad. La tabla 22, muestra información del Ensayo.

Tabla 22: Valores de entrada y Resultados del Ensayo de California Bearing Ratio

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)			
COMPACTACION CBR MOLDE	Molde 1 (55 Golpes)	Molde 2 (26 Golpes)	Molde 3 (12 Golpes)
Cont. Humedad (%)	15.48	16.25	17.08
DENSIDAD SECA(g/cm3)	1.73	1.67	1.64

Nota: Valores de entrada de muestra, Contenido de humedad y Densidad seca, según el Ensayo de CBR a muestras naturales, Elaboración propia, 2020.

A continuación, se presenta en la tabla 23 resumen con los resultados obtenidos en el ensayo de CBR realizados a tres muestras de suelo natural

Tabla 23: Resultados del Ensayo de California Bearing Ratio

PENETRACION		MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
(mm)	(pulgadas)	CARGA	ESFUERZO	CARGA	ESFUERZO	CARGA	ESFUERZO
2.5	0.10	837.9	85	586.5	60	418.9	43
5.0	0.20	1661.6	169	1163.1	119	830.8	85

Nota: Variación de Esfuerzo resistente ante carga aplicada, según el Ensayo de CBR a muestras naturales, por Elaboración propia, 2020.

Para el cálculo del CBR se utilizan los datos obtenidos en la penetración de 2.5 mm, los cuales se presentan en la tabla 24.

Tabla 24: Resultados representativos del Ensayo de California Bearing Ratio

	DENS(g/cm3)	2.5 (mm)	5.0 (mm)
MOLDE N° 1	1.729	8.1	10.5
MOLDE N° 2	1.665	5.5	7.1
MOLDE N° 3	1.642	3.8	4.8

Nota: Variación de la densidad máxima seca, en función a carga constante aplicada, según el Ensayo de CBR a muestras naturales, por Elaboración propia, 2020.

Posteriormente, para el cálculo de CBR se realiza la Curva de Densidad vs CBR para cada lectura. El CBR se calcula gráficamente utilizando el 95% de la máxima densidad seca obtenida del ensayo de Proctor. El valor obtenido de CBR se presenta en la tabla 25.

Figura 31: Curva Densidad- CBR en muestra de suelo natural

Figura 31: Variación de la densidad máxima seca, en función a carga constante aplicada, según el Ensayo de CBR a muestras naturales, Elaboración propia, 2020.

Tabla 25: Resultados representativos del Ensayo de California Bearing Ratio

C.B.R. Promedio Para el 95% de la M.D.S. (%)	3.7
---	------------

Nota: Variación del valor del CBR según la máxima densidad seca a un 95% de compactación de suelo arcilloso natural ensayado, Elaboración propia, 2020.

6 MEJORA DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO

6.1 Dosificación de Suelo arcillosos- Polvo de fibra de vidrio reciclado

La normativa NTP 339.134:1999 establece que la estabilización de suelos finos de baja plasticidad con material de tipo sílice, el cual conforma al material de polvo de fibra de vidrio debe usarse en un rango entre 2% a 12% en peso seco del material. Asimismo, la dosificación por seleccionar será aquella que permita incrementar los valores de CBR y Densidad máxima. A continuación, la tabla 26 presenta iteraciones de los valores de CBR realizadas en función a dosificaciones de 2% a 12%.

Tabla 26: Valores de CBR y MDS en suelos estabilizados

Ítem	Suelo Estabilizado			
	Suelo Natural	6% Polvo de fibra de vidrio reciclado	8% Polvo de fibra de vidrio reciclado	10% Polvo de fibra de vidrio reciclado
CBR (%)	3.7	7.7	9.4	12.1
MDS (%)	1.727	1.68	1.68	1.69

Nota: Variación de valores de CBR y Máxima densidad seca suelo natural y suelo estabilizado con polvo de fibra de vidrio reciclado, por Javed & Chajraborty, 2020.

Figura 32: Valores de CBR proyectados en muestras de suelo estabilizados

Figura 32: Variación de valores de Límite Líquido, Límite plástico e Índice de plasticidad de suelo no estabilizado y suelo estabilizado con polvo de fibra de vidrio reciclado, por Elaboración propia, 2020.

6.2 Ensayos Físicos de Clasificación del suelo arcilloso estabilizado

6.2.1 Ensayo Granulométrico por Tamizado (ASTM D422 – NTP 400.012)

Se ha desarrollado el análisis granulométrico a una muestra de suelo dosificada con polvo de fibra de vidrio (12%) con el fin de determinar sus propiedades físicas bajo la normativa ASTM D-422 y AASHTO T 88.

El tamaño máximo nominal de la muestra para determinar la cantidad de material a ensayar sigue el comportamiento de un suelo fino de tamaño máximo nominal retenido en el tamiz 1/2" por lo que será necesaria utilizar 500 gr de muestra natural y 600 gr de polvo de fibra de vidrio, la cual se humedeció controladamente. La figura 30 muestra el proceso de estabilización. A continuación, se presenta el cálculo del Tamaño máximo nominal.

$$MF \text{ agregado fino} = \frac{\Sigma \% R. Ac. 3" + 1 \frac{1}{2}" + 3/8" + \#4 + \#8 + \#16 + \#30 + \#50 + \#100}{100}$$

Ecuación 8: Tamaño máximo de agregado fino estabilizado, por ASTM D422, 1993.

Tamaño Máximo nominal agregado fino= 0.96

Figura 11: Combinación del suelo arcillosos natural y 12% de polvo de fibra de vidrio reciclado

Figura 33: Mezcla de suelo no estabilizado y 12 % de polvo de fibra de vidrio reciclado (600 gr) para su uso en Ensayo granulométrico de suelo estabilizado, por Elaboración propia, 2020.

Por otro lado, la muestra de mezcla húmeda se dejó secar en un horno a temperatura de 110°C durante 24 horas. Posteriormente, se realizó un lavado del material que pasa por la malla N°200 hasta que el agua quede totalmente clara. Finalmente, la muestra fue tamizada desde el tamiz 3/8" hasta la malla N°200, los valores obtenidos se presentan en la tabla 27.

Tabla 27: Porcentajes de material pasante por cada tipo de Tamiz (Ensayo granulométrico)

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS				
Mallas	P. retenido (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
3"				
2 1/2"				
2"				
1 1/2"				
1"				
3/4"				86.78
1/2"	61.87	3.49	3.49	83.29
3/8"	47.02	2.65	6.14	80.64
1/4"	48.37	2.62	8.76	78.02
4	26.18	1.48	10.24	76.54
6	54.17	3.06	13.30	73.48
8	8.63	0.49	13.79	72.99
10	25.05	1.41	15.20	71.58
16	13.97	0.79	15.99	70.79
20	22.81	1.29	17.28	69.50
30	33.31	1.88	19.16	67.62
40	57.1	3.22	22.38	64.40
50	29.85	1.68	24.06	62.72
80	67.3	3.80	27.86	58.92
100	39.57	2.23	30.09	56.69
200	129.4	7.30	37.39	49.39
Pasante	648.64	49.39	86.78	0.00
peso total	1313.24	100.00	186.78	

Nota: En la tabla se indican los valores de porcentajes pasantes del material arcilloso estabilizado con polvo de fibra de vidrio en 12%, según el Ensayo Granulométrico por tamizado, por Elaboración propia, 2020.

La figura 34 presenta valores pasantes obtenidos del Ensayo en la Gráfica de Curva granulométrica. Los resultados muestran que un 49.39% del material arcillosos natural ensayado pasa por el tamiz N°200, lo que indica que más de la mitad del material es de tipo fino. Asimismo, otro 64.40% pasa por el Tamiz N°40, otro 71.58% pasa por el Tamiz N°10, 76.54% pasa por el Tamiz N°4, un 80.64% por el Tamiz 3/8" y un 86.78% por el Tamiz de 3/4", lo cual indica la presencia de limos.

Figura 34: Curva granulométrica de muestra estabilizada

Figura 34: En la tabla se indican los valores de porcentajes pasantes del material en estudio, según el Ensayo Granulométrico por tamizado, por Elaboración propia, 2020.

6.2.2 Ensayo de Límites de Attemberg (ASTM D4318– NTP 339.129)

6.2.2.1 Límite Líquido

Para realizar este ensayo se utilizaron 200 gr de material estabilizado que pasa por la malla 40, el cual se saturó por 24 horas antes del ensayo. El equipo utilizado fue de la Cuchara de Casagrande, sobre la cual se colocó la muestra de suelo y se aplicaron 25 golpes, hasta que haya una separación del material de 10 mm.

6.2.2.2 Límite Plástico

La muestra de suelo usada pasa por el tamiz N°40, y fue transformada en forma de rollos de 8 g de masa y 3.18 mm de diámetro hasta que comience a resquebrajarse o fracturarse. Luego se reunió las porciones de suelo fisuradas, y se secó al horno por 24 horas. A continuación, se presenta resultados obtenidos en la tabla 27.

6.2.2.3 Índice Plástico

El valor del índice plástico se obtiene de la diferencia del Límite líquido y Límite plástico. A continuación, se presentan resultados obtenidos en la tabla 28.

Tabla 28: Resultados obtenidos de líquido plástico y Límite líquido de muestra estabilizada

ITEM	LÍMITE PLÁSTICO				LÍMITE LÍQUIDO	
	1	2	3	4	4	5
Prueba N°						
Contenido de humedad	18.84	16.83	14.93	10.07	12.54	10.07
Resultados	15.17				11.31	

Nota: En la tabla se indican los valores de porcentajes de suelos secos y contenido de humedad, según los Ensayos de Límite líquido y Límite plástico, Elaboración propia, 2020.

La tabla 29 muestra valores de límites de consistencia del suelo arcilloso estabilizado con polvo de fibra de vidrio reciclado en un 12%. Luego, los datos se ubican en la Carta de casa grande y se clasifica el Tipo de suelo obtenido en condiciones estabilizadas en la figura 32.

Tabla 29: Resultados obtenidos de Límites de contingencia de suelo estabilizado

Límite Líquido	15.17
Límite Plástico	11.31
Índice de Plasticidad	3.86

Nota: En la tabla se indican los valores de Límites de Atterberg, por Elaboración propia, 2020.

Figura 12: Clasificación del suelo según la Carta de Casa grande

Figura 35: En la tabla se indican el tipo de suelo clasificado, según el porcentaje de Límite líquido e índice de plasticidad del suelo arcilloso estabilizado con polvo de fibra de vidrio reciclado, según la Carta de Casa grande, por Elaboración propia, 2020

Finalmente, de los resultados obtenidos de los Ensayos de granulometría y de los límites de Atterberg hallados en esta investigación, se puede clasificar al suelo como una Arcilla limosa. La clasificación SUCS y AASHTO se muestra en la tabla 30.

Tabla 30: Resultados de clasificación del suelo estabilizado

Clasificación de suelos	
SUCS	ML
AASHTO	A-5

Nota: En la tabla se indican los valores obtenidos de la clasificación de suelos, según el Ensayo de Granulometría y Límites de Atterberg, Elaboración propia, 2020

6.3 Ensayos Mecánicos de muestras de suelo arcilloso estabilizado con Polvo de fibra de vidrio

6.3.1 Ensayo de Proctor Modificado (ASTM D 1557– NTP 339.141)

Se realizó el ensayo de Proctor modificado para cada combinación de polvo de fibra de vidrio reciclado, 6%, 8%, 10 y 12% (hasta 600 gr aproximadamente). La figura 36 muestra el proceso de compactación de muestras con penetrómetro de impacto de 10 lb. La información de entrada y los resultados de laboratorio se presentan en los ANEXOS.

Figura 36: Mezcla y compactación de muestra de suelo arcilloso estabilizada con polvo de fibra de vidrio reciclado

Figura 36: Proceso de estabilización de muestra de suelo con porcentaje variable de polvo de fibra de vidrio seco y compactación, por Elaboración propia, 2020.

Por otro lado, se presentan los resultados del Ensayo para cada tipo de dosificación en las siguientes tablas. La información contenida muestra los resultados de 4 muestras dosificadas con la misma cantidad de polvo de fibra de vidrio y diferentes contenidos de humedad.

Asimismo, se presentan gráficas de Curvas de compactación que validan el resultado obtenido de Máxima densidad seca y el Contenido de humedad de cada muestra.

La Tabla 31 presenta el resultado para una muestra dosificada con 6% de polvo de fibra de vidrio seco, obteniéndose una densidad seca de 1.759 g/cm³ y una humedad de suelo de 15.6%.

Tabla 31: Resultados de Ensayo de Proctor modificado con Dosificación de 6%

Ensayo Proctor Estándar (MTC E 116)				
# de Ensayo	1	2	3	4
Contenido de humedad	13.6%	15.6%	17.7%	19.8%
Densidad Seca (gr/cm³)	1.667	1.759	1.748	1.655

Nota: En la tabla se indican los valores obtenidos de la máxima densidad seca del suelo arcilloso estabilizado con 6% de polvo de fibra de vidrio reciclado, según el Ensayo de Compactación de Proctor modificado, Elaboración propia, 2020.

Por otro lado, la figura 37 gráfica la curva de compactación muestra que el valor de máxima densidad seca se obtiene cuando el suelo presenta una humedad de 16.75%.

Figura 37: Curva de compactación de muestra de suelo dosificado con 6% de polvo de fibra de vidrio reciclado

Figura 37: En la gráfica se indican los valores obtenidos de compactación del suelo arcilloso natural con 6% de polvo de fibra de vidrio reciclado, según el Ensayo de Proctor modificado, Elaboración propia, 2020.

En cuanto a la dosificación de 8%, la Tabla 32 presenta el resultado para una muestra dosificada con 8% de polvo de fibra de vidrio seco, obteniéndose una densidad seca de 1.761 g/cm³ y una humedad de suelo de 15.3%.

Tabla 32: Resultados de Ensayo de Proctor modificado con Dosificación de 8%

Ensayo Proctor Estándar (MTC E 116)				
# de Ensayo	1	2	3	4
Contenido de humedad	13.3%	15.3%	17.4%	19.4%
Densidad Seca (gr/cm³)	1.678	1.771	1.758	1.667

Nota: En la tabla se indican los valores obtenidos de la máxima densidad seca del suelo arcilloso estabilizado con 8% de polvo de fibra de vidrio reciclado y un contenido de humedad, según el Ensayo de Compactación de Proctor modificado, Elaboración propia, 2020.

La curva de compactación para una dosificación de 8% muestra que el valor de máxima densidad seca se obtiene cuando el suelo presenta una humedad de 16.25%, como se observa en la figura 38.

Figura 13: Curva de compactación de muestra de suelo dosificado con 8% de polvo de fibra de vidrio reciclado

Figura 38: En la gráfica se indican los valores obtenidos de compactación del suelo arcilloso natural con 8% de polvo de fibra de vidrio reciclado, según el Ensayo de Proctor modificado, Elaboración propia, 2020.

Por otro lado, la dosificación de 10% de polvo de fibra de vidrio seco, presento un resultado de densidad seca de 1.772 g/cm³ y una humedad de suelo de 14.1%, como se presenta en la tabla 33.

Tabla 33: Resultados de Ensayo de Proctor modificado con Dosificación de 10%

Ensayo Proctor Estándar (MTC E 116)				
# de Ensayo	1	2	3	4
Contenido de humedad	12.5%	14.6%	16.7%	18.7%
Densidad Seca (gr/cm³)	1.689	1.782	1.769	1.677

Nota: En la tabla se indican los valores obtenidos de la máxima densidad seca del suelo arcilloso estabilizado con 10% de polvo de fibra de vidrio reciclado y un contenido de humedad, según el Ensayo de Compactación de Proctor modificado, Elaboración propia, 2020.

La curva de compactación para una dosificación de 10% muestra que el valor de máxima densidad seca se obtiene cuando el suelo presenta una humedad de 15.5%, como se observa en la figura 39.

Figura 14: Curva de compactación de muestra de suelo dosificado con 10% de polvo de fibra de vidrio reciclado

Figura 39: En la gráfica se indican los valores obtenidos de compactación del suelo arcilloso natural con 10% de polvo de fibra de vidrio reciclado, según el Ensayo de Proctor modificado, Elaboración propia, 2020.

La última dosificación realizada corresponde al uso de 12% de polvo de fibra de vidrio en muestra de suelo estabilizada. La tabla 33 muestra un valor de Máxima densidad seca de 1.75 g/cm³ en condiciones de humedad de 13.1%.

Tabla 7: Resultados de Ensayo de Proctor modificado con Dosificación de 12%

Ensayo Proctor Estándar (MTC E 116)				
# de Ensayo	1	2	3	4
Contenido de humedad	11.1%	13.1%	15.1%	17.2%
Densidad Seca (gr/cm3)	1.703	1.795	1.783	1.692

Nota: En la tabla se indican los valores obtenidos de la máxima densidad seca del suelo arcilloso estabilizado con 12% de polvo de fibra de vidrio reciclado y un contenido de humedad, según el Ensayo de Compactación de Proctor modificado, Elaboración propia, 2020.

Asimismo, la curva de compactación para una dosificación de 12% muestra que el valor de máxima densidad seca se obtiene cuando el suelo presenta una humedad de 14.1%, como se observa en la figura 40.

Figura 40: Curva de compactación de muestra de suelo dosificado con 12% de polvo de fibra de vidrio reciclado

Figura 40: En la gráfica se indican los valores obtenidos de compactación del suelo arcilloso natural con 12% de polvo de fibra de vidrio reciclado, según el Ensayo de Proctor modificado, Elaboración propia, 2020.

De las curvas de compactación, se puede determinar que la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad, los resultados se muestran en la tabla 35.

Tabla 35: Resultados de Ensayo de Proctor modificado con dosificación de 6%, 8%, 10% y 12%

Identificación	Máxima densidad seca (g/cm ³)	Optimo contenido de humedad (%)
Suelo natural		
Suelo natural + 6% de polvo de vidrio	1.759	16.75
Suelo natural + 8% de polvo de vidrio	1.761	16.25
Suelo natural + 10% de polvo de vidrio	1.782	15.50
Suelo natural + 12% de polvo de vidrio	1.795	14.10

Nota: En la gráfica se indican los valores obtenidos de Máxima densidad seca y optimo contenido de humedad (%) del suelo arcilloso natural con 6%, 8%, 10% y 12% de polvo de fibra de vidrio reciclado, según el Ensayo de Proctor modificado, Elaboración propia, 2020.

Finalmente, los valores de Máxima Densidad Seca, con un valor de 1.795 g/cm³ y un Contenido de humedad de 14.1%, muestran un mejor comportamiento entre la cohesión de partículas del suelo y aportan en mejorar su comportamiento mecánico. Por lo tanto, se opta por la selección del valor 12% para la eficiente estabilización de suelos arcillosos.

6.3.2 Ensayo de California Bearing Ratio (ASTM D 1883– NTP 339.145)

Se realizó el ensayo en muestras estabilizadas con dosificaciones de 6%, 8%, 10% y 12% de polvo de fibra de vidrio para determinar la capacidad portante del suelo natural estabilizado en condiciones saturadas que desarrollen valores humedad constante según el ensayo de relación de soporte de CBR. A continuación, se presentan los procesos desarrollados para comprobar la resistencia mecánica del suelo. La información de entrada y los resultados de laboratorio se presentan en los **ANEXOS**.

- **Proceso de compactación:**

Luego de haber realizado el ensayo de Proctor de suelos a muestras estabilizadas, se procede a compactar el suelo con un martillo apisonador mediante 10, 25 y 56 golpes distribuido uniformemente.

- **Proceso de penetración:**

Posteriormente, se coloca la muestra de suelo compactado en la máquina de Marshall manual a una velocidad de penetración 127 mm/min. Asimismo, se registra la carga cuando las deformaciones son de (0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.150, 0.200, 0.250, 0.300, 0.400 y 0.500 pulg). Cuando el pistón penetre 0.5 pulgadas se detiene el funcionamiento de la máquina Marshall manual y se retira la muestra, este proceso se sigue para los moldes restantes.

Figura 41: Procesos de compactación y aplicación de carga de muestras dosificadas con polvo de fibra de vidrio reciclado

Figura 41: La figura muestra el proceso de compactación penetración con máquina Marshall de suelo arcilloso natural con 6, 8, 10 y 12% de polvo de fibra de vidrio reciclado, según el Ensayo de CBR, Elaboración propia, 2020.

A continuación, se presenta una tabla resumen con los resultados obtenidos en el ensayo de CBR referidos a máximas cargas soportadas por muestras de suelo estabilizadas con diferentes dosificaciones de polvo de fibra de vidrio. Para el cálculo del CBR se utilizan los datos obtenidos en la penetración de 2.5 mm y 5.0 mm según el Ensayo ASTM D1883.

6.3.2.1 Ensayo de CBR en muestra estabilizada con 6% de Polvo de fibra de vidrio

La tabla 36 muestra los valores de esfuerzos producidos luego de aplicársele carga entre 723.7 N y 3304 N con la Máquina Marshal en 3 muestras de suelo estabilizadas con 6% de polvo de vidrio y compactación variable.

Tabla 8: Resultados de Ensayo de CBR con dosificación de 6% de polvo de fibra de vidrio

		MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
PENETRACION		(55 Golpes)		(26 Golpes)		(12 Golpes)	
(mm)	(pulgadas)	CARGA (N)	ESFUERZO (Kg)	CARGA (N)	ESFUERZO (Kg)	CARGA (N)	ESFUERZO (Kg)
2.5	0.10	1447.5	148	1013.2	103	723.7	74
5.0	0.20	3304.4	337	2313.11	236	1652.2	168

Nota: La tabla muestra resultados de penetración con máquina Marshall a 3 muestras de suelo arcilloso natural con 6 % de polvo de fibra de vidrio reciclado, según el Ensayo de CBR, Elaboración propia, 2020.

Asimismo, la figura 42 muestra la variación de esfuerzos producidos al aplicarse carga constante en cada amuestra de suelo estabilizada con 6% e polvo de fibra de vidrio y compactación variable. El valor máximo de esfuerzo producido corresponde a un valor de 148 kg/mm con una penetración de 2.5 mm según indica la normativa ASTM D 1883.

Figura 42: Curva Esfuerzo Penetración de muestra estabilizada con 6% de polvo de fibra de vidrio

Figura 42: La figura muestra el esfuerzo producido por cada molde ensayado dosificado con 6% de polvo de fibra de vidrio reciclado, según el Ensayo de CBR, por Elaboración propia, 2020.

6.3.2.2 Ensayo de CBR en muestra estabilizada con 8% de Polvo de fibra de vidrio

La tabla 37 muestra los valores de esfuerzos producidos luego de aplicársele carga entre 858.7 N y 3988.4 N con la Máquina Marshal en 3 muestras de suelo estabilizadas con 8 % de polvo de vidrio y compactación variable.

Tabla 37: Resultados de Ensayo de CBR con dosificación de 8% de polvo de fibra de vidrio

		MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
PENETRACION		(55 Golpes)		(26 Golpes)		(12 Golpes)	
(mm)	(pulgadas)	CARGA (N)	ESFUERZO (Kg)	CARGA (N)	ESFUERZO (Kg)	CARGA (N)	ESFUERZO (Kg)
2.5	0.10	1717.4	175	1202.2	123	858.7	88
5.0	0.20	3988.4	407	2791.9	285	1994.2	203

Nota: La tabla muestra resultados de penetración con máquina Marshall a 3 muestras de suelo arcilloso natural con 8 % de polvo de fibra de vidrio reciclado, según el Ensayo de CBR, Elaboración propia, 2020.

Por otro lado, la figura 43 muestra la variación de esfuerzos producidos al aplicarse carga constante en cada amuestra de suelo estabilizada con 8% e polvo de fibra de vidrio y compactación variable. El valor máximo de esfuerzo producido corresponde a un valor de 175 kg/mm con una penetración de 2.5 mm según indica la normativa ASTM D 1883.

Figura 15: Curva Esfuerzo Penetración de muestra estabilizada con 8 % de polvo de fibra de vidrio

Figura 43: La figura muestra el esfuerzo producido por cada molde ensayado dosificado con 8% de polvo de fibra de vidrio reciclado, según el Ensayo de CBR, Elaboración propia, 2020.

6.3.2.3 Ensayo de CBR en muestra estabilizada con 10% de Polvo de fibra de vidrio

Los valores de esfuerzos producidos luego de aplicársele carga entre 1111.1 N y 5424.2 N con la Máquina Marshal en 3 muestras de suelo estabilizadas con 10 % de polvo de vidrio y compactación variable.

Tabla 9: Resultados de Ensayo de CBR con dosificación de 10% de polvo de fibra de vidrio

		MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
PENETRACION		(55 Golpes)		(26 Golpes)		(12 Golpes)	
		CARGA	CARGA	CARGA	CARGA	CARGA	CARGA
(mm)	(pulgadas)	(N)	(Kg)	(N)	(Kg)	(N)	(Kg)
2.5	0.10	2222.2	227	1555.5	159	1111.1	113
5.0	0.20	5424.2	553	3796.9	387	2712.1	276

Nota: La tabla muestra resultados de penetración con máquina Marshall a 3 muestras de suelo arcilloso natural con 10 % de polvo de fibra de vidrio reciclado, según el Ensayo de CBR, Elaboración propia, 2020.

Por otro lado, la figura 44 muestra la variación de esfuerzos producidos al aplicarse carga constante en cada amuestra de suelo estabilizada con 10% e polvo de fibra de vidrio y compactación variable. El valor máximo de esfuerzo producido corresponde a un valor de 227 kg/mm con una penetración de 2.5 mm según indica la normativa ASTM D 1883.

Figura 16: Curva Esfuerzo Penetración de muestra estabilizada con 10% de polvo de fibra de vidrio

Figura 44: La figura muestra el esfuerzo producido por cada molde ensayado dosificado con 10% de polvo de fibra de vidrio reciclado, según el Ensayo de CBR, Elaboración propia, 2020.

6.3.2.4 Ensayo de CBR en muestra estabilizada con 12% de Polvo de fibra de vidrio

Los valores de esfuerzos producidos luego de aplicársele carga entre 1111.1 N y 5424.2 N con la Máquina Marshal en 3 muestras de suelo estabilizadas con 10 % de polvo de vidrio y compactación variable.

Tabla 39: Resultados de Ensayo de CBR con dosificación de 12% de polvo de fibra de vidrio

PENETRACION		MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
		(55 Golpes)		(26 Golpes)		(12 Golpes)	
(mm)	(pulgadas)	CARGA (N)	ESFUERZO (Kg)	CARGA (N)	ESFUERZO (Kg)	CARGA (N)	ESFUERZO (Kg)
2.5	0.10	1470.4	150	1029.3	105	735.2	75
5.0	0.20	4924.7	502	3447.3	351	2462.4	251

Nota: La tabla muestra resultados de penetración con máquina Marshall a 3 muestras de suelo arcilloso natural con 12 % de polvo de fibra de vidrio reciclado, según el Ensayo de CBR, Elaboración propia, 2020.

La grafica de Curva deformación del ensayo presentada en la figura 45, muestra resultados de la variación de esfuerzos producidos al aplicarse carga constante en cada amuestra de suelo estabilizada con 12% e polvo de fibra de vidrio y compactación variable. El valor máximo de esfuerzo producido corresponde a un valor de 150 kg/mm con una penetración de 2.5 mm según indica la normativa ASTM D 1883.

Figura 17: Curva Esfuerzo Penetración de muestra estabilizada con 12% de polvo de fibra de vidrio

Figura 45: La figura muestra el esfuerzo producido por cada molde ensayado dosificado con 12% de polvo de fibra de vidrio reciclado, según el Ensayo de CBR, Elaboración propia, 2020.

6.3.2.5 Análisis de resultados de CBR en muestras estabilizadas

Por otro lado, se presentan gráficos de Curva de Densidad vs CBR para cada dosificación realizada, para determinar su valor en función del CBR al 95% de la máxima densidad seca obtenida del ensayo de proctor.

Figura 46: Curva Densidad – CBR muestra estabilizada para dosificación de 6% de polvo de fibra de vidrio

Figura 46: La gráfica muestra variación de los resultados de CBR en función a la penetración con máquina Marshall a 3 muestras dosificadas con 6 % de polvo de fibra de vidrio reciclado, según el Ensayo de CBR, Elaboración propia, 2020.

Figura 47: Curva Densidad – CBR muestra estabilizada para dosificación de 8% de polvo de fibra de vidrio

Figura 47: La gráfica muestra variación de los resultados de CBR en función a la penetración con máquina Marshall a 3 muestras dosificadas con 8 % de polvo de fibra de vidrio reciclado, según el Ensayo de CBR, Elaboración propia, 2020.

Figura 18: Curva Densidad – CBR muestra estabilizada para dosificación de 10% de polvo de fibra de vidrio

Figura 48: La gráfica muestra variación de los resultados de CBR en función a la penetración con máquina Marshall a 3 muestras dosificadas con 10 % de polvo de fibra de vidrio reciclado, según el Ensayo de CBR, Elaboración propia, 2020.

Figura 19: Curva Densidad – CBR muestra estabilizada para dosificación de 12% de polvo de fibra de vidrio

Figura 49: La gráfica muestra variación de los resultados de CBR en función a la penetración con máquina Marshall a 3 muestras dosificadas con 12 % de polvo de fibra de vidrio reciclado, según el Ensayo de CBR, Elaboración propia, 2020.

Finalmente, el CBR se obtiene de la curva obtenida con los datos de la lectura de 2.5 mm penetración según la gráfica. La tabla 40 se muestra los CBR obtenidos para cada combinación de suelo más polvo de fibra de vidrio.

Tabla 40: Resultados de Ensayo de CBR en muestras dosificadas con polvo de fibra de vidrio

C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (%) con 6% PFDV	7.7
C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (%) con 8% PFDV	9.4
C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (%) con 10% PFDV	12.1
C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (%) con 12% PFDV	13.0

Nota: Variación del valor del CBR según la máxima densidad seca a un 95% de compactación de muestras de suelo arcilloso con 6%, 8% y 10%, Elaboración propia, 2020.

6.4 Análisis de resultados de Ensayos Físicos y Mecánicos de muestras de suelo arcilloso estabilizado con Polvo de fibra de vidrio

En función de los resultados obtenidos de laboratorio, se puede observar que hubo una mejora en las propiedades físicas del suelo natural y del suelo en diferentes dosificaciones, siendo la dosificación de 12% la más óptima. A continuación, la Tabla 41 se presentan las propiedades mejoradas del suelo arcillosos estabilizado.

Tabla 10: Propiedades Físicas del suelo arcilloso estabilizado con 12% de polvo de fibra de vidrio

Características físicas	Suelo Natural	Suelo Natural + 12% PFV		
Contenido de Humedad (%)	16.5	5.9		
Limite Liquido (%)	34	28		
Limite Plástico (%)	23	21		
Índice de Plasticidad (%)	11	7		
Clasificación SUCS	CL	Arcilla	CL - ML	Limo
Clasificación AASHTO	A-6 (4)	Limosa	A-4 (2)	Arenoso

Nota: Resultados de propiedades físicas de muestra ensayada 12% de polvo de fibra de vidrio, por Elaboración propia, 2020.

Asimismo, la densidad máxima seca de las mezclas se incrementó, lo cual indica un menor índice de poros entre partículas a medida se incrementa el contenido de polvo de fibra de vidrio logrando así un suelo más densificado. Por otro lado, el óptimo contenido de humedad disminuye a mayor adición de polvo de fibra de vidrio, esto se debe a que la fibra de vidrio no absorbe agua y las mezclas tienen menor contenido de suelo arcilloso. La tabla 42 presenta los resultados de Máxima densidad seca y Óptimo contenido de humedad obtenido en cada ensayo.

Tabla 11: Resultados de Ensayo de Proctor modificado en suelo estabilizado con diferentes dosificaciones de polvo de fibra de vidrio

Polvo de fibra de vidrio adicionado (%)	Máxima Densidad seca (g/cm)	Óptimo contenido de humedad (%)
0	1.727	17.2
6	1.759	16.7
8	1.771	16.3
10	1.782	15.6
12	1.797	14.1

Nota: Valores obtenido en laboratorio de Máxima densidad seca (g/cm) y Óptimo contenido de humedad, por Elaboración propia, 2020.

Figura 50: Variación de la densidad seca y contenido de para dosificaciones varias de polvo de fibra de vidrio

Figura 47: Gráfico de variación de valores obtenido en laboratorio de Máxima densidad seca (g/cm) y Óptimo contenido de humedad en función a dosificación de polvo de fibra de vidrio reciclado en muestras de suelo natural, por Elaboración propia, 2020.

Por consiguiente, el CBR del suelo arcilloso fue incrementando mientras porcentaje de polvo de fibra de vidrio se iba añadiendo, el máximo CBR obtenido fue de 13%, en la tabla 43 se muestra el incremento CBR de acuerdo con el porcentaje de vidrio añadido. Este incremento del CBR se puede deber al alto contenido de sílice que tiene el polvo de fibra de vidrio.

Tabla 12: Resultados de Ensayo de CBR en suelo estabilizado con diferentes dosificaciones de polvo de fibra de vidrio

Polvo de fibra de vidrio adicionado (%)	CBR (%)
0	3.7
6	7.7
8	9.4
10	12.1
12	13

Nota: Tabla de Valores obtenido en laboratorio de CBR de dosificaciones 0% a 12%, por Elaboración propia, 2020.

Asimismo, el óptimo contenido de polvo de fibra de vidrio a añadir es de 10%, debido a que los resultados obtenidos del con la adición 12% de polvo de fibra de vidrio mostro un incremento 0.9%. En la figura 51 se muestra como varia el CBR según el porcentaje de polvo de fibra de vidrio añadido, en esta se observa que de 10% a 12% la pendiente comienza a hacer más horizontal.

Figura 51: Incremento de CBR en función al uso de polvo de fibra de vidrio

Figura 48: Valores obtenido en laboratorio de CBR de dosificaciones 0% a 12%, Elaboración propia, 2020.

Finalmente, se presentan tablas de comparativas de valores considerados en el Expediente técnico de la carretera en estudio y los valores obtenidos en la presente investigación.

En cuanto a los valores de densidad y humedad, se redujeron considerablemente. Por un lado, el contenido de humedad se redujo en 6%, el límite líquido se redujo en un 4% y el límite plástico se incrementó en 3%. Sin embargo, los valores obtenidos muestran que el comportamiento de suelo tiende a ser elástico, es decir puede recuperar su forma luego de retirarse carga, debido al incremento de su resistencia y cohesión entre partículas. La tabla 44 muestra el comparativo de los valores obtenidos.

Tabla 13: Comparativo de resultados de Ensayos físicos

Ítem de clasificación	Suelo Natural (Consultora JNR)	Suelo mejorado (Propuesta)
Contenido de Humedad (%)	22.5	16.5
Límite Líquido (%)	32	28
Límite Plástico (%)	18	21
Índice de Plasticidad (%)	14	7
Clasificación SUCS	CL	ML
Clasificación AASHTO	A-6 (8)	A-4

Nota: Tabla de comparativa de valores físicos establecidos en Expediente técnico de la carretera en estudio y valores obtenidos en laboratorio de Ensayos físicos a muestras estabilizadas de suelo arcilloso, por Elaboración propia, 2020.

En cuanto a los resultados de los ensayos de Proctor modificado y CBR realizados se observa un incremento de la capacidad de soporte de la muestra de suelo estabilizada con polvo de fibra de vidrio en 250% más del valor inicial crítico. Este incremento permite modificar el comportamiento no cohesivo del suelo a un suelo más homogéneo y con una calidad de subrasante de tipo Subrasante Muy Buena, según el Manual de Suelos Pavimentos y Suelos, MTC, 2014.

Tabla 14: Comparativo de resultados de Ensayos mecánicos

Ítem de clasificación	Consultora JNR	Suelo mejorado (Propuesta)
Óptimo contenido de humedad (%)	16.6	14.1
Máxima Densidad Seca (g/cm ³)	1.764	1.797
CBR Natural (%)	4.5	3.7
CBR Estabilizado (%)	15.4	13.0
Módulo de Resiliencia	14702.94	13192.12

Nota: Tabla de comparativa de valores de propiedades mecánicas establecidas en Expediente técnico de la carretera en estudio y valores obtenidos en laboratorio de Ensayos físicos a muestras estabilizadas de suelo arcilloso, por Elaboración propia, 2020.

7 DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE BAJO LA METODOLOGÍA AASHTO 1993

7.1 Diseño de Pavimento Propuesto bajo condiciones de estabilización con Polvo de fibra de vidrio reciclado

Con el fin de obtener valores de espesores de la estructura del pavimento y realizar un análisis técnico – económico de la propuesta presentada por la consultora JNR y la presente investigación, se ha realizado un diseño de pavimento flexible bajo la metodología AASHTO 1993.

Por lo tanto, el diseño del pavimento flexible estabilizado con polvo de residuos electrónicos realizado, en primera instancia, sigue la metodología Empírica AASHTO 1993, la cual permite determinar espesores de la estructura del pavimento en condiciones modificadas de suelo.

7.1.1 Consideraciones y Limitaciones de Diseño de Pavimento flexible

- El diseño de pavimento flexible realizado está orientado en obtener valores de la estructura del pavimento en el Tramo I: La calzada- Soritor (0+000 Km – 14+200 Km) de la carretera en estudio.
- El diseño de pavimento realizado ha considerado las mismas condiciones ambientales, condiciones de drenaje y propiedades de materiales que conforman cada capa presentadas en la propuesta que plantea la consultora JNR. Los valores mencionados, se observan en los en las tablas resumen 26 y 27 de cada diseño. Sin embargo, la única variable modificada, es la variable del módulo resiliente.
- El valor del nuevo CBR de diseño, se ha determinado en función de tendencias realizadas, como se muestra en la tabla 22, bajo la metodología adoptada por Javed & Chakraborty, 2020. El valor podrá validarse, luego de realizarse el Ensayo de CBR en laboratorio, y modificarse si es necesario. En esta línea, el valor de CBR es un dato de entrada que permite obtener un nuevo valor de Módulo resiliente de diseño.

Por lo tanto, bajo la ecuación planteada por el diseño AASHTO, el Módulo resiliente.

$$Mr = 2555 * CBR^{0.64}$$

$$Mr = 2555 * 19.40^{0.64}$$

$$Mr_{\text{diseño}} = 17044.99 \text{ psi}$$

Ecuación 9: Cálculos para obtener el valor de Módulo resiliente de diseño, Adaptado de “Diseño de pavimento flexible” por AASHTO, 1993.

La tabla 46, muestra los valores determinísticos de suelo estabilizado a considerar durante el diseño de pavimento flexible.

Tabla 15: Valores de CBR y Módulo resiliente de suelo arcilloso estabilizado

PARÁMETRO DETERMINISTICO DE SUELO ESTABILIZADO CON POLVO DE FIBRA DE VIDRIO RECICLADO	VALOR
CBR obtenido por uso de Polvo de residuos electrónicos	15.80%
Mr (Sub- rasante)	14,946. 22psi

Nota: En la tabla se indican valores de CBR y Módulo resiliente obtenidos por la estabilización de suelos arcillosos con polvo de fibra de vidrio reciclado en la zona de estudio por Elaboración Propia, 2020.

- El cálculo de espesores, sigue la metodología Empírica AASHTO 1993, puesto que la empresa consultora ha utilizado dicho valor para el diseño estructural del pavimento.
- Los valores de coeficientes estructurales se han obtenido a partir de nomogramas que estas relacionados a valores de confiabilidad y CBR. Los valores de coeficientes estructurales se pueden observar en los anexos 18, 19 y 20.
- Los valores de temperatura, no forman parte de esta metodología, pues la metodología AASHTO 1993, no los considera para el diseño.
- Se realizarán dos diseños de pavimentos para periodos de diseño de 10 y 20 años, debido a que la propuesta desarrollada por la constructora plantea ambos diseños.
- Los valores de espesores estructurales mínimos de base y subbase serán de 15 cm y carpeta asfáltica de 9 cm. Esto puede validarse en el Anexo 27.

7.1.2 Propuesta de Diseño de Pavimento flexible (Tr= 10 años)

PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE TESIS Tr= 10 años **Tramo I: La calzada – Soritor (Km 0+000 al km 14+200)**

A continuación, se detallan los parámetros de diseño, para un periodo de diseño de 10 años.

Tabla 47: Variables de diseño de Pavimento flexible Tr= 10 años

PARÁMETRO DE DISEÑO	VALOR
EAL _{10años}	2.12 E+06
Mr (Sub- rasante)	18741 psi
Nivel de Conf	85%
Zr	-1.037
Desviación Normal (S0)	0.32
Serviciabilidad Inicial (Pi)	4.2
Serviciabilidad Final (Pt)	2
Índice de serviciabilidad	2.2
PROPIEDADES DE LOS MATERIALES	VALOR
Concreto asfáltico convencional (a1)	450,000 psi
CBR - Capa Base	95%
CBR- Capa Sub base	60%
CBR- Subrasante Estabilizada	15.33%
COEFICIENTE ESTRUCTURALES DE CAPA	
ESTRUCTURACIÓN DEL PAVIMENTO	VALOR
Concreto asfáltico convencional (a1)	0.44
Base granular (a2)	0.14
Sub base granular (a3)	0.11
COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA	
ESTRUCTURACIÓN DEL PAVIMENTO	VALOR
Base granular (m2)	1
Sub base granular (m3)	1

Nota: En la tabla se indican valores de entrada para el diseño de pavimentos bajo la metodología AASHTO 1993 para un periodo de diseño de 10 años por Elaboración Propia, 2020.

Luego de haber obtenido los valores de entrada de la formula, se procede a utilizarla, realizando iteraciones que permitan despejar la variable del número estructural “SN”. En este sentido, se obtuvo el número estructural requerido mostrado en la tabla 48 para la estructura del pavimento para un periodo de diseño de 10 años.

Tabla 16: Número estructural requerido para un valor de ESAL de $2.12 \text{ E}+06$

SN REQUERIDO			
N18 Nom	=	N18 Calc	SN req
6.33		6.33	2.59
Gt		-0.09	

Nota: En la tabla se indica el número estructural requerido de la estructura del pavimento flexible por Elaboración Propia, 2020.

El número estructural propuesto para el pavimento es de 2.59, sin embargo, para obtener un valor más conservador, para fines de diseño se hará uso del número estructural requerido. Los valores mencionados, se muestran en la tabla 49. Los anexos muestran el cálculo de las SN para cada capa y su validación según el Manual de Pavimentos, 2014.

Tabla 49: Número estructural propuesto y requerido para $Tr=10$ años

NÚMERO ESTRUCTURAL - $Tr=10$ años		
Snpropuesto	>	Snreq
3.04		2.59

Nota: En la tabla se indica el número estructural propuesto y número estructural requerido de la estructura del pavimento flexible por Elaboración Propia, 2020.

Finalmente, los espesores de diseño para cada capa de la estructura del pavimento flexible para un periodo de diseño de 10 años se observan en la figura 49.

Figura 52: Espesores de las capas que conforman la estructura del pavimento estabilizado con polvo de fibra de vidrio

C. Asfáltica	9.00 cm
Base	15.00 cm
Sub-Base	15.00 cm
Sub-Rasante	

Figura 52: Espesores de las capas de la estructura del pavimento flexible estabilizado con polvo de fibra de vidrio ($Tr=10$ años) por Fuente propia, 2020.

7.1.3 Propuesta de Diseño de Pavimento flexible (Tr= 20 años)

PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE TESIS Tr= 20 años **Tramo I: La calzada – Soritor (Km 0+000 al km 14+200)**

A continuación, se detallan los parámetros de diseño, para un periodo de diseño de 20 años.

Tabla 50: Variables de diseño de Pavimento flexible Tr=20 años

PARÁMETRO DE DISEÑO	VALOR
EAL _{10años}	5.42 E+06
Mr (Sub- rasante)	18741 psi
Nivel de Conf	85%
Zr	-1.28
Desviación Normal (S0)	0.31
Serviciabilidad Inicial (Pi)	4.2
Serviciabilidad Final (Pt)	2
Índice de serviciabilidad	2.2
PROPIEDADES DE LOS MATERIALES	VALOR
Concreto asfáltico convencional (a1)	450,000 psi
CBR - Capa Base	95%
CBR- Capa Sub base	60%
CBR- Subrasante Estabilizada	15.8%
COEFICIENTE ESTRUCTURALES DE CAPA	
ESTRUCTURACIÓN DEL PAVIMENTO	VALOR
Concreto asfáltico convencional (a1)	0.44
Base granular (a2)	0.14
Sub base granular (a3)	0.11
COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA	
ESTRUCTURACIÓN DEL PAVIMENTO	VALOR
Base granular (m2)	1
Sub base granular (m3)	1

Nota: En la tabla se indican valores de entrada para el diseño de pavimentos bajo la metodología AASHTO 1993 para un periodo de diseño de 20 años por Elaboración Propia, 2020.

Luego de haber obtenido los valores de entrada de la formula, se procede a utilizarla, realizando iteraciones que permitan despejar la variable del número estructural “SN”. En este sentido, se obtuvo el número estructural requerido mostrado en la tabla 51 para la estructura del pavimento para un periodo de diseño de 20 años.

Tabla 17: Número estructural requerido para un valor de ESAL de 5.42 E+06

SN REQUERIDO		
N18 Nom	=	N18 Calc
6.73		6.73
Gt		-0.09
		SN req
		2.99

Nota: En la tabla se indica el número estructural requerido de la estructura del pavimento flexible. Elaboración Propia, 2020.

El número estructural propuesto para el pavimento es de 2.99, sin embargo, para obtener un valor más conservador, para fines de diseño se hará uso del número estructural requerido. Los valores mencionados, se muestran en la tabla 52. Los anexos muestran el cálculo de las SN para cada capa y su validación según el Manual de Pavimentos, 2014.

Tabla 18: Número estructural propuesto y requerido para un Tr= 20 años

NÚMERO ESTRUCTURAL - Tr= 20 años		
Snpropuesto		Snreq
3.38	>	2.99

Nota: En la tabla se indica el número estructural propuesto y requerido de la estructura del pavimento flexible. Elaboración Propia, 2020.

Finalmente, los espesores de diseño para cada capa de la estructura del pavimento flexible para un periodo de diseño de 20 años se observan en la figura 53.

Figura 20: Espesores de las capas que conforman la estructura del pavimento estabilizado con polvo de fibra de vidrio

C. Asfáltica	11.00 cm
Base	15.00 cm
Sub-Base	15.00 cm
Sub-Rasante	

Figura 53: Espesores de las capas de la estructura del pavimento flexible estabilizado con polvo de residuos electrónicos (Tr= 20 años) por Fuente propia, 2020.

Tabla 19: Comparativo de Diseño de Pavimentos según Propuesta JNR y Propuesta Tesis de Investigación (Tr= 10 años, Tr= 20 años)

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES - AASHTO 1993			PROPUESTA JNR Tr= 10 años		PROPUESTA JNR Tr= 20 años	
Parámetro de diseño	Variable	Unidades	Propuesta JNR	Propuesta Tesis	Propuesta JNR	Propuesta Tesis
Condiciones de suelos	Tipo de suelo	-	A-6(4)			
	Tipo de estabilización	-	Física	Física-Mecánica	Física	Física-Mecánica
	Material de estabilización		Over 6"	Fibra de vidrio	Over 6"	Fibra de vidrio
	CBR subrasante natural	-	3.7	3.7	3.7	3.7
	Modulo resiliente CBR natural	Psi	5902.55	5902.55	5902.55	5902.55
	CBR subrasante estabilizada	%	15.44	13	15.44	13
	Modulo resiliente CBR estabilizado	Psi	14727.37	13192.12	14727.37	13192.12
Propiedades materiales	Concreto asfáltico convencional		450,000.00	450,000.00	450,000.00	450,000.00
	CBR Subbase	%	95	95	95	95
	CBR Base	%	60	60	60	60
Tráfico	W18	ESAL	2.12E+06	2.12E+06	5.42E+06	5.42E+06
Parámetro de tiempo	Periodo de diseño	Años	10	10	20	20
Parámetros de servicio	Po	-	4.2	4.2	4.2	4.2
	Pt	-	2.2	2.2	2.2	2.2
	PSI	-	2	2	2	2
Parámetros estadísticos	R	%	95	95	95	95
	Zr	-	-1.037	-1.037	-1.037	-1.037
	S0	-	0.32	0.32	0.32	0.32
Condiciones de drenaje	Drenaje Base granular	-	1	1	1	1
	Drenaje Subbase	-	1	1	1	1
	SN	-				
Diseño de espesores	Espesor carpeta asfáltica	cm	9	9	11	11
	Espesor Base	cm	17.5	15	17.5	15
	Espesor Subbase	cm	20	15	20	15

Nota: En la tabla se indica los diferentes parámetros y variables de diseño consideradas para el Diseño de espesores, según la Propuesta consultora JNR y Propuesta Tesis de Investigación para 10 y 20 años por Elaboración Propia, 2020.

8 COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE ESTABILIZADO

8.1 Análisis Mecánico del Pavimento Flexible Estabilizado

El análisis mecánico del pavimento a realizar sigue precedente del Multicapa Elástica, la cual indica la distribución de esfuerzos que permitan obtener valores de deformaciones unitarias y deflexiones a partir de una carga aplicada en áreas seleccionadas.

8.1.1 Metodología Multicapa Elástica

El análisis sigue la metodología Brumaste (1945) y ecuaciones matemáticas en función a factores de tráfico, propiedades mecánicas de los materiales de capas e interfaz entre el apoyo del neumático y cada capa del pavimento. La figura 54 muestra la distribución de cargas que sigue la metodología.

Figura 21: Distribución de cargas entre capas del pavimento

Figura 54: Distribución de cargas progresiva en cada capa del pavimento, Adpatado de Teoría Multicapa elástica de pavimentos por Burmister, 1945.

Por otro lado, la aplicación de carga es de tipo simple y se realiza sobre un área circular, por lo que los esfuerzos, deformaciones y deflexiones ocurren bajo el centro de la carga circular. Los esfuerzos producidos son de tipo radial (σ_Z), vertical (σ_Y) y tangencial (σ_X).

8.1.1.1 Consideraciones Multicapa Elástica

La teoría multicapa elástica sigue las siguientes suposiciones para el análisis mecánico del pavimento:

- Las propiedades de cada capa son isotrópicas en cuanto a Módulo de Elasticidad, Espesor y Poisson.
- Cada capa tiene un espesor finito, excepto la subrasante.
- En cada capa se desarrolla una interfaz de fricción.
- Entre los estratos existe continuidad de esfuerzos.

La figura 55, muestra el interfaz generado en cada capa del pavimento según las suposiciones que indica la metodología.

Figura 22: Interfaz entre capas del pavimento según las características mecánicas de capas

Figura 55: Distribución de cargas entre interfaces de cada capa del pavimento, Adpatado de Teoría Multicapa elástica de pavimentos por Burmister, 1945.

8.1.1.2 Consideraciones de Aplicación de carga

En cuanto a la carga aplicada de los ejes de vehículos genera una reacción de compresión vertical sobre todo el área circular de la capa en estudio, eso se observa en la figura 56. Asimismo, la figura 57 muestra la formación de ondas sinusoidales en dirección contraria hacia donde se aplica la carga, las cuales representan el esfuerzo y deformación producida.

Figura 23: Aplicación de carga sobre área circular

Figura 56: Aplicación de carga en centro de neumáticos de un vehículo pesado Adpatado de Teoría Multicapa elástica de pavimentos por Burmister, 1945.

Figura 24: Onda de respuesta en términos de deformaciones ante esfuerzo aplicada para materiales elásticos

Figura 57: Formación de ondas sinusoidales en estado viscoelástico. Adaptado de Teoría Mecánica Empírica de Pavimentos por Chávez, Echevarría & Iriondo, 1945.

La carga aplicada pretende ser distribuida sobre las diferentes capas que conforman al pavimento, las cuales se aplican de manera vertical y la cual genera esfuerzos verticales de compresión y horizontales de fatiga. La figura 58 muestra el esquema de trabajo en coordenadas x , y y z .

Figura 25: Distribución de cargas en el sistema de coordina x , y , z

Figura 58: Formación de esfuerzos en función a distribución de cargas sobre cada capa del pavimento por Elaboración propia, 2020.

8.2 Modelado del Pavimento Flexible Estabilizado

El modelado de la estructura del pavimento a desarrollar sigue la teoría mecanicista, orientada a obtener valores de esfuerzos, deformaciones y deflexiones, mediante la consideración del comportamiento elástico de la capa asfáltica y el comportamiento no lineal de materiales granulares que conforman la estructura del pavimento.

Por otro lado, el modelado ha sido realizado en función del Diseño del Pavimento para un periodo de 10 años. Asimismo, el modelado considera que el valor del Módulo de elasticidad de los materiales granulares y Módulo de resiliencia del material de subrasante tiene un comportamiento que varía en función a los esfuerzos a que se somete la estructura del pavimento.

8.2.1 Aplicación 3D Move

Es un programa que sigue la metodología mecánica de pavimentos flexibles AASHTO 2008 desarrollado por la Universidad de Nevada en el año 2014 mediante un análisis estático que permite calcular esfuerzos y deformaciones máximas que una rueda doble colocada en la superficie de la vía se produce en las diferentes capas que conforman al pavimento. Cada capa fue caracterizada en cuanto a valores previos del diseño de Pavimentos AASHTO 93, como lo son el espesor, módulo de elasticidad y relación de poisson de cada capa del pavimento.

8.2.1.1 Información inicial

La información inicial por ingresar al software inicial a considerar es la cantidad de capas que conforma el pavimento, valores de propiedades mecánicas en términos de Módulo de resiliencia y Poisson de los materiales que conforman las capas del pavimento. Para la capa de subrasante se debe de considerar un espesor infinito y el Módulo de resiliencia de esta. Esto se observa en la tabla 54.

Tabla 20: Propiedades mecánicas de materiales de cada capa del pavimento flexible

Propiedades materiales capas (No estabilizado)				
Tipo	Espesor (cm)	Módulo resiliente (psi) (kg/cm ²)		Poisson
Concreto Asfáltico	9	45000	3150	0.35
Base granular	17	35108	2458	0.40
Subbase granular	25	27084	1896	0.40
Subrasante	-	5903	413	0.50

Nota: En la tabla se indican las propiedades de materiales de cada capa del pavimento flexible. Elaboración Propia, 2020.

8.2.1.2 Aplicación de cargas

El programa asume que la carga simple ejercida corresponde a un vehículo Tandem de 6 ruedas, cada rueda ejerce un peso de 8.2 Tn, según el diseño AASHTO. Las longitudes por considerar L1 y L2 corresponden a las distancias entre ruedas en pulgadas, así como los Xc y Ye son longitudes medias del área circular en estudio que hacen referencia a las ruedas que impactan sobre el pavimento. La figura 59 y 60 describen la ubicación de la carga para cada propuesta.

Figura 26: Ubicación de la carga producida por neumáticos según Propuesta de Estructura de Pavimento JNR

Figura 59: Ubicación de carga e información de espesores por capa de la propuesta de pavimento diseñado desarrollada por JNR por Elaboración propia, 2020.

Figura 60: Ubicación de la carga producida por neumáticos según Propuesta de Estructura de Pavimento Tesis

Figura 60: Ubicación de carga e información de espesores por capa del pavimento diseñada en la Tesis de investigación por Elaboración propia, 2020.

La aplicación de carga se aplicará inicialmente en el Análisis estático y sobre el origen de coordenadas $x, y, z = (0,0,0)$ sobre las cuales se proyectarán los neumáticos del eje pesado sobre un área circular de la estructura del pavimento, como se muestra en la figura 61.

Figura 61: Ubicación de la carga producida por neumáticos de un vehículo pesado

Figura 61: Ubicación de carga en el Sistema de coordenadas x, y y z por Elaboración propia, 2020.

8.2.1.3 Descripción interfaz entre capas

La interfaz considerada corresponde a las siguientes cargas externas e internas, así como condiciones de borde que siguen formulas y coeficientes estructurales según la metodología FWD y AASHTO.

- **Carga del vehículo hacia abajo:** La carga considera su repetición cuatro veces diariamente.
- **Carga de la estructura del pavimento de respuesta (dirección contraria carga de compresión):** La carga considera la presión de contacto que entre el neumático y la superficie del pavimento.
- **Carga de fatiga:** La eficiencia de la estructura del pavimento podrá desarrollarse en un 85%, con una pérdida de 15%.
- **Funciones de transferencia de carga entre capas:** La carga se transmite uniformemente sobre cada capa del pavimento.

La carga aplicada se realiza en el inicio del eje de coordenadas donde se ubica la primera rueda la distancia entre ruedas inicial y trasera del eje del vehículo TANDEM (0,3.453, variable según cada espesor de capa). Asimismo, el análisis vertical se realiza considerando

que la profundidad de cada capa según el diseño de pavimento realizado, esto se presenta en las figuras 62 y 63.

La aplicación de la carga inicia con el contacto de rueda del Eje frontal del vehículo Tándem con el pavimento. Es decir, muestra la ubicación de la rueda delantera en 0 m, 3.543 m y 7.087 m (dimensiones de longitud entre Eje frontal y Eje central de vehículo). Asimismo, evalúa el movimiento del vehículo hasta una longitud de 55.11 m.

Figura 62: Aplicación de carga sobre la longitud de pavimento modelado según Propuesta de JNR

Figura 62: Aplicación de carga sobre la longitud del pavimento flexible modelado según el diseño de espesores realizado por la Consultora JNR por Elaboración propia, 2020.

Figura 27: Aplicación de carga sobre la longitud de pavimento modelado según Propuesta de Tesis

Figura 63: Aplicación de carga sobre la longitud del pavimento flexible modelado según el diseño de espesores realizado por la Tesis de investigación por Elaboración propia, 2020.

8.2.1.4 Análisis mecánico del Pavimento modelado

Los resultados obtenidos de la carga aplicada a el modelado en las condiciones mencionadas en los ítems anteriores muestran valores de esfuerzos, deformaciones y desplazamientos en las direcciones x, y, z para cada propuesta de pavimento.

8.2.1.4.1 Análisis mecánico del Pavimento modelado Análisis mecánico de Propuesta de Diseño de Pavimento por JNR modelado

a) Esfuerzos Normales

Los esfuerzos normales producidos por la carga simple se presentan en la tabla 55. El valor máximo obtenido fue de 8.890 kg/cm² y el valor mínimo de esfuerzo fue de -0.014 kg/cm².

Tabla 21: Esfuerzos Máximos y Mínimos normales del Modelado del Pavimento Flexible diseñado por JNR

Esfuerzo Máximo y Mínimo de la estructura del Pavimento flexible (JNR)			
Esfuerzos	Esfuerzo normal X-X (kg/cm²)	Esfuerzo normal Y-Y (kg/cm²)	Esfuerzo normal Z-Z (kg/cm²)
Máximo Esfuerzo (kg/cm²)	8.240	8.098	8.890
Mínimo (kg/cm²)	-0.218	-0.684	-0.014

Esfuerzos Máximos y mínimos en cada capa del pavimento flexible (JNR)			
Capa del Pavimento	Esfuerzo normal X-X (kg/cm²)	Esfuerzo normal Y-Y (kg/cm²)	Esfuerzo normal Z-Z (kg/cm²)
Máximo Esfuerzo (kg/cm²)			
Carpeta Asfáltica	8.240	8.098	8.890
Base	5.669	5.585	8.808
Subbase	1.032	1.636	6.123
Subrasante	0.123	0.412	1.799
Mínimo Esfuerzo (kg/cm²)			
Carpeta Asfáltica	0.572	-0.684	-0.014
Base	0.000	0.568	0.014
Subbase	0.110	0.346	0.651
Subrasante	-0.218	-0.148	0.417

Nota: En la tabla se indican resultados de esfuerzos normales máximos y mínimos producidos por aplicación de carga según el Análisis mecánico del pavimento diseñado por la consultora JNR para un periodo de diseño de 10 años por Elaboración Propia, 2020.

Asimismo, la tabla 56 presenta los resultados de esfuerzos normales producidos en cada capa del pavimento según la aplicación de carga

Tabla 22: Resultados de normales producidos en cada del Pavimento Flexible diseñado por JNR

Esfuerzos normales Estructura del Pavimento flexible - Propuesta JNR (kg/cm2)							
Punto N°	Capa	X Coord (cm)	Y Coord (cm)	Z Coord (cm)	Esfuerzo normal X-X (kg/cm2)	Esfuerzo normal Y-Y (kg/cm2)	Esfuerzo normal Z-Z (kg/cm2)
1	C. asfáltica	3.543	3.543	0.000	8.24040	8.09760	8.89000
2	C. asfáltica	3.543	7.087	0.635	1.05042	-0.68367	-0.00570
3	C. asfáltica	3.543	10.82 7	1.270	0.62740	-0.26650	-0.01377
4	C. asfáltica	3.543	3.543	1.905	7.35350	7.23030	0.00000
5	C. asfáltica	3.543	7.087	3.810	2.33702	2.95225	1.18489
6	C. asfáltica	3.543	10.82 7	6.350	0.60363	0.03381	-0.00515
7	C. asfáltica	3.543	3.543	7.700	6.49047	6.38701	8.86270
8	C. asfáltica	3.543	7.087	8.310	2.35879	3.27677	2.28431
9	C. asfáltica	3.543	10.82 7	9.000	0.57221	0.30890	0.00283
10	Base	3.543	3.543	12.740	5.66909	5.58474	8.80810
11	Base	3.543	7.087	13.380	0.00000	3.15462	2.83717
12	Base	3.543	10.82 7	14.650	0.54018	0.56812	0.01390
13	Base	3.543	3.543	20.871	3.58582	3.55614	8.36080
14	Base	3.543	7.087	22.141	1.39391	2.62199	3.22336
15	Base	3.543	10.82 7	20.871	0.44588	1.19203	0.10188
16	Base	3.543	3.543	21.511	1.80208	1.83638	7.18900
17	Base	3.543	7.087	23.421	0.78960	2.00032	3.07097
18	Base	3.543	10.82 7	24.000	0.32569	1.59684	0.34577
19	Subbase	3.543	3.543	27.724	1.03152	1.10663	6.12283
20	Subbase	3.543	7.087	28.359	0.50297	1.61168	2.85495
21	Subbase	3.543	10.82 7	30.269	0.23979	1.63569	0.57327
22	Subbase	3.543	3.543	32.809	0.84476	0.93233	5.75771
23	Subbase	3.543	7.087	34.159	0.42642	1.49275	2.77326
24	Subbase	3.543	10.82 7	35.217	0.21144	1.61126	0.65052
25	Subbase	3.543	3.543	36.487	0.20094	0.34574	3.81640
26	Subbase	3.543	7.087	38.397	0.10973	0.90328	2.25771
27	Subbase	3.543	10.82 7	39.000	0.05372	1.23564	1.02291
28	Subrasante	3.543	3.543	54.200	-0.19681	-0.02338	1.79921
29	Subrasante	3.543	7.087	59.340	-0.19764	0.22325	1.46419

30	Subrasante	3.543	$\frac{10.82}{7}$	61.690	-0.19122	0.41162	1.14534
31	Subrasante	3.543	3.543	66.830	-0.10734	-0.00553	1.00583
32	Subrasante	3.543	7.087	74.320	-0.11556	0.05111	0.97615
33	Subrasante	3.543	$\frac{10.82}{7}$	76.670	-0.11771	0.09771	0.91882
34	Subrasante	3.543	3.543	79.020	-0.19728	-0.14000	0.64653
35	Subrasante	3.543	7.087	84.160	-0.21351	-0.14839	0.67569
36	Subrasante	3.543	$\frac{10.82}{7}$	91.650	-0.21801	-0.14355	0.67659
37	Subrasante	3.543	3.543	94.000	0.11774	0.14546	0.55565
38	Subrasante	3.543	7.087	99.140	0.12205	0.15016	0.58909
39	Subrasante	3.543	$\frac{10.82}{7}$	106.630	0.12345	0.15416	0.59688
40	Subrasante	3.543	3.543	108.980	0.10995	0.10464	0.41687
41	Subrasante	3.543	7.087	114.120	0.11513	0.10958	0.43653
42	Subrasante	3.543	$\frac{10.82}{7}$	119.000	0.12006	0.11426	0.45520

Nota: En la tabla se indican resultados de esfuerzos normales producidos en cada capa del pavimento por aplicación de carga según el Análisis mecánico del pavimento diseñado por la consultora JNR para un periodo de diseño de 10 años por Elaboración Propia, 2020.

Los resultados de esfuerzos normales obtenidos de cada capa del pavimento indican una resistencia de esfuerzos normal variable en cada capa del pavimento. La capa con mayor valor de resistencia corresponde a la capa de carpeta asfáltica, con valores de esfuerzos normales entre los 5 kg/cm² y 8 kg/cm², lo cual hace al suelo con tendencia a ser elástico-Asimismo, la capa de base presenta valores de esfuerzos máximos producidos entre la parte frontal de aplicación de rueda y la final de esta luego de aplicársele carga. Las figuras siguientes muestran gráficas de los resultados obtenidos de esfuerzos normales de cada capa el pavimento.

En cuanto a los esfuerzos normales producidos en las capas de subbase y subrasante son de tipo mínimo en los ejes x y y debido a la gran resistencia que aporta la capa de subrasante con esfuerzos mínimos menores a 0 y negativos. Los valores fluctúan entre -0.15 kg/cm² y 0.20 kg/cm². Lo mencionado indica la tendencia del suelo a comportarse con mayor resistencia, sin embargo, tienen una tendencia a desarrollar deformaciones permanentes debido a sus incrementos puntuales de esfuerzos al inicio y fin de presión de neumático sobre la superficie de rodadura. Las figuras 67,68,69 y 70 describen lo mencionado.

Figura 28: Esfuerzos normales desarrollados en la capa de Carpeta asfáltica

Figura 67: Desarrollo de esfuerzos normales producidos por aplicación de carga simple en la capa de carpeta asfáltica para el diseño de espesores de la consultora JNR por Elaboración propia, 2020.

Figura 29: Esfuerzos normales desarrollados en la capa de SubBase

Figura 68: Desarrollo de esfuerzos normales producidos por aplicación de carga simple en la capa de Base para el diseño de espesores de la consultora JNR por Elaboración propia, 2020.

Figura 30: Esfuerzos normales desarrollados en la capa de Subbase

Figura 69: Desarrollo de esfuerzos normales producidos por aplicación de carga simple en la capa de Base para el diseño de espesores de la consultora JNR por Elaboración propia, 2020.

Figura 70: Esfuerzos normales desarrollados en la capa de Subrasante

Figura 70: Desarrollo de esfuerzos normales producidos por aplicación de carga simple en la capa de Subrasante para el diseño de espesores de la consultora JNR por Elaboración propia, 2020.

b) Esfuerzos Cortantes

Los esfuerzos cortantes producidos por la elasticidad del suelo y reacomodo de partículas al aplicársele una carga simple se presentan en la tabla 57. El valor máximo obtenido fue de 2.526 kg/cm² y el valor mínimo de esfuerzo fue de -0.014 kg/cm². Ambos esfuerzos cumplen ante falla por ahuellamiento según la calibración del programa.

Tabla 23: Esfuerzos Máximos y Mínimos de corte del Modelado del Pavimento Flexible diseñado por JNR

Esfuerzos Máximos y Mínimos de corte de la Estructura del Pavimento flexible (JNR)			
Esfuerzos	Esfuerzo normal X-X (kg/cm²)	Esfuerzo normal Y-Y (kg/cm²)	Esfuerzo normal Z-Z (kg/cm²)
Máximo Esfuerzo (kg/cm²)	0.0619227	0.1460410	2.5261600
Mínimo (kg/cm²)	0.0619227	0.0000000	-0.1441650

Esfuerzos Máximos y Mínimos de corte en cada capa del pavimento flexible (JNR)			
Capa del Pavimento	Esfuerzo normal X-X (kg/cm²)	Esfuerzo normal Y-Y (kg/cm²)	Esfuerzo normal Z-Z (kg/cm²)
Máximo Esfuerzo (kg/cm²)			
Carpeta Asfáltica	0.0434833	0.0893410	2.4444000
Base	0.0619227	0.1421700	2.5261600
Subbase	0.0414806	0.1460410	1.5815800
Subrasante	0.0062118	0.0483266	0.2108820
Mínimo Esfuerzo (kg/cm²)			
Carpeta Asfáltica	-0.0835800	0.0000000	-0.0087605
Base	-0.0034596	0.0064367	-0.0797720
Subbase	-0.0031438	0.0394989	-0.1335110
Subrasante	-0.0005601	0.0027214	-0.1441650

Nota: En la tabla se indican resultados de esfuerzos cortantes máximos y mínimos producidos por aplicación de carga según el Análisis mecánico del pavimento diseñado por la consultora JNR para un periodo de diseño de 10 años por Elaboración Propia, 2020.

Por otro lado, la tabla 58 presenta los resultados de esfuerzos cortantes producidos en cada capa del pavimento según la aplicación de carga en cada eje.

Tabla 58: Resultados de normales producidos en cada del Pavimento Flexible diseñado por JNR

Esfuerzos cortantes estructura del pavimento flexible estabilizado (kg/cm2)							
Punto	Capa	X-Coord	Y-Coord	Z-Coord	Esfuerzo cortante XY	Shear Strain XZ	Shear Strain YZ
N°	Pavimento	(in)	(in)	(in)	(kg/cm2)	(kg/cm2)	(kg/cm2)
1	Carpeta asfáltica	3.543	3.543	0.000	-0.00754	0.00000	0.00000
4	Carpeta asfáltica	3.543	7.087	0.635	-0.08358	0.00000	0.00000
7	Carpeta asfáltica	3.543	10.827	1.270	0.00198	0.00000	0.00000
10	Carpeta asfáltica	3.543	3.543	1.905	0.00354	0.08934	0.09057
13	Carpeta asfáltica	3.543	7.087	3.810	0.03925	0.04872	1.97253
16	Carpeta asfáltica	3.543	10.827	6.350	0.00088	0.00137	-0.00412
19	Carpeta asfáltica	3.543	3.543	7.700	-0.00180	0.03879	0.03075
22	Carpeta asfáltica	3.543	7.087	8.310	0.04348	0.07074	2.44440
25	Carpeta asfáltica	3.54300	10.82700	9.00000	-0.00005	0.00370	-0.00876
26	Base	3.54300	3.54300	12.74000	-0.00283	0.03698	0.02235
27	Base	3.54300	7.08700	13.38000	0.05461	0.09769	2.52616
28	Base	3.54300	10.82700	14.65000	-0.00092	0.00644	-0.01537
29	Base	3.54300	3.54300	20.87110	-0.00248	0.09251	0.05971
30	Base	3.54300	7.08700	22.14110	0.06192	0.12826	2.33555
31	Base	3.54300	10.82700	20.87110	-0.00278	0.01674	-0.04661
32	Base	3.54300	3.54300	21.51110	-0.00024	0.14217	0.08203
33	Base	3.54300	7.08700	23.42110	0.05162	0.11596	1.91604
34	Base	3.54300	10.82700	24.00000	-0.00346	0.03102	-0.07977
35	Subbase	3.54300	3.54300	27.72410	0.00075	0.14604	0.06338
36	Subbase	3.54300	7.08700	28.35910	0.04148	0.10377	1.58158
37	Subbase	3.54300	10.82700	30.26910	-0.00314	0.03950	-0.08724
38	Subbase	3.54300	3.54300	32.80910	0.00091	0.14283	0.05221
39	Subbase	3.54300	7.08700	34.15910	0.03801	0.09967	1.46902
40	Subbase	3.54300	10.82700	35.21710	-0.00296	0.04177	-0.08668
41	Subbase	3.54300	3.54300	36.48710	0.00094	0.10564	-0.03234
42	Subbase	3.54300	7.08700	38.39710	0.02013	0.07701	0.85855
43	Subbase	3.54300	10.82700	39.00000	-0.00174	0.04883	-0.06445
44	Subrasante	3.54300	3.54300	54.20000	0.00192	0.05384	-0.13351
45	Subrasante	3.54300	7.08700	59.34000	0.00556	0.04833	0.21088
46	Subrasante	3.543	10.827	61.690	-0.00056	0.04259	-0.01943
47	Subrasante	3.543	3.543	66.830	0.00369	0.03078	-0.14417
48	Subrasante	3.543	7.087	74.320	0.00270	0.03069	-0.00899
49	Subrasante	3.543	10.827	76.670	-0.00027	0.03003	-0.00133
50	Subrasante	3.543	3.543	79.020	0.00621	0.01935	-0.10460
51	Subrasante	3.543	7.087	84.160	0.00329	0.01973	-0.03845
52	Subrasante	3.543	10.827	91.650	-0.00029	0.01975	0.00173
53	Subrasante	3.543	3.543	94.000	0.00365	0.01359	-0.07069
54	Subrasante	3.543	7.087	99.140	0.00189	0.01383	-0.03178

55	Subrasante	3.543	10.827	106.630	-0.00016	0.01388	0.00166
56	Subrasante	3.543	3.543	108.980	0.00489	0.00272	-0.04939
57	Subrasante	3.543	7.087	114.120	0.00512	0.00285	-0.05172
58	Subrasante	3.543	10.827	119.000	0.00534	0.00297	-0.05393

Nota: En la tabla se indican resultados de esfuerzos cortantes producidos en cada capa del pavimento por aplicación de carga según el Análisis mecánico del pavimento diseñado por la consultora JNR para un periodo de diseño de 10 años por Elaboración Propia, 2020.

Los esfuerzos cortantes producidos en la carpeta asfáltica y base muestran un comportamiento mínimo en los ejes de x y z, mientras que en el eje y, se producen esfuerzos de corte debido a la aplicación directa de la carga sobre dicho eje por la presión de neumático sobre la capa de rodadura. Los esfuerzos cortantes son de tipo horizontal y se producen de manera directa o perpendicular de la carga, en ese sentido, el suelo produce esfuerzos que restringen la disgregación del material y el desarrollo de deformaciones.

Por otro lado, los esfuerzos cortantes desarrollados en la carpeta subbase y subrasante representan esfuerzos con tendencias a desarrollar deformaciones plásticas con recuperación instantánea en diferentes puntos. Asimismo, los esfuerzos presentan un comportamiento heterogéneo en cada punto de análisis, debido a la variación de compactación y densidades de cada capa, siendo la más resistente y con menos tendencia a fallar por ahuellamiento. Los valores de esfuerzos obtenidos fluctúan entre -0.008 kg/cm² y 0.64 kg/cm².

Las siguientes figuras muestran gráficas de los resultados obtenidos de esfuerzos normales de cada capa el pavimento y además representan la reacción de los materiales de capas ante la aplicación de cargas repetidas por medio del paso del vehículo pesado para un periodo de 10 años en forma de pulso. Los valores positivos indican las fuerzas de repulsión en dirección contraria a la carga (hacia arriba) encontrándose en un estado viscoelástico y los valores negativos indican la estabilidad de los mismo al encontrarse en el rango sólido.

Figura 71: Esfuerzos cortantes desarrollados en la capa de Carpeta asfáltica

Figura 71: Desarrollo de esfuerzos cortantes producidos por aplicación de carga simple en la capa de Carpeta asfáltica para el diseño de espesores de la consultora JNR por Elaboración propia, 2020.

Figura 72: Esfuerzos cortantes desarrollados en la capa de Base

Figura 72: Desarrollo de esfuerzos cortantes producidos por aplicación de carga simple en la capa de Carpeta Base para el diseño de espesores de la consultora JNR por Elaboración propia, 2020.

Figura 73: Esfuerzos cortantes desarrollados en la capa de SubBase

Figura 73: Desarrollo de esfuerzos cortantes producidos por aplicación de carga simple en la capa de Subbase para el diseño de espesores de la consultora JNR por Elaboración propia, 2020.

Figura 74: Esfuerzos cortantes desarrollados en la capa de Subrasante

Figura 74: Desarrollo de esfuerzos cortantes producidos por aplicación de carga simple en la capa de Subrasante para el diseño de espesores de la consultora JNR por Elaboración propia, 2020.

c) Desplazamientos

Los desplazamientos producidos por la elasticidad del suelo y reacomodo de partículas al aplicársele una carga simple se presentan en la tabla 59. El valor máximo obtenido fue de 0.641 mm y el valor mínimo de desplazamientos fue de -0.0298 mm. Ambos esfuerzos cumplen ante falla por ahuellamiento según la calibración del programa.

Tabla 24: Esfuerzos Máximos y Mínimos de corte del Modelado del Pavimento Flexible diseñado por JNR

Esfuerzos Máximos y Mínimos de corte de la Estructura del Pavimento flexible (JNR)			
Desplazamientos	Desplz X-X	Desplz Y-Y	Desplz Z-Z
	(mm)	(mm)	(mm)
Máximo Esfuerzo (kg/cm²)	-0.0002686	0.0452425	0.6408674
Mínimo (kg/cm²)	-0.0297858	-0.0354639	0.1167613

Esfuerzos Máximos y Mínimos de corte en cada capa del pavimento flexible (JNR)

Desplazamientos en Capas del Pavimento		Desplz X-X	Desplz Y-Y	Desplz Z-Z
		(mm)	(mm)	(mm)
Máximo Esfuerzo (kg/cm²)				
Carpeta Asfáltica		-0.0002686	0.0315290	0.6408674
Base	Base	-0.0029479	0.0452425	0.5757926
Subbase	Subbase	-0.0036939	0.0359334	0.4576826
Subrasante	Subrasante	-0.0104732	0.0009338	0.2894838
Mínimo Esfuerzo (kg/cm²)				
Carpeta Asfáltica		-0.0080178	-0.0001722	0.3090672
Base	Base	-0.0059177	-0.0027132	0.3106928
Subbase	Subbase	-0.0103050	-0.0216931	0.2883408
Subrasante	Subrasante	-0.0297858	-0.0354639	0.1167613

Nota: En la tabla se indican resultados de desplazamientos máximos y mínimos ocurridos en cada capa según el Análisis mecánico del pavimento diseñado por la consultora JNR para un periodo de diseño de 10 años por Elaboración Propia, 2020.

Por otro lado, la tabla 60 presenta los resultados de desplazamientos producidos en cada capa del pavimento según la aplicación de carga en cada eje en el sistema de coordenadas x,y,z.

Tabla 60: Resultados de desplazamientos producidos en cada del Pavimento Flexible diseñado por JNR

Desplazamientos de la estructura del Pavimento flexible estabilizado (x,y,z)							
Punto N°	Capa Pavimento	X-Coord (cm)	Y-Coord (cm)	Z-Coord (cm)	Disp X (mm)	Disp Y (mm)	Disp Z (mm)
1	Carpeta asfáltica	3.543	3.543	0.000	-0.0080178	0.0153248	0.6408674
2	Carpeta asfáltica	3.543	7.087	0.635	-0.0002686	0.0148946	0.6338062
3	Carpeta asfáltica	3.543	10.827	1.270	-0.0063470	0.0039942	0.4375658
4	Carpeta asfáltica	3.543	3.543	1.905	-0.0061770	0.0004079	0.3090672
5	Carpeta asfáltica	3.543	7.087	3.810	-0.0060236	0.0140724	0.6250178
6	Carpeta asfáltica	3.543	10.827	6.350	-0.0054351	0.0208999	0.4386072
7	Carpeta asfáltica	3.543	3.543	7.700	-0.0060401	-0.0001722	0.3097784
8	Carpeta asfáltica	3.543	7.087	8.310	-0.0052393	0.0132697	0.6145784
9	Carpeta asfáltica	3.543	10.827	9.000	-0.0047673	0.0315290	0.4374642
10	Base	3.543	3.543	12.740	-0.0059177	-0.0007138	0.3106928
11	Base	3.543	7.087	13.380	-0.0035179	0.0104338	0.5757926
12	Base	3.543	10.827	14.650	-0.0039152	0.0452425	0.4274058
13	Base	3.543	3.543	20.871	-0.0056637	-0.0019859	0.3143250
14	Base	3.543	7.087	22.141	-0.0029479	0.0054524	0.5163566
15	Base	3.543	10.827	20.871	-0.0040554	0.0446100	0.4082034
16	Base	3.543	3.543	21.511	-0.0056411	-0.0027132	0.3192272
17	Base	3.543	7.087	23.421	-0.0034234	0.0011569	0.4721606
18	Base	3.543	10.827	24.000	-0.0045745	0.0385140	0.3920490
19	Subbase	3.543	3.543	27.724	-0.0058669	-0.0026810	0.3213608
20	Subbase	3.543	7.087	28.359	-0.0036939	-0.0003544	0.4576826
21	Subbase	3.543	10.827	30.269	-0.0048031	0.0359334	0.3863340
22	Subbase	3.543	3.543	32.809	-0.0059898	-0.0025926	0.3216148
23	Subbase	3.543	7.087	34.159	-0.0058638	-0.0092337	0.3821938
24	Subbase	3.543	10.827	35.217	-0.0065387	0.0191158	0.3531616
25	Subbase	3.543	3.543	36.487	-0.0071707	-0.0016582	0.3189986
26	Subbase	3.543	7.087	38.397	-0.0100769	-0.0216931	0.2883408
27	Subbase	3.543	10.827	39.000	-0.0103050	-0.0029812	0.2944622
28	Subrasante	3.543	3.543	54.200	-0.0104732	-0.0000850	0.2894838
29	Subrasante	3.543	7.087	59.340	-0.0141740	-0.0279019	0.2301342
30	Subrasante	3.543	10.827	61.690	-0.0143960	-0.0117993	0.2434361
31	Subrasante	3.543	3.543	66.830	-0.0144894	0.0005607	0.2458745
32	Subrasante	3.543	7.087	74.320	-0.0181717	-0.0313639	0.1864665
33	Subrasante	3.543	10.827	76.670	-0.0184907	-0.0156723	0.1996288
34	Subrasante	3.543	3.543	79.020	-0.0185979	0.0008321	0.2037029
35	Subrasante	3.543	7.087	84.160	-0.0197485	-0.0343306	0.1613713
36	Subrasante	3.543	10.827	91.650	-0.0201125	-0.0174160	0.1731518
37	Subrasante	3.543	3.543	94.000	-0.0202329	0.0009338	0.1768754
38	Subrasante	3.543	7.087	99.140	-0.0248148	-0.0295453	0.1167613
39	Subrasante	3.543	10.827	106.630	-0.0266895	-0.0317774	0.1255825
40	Subrasante	3.543	3.543	108.980	-0.0272777	-0.0324778	0.1283502
41	Subrasante	3.543	7.087	114.120	-0.0285643	-0.0340096	0.1344038
42	Subrasante	3.543	10.827	119.000	-0.0297858	-0.0354639	0.1401512

Nota: En la tabla se indican resultados de desplazamientos producidos en cada punto de aplicación de carga según el Análisis mecánico del pavimento diseñado por la consultora JNR para un periodo de diseño de 10 años por Elaboración Propia, 2020.

Los desplazamientos ocurridos en las capas de carpeta asfáltica y base presentan un comportamiento constante con desarrollo continuo de esfuerzos sobre el interfaz de dichas capas. Los ejes x y y demuestran desplazamientos mínimos cercanas a 0, mientras que el eje z presenta desplazamientos con tendencia elástica y recuperación de forma estable. Los valores de desplazamientos fluctúan entre -0.0008 mm y 0.641 mm.

Por otro lado, los desplazamientos producidos en las capas de subbase y subrasante con valores máximos que representa la reacción del suelo ante carga proveniente de las capas subyacentes, con un comportamiento viscoelástico lineal y constante lo que desarrolla la rigidez de dichas capas.

A continuación, se presentan gráficas que representan el comportamiento deformación interna del suelo, en función a resultados la reacción de los materiales de capas ante la aplicación de cargas repetidas por medio del paso del vehículo pesado en forma de pulso. Los desplazamientos se reducen a medida que se incrementa la profundidad en cada capa del pavimento, siendo casi nulos en la capa de subrasante.

Figura 75: Desplazamientos desarrollados en la carpeta asfáltica

Figura 75: Desarrollo de desplazamientos producidos por aplicación de carga simple en la capa de Carpeta asfáltica para el diseño de espesores de la consultora JNR por Elaboración propia, 2020.

Figura 31: Desplazamientos desarrollados en la capa de Base

Figura 76: Desarrollo de desplazamientos producidos por aplicación de carga simple en la capa de Base para el diseño de espesores de la consultora JNR por Elaboración propia, 2020.

Figura 32: Desplazamientos desarrollados en la capa de SubBase

Figura 77: Desarrollo de desplazamientos producidos por aplicación de carga simple en la capa SubBase para el diseño de espesores de la consultora JNR por Elaboración propia, 2020.

Figura 33: Desplazamientos desarrollados en la capa de Subrasante

Figura 78: Desarrollo de desplazamientos producidos por aplicación de carga simple en la capa de subrasante para el diseño de espesores de la consultora JNR por Elaboración propia, 2020.

8.2.1.4.2 Análisis mecánico del Pavimento modelado Análisis mecánico de Propuesta de Diseño de Pavimento por Tesis de Investigación

a) Esfuerzos Normales

Los esfuerzos normales producidos por la carga simple se presentan en la tabla 60. El valor máximo obtenido fue de 8.893 kg/cm² y el valor mínimo de esfuerzo fue de -6.82 kg/cm². Ambos esfuerzos cumplen ante falla por fatiga según la calibración del programa, la cual se presenta en la figura.

Los resultados obtenidos de esfuerzos normales de cada capa el pavimento representa los máximo esfuerzos producidos por los materiales que conforman cada capa, de retirarse la carga aplicada del paso del vehículo pesado para un periodo de 10 años en forma de pulso en unidades de kg/cm² en un plano vertical.

Tabla 25: Esfuerzos Máximos y Mínimos de corte del Modelado del Pavimento Flexible diseñado por Tesis

Esfuerzos Máximos y Mínimos de corte de la Estructura del Pavimento flexible (Tesis)

Esfuerzos	Esfuerzo normal X-X	Esfuerzo normal Y-Y	Esfuerzo normal Z-Z
-----------	------------------------	------------------------	------------------------

	(kg/cm2)	(kg/cm2)	(kg/cm2)
Máximo Esfuerzo			
(kg/cm2)	7.49	8.12	8.93
Mínimo (kg/cm2)	-6.82	-2.68	-3.11

Esfuerzos Máximos y Mínimos de corte en cada capa del pavimento flexible (JNR)

Capa del Pavimento	Esfuerzo normal X-X (kg/cm2)	Esfuerzo normal Y-Y (kg/cm2)	Esfuerzo normal Z-Z (kg/cm2)
Máximo Esfuerzo (kg/cm2)			
Carpeta Asfáltica	7.49	8.12	8.93
Base	0.22	1.15	3.89
Subbase	0.51	0.56	1.20
Subrasante	1.12	1.15	1.43
Mínimo Esfuerzo (kg/cm2)			
Carpeta Asfáltica	-0.37	-0.30	5.50
Base	-6.82	-2.68	-3.11
Subbase	-0.47	-0.28	0.78

Nota: En la tabla se indican resultados de desplazamientos máximos y mínimos ocurridos en cada capa según el Análisis mecánico del pavimento diseñado en la presente Tesis de investigación para un periodo de diseño de 10 años por Elaboración Propia, 2020.

Por otro lado, la tabla 61 detalla los resultados de desplazamientos producidos en cada capa del pavimento según la aplicación de carga en cada eje en el sistema de coordenadas x,y,z.

Tabla 26: Resultados de desplazamientos producidos en cada del Pavimento Flexible diseñado por Tesis

Esfuerzos normales Estructura del Pavimento flexible Estabilizado (kg/cm2)							
Punto N°	Capa	X Coord	Y- Coord	Z -Coord	Esfuerzo normal X-X (kg/cm2)	Esfuerzo normal Y-Y (kg/cm2)	Esfuerzo normal Z-Z (kg/cm2)
	Pavimento	(cm)	(cn)	(cm)			
1	Carpeta asfáltica	3.543	3.543	0.000	1.85951	8.12387	8.92810
2	Carpeta asfáltica	3.543	7.087	0.635	7.48625	7.16638	8.91685
3	Carpeta asfáltica	3.543	10.827	1.270	6.52982	6.24320	8.88030
4	Carpeta asfáltica	3.543	3.543	1.905	5.62224	5.36881	8.80297
5	Carpeta asfáltica	3.543	7.087	3.810	3.30101	3.14304	8.26025
6	Carpeta asfáltica	3.543	10.827	6.350	1.15981	1.11742	6.95893
7	Carpeta asfáltica	3.543	3.543	7.700	1.40638	1.35498	8.43838
8	Carpeta asfáltica	3.543	7.087	8.310	-0.00225	0.03365	5.85627

9	Carpeta asfáltica	3.543	10.827	9.000	-0.36529	-0.30431	5.50477
10	Base	3.543	3.543	12.740	0.21795	0.32931	3.88822
11	Base	3.543	7.087	13.380	0.09628	0.84943	2.27744
12	Base	3.543	10.827	14.650	0.01987	1.14751	1.01162
13	Base	3.543	3.543	20.871	-0.28475	-0.10763	1.99694
14	Base	3.543	7.087	22.141	-0.29076	0.17447	1.55961
15	Base	3.543	10.827	20.871	-0.28413	0.39329	1.15875
16	Base	3.543	3.543	21.511	-6.11198	-2.40380	-2.78542
17	Base	3.543	7.087	23.421	-6.65467	-2.61724	-3.03274
18	Base	3.543	10.827	24.000	-6.81916	-2.68193	-3.10770
19	Subbase	3.543	3.543	27.724	-0.22711	-0.08042	1.19833
20	Subbase	3.543	7.087	28.359	-0.24436	-0.00439	1.12199
21	Subbase	3.543	10.827	30.269	-0.24791	0.06436	1.02146
22	Subbase	3.543	3.543	32.809	-0.44323	-0.27907	0.84733
23	Subbase	3.543	7.087	34.159	-0.46953	-0.27675	0.88276
24	Subbase	3.543	10.827	35.217	-0.47094	-0.25247	0.87945
25	Subbase	3.543	3.543	36.487	0.45994	0.50167	0.78434
26	Subbase	3.543	7.087	38.397	0.49692	0.54554	0.83847
27	Subbase	3.543	10.827	39.000	0.50952	0.56412	0.85133
28	Subrasante	3.543	3.543	54.200	0.52248	0.54336	0.69384
29	Subrasante	3.543	7.087	59.340	0.56438	0.58412	0.78001
30	Subrasante	3.543	10.827	61.690	0.57859	0.59843	0.79950
31	Subrasante	3.543	3.543	66.830	0.62680	0.64829	0.86611
32	Subrasante	3.543	7.087	74.320	0.69705	0.72095	0.96318
33	Subrasante	3.543	10.827	76.670	0.71909	0.74374	0.99364
34	Subrasante	3.543	3.543	79.020	0.74113	0.76654	1.02409
35	Subrasante	3.543	7.087	84.160	0.78934	0.81640	1.09070
36	Subrasante	3.543	10.827	91.650	0.85958	0.88906	1.18777
37	Subrasante	3.543	3.543	94.000	0.88163	0.91185	1.21823
38	Subrasante	3.543	7.087	99.140	0.92983	0.96172	1.28484
39	Subrasante	3.543	10.827	106.630	1.00008	1.03437	1.38191
40	Subrasante	3.543	3.543	108.980	1.02212	1.05717	1.31000
41	Subrasante	3.543	7.087	114.120	1.07033	1.10703	1.37179
42	Subrasante	3.543	10.827	119.000	1.11610	1.15437	1.43045

Nota: En la tabla se indican resultados de desplazamientos producidos en cada punto de aplicación de carga según el Análisis mecánico del pavimento diseñado por la consultora JNR para un periodo de diseño de 10 años por Elaboración Propia, 2020.

Las figuras 73,74,75 y 76 representan el comportamiento de los esfuerzos normales en una escala reducida. Cada gráfica presenta una tendencia a reducirse luego de retirase la carga. Asimismo, los esfuerzos normales se reducen progresivamente a medida que se incrementa la profundidad del pavimento. Los valores positivos indican las fuerzas de repulsión en

dirección contraria a la carga (hacia arriba) encontrándose en un estado viscoelástico y los valores negativos indican la estabilidad de los mismo al encontrarse en el rango sólido, por lo que los esfuerzos se reducen a valores mínimos.

Las capas de carpeta asfáltica y base absorben el peso recibido por el vehículo de manera progresiva y distribuida con puntos de inflexión de producidos luego de retirarse la carga y la reacción elástica del material. Los valores se esfuerzos normales para estas dos capas se encuentran entre los 0 y 7 kg/cm². Asimismo, los esfuerzos se disminuyen en las capas subyacentes. El comportamiento de la capa de subbase y subrasante presentan valores con tendencia lineales y constantes, lo que indica el incremento de la resistencia a medida que la profundidad aumenta.

Figura 34: Esfuerzos normales desarrollados en la capa de Subrasante

Figura 73: Desarrollo de esfuerzos normales producidos en la capa de carpeta asfáltica por aplicación de carga simple en la capa de Carpeta asfáltica para el diseño de espesores de Tesis de investigación por Elaboración propia, 2020

Figura 35: Esfuerzos normales desarrollados en la capa de Base

Figura 74: Desarrollo de desplazamientos producidos por aplicación de carga simple en la capa de Base para el diseño de espesores de Tesis de investigación por Elaboración propia, 2020.

Figura 36: Esfuerzos normales desarrollados en la capa de Base

Figura 75: Desarrollo de desplazamientos producidos en la capa de subbase por aplicación de carga simple en la capa de Base para el diseño de espesores de Tesis de investigación por Elaboración propia, 2020.

Figura 37: Esfuerzos normales desarrollados en la capa de Subrasante

Figura 77: Desarrollo de desplazamientos producidos en la capa de subrasante por aplicación de carga simple en la capa de Base para el diseño de espesores de Tesis de investigación por Elaboración propia, 2020.

b) Esfuerzos Cortantes

Los esfuerzos cortantes producidos por la elasticidad del suelo y reacomodo de partículas al aplicársele una carga simple se presentan en la tabla 62. El valor máximo obtenido fue de 2.526 kg/cm² y el valor mínimo de esfuerzo fue de -0.014 kg/cm². Ambos esfuerzos cumplen ante falla por ahuellamiento según la calibración del programa.

Tabla 27: Esfuerzos Máximos y Mínimos de corte del Modelado del Pavimento Flexible diseñado por Tesis

Esfuerzos Máximos y Mínimos de corte de la Estructura del Pavimento flexible (Tesis)			
Esfuerzos cortantes	Esfuerzo normal X-X (kg/cm ²)	Esfuerzo normal Y-Y (kg/cm ²)	Esfuerzo normal Z-Z (kg/cm ²)
Máximo Esfuerzo (kg/cm ²)	0.00003	0.00013	0.00100
Mínimo (kg/cm ²)	0.00003	-0.00004	-0.00141

**Esfuerzos Máximos y Mínimos de corte en cada capa del pavimento flexible
(JNR)**

Capa del Pavimento	Esfuerzo normal X-X (kg/cm2)	Esfuerzo normal Y-Y (kg/cm2)	Esfuerzo normal Z-Z (kg/cm2)
Máximo Esfuerzo (kg/cm2)			
Carpeta Asfáltica	0.00001	0.00013	0.00008
Base	0.00003	0.00009	0.00100
Subbase	0.00000	0.00001	0.00005
Subrasante	0.00000	-0.00002	-0.00073
Mínimo Esfuerzo (kg/cm2)			
Carpeta Asfáltica	0.00000	0.00000	-0.00002
Base	0.00000	0.00004	-0.00015
Subbase	0.00000	-0.00002	-0.00067
Subrasante	0.00000	-0.00004	-0.00147

A continuación, la tabla 63 presentan los resultados obtenidos de los esfuerzos cortantes en cada capa del pavimento flexible en el sistema de coordenadas x, y, z.

Tabla 28: Resultados de desplazamientos producidos en cada del Pavimento Flexible diseñado por JNR

Esfuerzos cortantes estructura del pavimento flexible estabilizado (kg/cm2)							
Punto	Capa	X-Coord	Y-Coord	Z-Coord	Esfuerzo cortante XY	Shear Strain XZ	Shear Strain YZ
Nº	Pavimento	(in)	(in)	(in)	(kg/cm2)	(kg/cm2)	(kg/cm2)
1	Carpeta asfáltica	3.543	3.543	0.000	0.00000	0.00000	0.00000
4	Carpeta asfáltica	3.543	7.087	0.635	0.00001	0.00008	0.00008
7	Carpeta asfáltica	3.543	10.827	1.270	0.00001	0.00004	0.00003
10	Carpeta asfáltica	3.543	3.543	1.905	0.00001	0.00004	0.00003
13	Carpeta asfáltica	3.543	7.087	3.810	0.00001	0.00009	0.00006
16	Carpeta asfáltica	3.543	10.827	6.350	0.00001	0.00013	0.00008
19	Carpeta asfáltica	3.543	3.543	7.700	0.00001	0.00012	0.00005
22	Carpeta asfáltica	3.543	7.087	8.310	0.00001	0.00012	0.00004
25	Carpeta asfáltica	3.543	10.827	9.000	0.00001	0.00012	-0.00002
26	Base	3.543	3.543	12.740	0.00003	0.00009	0.00100
27	Base	3.543	7.087	13.380	0.00000	0.00006	-0.00007
28	Base	3.543	10.827	14.650	0.00000	0.00007	-0.00011
29	Base	3.543	3.543	20.871	0.00001	0.00006	0.00034
30	Base	3.543	7.087	22.141	0.00000	0.00005	-0.00003
31	Base	3.543	10.827	20.871	0.00000	0.00005	-0.00003
32	Base	3.54	3.54	21.511	0.00000	0.00004	-0.00015
33	Base	3.543	7.087	23.421	0.00000	0.00004	0.00009
34	Base	3.543	10.827	24.000	0.00000	0.00004	-0.00001

35	Subbase	3.543	3.543	27.724	0.00000	0.00001	-0.00007
36	Subbase	3.543	7.087	28.359	0.00000	0.00001	0.00002
37	Subbase	3.543	10.827	30.269	0.00000	0.00001	0.00000
38	Subbase	3.543	3.543	32.809	0.00000	-0.00002	-0.00002
39	Subbase	3.543	7.087	34.159	0.00000	-0.00002	0.00005
40	Subbase	3.543	10.827	35.217	0.00000	-0.00002	0.00000
41	Subbase	3.543	3.543	36.487	0.00000	-0.00001	-0.00045
42	Subbase	3.543	7.087	38.397	0.00000	-0.00001	-0.00047
43	Subbase	3.543	10.827	39.000	0.00000	-0.00001	-0.00048
44	Subrasante	3.543	3.543	54.200	0.00000	-0.00002	-0.00067
45	Subrasante	3.543	7.087	59.340	0.00000	-0.00002	-0.00073
46	Subrasante	3.543	10.827	61.690	0.00000	-0.00002	-0.00076
47	Subrasante	3.543	3.543	66.830	0.00000	-0.00003	-0.00083
48	Subrasante	3.543	7.087	74.320	0.00000	-0.00003	-0.00092
49	Subrasante	3.543	10.827	76.670	0.00000	-0.00003	-0.00095
50	Subrasante	3.543	3.543	79.020	0.00000	-0.00003	-0.00098
51	Subrasante	3.543	7.087	84.160	0.00000	-0.00003	-0.00104
52	Subrasante	3.543	10.827	91.650	0.00000	-0.00003	-0.00113
53	Subrasante	3.543	3.543	94.000	0.00000	-0.00004	-0.00116
54	Subrasante	3.543	7.087	99.140	0.00000	-0.00004	-0.00123
55	Subrasante	3.543	10.827	106.630	0.00000	-0.00004	-0.00132
56	Subrasante	3.543	3.543	108.980	0.00000	-0.00004	-0.00135
57	Subrasante	3.543	7.087	114.120	0.00000	-0.00004	-0.00141
58	Subrasante	3.543	10.827	119.000	0.00000	-0.00004	-0.00147

Nota: En la tabla se indican resultados de esfuerzos cortantes producidos en cada punto de aplicación de carga según el Análisis mecánico del pavimento diseñado por Tesis de Investigación para un periodo de diseño de 10 años por Elaboración Propia, 2020.

El comportamiento de los esfuerzos cortantes presenta una tendencia a reducirse a medida que se introduce la carga en cada capa del pavimento. Los esfuerzos de corte se producen en los ejes Y y Z en mayor medida, puesto que el primer eje representa el avance de la carga del vehículo pesado continuamente y la segunda capa representa su aplicación directa verticalmente.

Por otro lado, la interacción del suelo y la carga genera un reacomodo de partículas en el suelo, por lo que se producen esfuerzos horizontales o de corte. Los valores se incrementan en el interfaz de cada capa y disminuyen o permanecen constantes a medida que se incrementa el espesor. Asimismo, los valores positivos indican las fuerzas de compresión en dirección a la carga aplicada encontrándose en un estado viscoelástico (reacomodo de partículas) y los valores negativos indican los esfuerzos de tracción mínimos ocurridos en cada capa y profundidad del pavimento.

Los valores de esfuerzos cortantes obtenidos se grafican en las siguientes figuras.

Figura 38: Esfuerzos cortantes desarrollados en la capa de Carpeta asfáltica

Figura 77: Desarrollo de esfuerzos cortantes producidos en la capa de Carpeta asfáltica por aplicación de carga simple para el diseño de espesores de Tesis de investigación por Elaboración propia, 2020.

Figura 39: Esfuerzos cortantes desarrollados en la capa de Base

Figura 78: Desarrollo de esfuerzos cortantes producidos en la capa de Base por aplicación de carga simple para el diseño de espesores de Tesis de investigación por Elaboración propia, 2020.

Figura 40: Esfuerzos cortantes desarrollados en la capa de SubBase

Figura 79: Desarrollo de esfuerzos cortantes producidos en la capa de SubBase por aplicación de carga simple para el diseño de espesores de Tesis de investigación por Elaboración propia, 2020.

Figura 41: Esfuerzos cortantes desarrollados en la capa de Subrasante

Figura 80: Desarrollo de esfuerzos cortantes producidos en la capa de Subrasante por aplicación de carga simple para el diseño de espesores de Tesis de investigación por Elaboración propia, 2020.

c) Desplazamientos

Los desplazamientos producidos por la elasticidad del suelo y reacomodo de partículas al aplicársele una carga simple se presentan en la tabla 64. El valor máximo obtenido fue de 0.547 mm y el valor mínimo de desplazamientos fue de -0.0467 mm. Ambos esfuerzos cumplen ante falla por ahuellamiento según la calibración del programa.

Tabla 29: Desplazamientos Máximos y Mínimos del Modelado del Pavimento Flexible diseñado por Tesis

Desplazamientos Máximos y Mínimos de corte de la Estructura del Pavimento flexible (Tesis)

Desplazamientos	Desplz X-X (mm)	Desplz Y-Y (mm)	Desplz Z-Z (mm)
Máximo (kg/cm ²)	-0.00037	0.01675	0.54714
Mínimo (kg/cm ²)	-0.01684	-0.04673	0.04934

Desplazamientos Máximos y Mínimos en cada capa del pavimento flexible (JNR)

Desplazamientos en Capas del Pavimento		Desplz X-X (kg/cm ²)	Desplz Y-Y (kg/cm ²)	Desplz Z-Z (kg/cm ²)
Máximo Esfuerzo (kg/cm²)				
Carpeta Asfáltica		-0.00766	0.00983	0.54714
Base	Base	-0.00753	0.01675	0.29510
Subbase	Subbase	-0.00037	0.00122	0.19622
Subrasante	Subrasante	-0.00039	0.00133	0.10614
Mínimo Esfuerzo (kg/cm²)				
Carpeta Asfáltica		-0.01684	-0.01353	0.32647
Base	Base	-0.00928	-0.03371	0.18547
Subbase	Subbase	-0.00782	-0.04673	0.04934
Subrasante	Subrasante	-0.00070	-0.03928	0.05712

Nota: En la tabla se indican resultados de desplazamientos máximos y mínimos ocurridos en cada capa según el Análisis mecánico del pavimento diseñado en la presente Tesis de investigación para un periodo de diseño de 10 años por Elaboración Propia, 2020.

Por otro lado, la tabla 65 presenta los resultados de desplazamientos producidos en cada capa del pavimento según la aplicación de carga en cada eje en el sistema de coordenadas x,y,z.

Tabla 30: Resultados de desplazamientos producidos en cada del Pavimento Flexible diseñado por JNR

Desplazamientos de la estructura del Pavimento flexible estabilizado (x,y,z)							
Punto	Capa	X-Coord	Y-Coord	Z-Coord	Disp X	Disp Y	Disp Z
N°	Pavimento	(cm)	(cm)	(cm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	Carpeta asfáltica	3.543	3.543	0.000	-0.01684	0.0098346	0.5471414
2	Carpeta asfáltica	3.543	7.087	0.635	-0.01544	0.0009303	0.5399786
3	Carpeta asfáltica	3.543	10.827	1.270	-0.01440	0.0084226	0.5314950
4	Carpeta asfáltica	3.543	3.543	1.905	-0.01338	0.0075362	0.5218430
5	Carpeta asfáltica	3.543	7.087	3.810	-0.01089	0.0044869	0.4875022
6	Carpeta asfáltica	3.543	10.827	6.350	-0.00890	-0.0005156	0.4361180
7	Carpeta asfáltica	3.543	3.543	7.700	-0.00796	-0.0046015	0.3967480
8	Carpeta asfáltica	3.543	7.087	8.310	-0.00766	-0.0059883	0.3831844
9	Carpeta asfáltica	3.543	10.827	9.000	-0.00775	-0.0135270	0.3264662
10	Base	3.543	3.543	12.740	-0.00859	0.0167528	0.2950972
11	Base	3.543	7.087	13.380	-0.00928	-0.0015076	0.2593340
12	Base	3.543	10.827	14.650	-0.00791	-0.0254660	0.2420976
13	Base	3.543	3.543	20.871	-0.00824	-0.0032685	0.2446325
14	Base	3.543	7.087	22.141	-0.00847	-0.0001072	0.2365426
15	Base	3.543	10.827	20.871	-0.00799	-0.0001011	0.2229746
16	Base	3.54	3.543	21.511	-0.00823	-0.0001042	0.2298120
17	Base	3.543	7.087	23.421	-0.00896	-0.0001134	0.2502174
18	Base	3.543	10.827	24.000	-0.00753	-0.0337058	0.1854733
19	Subbase	3.543	3.543	27.724	-0.00772	-0.0134706	0.1961972
20	Subbase	3.54	7.087	28.359	-0.00782	0.0006258	0.1962175
21	Subbase	3.543	10.827	30.269	-0.00655	-0.0413893	0.1443533
22	Subbase	3.543	3.543	32.809	-0.00667	-0.0201369	0.1577873
23	Subbase	3.54	7.087	34.159	-0.00672	0.0010755	0.1613306
24	Subbase	3.54	10.827	35.217	-0.00552	-0.0467309	0.1124280
25	Subbase	3.543	3.543	36.487	-0.00561	-0.0227853	0.1218286
26	Subbase	3.543	7.087	38.397	-0.00564	0.0012212	0.1238453
27	Subbase	3.54	10.827	39.000	-0.00037	-0.0258166	0.0493446
28	Subrasante	3.543	3.543	54.200	-0.00052	-0.0358784	0.0685763
29	Subrasante	3.543	7.087	59.340	-0.00056	-0.0392809	0.0750797
30	Subrasante	3.543	10.827	61.690	-0.00039	-0.0134015	0.0571195
31	Subrasante	3.543	3.543	66.830	-0.00039	0.0007463	0.0596062
32	Subrasante	3.543	7.087	74.320	-0.00043	0.0008300	0.0662866
33	Subrasante	3.543	10.827	76.670	-0.00045	0.0008562	0.0683826
34	Subrasante	3.543	3.543	79.020	-0.00046	0.0008825	0.0704785
35	Subrasante	3.543	7.087	84.160	-0.00049	0.0009399	0.0750629
36	Subrasante	3.543	10.827	91.650	-0.00054	0.0010235	0.0817433
37	Subrasante	3.543	3.543	94.000	-0.00055	0.0010498	0.0838393
38	Subrasante	3.543	7.087	99.140	-0.00058	0.0011072	0.0884237
39	Subrasante	3.543	10.827	106.630	-0.00062	0.0011908	0.0951041
40	Subrasante	3.543	3.543	108.980	-0.00064	0.0012170	0.0972001

41	Subrasante	3.543	7.087	114.120	-0.00067	0.0012744	0.1017845
42	Subrasante	3.543	10.827	119.000	-0.00070	0.0013289	0.1061370

Nota: En la tabla se indican resultados de desplazamientos producidos en cada punto de aplicación de carga según el Análisis mecánico del pavimento diseñado por Tesis de investigación para un periodo de diseño de 10 años por Elaboración Propia, 2020.

A continuación, se presentan gráficas que describe la variación del comportamiento en términos de deformación interna del suelo y de la reacción de los materiales de capas ante la aplicación de cargas repetidas por medio del paso del vehículo pesado en forma de pulso.

Las capas de carpeta asfáltica y base granular sufren desplazamientos verticales en el eje y, el cual es el eje donde se aplica la carga sobre la superficie. Las fluctuaciones de los valores demuestran que el material posee características elásticas, las cuales permiten recuperar su forma, luego de retirarse la carga y brindando a dicha capa mayor estabilidad. Los desplazamientos en los ejes x y z son mínimos con tendencia a 0 o signo negativo, lo que indica una reducción significativa de deflexiones vertical a medida que se incrementa la profundidad en cada capa del pavimento, siendo casi nulos en la capa de subrasante.

Figura 42: Desplazamientos desarrollados en la capa de Carpeta asfáltica

Figura 81: Desarrollo de esfuerzos cortantes producidos en la capa de Carpeta asfáltica por aplicación de carga simple para el diseño de espesores de Tesis de investigación por Elaboración propia, 2020.

Figura 43: Desplazamientos desarrollados en la capa de Base

Figura 82: Desarrollo de esfuerzos cortantes producidos en la capa de Base por aplicación de carga simple para el diseño de espesores de Tesis de investigación por Elaboración propia, 2020.

Por otro lado, los desplazamientos ocurridos en las capas de base y subrasante presentan una tendencia a reducirse considerablemente en los ejes verticales y horizontales. Los valores obtenidos de desplazamientos en los primeros corresponden al eje z, mientras que los horizontales al eje x y y. Las figuras 83 y 84 muestran la variación de los comentado en términos de desplazamientos.

Figura 44: Desplazamientos desarrollados en la capa de Subrasante

Figura 83: Desarrollo de esfuerzos cortantes producidos en la capa de SubBase por aplicación de carga simple para el diseño de espesores de Tesis de investigación por Elaboración propia, 2020.

Figura 45: Desplazamientos desarrollados en la capa de Subrasante

Figura 84: Desarrollo de esfuerzos cortantes producidos en la capa de Subrasante por aplicación de carga simple para el diseño de espesores de Tesis de investigación por Elaboración propia, 2020.

8.2.1.4.3 Análisis de resultados del del Pavimento modelado en 3d Move

Finalmente, en función de los resultados obtenidos se observa que el diseño planteado en cuanto a espesores es eficiente, puesto que es capaz de soportar las cargas aplicadas en cada capa y reducir los tipos de fallas por fatiga y ahuellamiento. Esto se observa en la tabla 76.

Tabla 31: Validación de eficiencia del modelado de cada capa del pavimento flexible

Combined Layers	Distress Types	Distress Target	Distress Predicted	Acceptable
Asphalt (1)	Fatigue Cracking (%)	15	90.71	Pass
	Layer Rutting (in)	0.50	0.01	Pass
	System Rutting (in)		0.08	
	Roughness (Slope Variance)	25	2.84	Pass
Base (2)	Base Rutting (in)	0.50	0.02	Pass
Subbase (3)	Subbase Rutting (in)	0.50	0.00	Pass
Subgrade (4)	Subgrade Rutting (in)	0.50	0.01	Pass

Nota: En la tabla se indica los valores de máximos de cada capa de la estructura del pavimento flexible modelada. Elaboración Propia, 2020.

Tabla 32: Comparativo de resultados de Esfuerzos normales producidos en cada del Pavimento Flexible por diferentes propuestas de estabilización

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE PROPUESTAS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS														
ANÁLISIS	PROPUESTA DISEÑO DE PAVIMENTO JRN							PROPUESTA DISEÑO DE PAVIMENTO TESIS						
	PROPIEDADES MECÁNICAS MATERIALES		DISEÑO DE ESPESORES		ESFUERZO NORMAL MÁXIMOS			PROPIEDADES MECÁNICAS MATERIALES		DISEÑO DE ESPESORES		ESFUERZO NORMAL MÁXIMOS		
	CAPAS PAVIMENTO	CBR (%)	MÓDULO RESILIENTE (kg/cm2)	ESPESOR (Cm)	H (Cm)	Esfuerzo cortante X-X (kg/cm)	Esfuerzo cortante Y-Y (kg/cm2)	Esfuerzo cortante Z-Z (kg/cm2)	CBR (%)	MÓDULO RESILIENTE (kg/cm2)	ESPESOR (Cm)	H (Cm)	Esfuerzo normales X-X (kg/cm2)	Esfuerzo normales Y-Y (kg/cm2)
Carpeta Asfáltica	-	31638.15	9.00	9.00	8.24040	8.09760	8.89000	-	31638.15	9.00	9.00	7.48625	8.12387	8.92810
Base	95.00	3312.32	17.50	26.50	5.66909	5.58474	8.80810	95.00	3312.32	15.00	24.00	0.21795	1.14751	3.88822
Subbase	60.00	2468.35	20.00	46.50	1.03152	1.63569	6.12283	60.00	2468.35	15.00	39.00	0.50952	0.56412	1.19833
Subrasante	15.44	1035.44	80.00	126.50	0.12345	0.41162	1.79921	13.00	1035.44	80.00	119.00	1.11610	1.15437	1.43045
	CBR (%)	MODULO RESILIENTE kg/Cm2)	ESPESOR (cm)	H (Cm)	ESFUERZOS NORMALES MÍNIMOS			MODULO RESILIENTE (Kg/cm2)	ESPESOR (cm)	H (cm)	ESFUERZOS NORMALES MÍNIMOS			
Carpeta Asfáltica	-	31638.15	9.00	9.00	0.57221	-0.68367	-0.01377	-	31638.15	9.00	9.00	-0.36529	-0.30431	5.50477
Base	95.00	3312.32	17.50	26.50	0.00000	0.56812	0.01390	95.00	3312.32	15.00	24.00	-6.81916	-2.68193	-3.10770
Subbase	60.00	2468.35	20.00	46.50	0.10973	0.34574	0.65052	60.00	2468.35	15.00	39.00	-0.47094	-0.27907	0.78434
Subrasante	15.44	1035.44	80.00	126.50	-0.21801	-0.14839	0.41687	13.00	1035.44	80.00	119.00	0.56438	0.58412	0.78001

Nota: En la tabla se muestra un Análisis comparativo de resultados de esfuerzos normales máximos y mínimos desarrollados según el Análisis mecánico del pavimento diseñado para un periodo de diseño de 10 años por Elaboración Propia, 2020.

Tabla 33: Comparativo de resultados de Esfuerzos cortantes producidos en cada del Pavimento Flexible por diferentes propuestas de estabilización

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE PROPUESTAS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS														
ANÁLISIS	PROPUESTA DISEÑO DE PAVIMENTO JRN							PROPUESTA DISEÑO DE PAVIMENTO TESIS						
	PROPIEDADES MECÁNICAS MATERIALES		DISEÑO DE ESPESORES		ESFUERZOS CORTANTES MÁXIMOS			PROPIEDADES MECÁNICAS MATERIALES		DISEÑO DE ESPESORES		ESFUERZOS CORTANTES MÁXIMOS		
	CAPAS PAVIMENTO	CBR (%)	MÓDULO RESILIENTE (kg/cm2)	ESPESOR (Cm)	H (Cm)	Esfuerzo cortante X-X (kg/cm)	Esfuerzo cortante Y-Y (kg/cm2)	Esfuerzo cortante Z-Z (kg/cm2)	CBR (%)	MÓDULO RESILIENTE (kg/cm2)	ESPESOR (Cm)	H (Cm)	Esfuerzo cortante X-X (kg/cm2)	Esfuerzo cortante Y-Y (kg/cm2)
Carpeta Asfáltica	-	31638.15	9.00	9.00	0.04348	0.08934	2.44440	-	31638.15	9.00	9.00	0.00001	0.00013	0.00008
Base	95.00	3312.32	17.50	26.50	0.06192	0.14217	2.52616	95.00	3312.32	15.00	24.00	0.00003	0.00009	0.00100
Subbase	60.00	2468.35	20.00	46.50	0.04148	0.14604	1.58158	60.00	2468.35	15.00	39.00	0.00000	0.00001	0.00005
Subrasante	15.44	1035.44	80.00	126.50	0.00621	0.04833	0.21088	13.00	1035.44	80.00	119.00	0.00000	-0.00002	-0.00073
	CBR (%)	MODULO RESILIENTE kg/Cm2)	ESPESOR (cm)	H (Cm)	ESFUERZOS CORTANTES MÍNIMOS				MODULO RESILIENTE (Kg/cm2)	ESPESOR (cm)	H (cm)	ESFUERZOS CORTANTES MÍNIMOS		
Carpeta Asfáltica	-	31638.15	9.00	9.00	-0.08358	0.00000	-0.00876	-	31638.15	9.00	9.00	0.00000	0.00000	-0.00002
Base	95.00	3312.32	17.50	26.50	-0.00346	0.00644	-0.07977	95.00	3312.32	15.00	24.00	0.00000	0.00004	-0.00015
Subbase	60.00	2468.35	20.00	46.50	-0.00314	0.03950	-0.13351	60.00	2468.35	15.00	39.00	0.00000	-0.00002	-0.00067
Subrasante	15.44	1035.44	80.00	126.50	-0.00056	0.00272	-0.14417	13.00	1035.44	80.00	119.00	0.00000	-0.00004	-0.00147

Nota: En la tabla se muestra un Análisis comparativo de resultados de esfuerzos cortantes máximos y mínimos desarrollados según el Análisis mecánico del pavimento diseñado para un periodo de diseño de 10 años por Elaboración Propia, 2020.

Tabla 34: Comparativo de resultados de desplazamientos producidos en cada del Pavimento Flexible por diferentes propuestas de estabilización

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE PROPUESTAS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS															
ANÁLISIS	PROPUESTA DISEÑO DE PAVIMENTO JRN							PROPUESTA DISEÑO DE PAVIMENTO TESIS							
	PROPIEDADES MECÁNICAS MATERIALES		DISEÑO DE ESPESORES		DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS			PROPIEDADES MECÁNICAS MATERIALES		DISEÑO DE ESPESORES		DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS			
	CAPAS PAVIMENTO	CBR (%)	MÓDULO RESILIENTE (kg/cm2)	ESPESOR (Cm)	H (Cm)	Desplaza mientos X-X (mm)	Desplaza mientos Y-Y (mm)	Desplaza mientos Z-Z (mm)	CBR (%)	MÓDULO RESILIENTE (kg/cm2)	ESPESOR (Cm)	H (Cm)	Desplaza mientos X-X (mm)	Desplaza mientos Y -Y (mm)	Desplaza mientos Z-Z (mm)
	Carpeta Asfáltica	-	31638.15	9.00	9.00	-0.00027	0.03153	0.64087	-	31638.15	9.00	9.00	-0.00766	0.00983	0.54714
	Base	95.00	3312.32	17.50	26.50	-0.00295	0.04524	0.57579	95.00	3312.32	15.00	24.00	-0.00753	0.01675	0.29510
	Subbase	60.00	2468.35	20.00	46.50	-0.00369	0.03593	0.45768	60.00	2468.35	15.00	39.00	-0.00037	0.00122	0.19622
	Subrasante	15.44	1035.44	80.00	126.50	-0.01047	0.00093	0.28948	13.00	927.5	80.00	119.00	-0.00039	0.00133	0.10614
	CBR (%)	MODULO RESILIENTE kg/Cm2	ESPESOR (cm)	H (Cm)	DESPLAZAMIENTOS MÍNIMOS			MODULO RESILIENTE (Kg/cm2)	ESPESOR (cm)	H (cm)	DESPLAZAMIENTOS MÍNIMOS				
	Carpeta Asfáltica	-	31638.15	9.00	9.00	-0.00802	-0.00017	0.30907	-	31638.15	9.00	9.00	-0.01684	-0.01353	0.32647
	Base	95.00	3312.32	17.50	26.50	-0.00592	-0.00271	0.31069	95.00	3312.32	15.00	24.00	-0.00928	-0.03371	0.18547
	Subbase	60.00	2468.35	20.00	46.50	-0.01031	-0.02169	0.28834	60.00	2468.35	15.00	39.00	-0.00782	-0.04673	0.04934
	Subrasante	15.44	1035.44	80.00	126.50	-0.02979	-0.03546	0.00305	13.00	1035.44	80.00	119.00	-0.00070	-0.03928	0.05712

Nota: En la tabla se muestra un Análisis comparativo de resultados de desplazamientos máximos y mínimos desarrollados según el Análisis mecánico del pavimento diseñado para un periodo de diseño de 10 años por Elaboración Propia, 2020.

9 ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LA PROPUESTA

9.1 Comparativo de Propuestas Económicas de Estructura del Pavimento flexible Tesis

A continuación, se muestran los presupuestos totales para la estructura de pavimento en escenarios de 10 y 20 años, para cada tipo de propuesta en los 14.2 km que conforman al tramo I de la vía en estudio. Las tablas 80 y 81, muestran el resumen de los valores obtenidos durante el desarrollo del presupuesto. Asimismo, el presupuesto detallado, puede observarse en los anexos 32 y 33.

Tabla 35: Presupuesto de Estructura del Pavimento por tipo de Propuesta Tr= 10 años

PROPUESTA	DESCRIPCIÓN	(S/.)
PROPUESTA DE TESIS	Carpeta Asfáltica 9 cm, Base 15 cm, Sub base 15 cm	4,390,665.32

Nota: En la tabla se indica el presupuesto de la estructura de pavimento (Tr= 10 años) para propuestas de diseño de consultoría y tesis de investigación por Elaboración Propia, 2020.

Tabla 36: Presupuesto de Estructura del Pavimento por tipo de Propuesta Tr= 20 años

PROPUESTA	DESCRIPCIÓN	(S/.)
PROPUESTA DE TESIS	Carpeta Asfáltica 11 cm, Base 15 cm, Sub base 15 cm	4,725,783.91

Nota: En la tabla se indica el presupuesto de la estructura de pavimento (Tr= 20 años) para propuestas de diseño de consultoría y tesis de investigación por Elaboración Propia, 2020.

Por lo tanto, el diseño de pavimento flexible con subrasante estabilizada con polvo de fibra de vidrio reciclado tiene un costo reducido en S/ 700,907.38 nuevos soles, menor que el diseño de pavimento propuesto en el expediente técnico, para periodos de diseño de 10 y 20 años.

Asimismo, se muestran los presupuestos para diferentes escenarios de estabilización sobre los 14.2 km que conforman a la vía en estudio. El presupuesto detallado, para cada tipo de propuesta, puede observarse en el anexo 32.

9.2 Propuesta económica de estabilización de subrasante de Pavimento flexible (Tr= 10 Años y 20 años)

La propuesta de estabilización de suelo arcilloso con polvo de fibra de vidrio reciclado permite reducir costos de estabilización en S/ 643,673.86 nuevos soles. Esto permite optimizar costos en casi 18%, en comparación con la propuesta presentada en el expediente técnico.

Tabla 37: Presupuesto de Estabilización del Pavimento por tipo de Propuesta Tr= 20 años

PROPUESTA	DESCRIPCIÓN	(S/.)
PROPUESTA DE TESIS	Estabilización con Polvo de fibra de vidrio reciclado	3,081,951.74

Nota: En la tabla se indican presupuestos de las propuestas de estabilización (Tr= 10 y 20 años) para propuestas de diseño de consultoría y tesis de investigación por Elaboración Propia, 2020.

9.3 Propuesta económica de la Estructura del Pavimento flexible y Estabilización (Tr= 10 Años y 20 años)

Por otro lado, se muestran presupuestos totales del pavimento conformado por las capas que conforman su estructura y el método de estabilización para cada periodo de diseño y propuesta presentada. El desarrollo de cada propuesta puede observarse en el Anexo 22.

Las propuestas económicas finales del pavimento flexible de la carretera en estudio muestran una diferencia a favor de la aplicación del polvo de fibra de vidrio reciclado, con una reducción de costos de S/ 1,344,581.86 nuevos soles en todo el tramo I conformado por 14.20 km de la vía en estudio. Esto se evidencia en las tablas 83 y 84.

Tabla 38: Presupuesto de Estructura del Pavimento estabilizado por tipo de Propuesta para un periodo de diseño de

PROPUESTA	DESCRIPCIÓN	(S/.)
PROPUESTA DE TESIS	Carpeta Asfáltica 9 cm, Base 15 cm, Sub base 15 cm+ Estabilización con Polvo de fibra de vidrio reciclado	4,390,665.32

Nota: En la tabla se indica el presupuesto de la estructura de pavimento conformada y estabilizada (Tr= 10 años) para propuestas de diseño de consultoría y tesis de investigación. Elaboración Propia, 2020.

Tabla 39: Presupuesto de Estructura del Pavimento estabilizado por tipo de Propuesta para un periodo de diseño de

PROPUESTA	DESCRIPCIÓN	(S/.)
PROPUESTA DE TESIS	Carpeta Asfáltica 11 cm, Base 15 cm, Sub base 15 cm+ Estabilización con Polvo de fibra de vidrio reciclado	4,725,783.91

Nota: En la tabla se indica el presupuesto de la estructura de pavimento conformada y estabilizada (Tr= 20 años) para propuestas de diseño de consultoría y tesis de investigación por Elaboración Propia, 2020.

Por lo tanto, la aplicación de polvo de polvo de fibra de vidrio permite reducir costos por kilómetro de carretera construida en S/ 94,688 nuevos soles, en comparación con la propuesta de estabilización con over que se plantea en el expediente técnico.

9.4 Propuesta económica de la Estructura del Pavimento flexible y Estabilización (Costo por Km)

Finalmente, se presenta un comparativo de costos de la estructura del pavimento conformada por capas y estabilizada en la capa de subrasante, para diferentes escenarios de propuesto por kilómetro. El anexo 25 muestra el desarrollo de la propuesta económica del pavimento flexible estabilizado.

Tabla 85: Presupuesto de Estructura del Pavimento estabilizado por kilómetro para un periodo de diseño de Tr=10 y 20 años

PRESUPUESTO TOTAL ESTRUCTURA DE PAVIMENTO + ESTABILIZACIÓN POR (COSTO POR KM)	(S/.)
PROPUESTA TESIS: PRESUPUESTO TOTAL ESTRUCTURA DE PAVIMENTO + ESTABILIZACIÓN	549,840.54

Nota: En la tabla se indica el presupuesto de la estructura de pavimento conformada y estabilizada (Tr= 10 y 20 años) para propuestas de diseño de consultoría y tesis de investigación por Elaboración Propia, 2020.

10 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

10.1 Validación de Hipótesis de mejora del comportamiento mecánico

El desarrollo de la presente investigación se ha realizado en función a precedentes de la aplicación del reciclaje de vidrio en forma molida. Asimismo, se realizó con el fin de dar potencial la aplicación de residuos con el fin de su incorporación en los procesos constructivo y de estabilización en subrasantes de carreteras.

Por otro lado, se realizaron dosificaciones de 6%, 8%, 10% y 12% con polvo de fibra de vidrio reciclado en peso seco. La dosificación efectiva y con mayor eficiencia fue la de 12%, a partir de la cual se obtuvo el mayor porcentaje de CBR experimentalmente.

La propuesta de aplicación de polvo de fibra de vidrio en tamaño de 25 mm, de granulometría muy fina y fácil mezcla, lo cual permitió mejorar las propiedades físicas mecánicas del suelo arcilloso de baja plasticidad.

10.2 Análisis de resultados de Ensayos físicos de muestras estabilizadas

Los ensayos de caracterización del suelo indican una mejora en el comportamiento físico del suelo. El suelo arcilloso de baja plasticidad (CL, A-6(4)), se transformó a un suelo limo arenoso de baja plasticidad (ML, A-4) debido al incremento de la resistencia y reducción de humedad y sales debido a la acción de la sílice sobre el suelo

Los ensayos de Límites de Attemberg muestran una reducción de la humedad en suelo. El límite líquido se redujo de 34% a 25.5 %, el Límite plástico 23% a 17 % y finalmente el Índice de Plasticidad de se redujo de 11% a 9%. Los valores indican que el suelo tiene características elasticidad con tendencias a recuperar su forma original luego de aplicársele carga.

A continuación, la tabla 86 muestra la información de los resultados de Ensayos físicos para cada propuesta de estabilización en la zona de estudio.

Tabla 86: Resultados de Ensayos físicos de propuestas de estabilización de carretera en estudio

COMPARATIVO DE RESULTADOS FÍSICOS PROPUESTAS				
PROPUESTA	ESTABILIZACIÓN		AGENTE	CLASIFICACIÓN SUELOS
ESTABILIZACIÓN	TIPO	ESTABILIZADOR	MATERIAL	SUCS AASHTO
CONDICIONES INICIALES	-	-		CL A-6(4)
PROPUESTA JNR	Reemplazo	Over		CL A-6(4)
PROPUESTA TESIS	Física	Fibra de vidrio		ML A-4

Nota: En la tabla se indican valores de clasificación de suelos según las propuestas de estabilización por la consultora JNR y Tesis de investigación por Elaboración Propia, 2020.

10.3 Análisis de Resultados de Ensayos mecánicos muestras estabilizadas

Los ensayos de Proctor Modificado indicaron una mejora en el comportamiento mecánico del pavimento. En cuanto al valor de Máxima densidad seca se incrementó insignificamente de un valor de 1.727 g/cm² a un valor de 1.797 g/cm³, lo que evidencia un incremento de la cohesión y resistencia en suelos.

Por un lado, los valores de Óptimo contenido de humedad evidencian una reducción significativa de la presencia de agua en partículas de suelo arcillosos, reduciéndose de 17.2% a 14.1% en 1.22 menos a su valor inicial en suelo arcilloso de baja plasticidad. Por otro lado, se incrementó la capacidad portante (CBR) del suelo de subrasante en un 9.3% más de su valor inicial o 3.5 veces incrementado. El valor de CBR final obtenido fue de 13%.

Tabla 87: Resultados de Ensayos físicos y mecánicos de propuestas de estabilización de carretera en estudio

PROPUESTA	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)	Máxima densidad seca (kg/Cm3)	Óptimo contenido de humedad (kg/cm3)	CBR	Módulo resiliente (Psi)
	LL	LP	IP	MDS	OCH	CBR	Mr
CONDICIONES INICIALES	50.00	28.00	22.00	2.64	23.10	3.70	5902.55
PROPUESTA JNR	38.00	26.00	12.00	1.73	17.20	15.44	14727.37
PROPUESTA TESIS	34.00	23.00	11.00	1.80	14.10	13.00	13192.12

Nota: En la tabla se indican resultados de Ensayos físicos y mecánicos de suelos según las propuestas de estabilización por la consultora JNR y Tesis de investigación por Elaboración Propia, 2020.

10.4 Análisis del Diseño de Pavimento Flexible 93

El valor del ensayo de CBR más eficiente obtenido fue de 13%, el cual se aplicó en el Diseño de espesores de pavimento según la metodología AASHTO 93. El valor obtenido del Módulo resiliente de subrasante obtenido fue de 13192.12 psi, el cual se usó en el diseño final de pavimentos. Asimismo, según el Manual de Pavimentos y Suelos del MTC, indica que la calidad de subrasante con este valor de Módulo resiliente es de tipo muy buena, lo cual la hace eficiente y competitiva con la calidad propuesta por JNR

El diseño de espesores para un periodo de diseño de 10 años y a partir del incremento de CBR permitió reducir los espesores de capas granulares de base y subbase en un 60%. El espesor de base se redujo de 17 cm a 15 cm, y el espesor de subbase se redujo de 20 cm a 15 cm. El valor de la carpeta asfáltica se mantuvo, ya que, según el MTC, indica como mínimo el uso de una carpeta asfáltica de 9 cm.

Finalmente, el diseño de espesores para un periodo de diseño de 20 años y a partir del incremento de CBR permitió reducir los espesores de capas granulares de base y subbase en un 60%. El espesor de base se redujo de 17.5 cm a 15 cm, y el espesor de subbase se redujo de 20 cm a 15 cm. El valor de la carpeta asfáltica se mantuvo, ya que, según el MTC, indica como mínimo el uso de una carpeta asfáltica de 11 cm. La tabla 88 muestra un comparativo de los resultados obtenidos bajo el Diseño AASHTO 1993.

Tabla 88: Resultados de Diseños de espesores de propuestas de estabilización de carretera en estudio

COMPARATIVO DE RESULTADOS DE DISEÑO DE ESPESORES DE PROPUESTAS				
PROPUESTA DISEÑO DE ESPESORES ASSHTO 93	Espesor Carpeta asfáltica (cm)	Espesor Base (cm)	Espesor Subbase (cm)	Espesor Subrasante (cm)
PROPUESTA JNR	9	17.5	20	80
PROPUESTA TESIS	9	15	15	20

Nota: En la tabla se indican resultados de Diseño de espesores de pavimentos según las propuestas de estabilización por la consultora JNR y Tesis de investigación por Elaboración Propia, 2020.

10.5 Análisis de Modelado mecánico en 3d Move

Los resultados del Análisis mecánico determinar que la carpeta asfáltica y la base absorben el peso recibido por el vehículo de manera progresiva y distribuida con puntos de inflexión de producidos luego de retirarse la carga y la reacción elástica del material. Asimismo, los esfuerzos en las capas de subbase y subrasante son mínimos debido a la disipación de energía en las capas de carpeta asfáltica y base, con tendencia a incrementar esfuerzos a mayores

profundidades debido a la presencia de un suelo muy bien densificado, como es la subrasante luego de estabilizarse.

La propuesta de investigación presenta los siguientes valores mecánicos para cada capa del pavimento. Los valores positivos de esfuerzos corresponden a valores de compresión generados por la carga de neumático y los valores negativos hacen referencia a la disminución de esfuerzo generado debido a la gran resistencia a la compresión y corte interna de la capa en análisis. Por otro lado, los valores positivos de deformaciones corresponden a deflexiones elásticas del material con tendencia a recuperarse rápidamente, y los valores negativos hacen referencia a la deformación plástica mínima ocurrida en cada capa.

Los resultados de esfuerzos normales máximos y mínimos en la capa de carpeta asfáltica producidos de manera vertical son de 8.93 kg/cm² y 5.50 kg/cm² respectivamente. Los esfuerzos normales máximos y mínimos de manera horizontal son de 7.49 kg/cm² y -0.36 kg/cm². Los valores de esfuerzos cortantes máximos y mínimos son de 0.000018 kg/cm² y -0.00002 kg/cm². Por otro lado, las deflexiones ocurridas por esfuerzos de compresión y corte tienen valores entre 0.541 mm y 0.326 mm.

La capa de base presenta un esfuerzo normal vertical de 3.88 kg/cm² y un esfuerzo normal mínimo de 0.22 kg/cm², asimismo, los valores de esfuerzos normales horizontales son de 0.15 kg/cm² y -6.82 kg/cm². Los valores de esfuerzos cortantes máximos y mínimos son de 0.001 kg/cm² y -0.00015 kg/cm². Los resultados obtenidos de deflexiones ocurridas por esfuerzos de compresión y corte tienen valores entre 0.295 mm y 0.185 mm.

La capa de subbase presenta valores de esfuerzos normales verticales entre 1.20 kg/cm² y 0.78 kg/cm². Los esfuerzos horizontales máximos y mínimos son de 0.56 kg/cm² y -0.47 kg/cm². Por otro lado, los valores de esfuerzos cortantes máximos y mínimos son de 0.00005 kg/cm² y -0.00067 kg/cm². Los resultados obtenidos de deflexiones ocurridas por esfuerzos de compresión y corte tienen valores entre 0.196 mm y -0.007 mm.

La capa de subrasante presenta un valor máximo de esfuerzo normal vertical de 1.43 kg/cm² y un valor mínimo de 0.78 kg/cm². Los valores de esfuerzos horizontales son de 1.15 kg/cm² y 0.56 kg/cm². Los valores de esfuerzos cortantes máximos y mínimos son de -0.00073 kg/cm² y -0.0147 kg/cm². Los resultados obtenidos de deflexiones ocurridas por esfuerzos de compresión y corte tienen valores entre 0.1962 mm y -0.00070 mm.

A continuación, la tabla 89 presenta un resumen de los resultados del comportamiento mecánico del pavimento en término de Esfuerzos normales, Esfuerzos cortantes y Desplazamientos máximo y mínimos obtenidos del modelado.

Tabla 40: Resultados de Diseños de espesores de propuestas de estabilización de carretera en estudio

COMPARATIVO DE RESULTADOS DE RESPUESTA MECÁNICA DE PROPUESTAS						
PROPUESTA MECÁNICA	Esfuerzo normal máximo (kg/cm ²)	Esfuerzo normal mínimo (kg/cm ²)	Esfuerzo cortante máximo (kg/cm ²)	Esfuerzo cortante mínimos (kg/cm ²)	Desplz máximo (mm)	Desplz mínimo (mm)
PROPUESTA JNR	8.89	-0.14	2.44 0.0000	-0.14	0.64	-0.03
PROPUESTA TESIS	8.92	-6.82	9	0	0.55	-0.009

Nota: En la tabla se indican resultados de Análisis mecánico de pavimentos según las propuestas de estabilización por la consultora JNR y Tesis de investigación por Elaboración Propia, 2020.

10.6 Análisis Económicos de Propuestas de Estructura del Pavimento flexible

El método de estabilización propuesto por la consultora JNR es de tipo reemplazo, es decir, se realiza un retiro del material arcilloso no apto en subrasante de carretera mediante excavaciones y se posteriormente se procede a rellenar el volumen excavado con piedra grande de tipo ver de 6". Por otro lado, el método de estabilización con polvo de fibra de vidrio solo sigue procesos de escarificador y compactación del terreno luego se su colocación sobre la capa del pavimento. En función a lo indicado, se presentan los siguientes resultados del Análisis económico.

Los resultados obtenidos del Análisis económico presentan una reducción de los espesores del pavimento para un diseño de 10 años permitió aminorar el costo de construcción de la estructura de este. La propuesta económica de Tesis permite reducir los costos de S/. 5,091,572.70 a S/. 4,390,665.32 nuevos soles, lo cual reduce el costo total de la construcción de la vía o en un 11.7 menos que el costo propuesto por el método de estabilización con Over según la consultora JNR.

La propuesta económica de estabilización con polvo de fibra de vidrio reciclado para un diseño de 10 y 20 años reduce costos en un S/. 282,326.18 nuevos soles en comparación con la propuesta de estabilización con Over según JNR. Por otro lado, el costo por la aplicación de estabilización con polvo de fibra de vidrio en subrasante de carretera en los 14.6 km del

Tramo I seleccionado permite reducir costos en S/. 1,344,581.24 nuevos soles o un 12% del costo original propuesto por la estabilización con Over.

La aplicación de polvo de fibra de vidrio permite reducir costos por kilómetro de carretera construida para un periodo de diseño de 10 y 20 años en S/ 549,840.54 nuevos soles, en comparación con la propuesta de estabilización con over que se plantea en el expediente técnico.

La reducción del costo por kilómetro de carretera para un periodo de diseño de 10 y 20 años al aplicar polvo de fibra de vidrio como agente estabilizador de subrasante y la construcción de capas granulares subyacentes presenta un monto de S/. 94,688.82 nuevos soles o 14.6% menos de su valor inicial.

La tabla 90 muestra un comparativo de los resultados obtenidos bajo del presupuesto para la construcción del pavimento en condiciones estabilizadas según cada propuesta.

Tabla 90: Resultados del Análisis económico del pavimento según propuestas de estabilización

COMPARATIVO DE RESULTADOS DE RESPUESTA ECONÓMICA DE PROPUESTAS			
PROPUESTA MECÁNICA	Pavimento (Tr= 10 años) (kg/cm2)	Pavimento (Tr= 20 años) (kg/cm2)	Propuesta de Estabilización (kg/cm2)
PROPUESTA JNR	5,091,572.70	5,426,691.29	3,725,625.60
PROPUESTA TESIS	4,390,665.32	4,725,783.91	3,081,951.74
DIFERENCIA PROPUESTAS	700,907.38	700,907.38	643,673.86

Nota: En la tabla se indican resultados de Análisis económico para la estructura del pavimento diseñada para 10 y 20 años en condiciones estabilizadas según las propuestas de estabilización por la consultora JNR y Tesis de investigación por Elaboración Propia, 2020.

11 CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en los capítulos anteriores de esta investigación se concluye lo siguiente:

- El suelo estudiado en la presente investigación en su estado natural es una arcilla de baja plasticidad (CL) según la metodología de clasificación de suelos SUCS y de acuerdo a la clasificación AASHTO, corresponde al grupo de arcillas arenosas con baja plasticidad (A-6(4)). El límite líquido y plástico que presenta el suelo es de 34% y 25% respectivamente, dando como resultado un índice de plasticidad de 9%. Asimismo, del ensayo de Proctor Modificado se determinó que la Máxima Densidad Seca (MDS) es de 1.727 g/cm³ y el Optimo contenido de Humedad (OCH) es de 17.2%. Finalmente, se determinó que el valor de CBR a 0.1'' de penetración es de 3.7% al 95% de la MDS, con lo cual no es considerado apto para ser utilizado como capa subrasante de un pavimento flexible, según lo establecido en el manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos del MTC.
- El óptimo de contenido de polvo de fibra de vidrio a mezclar con el suelo arcilloso de baja plasticidad es de 10%. Esta dosificación logra mejorar la máxima densidad seca de 1.727 g/cm³ a 1.782 g/cm³ y aumenta el valor de CBR al 95% de 3.7% a 12.81%. Con esto se logra recategorizar el suelo estudiado, pasando de ser un suelo no apto como para subrasante de un pavimento, a ser un suelo muy bueno para para subrasante según el Manual de Carreteras del MTC, (2014).
- La adición de polvo de fibra de vidrio tiene una influencia mínima en la compactación del suelo debido a que con la adición de un 12% solo se logró incrementar la máxima densidad seca en una 4%. Por otro lado, la capacidad portante del suelo la cual esta determinada por el valor de CBR del mismo, logro un incrementar de un 3.7% a hasta 13%, con lo cual se logró incremento porcentual de hasta un 250%. La adición de polvo de fibra de vidrio reduce el índice de poros del suelo, dando como resultado

una mejor densificación del suelo teniendo como resultado final un incremento de la capacidad portante.

- Se realizó el diseño del pavimento flexible con subrasante estabilizada con polvo de fibra de vidrio para una etapa de 10 y 20 años siguiendo la metodología AASHTO 1993. Se obtuvo espesores 9, 15 y 15 cm para la carpeta asfáltica, base y subbase respectivamente para un periodo de diseño 10 años, logrando una reducción de 3cm en la base y 5cm en la subbase con respecto al diseño de pavimento propuesto en el expediente técnico de la carretera de Rodríguez de Mendoza, en el cual se propuso mejorar la subrasante con material Over. De igual modo para un diseño de 20 años los espesores obtenidos fueron de 11, 15, 15 cm, siendo menores a los espesores propuesto por el expediente el cual recomendaba 11, 17.5 y 20 cm de espesor para cada capa respectivamente.
- El análisis mecánico se realizó con el software 3D Move. El valor de esfuerzo máximo obtenido fue de 8.93 kg/cm² y mínimo de -6,82 kg/cm², ambos esfuerzos cumplen ante la falla por fatiga según la calibración del programa. Por otro lado, el esfuerzo cortante máximo y mínimo son 2.526 kg/cm² y -0.014 kg/cm² respectivamente, ambos esfuerzos cumplen ante falla por ahuellamiento. Los desplazamientos producidos por la elasticidad del suelo y polvo de fibra de vidrio presentan un valor máximo de 0.547 mm, este valor cumple ante falla por ahuellamiento. En función de los resultados obtenidos se observa que el diseño planteado en cuanto a espesores es eficiente, puesto que es capaz de soportar las cargas aplicadas en cada capa y reducir los tipos de fallas por fatiga y ahuellamiento.
- Se realizó una propuesta económica para mejorar el suelo arcilloso de baja plasticidad de la subrasante del tramo I de la carretera de Rodriguez de Mendoza, la cual está conformado por 14.2 km. Obteniendo como resultado que el pavimento flexible con una subrasante estabilizada con polvo de fibra de vidrio tiene un costo S/. **7,807,735.65** para un periodo de 10 años, mientras que el pavimento flexible con una subrasante mejorado con Over tiene un costo S/. **9,152,319.89**. Se concluye que el pavimento flexible de la carretera en estudio muestra una diferencia a favor de la aplicación del

polvo de fibra de vidrio reciclado, con una reducción de costos de S/ 1,344,581.24 nuevos soles en todo el tramo I conformado por 14.20 km de la vía en estudio

12 RECOMENDACIONES

- La aplicación de polvo de fibra de vidrio reciclado como agente estabilizador presenta una gran eficiencia en arcillas de baja plasticidad en subrasantes, por lo que puede ser evaluada como una alternativa sostenible para su uso en estabilizaciones.
- Es necesario realizar Ensayos físicos que permiten determinar la Granulometría, Límites de Attemberg y contenido de humedad para determinar la dosificación de polvo de fibra de vidrio a utilizar.
- La propuesta de estabilización puede considerar además la aplicación de un drenaje superficial que permita distribuir el agua proveniente de las constantes lluvias en la zona de estudio, con el fin de evitar el ingreso de agua a las capas del pavimento y se reduzca progresivamente la capacidad de soporte de las capas y subrasante del pavimento.
- La metodología AASHTO 93 para el diseño de espesores de pavimento y la metodología mecánica AASHTO 2008 para obtener valores del comportamiento mecánico del pavimento en términos de esfuerzos, deformaciones y deflexiones, son alternativas eficientes en cuanto a la obtención de valores con baja cantidad de pérdida.
- La selección del software de pavimentos a utilizar para realizar un Análisis mecánico en las diferentes capas del pavimento, debe realizarse en función a la información necesaria como data de entrada solicitada por cada software, así como la metodología mecanicista a considerar para el cálculo de valores mecánicos del pavimento.
- Se debe de implementar la aplicación de metodologías mecánicas en el País, ya que estas no cuentan con mucha difusión en información con el fin de obtener un análisis más real del performance de la estructura del pavimento durante su periodo de diseño. Por lo que se debe considerar especificaciones adicionales de carga, propiedades mecánicas de materiales, temperatura, humedad, lo cual permitirá obtener escenarios más reales de cómo se comportará el pavimento proyectado en un tiempo definido.

13 REFERENCIAS

AL- Homidy, A., Dahim, A., Abd El Aaal, A. (2016). Improvement of geotechnical properties of dabkha soil utilizing cement kiln dust. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 16, 1674-7755.

Al- Jhayyish, A., Sargand, S. (2018). "Incorporating the strength provided by subgrade stabilization in the flexible pavement design procedures". *Geotechnical Testing Journal*, 41(1).

American Association of state Highway Transportation Officials – AASHTO-93. Guide for design of pavement Structures. Washington D.C.

ASTM 1992: American Society for Testing and Materials. Pennsylvania: Research of international technical standards in materials.

Babatunde O.A., Sani J.E. (2019). "Black Cotton Soil Stabilization using Glass". *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, VOL 8, Issue 5.

Balaguera, Q, A. (2018). "*Uso de materiales alternativos como estabilizantes en vías con bajo volumen de tránsito: un enfoque de ciclo de vida*". (Tesis doctoral). Universidad de Antioquía, Antioquia, Colombia.

Barrera, M. & Garnica, P. (2002). *Introducción a la mecánica de suelos no saturados en vías terrestres. (Documento Técnico N°198)*. Instituto Mexicano de transporte. México.

Befesa plásticos (2015). "*Procedimiento de obtención de tipos de fibra de vidrio según forma*". (Manual informativo). Murcia, España.

Benny, J., Jolly, J., Effect of Glass Powder on Engineering Properties of Clayey Soil. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 6(5), 2278-0181.

Caamaño, M, I. (2016). "*Mejoramiento de un suelo blando de subrasante mediante la adición de cascarilla de arroz y su efecto en el módulo resiliente*". (Tesis de Postgrado). Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.

Canakci, H., Al-Kali, A., Celik, F. (2016). Stabilization of Clay with Waste Soda Lime Glass Powder. *Procedia Engineering*. 161, 600-605.

Carranza, A. & Fernandez, D. (2019). “*Aplicación de los aditivos proes y Conaid para mejorar la capacidad de soporte (CBR) de la subrasante en la vía de acceso al C.P. Barraza, Laredo, La Libertad- 2018*”. (Tesis de Postgrado). Universidad Privada del Norte, Lima, Perú.

Fei, X., Hua, W. (2016). Experimental investigation on replacing cement by sintered limestone ash from the steelmaking industry for cement-stabilized soil: Engineering performances and micro-scale analysis *Engineering Geology*, 200(0), 10-17.

Georgees, Romel N., Hassan, Rayya A., Evans, Robert P. (2018). Permanent Deformation Response of Polymer- Treated Pavement Foundation Material under Transmitted Stress Pulses”. *Journal of materials in Civil Engineering*, 30 (9), 2596-2608.

Gowtham, S., Naveenkumar, A., Rankithkumar, R. (2018). Stabilization of Clay Soil by Using Glass and Plastic Waste Powder. *International Journal of Engineering and Techniques*, 4(2), 2395-1303.

Hamid,O., Mahdi, A.(2019), Comparision of Pb stabilization in a contaminated calcareous soil by application of vermicompost and sheep manure and their biochars produced at two temperatures. *Applied Geochemistry*. 102(0), 121-128.

Jinu Rose, B., Joseph Jolly. K., Juny Mareena, S., Mariya, Thomas., (2017). Effect of Glass Powder on Engineering Properties of Clayey Soil. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 6, 2278-0181.

Juárez E., Rico, A. (1995). *Mecánica de Suelos. Tomo I, Fundamentos de la Mecánica de suelos*, México DF, México: Limusa.

Leiva G., R. (2016). “*Utilización de bolsas de polietileno para el mejoramiento de suelo a nivel de la subrasante en el Jr. Arequipa, progresiva KM 0+000- KM 0+100, distrito de Orcotuna, Concepción*”. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.

Lopez, L.T., Hernández, Z. J., Horta, R.J., Coronado, M. A., Castaño, M. V. (2010). Polímeros para la estabilización volumétrica de arcillas expansivas. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 11(3), 2-10.

Menéndez, J. R. (2013). *Ingeniería de Pavimentos: Diseño y gestión de pavimentos (1ª Ed.)*. Lima, Perú: imprenta ICG.

Meysam, P., Mohammad, M., Vahid, T. (2018). Experimental investigation of using a recycled glass powder-based geopolymer to improve the mechanical behavior of clay soils. *Construction and Building Materials*. 170, 302-313.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2017). *“Plan Estratégico Nacional de Seguridad Vial PEN sv 2017-2021*. Lima, Perú.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (20013). *Manual de carreteras: Sección Suelos y Pavimentos*. Lima, Perú.

Olufowbi, J., Ogundaju, A. (2014). Clay Soil Stabilisation Using Powdered Glass. *Journal of Engineering Science and Technology*, 9(5), 541-542.

Ordoñez H., A., & Minaya G., S. (2001). *CBR de subrasantes arenosas y limo-arcillosas*. Lima: UNI.

Owens Corning Reinforcements (2016). *“Manual informativa de Refuerzo de Fibra de vidrio para compuestos termoplásticos”*. Shangai, China.

Pokharel, Sanat., Leshchinsky, D. (2018). Crack Propagation prediction of asphalt pavement after maintenance as”. *Construction and Building Materials* ,231(0), 117-157.

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

Saad, I., Namir, A. (2016). Effect of Reinforcement on improve Surface pavement for weak subgrade conditions. 23(0), 2188-2193.

S. Karthik, E. Ashok Kumar, P. Gowtham, G. Elango, D. Gokul, S. Thangaraj. "Soil stabilization by using fly ash". J. Mech. Civ. Eng. 10 (2014).

Saxena, P., Tompkins, D., Khazanovich, L., Balbo, JT. (2018). "Evaluation of characterizations and Performance Modeling of Cementitiously Stabilized Layers in the Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide". Transportation research record, 2186(0), 111-119.

Sanat, K., Pokharel, S., Han. (2018) - Experimental evaluación of reinforced bases under repeated loading. *Internation Journal of Pavement Research adn Technology*. 11 (0), 114-127.

Syed Aaqib, J., Sudipta Chakraborty. (2020). Effects of Waste Glass Powder on Subgrade Soil Improvement. World Scientific News, 144, 30-42.

Terzagui, V,K. (1925). *Mecánica de Suelos- Consolidación de arcillas*. Delft, Holanda: Leipzig u. Wien, F. Deuticke

Vand Due, B., Kennedy, O. (2018). Absorbed complex and laboratory geotechnics of Quarry Dust (QD) stabilized lateritic soils. *Environmental Tecnology*, 10(0), 355-363.

Vergara V., A. (2015). "*Evaluación del estado funcional y estructural del pavimento flexible mediante la metodología PCI tramo Quichuay- Ingenio del KM 0+000 al KM 1+000*". (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.

Xu, F., Hua, W., Wenxun, Q., Xunjie, C., Tianlei, X., Yang, He., Guacheng, W. (2016). Experimental investigation on replacing cement by sintered limestones ash from the steelmaking industry for cement-stabilized soil: Engineering performances and micro-sale analysis. *Engineering Geology*, 200(0), 10-17.

Zaika, Y., Suryo, E.(2019). "Design of improved lime expansive soil for embankment of Flexible pavement". *International Journal of Geomate*, 17(60), 90-95.

Zevallos, R. (2018). *“Identificación y Evaluación de falla superficiales en los pavimentos flexibles de algunas vías de la ciudad de Barranca- 2017”*. (Tesis de Postgrado). Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú.

Zhang, T., Liu, S. (2020). Durability of silty soil stabilized with recycle lignin for sustainable engineering materials”. *Applied Geochemistry*, 102(0), 121-128.

14 ANEXOS

ANEXO 1

TIPO DE MATERIALES ESTABILIZANTES DE SUELO

TIPO DE ESTABILIZADOR RECOMENDADO	NORMAS TÉCNICAS	SUELO ⁽¹⁾	DOSIFICACIÓN ⁽²⁾	CURADO (APERTURA AL TRÁNSITO) ⁽⁵⁾	OBSERVACIONES
Cemento	EG-CBT-2008 Sección 3068 ASTM C150 AASHTO M85	A-1,A-2,A-3,A-4,A-5,A-6 y A-7 LL < 40% IP ≤ 18% CMO ⁽²⁾ < 1.0% Sulfatos (SO ₄ ²⁻) < 0.2% Abrasión < 50% Durabilidad SO ₄ Ca ⁽⁴⁾ - AF ≤ 10% - AG ≤ 12% Durabilidad SO ₄ Mg - AF ≤ 15% - AG ≤ 18%	2 - 12%	7 días	Diseño de mezcla de acuerdo a recomendaciones de la PCA (Portland Cement Association)
Emulsión	ASTM D2397 ó AASHTO M208	A-1, A-2 y A3 Pasante malla Nº 200 ≤ 10% IP ≤ 8% Equiv. Arena ≥ 40% CMO (2) < 1.0% Sulfatos (SO ₄ ²⁻) < 0.6% Abrasión < 50% Durabilidad SO ₄ Ca ⁽⁴⁾ - AF ≤ 10% - AG ≤ 12% Durabilidad SO ₄ Mg - AF ≤ 15% - AG ≤ 18%	4 - 8%	Mínimo 24 horas	Cantidad de aplicación a ser definida de acuerdo a resultados del ensayo Marshall modificado o Illinois
Cal	EG-CBT-2008 Sección 3078 AASHTO M216 ASTM C977	A-2-6, A-2-7, A-6 y A-7 10% ≤ IP ≤ 50% CMO ⁽²⁾ < 3.0% Sulfatos (SO ₄ ²⁻) < 0.2% Abrasión < 50%	2 - 8%	Mínimo 72 horas	Para IP > 50%, se puede aplicar cal en dos etapas Diseño de mezcla de acuerdo a la Norma ASTM D 6276
Cloruro de Calcio	ASTM D98 ASTM D345 ASTM E449 MTC E 1109	A-1, A-2, y A-3 IP ≤ 15% CMO ⁽²⁾ < 3.0% Sulfatos (SO ₄ ²⁻) < 0.2% Abrasión < 50%	1 a 3% en peso del suelo seco	24 horas	
Cloruro de Sodio	EG-CBT-2008 Sección 309B ASTM E534 MTC E 1109	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7 8% ≤ IP ≤ 15% CMO ⁽²⁾ < 3.0% Abrasión < 50%	50 - 80 kg/m ³	07 días	La cantidad de sal depende de los resultados (dosificación) y tramo de prueba
Cloruro de Magnesio	MTC E 1109	A-1, A-2 y A-3 IP ≤ 15% CMO ⁽²⁾ < 3.0% pH: mínimo 5 Abrasión < 50%	50 - 80 kg/m ³	48 horas	La cantidad de sal depende de los resultados de laboratorio (dosificación) y tramo de prueba
Enzimas	EG-CBT-2008 Sección 308B MTC E 1109	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7 6% ≤ IP ≤ 15% 4.5 < pH < 8.5 CMO ⁽²⁾ No debe contener Abrasión < 50% % < Nº 200: 10 - 35%	1L / 30-33 m ³	De acuerdo a Especificaciones del fabricante	
Aceites sulfonados		Aplicable en suelos con partículas finas limosas o arcillosas, con LL bajo, arcillas y limos muy plásticos CMO ⁽²⁾ < 1.0% Abrasión < 50%		De acuerdo a Especificaciones del fabricante	

Fuente: Estudios Especiales del MTC

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2018.

ANEXO 2

PUNTOS CRITICOS DEL TRAMO I (0+000 KM -14+200 KM) DE LA CARRETERA RODRIGUEZ DE MENDOZA

Tabla 8

Relación de zonas de mejoramiento del terreno de fundación por varios conceptos

N°	PROGRESIVAS		Long	Altura de Mejoramiento	Sección Tipo	JUSTIFICACIÓN DE MEJORAMIENTO POR VARIOS CONCEPTOS				EVALUACIÓN FINAL	
	Inicio	Fin				Expansividad	Capacidad Portante	% de Humedad Natural	Clasificación de Suelos		
	(km)	(km)							(m)		(m)

1	Km. 0+000	Km. 0+170	170.00	0.8	Relleno	Expansivo	Baja	-	CH	A-7-6(20)	Suelos de baja resistencia estructural
2	Km. 0+410	Km. 0+800	390.00	0.8	Relleno	-	Baja	Saturado	CL	A-7-6(18)	Suelos de baja resistencia estructural
3	Km. 0+880	Km. 1+910	1030.00	0.8	Relleno	-	Baja	Saturado	CH	A-7-6(18)	Suelos de baja resistencia estructural
4	Km. 2+190	Km. 2+650	460.00	0.8	Relleno	Expansivo	Baja	Saturado	CH	A-7-6(20)	Suelos de baja resistencia estructural
5	Km. 2+850	Km. 3+010	160.00	0.8	Relleno	Expansivo	Baja	Saturado	CH	A-7-6(20)	Suelos de baja resistencia estructural
6	Km. 3+010	Km. 3+150	140.00	0.8	Relleno	Expansivo	-	-	CH	A-7-6(20)	Suelos altamente expansivos
7	Km. 3+250	Km. 3+800	550.00	0.8	Relleno	-	-	Saturado	CL	A-6 (15)	Suelos sobresaturados
8	Km. 4+100	Km. 5+000	900.00	0.8	Corte- Relleno	Expansivo	-	-	CH	A-7-5(20)	Suelos altamente expansivos
9	Km. 5+000	Km. 5+650	650.00	0.8	Corte- Relleno	Expansivo	Baja	Saturado	CH	A-7-6(20)	Suelos de baja resistencia estructural
10	Km. 6+100	Km. 7+010	910.00	0.8	Relleno	Expansivo	Baja	Saturado	CH	A-7-5(20)	Suelos de baja resistencia estructural

11	Km. 7+090	Km. 7+210	120.00	0.8	Relleno	Expansivo	-	Saturado	CH	A-7-6(20)	Suelos sobresaturados
12	Km. 7+210	Km. 7+650	440.00	0.8	Relleno	Expansivo	-	-	CH	A-7-6(12)	Suelos altamente expansivos
13	Km. 7+750	Km. 8+000	250.00	0.8	Relleno	-	-	Saturado	ML	A-7-6(18)	Suelos sobresaturados
14	Km. 8+100	Km. 8+000	250.00	0.8	Relleno	-	-	Saturado	ML	A-7-6(20)	Suelos sobresaturados
15	Km. 8+350	Km. 8+350	150.00	0.8	Relleno	Expansivo	-	Saturado	CH	A-7-6(20)	Suelos altamente expansivos
16	Km. 8+500	Km. 8+500	100.00	0.8	Corte - Relleno	Expansivo	-	-	CH	A-7-6(20)	Suelos altamente expansivos
17	Km. 8+600	Km. 8+650	50.00	0.8	Relleno	Expansivo	-	Saturado	CH	A-7-5 (20)	Suelos altamente expansivos
18	Km. 8+650	Km. 9+200	550.00	0.8	Corte - Relleno	Expansivo	-	Saturado	CL	A-7-5 (17)	Suelos sobresaturados
19	Km. 9+300	Km. 9+700	400.00	0.8	Relleno	-	-	Saturado	SC	A-4 (1)	Suelos sobresaturados
20	Km. 10+850	Km. 11+150	300.00	0.8	Relleno	Expansivo	-	-	CH	A-7-6(20)	Suelos altamente expansivos
21	Km. 11+850	Km. 12+150	300.00	0.8	Corte - Relleno	Expansivo	-	-	CH	A-7-6(20)	Suelos altamente expansivos
22	Km. 14+100	Km. 14+390	290.00	0.8	Corte - Relleno	Expansivo	-	-	CH	A-7-6(20)	Suelos altamente expansivos

Nota: En la tabla se indican características de tipo de suelos y condición final. Adaptado de “Expediente técnico Carretera Rodríguez de Mendoza”, JNR., 2014.

ANEXO 3
RESULTADOS ENSAYO DE CLASIFICACIÓN
(SUELO NATURAL)

		LIMITE PLASTICO				LIMITE LIQUIDO	
ITEM		1	2	3	4	4	5
Prueba N°							
Frasco N°		T139	T130	T27	T111	T64	T76
N° de golpes		18	23	27	30	-	-
Peso de frasco + suelo		99	97.5			85.2	
1	húmedo (gr)			90.9	81.2		81.2
Peso de frasco + suelo		91.89	90.88	86.13	88.16	78.88	88.16
2	seco (gr)						
3	Peso de Agua	7.11	6.17	4.77	5.99	6.32	5.99
4	Peso de frasco (gr)	54.15	54.22	54.19	28.7	28.5	28.7
5	Peso de suelo seco (gr)	37.74	36.66	31.94	59.46	50.38	59.46
6	Contenido de humedad	18.84	16.83	14.93	10.07	12.54	10.07
Resultados			15.17			11.31	

ANEXO 4
RESULTADOS ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR (DOSIFICACIÓN 6%)

Ensayo Proctor Estándar (MTC E 116)				
# de Ensayo	1	2	3	4
P. Suelo húmedo + molde (gr)	3529.00	3649.00	3682.00	3612.00
P. Suelo húmedo (gr)	1779.00	1899.00	1932.00	1862.00
Densidad humedad (gr/cm3)	1.895	2.022	2.058	1.983
Tara N°	C	53	3	51
P. Suelo húmedo + Tara (gr)	403.20	462.70	392.60	466.70
P. Suelo seco + tara (gr)	363.85	408.85	343.50	401.80
P. recipiente (gr)	75.20	64.70	66.70	73.95
P. Agua (gr)	39.35	53.85	49.10	64.90
P. Suelo seco (gr)	288.65	344.15	276.80	327.85
Contenido de humedad	13.6%	15.6%	17.7%	19.8%
Densidad Seca (gr/cm3)	1.667	1.749	1.748	1.655

ANEXO 5
RESULTADOS CBR (SUELO NATURAL)

COMPACTACION CBR	Molde 1	Molde 2	Molde 3
MOLDE	(55 Golpes)	(26 Goles)	(12 Golpes)
N° de Golpes x Capa	12	25	56
Altura del Molde (cm)	11.67	11.65	11.67
Diámetro (cm)	14.9	15.2	15.1
Área del Molde (cm2)	174.37	181.46	179.08
Cond. Muestra			
P.Húm.+Molde(g)	20040	20322	20402
Peso Molde (g)	15880	15882	15770
Peso Húmedo(g)	4160	4440	4632
Vol. Molde (cm3)	2034.85	2113.99	2089.85
Densidad H(g/cm3)	2.04	2.10	2.22
Recipiente	R-1	R-2	R-3
P. Húmedo + Tara(g)	314	348	268
Peso Seco + Tara(g)	283.7	309.7	239.4
Peso Agua(g)	30.3	38.3	28.6
Peso Tara(g)	88	74	72
P. Muestra Seca(g)	195.7	235.7	167.4
Cont. Humedad (%)	15.48	16.25	17.08
DENSIDAD SECA(g/cm3)	1.73	1.67	1.64

ANEXO 6
RESULTADOS DE ESFUERZOS MÁXIMOS
DE ENSAYO CBR (SUELO NATURAL)

PENETRACION		MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
(mm)	(pulgadas)	CARGA	ESFUERZO	CARGA	ESFUERZO	CARGA	ESFUERZO
0.0	0.00	0.0	0	0.0	0	0.0	0
0.5	0.02	94.1	10	65.9	7	47.1	5
1.0	0.04	235.4	24	164.8	17	117.7	12
1.5	0.06	442.5	45	309.7	32	221.2	23
2.0	0.08	630.8	64	441.5	45	315.4	32
2.5	0.10	837.9	85	586.5	60	418.9	43
3.0	0.12	1026.2	105	718.3	73	513.1	52
3.5	0.14	1200.3	122	840.2	86	600.2	61
4.0	0.16	1369.8	140	958.9	98	684.9	70
4.5	0.18	1528.8	156	1070.9	109	764.9	78
5.0	0.20	1661.6	169	1163.1	119	830.8	85
7.5	0.30	2245.3	229	1571.7	160	1122.7	114
10.0	0.39	2767.8	282	1937.5	198	1383.9	141

ANEXO 7
RESULTADOS ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR
(DOSIFICACIÓN 6 % POLVO DE FIBRA DE VIDRIO)

Ensayo Proctor Estandar (MTC E 116)				
# de Ensayo	1	2	3	4
P. Suelo humedo+ molde (gr)	3535.00	3656.00	3688.00	3619.00
P. Suelo humedo (gr)	1785.00	1906.00	1938.00	1869.00
Densidad humeda (gr/cm3)	1.901	2.030	2.064	1.990
Tara N°	C	53	3	51
P. Suelo humedo + Tara (gr)	459.80	413.20	359.45	409.55
P. Suelo seco + tara (gr)	414.90	368.15	318.15	354.85
P. recipiente (gr)	76.35	72.75	80.70	72.80
P. Agua (gr)	44.90	45.05	41.30	54.70
P. Suelo seco (gr)	338.55	295.40	237.45	282.05
Contenido de humedad	13.3%	15.3%	17.4%	19.4%
Densidad Seca (gr/cm3)	1.678	1.761	1.758	1.667

ANEXO 8
RESULTADOS ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR
(DOSIFICACIÓN 8% POLVO DE FIBRA DE VIDRIO)

Ensayo Proctor Estandar (MTC E 116)				
# de Ensayo	1	2	3	4
P. Suelo húmedo+ molde (gr)	3527.00	3646.00	3679.00	3612.00
P. Suelo húmedo (gr)	1777.00	1896.00	1929.00	1862.00
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.892	2.019	2.054	1.983
Tara N°	C	53	3	51
P. Suelo húmedo + Tara (gr)	398.6	397.75	424.05	367.70
P. Suelo seco + tara (gr)	366.30	361.70	377.65	324.35
P. recipiente (gr)	74.00	82.40	71.40	72.30
P. Agua (gr)	32.30	35.75	46.40	43.35
P. Suelo seco (gr)	292.30	279.30	306.25	252.05
Contenido de humedad	11.1%	13.1%	15.1%	17.2%
Densidad Seca (gr/cm3)	1.703	1.785	1.783	1.692

ANEXO 9
RESULTADOS ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR
(DOSIFICACIÓN 12 % POLVO DE FIBRA DE VIDRIO)

Ensayo Proctor Estándar (MTC E 116)				
# de Ensayo	1	2	3	4
P. Suelo húmedo+ molde (gr)	3535.00	3656.00	3688.00	3619.00
P. Suelo húmedo (gr)	1785.00	1906.00	1938.00	1869.00
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.901	2.030	2.064	1.990
Tara N°	C	53	3	51
P. Suelo húmedo + Tara (gr)	400.90	408.55	462.90	372.70
P. Suelo seco + tara (gr)	364.70	367.55	407.40	325.60
P. recipiente (gr)	76.15	85.95	74.10	73.75
P. Agua (gr)	36.20	41.00	55.50	47.10
P. Suelo seco (gr)	288.55	281.60	333.30	251.85
Contenido de humedad	12.5%	14.6%	16.7%	18.7%
Densidad Seca (gr/cm3)	1.689	1.772	1.769	1.677

ANEXO 10
RESULTADOS ENSAYO DE CBR
(DOSIFICACIÓN 6% POLVO DE FIBRA DE VIDRIO)

		MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
PENETRACION		(55 Golpes)		(26 Golpes)		(12 Golpes)	
(mm)	(pulgadas)	CARGA (N)	CARGA (Kg)	CARGA (N)	CARGA (Kg)	CARGA (N)	CARGA (Kg)
0.0	0.00	0.0	0	0.0	0	0.0	0
0.5	0.02	284.9	29	199.4	20	142.4	15
1.0	0.04	553.5	56	387.4	39	276.7	28
1.5	0.06	862.8	88	604.0	62	431.4	44
2.0	0.08	1220.9	124	854.6	87	610.5	62
2.5	0.10	1717.4	175	1202.2	123	858.7	88
3.0	0.12	2222.1	227	1555.5	159	1111.0	113
3.5	0.14	2677.9	273	1874.5	191	1339.0	136
4.0	0.16	3141.9	320	2199.3	224	1570.9	160
4.5	0.18	3573.2	364	2501.3	255	1786.6	182
5.0	0.20	3988.4	407	2791.9	285	1994.2	203
7.5	0.30	5494.2	560	3845.9	392	2747.1	280
10.0	0.39	6967.4	710	4877.2	497	3483.7	355

ANEXO 11
RESULTADOS ENSAYO DE CBR
(DOSIFICACIÓN 8 % POLVO DE FIBRA DE VIDRIO)

		MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
PENETRACION		(55 Golpes)		(26 Golpes)		(12 Golpes)	
(mm)	(pulgadas)	CARGA (N)	CARGA (Kg)	CARGA (N)	CARGA (Kg)	CARGA (N)	CARGA (Kg)
0.0	0.00	0.0	0	0.0	0	0.0	0
0.5	0.02	176.5	18	123.6	13	86.3	9
1.0	0.04	423.6	43	296.6	30	211.8	22
1.5	0.06	699.0	71	489.3	50	349.5	36
2.0	0.08	1030.9	105	721.6	74	515.4	53
2.5	0.10	1447.5	148	1013.2	103	723.7	74
3.0	0.12	1864.0	190	1304.8	133	932.0	95
3.5	0.14	2245.3	229	1571.7	160	1122.7	114
4.0	0.16	2612.5	266	1828.7	186	1306.2	133
4.5	0.18	2979.7	304	2085.8	213	1489.8	152
5.0	0.20	3304.4	337	2313.1	236	1652.2	168
7.5	0.30	4730.7	482	3311.5	338	2365.4	241
10.0	0.39	5931.1	605	4151.7	423	2965.5	302

ANEXO 12
RESULTADOS ENSAYO DE CBR
(DOSIFICACIÓN 10 % POLVO DE FIBRA DE VIDRIO)

PENETRACION		MOLDE N° 01 (55 Golpes)		MOLDE N° 02 (26 Golpes)		MOLDE N° 03 (12 Golpes)	
(mm)	(pulgadas)	CARGA (N)	CARGA (Kg)	CARGA (N)	CARGA (Kg)	CARGA (N)	CARGA (Kg)
0.0	0.00	0.0	0	0.0	0	0.0	0
0.5	0.02	161.6	16	113.1	12	80.8	8
1.0	0.04	434.3	44	304.0	31	217.2	22
1.5	0.06	888.9	91	622.2	63	444.4	45
2.0	0.08	1565.6	160	1095.9	112	782.8	80
2.5	0.10	2222.2	227	1555.5	159	1111.1	113
3.0	0.12	2888.8	294	2022.2	206	1444.4	147
3.5	0.14	3535.3	360	2474.7	252	1767.6	180
4.0	0.16	4191.9	427	2934.3	299	2095.9	214
4.5	0.18	4858.5	495	3401.0	347	2429.3	248
5.0	0.20	5424.2	553	3796.9	387	2712.1	276
7.5	0.30	7555.4	770	5288.8	539	3777.7	385
10.0	0.39	9060.5	924	6342.3	647	4530.2	462

ANEXO 13
RESULTADOS ENSAYO DE CBR
(DOSIFICACIÓN 12 % POLVO DE FIBRA DE VIDRIO)

PENETRACION		MOLDE N° 01 (55 Golpes)		MOLDE N° 02 (26 Golpes)		MOLDE N° 03 (12 Golpes)	
(mm)	(pulgadas)	CARGA (N)	CARGA (Kg)	CARGA (N)	CARGA (Kg)	CARGA (N)	CARGA (Kg)
0.0	0.00	0.0	0	0.0	0	0.0	0
0.5	0.02	161.6	16	113.1	12	80.8	8
1.0	0.04	434.3	44	304.0	31	217.2	22
1.5	0.06	888.9	91	622.2	63	444.4	45
2.0	0.08	1565.6	160	1095.9	112	782.8	80
2.5	0.10	2222.2	227	1555.5	159	1111.1	113
3.0	0.12	2888.8	294	2022.2	206	1444.4	147
3.5	0.14	3535.3	360	2474.7	252	1767.6	180
4.0	0.16	4191.9	427	2934.3	299	2095.9	214
4.5	0.18	4858.5	495	3401.0	347	2429.3	248
5.0	0.20	5424.2	553	3796.9	387	2712.1	276
7.5	0.30	7555.4	770	5288.8	539	3777.7	385
10.0	0.39	9060.5	924	6342.3	647	4530.2	462

ANEXO 14

NIVEL DE CONFIABILIDAD SEGÚN ESALS

Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa de diseño (10 ó 20 años) según rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T_{P0}	100,000	150,000	65%
	T _{P1}	150,001	300,000	70%
	T _{P2}	300,001	500,000	75%
	T _{P3}	500,001	750,000	80%
	T _{P4}	750,001	1,000,000	80%
Resto de Caminos	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	85%
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	85%
	T _{P7}	3,000,001	5,000,000	85%
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	90%
	T _{P9}	7,500,001	10'000,000	90%
	T _{P10}	10'000,001	12'500,000	90%
	T _{P11}	12'500,001	15'000,000	90%
	T _{P12}	15'000,001	20'000,000	95%
	T _{P13}	20'000,001	25'000,000	95%
	T _{P14}	25'000,001	30'000,000	95%
	T _{P15}	>30'000,000		95%

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93

ANEXO 15

TABLA PARA DETERMINAR EL VALOR DE DESVIACIÓN

Coefficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr)
Para una sola etapa de diseño (10 ó 20 años)
Según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T _{P0}	100,001	150,000	-0.385
	T _{P1}	150,001	300,000	-0.524
	T _{P2}	300,001	500,000	-0.674
	T _{P3}	500,001	750,000	-0.842
	T _{P4}	750,001	1,000,000	-0.842
Resto de Caminos	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	-1.036
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	-1.036
	T _{P7}	3,000,001	5,000,000	-1.036
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	-1.282
	T _{P9}	7,500,001	10'000,000	-1.282
	T _{P10}	10'000,001	12'500,000	-1.282
	T _{P11}	12'500,001	15'000,000	-1.282
	T _{P12}	15'000,001	20'000,000	-1.645
	T _{P13}	20'000,001	25'000,000	-1.645
	T _{P14}	25'000,001	30'000,000	-1.645
	T _{P15}	>30'000,000		-1.645

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2018.

ANEXO 16

TABLA PARA DETERMINAR EL VALOR DE SERVICIABILIDAD DE LA VIA

Índice de Serviabilidad Inicial (PI) Según Rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (PI)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T _{P1}	150,001	300,000	3.80
	T _{P2}	300,001	500,000	3.80
	T _{P3}	500,001	750,000	3.80
	T _{P4}	750 001	1,000,000	3.80
Resto de Caminos	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	4.00
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	4.00
	T _{P7}	3,000,001	5,000,000	4.00
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	4.00
	T _{P9}	7,500,001	10'000,000	4.00
	T _{P10}	10'000,001	12'500,000	4.00
	T _{P11}	12'500,001	15'000,000	4.00
	T _{P12}	15'000,001	20'000,000	4.20
	T _{P13}	20'000,001	25'000,000	4.20
	T _{P14}	25'000,001	30'000,000	4.20
	T _{P15}	>30'000,000		4.20

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2018.

ANEXO 17

TABLA PARA DETERMINAR EL MÓDULO RESILIENTE POR CORRELACIÓN CON EL CBR

CBR% SUBRASANTE	MÓDULO RESILIENTE SUBRASANTE (MR) (Psi)	MÓDULO RESILIENTE SUBRASANTE (MR) (MPa)	CBR% SUBRASANTE	MÓDULO RESILIENTE SUBRASANTE (MR) (Psi)	MÓDULO RESILIENTE SUBRASANTE (MR) (MPa)
6	8,043.00	55.45	19	16,819.00	115.96
7	8,877.00	61.20	20	17,380.00	119.83
8	9,669.00	66.67	21	17,931.00	123.63
9	10,426.00	71.88	22	18,473.00	127.37
10	11,153.00	76.90	23	19,006.00	131.04
11	11,854.00	81.73	24	19,531.00	134.66
12	12,533.00	86.41	25	20,048.00	138.23
13	13,192.00	90.96	26	20,558.00	141.74
14	13,833.00	95.38	27	21,060.00	145.20
15	14,457.00	99.68	28	21,556.00	148.62
16	15,067.00	103.88	29	22,046.00	152.00
17	15,663.00	107.99	30	22,529.00	155.33
18	16,247.00	112.02			

Fuente: Elaboración propia, en base a la ecuación de correlación CBR – Mr, recomendada por el MEPDG (Mechanistic Empirical Pavement Design Guide)

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2018.

ANEXO 18

TABLA PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE CARPETA ASPÁLTICA

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2018.

ANEXO 19

TABLA PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE BASE

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2018.

ANEXO 20

TABLA PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE SUB - BASE

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2018.

ANEXO 21

METODOLOGÍA DE DISEÑO MECÁNICO EMPÍRICA – MPDEG

Fuente: AASHTO, 2008.

ANEXO 22

PROPUESTA DE DISEÑO DE CONSULTORA JNR VARIACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE DE SUELOS EN FUNCIÓN AL CBR

PROPUESTA CONSULTORA JNR					Estabilización de suelo con over 4"-6"	
Progresivas Críticas	Clasificación		Datos Sin estabilizar		Datos Estabilizados	
	SUCS	AASHTO	CBR (%) 95% MDS	Mr(psi)	CBR (%) 95% MDS	Mr(psi)
0+000	CH	A-7-6 (20)	2.9	4350.00	15.33	14657.57
2+000	CH	A-7-6 (20)	2.8	4200.00	15.33	14657.57
3+760	CH	A-7-6 (20)	5.8	8700.00	15.33	14657.57
4+000	CL	A-6(11)	5.8	8700.00	15.33	14657.57
4+550	CH	A-7-6 (20)	5.8	8700.00	15.33	14657.57
4+650	CH	A-7-6 (20)	5.8	8700.00	15.33	14657.57
4+720	CH	A-7-6 (20)	5.8	8700.00	15.33	14657.57
6+000	CL	A-7-6 (20)	4.52	6780.00	15.33	14657.57
7+670	CH	A-7-6 (20)	5.4	8100.00	15.33	14657.57
8+000	CL	A-6 (12)	5.4	8100.00	15.33	14657.57
8+520	CH	A-7-6 (20)	5.4	8100.00	15.33	14657.57
10+390	CH	A-7-6 (20)	5.8	8700.00	15.33	14657.57
11+620	CH	A-7-6 (20)	5.8	8700.00	15.33	14657.57
11+690	CH	A-7-6 (20)	5.8	8700.00	15.33	14657.57
11+780	CH	A-7-6 (20)	5.8	8700.00	15.33	14657.57
12+000	CL	A-6 (4)	5.8	8700.00	15.33	14657.57
Promedio			5.28	7914.38	15.33	14657.57

Nota: En la tabla se indican valores de Módulo resiliente en función del CBR de subrasante no estabilizada y estabilizada con material de over 2-4". Elaboración Propia, 2020.

ANEXO 23

PROPUESTA DE DISEÑO DE TESIS DE INVESTIGACIÓN VARIACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE DE SUELOS EN FUNCIÓN AL CBR

Progresivas Críticas	Clasificación		Datos Sin estabilizar	
	SUCS	AASHTO	CBR (%) 95% MDS	Mr(psi)
8+000	CL	A-6 (12)	5.4	7518
8+520	CH	A-7-6 (20)	3.4	5592
10+390	CH	A-7-6 (20)	2.8	4938
11+620	CH	A-7-6 (20)	2.3	4354
11+690	CH	A-7-6 (20)	3.6	5800
11+780	CH	A-7-6 (20)	5.8	7870
12+000	CL	A-6 (4)	5.8	7870
Promedio			4.3	6480

Nota: En la tabla se indican valores de Módulo resiliente en función del CBR de subrasante no estabilizada y estabilizada con material de polvo de residuos electrónicos. Elaboración Propia, 2020.

ANEXO 24

CONFIABILIDAD DE LA VÍA EN FUNCIÓN DEL TRÁFICO IMPUESTO

CATEGORÍA	RANGO DE L TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EJES EQUIVALENTES		TIPO DE TRÁFICO EXPRESADO EN EE	R%	
BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO	150,001	300,000	TP1	70.00	
	300,001	500,000	TP2	75.00	
	500,001	750,000	TP3	80.00	
	750,001	1,000,000	TP4	80.00	
ALTO VOLUMEN DE TRÁFICO	1,000,001	1,500,000	TP5	85.00	
	1,500,001	3,000,000	TP6	85.00	Tr= 10 años
	3,000,001	5,000,000	TP7	85.00	
	5,000,001	7,500,000	TP8	90.00	Tr= 20 años
	7,500,001	10,000,000	TP9	90.00	
	10,000,001	12,500,000	TP10	90.00	
	12,500,001	15,000,000	TP11	90.00	
	15,000,001	20,000,000	TP12	95.00	
	20,000,001	25,000,000	TP13	95.00	
	25,000,001	30,000,000	TP14	95.00	
	> 30,000,000		TP15	95.00	

Nota: En la tabla se indican valores de confiabilidad de diseño en función de Ejes equivalentes. Adaptado de MTC, Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. (2014).

ANEXO 25

DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y ERROR DE COMBINACIÓN ESTÁNDAR

DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL Y ERROR DE COMBINACIÓN ESTÁNDAR			
CONFIABILIDAD R (%)	(ZR)	(S0)	
50	0	0.35	
60	-0.253	0.35	
70	-0.524	0.34	
75	-0.647	0.34	
80	-0.841	0.32	
85	-1.037	0.32	Tr= 10 años
90	-1.282	0.31	Tr= 20 años

Nota: En la tabla se indican valores de desviación estándar en función del valor de confiabilidad. Adaptado de MTC, Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. (2014).

ANEXO 26

COEFICIENTES DE DRENAJE EN FUNCIÓN AL PORCENTAJE DE EXPOSICIÓN DE LA VÍA

Calidad de Drenaje	Porcentaje de tiempo anual en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles cercanos a saturación							
	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta
	0%	1%	1%	5%	5%	25%	25%	Más
Excelente	1.4	1.35	1.35	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2
Bueno	1.35	1.25	1.25	1.15	1.15	1	1	1
Regular	1.25	1.15	1.15	1.05	1	0.8	0.8	0.8
Pobre	1.15	1.05	1.05	0.8	0.8	0.6	0.6	0.6
Malo	1.05	0.95	0.95	0.75	0.75	0.4	0.4	0.4

Nota: En la tabla se indican valores de coeficientes de drenaje para condiciones de saturación entre 5% y 25% expuestas de la vía. Adaptado de Diseño Mecánico Empírico- AASHTO (2008).

ANEXO 27

CONSIDERACIONES DE ESPESORES MÍNIMOS

Tráfico, ESAL'S	Carpeta asfáltica (pul)	Base granular (pul)
menos de 50.000	1,0 (o tratamiento superficial)	4
50.000 - 150.000	2	4
150.001-500.000	2,5	4
500.001-2.000.000	3	6
2.000.001-7.000.000	3,5	6
más de 7.000.000	4	6

Nota: En la tabla se indican valores de espesores en pulgadas para cada capa del pavimento. Adaptado de Diseño Empírico- AASHTO (1993)

ANEXO 28
CÁLCULO DE ESPESORES D1, D2 Y D3 PARA DISEÑO DE PAVIMENTO
TR= 10 AÑOS

- **Cálculo del espesor de Carpeta asfáltica**

$$D1 = \frac{SN1}{a1}$$

$$D1 = \frac{3.91}{0.44} = 8.89 \text{ cm} = 9 \text{ cm} = 3.54 \text{ pulgadas}$$

$$SN1 = a1 * D1 = 0.44 * 3.54 = 1.49$$

- **Cálculo del espesor de la Base**

$$D2 = \frac{SN2 - SN1}{a2 * m2}$$

$$D2 = \frac{3.64 - 1.54}{0.14 * 1} = 15 \text{ cm} = 5.91 \text{ pulgadas}$$

$$SN2 = D2 * a2 * m2 = 5.91 * 0.14 * 1 = 0.76$$

- **Cálculo del espesor de la Sub base**

$$D3 = \frac{SN3 - SN2}{a3 * m3}$$

$$D3 = \frac{3.75 - 2.1}{0.11 * 1} = 15 \text{ cm} = 5.91 \text{ pulgadas}$$

$$SN3 = D3 * a3 * m3 = 5.91 * 0.11 * 1 = 0.34$$

$$SN = SN1 + SN2 + SN3 = 1.56 + 0.82 + 0.4 = 3.02$$

ANEXO 29
CÁLCULO DE ESPESORES D1, D2 Y D3 PARA DISEÑO DE PAVIMENTO
TR=20 AÑOS

- **Cálculo del espesor de Carpeta asfáltica**

$$D1 = \frac{SN1}{a1}$$

$$D1 = \frac{4.84}{0.44} = 11 \text{ cm} = 4.33 \text{ pulgadas}$$

$$SN1 = a1 * D1 = 0.44 * 11 = 4.84$$

- **Cálculo del espesor de la Base**

$$D2 = \frac{SN2 - SN1}{a2 * m2}$$

$$D2 = \frac{3.64 - 1.54}{0.14 * 1} = 15 \text{ cm} = 5.91 \text{ pulgadas}$$

$$SN2 = D2 * a2 * m2 = 5.91 * 0.14 * 1 = 0.83$$

- **Cálculo del espesor de la Sub base**

$$D3 = \frac{SN3 - SN2}{a3 * m3}$$

$$D3 = \frac{3.75 - 2.1}{0.11 * 1} = 15 \text{ cm} = 5.91 \text{ pulgadas}$$

$$SN3 = D3 * a3 * m3 = 5.91 * 0.11 * 1 = 0.65$$

$$SN = S1 + S2 + S3 = 4.84 + 0.83 + 0.65 = 6.32$$

ANEXO 30

CATÁLOGO DE NÚMEROS ESTRUCTURALES POR TIPO DE TRÁFICO Y SUBRASANTE DE PAVIMENTO FLEXIBLE

(Período de diseño 20 años)

CATALOGO DE NÚMEROS ESTRUCTURALES (SN) ADOPTADOS POR TIPO DE TRAFICO Y DE SUBRASANTE - Periodo de Diseño 20 años						
Carpeta Asfáltica en Caliente + Base Tratada con Asfalto + Sub Base Granular						
TIPO DE SUBRASANTE CLASE TRANSITO	Inadecuada CBR < 3% (*)	Pobre 3% ≤ CBR < 6% (*)	Regular 6% ≤ CBR < 10%	Buena 10% ≤ CBR < 20%	Muy Buena 20% ≤ CBR < 30%	Excelente CBR ≥ 30%
Tp0 75,000 < Rep. EE ≤ 150,000			2.170	1.950	1.950	1.950
Tp1 150,000 < Rep. EE ≤ 300,000			2.670	2.230	2.120	2.120
Tp2 300,000 < Rep. EE ≤ 500,000			2.780	2.450	2.120	2.120
Tp3 500,000 < Rep. EE ≤ 750,000			3.060	2.620	2.290	2.290
Tp4 750,000 < Rep. EE ≤ 1'000,000			3.230	2.790	2.460	2.460
Tp5 1'000,000 < Rep. EE ≤ 1'500,000			3.560	3.120	3.010	3.010
Tp6 1'500,000 < Rep. EE ≤ 3'000,000			3.730	3.400	3.180	3.180
Tp7 3'000,000 < Rep. EE ≤ 5'000,000			4.280	3.900	3.350	3.350
Tp8 5'000,000 < Rep. EE ≤ 7'500,000			4.730	4.180	3.520	3.520
Tp9 7'500,000 < Rep. EE ≤ 10'000,000			4.900	4.350	3.690	3.690
Tp10 10'000,000 < Rep. EE ≤ 12'500,000			5.180	4.630	3.970	3.860
Tp11 12'500,000 < Rep. EE ≤ 15'000,000			5.350	4.800	4.140	4.030
Tp12 15'000,000 < Rep. EE ≤ 20'000,000			5.520	4.970	4.310	4.200
Tp13 20'000,000 < Rep. EE ≤ 25'000,000			6.020	5.470	4.590	4.370
Tp14 25'000,000 < Rep. EE ≤ 30'000,000			6.190	5.640	4.760	4.540

(*) Previa a la colocación de la estructura del pavimento, se requiere Estabilización de Suelos, que será materia de Estudio Especial.

- Con el Suelo Estabilizado la Estructura del Pavimento a Colocar, Corresponderá a la de un Suelo Regular (CBR≥6% a CBR<10%)

ANEXO 31 **ABÁCO PARA HALLAR EL NÚMERO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE**

ANEXO 32
CÁLCULOS PARA PRESUPUESTO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
FLEXIBLE (TR= 10 AÑOS)

PRESUPUESTO CAPAS DE PAVIMENTO – MATERIALES

PROPUESTA DE DISEÑO CONSULTORA

Capa	Espesor (cm)	Área (m2)	Vol (m3)	PU (S/.)	Subtotal
Carpeta asfáltica en caliente (MAC) e=3.5"	9.00	105792.30	5289.62	316.77	1,675,592.93
Imprimación asfáltica		105792.30		1.48	156,572.60
Base granular	17.50	105792.30	19726.90	115.52	2,278,851.49
Sub base	20.00	105792.30	14027.98	69.90	980,555.68
				TOTAL (S/.)	5,091,572.70

PROPUESTA DE DISEÑO TESIS

Capa	Espesor (cm)	Área (m2)	Vol (m3)	PU (S/.)	Subtotal
Carpeta asfáltica en caliente (MAC) e=3.5"	9.00	105792.30	5289.62	316.77	1,675,592.93
Imprimación asfáltica		105792.30		1.48	156,572.60
Base granular	15.00	105792.30	15781.52	115.52	1,823,081.19
Sub base	15.00	105792.30	10521.01	69.90	735,418.60
				TOTAL (S/.)	4,390,665.32

Diferencia Propuestas Estructura del pavimento (S/.)	700,907.38
---	-------------------

Nota: En la tabla se indica el presupuesto de la estructura de pavimento (Tr= 10 años) para propuestas de diseño de consultoría y tesis de investigación. Elaboración Propia, 2020.

ANEXO 33

CÁLCULOS PARA PRESUPUESTO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE (TR= 20 AÑOS)

PRESUPUESTO CAPAS DE PAVIMENTO – MATERIALES

PROPUESTA DE DISEÑO CONSULTORA

Capa	Espesor (cm)	Área (m2)	Vol (m3)	PU (S/.)	Subtotal
Carpeta asfáltica en caliente (MAC) e=5"	11.00	105792.30	6347.54	316.77	2,010,711.51
Imprimación asfáltica		105792.30		1.48	156,572.60
Base granular	17.50	105792.30	19726.90	115.52	2,278,851.49
Sub base	20.00	105792.30	14027.98	69.90	980,555.68
				TOTAL (S/.)	5,426,691.29

PROPUESTA DE DISEÑO TESIS

Capa	Espesor (cm)	Área (m2)	Vol (m3)	PU (S/.)	Subtotal
Carpeta asfáltica en caliente (MAC) e=5"	11.00	105792.30	6347.54	316.77	2,010,711.51
Imprimación asfáltica		105792.30		1.48	156,572.60
Base granular	15.00	105792.30	15781.52	115.52	1,823,081.19
Sub base	15.00	105792.30	10521.01	69.90	735,418.60
				TOTAL (S/.)	4,725,783.91

Diferencia Propuestas Estructura del pavimento	700,907.38
---	-------------------

Nota: En la tabla se indica el presupuesto de la estructura de pavimento (Tr= 20 años) para propuestas de diseño de consultoría y tesis de investigación. Elaboración Propia, 2020.

ANEXO 34

CÁLCULOS PARA PRESUPUESTO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO

(TR= 10 y 20 AÑOS)

PRESUPUESTO ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON OVER 4-6"					
Actividad	Espesor (cm)	Área (m2)	Vol (m3)	PU (S/.)	Subtotal
Excavación de material arcilloso	0.80	105792.30	51120.00	3.55	181,476.00
Eliminación de excedentes	0.80	105792.30	51120.00	15.38	786,225.60
Perfilado y compactación de subrasante	0.80	105792.30	51120.00	2.23	113,997.60
Conformación de subrasante con over	0.80	105792.30	51120.00	51.72	2,643,926.40
TOTAL (S/.)					3,725,625.60

Nota: En la tabla se indica el presupuesto para propuesta de estabilización con over. Elaboración Propia, 2020.

PRESUPUESTO ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON POLVO DE RESIDUOS ELECTRÓNICO					
Actividad	Espesor (cm)	Área (m2)	Vol (m3)	PU (S/.)	Subtotal
Perfilado y compactación de subrasante	0.20	105792.30	38703.40	2.23	86,308.58
Conformación de subrasante con polvo de residuos electrónicos	0.20	105792.30	38703.40	77.40	2,995,643.16
TOTAL (S/.)					3,081,951.74

Diferencia Propuestas Estabilización	643,673.86
---	-------------------

Nota: En la tabla se indica el presupuesto para propuesta de estabilización con polvo de residuos electrónicos. Elaboración Propia, 2020.

ANEXO 35

CÁLCULOS PARA PRESUPUESTO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE ESTABILIZADO (TR= 10 y 20 AÑOS)

PROPUESTAS ECONÓMICAS TR= 10 AÑOS

PROPUESTA DE DISEÑO JNR	
DESCRIPCIÓN	(S/.)
Estructura Pavimento: Carpeta Asfáltica 9 cm, Base 17.5 cm, Sub base 20 cm	5,091,572.70
Estabilización de subrasante con Over 4-6"	3,725,625.60
PRESUPUESTO TOTAL ESTRUCTURA DE PAVIMENTO + ESTABILIZACIÓN	8,817,198.30

PROPUESTA DE DISEÑO TESIS	
DESCRIPCIÓN	(S/.)
Estructura Pavimento: Carpeta Asfáltica 9 cm, Base 17.5 cm, Sub base 20 cm	5,091,572.70
Estabilización con Polvo de Fibra de vidrio reciclado	3,081,951.74
PRESUPUESTO TOTAL ESTRUCTURA DE PAVIMENTO + ESTABILIZACIÓN	7,472,617.06

DIFERENCIA DE PRESUPUESTOS	1,344,581.24
-----------------------------------	---------------------

ANEXO 36

VARIACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE (MR) DE ACUERDO CON EL PORCENTAJE DE CBR DE SUELO DE SUBRASANTE

Indicador	CBR (%)	Mr(psi)
Expediente técnico	5.4	7518
Subrasante pobre	6	8043
	7	8877
	8	9669
	9	10426
Subrasante buena	10	11153
	11	11854
	12	12533
	13	13192
	14	13833
	15	14457
	15.33	14657
	15.8	14946
	16	15067
	17	15663
	18	16247
	19	16819
	19.4	17044
	20	17380
Subrasante muy buena	21	17931
	22	18473
	22.5	18741
	23	19006
	24	19531
	25	20048
	26	20558
	27	21060
	28	21556
	29	22046
Subrasante excelente	30	22529

Propuesta Tesis

Nota: En la tabla se indica el valor de Módulo resiliente en función del CBR por tipo de subrasante

ANEXO 37

PROPUESTA ECONÓMICA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR KILOMETRO (TR= 10 AÑOS)

PROPUESTA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE - JNR		
Capa	Espesor	Costo (\$/.) km
Carpeta asfáltica en caliente (MAC) e=3.5"	9.00	117,999.50
Imprimación asfáltica		11,026.24
Base granular	17.50	160,482.50
Sub base	20.00	69,053.22
COSTO TOTAL ESTRUCTURA PAVIMENTO POR KM (\$/)		358,561.46

Nota: En la tabla se indica el presupuesto para propuesta de consultora de pavimento flexible. Elaboración Propia, 2020.

PROPUESTA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE- TESIS		
Capa	Espesor	Costo (\$/.) km
Carpeta asfáltica en caliente (MAC) e=3.5"	9.00	117,999.50
Imprimación asfáltica		11,026.24
Base granular	15.00	128,386.00
Sub base	15.00	51,790.04
COSTO TOTAL ESTRUCTURA PAVIMENTO POR KM (\$/)		309,201.78

Diferencia de propuestas Estructura de pavimento flexible (\$/)	49,359.67
---	-----------

ANEXO 38

PROPUESTA ECONÓMICA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR KILOMETRO (TR= 20 AÑOS)

PROPUESTA DISEÑO DE PAVIMENTO CONSULTORA JNR		
Capa	Espesor	Costo (S/.) km
Carpeta asfáltica en caliente (MAC) e=3.5"	11.00	141,599.40
Imprimación asfáltica		11,026.24
Base granular	17.50	160,482.50
Sub base	20.00	69,053.22
COSTO TOTAL ESTRUCTURA DE PAVIMENTO (S/.)		382,161.36

Nota: En la tabla se indica el presupuesto para propuesta por JNR para pavimento flexible. Elaboración Propia, 2020.

PROPUESTA DISEÑO DE PAVIMENTO TESIS		
Capa	Espesor	Costo (S/.) km
Carpeta asfáltica en caliente (MAC) e=3.5"	11.00	141,599.40
Imprimación asfáltica		11,026.24
Base granular	15.00	128,386.00
Sub base	15.00	51,790.04
COSTO TOTAL ESTRUCTURA DE PAVIMENTO (S/.)		332,801.68

Nota: En la tabla se indica el presupuesto para propuesta de tesis de investigación para pavimento flexible. Elaboración Propia, 2020.

Diferencia de propuestas Estructura de pavimento flexible (S/)	49,359.67
---	------------------

ANEXO 39

PROPUESTA ECONÓMICA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR KILOMETRO

PROPUESTA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE DE PAVIMENTO FLEXIBLE - JNR		
Capa	Altura	Costo (S/.) km
Excavación de material arcilloso	0.80	12,780.00
Eliminación de excedentes		55,368.00
Perfilado y compactación de subrasante	0.80	8,028.00
Conformación de subrasante con over	0.80	186,192.00
COSTO TOTAL ESTRUCTURA PAVIMENTO POR KM (S/)		262,368.00

Nota: En la tabla se indica el presupuesto para propuesta de consultora para pavimento flexible. Elaboración Propia, 2020.

PROPUESTA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE DE PAVIMENTO FLEXIBLE - TESIS		
Capa	Espesor	Costo (S/.) km
Perfilado y compactación de subrasante	0.20	6,078.07
Conformación de subrasante con polvo de residuos electrónicos	0.20	205,181.04
COSTO TOTAL ESTRUCTURA PAVIMENTO POR KM (S/)		211,259.11

Diferencia de propuestas Estructura de pavimento flexible (S/)	51,108.89
--	-----------

Nota: En la tabla se indica el presupuesto para propuesta de tesis de investigación para pavimento flexible. Elaboración Propia, 2020.

ANEXO 40
ESTUDIO DE EXPLORACIÓN DE SUELOS EN LA ZONA EN ESTUDIO

ANEXO 41

RESULTADOS DE ANALISIS GRANOLUMÉTRICO A MUESTRAS NATURALES DE SUELO

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO: "TRAMO I (0+000 KM -14+200 KM) DE LA CARRETERA RODRIGUEZ DE MENDOZA"

FECHA: ENERO DEL 2021

RESUMEN CBR DE CALICATAS																	
CALICATA N°	CALICATA		MUES-TRA	PROF.	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDIC. PLAST.	CLASIFICACION		Hume-dad Campo %	CBR A 01 PULG.			CBR A 02 PULG.			
	KM.	LADO						SUCS	AASTHO		MDS (gr/cm3)	OCH %	CBR AL 95%	CBR AL 100%	CBR AL 95%	CBR AL 100%	
C-1	0+000	DER.	M - 01	0 - 1.50	NP	NP	NP	GP-GC	A-1-a	1	9.16	2.070	10.000	13.270	21.090	14.530	24.430
C-2	0+250	DER.	M - 02	0 - 1.50	NP	NP	NP	SP	A-1-a	1	9.16	1.870	9.000	10.070	19.690	16.730	23.430
C-3	0+500	DER.	M - 03	0 - 1.50	NP	NP	NP	SP-SC	A-1-a	1	10.67	2.470	9.000	9.670	17.490	15.330	22.630
C-4	0+750	DER.	M - 04	0 - 1.50	NP	NP	NP	SP-SC	A-1-a	1	11.10	2.470	14.000	11.470	17.290	13.030	22.630
C-5	1+000	DER.	M - 05	0 - 1.50	NP	NP	NP	SP-SC	A-1-a	1	12.14	1.670	12.000	8.570	16.290	11.93	21.33
C-6	1+250	DER.	M - 06	0 - 1.50	NP	NP	NP	SP-SC	A-1-a	1	11.40	1.870	13.000	11.770	17.290	14.130	24.830
C-7	1+500	DER.	M - 07	0 - 1.50	40.62	17.55	23.08	CL-CL	A-7-6	15	11.47	2.170	11.000	4.970	8.790	6.030	9.130
C-8	1+750	DER.	M - 08	0 - 1.50	17.73	9.02	8.71	CL	A-4	1	7.48	2.470	13.000	3.770	7.990	4.130	9.230
C-9	2+000	DER.	M - 09	0 - 1.50	17.73	9.02	8.71	CL	A-4	1	8.24	2.470	15.000	5.570	8.590	6.230	10.430
C-10	2+250	DER.	M - 10	0 - 1.50	33.37	18.19	15.18	GC	A-6	3	8.87	2.170	11.000	10.870	18.090	15.530	25.330
C-11	2+500	DER.	M - 11	0 - 1.50	32.03	14.51	17.52	CL-CL	A-6	12	9.58	2.670	12.000	7.970	11.890	8.530	12.830
C-12	2+750	DER.	M - 12	0 - 1.50	37.00	14.21	22.79	CL-CL	A-6	12	8.66	1.770	11.000	6.170	8.590	8.230	12.330
C-13	3+000	DER.	M - 13	0 - 1.50	40.24	15.56	24.68	CL-CL	A-6	9	9.58	2.270	11.000	7.170	10.490	8.030	11.330
C-14	3+250	DER.	M - 14	0 - 1.50	39.45	12.51	26.94	CL-CL	A-6	11	10.09	2.570	10.000	6.070	8.190	7.630	11.930
C-15	3+500	DER.	M - 15	0 - 1.50	36.93	12.48	24.44	CL-CL	A-6	10	9.65	2.470	14.000	5.770	8.990	6.630	9.630
C-16	3+750	DER.	M - 16	0 - 1.50	36.93	12.48	24.44	CL-CL	A-6	9	10.09	1.770	12.000	4.070	7.290	5.030	8.930
C-17	4+000	DER.	M - 17	0 - 1.50	34.23	11.05	23.18	CL-CL	A-6	11	9.65	2.170	11.000	3.570	6.490	4.430	7.830
C-18	4+250	DER.	M - 18	0 - 1.50	37.12	7.67	29.45	SC	A-2-6	0	9.51	1.970	14.000	10.570	20.490	15.630	23.430
C-19	4+500	DER.	M - 19	0 - 1.50	37.00	19.93	17.07	GP-GC	A-2-6	0	5.26	2.270	13.000	10.870	20.290	14.830	25.130
C-20	4+750	DER.	M - 20	0 - 1.50	36.81	22.51	14.30	GP-GC	A-2-6	0	5.26	2.570	14.000	12.170	20.790	13.030	23.930
C-21	5+000	DER.	M - 21	0 - 1.50	37.14	17.39	19.76	SC	A-6	6	5.52	2.370	15.000	12.870	17.390	14.930	25.030
C-22	5+250	DER.	M - 22	0 - 1.50	26.31	11.88	14.43	CL	A-6	7	6.80	2.170	13.000	3.420	7.960	6.180	10.480
C-23	5+500	DER.	M - 23	0 - 1.50	28.09	12.66	15.43	CL	A-6	8	8.10	2.370	14.000	6.970	11.110	4.580	7.360
C-24	5+750	DER.	M - 24	0 - 1.50	28.09	12.66	15.43	CL	A-6	8	8.10	2.170	13.000	5.420	9.610	7.550	10.880
C-25	6+000	DER.	M - 25	0 - 1.50	21.61	18.75	2.85	CL	A-1-b	0	10.59	2.070	10.000	5.680	8.400	7.540	10.690
C-26	6+250	DER.	M - 26	0 - 1.50	21.61	18.75	2.85	CL	A-1-b	1	11.33	2.370	13.000	5.270	9.490	6.590	11.430

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO: "TRAMO I (0+000 KM - 14+200 KM) DE LA CARRETERA RODRIGUEZ DE MENDOZA"

FECHA: ENERO DEL 2021

RESUMEN CBR DE CALICATAS																	
CALICATA N°	CALICATA		MUES-TRA	PROF.	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDIC. PLAST.	CLASIFICACION		Hume-dad Campo %	CBR A 01 PULG.			CBR A 02 PULG.			
	KM.	LADO						SUCS	AASHTO		MDS (gr/cm3)	OCH %	CBR AL 95%	CBR AL 100%	CBR AL 95%	CBR AL 100%	
C-27	6+500	DER.	M - 27	0 - 1.50	21.61	18.75	2.85	CL	A-1-b	1	11.03	2.470	15.000	5.160	7.260	7.320	10.410
C-28	6+750	DER.	M - 28	0 - 1.50	21.61	18.75	2.85	CL	A-1-b	1	11.18	2.170	11.000	3.040	6.410	4.490	6.550
C-29	7+000	DER.	M - 29	0 - 1.50	44.84	12.61	32.23	CL-CL	A-7-6	16	11.25	2.070	12.000	6.420	9.190	5.160	10.030
C-30	7+250	DER.	M - 30	0 - 1.50	22.82	14.96	7.86	CL	A-6	2	10.37	2.070	11.000	3.730	7.770	6.580	8.940
C-31	7+500	DER.	M - 31	0 - 1.50	36.03	17.55	18.47	CL	A-7	3	10.59	1.870	11.000	6.000	10.300	5.560	10.420
C-32	7+750	DER.	M - 32	0 - 1.50	36.03	17.55	18.47	CL	A-8	3	10.74	1.870	11.000	3.180	5.990	4.340	9.070
C-33	8+000	DER.	M - 33	0 - 1.50	40.80	16.06	24.74	CL-CL	A-7-6	12	10.37	2.270	9.000	5.980	8.090	4.860	9.220
C-34	8+250	DER.	M - 34	0 - 1.50	36.03	17.55	18.47	CL	A-8	3	10.45	2.170	9.000	6.960	9.340	5.750	8.730
C-35	8+500	DER.	M - 35	0 - 1.50	56.00	17.00	39.00	CH	A-7-6	18	10.37	1.770	9.000	4.120	6.450	4.940	7.520
C-36	8+750	DER.	M - 36	0 - 1.50	46.00	14.00	32.00	CH	A-5	18	10.37	1.770	12.000	5.570	10.020	4.150	8.790
C-37	9+000	DER.	M - 37	0 - 1.50	44.00	13.00	31.00	SP-SC	A-1-a	1	10.37	2.270	13.000	12.070	21.090	16.830	23.730
C-38	9+250	DER.	M - 38	0 - 1.50	47.00	16.00	31.00	SP-SC	A-1-a	1	10.37	2.570	10.000	12.070	21.090	14.430	23.330
C-39	9+500	DER.	M - 39	0 - 1.50	54.00	19.00	35.00	SP-SC	A-2-6	0	10.37	2.470	14.000	12.570	20.290	14.930	24.430
C-40	9+750	DER.	M - 40	0 - 1.50	49.00	16.00	33.00	SP-SC	A-2-6	0	10.37	2.570	12.000	9.970	18.490	16.630	25.630
C-41	10+000	DER.	M - 41	0 - 1.50	44.00	16.00	28.00	SP-SC	A-1-a	1	10.37	1.770	13.000	13.070	17.290	15.930	23.130
C-42	10+250	DER.	M - 42	0 - 1.50	43.00	20.00	23.00	SP-SC	A-1-a	1	10.37	2.370	9.000	12.470	17.590	13.030	26.330
C-43	10+500	DER.	M - 43	0 - 1.50	49.00	18.00	31.00	SP-SC	A-2-6	0	10.37	2.270	15.000	10.770	20.290	13.830	22.830
C-44	10+750	DER.	M - 44	0 - 1.50	42.00	11.00	31.00	SP-SC	A-2-6	0	10.37	2.070	13.000	12.770	19.090	16.930	23.630
C-45	11+000	DER.	M - 45	0 - 1.50	45.00	12.00	33.00	SP-SC	A-1-a	20	10.37	2.370	10.000	13.470	19.190	15.630	23.430
C-46	11+250	DER.	M - 46	0 - 1.50	48.00	17.00	31.00	SP-SC	A-1-a	20	10.37	2.670	11.000	11.470	20.290	13.230	24.230
C-47	11+500	DER.	M - 47	0 - 1.50	22.82	14.96	7.86	GP-GC	A-1-a	20	10.37	2.670	11.000	10.470	19.790	13.430	23.630
C-48	11+750	DER.	M - 48	0 - 1.50	NP	NP	NP	GP-GC	A-1-a	1	9.16	2.070	10.000	13.270	21.090	14.530	24.430
C-49	12+000	DER.	M - 49	0 - 1.50	NP	NP	NP	SP	A-1-a	1	9.16	1.870	9.000	10.070	19.690	16.730	23.430
C-50	13+250	DER.	M - 50	0 - 1.50	NP	NP	NP	SP-SC	A-1-a	1	10.67	2.470	9.000	9.670	17.490	15.330	22.630
C-51	13+500	DER.	M - 51	0 - 1.50	NP	NP	NP	SP-SC	A-1-a	1	11.10	2.470	14.000	11.470	17.290	13.030	22.630
C-52	13+750	DER.	M - 52	0 - 1.50	NP	NP	NP	SP-SC	A-1-a	1	11.18	2.670	14.000	10.670	18.990	16.230	24.430
C-53	14+000	DER.	M - 53	0 - 1.50	37.00	19.93	17.07	SP-SC	A-2-6	0	11.40	2.270	12.000	11.870	20.790	15.330	23.930
C-54	14+250	DER.	M - 54	0 - 1.50	37.00	19.93	17.07	SP-SC	A-2-6	0	11.84	2.570	9.000	9.670	18.890	14.630	23.030

ANEXO 42

RESULTADOS DE ANALISIS DE LIMITES DE ATTEMBERG MUESTRAS NATURALES DE SUELO

EXPEDIENTE N° 097-2020-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE	: Cynthia Sthefani Alexandra Carhuapoma Najaro Jaime Belisario Tito Sánchez	PROYECTO	: Propuesta de mejora del comportamiento mecánico de Pavimentos Flexibles mediante la aplicación de polvo de fibra de vidrio reciclado sobre subrasante arcillosa aplicada al tramo I de la carretera Rodríguez de Mendoza
DIRECCIÓN	: Jr. Rebeca Oquendo 485, Dpto B1102, Breña.		
REFERENCIA	: Solicitud de Servicio N° 097-2020-JBO	UBICACIÓN	: Soritor, Moyobamba, San Martín
FECHA DE RECEPCIÓN	: Lima, 03 de Setiembre del 2020	FECHA DE INICIO	: Lima, 03 de Setiembre del 2020

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO MTC E 107 - 2016

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : C-01, M-01, muestra de verificación

PRESENTACIÓN : 02 Sacos de polipropileno.

CANTIDAD : 100 kg aprox.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS					
MALLAS		PESO RETENIDO (g)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASA (%)
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)				
3"	75.000				
2 1/2"	62.500				
2"	50.000				
1 1/2"	37.500				
1"	25.000				
3/4"	19.000				100.0
1/2"	12.500	112.1	3.7	3.7	96.3
3/8"	9.500	78.8	2.6	6.3	93.7
1/4"	6.250	90.9	3.0	9.3	90.7
N° 4	4.750	97.0	3.2	12.5	87.5
N° 6	3.350	112.1	3.7	16.2	83.8
N° 8	2.360	109.1	3.6	19.8	80.2
N° 10	2.000	51.5	1.7	21.5	78.5
N° 16	1.180	157.6	5.2	26.7	73.3
N° 20	0.850	94.0	3.1	29.8	70.2
N° 30	0.600	97.0	3.2	33.0	67.0
N° 40	0.425	78.8	2.6	35.6	64.4
N° 50	0.300	81.8	2.7	38.3	61.7
N° 80	0.177	109.1	3.6	41.9	58.1
N° 100	0.150	36.4	1.2	43.1	56.9
N° 200	0.075	90.9	3.0	46.1	53.9
N° 250	0.075	162.2	6.2	52.3	47.7

CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

Límite líquido	(%)	(MTC E 110 - 2016)	:	34.0
Límite plástico	(%)	(MTC E 111 - 2016)	:	23.0
Índice plástico	(%)	(MTC E 111 - 2016)	:	11.0
Clasificación SUCS		(ASTM D 2487-11)	:	CL
Clasif. para el uso en vías transporte		(ASTM D 3282-09)	:	A-6 (4)

Descripción de la muestra : Arcilla arenosa de baja plasticidad

Cont. de humedad (%) (MTC E 108 - 2016) : 16.5

OBSERVACIONES:

- Muestra tomada e identificada por el solicitante.
- Tamaño máximo: 12.5 mm.

CURVA GRANULOMÉTRICA

Referencia:

- NTP 339.128 / ASTM D 422 SUELOS: Método de ensayo para el análisis granulométrico
- NTP 339.129 / ASTM D 4318 SUELOS: Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos
- ASTM D 2487: Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)
- ASTM D 3282: Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes
- NTP 339.127 / ASTM D 2216 SUELOS: Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo
- NTP 339.132 / ASTM C 1140 SUELOS: Método de ensayo para determinar el material que pasa el tamiz No 200 (75 µm)

Equipos usados:

- Balanza: SCM LM-20062501 (25-06-20)
- Balanza: SCM LM-20062301 (23-06-20)
- Homo: SCM LT-20070701 (07-07-20)

Personal:

- Téc.: E.E.A.
- Rev.: M.M.F.

VF-003 (14-09-19)

Fecha de emisión : Lima, 05 de Setiembre del 2020

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante.

ANEXO 43

RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO MUESTRAS NATURALES DE SUELO

EXPEDIENTE N° 097-2020-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE	: Cynthia Sthefani Alexandra Carhuapoma Najarro Jaime Belisario Tito Sánchez	PROYECTO	: Propuesta de mejora del comportamiento mecánico de Pavimentos Flexibles mediante la aplicación de polvo de fibra de vidrio reciclado sobre subrasante arcillosa aplicada al tramo I de la carretera Rodríguez de Mendoza
DIRECCIÓN	: Jr. Rebeca Oquendo 485, Dpto B1102, Breña.	UBICACIÓN	: Soritor, Moyobamba, San Martín
REFERENCIA	: Solicitud de Servicio N° 097-2020-JBO	FECHA INICIO	: Lima, 03 de Setiembre del 2020
FECHA DE RECEPCIÓN	: Lima, 03 de Setiembre del 2020		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE SUELOS

MTC E 110 - 2016

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO (L.P.) DE LOS SUELOS E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (I.P.)

MTC E 111 - 2016

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : C-01, M-01, muestra de verificación	PRESENTACIÓN : 02 Sacos de polipropileno.
DESCRIPCIÓN : Arcilla arenosa de baja plasticidad	CANTIDAD : 100 kg aprox.

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
ENSAYO No.	1	2	3	4	1	2
CÁPSULA No.	T139	T130	T27	T111	T64	T76
PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO, g	30.64	29.98	29.53	29.98	24.24	21.87
PESO CÁPSULA + SUELO SECO, g	26.74	26.30	26.23	26.36	22.58	20.36
PESO AGUA, g	3.90	3.68	3.30	3.62	1.66	1.51
PESO DE LA CÁPSULA, g	15.72	15.54	16.42	15.53	15.89	14.37
PESO SUELO SECO, g	11.02	10.76	9.81	10.83	6.69	5.99
CONTENIDO DE HUMEDAD, %	35.39	34.20	33.64	33.43	24.81	25.21
NÚMERO DE GOLPES	18	23	27	30

RESULTADOS DE ENSAYOS	
LÍMITE LÍQUIDO (%)	34
LÍMITE PLÁSTICO (%)	25
ÍND. PLASTICIDAD (%)	9

OBSERVACIONES:

- Ensayo efectuado al material pasante la malla N° 40.
- Muestra tomada e identificada por el solicitante.

Referencia:

- NTP 339.129 / ASTM D 4318 SUELOS: Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos

Equipos usados:

- Balanza: SCM LM-20062301 (23-06-20)
- Horno: SCM LT-20070701 (07-07-20)

Personal:

- Téc. : E.E.A
- Rev. : M.M.F.

VF-003 (14-09-19)

Fecha de emisión: Lima, 05 de Setiembre del 2020

El uso de la información contenida en este documento es responsabilidad del solicitante.

ANEXO 44

RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO MUESTRAS NATURALES DE SUELO

EXPEDIENTE N° 097-2020-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE	: Cynthia Sthefani Alexandra Carhuapoma Najarro Jaime Belisario Tito Sánchez	PROYECTO	: Propuesta de mejora del comportamiento mecánico de Pavimentos Flexibles mediante la aplicación de polvo de fibra de vidrio reciclado sobre subrasante arcillosa aplicada al tramo I de la carretera Rodríguez de Mendoza
DIRECCIÓN	: Jr. Rebeca Oquendo 485, Dpto B1102, Breña.		
REFERENCIA	: Solicitud de Servicio N° 097-2020-JBO	UBICACIÓN	: Soritor, Moyobamba, San Martín
FECHA RECEPCIÓN	: Lima, 03 de septiembre del 2020	FECHA INICIO	: Lima, 03 de septiembre del 2020

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : C-01, M-01, muestra de verificación	PRESENTACIÓN : 02 Sacos de polipropileno
DOSIFICACIÓN : Suelo natural	
DESCRIPCIÓN : Arcilla arenosa de baja plasticidad	CANTIDAD : 80 kg. aprox.

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 - 2016)

Nº de Capas :	5	Altura de caída del pisón :	45.72 cm	Peso del pisón :	4.54 Kg	Volumen del Molde :	939 g/cm³		
Energía de Compactación Modificada :	27.4 kg-cm/cm²			Número de Golpes / capa : 25 Golpes					
Peso Suelo Humedo + Molde	(g)	3501	3621		3653		3582		
Peso del Molde	(g)	1750	1750		1750		1750		
Peso Suelo Humedo	(g)	1751	1871		1903		1832		
Volumen del Molde	(cm³)	939	939		939		939		
Densidad Suelo Humedo	(g/cm³)	1.865	1.993		2.027		1.951		
Tarro N°		27	377	433	191	58	462	72	196
Peso suelo humedo + tarro	(g)	479.0	458.5	450.6	378.0	305.5	390.9	338.0	419.0
Peso suelo seco + tarro	(g)	428.9	409.8	399.0	336.8	269.3	341.3	295.0	359.1
Peso del agua	(g)	50.1	48.7	51.6	41.2	36.2	49.6	43.0	59.9
Peso del tarro	(g)	75.8	64.7	80.6	80.6	70.3	70.2	83.3	64.0
Peso suelo seco	(g)	353.1	345.1	318.4	256.2	199.0	271.1	211.7	295.1
Contenido de Humedad	(%)	14.2	14.1	16.2	16.1	18.2	18.3	20.3	20.3
Promedio de Humedad	(%)	14.2		16.2		18.3		20.3	
Densidad del Suelo Seco	(g/cm³)	1.633		1.715		1.713		1.622

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA		
Serie Americana	Ret. Parc. (%)	Pasa (%)
2 1/2"		
2"		
3/4"		100
3/8"	6	94
N°4	6	88
<N°4	88	
MÉTODO		"A"
MDS	1.727 g/cm³	
OCH	17.2%	

OBSERVACIONES:

- Muestra tomada e identificada por el solicitante.

Referencia:

ASTM D 1557-02: Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort - 56000 ft-lb/ft³ (2700 kN-m/m³)

Téc.: E.E.A.

Rev.: M.M.F.

Fecha de Emisión : Lima, 05 de septiembre del 2020

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante

Equipos usados:

- Balanza: SCM LM-20062301 (23-06-20)
- Horno: SCM LT-20070701 (07-07-20)

ANEXO 45

RESULTADOS DE ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SUELO

EXPEDIENTE N° 097-2020-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE	: Cynthia Sthefani Alexandra Carhuapoma Najarro Jaime Belisario Tito Sánchez	PROYECTO	: Propuesta de mejora del comportamiento mecánico de Pavimentos Flexibles mediante la aplicación de polvo de fibra de vidrio reciclado sobre subrasante arcillosa aplicada al tramo I de la carretera Rodríguez de Mendoza
DIRECCIÓN	: Jr. Rebeca Oquendo 485, Dpto B1102, Breña.		
REFERENCIA	: Solicitud de Servicio N° 097-2020-JBO	UBICACIÓN	: Soritor, Moyobamba, San Martín
FECHA DE RECEPCIÓN	: Lima, 03 de septiembre del 2020	FECHA DE INICIO	: Lima, 03 de septiembre del 2020

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN	: C-01, M-01, muestra de verificación	PRESENTACIÓN	: 02 Sacos de polipropileno.
DESCRIPCIÓN	: Arcilla arenosa de baja plasticidad	CANTIDAD	: 100 kg aprox.

METODO DE ENSAYO ESTENDAR PARA LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS DE SUELO MEDIANTE PICNOMETRO DE AGUA MTC E 113 - 2016

DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
Peso material saturado y superficie seca (en aire) (g)	300.0
Peso fiola + H2O (g)	656.5
Peso fiola + H2O + material (g)	956.5
Peso fiola + H2O + material saturado y superficie seca (g)	837.8
Volumen sólidos + volumen de vacíos (cm3)	118.7
Peso material seco a 105 °C (g)	299.2
Volumen de sólidos (cm3)	117.9
Peso bulk base seca (g/cm3)	2.520

OBSERVACIONES:

- Muestra tomada e identificada por el solicitante.

Referencia:

- NTP 339.131 SUELOS. Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas de un suelo

Equipos usados:

- Balanza: SCM LM-20062301 (23-06-20)
- Homo: SCM LT-20070701 (07-07-20)
- Fiola (500 ml): SCM LV-20070703 (07-07-20)

Personal:

Téc. : E.E.A.
Rev. : M.M.F.

VF-002 (01-02-18)

Fecha de emisión : Lima, 05 de septiembre del 2020

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante.

ANEXO 46

INFORME DE ENSAYO DE CBR DE SUELO ARCILLOSO NATURAL

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : C-01, M-01, muestra de verificación
 DOSIFICACIÓN : Suelo natural
 DESCRIPCIÓN : Arcilla arenosa de baja plasticidad

PRESENTACIÓN : 02 Sacos de polipropileno.

CANTIDAD : 80 kg aprox.

PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 - 2016)									CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO (MTC E 132 - 2016)											
VOLUMEN DEL MOLDE :		539cm3		MÉTODO DE COMPACTACIÓN :		A		VOL. MOLDE : INDICADO		N° DE CAPAS : 5			CAP. DEL ANILLO : 4.5 Ton.		CERT. DE CALIBRACIÓN: - Prensa CBR: SCM LF-20070102 (01-07-20)					
N° DE MOLDE	S/N	S/N	S/N	S/N	N° DE MOLDE / CODIGO DE MOLDE	22 / 1MGB-18	10 / MPG-10	14 / MPG-12	N° MOLDE	(55 Golpes)			(26 Golpes)			(12 Golpes)				
N° GOLPES	25	25	25	25	N° DE GOLPES	55	26	12	PEN. (mm)	CARGA(N)	CARGA(kg)	CARGA(N)	CARGA(kg)	CARGA(N)	CARGA(kg)					
P. MOLDE + S. HÚMEDO (g)	3501.0	3621.0	3653.0	3582.0	VOLUMEN DE MOLDE (cm3)	2143.0	2174.0	2157.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					
PESO MOLDE (g)	1750.0	1750.0	1750.0	1750.0	P. MOLDE + S. HÚMEDO (g)	8576.8	8866.6	8457.9	0.5	94.1	10	65.9	7	47.1	5					
PESO SUELO HÚMEDO (g)	1751.0	1871.0	1903.0	1832.0	PESO MOLDE (g)	4240.5	4630.7	4309.1	1.0	235.4	24	164.8	17	117.7	12					
N° TARRO	27	377	433	191	58	462	72	196	PESO SUELO HÚMEDO (g)	4336.3	4235.9	4148.8	1.5	442.5	45					
P. TARRO + S. HÚMEDO (g)	479.0	458.5	450.6	378.0	305.5	390.9	338.0	419.0	N° TARRO	368	466	202	2.0	630.8	64					
P. TARRO + S. SECO (g)	428.9	409.8	399.0	336.8	269.3	341.3	295.0	359.1	P. TARRO + S. HÚMEDO (g)	333.8	307.3	482.1	2.5	837.9	85					
PESO DE AGUA (g)	50.1	48.7	51.6	41.2	36.2	49.6	43.0	59.9	P. TARRO + S. SECO (g)	297.7	273.0	421.8	3.0	1026.2	105					
PESO DE TARRO (g)	75.8	64.7	80.6	80.6	70.3	70.2	83.3	64.0	PESO DE AGUA (g)	36.1	34.3	60.3	3.5	1200.3	122					
PESO SUELO SECO (g)	353.1	345.1	318.4	256.2	199.0	271.1	211.7	295.1	PESO DE TARRO (g)	87.2	72.7	69.9	4.0	1369.8	140					
HUMEDAD (%)	14.2	14.1	16.2	16.1	18.2	18.3	20.3	20.3	PESO SUELO SECO (g)	210.5	200.3	351.9	4.5	1529.8	156					
HUMEDAD PROMEDIO (%)	14.2		16.1		18.2		20.3		CONTENIDO DE HUMEDAD (g)	17.20	17.00	17.10	5.0	1661.6	169					
DENSIDAD HÚMEDA (g/cm³)	1.865		1.993		2.027		1.951		DENSIDAD HÚMEDA (g/cm3)	2.023	1.948	1.923	7.5	2245.3	229					
DENSIDAD SECA (g/cm³)	1.634		1.716		1.714		1.622		DENSIDAD SECA (g/cm3)	1.729	1.665	1.642	10.0	2767.8	282					
ABSORCIÓN									EXPANSIÓN					RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS						
N° MOLDE	22 / 1MGB-18		10 / MPG-10		14 / MPG-12		FECHA	HORA	LEC. DIAL	LEC. DIAL	LEC. DIAL	MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)				1.727				
PESO SUELO HUM. + PLATO + MOLDE	12411		12252		11915		11-sep-20	12:30:00 a.m.	0.000'	0.000'	0.000'	ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				17.2				
PESO DEL PLATO + MOLDE	7830		7694		7391		12-sep-20					CBR A 2,5 mm DE PENETRACION AL 100% DE LA M.D.S. (%)				7.4				
PESO SUELO HUMEDO EMBEBIDO	4580		4558		4524		13-sep-20					CBR A 2,5 mm DE PENETRACION AL 95% DE LA M.D.S. (%)				3.7				
PESO SUELO HUMEDO SIN EMBEBER	4336		4236		4149		14-sep-20					SERIE AMERICANA		3/4"	3/8"	N° 4	N°200	Pasa N°200		
PESO DEL AGUA ABSORBIDA	244		322		376		15-sep-20	12:30:00 a.m.	0.153'	0.212'	0.248'	RETENIDO PARCIAL (%)		~	6	6	34	54		
PESO DEL SUELO SECO	3700		3620		3543		EXPANSIÓN (%)		3.30	4.50	5.30	LÍMITE LÍQUIDO		34	SUCS			CL		
ABSORCION DE AGUA	6.60		8.90		10.60							ÍNDICE DE PLASTICIDAD		11	AASHTO			A-6 (4)		

Referencia :

- ASTM D 1883: Standard test method for CBR (California Bearing Ratio) of laboratory-compacted soils
 - ASTM D 1557: Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort - 56000 ft-lbf/ft³ (2700 kN-m/m³).

Observaciones :

- Muestra tomada e identificada por el solicitante.
 - La muestra fue compactada, luego se saturó por 4 días y posteriormente se realizó el ensayo de penetración.

Equipos usados:

- Prensa CBR: SCM LF-20070102 (01-07-20)
 - Balanza: SCM LM-20062301 (23-06-20)
 - Horno: SCM LT-20070701 (07-07-20)

Personal:

- Téc.: E.E.A.
 - Rev.: M.M.F.

Fecha de Emisión : Lima, 17 de septiembre del 2020

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante.

ANEXO 47

RESULTADOS DE ENSAYO DE PROCTO MODIFICADO A MUESTRAS DE SUELO ARCILLOSO NATURAL

EXPEDIENTE N° 097-2020-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE	: Cynthia Sthefani Alexandra Carhuapoma Najarro Jaime Belisario Tito Sánchez	PROYECTO	: Propuesta de mejora del comportamiento mecánico de Pavimentos Flexibles mediante la aplicación de polvo de fibra de vidrio reciclado sobre subrasante arcillosa aplicada al tramo I de la carretera Rodríguez de Mendoza
DIRECCIÓN	: Jr. Rebeca Oquendo 485, Dpto B1102, Breña.	UBICACIÓN	: Soritor, Moyobamba, San Martín
REFERENCIA	: Solicitud de Servicio N° 097-2020-JBO	FECHA DE INICIO	: Lima, 03 de septiembre del 2020
FECHA DE RECEPCIÓN	: Lima, 03 de septiembre del 2020		

CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO (MTC E 132 - 2016)

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN	: C-01, M-01, muestra de verificación	PRESENTACIÓN	: 02 Sacos de polipropileno.
DOSIFICACIÓN	: Suelo natural		
DESCRIPCIÓN	: Arcilla arenosa de baja plasticidad	CANTIDAD	: 80 Kg aprox.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Granulometría de la Muestra (MTC E 107 - MTC E 202)

Serie Americana	Ret. Parcial (%)	Pasa (%)
2"	--	100
3/4"	--	100
3/8"	6	94
N°4	6	88
N°200	34	54
< N°200	54	

Límites de Atterberg (MTC E 110 - MTC E 111)

Límite Líquido	: 34.0 %
Índice Plástico	: 11.0 %

Clasificación de Suelos

SUCS (ASTM D-2487)	: CL
Vías Transporte (ASTM D-3282)	: A-6 (4)

CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPECÍMENES DE ENSAYO

Descripción		Especimen N° 1	Especimen N° 2	Especimen N° 3
Energía de Compactación	(kg-cm/cm ³)	27.4	12.2	6.1
Densidad Seca Antes del Remojo	(g/cm ³)	1.729	1.665	1.642
Humedad de Compactación	(%)	17.2	17.0	17.1
Humedad de Penetración	(%)	23.8	25.9	27.7
Absorción	(%)	6.6	8.9	10.6
Expansión	(%)	3.30	4.50	5.30
Tiempo de Embebido	(días)	4	4	4
Sobrecarga	(kg)	4.5	4.5	4.5

RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS

Proctor Modificado (MTC E 115 - 2016)

Método de Compactación	: A
Máxima Densidad Seca	(g/cm ³) : 1.727
Óptimo Contenido de Humedad	(%) : 17.2

C.B.R. a 2,5 mm de Penetración (MTC E 132 - 2016)

C.B.R. al 100 % de la M.D.S.	: 7.4 %
C.B.R. al 95 % de la M.D.S.	: 3.7 %

C.B.R. a 5,0 mm de Penetración (MTC E 132 - 2016)

C.B.R. al 100 % de la M.D.S.	: 8.7 %
C.B.R. al 95 % de la M.D.S.	: 4.2 %
Condiciones del Ensayo	: Embebido

OBSERVACIONES:

- Muestra tomada e identificada por el solicitante.
- La muestra fue compactada, luego se saturó por 4 días y posteriormente se realizó el ensayo de penetración.

REFERENCIA:

ASTM D 1883: Standard test method for CBR (California Bearing Ratio) of laboratory-compacted soils
ASTM D 1557: Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort - 56000 ft-lbf/ft³ (2700 kN-m/m³)

Equipos usados:

- Prensa CBR: SCM LF-20070102 (01-07-20)
- Balanza: SCM LM-20062301 (23-06-20)
- Horno: SCM LT-20070701 (07-07-20)

Personal

- Téc.: E.E.A.
- Rev.: M.M.F.

Fecha de Emisión: Lima, 17 de septiembre del 2020
El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante.

ANEXO 48

RESULTADOS DE ENSAYO DE PROCTO MODIFICADO A MUESTRAS DE SUELO ARCILLOSO CL ESTABILIZADO CON 6% DE POLVO DE POLVO

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : C-01, M-01, muestra de verificación PRESENTACIÓN : 02 Sacos de polipropileno
DOSIFICACIÓN : Suelo natural + 06% polvo de fibra de vidrio
DESCRIPCIÓN : Arcilla arenosa de baja plasticidad CANTIDAD : 80 kg. aprox.

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 - 2016)

Nº de Capas :	5	Altura de caída del pisón :	45.72 cm	Peso del pisón :	4.54 Kg	Volumen del Molde :	939 g/cm³
Energía de Compactación :	Modificada	27.4 kg-cm/cm³				Número de Golpes / capa :	25 Golpes
Peso Suelo Humedo + Molde (g)		3529		3649		3682	3612
Peso del Molde (g)		1750		1750		1750	1750
Peso Suelo Humedo (g)		1779		1899		1932	1862
Volumen del Molde (cm³)		939		939		939	939
Densidad Suelo Humedo (g/cm³)		1.895		2.022		2.058	1.983
Tarro N°		482	194	29	263	422	500
Peso suelo humedo + tarro (g)		354.4	452.0	426.1	499.3	452.0	333.2
Peso suelo seco + tarro (g)		320.8	406.9	376.7	441.0	394.5	292.5
Peso del agua (g)		33.6	45.1	49.4	58.3	57.5	40.7
Peso del tarro (g)		75.2	75.4	62.2	67.2	69.7	63.7
Peso suelo seco (g)		245.6	331.5	314.5	373.8	324.8	228.8
Contenido de Humedad (%)		13.7	13.6	15.7	15.6	17.7	17.8
Promedio de Humedad (%)			13.7		15.7		17.8
Densidad del Suelo Seco (g/cm³)		1.667		1.748		1.747	1.655

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA		
Serie Americana	Ret. Parc. (%)	Pasa (%)
2 1/2"		
2"		
3/4"		100
3/8"	6	94
N°4	6	88
<N°4	88	
MÉTODO		"A"
MDS		1.759 g/cm³
OCH		16.7%

OBSERVACIONES:

- Muestra tomada e identificada por el solicitante.
- A solicitud del cliente, a la muestra de suelo se le agregó fibras de polvo de vidrio en 6%, respecto del peso del suelo seco.

Referencia:

ASTM D 1557-02: Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort - 56000 ft-lbf/ft³ (2700 kN-m/m³)

Equipos usados:

- Balanza: SCM LM-20062301 (23-06-20)
- Horno: SCM LT-20070701 (07-07-20)

Téc.: E.E.A.

Rev.: M.M.F.

Fecha de Emisión : Lima, 05 de septiembre del 2020

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante

ANEXO 49

INFORME DE ENSAYO DE CBR DE SUELO ARCILLOSO CL ESTABILIZADO CON 6% DE POLVO DE POLVO

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : C-01, M-01, muestra de verificación
DOSIFICACIÓN : Suelo natural + 06% pqlvp de fibra de vidrio

PRESENTACIÓN : 02 Sacos de polipropileno.

PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 - 2016)									CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO (MTC E 132 - 2016)												
VOLUMEN DEL MOLDE :		939cm3		MÉTODO DE COMPACTACIÓN :			A		VOL. MOLDE : INDICADO			N° DE CAPAS : 5			CAP. DEL ANILLO : 4.5 Ton.		CERT. DE CALIBRACIÓN: - Prensa CBR: SCM LF-20070102 (01-07-20)				
N° DE MOLDE	S/N		S/N		S/N		S/N		N° DE MOLDE / CODIGO DE MOLDE	6 / MPG-07	7 / MCB-08	12 / MPG-11	N° MOLDE	(55 Golpes)		(26 Golpes)		(12 Golpes)			
N° GOLPES	25		25		25		25		N° DE GOLPES	55	26	12	PEN. (mm)	CARGA(N)	CARGA(kg)	CARGA(N)	CARGA(kg)	CARGA(N)	CARGA(kg)		
P. MOLDE + S. HÚMEDO (g)	3529.0		3649.0		3682.0		3612.0		VOLUMEN DE MOLDE (cm3)	2179.0	2154.0	2142.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
PESO MOLDE (g)	1750.0		1750.0		1750.0		1750.0		P. MOLDE + S. HÚMEDO (g)	9249.6	8374.8	8911.5	0.5	176.5	18	123.6	13	88.3	9		
PESO SUELO HÚMEDO (g)	1779.0		1899.0		1932.0		1862.0		PESO MOLDE (g)	4776.1	4118.3	4733.2	1.0	423.6	43	296.6	30	211.8	22		
N° TARRO	482	194	29	263	422	500	192	489	PESO SUELO HÚMEDO (g)	4473.5	4256.5	4178.3	1.5	699.0	71	489.3	50	349.5	36		
P. TARRO + S. HÚMEDO (g)	354.4	452.0	426.1	499.3	452.0	333.2	462.5	470.9	N° TARRO	68	18	489	2.0	1030.9	105	721.6	74	515.4	53		
P. TARRO + S. SECO (g)	320.8	406.9	376.7	441.0	394.5	292.5	398.7	404.9	P. TARRO + S. HÚMEDO (g)	444.0	355.3	485.6	2.5	1447.5	148	1013.2	103	723.7	74		
PESO DE AGUA (g)	33.6	45.1	49.4	58.3	57.5	40.7	63.8	66.0	P. TARRO + S. SECO (g)	391.9	316.9	428.4	3.0	1864.0	190	1304.8	133	932.0	95		
PESO DE TARRO (g)	75.2	75.4	62.2	67.2	69.7	63.7	76.4	71.5	PESO DE AGUA (g)	52.1	38.4	57.2	3.5	2245.3	229	1571.7	160	1122.7	114		
PESO SUELO SECO (g)	245.6	331.5	314.5	373.8	324.8	228.8	322.3	333.4	PESO DE TARRO (g)	80.2	87.4	86.0	4.0	2612.5	266	1828.7	186	1306.2	133		
HUMEDAD (%)	13.7	13.6	15.7	15.6	17.7	17.8	19.8	19.8	PESO SUELO SECO (g)	311.7	229.5	342.4	4.5	2979.7	304	2085.8	213	1489.8	152		
HUMEDAD PROMEDIO (%)	13.6		15.7		17.7		19.8		CONTENIDO DE HUMEDAD (g)	16.70	16.70	16.80	5.0	3304.4	337	2313.1	236	1652.2	168		
DENSIDAD HÚMEDA (g/cm³)	1.895		2.022		2.058		1.983		DENSIDAD HÚMEDA (g/cm3)	2.053	1.976	1.951	7.5	4730.7	482	3311.5	338	2365.4	241		
DENSIDAD SECA (g/cm³)	1.668		1.748		1.748		1.695		DENSIDAD SECA (g/cm3)	1.758	1.693	1.670	10.0	5931.1	605	4151.7	423	2965.5	302		
ABSORCIÓN									EXPANSIÓN					RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS							
N° MOLDE	6 / MPG-07			7 / MCB-08			12 / MPG-11			FECHA	HORA	LEC. DIAL	LEC. DIAL	LEC. DIAL	MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)					1.759	
PESO SUELO HUM. + PLATO + MOLDE	12764			11872			12273			11-sep-20	12:30:00 a.m.	0.000"	0.000"	0.000"	ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)					16.7	
PESO DEL PLATO + MOLDE	8118			7397			7762			12-sep-20					CBR A 2,5 mm DE PENETRACION AL 100% DE LA M.D.S. (%)					15.4	
PESO SUELO HUMEDO EMBEBIDO	4646			4475			4511			13-sep-20					CBR A 2,5 mm DE PENETRACION AL 95% DE LA M.D.S. (%)					7.7	
PESO SUELO HUMEDO SIN EMBEBER	4474			4257			4178			14-sep-20					SERIE AMERICANA		3/4"	3/8"	N° 4	N°200	Para N°200
PESO DEL AGUA ABSORBIDA	172			219			333			15-sep-20	12:30:00 a.m.	0.095"	0.201"	0.223"	RETENIDO PARCIAL (%)		--	6	6	34	54
PESO DEL SUELO SECO	3833			3647			3577			EXPANSIÓN (%)		2.00	4.30	4.80	LÍMITE LÍQUIDO		34	SUCS		CL	
ABSORCION DE AGUA	4.50			6.00			9.30								ÍNDICE DE PLASTICIDAD		11	AASHTO		A-6 (4)	

Referencia :

- ASTM D 1883: Standard test method for CBR (California Bearing Ratio) of laboratory-compacted soils
- ASTM D 1557: Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort - 56000 ft-lbf/ft³ (2700 kN-m/m³).

Observaciones :

- Muestra tomada e identificada por el solicitante.
- La muestra fue compactada, luego se saturó por 4 días y posteriormente se realizó el ensayo de penetración.
- A solicitud del cliente, a la muestra de suelo se le agregó fibras de polvo de vidrio en 6%, respecto del peso del suelo seco.

Equipos usados:

- Prensa CBR: SCM LF-20070102 (01-07-20)
- Balanza: SCM LM-20062301 (23-06-20)
- Horno: SCM LT-20070701 (07-07-20)

Personal:

- Téc.: E.E.A.
- Rev.: M.M.F.

RESULTADOS DE ENSAYO DE CBR DE SUELO ARCILLOSO CL ESTABILIZADO CON 6% DE POLVO DE POLVO FIBRA DE VIDRIO RECICLADO

EXPEDIENTE N° 097-2020-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE	: Cynthia Sthefani Alexandra Carhuapoma Najarro Jaime Belisario Tito Sánchez	PROYECTO	: Propuesta de mejora del comportamiento mecánico de Pavimentos Flexibles mediante la aplicación de polvo de fibra de vidrio reciclado sobre subrasante arcillosa aplicada al tramo I de la carretera Rodríguez de Mendoza
DIRECCIÓN	: Jr. Rebeca Oquendo 485, Dpto B1102, Breña.	UBICACIÓN	: Soritor, Moyobamba, San Martín
REFERENCIA	: Solicitud de Servicio N° 097-2020-JBO	FECHA DE INICIO	: Lima, 03 de septiembre del 2020
FECHA DE RECEPCIÓN	: Lima, 03 de septiembre del 2020		

CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO (MTC E 132 - 2016)

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN	: C-01, M-01, muestra de verificación	PRESENTACIÓN	: 02 Sacos de polipropileno.
DOSIFICACIÓN	: Suelo natural + 06% polvo de fibra de vidrio		
DESCRIPCIÓN	: Arcilla arenosa de baja plasticidad	CANTIDAD	: 80 Kg aprox.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Granulometría de la Muestra (MTC E 107 - MTC E 202)

Serie Americana	Ret. Parcial (%)	Pasa (%)
2"	-	100
3/4"	-	100
3/8"	6	94
N°4	6	88
N°200	34	54
< N°200	54	

Límites de Atterberg (MTC E 110 - MTC E 111)

Límite Líquido	: 34.0 %
Índice Plástico	: 11.0 %

Clasificación de Suelos

SUCS (ASTM D-2487)	: CL
Vías Transporte (ASTM D-3282)	: A-6 (4)

CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPECÍMENES DE ENSAYO

Descripción		Especimen N° 1	Especimen N° 2	Especimen N° 3
Energía de Compactación	(kg-cm/cm ³)	27.4	12.2	6.1
Densidad Seca Antes del Remojo	(g/cm ³)	1.758	1.693	1.670
Humedad de Compactación	(%)	16.7	16.7	16.8
Humedad de Penetración	(%)	21.2	22.7	26.1
Absorción	(%)	4.5	6.0	9.3
Expansión	(%)	2.00	4.30	4.80
Tiempo de Embebido	(días)	4	4	4
Sobrecarga	(kg)	4.5	4.5	4.5

RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS

Proctor Modificado (MTC E 115 - 2016)

Método de Compactación	: A
Máxima Densidad Seca	(g/cm ³) : 1.759
Óptimo Contenido de Humedad	(%) : 16.7

C.B.R. a 2,5 mm de Penetración (MTC E 132 - 2016)

C.B.R. al 100 % de la M.D.S.	: 15.4 %
C.B.R. al 95 % de la M.D.S.	: 7.7 %

C.B.R. a 5,0 mm de Penetración (MTC E 132 - 2016)

C.B.R. al 100 % de la M.D.S.	: 18.5 %
C.B.R. al 95 % de la M.D.S.	: 9.3 %
Condiciones del Ensayo	: Embebido

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN	: C-01, M-01, muestra de verificación	PRESENTACIÓN	: 02 Sacos de polipropileno
DOSIFICACIÓN	: Suelo natural + 08% polvo de fibra de vidrio		
DESCRIPCIÓN	: Arcilla arenosa de baja plasticidad	CANTIDAD	: 80 kg. aprox.

ANEXO 51

RESULTADOS DE ENSAYO DE CBR DE SUELO ARCILLOSO CL ESTABILIZADO CON 8% DE POLVO DE POLVO FIBRA DE VIDRIO RECICLADO

EXPEDIENTE N° 097-2020-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE	: Cynthia Sthefani Alexandra Carhuapoma Najarro Jaime Belisario Tito Sánchez	PROYECTO	: Propuesta de mejora del comportamiento mecánico de Pavimentos Flexibles mediante la aplicación de polvo de fibra de vidrio reciclado sobre subrasante arcillosa aplicada al tramo I de la carretera Rodríguez de Mendoza
DIRECCIÓN	: Jr. Rebeca Oquendo 485, Dpto B1102, Breña.	UBICACIÓN	: Soritor, Moyobamba, San Martín
REFERENCIA	: Solicitud de Servicio N° 097-2020-JBO	FECHA DE RECEPCIÓN	: Lima, 03 de septiembre del 2020
		FECHA DE INICIO	: Lima, 03 de septiembre del 2020

CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO (MTC E 132 - 2016)

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : C-01, M-01, muestra de verificación	PRESENTACIÓN : 02 Sacos de polipropileno.
DOSIFICACIÓN : Suelo natural + 06% polvo de fibra de vidrio	
DESCRIPCIÓN : Arcilla arenosa de baja plasticidad	CANTIDAD : 80 Kg aprox.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Granulometría de la Muestra (MTC E 107 - MTC E 202)

Serie Americana	Ret. Parcial (%)	Pasa (%)
2"	~	100
3/4"	~	100
3/8"	6	94
N°4	6	88
N°200	34	54
< N°200	54	

Límites de Atterberg (MTC E 110 - MTC E 111)

Límite Líquido	: 34.0 %
Índice Plástico	: 11.0 %

Clasificación de Suelos

SUCS (ASTM D-2487)	: CL
Vías Transporte (ASTM D-3282)	: A-6 (4)

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 - 2016)

Nº de Capas :	5	Altura de caída del pisón :	45.72 cm	Peso del pisón :	4.54 Kg	Volumen del Molde :	939 g/cm³			
Energía de Compactación	Modificada	:	27.4 kg-cm/cm²	Número de Golpes / capa : 25 Golpes						
Peso Suelo Humedo + Molde	(g)		3535		3656		3688		3619	
Peso del Molde	(g)		1750		1750		1750		1750	
Peso Suelo Humedo	(g)		1785		1906		1938		1869	
Volumen del Molde	(cm³)		939		939		939		939	
Densidad Suelo Humedo	(g/cm³)		1.901		2.030		2.064		1.990	
Tarro N°			138	261	55	354	164	64	110	12
Peso suelo humedo + tarro	(g)		484.9	434.7	345.1	481.3	385.6	333.1	334.6	484.5
Peso suelo seco + tarro	(g)		435.8	394.0	308.9	427.4	340.7	295.6	293.6	416.1
Peso del agua	(g)		49.1	40.7	36.2	53.9	44.9	37.5	41.0	68.4
Peso del tarro	(g)		67.0	85.6	72.6	72.9	81.1	80.3	82.0	63.6
Peso suelo seco	(g)		368.8	308.4	236.3	354.5	259.6	215.3	211.6	352.5
Contenido de Humedad	(%)		13.3	13.2	15.3	15.2	17.3	17.4	19.4	19.4
Promedio de Humedad	(%)		13.3		15.3		17.4		19.4	
Densidad del Suelo Seco	(g/cm³)		1.678		1.761		1.758		1.667	

ANEXO 52

INFORME DE ENSAYO DE CBR DE SUELO ARCILLOSO CL ESTABILIZADO CON 8% DE POLVO DE POLVO FIBRA DE VIDRIO RECICLADO

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : C-01, M-01, muestra de verificación
DOSIFICACIÓN : Suelo natural + 08% polvo de fibra de vidrio
DESCRIPCIÓN : Arcilla arenosa de baja plasticidad

PRESENTACIÓN : 02 Sacos de polipropileno.

CANTIDAD : 80 kg aprox.

PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 - 2016)								CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO (MTC E 132 - 2016)																			
VOLUMEN DEL MOLDE :		939cm3		MÉTODO DE COMPACTACIÓN :				A	VOL. MOLDE : INDICADO			Nº DE CAPAS : 5			CAP. DEL ANILLO : 4.5 Ton.		CERT. DE CALIBRACIÓN: - Prensa CBR: SCM LF-2007/0102 (01-07-20)										
Nº DE MOLDE		S/N		S/N		S/N		S/N	Nº DE MOLDE / CODIGO DE MOLDE		16 / MPG-14		3 / MPG-04		22 / 1MCB-18		Nº MOLDE		(55 Golpes)		(26 Golpes)		(12 Golpes)				
Nº GOLPES		25		25		25		25	Nº DE GOLPES		55		26		12		PEN. (mm)		CARGA(N)		CARGA(kg)		CARGA(N)		CARGA(kg)		
P. MOLDE + S. HÚMEDO (g)		3535.0		3666.0		3688.0		3619.0	VOLUMEN DE MOLDE (cm3)		2151.0		2122.0		2143.0		0.0		0.0		0.0		0.0		0.0		
PESO MOLDE (g)		1750.0		1750.0		1750.0		1750.0	P. MOLDE + S. HÚMEDO (g)		9187.8		8357.9		8430.2		0.5		284.9		29		199.4		20		
PESO SUELO HÚMEDO (g)		1785.0		1906.0		1938.0		1869.0	PESO MOLDE (g)		4756.2		4156.6		4240.5		1.0		553.5		56		387.4		40		
Nº TARRO		138		261		55		354	PESO SUELO HÚMEDO (g)		4431.6		4202.3		4189.7		1.5		862.8		88		604.0		62		
P. TARRO + S. HÚMEDO (g)		484.9		434.7		345.1		481.3	Nº TARRO		464		382		195		2.0		1220.9		125		854.6		87		
P. TARRO + S. SECO (g)		435.8		394.0		308.9		427.4	P. TARRO + S. HÚMEDO (g)		427.7		486.9		441.5		2.5		1717.4		175		1202.2		123		
PESO DE AGUA (g)		49.1		40.7		36.2		53.9	P. TARRO + S. SECO (g)		377.5		429.0		388.5		3.0		2222.1		227		1555.5		159		
PESO DE TARRO (g)		67.0		85.6		72.6		72.9	PESO DE AGUA (g)		50.2		57.9		53.0		3.5		2677.9		273		1874.5		191		
PESO SUELO SECO (g)		368.8		308.4		236.3		354.5	PESO DE TARRO (g)		69.2		73.0		62.5		4.0		3141.9		320		2199.3		224		
HUMEDAD (%)		13.3		13.2		15.3		15.2	PESO SUELO SECO (g)		308.3		356.0		326.0		4.5		3573.2		364		2501.3		255		
HUMEDAD PROMEDIO (%)		13.3		15.3		17.4		19.4	CONTENIDO DE HUMEDAD (g)		16.30		16.30		16.40		5.0		3988.4		407		2791.9		285		
DENSIDAD HÚMEDA (g/cm³)		1.901		2.030		2.064		1.990	DENSIDAD HÚMEDA (g/cm3)		2.060		1.980		1.955		7.5		5494.2		560		3845.9		392		
DENSIDAD SECA (g/cm³)		1.679		1.761		1.759		1.667	DENSIDAD SECA (g/cm3)		1.768		1.702		1.680		10.0		6967.4		710		4877.2		497		
ABSORCIÓN								EXPANSIÓN					RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS														
Nº MOLDE		16 / MPG-14		3 / MPG-04		22 / 1MCB-18		FECHA		HORA		LEC. DIAL		LEC. DIAL		LEC. DIAL		MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)					1.771				
PESO SUELO HUM. + PLATO + MOLDE		12383		11433		12283		11-sep-20		12:30:00 a.m.		0.000"		0.000"		0.000"		ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)					16.3				
PESO DEL PLATO + MOLDE		7799		7039		7830		12-sep-20										CBR A 2.5 mm de PENETRACIÓN AL 100% DE LA M.D.S. (%)					18.7				
PESO SUELO HUMEDO EMBEBIDO		4584		4394		4452		13-sep-20										CBR A 2.5 mm de PENETRACIÓN AL 95% DE LA M.D.S. (%)					9.4				
PESO SUELO HUMEDO SIN EMBEBER		4432		4202		4190		14-sep-20										SERIE AMERICANA		3/4"		3/8"		Nº 4		Nº200	
PESO DEL AGUA ABSORBIDA		152		192		263		15-sep-20		12:30:00 a.m.		0.084"		0.175"		0.214"		RETENIDO PARCIAL (%)		~		6		6		34	
PESO DEL SUELO SECO		3810		3613		3699		EXPANSIÓN (%)		1.80		3.80		4.60		LÍMITE LÍQUIDO		34		SUCS		CL					
ABSORCIÓN DE AGUA		4.00		5.30		7.30										ÍNDICE DE PLASTICIDAD		11		AASHTO		A-6 (4)					

INFORME DE ENSAYO DE CBR DE SUELO ARCILLOSO CL ESTABILIZADO CON 8% DE POLVO DE POLVO FIBRA DE VIDRIO RECICLADO

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA		
Serie Americana	Ret. Parc. (%)	Pasa (%)
2 1/2"		
2"		
3/4"		100
3/8"	6	94
Nº4	6	88
<Nº4	88	
METODO		"A"

MDS	1.771 g/cm³
OCH	16.3%

OBSERVACIONES :

- Muestra tomada e identificada por el solicitante.
- La muestra fue compactada, luego se saturó por 4 días y posteriormente se realizó el ensayo de penetración.
- A solicitud del cliente, a la muestra de suelo se le agregó fibras de polvo de vidrio en 6%, respecto del peso del suelo seco.

REFERENCIA :

- ASTM D 1883: Standard test method for CBR (California Bearing Ratio) of laboratory-compacted soils
- ASTM D 1557: Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort - 56000 ft-lbf/ft³ (2700 kN-m/m³)

Equipos usados:

- Prensa CBR: SCM LF-20070102 (01-07-20)
- Balanza: SCM LM-20062301 (23-06-20)
- Horno: SCM LT-20070701 (07-07-20)

Personal

- Téc.: E.E.A.
- Rev.: M.M.F.

Fecha de Emisión : Lima, 17 de septiembre del 2020

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante.

Referencia :

- ASTM D 1883: Standard test method for CBR (California Bearing Ratio) of laboratory-compacted soils
- ASTM D 1557: Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort - 56000 ft-lbf/ft³ (2700 kN-m/m³)

Observaciones :

- Muestra tomada e identificada por el solicitante.
- La muestra fue compactada, luego se saturó por 4 días y posteriormente se realizó el ensayo de penetración.
- A solicitud del cliente, a la muestra de suelo se le agregó fibras de polvo de vidrio en 8%, respecto del peso del suelo seco.

Equipos usados:

- Prensa CBR: SCM LF-20070102 (01-07-20)
- Balanza: SCM LM-20062301 (23-06-20)
- Horno: SCM LT-20070701 (07-07-20)

Personal:

- Téc.: E.E.A.
- Rev.: M.M.F.

Fecha de Emisión : Lima, 17 de septiembre del 2020

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante.

ANEXO 53

RESULTADOS DE ENSAYO DE CBR DE SUELO ARCILLOSO CL ESTABILIZADO CON 8% DE POLVO DE POLVO FIBRA DE VIDRIO RECICLADO

EXPEDIENTE N° 097-2020-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE	: Cynthia Sthefani Alexandra Carhuapoma Najarro Jaime Belisario Tito Sánchez	PROYECTO	: Propuesta de mejora del comportamiento mecánico de Pavimentos Flexibles mediante la aplicación de polvo de fibra de vidrio reciclado sobre subrasante arcillosa aplicada al tramo I de la carretera Rodríguez de Mendoza
DIRECCIÓN	: Jr. Rebeca Oquendo 485, Dpto B1102, Breña.	UBICACIÓN	: Soritor, Moyobamba, San Martín
REFERENCIA	: Solicitud de Servicio N° 097-2020-JBO	FECHA DE INICIO	: Lima, 03 de septiembre del 2020
FECHA DE RECEPCIÓN	: Lima, 03 de septiembre del 2020		

CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO (MTC E 132 - 2016)

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : C-01, M-01, muestra de verificación	PRESENTACIÓN : 02 Sacos de polipropileno.
DOSIFICACIÓN : Suelo natural + 08% polvo de fibra de vidrio	
DESCRIPCIÓN : Arcilla arenosa de baja plasticidad	CANTIDAD : 80 Kg aprox.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Granulometría de la Muestra (MTC E 107 - MTC E 202)

Serie Americana	Ret. Parcial (%)	Pasa (%)
2"	~	100
3/4"	~	100

Límites de Atterberg (MTC E 110 - MTC E 111)

Límite Líquido	: 34.0 %
Índice Plástico	: 11.0 %

CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPECÍMENES DE ENSAYO

Descripción		Especimen N° 1	Especimen N° 2	Especimen N° 3
Energía de Compactación	(kg-cm/cm ³)	27.4	12.2	6.1
Densidad Seca Antes del Remojo	(g/cm ³)	1.768	1.702	1.680
Humedad de Compactación	(%)	16.3	16.3	16.4
Humedad de Penetración	(%)	20.3	21.6	23.7
Absorción	(%)	4.0	5.3	7.3
Expansión	(%)	1.80	3.80	4.60
Tiempo de Embebido	(días)	4	4	4
Sobrecarga	(kg)	4.5	4.5	4.5

RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS

Proctor Modificado (MTC E 115 - 2016)

Método de Compactación	: A
Máxima Densidad Seca	(g/cm ³) : 1.771
Óptimo Contenido de Humedad	(%) : 16.3

C.B.R. a 2,5 mm de Penetración (MTC E 132 - 2016)

C.B.R. al 100 % de la M.D.S.	: 18.7 %
C.B.R. al 95 % de la M.D.S.	: 9.4 %

C.B.R. a 5,0 mm de Penetración (MTC E 132 - 2016)

C.B.R. al 100 % de la M.D.S.	: 22.7 %
C.B.R. al 95 % de la M.D.S.	: 11.8 %
Condiciones del Ensayo	: Embebido

ANEXO 54

RESULTADOS DE ENSAYO DE CBR DE SUELO ARCILLOSO CL ESTABILIZADO CON 10% DE POLVO DE POLVO FIBRA DE VIDRIO RECICLADO

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : C-01, M-01, muestra de verificación PRESENTACIÓN : 02 Sacos de polipropileno
DOSIFICACIÓN : Suelo natural + 10% polvo de fibra de vidrio
DESCRIPCIÓN : Arcilla arenosa de baja plasticidad CANTIDAD : 80 kg. aprox.

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 - 2016)

Nº de Capas :	5	Altura de caída del pisón :	45.72 cm	Peso del pisón :	4.54 Kg	Volumen del Molde :	939 g/cm³
Energía de Compactación Modificada :	27.4 kg-cm/cm²				Número de Golpes / capa : 25 Golpes		
Peso Suelo Humedo + Molde (g)	3535	3655	3688	3619			
Peso del Molde (g)	1750	1750	1750	1750			
Peso Suelo Humedo (g)	1785	1905	1938	1869			
Volumen del Molde (cm³)	939	939	939	939			
Densidad Suelo Humedo (g/cm³)	1.901	2.029	2.064	1.990			
Tarro N°	352	252	233	392	445	222	390
Peso suelo humedo + tarro (g)	376.9	424.9	450.2	366.9	448.9	476.9	433.6
Peso suelo seco + tarro (g)	343.8	385.6	404.3	330.8	393.7	421.1	375.6
Peso del agua (g)	33.1	39.3	45.9	36.1	55.2	55.8	58.0
Peso del tarro (g)	80.9	71.4	90.0	81.9	61.0	87.2	65.3
Peso suelo seco (g)	262.9	314.2	314.3	248.9	332.7	333.9	310.3
Contenido de Humedad (%)	12.6	12.5	14.6	14.5	16.6	16.7	18.7
Promedio de Humedad (%)	12.6		14.6		16.7		18.7
Densidad del Suelo Seco (g/cm³)	1.688	1.771	1.769	1.766

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA		
Serie Americana	Ret. Parc. (%)	Pasa (%)
2 1/2"		
2"		
3/4"		100
3/8"	6	94
N°4	6	88
<N°4	88	
MÉTODO		"A"
MDS	1.782 g/cm³	
OCH	15.6%	

OBSERVACIONES:

- Muestra tomada e identificada por el solicitante.
- A solicitud del cliente, a la muestra de suelo se le agregó fibras de polvo de vidrio en 10%, respecto del peso del suelo seco.

Referencia:

ASTM D 1557-02: Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort - 56000 ft-lbf/ft³ (2700 kN-m/m³)

Equipos usados:

- Balanza: SCM LM-20062301 (23-06-20)
- Horno: SCM LT-20070701 (07-07-20)

Téc.: E.E.A.

Rev.: M.M.F.

Fecha de Emisión : Lima, 05 de septiembre del 2020

INFORME DE ENSAYO DE CBR DE SUELO ARCILLOSO CL ESTABILIZADO CON 10% DE POLVO DE POLVO FIBRA DE VIDRIO RECICLADO

EXPEDIENTE N° 097-2020-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Cynthia Sthefani Alexandra Carhuapoma Najarro
Jaime Belisario Tito Sánchez

DIRECCIÓN : Jr. Rebeca Oquendo 485, Dpto B1102, Breña.

REFERENCIA : Solicitud de Servicio N° 097-2020-JBO

FECHA DE RECEPCIÓN : Lima, 03 de septiembre del 2020

PROYECTO : Propuesta de mejora del comportamiento mecánico de Pavimentos Flexibles mediante la aplicación de polvo de fibra de vidrio reciclado sobre subrasante arcillosa aplicada al tramo I de la carretera Rodríguez de Mendoza

UBICACIÓN : Soritor, Moyobamba, San Martín

FECHA DE INICIO : Lima, 03 de septiembre del 2020

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : C-01, M-01, muestra de verificación

DOSIFICACIÓN : Suelo natural + 10% polvo de fibra de vidrio

DESCRIPCIÓN : Arcilla arenosa de baja plasticidad

PRESENTACIÓN : 02 Sacos de polipropileno.

CANTIDAD : 80 kg aprox.

PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 - 2016)					CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO (MTC E 132 - 2016)											
VOLUMEN DEL MOLDE :	939cm ³	MÉTODO DE COMPACTACIÓN :			A	VOL. MOLDE : INDICADO			N° DE CAPAS : 5			CAP. DEL ANILLO : 4.5 Ton			CERT. DE CALIBRACIÓN :	
N° DE MOLDE	SIN	SIN	SIN	SIN		N° DE MOLDE / CODIGO DE MOLDE	11 / MCB-10	12 / MPG-11	25 / MCB-20	N° MOLDE	(55 Golpes)		(26 Golpes)		(12 Golpes)	
N° GOLPES	25	25	25	25		N° DE GOLPES	55	26	12	PEN. (mm)	CARGA(N)	CARGA(kg)	CARGA(N)	CARGA(kg)	CARGA(N)	CARGA(kg)
P. MOLDE + S. HÚMEDO (g)	3535.0	3655.0	3688.0	3619.0		VOLUMEN DE MOLDE (cm ³)	2174.0	2142.0	2172.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PESO MOLDE (g)	1750.0	1750.0	1750.0	1750.0		P. MOLDE + S. HÚMEDO (g)	8836.8	8982.0	8418.0	0.5	161.6	16	113.1	12	80.8	8
PESO SUELO HÚMEDO (g)	1785.0	1905.0	1938.0	1869.0		PESO MOLDE (g)	4309.5	4733.2	4168.7	1.0	434.3	44	304.0	31	217.2	22
N° TARRO	352	252	233	392	445	222	390	288		PESO SUELO HÚMEDO (g)	4477.3	4248.8	4248.3	1.5	888.9	91
P. TARRO + S. HÚMEDO (g)	376.9	424.9	450.2	366.9	448.9	476.9	433.6	311.8		N° TARRO	456	248	385	2.0	1565.6	160
P. TARRO + S. SECO (g)	343.8	385.6	404.3	330.8	393.7	421.1	375.6	275.6		P. TARRO + S. HÚMEDO (g)	385.6	412.0	330.0	2.5	2222.2	227
PESO DE AGUA (g)	33.1	39.3	45.9	36.1	55.2	55.8	58.0	36.2		P. TARRO + S. SECO (g)	342.5	367.0	296.3	3.0	2888.8	295
PESO DE TARRO (g)	80.9	71.4	90.0	81.9	61.0	87.2	65.3	82.2		PESO DE AGUA (g)	43.1	45.0	33.7	3.5	3535.3	361
PESO SUELO SECO (g)	262.9	314.2	314.3	248.9	332.7	333.9	310.3	193.4		PESO DE TARRO (g)	65.7	78.0	79.7	4.0	4191.9	427
HUMEDAD (%)	12.6	12.5	14.6	14.5	16.6	16.7	18.7	18.7		PESO SUELO SECO (g)	276.8	289.0	216.8	4.5	4858.5	495
HUMEDAD PROMEDIO (%)	12.6	14.6	16.7	18.7		CONTENIDO DE HUMEDAD (g)	15.60	15.50	15.50	5.0	5424.2	553	3796.9	387	2712.1	277
DENSIDAD HÚMEDA (g/cm ³)	1.901	2.029	2.064	1.950		DENSIDAD HÚMEDA (g/cm ³)	2.059	1.984	1.956	7.5	7555.4	770	5288.8	539	3777.7	385
DENSIDAD SECA (g/cm ³)	1.689	1.771	1.769	1.676		DENSIDAD SECA (g/cm ³)	1.783	1.718	1.694	10.0	9060.5	924	6342.3	647	4530.2	462
ABSORCIÓN					EXPANSIÓN					RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS						
N° MOLDE	11 / MCB-10	12 / MPG-11	25 / MCB-20		FECHA	HORA	LEC. DIAL	LEC. DIAL	LEC. DIAL	MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³)		1.782				
PESO SUELO HUM. + PLATO + MOLDE	12401	12187	10379		11-sep-20	12:30:00 a.m.	0.000'	0.000'	0.000'	ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		15.6				
PESO DEL PLATO + MOLDE	7804	7782	5909		12-sep-20					CBR A 2.5 mm DE PENETRACIÓN AL 100% DE LA M.D.S. (%)		24.7				
PESO SUELO HÚMEDO EMBEBIDO	4597	4425	4470		13-sep-20					CBR A 2.5 mm DE PENETRACIÓN AL 95% DE LA M.D.S. (%)		12.1				
PESO SUELO HÚMEDO SIN EMBEBER	4477	4249	4249		14-sep-20					SERIE AMERICANA		3/4"	3/8"	N° 4	N°200	Pasa N°200

Referencia :

- ASTM D 1883: Standard test method for CBR (California Bearing Ratio) of laboratory-compacted soils
- ASTM D 1557: Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort - 56000 ft-lbf/ft³ (2700 kN-m/m³).

Observaciones :

- Muestra tomada e identificada por el solicitante.
- La muestra fue compactada, luego se saturó por 4 días y posteriormente se realizó el ensayo de penetración.
- A solicitud del cliente, a la muestra de suelo se le agregó fibras de polvo de vidrio en 10%, respecto del peso del suelo seco.

Equipos usados:

- Prensa CBR: SCM LF-20070102 (01-07-20)
- Balanza: SCM LM-20062301 (23-06-20)
- Horno: SCM LT-20070701 (07-07-20)

Personal:

- Téc.: E.E.A.
- Rev.: M.M.F.

Fecha de Emisión : Lima, 17 de septiembre del 2020

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante.

ANEXO 56

RESULTADOS DE ENSAYO DE CBR DE SUELO ARCILLOSO CL ESTABILIZADO CON 10 % DE POLVO DE POLVO FIBRA DE VIDRIO RECICLADO

EXPEDIENTE N° 097-2020-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE	: Cynthia Sthefani Alexandra Carhuapoma Najarro Jaime Belisario Tito Sánchez	PROYECTO	: Propuesta de mejora del comportamiento mecánico de Pavimentos Flexibles mediante la aplicación de polvo de fibra de vidrio reciclado sobre subrasante arcillosa aplicada al tramo I de la carretera Rodríguez de Mendoza
DIRECCIÓN	: Jr. Rebeca Oquendo 485, Dpto B1102, Breña.	UBICACIÓN	: Soritor, Moyobamba, San Martín
REFERENCIA	: Solicitud de Servicio N° 097-2020-JBO	FECHA DE RECEPCIÓN	: Lima, 03 de septiembre del 2020
FECHA DE RECEPCIÓN	: Lima, 03 de septiembre del 2020	FECHA DE INICIO	: Lima, 03 de septiembre del 2020

CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO (MTC E 132 - 2016)

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN	: C-01, M-01, muestra de verificación	PRESENTACIÓN	: 02 Sacos de polipropileno.
DOSIFICACIÓN	: Suelo natural + 10% polvo de fibra de vidrio	CANTIDAD	: 80 Kg aprox.
DESCRIPCIÓN	: Arcilla arenosa de baja plasticidad		

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Granulometría de la Muestra (MTC E 107 - MTC E 202)

Serie Americana	Ret. Parcial (%)	Pasa (%)
2"	~	100
3/4"	~	100
3/8"	6	94
N°4	6	88
N°200	34	54
< N°200	54	

Límites de Atterberg (MTC E 110 - MTC E 111)

Límite Líquido	: 34.0 %
Índice Plástico	: 11.0 %

Clasificación de Suelos

SUCS (ASTM D-2487)	: CL
Vías Transporte (ASTM D-3282)	: A-6 (4)

CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPECÍMENES DE ENSAYO

Descripción		Especimen N° 1	Especimen N° 2	Especimen N° 3
Energía de Compactación	(kg-cm/cm ³)	27.4	12.2	6.1
Densidad Seca Antes del Remojo	(g/cm ³)	1.783	1.718	1.694
Humedad de Compactación	(%)	15.6	15.5	15.5
Humedad de Penetración	(%)	18.7	20.3	21.5
Absorción	(%)	3.1	4.8	6.0
Expansión	(%)	1.50	3.00	4.30
Tiempo de Embebido	(días)	4	4	4
Sobrecarga	(kg)	4.5	4.5	4.5

RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS

Proctor Modificado (MTC E 115 - 2016)

Método de Compactación	: A
Máxima Densidad Seca	(g/cm ³) : 1.782
Óptimo Contenido de Humedad	(%) : 15.6

C.B.R. a 2,5 mm de Penetración (MTC E 132 - 2016)

C.B.R. al 100 % de la M.D.S.	: 24.7 %
C.B.R. al 95 % de la M.D.S.	: 12.1 %

C.B.R. a 5,0 mm de Penetración (MTC E 132 - 2016)

C.B.R. al 100 % de la M.D.S.	: 30.5 %
C.B.R. al 95 % de la M.D.S.	: 14.5 %

OBSERVACIONES :

- Muestra tomada e identificada por el solicitante.
- La muestra fue compactada, luego se saturó por 4 días y posteriormente se realizó el ensayo de penetración.
- A solicitud del cliente, a la muestra de suelo se le agregó fibras de polvo de vidrio en 10%, respecto del peso del suelo seco.

REFERENCIA :

- ASTM D 1883: Standard test method for CBR (California Bearing Ratio) of laboratory-compacted soils
- ASTM D 1557: Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort - 56000 ft-lbf/ft³ (2700 kN-m/m³)

Equipos usados:

- Prensa CBR: SCM LF-20070102 (01-07-20)
- Balanza: SCM LM-20062301 (23-06-20)
- Horno: SCM LT-20070701 (07-07-20)

Personal

- Téc.: E.E.A.
- Rev.: M.M.F.

Fecha de Emisión : Lima, 17 de septiembre del 2020

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante.

ANEXO 57

RESULTADOS DE ENSAYO DE CBR DE SUELO ARCILLOSO CL ESTABILIZADO CON 12 % DE POLVO DE POLVO FIBRA DE VIDRIO RECICLADO

EXPEDIENTE N° 097-2020-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE	: Cynthia Sthefani Alexandra Carhuapoma Najarro Jaime Belisario Tito Sánchez	PROYECTO	: Propuesta de mejora del comportamiento mecánico de Pavimentos Flexibles mediante la aplicación de polvo de fibra de vidrio reciclado sobre subrasante arcillosa aplicada al tramo I de la carretera Rodríguez de Mendoza
DIRECCIÓN	: Jr. Rebeca Oquendo 485, Dpto B1102, Breña.		
REFERENCIA	: Solicitud de Servicio N° 097-2020-JBO	UBICACIÓN	: Soritor, Moyobamba, San Martín
FECHA RECEPCIÓN	: Lima, 03 de septiembre del 2020	FECHA INICIO	: Lima, 03 de septiembre del 2020

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN	: C-01, M-01, muestra de verificación	PRESENTACIÓN	: 02 Sacos de polipropileno
DOSIFICACIÓN	: Suelo natural + 12% polvo de fibra de vidrio		
DESCRIPCIÓN	: Arcilla arenosa de baja plasticidad	CANTIDAD	: 80 kg. aprox.

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 - 2016)

N° de Capas	: 5	Altura de caída del pisón	: 45.72 cm	Peso del pisón	: 4.54 Kg	Volumen del Molde	: 939 g/cm³
Energía de Compactación	Modificada	: 27.4 kg-cm/cm³	Número de Golpes / capa				: 25 Golpes
Peso Suelo Humedo + Molde	(g)	3527	3646	3679	3612		
Peso del Molde	(g)	1750	1750	1750	1750		
Peso Suelo Humedo	(g)	1777	1896	1929	1862		
Volumen del Molde	(cm³)	939	939	939	939		
Densidad Suelo Humedo	(g/cm³)	1.892	2.019	2.054	1.983		
Tarro N°		499	352	288	281	6	272
Peso suelo humedo + tarro	(g)	316.4	480.8	354.4	440.5	428.4	419.7
Peso suelo seco + tarro	(g)	292.0	440.6	323.4	400.0	381.5	373.8
Peso del agua	(g)	24.4	40.2	31.0	40.5	46.9	45.9
Peso del tarro	(g)	72.6	75.4	86.4	88.4	70.8	72.0
Peso suelo seco	(g)	219.4	365.2	237.0	311.6	310.7	301.8
Contenido de Humedad	(%)	11.1	11.0	13.1	13.0	15.1	15.2
Promedio de Humedad	(%)	11.1		13.1		15.2	
Densidad del Suelo Seco	(g/cm³)	1.703	1.785	1.783	1.692

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA		
Serie Americana	Ret. Parc. (%)	Pasa (%)
2 1/2"		
2"		
3/4"		100
3/8"	6	94
N°4	6	88
<N°4	88	
MÉTODO		"A"
MDS		1.797 g/cm³
OCH		14.1%

OBSERVACIONES:

- Muestra tomada e identificada por el solicitante.
- A solicitud del cliente, a la muestra de suelo se le agregó fibras de polvo de vidrio en 12%, respecto del peso del suelo seco.

Referencia:

ASTM D 1557-02: Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort - 56000 ft-lb/ft³ (2700 kN-m/m³)

Equipos usados:

- Balanza: SCM LM-20062301 (23-06-20)
- Homo: SCM LT-20070701 (07-07-20)

Téc.: E.E.A.

Rev.: M.M.F.

Fecha de Emisión : Lima, 05 de septiembre del 2020

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante

INFORME DE ENSAYO DE CBR DE SUELO ARCILLOSO CL ESTABILIZADO CON 12% DE POLVO DE POLVO FIBRA DE VIDRIO RECICLADO

EXPEDIENTE N° 097-2020-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Cynthia Sthefani Alexandra Carhuapoma Najarro
Jaime Belisario Tito Sánchez

DIRECCIÓN : Jr. Rebeca Oquendo 485, Dpto B1102, Breña.

REFERENCIA : Solicitud de Servicio N° 097-2020-JBO

FECHA DE RECEPCIÓN : Lima, 03 de septiembre del 2020

PROYECTO : Propuesta de mejora del comportamiento mecánico de Pavimentos Flexibles mediante la aplicación de polvo de fibra de vidrio reciclado sobre subrasante arcillosa aplicada al tramo I de la carretera Rodríguez de Mendoza

UBICACIÓN : Soritor, Moyobamba, San Martín

FECHA DE INICIO : Lima, 03 de septiembre del 2020

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : C-01, M-01, muestra de verificación

DOSIFICACIÓN : Suelo natural + 12% polvo de fibra de vidrio

DESCRIPCIÓN : Arcilla arenosa de baja plasticidad

PRESENTACIÓN : 02 Sacos de polipropileno.

CANTIDAD : 80 kg aprox.

PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 - 2016)									CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO (MTC E 132 - 2016)																								
VOLUMEN DEL MOLDE :		939cm3		MÉTODO DE COMPACTACIÓN :			A		VOL. MOLDE :		INDICADO		N° DE CAPAS : 5		CAP. DEL ANILLO : 4.5 Ton.		CERT. DE CALIBRACIÓN: - Prensa CBR: SCM LF-20070102 (01-07-20)																
N° DE MOLDE		S/N		S/N		S/N		S/N		N° DE MOLDE / CODIGO DE MOLDE		8 / MPG-08		14 / MPG-12		19 / MCB-16		N° MOLDE		(55 Golpes)		(26 Golpes)		(12 Golpes)									
N° GOLPES		25		25		25		25		N° DE GOLPES		55		26		12		PEN. (mm)		CARGA(N)		CARGA(kg)		CARGA(N)		CARGA(kg)							
P. MOLDE + S. HÚMEDO (g)		3527.0		3646.0		3679.0		3612.0		VOLUMEN DE MOLDE (cm3)		2158.0		2157.0		2141.0		0.0		0.0		0.0		0.0		0.0							
PESO MOLDE (g)		1750.0		1750.0		1750.0		1750.0		P. MOLDE + S. HÚMEDO (g)		7824.5		8576.6		8479.5		0.5		233.4		24		163.4		116.7							
PESO SUELO HÚMEDO (g)		1777.0		1896.0		1929.0		1862.0		PESO MOLDE (g)		3400.6		4309.1		4309.1		1.0		396.8		40		277.7		196.4							
N° TARRO		499		352		288		281		PESO SUELO HÚMEDO (g)		4423.9		4267.5		4170.4		1.5		653.5		67		457.5		326.8							
P. TARRO + S. HÚMEDO (g)		316.4		480.8		354.4		440.5		N° TARRO		160		194		2		2.0		1003.6		102		702.5		501.8							
P. TARRO + S. SECO (g)		292.0		440.6		323.4		400.0		P. TARRO + S. HÚMEDO (g)		367.5		483.1		452.1		2.5		1470.4		150		1029.3		735.2							
PESO DE AGUA (g)		24.4		40.2		31.0		40.5		P. TARRO + S. SECO (g)		331.9		434.2		403.9		3.0		2200.9		224		1540.7		1100.5							
PESO DE TARRO (g)		72.6		75.4		86.4		88.4		PESO DE AGUA (g)		35.6		48.9		48.2		3.5		2901.1		296		2030.8		1450.6							
PESO SUELO SECO (g)		219.4		365.2		237.0		311.6		PESO DE TARRO (g)		78.8		85.8		60.8		4.0		3501.0		357		2450.7		1750.5							
HUMEDAD (%)		11.1		11.0		13.1		13.0		PESO SUELO SECO (g)		253.1		348.4		343.1		4.5		4177.8		426		2924.5		2088.9							
HUMEDAD PROMEDIO (%)		11.1		13.0		15.2		17.2		CONTENIDO DE HUMEDAD (g)		14.10		14.30		14.10		5.0		4924.7		502		3447.3		2462.4							
DENSIDAD HÚMEDA (g/cm³)		1.892		2.019		2.054		1.983		DENSIDAD HÚMEDA (g/cm3)		2.050		1.978		1.948		7.5		6908.6		704		4836.0		3454.3							
DENSIDAD SECA (g/cm³)		1.704		1.786		1.784		1.692		DENSIDAD SECA (g/cm3)		1.797		1.731		1.707		10.0		8122.3		828		5685.6		4061.1							
ABSORCIÓN									EXPANSIÓN						RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS																		
N° MOLDE		8 / MPG-08		14 / MPG-12		19 / MCB-16		FECHA		HORA		LEC. DIAL		LEC. DIAL		LEC. DIAL		MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)						1.797									
PESO SUELO HUM. + PLATO + MOLDE		11284		11774		12049		18-sep-20		12:30:00 a.m.		0.000"		0.000"		0.000"		ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)						14.1									
PESO DEL PLATO + MOLDE		6752		7391		7755		19-sep-20										CBR A 2.5 mm de PENETRACION AL 100% DE LA M.D.S. (%)						25.5									
PESO SUELO HUMEDO EMBEBIDO		4532		4383		4295		20-sep-20										CBR A 2.5 mm de PENETRACION AL 95% DE LA M.D.S. (%)						13.0									
PESO SUELO HUMEDO SIN EMBEBER		4424		4268		4170		21-sep-20										SERIE AMERICANA						3/4"		3/8"		N° 4		N°200		Pasa N°200	
PESO DEL AGUA ABSORBIDA		109		116		124		22-sep-20		12:30:00 a.m.		0.066"		0.068"		0.074"		RETENIDO PARCIAL (%)						6		6		34		54			
PESO DEL SUELO SECO		3877		3734		3655												LÍMITE LÍQUIDO						34		SUCS		CL					
EXPANSIÓN (%)										EXPANSIÓN (%)		1.40		1.45		1.60																	

Referencia :

- ASTM D 1883: Standard test method for CBR (California Bearing Ratio) of laboratory-compacted soils

- ASTM D 1557: Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort - 56000 ft-lbf/ft³ (2700 kN-m/m³).

Observaciones :

- Muestra tomada e identificada por el solicitante.
- La muestra fue compactada, luego se saturó por 4 días y posteriormente se realizó el ensayo de penetración.
- A solicitud del cliente, a la muestra de suelo se le agregó fibras de polvo de vidrio en 12%, respecto del peso del suelo seco.

Equipos usados:

- Prensa CBR: SCM LF-20070102 (01-07-20)

- Balanza: SCM LM-20062301 (23-06-20)

- Horno: SCM LT-20070701 (07-07-20)

Personal:

- Téc.: E.E.A.

- Rev.: M.M.F.

Fecha de Emisión : Lima, 24 de septiembre del 2020

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante.

ANEXO 59

RESULTADOS DE ENSAYO DE CBR DE SUELO ARCILLOSO CL ESTABILIZADO CON 12 % DE POLVO DE POLVO FIBRA DE VIDRIO RECICLADO

EXPEDIENTE N° 097-2020-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE	: Cynthia Sthefani Alexandra Carhuapoma Najarro Jaime Belisario Tito Sánchez	PROYECTO	: Propuesta de mejora del comportamiento mecánico de Pavimentos Flexibles mediante la aplicación de polvo de fibra de vidrio reciclado sobre subrasante arcillosa aplicada al tramo I de la carretera Rodríguez de Mendoza
DIRECCIÓN	: Jr. Rebeca Oquendo 485, Dpto B1102, Breña.	UBICACIÓN	: Soritor, Moyobamba, San Martín
REFERENCIA	: Solicitud de Servicio N° 097-2020-JBO	FECHA DE INICIO	: Lima, 03 de septiembre del 2020
FECHA DE RECEPCIÓN	: Lima, 03 de septiembre del 2020		

CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO (MTC E 132 - 2016)

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN	: C-01, M-01, muestra de verificación	PRESENTACIÓN	: 02 Sacos de polipropileno.
DOSIFICACIÓN	: Suelo natural + 12% polvo de fibra de vidrio	CANTIDAD	: 80 Kg aprox.
DESCRIPCIÓN	: Arcilla arenosa de baja plasticidad		

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Granulometría de la Muestra (MTC E 107 - MTC E 202)

Serie Americana	Ret. Parcial (%)	Pasa (%)
2"	--	100
3/4"	--	100
3/8"	6	94
N°4	6	88
N°200	34	54
< N°200	54	

Límites de Atterberg (MTC E 110 - MTC E 111)

Límite Líquido	: 34.0 %
Índice Plástico	: 11.0 %

Clasificación de Suelos

SUCS (ASTM D-2487)	: CL
Vías Transporte (ASTM D-3282)	: A-6 (4)

CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPECÍMENES DE ENSAYO

Descripción		Especimen N° 1	Especimen N° 2	Especimen N° 3
Energía de Compactación	(kg-cm/cm ³)	27.4	12.2	6.1
Densidad Seca Antes del Remojo	(g/cm ³)	1.797	1.731	1.707
Humedad de Compactación	(%)	14.1	14.3	14.1
Humedad de Penetración	(%)	16.9	17.4	17.5
Absorción	(%)	2.8	3.1	3.4
Expansión	(%)	1.40	1.45	1.60
Tiempo de Embebido	(días)	4	4	4
Sobrecarga	(kg)	4.5	4.5	4.5

RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS

Proctor Modificado (MTC E 115 - 2016)

Método de Compactación	: A
Máxima Densidad Seca	(g/cm ³) : 1.797
Óptimo Contenido de Humedad	(%) : 14.1

C.B.R. a 2,5 mm de Penetración (MTC E 132 - 2016)

C.B.R. al 100 % de la M.D.S.	: 25.5 %
C.B.R. al 95 % de la M.D.S.	: 13.0 %

C.B.R. a 5,0 mm de Penetración (MTC E 132 - 2016)

C.B.R. al 100 % de la M.D.S.	: 30.4 %
C.B.R. al 95 % de la M.D.S.	: 15.4 %
Condiciones del Ensayo	: Embebido

OBSERVACIONES :

- Muestra tomada e identificada por el solicitante.
- La muestra fue compactada, luego se saturó por 4 días y posteriormente se realizó el ensayo de penetración.
- A solicitud del cliente, a la muestra de suelo se le agregó fibras de polvo de vidrio en 12%, respecto del peso del suelo seco.

REFERENCIA :

- ASTM D 1883: Standard test method for CBR (California Bearing Ratio) of laboratory-compacted soils
- ASTM D 1557: Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort - 56000 ft-lb/ft³ (2700 kN-m/m³)

Equipos usados:

- Prensa CBR: SCM LF-20070102 (01-07-20)
- Balanza: SCM LM-20062301 (23-06-20)
- Horno: SCM LT-20070701 (07-07-20)

Personal

- Téc.: E.E.A.
- Rev.: M.M.F.

Fecha de Emisión : Lima, 24 de septiembre del 2020

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante.

RESULTADOS DE ENSAYO GRANULOMÉTRICO A MUESTRAS ESTABILIZADAS DE SUELO CON 12% DE POLVO DE POLVO FIBRA DE VIDRIO RECICLADO

EXPEDIENTE N° 097-2020-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE	: Cynthia Sthefani Alexandra Carhuapoma Najarro Jaime Belisario Tito Sánchez	PROYECTO	: Propuesta de mejora del comportamiento mecánico de Pavimentos Flexibles mediante la aplicación de polvo de fibra de vidrio reciclado sobre subrasante arcillosa aplicada al tramo I de la carretera Rodríguez de Mendoza
DIRECCIÓN	: Jr. Rebeca Oquendo 485, Dpto B1102, Breña.		
REFERENCIA	: Solicitud de Servicio N° 097-2020-JBO	UBICACIÓN	: Soritor, Moyobamba, San Martín
FECHA DE RECEPCIÓN	: Lima, 03 de septiembre del 2020	FECHA DE INICIO	: Lima, 03 de septiembre del 2020

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO MTC E 107 - 2016

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : C-01, M-01, muestra de verificación
DOSIFICACIÓN : Suelo natural + 15% polvo de fibra de vidrio

PRESENTACIÓN : 02 Sacos de polipropileno.
CANTIDAD : 100 kg aprox.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS					
MALLAS		PESO RETENIDO (g)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASA (%)
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)				
3"	75.000				
2 1/2"	62.500				
2"	50.000				
1 1/2"	37.500				
1"	25.000				
3/4"	19.000				100.0
1/2"	12.500	22.8	2.2	2.2	97.8
3/8"	9.500	26.0	2.5	4.7	95.3
1/4"	6.250	37.4	3.6	8.3	91.7
N° 4	4.750	30.1	2.9	11.2	88.8
N° 6	3.350	24.9	2.4	13.6	86.4
N° 8	2.360	38.4	3.7	17.3	82.7
N° 10	2.000	20.8	2.0	19.3	80.7
N° 16	1.180	47.7	4.6	23.9	76.1
N° 20	0.850	29.1	2.8	26.7	73.3
N° 30	0.600	34.3	3.3	30.0	70.0
N° 40	0.425	26.0	2.5	32.5	67.5
N° 50	0.300	33.2	3.2	35.7	64.3
N° 80	0.177	42.6	4.1	39.8	60.2
N° 100	0.150	22.8	2.2	42.0	58.0
N° 200	0.075	39.4	3.8	45.8	54.2
-200	MTC E 137	562.6	54.2	100.0	-

CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

Límite líquido	(%)	(MTC E 110 - 2016)	:	28.0
Límite plástico	(%)	(MTC E 111 - 2016)	:	21.0
Índice plástico	(%)	(MTC E 111 - 2016)	:	7.0
Clasificación SUCS		(ASTM D 2487-11)	:	CL-ML
Clasif. para el uso en vías de transporte		(ASTM D 3282-09)	:	A-4 (2)

Descripción de la muestra : Arcilla limo-arenosa

Cont. de humedad (%) (MTC E 108 - 2016) : 5.9

OBSERVACIONES:

- Muestra tomada e identificada por el solicitante.
- Tamaño máximo: 12.5 mm.

CURVA GRANULOMÉTRICA

Referencia:

- NTP 339.128 / ASTM D 422 SUELOS: Método de ensayo para el análisis granulométrico
- NTP 339.129 / ASTM D 4318 SUELOS: Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos
- ASTM D 2487: Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)
- ASTM D 3282: Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes
- NTP 339.127 / ASTM D 2216 SUELOS: Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo
- NTP 339.132 / ASTM C 1140 SUELOS: Método de ensayo para determinar el material que pasa el tamiz No 200 (75 µm)

Equipos usados:

- Balanza: SCM LM-20062501 (25-06-20)
- Balanza: SCM LM-20062301 (23-06-20)
- Horno: SCM LT-20070701 (07-07-20)

Personal:

- Téc.: E.E.A.
- Rev.: M.M.F.

VF-003 (14-09-19)

Fecha de emisión : Lima, 02 de octubre del 2020

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante.

ANEXO 61

RESULTADOS DE ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO A MUESTRAS ESTABILIZADAS DE SUELO CON 12% DE POLVO DE POLVO FIBRA DE VIDRIO

EXPEDIENTE N° 097-2020-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE	: Cynthia Sthefani Alexandra Carhuapoma Najarro Jaime Belisario Tito Sánchez	PROYECTO	: Propuesta de mejora del comportamiento mecánico de Pavimentos Flexibles mediante la aplicación de polvo de fibra de vidrio reciclado sobre subrasante arcillosa aplicada al tramo I de la carretera Rodríguez de Mendoza
DIRECCIÓN	: Jr. Rebeca Oquendo 485, Dpto B1102, Breña.	UBICACIÓN	: Soritor, Moyobamba, San Martín
REFERENCIA	: Solicitud de Servicio N° 097-2020-JBO	FECHA DE RECEPCIÓN	: Lima, 03 de septiembre del 2020
		FECHA INICIO	: Lima, 03 de septiembre del 2020

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE SUELOS

MTC E 110 - 2016

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO (L.P.) DE LOS SUELOS E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (I.P.)

MTC E 111 - 2016

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : C-01, M-01, muestra de verificación	PRESENTACIÓN : 02 Sacos de polipropileno.
DOSIFICACIÓN : Suelo natural + 15% polvo de fibra de vidrio	
DESCRIPCIÓN : Arcilla limo-arenosa	CANTIDAD : 100 kg aprox.

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
ENSAYO No.	1	2	3	4	1	2
CÁPSULA No.	T4	T65	T77	T61	T52	T7
PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO, g	31.78	30.53	28.98	28.49	23.76	23.36
PESO CÁPSULA + SUELO SECO, g	27.96	27.20	25.89	25.76	22.26	22.12
PESO AGUA, g	3.82	3.33	3.09	2.73	1.50	1.24
PESO DE LA CÁPSULA, g	14.77	15.54	14.78	15.75	15.11	16.24
PESO SUELO SECO, g	13.19	11.66	11.11	10.01	7.15	5.88
CONTENIDO DE HUMEDAD, %	28.96	28.56	27.81	27.27	20.96	21.09
NÚMERO DE GOLPES	19	22	26	30

RESULTADOS DE ENSAYOS

LÍMITE LÍQUIDO (%)	28
LÍMITE PLÁSTICO (%)	21
ÍND. PLASTICIDAD (%)	7

OBSERVACIONES:

- Ensayo efectuado al material pasante la malla N° 40.
- Muestra tomada e identificada por el solicitante.

Referencia:

- NTP 339.129 / ASTM D 4318 SUELOS: Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos

Equipos usados:

- Balanza: SCM LM-20062301 (23-06-20)
- Horno: SCM LT-20070701 (07-07-20)

Personal:

- Téc. : E.E.A
- Rev. : M.M.F.

VF-003 (14-09-19)

Fecha de emisión: Lima, 02 de octubre del 2020
El uso de la información contenida en este documento es responsabilidad del solicitante.

ANEXO 62

RESULTADOS DE ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO A MUESTRAS ESTABILIZADAS DE SUELO CON 12% DE POLVO DE POLVO FIBRA DE VIDRIO

EXPEDIENTE N° 097-2020-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE	: Cynthia Sthefani Alexandra Carhuapoma Najarro Jaime Belisario Tito Sánchez	PROYECTO	: Propuesta de mejora del comportamiento mecánico de Pavimentos Flexibles mediante la aplicación de polvo de fibra de vidrio reciclado sobre subrasante arcillosa aplicada al tramo I de la carretera Rodríguez de Mendoza
DIRECCIÓN	: Jr. Rebeca Oquendo 485, Dpto B1102, Breña.	UBICACIÓN	: Soritor, Moyobamba, San Martín
REFERENCIA	: Solicitud de Servicio N° 097-2020-JBO	FECHA INICIO	: Lima, 03 de septiembre del 2020
FECHA DE RECEPCIÓN	: Lima, 03 de septiembre del 2020		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE SUELOS

MTC E 110 - 2016

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO (L.P.) DE LOS SUELOS E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (I.P.)

MTC E 111 - 2016

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN	: C-01, M-01, muestra de verificación	PRESENTACIÓN	: 02 Sacos de polipropileno.
DOSIFICACIÓN	: Suelo natural + 15% polvo de fibra de vidrio		
DESCRIPCIÓN	: Arcilla limo-arenosa	CANTIDAD	: 100 kg aprox.

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
ENSAYO No.	1	2	3	4	1	2
CÁPSULA No.	T4	T65	T77	T61	T52	T7
PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO, g	31.78	30.53	28.98	28.49	23.76	23.36
PESO CÁPSULA + SUELO SECO, g	27.96	27.20	25.89	25.76	22.26	22.12
PESO AGUA, g	3.82	3.33	3.09	2.73	1.50	1.24
PESO DE LA CÁPSULA, g	14.77	15.54	14.78	15.75	15.11	16.24
PESO SUELO SECO, g	13.19	11.66	11.11	10.01	7.15	5.88
CONTENIDO DE HUMEDAD, %	28.96	28.56	27.81	27.27	20.96	21.09
NÚMERO DE GOLPES	19	22	26	30

RESULTADOS DE ENSAYOS	
LÍMITE LÍQUIDO (%)	28
LÍMITE PLÁSTICO (%)	21
ÍND. PLASTICIDAD (%)	7

OBSERVACIONES:

- Ensayo efectuado al material pasante la malla N° 40.
- Muestra tomada e identificada por el solicitante.

Referencia:

- NTP 339.129 / ASTM D 4318 SUELOS: Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos

Equipos usados:

- Balanza: SCM LM-20062301 (23-06-20)
- Horno: SCM LT-20070701 (07-07-20)

Personal:

- Téc. : E.E.A
- Rev. : M.M.F.

VF-003 (14-09-19)

Fecha de emisión: Lima, 02 de octubre del 2020

El uso de la información contenida en este documento es responsabilidad del solicitante.

ANEXO 63

RESULTADOS DE ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD A MUESTRAS ESTABILIZADAS DE SUELO CON 12% DE POLVO DE POLVO FIBRA DE VIDRIO

EXPEDIENTE N° 097-2020-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Cynthia Sthefani Alexandra Carhuapoma Najarro
Jaime Belisario Tito Sánchez

PROYECTO : Propuesta de mejora del comportamiento mecánico de Pavimentos Flexibles mediante la aplicación de polvo de fibra de vidrio reciclado sobre subrasante arcillosa aplicada al tramo I de la carretera Rodríguez de Mendoza

DIRECCIÓN : Jr. Rebeca Oquendo 485, Dpto B1102, Breña.

REFERENCIA : Solicitud de Servicio N° 097-2020-JBO

UBICACIÓN : Soritor, Moyobamba, San Martín

FECHA DE RECEPCIÓN : Lima, 03 de septiembre del 2020

FECHA DE INICIO : Lima, 03 de septiembre del 2020

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO MTC E 108 - 2016

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : C-01, M-01, muestra de verificación

DOSIFICACIÓN : Suelo natural + 15% polvo de fibra de vidrio

DESCRIPCIÓN : Arcilla limo-arenosa

PRESENTACIÓN : 02 Sacos de polipropileno.

CANTIDAD : 100 kg aprox.

IDENTIFICACIÓN	C-01, M-01, muestra de verificación
Peso del suelo húmedo (g)	1099.2
Peso del suelo seco (g)	1038.0
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	5.9

OBSERVACIONES:

- Muestra tomada e identificada por el solicitante.
- Tamaño máximo: 12.5 mm.

REFERENCIA:

- NTP 339.127 / ASTM D 2216 SUELOS: Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo

Equipos usados:

- Balanza: SCM LM-20062301 (23-06-20)
- Horno: SCM LT-20070701 (07-07-20)

Personal:

Téc.: E.E.A.
Rev.: M.M.F.

VF-003 (14-09-19)

Fecha de emisión : Lima, 02 de octubre del 2020

El uso de la información contenida en este documento es responsabilidad del solicitante.

ANEXO 64

MODELADO DEL PAVIMENTO ESTABILIZADO EN 3D MOVE

Response Points - Static

Individual Response Points Response Data Array Graphical Display

Response Points Data Array

Array 1

Location of Data Array

Global Coordinates of the Local Origin O'

Ymin in Unit Converter : Length

Zmin in

Global Coordinates of the End Point of Response Data Array

Ymax in Help

Zmax in

Offset from Origin X off in

Geometry of Data Array

No of Segments in Y Direction (N)

No of Segments in Z Direction (M)

Add

Delete

Note :

Response Points Data Array is used to generate automatically a group of response data points. All points will be in the grid of rectangle located on a plane along X - axis, defined by "Offset from Origin Xoff". The local origin for the grid is O' and it is located at (Xoff, Ymin, Zmin). The rectangle grid is generated by specifying the parameters shown in the figure. Number of grid can be generated by specifying the "No of Response data Array" at the beginning.

If M or N is set to equal zero, the data points array surface will collapse to line of response data points.

In case where a response is needed at an interface :

For the top layer : z = Depth of layer

For the top of bottom layer : z = Depth of layer + 0.0001 m

Cancel

OK

Traffic Information

Number of Seasons/Periods

1

Name of the Seasons/Periods

Summer

Duration of the Seasons/Periods (Months)
(computed in twelve month increments)

12

One-way average daily repetitions of design axle

4

Percentage of design axles in design lane (%)

90

Design axle growth rate (%)

5

☒ Linear growth

☐ Compound growth

Design Life (Years)

10

Design axle repetitions per Season/Period

19,440

Total design axle repetitions

19,440

Cancel

OK

Pavement Structure

Unit Converter : Length

Layer No	Layer Type		Material Charaterization	Thickness (in)
1	Asphalt	▼	Linear Elastic	3.54
2	Base	▼	Linear Elastic	5.91
3	Subbase	▼	Linear Elastic	5.91
4	Subgrade	▼	Linear Elastic	7.87

Note :

- Layer No.1 represents the top/surface layer
- For semi infinite depth, enter zero for last layer.

Add
 Delete

Cancel
 OK

Pavement Layer Properties - Layer 1

Layer Thickness in

Linear Elastic Material Properties

Elastic Modulus, E psi

Damping Ratio %

Poisson's Ratio

☒ Constant Poisson's Ratio

☐ Poisson's Ratio from Model Click to see the Poisson's Ratio Model

Parameter a

Parameter b

Calculated Poisson's Ratio from Model

Note :
 a and b are constants. Typical Values : a = -1.63 and b = 3.84E-6

Layer Temperature °F

Cancel
 OK

Pavement Layer Properties - Layer 2

Layer 2	Thickness	5.91	in
Material			
Standard Material Type		A-1-a	
Range of E value is between 38500 - 42000. Typical Value of E is 40000			
☐ Elastic Modulus, E <input type="text" value="42,205"/> psi			
☒ CBR <input type="text" value="80"/>			
☐ R Value <input type="text"/>			
E vs CBR Relationship $E = 2555(CBR)^{0.65}$			
Poisson's Ratio		<input type="text" value="0.4"/>	
Damping Ratio		<input type="text"/> %	
Unit Weight		<input type="text"/> lb/in ³	
Depth to Ground Water Table (Measured from the pavement surface)		<input type="text" value="37.85"/> in	
Depth to Bed Rock (Measured from the last layer surface)		<input type="text"/> in	
		<input type="button" value="Cancel"/> <input type="button" value="OK"/>	

Pavement Layer Properties - Layer 3

Layer 3	Thickness	5.91	in
Material			
Standard Material Type		A-1-a	
Range of E value is between 38500 - 42000. Typical Value of E is 40000			
☐ Elastic Modulus, E <input type="text" value="35,108"/> psi			
☒ CBR <input type="text" value="60"/>			
☐ R Value <input type="text"/>			
E vs CBR Relationship			
Poisson's Ratio		<input type="text" value="0.4"/>	
Damping Ratio		<input type="text"/> %	
Unit Weight		<input type="text"/> lb/in ³	
Depth to Ground Water Table (Measured from the pavement surface)		<input type="text" value="22.85"/> in	
Depth to Bed Rock (Measured from the last layer surface)		<input type="text"/> in	
		<input type="button" value="Cancel"/> <input type="button" value="OK"/>	

Pavement Layer Properties - Layer 4

Layer 4	Thickness	7.87	in
---------	-----------	------	----

Material

Standard Material Type A-1-a

Range of E value is between 38500 - 42000.
Typical Value of E is 40000

☐ Elastic Modulus, E 13,192 psi

☒ CBR 13

☐ R Value

E vs CBR Relationship

Poisson's Ratio 0.4

Damping Ratio %

Unit Weight lb/in³

Depth to Ground Water Table
(Measured from the pavement surface) 22.85 in

Depth to Bed Rock
(Measured from the last layer surface) 46.85 in

Cancel OK

ANEXO 65

PRESUPUESTO DE OBRA

Presupuesto	0202001	MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA RODRIGUEZ DE MENDOZA- EMPALME RUTA PE 5NTRAMO LA CALZADA SORITOR			
Subpresupuesto	001	MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA RODRIGUEZ DE MENDOZA- EMPALME RUTA PE 5NTRAMO LA CALZADA SORITOR			
Ciente		MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES, VIVIENDA Y CONSTRUCCIÓN	Costo al		26/01/2021
Lugar		AMAZONAS - CHACHAPOYAS - CHACHAPOYAS			
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	OBRAS PRELIMINARES				361,920.38
01.01	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS	glb	1.00	250,000.00	250,000.00
01.02	TOPOGRAFÍA Y GEOREFERENCIACIÓN	glb	1.00	111,920.38	111,920.38
02	MOVIMIENTO DE TIERRA				1,989,717.63
02.01	DESBROCE Y LIMPIEZA EN ZONAS NO BOSCOSAS	ha	10.26	3,624.97	37,192.19
02.03	PERFILADO Y COMPACTADO EN ZONA DE CORTE	m2	1,802.00	1.04	1,874.08
02.04	CONFORMACIÓN DE SUBRASANTE CON POLVO DE FIBRA DE VIDRIO RECICLADO	m3	38,703.40	50.40	1,950,651.36
03	SUB BASE Y BASE				2,558,499.79
03.01	SUB BASE GRANULAR, e= 4"	m3	10,521.01	69.90	735,418.60
03.02	BASE GRANULAR, e= 6"	m3	15,781.52	115.52	1,823,081.19
04	PAVIMENTO ASFÁLTICO				8,419,328.63
04.01	IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA	m2	105,792.30	1.48	156,572.60
04.02	RIEGO DE LIGA	m2	105,792.30	1.55	163,978.07
04.03	CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE (MAC)	m3	5,288.62	316.77	1,675,592.93
04.04	ASFALTO LIQUIDO TIPO MC-30	l	126,950.76	4.50	571,278.42
04.05	CEMENTO ASFÁLTICO DE PENETRACIÓN 120-150	kg	790,798.19	7.40	5,851,906.61
05	OBRAS DE ARTE Y DRENAJE				1,764,462.23
05.01	DEMOLICIÓN DE ESTRUCTURAS	m3	13.31	272.25	3,623.65
05.02	EXCAVACION NO CLASIFICADA PARA ESTRUCTURAS	m3	7,408.31	47.54	352,191.06
05.03	RELLENOS PARA ESTRUCTURAS	m3	2,770.45	47.07	130,405.08
05.04	CONCRETO CLASE D (FC = 210 KG/CM2)	m3	518.59	441.29	228,848.58
05.05	CONCRETO CLASE E (FC = 175 KG/CM2)	m3	696.90	403.80	281,408.22
05.06	CONCRETO CLASE G (FC = 140 KG/CM2 + 30%PG)	m3	46.69	340.83	15,913.35
05.07	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	2,816.61	61.78	174,010.17
05.08	ACERO DE REFUERZO FY=4200KG/CM2	kg	13,121.71	7.21	94,607.53
05.09	TUBERÍA CORRUGADA DE ACERO GALVANIZADO CIRCULAR DE 0.90 M DE DIÁMETRO	m	191.10	247.44	47,285.78
05.10	CUNETA DE TIERRA, TRAPEZOIDAL	m	24,000.00	9.75	234,000.00
05.11	EMBOQUILLADO DE PIEDRA E = 0.15M	m2	2,502.99	69.24	173,307.03
05.12	EMBOQUILLADO DE PIEDRA E = 0.35M	m2	260.00	78.36	20,373.60
05.13	LIMPIEZA DE ALCANTARILLA EXISTENTE	u	7.00	96.34	674.38
05.14	LIMPIEZA DE CAUCE DE ALCANTARILLAS	m3	781.38	10.00	7,813.80
06	TRANSPORTE				783,822.33
06.01	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR PARA D<= 1KM	m3k	1,750.00	5.76	10,080.00
06.02	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR PARA D> 1KM	m3k	364,437.50	1.24	451,902.50
06.03	TRANSPORTE DE MEZCLA ASFÁLTICA PARA D<= 1KM	m3k	240.00	6.59	1,581.60
06.04	TRANSPORTE DE MEZCLA ASFÁLTICA PARA D> 1KM	m3k	42,808.80	1.03	44,093.06
06.05	TRANSPORTE DE MATERIAL EXCEDENTE A DME PARA D<= 1KM	m3k	113.23	6.86	776.76
06.06	TRANSPORTE DE MATERIAL EXCEDENTE A DME PARA D> 1KM	m3k	213,458.96	1.29	275,362.06
06.07	TRANSPORTE DE MATERIAL DE DERRUMBE A DME PARA D> 1KM	m3k	13.31	1.98	26.35
07	SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL				20,000.00
07.01	SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL, A TODO COSTO	u	1.00	20,000.00	20,000.00
08	PROTECCIÓN AMBIENTAL				25,000.00
08.01	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL	u	1.00	25,000.00	25,000.00
	Costo Directo				15,922,750.99
	Gastos Generales (7.00%)				1,114,592.57
	Utilidad (6.00%)				955,365.06
	Subtotal				17,992,708.62
	IGV (18.00%)				3,238,687.55

ANEXO 66

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

\$10

Página: 1

Análisis de precios unitarios

Presupuesto	0202001	MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA RODRIGUEZ DE MENDOZA- EMPALME RUTA PE SNTRAMO LA CALZADA SORITOR					Fecha presupuesto	26/01/2021
Subpresupuesto	001	MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA RODRIGUEZ DE MENDOZA- EMPALME RUTA PE SNTRAMO LA CALZADA SORITOR						
Partida	01.01	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS						
Rendimiento	glb/DIA	MO.	EQ.	Costo unitario directo por : glb			250,000.00	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
	Materiales							
0232970001	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPO		est		1.0000	250,000.00	250,000.00	
							250,000.00	
Partida	01.02	TOPOGRAFIA Y GEOREFERENCIACION						
Rendimiento	glb/DIA	MO. 1.0000	EQ. 1.0000	Costo unitario directo por : glb			111,920.38	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
	Mano de Obra							
0147000032	TOPOGRAFO		hh	53.0000	424.0000	23.48	9,955.52	
0147010004	PEON		hh	108.0000	864.0000	16.18	13,979.52	
							23,935.04	
	Materiales							
0202010022	CLAVOS DIFERENTES MEDIDAS		kg		38.9200	4.50	175.14	
0229060002	YESO EN BOLSAS DE 25 kg		bls		34.6000	10.48	362.61	
0243040000	MADERA TORNILLO		p2		27.6700	4.24	117.32	
0254240002	PINTURA ESMALTE		gal		4.3300	28.25	122.32	
							777.39	
	Equipos							
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		5.0000	23,935.04	1,196.75	
0337020045	JALONES		he	108.0000	864.0000	1.35	1,166.40	
0337020046	MIRA TOPOGRAFICA		he	108.0000	864.0000	2.54	2,194.56	
0349190006	NIVEL TOPOGRAFICO		hm	54.0000	432.0000	86.54	37,385.28	
0349880020	ESTACION TOTAL		hm	54.0000	432.0000	104.78	45,264.96	
							87,207.95	
Partida	02.01	DESBROCE Y LIMPIEZA EN ZONAS NO BOSCOSAS						
Rendimiento	ha/DIA	MO. 0.8000	EQ. 0.8000	Costo unitario directo por : ha			3,624.97	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
	Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ		hh	0.1000	1.0000	20.48	20.48	
0147010002	OPERARIO		hh	1.0000	10.0000	18.37	183.70	
0147010004	PEON		hh	2.0000	20.0000	16.18	323.60	
							527.78	
	Equipos							
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		5.0000	527.78	26.39	
0337040034	MOTOSIERRA DE 30"		hh	2.0000	20.0000	78.54	1,570.80	
0349040034	TRACTOR DE ORUGAS DE 190-240 HP		hm	1.0000	10.0000	150.00	1,500.00	
							3,097.19	

Fecha : 30/04/2021 06:43:55

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0202001 MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA RODRIGUEZ DE MENDOZA- EMPALME RUTA PE 5NTRAMO LA CALZADA SORITOR
 Subpresupuesto 001 MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA RODRIGUEZ DE MENDOZA- EMPALME RUTA PE 5NTRAMO LA CALZADA SORITOR Fecha presupuesto 26/01/2021

Partida	02.03	PERFILADO Y COMPACTADO EN ZONA DE CORTE					
Rendimiento	m2/DIA	MO. 2,420.0000	EQ. 2,420.0000	Costo unitario directo por : m2			1.04
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ		hh	1.0000	0.0033	20.48	0.07
0147010004	PEON		hh	4.0000	0.0132	16.18	0.21
							0.28
	Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		5.0000	0.28	0.01
0349030013	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 70-100 HP 7-9 ton		hm	1.0000	0.0033	140.00	0.46
0349090000	MOTONIVELADORA DE 125 HP		hm	1.0000	0.0033	88.55	0.29
							0.76
Partida	02.04	CONFORMACIÓN DE SUBRASANTE CON POLVO DE FIBRA DE VIDRIO RECICLADO					
Rendimiento	m3/DIA	MO. 790.0000	EQ. 790.0000	Costo unitario directo por : m3			70.40
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ		hh	1.0000	0.0101	20.48	0.21
0147010004	PEON		hh	6.0000	0.0608	16.18	0.98
							1.19
	Materiales						
0202130015	POLVO DE FIBRA DE VIDRIO		kg		1.0500	62.05	65.15
							65.15
	Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		5.0000	1.19	0.06
0349030013	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 70-100 HP 7-9 ton		hm	1.0000	0.0101	140.00	1.41
0349040033	TRACTOR DE ORUGAS DE 140-160 HP		hm	0.5000	0.0051	155.00	0.79
0349090000	MOTONIVELADORA DE 125 HP		hm	2.0000	0.0203	88.55	1.80
							4.06
Partida	03.01	SUB BASE GRANULAR, e= 4"					
Rendimiento	m3/DIA	MO.	EQ.	Costo unitario directo por : m3			69.90
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Subpartidas						
910301100607	EXTRACCION Y APILAMIENTO DE MATERIAL PARA SUBBASE		m3		1.2000	3.66	4.39
910301100608	ZARANDEO MECANICO		m3		1.2000	46.64	55.97
910301100609	CONFORMACION DE SUBBASE GRANULAR		m3		1.2000	7.95	9.54
							69.90
Partida	03.02	BASE GRANULAR, e= 6"					
Rendimiento	m3/DIA	MO. 2,340.0000	EQ. 2,340.0000	Costo unitario directo por : m3			115.52
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Subpartidas						
910301100610	EXTRACCION Y APILAMIENTO DE MATERIAL PARA BASE		m3		1.2000	3.94	4.73
910301100611	ZARANDEO Y CHANCADO DE MATERIAL		m3		1.2000	79.72	95.66
910301100612	CONFORMACION DE BASE GRANULAR		m3		1.2000	12.61	15.13
							115.52

Fecha : 30/04/2021 06:43:55

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0202001 MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA RODRIGUEZ DE MENDOZA- EMPALME RUTA PE 5NTRAMO LA CALZADA SORITOR
 Subpresupuesto 001 MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA RODRIGUEZ DE MENDOZA- EMPALME RUTA PE 5NTRAMO LA CALZADA SORITOR
 Fecha presupuesto 26/01/2021

Partida	04.01	IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA					
Rendimiento	m2/DIA	MO. 5,700.0000	EQ. 5,700.0000	Costo unitario directo por : m2			1.48
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ		hh	1.0000	0.0014	20.48	0.03
0147010004	PEON		hh	6.0000	0.0084	16.18	0.14
							0.17
	Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		5.0000	0.17	0.01
0349020007	COMPRESORA NEUMÁTICA 76 HP 125-175 PCM		hm	1.0000	0.0014	100.00	0.14
0349050003	BARREDORA MECÁNICA 10-20 HP 7 p LONGITUD		hm	1.0000	0.0014	280.00	0.39
0349080092	TRACTOR DE TIRO DE 80 HP		hm	1.0000	0.0014	250.00	0.35
0349310003	CAMION IMPRIMADOR DE 1800 gl		hm	1.0000	0.0014	300.00	0.42
							1.31
Partida	04.02	RIEGO DE LIGA					
Rendimiento	m2/DIA	MO. 4,000.0000	EQ. 4,000.0000	Costo unitario directo por : m2			1.55
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ		hh	1.0000	0.0020	20.48	0.04
0147010003	OFICIAL		hh	1.0000	0.0020	18.85	0.04
0147010004	PEON		hh	6.0000	0.0120	16.18	0.19
							0.27
	Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		5.0000	0.27	0.01
0349020008	COMPRESORA NEUMÁTICA 87 HP 250-330 PCM		hm	1.0000	0.0020	84.58	0.17
0349080092	TRACTOR DE TIRO DE 80 HP		hm	1.0000	0.0020	250.00	0.50
0349310003	CAMION IMPRIMADOR DE 1800 gl		hm	1.0000	0.0020	300.00	0.60
							1.28
Partida	04.03	CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE (MAC)					
Rendimiento	m3/DIA	MO. 1.0000	EQ. 1.0000	Costo unitario directo por : m3			316.77
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Subpartidas						
910301100669	EXTENDIDO Y COMPACTADO DE MEZCLA ASFÁLTICA		m3		1.0000	31.58	31.58
910301100670	MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE		m3		1.3000	219.38	285.19
							316.77
Partida	04.04	ASFALTO LIQUIDO TIPO MC-30					
Rendimiento	l/DIA	MO.	EQ.	Costo unitario directo por : l			4.50
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Materiales						
0213000025	ASFALTO LIQUIDO MC-30		l		1.0000	4.50	4.50
							4.50
Partida	04.05	CEMENTO ASFÁLTICO DE PENETRACIÓN 120-150					
Rendimiento	kg/DIA	MO. 1.0000	EQ. 1.0000	Costo unitario directo por : kg			7.40
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Materiales						
0220010003	CEMENTO ASFÁLTICO 120/150		gal		0.2600	28.48	7.40
							7.40

Fecha : 30/04/2021 06:43:55

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0202001 MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA RODRIGUEZ DE MENDOZA- EMPALME RUTA PE 5NTRAMO LA CALZADA SORITOR
 Subpresupuesto 001 MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA RODRIGUEZ DE MENDOZA- EMPALME RUTA PE 5NTRAMO LA CALZADA SORITOR Fecha presupuesto 26/01/2021

Partida	05.01	DEMOLICIÓN DE ESTRUCTURAS					
Rendimiento	m3/DIA	MO. 11.0000	EQ. 11.0000	Costo unitario directo por: m3		272.25	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ		hh	0.1000	0.0727	20.48	1.49
0147010003	OFICIAL		hh	2.0000	1.4545	18.85	27.42
0147010004	PEON		hh	4.0000	2.9091	16.18	47.07
							75.98
	Materiales						
0230020096	BARRENO 5' X 1/8"		u		0.0010	38.45	0.04
							0.04
	Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		5.0000	75.98	3.80
0349020008	COMPRESORA NEUMATICA 87 HP 250-330 PCM		hm	1.0000	0.7273	84.58	61.52
0349060006	MARTILLO NEUMATICO DE 29 kg		hm	2.0000	1.4545	90.00	130.91
							196.23
Partida	05.02	EXCAVACION NO CLASIFICADA PARA ESTRUCTURAS					
Rendimiento	m3/DIA	MO. 110.0000	EQ. 110.0000	Costo unitario directo por: m3		47.54	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ		hh	0.1000	0.0073	20.48	0.15
0147010004	PEON		hh	2.0000	0.1455	16.18	2.35
							2.50
	Materiales						
0230020096	BARRENO 5' X 1/8"		u		0.0010	38.45	0.04
							0.04
	Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		5.0000	2.50	0.13
0348080002	MOTOBOMBA 12 HP 4"		hm	0.1000	0.0073	105.00	0.77
0349020007	COMPRESORA NEUMATICA 76 HP 125-175 PCM		hm	0.5000	0.0364	100.00	3.64
0349030004	COMPACTADOR VIBRATORIO TIPO PLANCHA 7 HP		hm	3.0000	0.2182	95.45	20.83
0349040022	RETROEXCAVADOR SOBRE ORUGA 80-110HP 0.5-1.3 YD3		hm	1.0000	0.0727	180.00	13.09
0349060006	MARTILLO NEUMATICO DE 29 kg		hm	1.0000	0.0727	90.00	6.54
							45.00
Partida	05.03	RELLENOS PARA ESTRUCTURAS					
Rendimiento	m3/DIA	MO. 60.0000	EQ. 60.0000	Costo unitario directo por: m3		47.07	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ		hh	0.1000	0.0133	20.48	0.27
0147010003	OFICIAL		hh	1.0000	0.1333	18.85	2.51
0147010004	PEON		hh	4.0000	0.5333	16.18	8.63
							11.41
	Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		5.0000	11.41	0.57
0348080002	MOTOBOMBA 12 HP 4"		hm	0.1000	0.0133	105.00	1.40
0349030017	RODILLO LISO VIBRATORIO MANUAL 10.8HP 0.8-1.1 ton		hm	1.0000	0.1333	200.00	26.66
							28.63
	Subpartidas						
910301100501	AGUA PARA LA OBRA		m3		0.2000	35.17	7.03
							7.03

Fecha : 30/04/2021 06:43:55

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0202001 MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA RODRIGUEZ DE MENDOZA- EMPALME RUTA PE 5NTRAMO LA CALZADA SORITOR
 Subpresupuesto 001 MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA RODRIGUEZ DE MENDOZA- EMPALME RUTA PE 5NTRAMO LA CALZADA SORITOR Fecha presupuesto 26/01/2021

Partida	05.04	CONCRETO CLASE D (F'C = 210 KG/CM2)					
Rendimiento	m3/DIA	MO. 16.0000	EQ. 16.0000	Costo unitario directo por : m3			441.29
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	hh	1.0000	0.5000	20.48	10.24	
0147010002	OPERARIO	hh	3.0000	1.5000	18.37	27.56	
0147010003	OFICIAL	hh	3.0000	1.5000	18.85	28.28	
0147010004	PEON	hh	6.0000	3.0000	16.18	48.54	
						114.62	
Materiales							
0221000001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bls		8.0000	20.25	162.00	
0230190000	ADITIVO CURADOR	gal		0.1900	19.45	3.70	
0230520007	ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE	kg		0.2200	50.46	11.10	
0253000008	COMBUSTIBLE	gal		0.2800	18.00	5.04	
0266060008	LUBRICANTES, GRASAS Y FILTROS	%EQ		5.0000	97.75	4.89	
						186.73	
Equipos							
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	114.62	5.73	
0348010007	MEZCLADORA DE CONCRETO DE 11p3 18 HP	hm	1.0000	0.5000	125.00	62.50	
0348080002	MOTOBOMBA 12 HP 4"	hm	0.1000	0.0500	105.00	5.25	
0349070003	VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 1.50"	hm	1.0000	0.5000	60.00	30.00	
						103.48	
Subpartidas							
910301100501	AGUA PARA LA OBRA	m3		0.1800	35.17	6.33	
910301100506	AGREGADO GRUESO CHANCADO	m3		0.6700	30.67	20.55	
910301100507	AGREGADO FINO ZARANDEADO	m3		0.4700	20.39	9.58	
						36.46	
Partida	05.05	CONCRETO CLASE E (F'C = 175 KG/CM2)					
Rendimiento	m3/DIA	MO. 18.0000	EQ. 18.0000	Costo unitario directo por : m3			403.80
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	hh	1.0000	0.4444	20.48	9.10	
0147010002	OPERARIO	hh	3.0000	1.3333	18.37	24.49	
0147010003	OFICIAL	hh	3.0000	1.3333	18.85	25.13	
0147010004	PEON	hh	6.0000	2.6667	16.18	43.15	
						101.87	
Materiales							
0221000001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bls		7.4000	20.25	149.85	
0230190000	ADITIVO CURADOR	gal		0.1700	19.45	3.31	
0230520007	ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE	kg		0.2040	50.46	10.29	
0253000008	COMBUSTIBLE	gal		0.2800	18.00	5.04	
0266060008	LUBRICANTES, GRASAS Y FILTROS	%EQ		5.0000	86.87	4.34	
						172.83	
Equipos							
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	101.87	5.09	
0348010007	MEZCLADORA DE CONCRETO DE 11p3 18 HP	hm	1.0000	0.4444	125.00	55.55	
0348080002	MOTOBOMBA 12 HP 4"	hm	0.1000	0.0444	105.00	4.66	
0349070003	VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 1.50"	hm	1.0000	0.4444	60.00	26.66	
						91.96	
Subpartidas							
910301100501	AGUA PARA LA OBRA	m3		0.1760	35.17	6.19	
910301100506	AGREGADO GRUESO CHANCADO	m3		0.6900	30.67	21.16	
910301100507	AGREGADO FINO ZARANDEADO	m3		0.4800	20.39	9.79	
						37.14	

Fecha : 30/04/2021 06:43:55

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0202001 MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA RODRIGUEZ DE MENDOZA- EMPALME RUTA PE 5NTRAMO LA CALZADA SORITOR
 Subpresupuesto 001 MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA RODRIGUEZ DE MENDOZA- EMPALME RUTA PE 5NTRAMO LA CALZADA SORITOR Fecha presupuesto 26/01/2021

Partida	05.06	CONCRETO CLASE G (F'C = 140 KG/CM2 + 30%PG)				
Rendimiento	m3/DIA	MO. 12.0000	EQ. 12.0000	Costo unitario directo por : m3		340.83
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra					
0147010004	PEON	hh	4.0000	2.6667	16.18	43.15
						43.15
	Equipos					
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	43.15	2.16
0348080002	MOTOBOMBA 12 HP 4"	hm	0.1000	0.0667	105.00	7.00
						9.16
	Subpartidas					
910301061006	CONCRETO CLASE F (F'C = 140 KG/CM2)	m3		0.7200	379.00	272.88
910301100508	PIEDRA GRANDE	m3		0.4200	37.23	15.64
						288.52
Partida	05.07	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO				
Rendimiento	m2/DIA	MO. 18.0000	EQ. 18.0000	Costo unitario directo por : m2		61.78
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra					
0147010001	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0444	20.48	0.91
0147010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.4444	18.37	8.16
0147010003	OFICIAL	hh	1.0000	0.4444	18.85	8.38
0147010004	PEON	hh	2.0000	0.8889	16.18	14.38
						31.83
	Materiales					
0202000015	ALAMBRE NEGRO # 8	kg		0.2000	6.43	1.29
0202010022	CLAVOS DIFERENTES MEDIDAS	kg		0.2000	4.50	0.90
0230110014	DESMOLDANTE PARA MADERA	gal		0.0500	36.49	1.82
0243040000	MADERA TORNILLO	p2		3.8500	4.24	16.32
0245010002	TRIPLAY DE 19 mm PARA ENCOFRADO	pl		0.0430	78.45	3.37
						23.70
	Equipos					
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	31.83	1.59
0348080002	MOTOBOMBA 12 HP 4"	hm	0.1000	0.0444	105.00	4.66
						6.25
Partida	05.08	ACERO DE REFUERZO FY=4200KG/CM2				
Rendimiento	kg/DIA	MO. 250.0000	EQ. 250.0000	Costo unitario directo por : kg		7.21
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra					
0147010001	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0032	20.48	0.07
0147010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.0320	18.37	0.59
0147010003	OFICIAL	hh	1.0000	0.0320	18.85	0.60
0147010004	PEON	hh	1.0000	0.0320	16.18	0.52
						1.78
	Materiales					
0202000010	ALAMBRE NEGRO # 16	kg		0.0500	4.50	0.23
0203020003	ACERO CORRUGADO fy=4200 kg/cm2 GRADO 60	kg		1.0500	4.54	4.77
						5.00
	Equipos					
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	1.78	0.09
0348080002	MOTOBOMBA 12 HP 4"	hm	0.1000	0.0032	105.00	0.34
						0.43

Fecha : 30/04/2021 06:43:55

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0202001 MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA RODRIGUEZ DE MENDOZA- EMPALME RUTA PE 5NTRAMO LA CALZADA SORITOR
 Subpresupuesto 001 MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA RODRIGUEZ DE MENDOZA- EMPALME RUTA PE 5NTRAMO LA CALZADA SORITOR Fecha presupuesto 26/01/2021

Partida	05.09	TUBERÍA CORRUGADA DE ACERO GALVANIZADO CIRCULAR DE 0.90 M DE DIÁMETRO					
Rendimiento	m/DIA	MO. 12.0000	EQ. 12.0000	Costo unitario directo por : m			247.44
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
	Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ	hh	1.0000	0.6667	20.48	13.65	
0147010003	OFICIAL	hh	1.0000	0.6667	18.85	12.57	
0147010004	PEON	hh	6.0000	4.0000	16.18	64.72	
						90.94	
	Materiales						
0209010048	ALCANTARILLA TMC D=36"	m		1.0000	150.00	150.00	
						150.00	
	Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	90.94	4.55	
						4.55	
	Subpartidas						
910301100640	PREPARACION Y COMPACTACION DE CAMA DE ASIENTO	m3		0.1055	18.52	1.95	
						1.95	
Partida	05.11	EMBOQUILLADO DE PIEDRA E = 0.15M					
Rendimiento	m2/DIA	MO. 22.0000	EQ. 22.0000	Costo unitario directo por : m2			69.24
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
	Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0364	20.48	0.75	
0147010003	OFICIAL	hh	2.0000	0.7273	18.85	13.71	
0147010004	PEON	hh	2.0000	0.7273	16.18	11.77	
						26.23	
	Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	26.23	0.79	
						0.79	
	Subpartidas						
910301061006	CONCRETO CLASE F (F'C = 140 KG/CM2)	m3		0.1000	379.00	37.90	
910301100510	PIEDRA MEDIA	m3		0.1050	41.16	4.32	
						42.22	
Partida	05.12	EMBOQUILLADO DE PIEDRA E = 0.35M					
Rendimiento	m2/DIA	MO. 18.0000	EQ. 18.0000	Costo unitario directo por : m2			78.36
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
	Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0444	20.48	0.91	
0147010003	OFICIAL	hh	2.0000	0.8889	18.85	16.76	
0147010004	PEON	hh	2.0000	0.8889	16.18	14.38	
						32.05	
	Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	32.05	0.96	
						0.96	
	Subpartidas						
910301061006	CONCRETO CLASE F (F'C = 140 KG/CM2)	m3		0.1000	379.00	37.90	
910301100508	PIEDRA GRANDE	m3		0.2000	37.23	7.45	
						45.35	

Fecha : 30/04/2021 06:43:55

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0202001 MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA RODRIGUEZ DE MENDOZA- EMPALME RUTA PE 5NTRAMO LA CALZADA SORITOR
 Subpresupuesto 001 MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA RODRIGUEZ DE MENDOZA- EMPALME RUTA PE 5NTRAMO LA CALZADA SORITOR Fecha presupuesto 26/01/2021

Partida	05.13	LIMPIEZA DE ALCANTARILLA EXISTENTE					
Rendimiento	u/DIA	MO. 3.0000	EQ. 3.0000	Costo unitario directo por : u			96.34
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ		hh	0.1000	0.2667	20.48	5.46
0147010004	PEON		hh	2.0000	5.3333	16.18	86.29
							91.75
	Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		5.0000	91.75	4.59
							4.59
Partida	05.14	LIMPIEZA DE CAUCE DE ALCANTARILLAS					
Rendimiento	m3/DIA	MO. 200.0000	EQ. 200.0000	Costo unitario directo por : m3			10.00
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ		hh	0.1000	0.0040	20.48	0.08
0147010004	PEON		hh	4.0000	0.1600	16.18	2.59
							2.67
	Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		5.0000	2.67	0.13
0349040022	RETROEXCAVADOR SOBRE ORUGA 80-110HP 0.5-1.3 YD3		hm	1.0000	0.0400	180.00	7.20
							7.33
Partida	06.01	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR PARA D<= 1KM					
Rendimiento	m3k/DIA	MO. 434.0000	EQ. 434.0000	Costo unitario directo por : m3k			5.76
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra						
0147010003	OFICIAL		hh	0.4400	0.0081	18.85	0.15
							0.15
	Equipos						
0348040036	CAMION VOLQUETE 15 m3		hm	1.0000	0.0184	238.55	4.39
0349040012	CARGADOR SOBRE LLANTAS 200-250 HP 4-4.1 yd3		hm	0.4400	0.0081	150.00	1.22
							5.61
Partida	06.02	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR PARA D> 1KM					
Rendimiento	m3k/DIA	MO. 1,543.0000	EQ. 1,543.0000	Costo unitario directo por : m3k			1.24
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Equipos						
0348040036	CAMION VOLQUETE 15 m3		hm	1.0000	0.0052	238.55	1.24
							1.24
Partida	06.03	TRANSPORTE DE MEZCLA ASFÁLTICA PARA D<= 1KM					
Rendimiento	m3k/DIA	MO. 312.0000	EQ. 312.0000	Costo unitario directo por : m3k			6.59
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra						
0147010003	OFICIAL		hh	1.0000	0.0256	18.85	0.48
							0.48
	Equipos						
0348040036	CAMION VOLQUETE 15 m3		hm	1.0000	0.0256	238.55	6.11
							6.11

Fecha : 30/04/2021 06:43:55

Análisis de precios unitarios

Presupuesto	0202001	MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA RODRIGUEZ DE MENDOZA- EMPALME RUTA PE 5NTRAMO LA CALZADA SORITOR						
Subpresupuesto	001	MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA RODRIGUEZ DE MENDOZA- EMPALME RUTA PE 5NTRAMO LA CALZADA SORITOR				Fecha presupuesto	26/01/2021	
Partida	06.04	TRANSPORTE DE MEZCLA ASFALTICA PARA D> 1KM						
Rendimiento	m3k/DIA	MO. 1,846.0000	EQ. 1,846.0000	Costo unitario directo por : m3k			1.03	
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Equipos							
0348040036	CAMION VOLQUETE 15 m3			hm	1.0000	0.0043	238.55	1.03
								1.03
Partida	06.05	TRANSPORTE DE MATERIAL EXCEDENTE A DME PARA D<= 1KM						
Rendimiento	m3k/DIA	MO. 375.0000	EQ. 375.0000	Costo unitario directo por : m3k			6.86	
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra							
0147010003	OFICIAL			hh	0.4900	0.0105	18.85	0.20
								0.20
	Equipos							
0348040036	CAMION VOLQUETE 15 m3			hm	1.0000	0.0213	238.55	5.08
0349040012	CARGADOR SOBRE LLANTAS 200-250 HP 4-4.1 yd3			hm	0.4900	0.0105	150.00	1.58
								6.66
Partida	06.06	TRANSPORTE DE MATERIAL EXCEDENTE A DME PARA D> 1KM						
Rendimiento	m3k/DIA	MO. 1,481.0000	EQ. 1,481.0000	Costo unitario directo por : m3k			1.29	
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Equipos							
0348040036	CAMION VOLQUETE 15 m3			hm	1.0000	0.0054	238.55	1.29
								1.29
Partida	06.07	TRANSPORTE DE MATERIAL DE DERRUMBE A DME PARA D> 1KM						
Rendimiento	m3k/DIA	MO. 960.0000	EQ. 960.0000	Costo unitario directo por : m3k			1.98	
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Equipos							
0348040036	CAMION VOLQUETE 15 m3			hm	1.0000	0.0083	238.55	1.98
								1.98
Partida	07.01	SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL, A TODO COSTO						
Rendimiento	u/DIA	MO. 6.0000	EQ. 6.0000	Costo unitario directo por : u			20,000.00	
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Subcontratos							
0401010001	SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL, A TODO COSTO			glb		1.0000	20,000.00	20,000.00
								20,000.00
Partida	08.01	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL						
Rendimiento	u/DIA	MO. 6.0000	EQ. 6.0000	Costo unitario directo por : u			25,000.00	
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Subcontratos							
0401010002	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL, A TODO COSTO			glb		1.0000	25,000.00	25,000.00
								25,000.00

Fecha : 30/04/2021 06:43:55