Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN TARAPOTO - PERU

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú.
Vea una copia de esta licencia en http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/

Obra publicada con autorización del autor

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA VECINAL JUAN GUERRA-BELLO HORIZONTE CON ESTABILIZACIÓN DE SUELO CEMENTO DEL TERRENO DE FUNDACIÓN Y CAPA DE AFIRMADO, DISTRITO DE JUAN GUERRA, PROVINCIA DE SAN MARTÍN, REGIÓN SAN MARTÍN

Tesis para optar el título profesional de

INGENIERO CIVIL

AUTOR:

Bach. Flavio Gean Pierre Pezo López

ASESOR:

Ing. MS.c. Rubén Del Águila Panduro

TOMO I

Tarapoto – Perú

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA VECINAL JUAN GUERRA-BELLO HORIZONTE CON ESTABILIZACIÓN DE SUELO CEMENTO DEL TERRENO DE FUNDACIÓN Y CAPA DE AFIRMADO, DISTRITO DE JUAN GUERRA, PROVINCIA DE SAN MARTÍN, REGIÓN SAN MARTÍN

Tesis para optar el título profesional de
INGENIERO CIVIL

AUTOR:

Bach. Flavio Gean Pierre Pezo López

Sustentada y aprobada ante el honorable jurado el día 06 de abril del 2018

.....	.....
Ing. JUVENAL VICENTE DÍAZ AGIP	**Ing. Mg. PEGGY GRÁNDEZ RODRÍGUEZ**
Presidente	**Secretaria**
.....	.....
Ing. MÁXIMO ALCIBÍADES VILCA COTRINA	**Ing. MS.c. RUBÉN DEL ÁGUILA PANDURO**
Miembro	**Asesor**

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

YO, Flavio Gean Pierre Pezo López .....egresad@ de la Facultad de Ing. Civil y Arq....., en la Escuela profesional de Ingeniería Civil ... De la Universidad Nacional de San Martin- Tarapoto, identificado con DNI N° 71520154.....,con la tesis titulada..MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA VECINAL JUAN GUERRA - BELLO HORIZONTE CON ESTABILIZACIÓN DE SUELO CEMENTO DEL TERRENO DE FUNDACIÓN Y CAPA DE AFIRMADO DISTRITO DE JUAN GUERRA PROVINCIA DE SAN MARTIN REGIÓN SAN MARTIN.

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni totalmente ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiada; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, con el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martin – Tarapoto.

Tarapoto, 06 de abril del 2018

Flavio Gean Pierre Pezo López.
Nombres y Apellidos
DNI N° 71520154.....

DECLARACIÓN JURADA

Yo, Flavio Gean Pierre Pezo López
identificado(a) con DNI N°.71520154....., domicilio legal Jr. José Olaya #135 - Morales....., a efecto de cumplir con las Disposiciones Vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, **DECLARO BAJO JURAMENTO**, que todos los documentos, datos e información de la presente tesis y/o Informe de Ingeniería, son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las Normas Académicas de la Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto.

Tarapoto, ...06..... de .....abril..... del 2018.

.....
Firma

.....
Huella Digital

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres: Pezo López Flavio Gean Pierre	
Código de alumno : 123124	**Teléfono:** 976070851
Correo electrónico : flapelo@gmail.com	**DNI:** 71520154

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de: Ingeniería Civil y Arquitectura
Escuela Profesional de: Ingeniería Civil

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	( )
Trabajo de suficiencia profesional	( )		

4. Datos del Trabajo de investigación

Titulo: MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA VECINAL JUAN GUERRA BELLO HORIZONTE CON ESTABILIZACIÓN DE SUELO CEMENTO DEL TERRENO DE FUNDACION Y CAPA DE AFIRMADO, DISTRITO DE JUAN GUERRA, PROVINCIA DE SAN MARTÍN IREGIÓN SAN MARTÍN
Año de publicación: 2018

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	( )
Acceso restringido **	( )		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI **"Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA"**.

.....
Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

Fecha de recepción del documento:
11 / 09 / 2018

Firma del Responsable de Repossitorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

***Acceso abierto**: uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por haberme dado la vida, la fortaleza, y el permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres Velarde Pezo Perea y Julia López Meléndez, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, por haberme dado su apoyo incondicional para realizar este trabajo, por sus consejos y valores que me han permitido ser una persona de bien, por los ejemplos de perseverancia y constancia, pero más que nada, por su amor.

A mi hermano Velarde Pezo López, por estar siempre dispuesto a escucharme y apoyarme. Y a todas las personas, familiares y amigos, quienes ayudaron con un granito de arena para hacer realidad este logro importante de mi formación profesional.

Flavio Gean Pierre

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Martin, por brindarme la oportunidad de realizarme como profesional a través de la educación democrática y de calidad que recibí durante mis años de estudios, y haberme formado con competencias personales y humanas.

Reconocido agradecimiento a los Docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por los conocimientos impartidos durante mis años de estudio para el logro de mi formación profesional.

A mi asesor, Ing. MS.c. Rubén del Águila Panduro, por su buena voluntad, disponibilidad y haberme dado la oportunidad de realizar mi tesis. A mi jurado por sus recomendaciones con la finalidad de mejorar éste trabajo.

A mis compañeros por todos los momentos vividos en los años de estudio; A mis familiares por sus consejos y enseñanzas; Y a todas aquellas personas que me dieron de su apoyo para la realización de esta tesis.

Flavio Gean Pierre

ÍNDICE

DEDICATORIA…… vi
AGRADECIMIENTO……....vii
ÍNDICE……...viii
ÍNDICE DE TABLAS…….xiv
ÍNDICE DE CUADROS…….xv
ÍNDICE DE FIGURAS…….xviii
ÍNDICE DE GRÁFICOS…… xix
ÍNDICE DE PLANOS……..xx
RESUMEN……..... xxii
ABSTRACT…….... xxiii
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN……. 1
1.1. Generalidades……... 2
1.2. Exploración preliminar orientando la investigación……. 2
1.3. Aspectos generales del estudio……... 3
1.3.1. Características generales……..... 3
1.3.1.1. Ubicación geográfica y política……. 3
1.3.1.2. Características geográficas y topográficas……..... 6
1.3.1.3. Área de influencia……..... 8
1.3.1.4. Situación actual de la vía…… 8
1.3.1.5. Vías de acceso…… 8
1.3.1.6. Población beneficiada……..... 8
1.3.2. Estudios especiales preliminares……... 9
1.3.2.1. Reconocimiento de la zona de estudio…….…… 9
1.3.2.2. Estudio topográfico……... 9
1.3.2.3. Estudio hidrológico……..….10
1.3.2.4. Estudio de la geología del suelo del área de estudio…….10
1.3.2.5. Estudio de mecánica de suelos……..11
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO…….....12
2.1. Antecedentes, planteamiento, delimitación y formulación del problema a resolver…….. 12
2.1.1. Antecedentes del problema…….. 12
2.1.2. Planteamiento del problema……..13

2.1.3. Delimitación del problema……... 13
2.1.3.1. Delimitación espacial……... 13
2.1.3.2. Delimitación temporal…… 13
2.1.3.3. Campo científico y profesional…… 14
2.1.4. Formulación del problema a resolver……14
2.2. Objetivos…….. 14
2.2.1. Objetivo general……... 14
2.2.2. Objetivos específicos……... 14
2.3. Justificación de la investigación……... 15
2.3.1. Justificación teórica……..15
2.3.2. Justificación metodológica…….. 15
2.4. Delimitación de la investigación……. 15
2.5. Marco teórico o fundamentación teórica de la investigación…….. 16
2.5.1. Antecedentes de la investigación…… 16
2.5.2. Fundamentación teórica de la investigación…… 17
2.5.2.1. Bases teóricas……... 17
2.5.2.1.1. Estudio de tráfico…… 18
2.5.2.1.2. Estudio de mecánica de suelos…… 24
2.5.2.1.3. Diseño de afirmados…… 24
2.5.2.1.4. Estabilización con suelo-cemento……..... 35
2.5.2.1.5. Catálogo estructural de superficie de rodadura…… 38
2.5.2.1.6. Materiales para capa de afirmado…… 41
2.5.2.1.6.1. Gradación de los materiales de la capa de afirmado…… 41
2.5.2.1.6.2. Manipuleo y colocación del material de afirmado…… 44
2.5.2.1.7. Estudio de fuente de materiales – canteras……..... 45
2.5.3. Marco conceptual: terminología básica……..... 46
2.5.4. Marco histórico……..... 47
2.6. Hipótesis a demostrar……... 49
CAPÍTULO III MATERIALES Y METODOS…….. 50
3.1. Materiales…… 50
3.1.1. Recursos humanos……..... 50
3.1.2. Recursos materiales……..…… 50
3.2. Metodología…… 51
3.2.1. Universo, muestra, población……... 51

3.2.2. Sistema de variables…… 52
3.2.2.1. Variable independiente…… 52
3.2.2.2. Variable dependiente……..... 53
3.2.3. Diseño experimental de la investigación…….. 53
3.2.3.1. Tipo de investigación……... 53
3.2.3.2. Nivel de investigación…… 53
3.2.4. Diseño de instrumentos……..... 54
3.2.4.1. Fuentes técnicas……..…. 54
3.2.4.2. Instrumentos de selección de datos…….. 54
3.2.5. Procesamiento de información……..... 54
3.2.5.1. Procesamiento de datos……..... 54
3.2.5.2. Presentación de datos……... 55
3.2.5.3. Descripción de los estudios para el diseño del afirmado…… 55
3.2.5.3.1. Estudio de tráfico…… 55
3.2.5.3.2. Estudio de mecánica de suelos…… 59
3.2.5.3.2.1. Descripción de los perfiles estratigráficos – TDF…… 65
3.2.5.3.2.2. Análisis de la cimentación de la subrasante natural – TDF……72
3.2.5.3.2.3. Estabilización de suelos……..... 74
3.2.5.3.2.4. Estabilización con cemento – Caso del proyecto…… 77
3.2.5.3.2.5. Mezcla suelo – cemento……... 78
3.2.5.3.2.6. Proporcionamiento y mezclado de las muestras……... 78
3.2.5.3.3. Estudio de canteras y fuentes de agua…….. 79
3.2.5.3.3.1. Metodología de estudios de canteras…….....79
3.2.5.3.4. Especificaciones técnicas para afirmados- EG-CBT 2008……... 87
3.2.5.3.5. Fuentes de agua……..... 88
3.2.5.3.6. Ancho de plataforma……..... 89
3.2.5.3.7. Cálculo de espesor de subrasante mejorada – Método AASHTO……..... 91
3.2.5.3.8. Dimensionamiento del espesor de la superficie de rodadura…… 92
3.2.5.3.9. Catálogo estructural de superficie de rodadura……..... 94
3.2.5.3.9.1. Cálculo del espesor del afirmado con CBR en estado natural……. 94
3.2.5.3.9.2. Cálculo con mejoramiento de subrasante con adición de cemento…….. 95
3.2.5.3.10. Cuantificación de cemento a utilizar……..... 95

CAPÍTULO IV RESULTADOS……. 97
4.1. Resultados del estudio de tráfico…….. 97
4.1.1. Índice medio diario anual (IMDA)……... 97
4.1.2. Variación diaria……..... 98
4.1.3. Proyecciones de tráfico…….……... 99
4.2. Resultados del estudio de mecánica de suelos……..... 102
4.2.1. Resultados de capacidad de soporte de los suelos (CBR)- TDF……. 102
4.2.2. Características de las propiedades físicas y mecánicas…….. 104
4.2.3. Resultados obtenidos suelo natural inalterado (CBR)……..... 107
4.2.4. Resultados obtenidos – Suelo natural inalterado – ECNC……. 108
4.2.5. Resultados obtenidos – Suelo natural (TDF) + adición de cemento……. 108
4.2.6. Resultados obtenidos- suelo natural prueba de densidad de campo- Control de compactación – Método cono de arena……. 110
4.2.7. Características de las propiedades físicas y mecánicas- Resistencia- Resultados obtenidos- Con adición de cemento Pacasmayo tipo I……..... 113
4.2.8. Cuadros comparativos de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos del proyecto – Resultados suelo natural vs adición de cemento Pacasmayo tipo I…….. 113
4.3. Resultados del estudio de canteras y fuentes de agua…… 118
4.3.1. Etapa I: Estudio de canteras de cerro natural…….. 118
4.3.1.1. Resultados de los ensayos en laboratorio sin combinaciones – en estado natural…… 118
4.3.1.2. Resultados obtenidos de los agregados- Diseño de mezclas, combinación natural – comparaciones según las especificaciones técnicas del EG – CBT 2008……..... 119
4.3.1.3. Cuadro comparativo de los resultados materiales naturales y combinados, con adición de cemento, comparaciones según las especificaciones técnicas del EG-CBT 2008…… 121
4.3.2. Etapa II: Estudios opcionales – canteras de ríos: rio Mayo y rio Cumbaza……..... 122
4.3.2.1. Resultados de los ensayos en laboratorio sin combinaciones – Naturales..... 122

4.3.2.2. Resultados obtenidos de los agregados, de las canteras de rio, más la adición con cemento, según clasificación AASHTO – comparaciones según las especificaciones técnicas del EG- CBT 2008, según clasificación AASHTO…… 123
4.3.2.3. Cuadro comparativo de los resultados del estudio de la cantera de rio Mayo en estado natural, más adición de cemento- comparaciones según las especificaciones técnicas del EG-CBT 2008……..... 124
4.3.2.4. Cuadro comparativo de los resultados de los estudios de la cantera de rio Cumbaza en estado natural, más adición de cemento – comparaciones según las especificaciones técnicas del EG- CBT 2008……. 125
4.3.3. Fuentes de agua……. 126
4.4. Resultados del cálculo del espesor de subrasante mejorada – Método AASHTO……..... 126
4.5. Resultados del diseño de afirmado por método NAASRA – En estado natural- Sin adición de cemento Pacasmayo tipo I……. 128
4.5.1. Número de repeticiones de ejes equivalentes……. 128
4.5.2. Diseño del espesor del afirmado utilizando el grafico elaborado en base a la ecuación de diseño del método NAASRA, del manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito del MTC……. 130
4.5.3. Diseño de la capa de afirmado utilizando el catalogo derivado del método NAASRA…….. 131
4.6. Resultados del diseño de afirmado por método NAASRA – Con adición de cemento Pacasmayo tipo I……. 132
4.6.1. Número de repeticiones de ejes equivalentes…… 132
4.6.2. Diseño del espesor del afirmado utilizando el grafico elaborado en base a la ecuación de diseño del método NAASRA, del manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito del MTC……. 134
4.7. Resultados de cuantificación de cemento a utilizar……... 136
CAPÍTULO V ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS……. 138
5.1. Estudio de tráfico……..... 138

5.2. Estudio de mecánica de suelos……... 138
5.2.1. Estudio de canteras y fuentes de agua……..... 139
5.2.1.1. Estudio de canteras……..... 139
5.2.1.2. Fuentes de agua…….. 141
5.3. Diseño del afirmado……... 141
5.4. Contrastación de hipótesis…….. 142
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES…… 143
Conclusiones…… 143
Recomendaciones…….. 146
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS……..... 151
ANEXOS……..……. 153

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Población beneficiaria……. 9
Tabla 2: Factor de crecimiento acumulado (Fca) para el cálculo de nº rep. EE…….. 11
Tabla 3: Tráfico proyectado al año horizonte……... 22
Tabla 4: Relación de ejes equivalentes……. 23
Tabla 5: Capacidad de soporte de los suelos (CBR)……. 27
Tabla 6: Dosificación de cemento según clasificación de suelos…….. 37
Tabla 7: Perdida máxima en %, según suelos por estabilizar…….. 37
Tabla 8: Especificaciones granulométricas según tipo de tráfico……. 42
Tabla 9: Gradación de tamiz por porcentaje que pasa, según tipo de suelo……. 44
Tabla 10: Capacidad de soporte de los suelos (CBR)……. 74
Tabla 11: Dosificación de cemento según clasificación de suelos……. 77
Tabla 12: Granulometría correspondiente por cada tipo de afirmado…… 87
Tabla 13: Proyección del tráfico vehicular……. 99
Tabla 14: Tráfico vehicular ambos sentidos por días……. 100
Tabla 15: Proyección tráfico total……. 101
Tabla 16: Cálculo de numero de repeticiones de EE para 10 años…… 129
Tabla 17: Cálculo de numero de repeticiones de EE para 10 años…… 133
Tabla 18: Comparación de datos…….. 142

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Ubicación de estaciones…… 56
Cuadro 2: Ubicación de las calicatas……. 60
Cuadro 3: Identificación de muestras…… 61
Cuadro 4: Lista de ensayos realizados…… 62
Cuadro 5: Ubicación y profundidad excavada…… 73
Cuadro 6: Guía referencial para la selección del tipo de estabilización……. 75
Cuadro 7: Porcentaje (%) óptimo de cemento ejecutados…….……. 79
Cuadro 8: Ubicación de canteras…… 80
Cuadro 9: Relación detallada de los ensayos de laboratorio- preliminares para realizar las combinaciones (propiedades físicas) …….. 81
Cuadro 10: Relación detallada de los ensayos de laboratorio……. 82
Cuadro 11: Ubicación de calicatas…….. 84
Cuadro 12: Relación detallada de los ensayos de laboratorio……. 85
Cuadro 13: Ubicación y usos recomendados de fuentes de agua del proyecto…….. 88
Cuadro 14: Características básicas para la superficie de rodadura de las carreteras no pavimentadas de bajo volumen de transito…….. 90
Cuadro 15: Tráfico vehicular – IMD corregido (veh/dia)…….. 97
Cuadro 16: Capacidad de soporte de los suelos TDF- Calicatas N° 01 al N° 04……. 102
Cuadro 17: Capacidad de soporte de los suelos TDF- Calicatas N° 05 al N° 08……. 102
Cuadro 18: Capacidad de soporte de los suelos TDF- Calicatas N° 09 al N° 12……. 102
Cuadro 19: Capacidad de soporte de los suelos TDF- Calicatas N° 13 al N° 16……. 103
Cuadro 20: Capacidad de soporte de los suelos TDF- Calicatas N° 17 al N° 18……... 103
Cuadro 21: Propiedades físicas y mecánicas-suelos naturales TDF- Calicatas Nº 01 al Nº 03..... 104
Cuadro 22: Propiedades físicas y mecánicas-suelos naturales TDF- Calicatas Nº 04 al Nº 05…….. 104
Cuadro 23: Propiedades físicas y mecánicas-suelos naturales TDF- Calicatas Nº 06 al Nº 08…….. 105
Cuadro 24: Propiedades físicas y mecánicas-suelos naturales TDF- Calicatas Nº 09 al Nº 10…….. 105

Cuadro 25: Propiedades físicas y mecánicas-suelos naturales TDF- Calicatas Nº 11 al Nº 13……. 106
Cuadro 26: Propiedades físicas y mecánicas-suelos naturales TDF- Calicatas Nº 14 al Nº 16……. 106
Cuadro 27: Propiedades físicas y mecánicas-suelos naturales TDF- Calicatas Nº 17 al Nº 18……. 107
Cuadro 28: Calicata Nº 09 / Lado derecho km 4+000 – CBR inalterado…….. 107
Cuadro 29: Calicata Nº 14 / Lado derecho km 6+500 – CBR inalterado…….. 107
Cuadro 30: Calicata Nº 09 – Ensayo de compresión no confinada……..…. 108
Cuadro 31: Calicata Nº 14 – Ensayo de compresión no confinada…… 108
Cuadro 32: Calicata Nº 15 – Ensayo de compresión no confinada…….…….. 108
Cuadro 33: Calicata Nº 09 – Ensayo de compresión no confinada…….…….. 109
Cuadro 34: Calicata Nº 15 – Ensayo de compresión no confinada…….…….. 109
Cuadro 35: Calicata Nº 14 – Método cono de arena…….. 110
Cuadro 36: Calicata Nº 15 – Método cono de arena…….…. 110
Cuadro 37: Calicata Nº 02 – Adición cemento Pacasmayo tipo I…….…….… 110
Cuadro 38: Calicata Nº 06 – Adición cemento Pacasmayo tipo I…….…….… 111
Cuadro 39: Calicata Nº 09 – Adición cemento Pacasmayo tipo I……..……..... 111
Cuadro 40: Calicata Nº 11 – Adición cemento Pacasmayo tipo I……. 112
Cuadro 41: Calicata Nº 15 – Adición cemento Pacasmayo tipo I……. 112
Cuadro 42: Calicata Nº 02 – Suelo natural vs adición de cemento Pacasmayo tipo I……..113
Cuadro 43: Calicata Nº 06 – Suelo natural vs adición de cemento Pacasmayo tipo I…....113
Cuadro 44: Calicata Nº 09 – Suelo natural vs adición de cemento Pacasmayo tipo I……..114
Cuadro 45: Calicata Nº 11 – Suelo natural vs adición de cemento Pacasmayo tipo I……..115
Cuadro 46: Calicata Nº 15 – Suelo natural vs adición de cemento Pacasmayo tipo I…..…116
Cuadro 47: Resultados sin combinaciones para poder realizar el diseño de mezcla teniendo en cuenta especificaciones técnicas, solo propiedades físicas……. 117
Cuadro 48: Combinación cantera Nº 01 y cantera Nº 02……..……..118
Cuadro 49: Combinación cantera Nº 01 y 02 con adición de cemento Pacasmayo tipo I…120
Cuadro 50: Combinación cantera Nº 01 y 02 con adición de cemento Pacasmayo tipo I…121
Cuadro 51: Canteras rio Mayo y Cumbaza – Ensayos -Especificaciones técnicas……....122
Cuadro 52: Canteras rio Mayo y Cumbaza con adición de cemento Pacasmayo tipo I….123
Cuadro 53: Cantera rio Mayo estado natural vs adición con cemento Pacasmayo tipo I…124
Cuadro 54: Cantera rio Cumbaza estado natural vs adición cemento Pacasmayo tipo I…125

Cuadro 55: Fuente de agua – Quebrada Shatuyacu km 3+860, km 5+890 y km 7+887 – Resultados de ensayos…….. 126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación en el país del departamento de San Martin……. 4
Figura 2: Ubicación de la provincia de San Martin……. 5
Figura 3: Ubicación del distrito de Juan Guerra y Centro Poblado Bello Horizonte…….. 5
Figura 4: Ubicación del tramo en estudio……..…….. 6
Figura 5: Geología general de la zona del proyecto…… 11
Figura 6: Determinación de espesor de capa de revestimiento granular……..…….. 39
Figura 7: Catálogo de capas de revestimiento granular tráfico T1……..…… 40
Figura 8: Catálogo de capas de revestimiento granular – Tipo T1-S1…… 94
Figura 9: Catálogo de capas de revestimiento granular – Tipo T1-S4…….…….. 95
Figura 10: Determinación de espesor de capa de revestimiento granular…….. 130
Figura 11: Catálogo de capas de revestimiento granular – Tipo T1-S1…….. 131
Figura 12: Determinación de espesor de capa de revestimiento granular……..…. 134
Figura 13: Catálogo de capas de revestimiento granular – Tipo T1-S4…….…. 135

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Tasas de crecimiento del PBI según departamentos…….……. 20
Gráfico 2: Clasificación vehicular IMD…….. 97
Gráfico 3: Porcentaje vehicular…….. 98
Gráfico 4: Variación diaria de vehículos…… 98

ÍNDICE DE PLANOS

Plano clave …….. PC-01
Plano planta y perfil longitudinal km 0+000 al 1+000…… P-01
Plano planta y perfil longitudinal km 1+000 al 2+000…… P-02
Plano planta y perfil longitudinal km 2+000 al 3+000…… P-03
Plano planta y perfil longitudinal km 3+000 al 4+000…… P-04
Plano planta y perfil longitudinal km 4+000 al 5+000…… P-05
Plano planta y perfil longitudinal km 5+000 al 6+000…….... P-06
Plano planta y perfil longitudinal km 6+000 al 7+000…….... P-07
Plano planta y perfil longitudinal km 7+000 al 8+000…… P-08
Plano planta y perfil longitudinal km 8+000 al 8+520…… P-09
Secciones transversales km 0+000 al 1+000 …… ST-01
Secciones transversales km 1+000 al 2+000 …… ST-02
Secciones transversales km 2+000 al 3+000 …… ST-03
Secciones transversales km 3+000 al 4+000 …… ST-04
Secciones transversales km 4+000 al 5+000 …… ST-05
Secciones transversales km 5+000 al 6+000 …… ST-06
Secciones transversales km 6+000 al 7+000 …… ST-07
Secciones transversales km 7+000 al 8+000 …… ST-08
Secciones transversales km 8+000 al 8+520 ……... ST-09
Plano ubicación de calicatas km 0+000 al 1+000……..UC-01
Plano ubicación de calicatas km 1+000 al 2+000…….....UC-02
Plano ubicación de calicatas km 2+000 al 3+000…….....UC-03
Plano ubicación de calicatas km 3+000 al 4+000…….....UC-04
Plano ubicación de calicatas km 4+000 al 5+000…….....UC-05
Plano ubicación de calicatas km 5+000 al 6+000…….....UC-06
Plano ubicación de calicatas km 6+000 al 6+000…….....UC-07
Plano ubicación de calicatas km 7+000 al 8+000…….....UC-08
Plano ubicación de calicatas km 8+000 al 8+520……..UC-09
Plano perfil estratigráfico km 0+000 al 1+000…….. PE-01
Plano perfil estratigráfico km 1+000 al 2+000…….. PE-02

Plano perfil estratigráfico km 2+000 al 3+000……PE-03
Plano perfil estratigráfico km 3+000 al 4+000……PE-04
Plano perfil estratigráfico km 4+000 al 5+000…….....PE-05
Plano perfil estratigráfico km 5+000 al 6+000……PE-06
Plano perfil estratigráfico km 6+000 al 6+000……...PE-07
Plano perfil estratigráfico km 7+000 al 8+000…….... PE-08
Plano perfil estratigráfico km 8+000 al 8+520…….... PE-09
Plano de diagrama de canteras…… D-01
Plano ubicación de fuentes de agua…….....UFA-01
Plano perfil longitudinal del pavimento km 0+000 al 1+000……... PPL-01
Plano perfil longitudinal del pavimento km 1+000 al 2+000……..... PPL-02
Plano perfil longitudinal del pavimento km 2+000 al 3+000……..... PPL-03
Plano perfil longitudinal del pavimento km 3+000 al 4+000……..... PPL-04
Plano perfil longitudinal del pavimento km 4+000 al 5+000……... PPL-05
Plano perfil longitudinal del pavimento km 5+000 al 6+000……... PPL-06
Plano perfil longitudinal del pavimento km 6+000 al 7+000……..... PPL-07
Plano perfil longitudinal del pavimento km 7+000 al 8+000……... PPL-08
Plano perfil longitudinal del pavimento km 8+000 al 8+520……PPL-09
Plano de las secciones del pavimento ……..... SP-01

RESUMEN

La investigación realizada tiene el enfoque cuantitativo, de tipo aplicada con propuesta, con diseño de post prueba y grupo control; se propuso determinar el efecto de la aplicación de suelo-cemento previo estudio de canteras, en el terreno de fundación y capa de afirmado para el mejoramiento de la carretera vecinal Juan Guerra-Bello Horizonte; para lo cual se utilizó como muestra de estudio la extensión longitudinal de 8.520 Km de la carretera Juan Guerra - Bello Horizonte donde se realizarán los ensayos experimentales. En los trabajos técnicos se realizó el estudio de tráfico obteniendo un Índice Medio Diario de 48 vehículos por día; además, según el estudio de mecánica de suelos, se determinó lo valores de CBR que permitieron establecer el espesor del afirmado empleando el método de la National Association of Australian State Road Authorities y las normas técnicas nacionales para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, teniendo el espesor del afirmado obtenido sin adición de cemento con un CBR de 4.69%, de 37.00 cm y con adición de cemento con un CBR mayor al 20% es de 15 cm.

Palabras clave: Pavimento, suelo-cemento, terreno de fundación, CBR.

ABSTRACT

The following carried out research has a quantitative approach, of applied type with proposal, with post-test design and control group; it was proposed to determine the effect of the application of soil-cement previous study of quarries, in the ground of foundation and layer of affirmed for the improvement of the neighborhood road Juan Guerra-Bello Horizonte; for which the longitudinal extension of 8,520 km of the Juan Guerra - Bello Horizonte highway where the experimental tests were carried out was used as a study sample. In the technical works, the traffic study was carried out, obtaining a Daily Average Index of 48 vehicles per day; In addition, according to the study mechanic of soils, the CBR values that allowed to establish the thickness of the claimed using the method of the National Association of Australian State Road Authorities and national technical standards for the design of unpaved roads with low traffic volume were determined. of the Ministry of Transport and Communications, having the thickness of the affirmed obtained without the addition of cement with a CBR of 4.69%, of 37.00 cm and with the addition of cement with a CBR greater than 20% is 15 cm.

Keywords: Pavement, soil-cement, foundation ground, CBR.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Antiguamente las vías terrestres eran conocidos senderos, estos servían para que el hombre haga sus desplazamientos diarios con la intención de transportar animales, comidas, etc., ante todo esto se construyeron los caminos de herradura, que aún son utilizados en lugares donde no ha sido posible el desarrollo de caminos carreteros.

Con el avance de los años se lograron construir en distintas partes del mundo carreteras o caminos que hacen que la conexión entre una u otra localidad sea más accesible.

Ante esto hay factores que tienen gran influencia en el estado de la infraestructura vial, estas son las fallas o deterioros que ocurren dentro de una carretera no pavimentada-afirmada.

Dichos factores influyen en la vida útil del pavimento, así como, en el servicio que prestan al público, es importante realizar la evaluación, donde se observa que el proceso de deterioro se inicia inmediatamente después de la construcción. Las causas son las solicitaciones externas producidas por el tráfico y los agentes climáticos.

Observando que la carretera en estudio se encuentra en total descuido, se opta por estabilizar el suelo (sub rasante) con cemento, así mismo material de cantera dentro de la zona y estabilizar los mismos, buscando un óptimo porcentaje de cemento que ayude en costos, transporte, etc., así de esta manera el suelo encuentre una estructura adecuada y mejorada, brindando un mejor transporte público entre ambos distritos; es por esta razón, que, a fin de revertir esta realidad, el autor, conjuntamente con la población y la Municipalidad Distrital de Juan Guerra, asumen la tarea de materializar el presente proyecto de investigación: MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA VECINAL JUAN GUERRA-BELLO HORIZONTE CON ESTABILIZACION DE SUELO CEMENTO DEL TERRENO DE FUNDACION Y CAPA DE AFIRMADO, DISTRITO DE JUAN GUERRA, PROVINCIA DE SAN MARTIN, REGION SAN MARTIN.

Asimismo, poner a disposición de la Universidad Nacional de San Martín un trabajo de investigación que servirá como base a futuros proyectos viales ligados al desarrollo de los pueblos, por medio de esto lograr que se creen carreteras vecinales dentro de nuestra provincia utilizando el material poco usado como lo es el suelo – cemento.

1.1. Generalidades

Ante la necesidad del distrito de Juan Guerra y la Localidad de Bello Horizonte, perteneciente al distrito de la Banda de Shilcayo, de contar con una vía terrestre que permita el tránsito vehicular y facilite el transporte de pasajeros y la producción en busca de nuevos y mejores, surge la preocupación y el interés por el mejoramiento y rehabilitación de la carretera vecinal que los une.

En consecuencia, el deterioro del pavimento es un proceso progresivo, por lo cual es necesario realizar una gestión de mantenimiento en base a acciones de conservación o rehabilitación; dependiendo si las fallas están afectando la condición funcional o estructural del pavimento.

Esta investigación servirá para un aporte y contribución a la sociedad, consciente de la problemática vial que hay dentro de la Provincia y Región San Martin, particularmente dentro de las zonas rurales. Este aporte consiste básicamente en una propuesta que comprende comparar la estabilización de la sub rasante y materiales de cantera con cemento, buscando porcentajes óptimos que ayuden a encontrar una mejor estructura del afirmado, minimizando costos, transporte de material, etc.

1.2. Exploración preliminar orientando la investigación

La información exploratoria recabada de la zona de estudio muestra que existe la aspiración de las autoridades representativas del distrito de avanzar hacia un proceso de transformación a mediano y largo plazo, de forma que, con la solución al problema vial se tenga un espacio urbano con todas las condiciones necesarias para la vida de las personas, mucho más si se tiene en cuenta que la expansión de la zona urbana de Tarapoto avanza hacia los distritos aledaños, es así que los centros poblados cercanos a Juan Guerra, experimentan también un crecimiento importante de su zona urbana y se proyectan a tener mayor y mejor conectividad con las zonas y distritos aledaños.

Por tal razón es un sentir ciudadano que está siendo recogido por la autoridad local, que Juan Guerra aborde la necesidad de un plan de desarrollo vial, con el mejoramiento de pistas, veredas, cunetas y caminos de acceso a distritos y centros poblados aledaños, que brinde las necesarias condiciones de transitabilidad a los pobladores y vehículos, mucho más en periodos de lluvias.

En este marco de necesidades desde el gobierno local de juan guerra se viene gestionando ante el Gobierno Central, la realización de obras viales en la ciudad, por lo que se propone el presente proyecto, como trabajo de Tesis, denominando: MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA VECINAL JUAN GUERRA-BELLO HORIZONTE CON ESTABILIZACIÓN DE SUELO CEMENTO DEL TERRENO DE FUNDACIÓN Y CAPA DE AFIRMADO, DISTRITO DE JUAN GUERRA, PROVINCIA DE SAN MARTIN, REGION SAN MARTIN.

1.3. Aspectos generales del estudio

1.3.1. Características generales

1.3.1.1. Ubicación geográfica y política

Políticamente el proyecto de tesis se ubica en la jurisdicción del distrito de Juan Guerra, provincia de San Martin, departamento de San Martin, región San Martin.

Región	:	San Martin
Departamento	:	San Martin
Provincia	:	San Martin
Distrito	:	Juan Guerra - Banda de Shilcayo
Localidades	:	Juan Guerra - Bello Horizonte
Altitud promedio	:	226 m.s.n.m

Geográficamente el proyecto se encuentra ubicado en:

Región geográfica	:	Selva
Este	:	0353829 m
Norte	:	9271843 m
Altitud	:	226 m.s.n.m

El tramo de estudio se encuentra en el tramo Carretera vecinal Juan Guerra - Bello Horizonte, distrito de Juan Guerra, provincia de San Martin, región de San Martin, a una altitud promedio de 226 m.s.n.m, al inicio del proyecto, terminando con una altitud de 302 m.s.n.m

Geopolíticamente se ubica entre las coordenadas UTM:

ESTE = 0353829 m

NORTE = 9271843 m

El proyecto tiene una longitud de 8+520 km, el inicio del Proyecto se encuentra en la intersección de la carretera Fernando Belaunde Terry-Sur con Jr. Vencedores de Comainas en el distrito de Juan Guerra, progresiva 0+000 km, siendo el final del Proyecto la progresiva 8+520 km al costado del campo de fútbol del centro poblado de Bello Horizonte.

Figura 1. Ubicación en el país del departamento de San Martin. (Fuente: Google Maps – Adaptado).

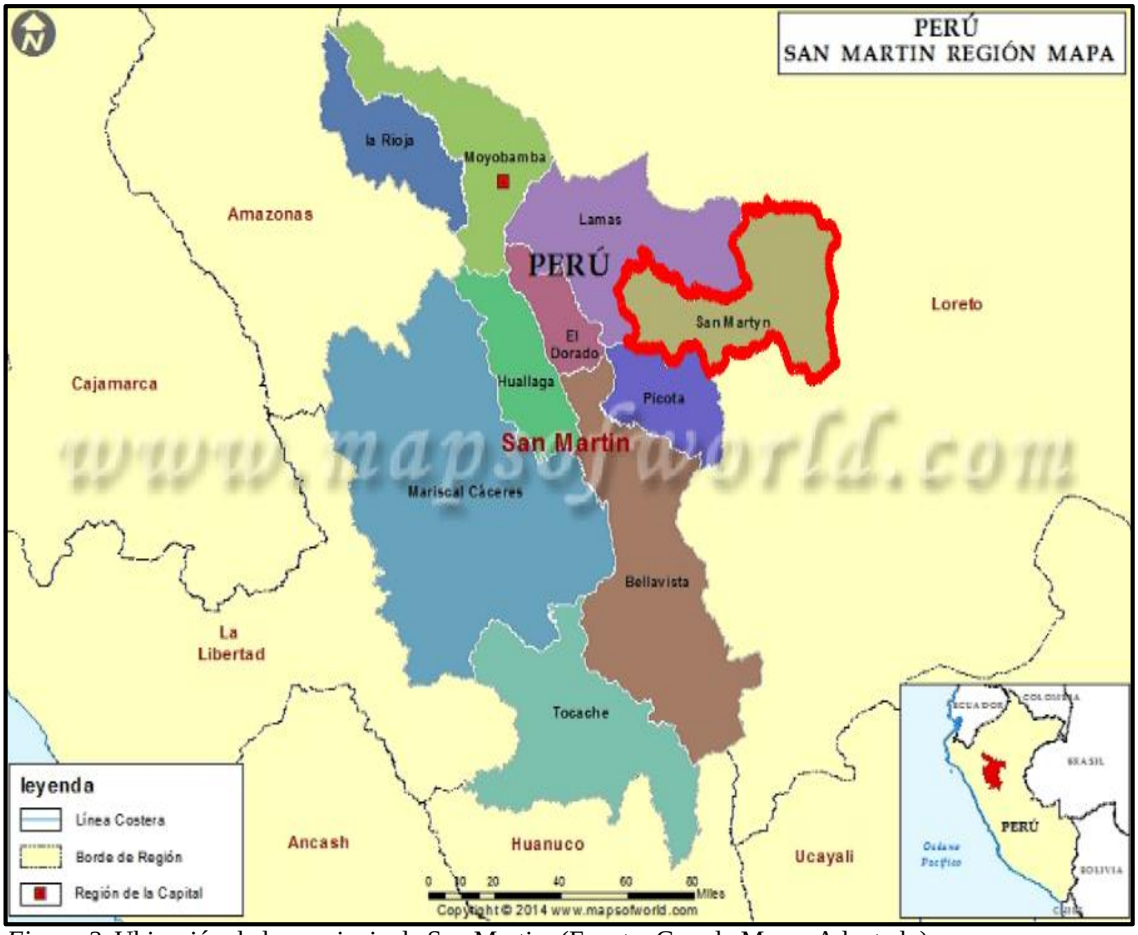


Figura 2. Ubicación de la provincia de San Martin. (Fuente: Google Maps- Adaptado).

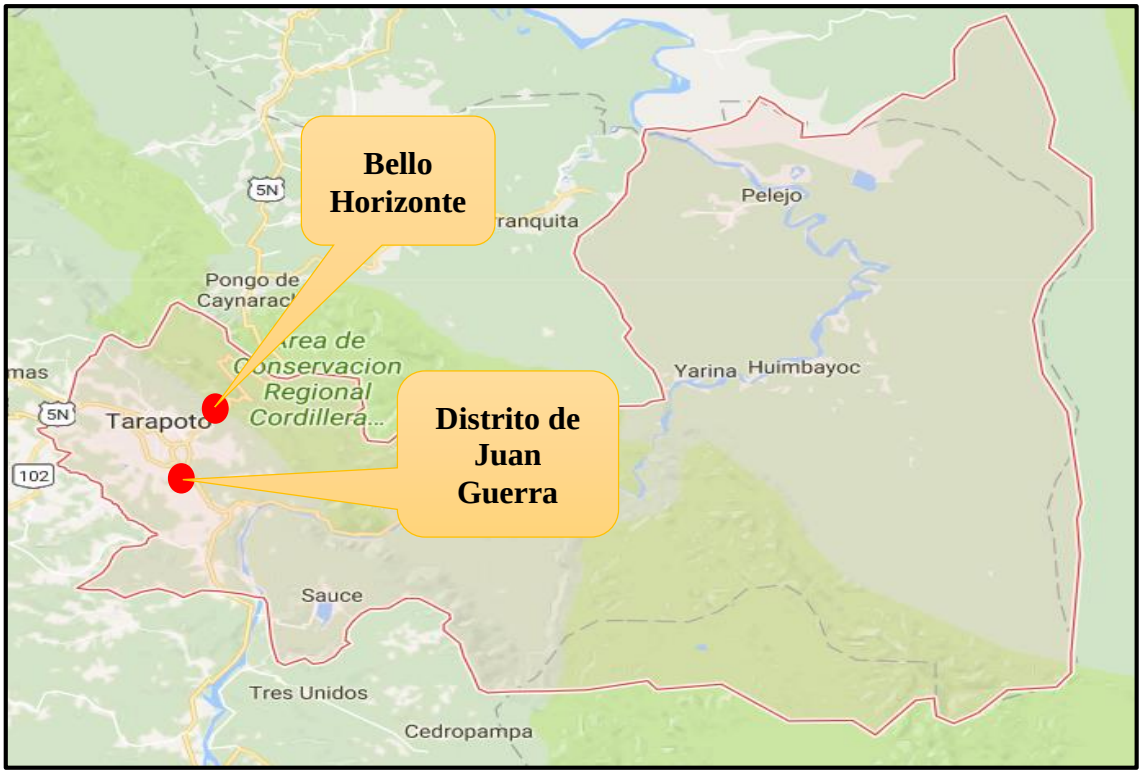


Figura 3. Ubicación del distrito de Juan Guerra y Centro Poblado Bello Horizonte. (Fuente: Google Maps- Adaptado).

Figura 4. Ubicación del tramo en estudio. (Fuente: Google Maps- Adaptado).

1.3.1.2. Características geográficas y topográficas

Topografía

El área en estudio presenta una topografía variable; es decir se pueden apreciar pendiente ligeramente plana al inicio, en la parte final semi plano.

Factores climáticos e hidrológicos

Climatología

El clima es uno de los principales factores que condicionan las costumbres de las poblaciones. El clima predominante de la zona en estudio es “Tropical permanente húmedo y cálido, sin exceso de agua en verano”, durante el año y con una concentración térmica normal.

Precipitaciones

El promedio de las precipitaciones pluviales totales anual de este tipo climático, varía entre los 1000 y 1400 mm., con promedio de 1213 mm. En general, las mayores precipitaciones se presentan entre los meses de octubre (a veces septiembre) y abril, siempre marzo el que registra el valor más elevado.

El número de días de lluvia a lo largo del año en esta zona, varía entre 88 mm. Y 116 mm. El número de días de lluvia al mes, varía entre un mínimo de 6mm. Y un máximo de 13 mm.

Finalmente, el promedio de precipitaciones por día de lluvia varía entre un mínimo de 9 mm. Y un máximo de 13 mm; sin embargo, los registros de precipitaciones máxima en 24 horas alcanzan valores que oscilan entre 87 mm y 170mm.

Siendo las precipitaciones medias anual en el distrito de Juan Guerra de 1213mm.

Temperatura

Las temperaturas que corresponde a este tipo climático (elaborado en base a la información de las estaciones de Tarapoto, Juan Guerra y otros) fluctúan entre 24ºC Y 26ºC; donde el promedio anual más alto de temperatura alcanza valores entre 27.1ºC (diciembre) y 27. 3º C (diciembre y enero) respectivamente, siendo su oscilación media anual muy estrecha, que alcanza valores entre 1.5ºC y 1. 9º C a lo largo del año.

El Distrito de Juan Guerra presenta una temperatura máxima de 33º C, y la temperatura mínima registrada es de 13.3ºC, con un promedio de 25ºC.

De los datos evaluados se concluyen que la temperatura media de todos los meses superior a los 23º Celsius y las precipitaciones superan los 900 mm., con lluvias de mayor frecuencia e intensidad en épocas invierno de noviembre a abril.

Vientos

Este factor climático presenta una característica especial dentro de la zona en estudio: Las estaciones de El porvenir, Tarapoto, Juan Guerra, registra un viento persistente de dirección Norte de Velocidad media de 4.60 Km. /hora y, en menor porcentaje de dirección Sur con velocidad media de 6.3 Km/hora, durante todo el año.

No se descarta, la ocurrencia esporádica de vientos fuertes y acompañados por fuertes precipitaciones, de consecuencias funestas.

Humedad relativa

La humedad relativa considerada como la cantidad de humedad en el aire, comparado con la que el aire puede mantener a esa temperatura, registra el valor de: 78.05%.

1.3.1.3. Área de influencia

El área de influencia, está constituida por todas aquellas zonas cuyas características productivas y socioeconómicas, y la disponibilidad de infraestructura de transporte, generan tráficos que pueden orientarse hacia el camino vecinal en estudio. Este acceso de tráfico se realiza a través de los denominados accesos o caminos de Herradura que se extienden hacia las zonas circundantes, de las cuales la vía principal constituye el camino vecinal en estudio como el único y/o principal medio de transporte para su integración con el resto de la economía.

1.3.1.4. Situación actual de la vía

Actualmente el Camino Vecinal Juan Guerra – Bello Horizonte se encuentra en mal estado de conservación debido a que en tiempos de lluvias es intransitable, también debido a que en gran parte del camino el tipo de suelo es arcilloso, lo que contribuye a demoras en los tiempos y altos costos para el transporte de los productos agrícolas, transporte de personas, y otros tipos de carga y mercadería.

Esta situación viene afectando la economía local debido al mal estado en que se encuentra esta vía, hace que la producción local, en gran parte ganadería, hacia los mercados locales sea limitada, afectando severamente a los pobladores del distrito de Juan Guerra y del centro poblado Bello Horizonte, conllevando a pérdidas económicas, atrasos y bajo nivel de vida.

Es por ello, nuestro trabajo de investigación se orienta a generar condiciones viales favorables, proponiendo una vía estabilizada con cemento que garantice un servicio eficiente, ahorrando tiempo y costos de transporte a precios sociales para las zonas afectadas.

1.3.1.5. Vías de acceso

Para dirigirnos a la Localidad de **Juan Guerra**, se debe tomar como punto de partida la cuidad de **Tarapoto,** para luego dirigirnos por la carretera asfaltada Fernando Belaunde Terry Sur, hasta llegar a la localidad de Juan Guerra, con una distancia aproximada de 13 Km, lugar donde se encuentra el inicio del proyecto.

1.3.1.6. Población beneficiada

Los beneficiados directos del presente Proyecto son los pobladores del distrito de Juan Guerra y del centro poblado Bello Horizonte, perteneciente al distrito de la Banda de

Shilcayo, de acuerdo a la información del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), censo realizado el año 2,015, la población en el área de estudio es de 3,762 habitantes, con una tasa de crecimiento anual de 2.60%.

Tabla 1
Población beneficiaria

Población	Cantidad
Juan Guerra	3,117
Bello Horizonte	645
Total	**3,762**

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI)

1.3.2. Estudios especiales preliminares

1.3.2.1. Reconocimiento de la zona de estudio

El reconocimiento constituye uno de los aspectos más importantes en el trazo de una carretera, en esta se define dos puntos fijos: el punto inicial y el punto final, entre estos se puede trazar un gran número de carreteras.

Para ello se fijó el punto inicial en el distrito de Juan Guerra cruce de la carretera Fernando Belaúnde Terry-Sur con el Jr. Vencedores de Comainas, progresiva 0+000 km, y el punto final se fijó al costado del campo de fútbol de Bello Horizonte, progresiva 8+520 km.

1.3.2.2. Estudio topográfico

El levantamiento topográfico es la primera fase del estudio técnico y descriptivo de un terreno. Se trata de examinar la superficie cuidadosamente teniendo en cuenta las características físicas, geográficas y geológicas del terreno, pero también las alteraciones existentes en el terreno y que se deban a la intervención del hombre (construcción de taludes, excavaciones, canteras, etc.)

El levantamiento topográfico de toda la carretera que se va a estabilizar, se realizó con la finalidad de recopilar la información topográfica respectiva y necesaria para elaborar el presente proyecto de tesis denominado MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA VECINAL JUAN GUERRA-BELLO HORIZONTE CON ESTABILIZACIÓN DE SUELO CEMENTO DEL TERRENO DE FUNDACIÓN Y CAPA DE AFIRMADO, DISTRITO DE JUAN GUERRA, PROVINCIA DE SAN MARTÍN, REGIÓN SAN MARTÍN.

1.3.2.3. Estudio hidrológico

El estudio hidrológico se basó en el estudio de fuentes de agua, consistió en la ubicación y la toma de muestra representativa de fuentes de agua a lo largo del tramo de la carretera en estudio. Las mismas que fueron remitidas al laboratorio, para los correspondientes ensayos de calidad.

1.3.2.4. Estudio de la geología del suelo del área de estudio

La presente descripción geológica plantea el reconocimiento de las principales formaciones del área del proyecto, sus características físicas, geográficas y estructurales.

La geología regional donde se establecerá el proyecto, carretera vecinal Juan Guerra - Bello Horizonte, está conformada dentro de la cuenca hidrográfica del Río Huallaga, donde destacan dos formaciones principales, la Formación Chambira (PN-ch) y la Formación Yahuarango (P-y). En el caso de la Formación Chambira (PN-ch), que forma parte del Grupo Contamana como una secuencia de lutitas rojas (lodolitas) con estratificaciones de areniscas gris o marrones indicando la presencia de limolitas calcáreas y concreciones la parte inferior; las areniscas son macizas con estratificación sesgada y de grano fino principalmente, en algunos casos forman escarpas prominentes en la quebrada de Chambira, afluente del río Cusbabatay en la provincia de Ucayali. En general hacia la llanura amazónica la Formación Chambira constituye relieves bajos con abundante cobertura cuaternaria; por el contrario, en el sector occidental, especialmente en el cuadrángulo Utcurarca, muestra una morfología de colíneas alargadas de regular altura en su composición, con buenas exposiciones a pesar de la cobertura vegetal.

En cuanto la Formación Yahuarango (P-y) aflora en sector oriental de la cuenca, al Este del alineamiento Tarapoto-Pilluana, a lo largo del río Misquiyacu, continua hacia al Noroeste como una franja que pasa al Este de Shapaja hasta el río Cumbaza. Otra franja de afloramientos se encuentra desde Malpaso a Yuracyacu en el Huallaga, pasando por Chazuta y continuando hacia el Noroeste de modo que se le observa en el corte de la carretera Tarapoto-Yurimaguas.

La litología y grosor, de estas capas rojas de la Formación Yahuarango generan terrenos de relieve suave con una coloración roja oscura características; además de las lodolitas, areniscas y limolitas rojo púrpura existen esporádicamente algunas grises, venillas de yeso y ocasionalmente niveles de concreciones calcáreas y silíceas.

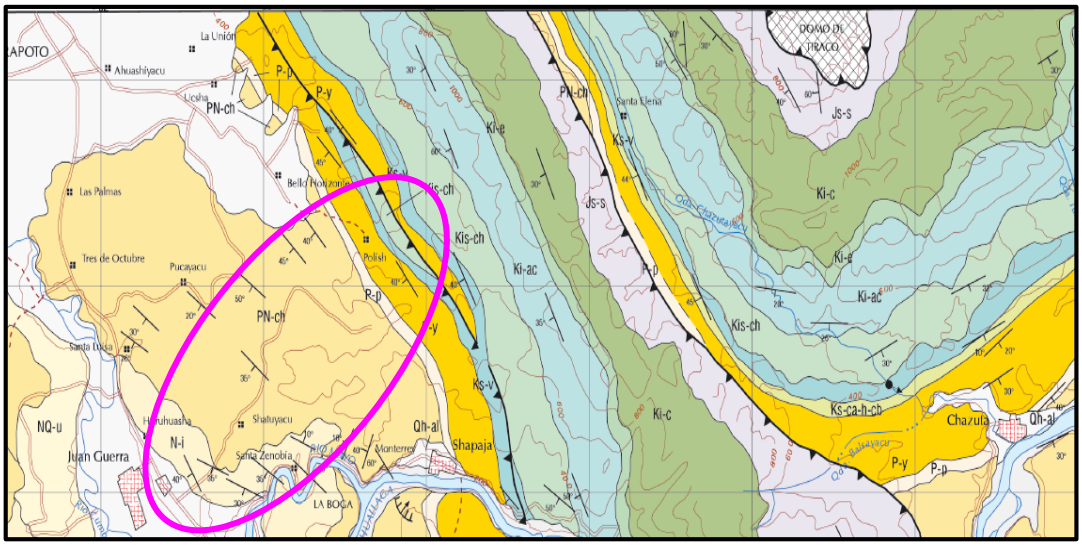


Figura 5. Geología General de la zona de Proyecto. (Fuente: INGEMMET- Mapa geológico del cuadrángulo de Utcurarca 14k).

1.3.2.5. Estudio de mecánica de suelos

El propósito de la investigación del suelo del área de estudio, ubicada en el Distrito de Juan Guerra – Carretera vecinal, Tramo= Juan Guerra - Bello Horizonte, se realizó con fines de determinar las propiedades físicas, mecánicas del suelo de fundación. Realizando estudios del subsuelo, se determinan valores admisibles aplicables para la sobre carga, debido a la estructura por construir. Así mismo se determina el asentamiento, o sea el efecto que produce la carga de la estructura del pavimento, las vibraciones y otros factores de los cuales se debe conocer, no solamente la magnitud sino también el desarrollo de los asentamientos según el trascurso del tiempo, para poder establecer el comportamiento de los suelos con la finalidad de conocer sus características. Se utilizó el método de exploración por excavaciones manualmente a cielos abiertos.

El objetivo principal del trabajo del proyecto de tesis, es estudiar el comportamiento de un suelo a través de su mejoramiento con la adición de cemento, proporcionándoles características de capacidad de carga y estabilización volumétrica, contribuyendo de esta forma, para el establecimiento de una base conceptual y experimental para el desarrollo futuro de modelos teórico-matemáticos que posibiliten la previsión del desempeño mecánico de tales materiales en obras reales de ingeniería con satisfactoria confiabilidad. Específicamente, el estudio es sobre el comportamiento de la sub-rasante y materiales de cantera (cerro natural y ríos), estabilizada con suelo-cemento y su relación, con la obtención a partir de ensayos de laboratorio (ensayos de CBR), y de la investigación con correlaciones existentes.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes, planteamiento, delimitación y formulación del problema a resolver

2.1.1. Antecedentes del problema

En nuestra región San Martín, al igual que otras regiones del Perú con cierto desarrollo industrial y comercial, se ha constituido en el destino de una corriente migratoria proveniente de varias ciudades del país buscando mejores condiciones de vida.

En el distrito de Juan Guerra y centro poblado Bello Horizonte, distrito de la Banda de Shilcayo, provincia de San Martin, el crecimiento poblacional aumenta cada día de una manera acelerada generando un crecimiento desmesurado que tarde o temprano conlleve a que el acceso de un lugar a otro sea continuo. La carretera vecinal del distrito de Juan Guerra hacia el centro poblado Bello Horizonte de 8.520 km, no cuenta con un buen estudio de mecánica de suelos y adecuado mejoramiento de la carretera, de esta manera hace que el acceso sea dificultoso aún más en épocas de lluvia. Por lo tanto, en la construcción de un acceso rural, un componente indispensable es el estudio de mecánica de suelos, puesto que guiará a que el pavimento se apoye en suelos de características competentes y con el sistema más apropiado para que las cargas se transmitan al suelo de manera óptima.

Los estudios de mecánica de suelos en carreteras permiten establecer las características físicas y mecánicas en las cuales se apoyará el pavimento, pues, se debe realizar siempre un estudio serio y confiable sobre la cual se construirá. En caso que no se realizaran los estudios de mecánica de suelos con el tiempo pueden tener problemas, los cuales son muy difíciles de reparar estando ya la construcción terminada.

Realizar un estudio de mecánica de suelos preliminar, permite identificar las zonas más adecuadas para la construcción, con valores destacados de capacidad de carga del suelo y de hecho posibilita descartar zonas específicas con suelos de pobres características y en su defecto asignarlos para áreas verdes o espacios recreacionales, en vista que en zonas de parques no se requiere valores importantes de capacidad de carga del suelo.

La base de toda obra de construcción civil, por más grande o pequeña que sea, se encuentra en los cimientos teniendo como medio de fundación el suelo, y si este suelo en su composición interna es adecuado para construir se puede lograr una disminución de costos

en movimientos de tierras, sustitución de suelos, menor compactación y además un mayor margen de seguridad.

Un estudio de mecánica de suelos en la carretera vecinal que une el distrito de Juan Guerra y el centro poblado de Bello Horizonte nos permitirá conocer las características físicas y geológicas del suelo, desde la secuencia litológica, las diferentes capas y su espesor, la profundidad del nivel del agua subterránea, hasta la capacidad de resistencia de un suelo o una roca.

Teniendo en cuenta la importancia del estudio de mecánica de suelos en la construcción de obras de construcción civil, se ha tomado la decisión de realizar el presente trabajo de investigación con la finalidad de rehabilitar y mejorar la carretera vecinal del distrito de Juan Guerra hacia el centro poblado de Bello Horizonte, distrito de la Banda de Shilcayo, provincia de San Martin.

2.1.2. Planteamiento del problema

Al realizar esta investigación en la carretera vecinal de 8.520 km, que une Juan Guerra y Bello Horizonte se busca el fortalecimiento de dicho suelo estabilizado con cemento, para que cuenten con una vía eficiente que la integren con otros pueblos y mercados para comercializar sus productos, que constituye no solo mejora para la ciudad, sino también para mejorar su calidad de vida del poblador.

Esta estabilización de suelo cemento representa un material innovador en el campo de la construcción que podría generar significativos ahorros en costo y tiempo, y así misma beneficiaria a los pobladores de Juan Guerra y Bello Horizonte.

2.1.3. Delimitación del problema

2.1.3.1. Delimitación espacial

El área de estudio corresponde a la carretera vecinal que une al distrito de Juan Guerra con el centro poblado Bello Horizonte, en la provincia de San Martín, región San Martín. Se tomarán zonas específicas representativas para el estudio dentro de la misma

2.1.3.2. Delimitación temporal

El tiempo de desarrollo del proyecto se prevé para el periodo comprendido entre el año 2016 y 2017.

2.1.3.3. Campo científico y profesional

El proyecto sigue un enfoque cuantitativo, centrándose en los datos que obtendremos, haciendo uso de las matemáticas, estadísticas y otros.

El desarrollo de este proyecto está incluido en la carrera de la ingeniería civil, específicamente en el área de Transportes.

2.1.4. Formulación del problema a resolver

¿Cuál es el efecto de la aplicación de suelo-cemento, según material de canteras, en el terreno de fundación y capa de afirmado para el mejoramiento y rehabilitación de la carretera vecinal Juan Guerra- Bello Horizonte, distrito de Juan Guerra, provincia de San Martin, región San Martin?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general.

Determinar el efecto de la aplicación de suelo-cemento previo estudio de canteras, en el terreno de fundación y capa de afirmado para el mejoramiento de la carretera vecinal Juan Guerra-Bello Horizonte.

2.2.2. Objetivos específicos.

Identificar las propiedades físicas y mecánicas del terreno de fundación y capa de afirmado que tiene en la actualidad la carretera vecinal Juan Guerra – Bello Horizonte, a través de trabajos de campo y estudios de laboratorio.

Evaluar las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los materiales existentes en las canteras ubicadas en zonas cercanas al área de estudio, como las de: Sector Las Flores y Sector San Fernando

Evaluar las propiedades físicas, mecánicas y químicas de las canteras rio Mayo y rio Cumbaza, para su uso en el terreno de fundación y capa de afirmado de la carretera vecinal Juan Guerra – Bello Horizonte.

Determinar las propiedades estructurales del suelo cemento con la adición de material de las canteras estudiadas, a través de ensayos de laboratorio.

Determinar los espesores de diseño y composición estructural del terreno de fundación y capa de afirmado para la carretera vecinal Juan Guerra – Bello Horizonte, a partir de los factores analizados.

2.3.Justificación de la investigación

2.3.1. Justificación teórica

La investigación se sustenta en los fundamentos teóricos de mecánica de suelos y tecnología de materiales para partir de los trabajos de reconocimiento del terreno y ensayos de campo hasta la interpretación de los datos obtenidos en los procedimientos de laboratorio.

Se toma como base normativa, los manuales de carreteras, reglamentos y normas técnicas aprobadas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.

2.3.2. Justificación metodológica

El estudio realizado se sustenta en los procedimientos metodológicos de la investigación que permiten experimentar la alternativa técnica de mejoramiento vial, para lo cual el uso de las operaciones de campo y laboratorio han estado orientadas por un diseño de investigación acorde con los propósitos a lograr con la investigación.

Se han utilizado técnicas e instrumentos experimentales debidamente calibrados que garantizan datos resultantes válidos y confiables.

2.4.Delimitación de la investigación

La investigación está limitada en los parámetros de una investigación experimental que permiten manipular la variable aplicación de suelo-cemento, en los ensayos de laboratorio de suelos y concreto, para evaluar su comportamiento en el mejoramiento de la carretera vecinal Juan Guerra-Bello Horizonte.

Los resultados de la investigación alcanzan sus límites hasta el nivel propositivo de la alternativa técnica estudiada, materializada en los estudios técnicos realizados, quedando a disposición de las autoridades locales los procesos de gestión para materializar su ejecución práctica

2.5. Marco teórico o fundamentación teórica de la investigación

2.5.1. Antecedentes de la investigación

Para la elaboración del estudio de mecánica de suelos, evaluación para el mejoramiento y rehabilitación se tomó en cuenta diversos estudios realizados dentro y fuera del país, así también en la región San Martin.

Evaluación del mejoramiento de suelos arcillosos empleando material suelo-cemento.

Se encontraron 3 parámetros los cuales no logran cumplir con la norma, estos son el límite líquido, el índice plástico y el VRS especificados, y por lo tanto se procede a realizar un mejoramiento del suelo mediante la adición de la cal y del cemento, con esto evaluar cuál de las dos mejoras considerablemente las propiedades, así como el porcentaje de adición requerido para que los parámetros caigan dentro de especificaciones.

Con los resultados obtenidos en la mezcla del suelo con cal para el caso del Límite Líquido, se obtuvieron todos los valores en los diferentes porcentajes por arriba del 30% especificado, por lo que podemos concluir que la acción de la cal con el tipo de suelo encontrado no presenta buen desempeño para mejorar este parámetro.

Evaluación técnica y de costos de la utilización de material suelo– cemento con respecto a la utilización de materiales de relleno sub base y base tipo invias.

Se determinaron los requerimientos dados en los APUS del INVIAS para la sub base granular, la base granular y la Base Estabilizada con cemento, a través de la cual se pudieron realizar la proyección de los precios unitarios del suelo estabilizado con cemento. Se generó el APU del suelo estabilizado con cemento, teniendo en cuenta la utilización de material In Situ y de Material de afirmado. El APU de cada uno de los materiales está proyectado de acuerdo a la cantidad de cemento y a rendimientos típicos para cada actividad.

Correlación del módulo de elasticidad dinámico, resistencia a la compresión y coeficiente de capa en bases de suelo cemento.

De acuerdo a la investigación realizada podemos concluir que las capas de suelo cemento utilizadas como bases o sub bases en pavimentos funcionan similares a losas, teniendo en cuenta que su resistencia es menor. Esto permite mayor estabilidad y una distribución más uniforme de las cargas de tráfico hacia la sub rasante, este desempeño estructural de la capa

estabilizada con cemento se traduce, en el proceso de diseño, en un menor requerimiento estructural, lo que reduce apreciablemente los espesores de la capa de rodadura comparado con lo que se necesitaría si se utilizara una capa de suelo granular sin estabilizar.

Análisis de la fatiga de bases estabilizadas con suelo cemento en rutas de bajo tránsito.

Al ensayar los materiales e interpretar los resultados obtenidos en esta etapa, se establece una metodología para ensayar suelos en la máquina de carga cíclicas, de tal forma de que se puedan validar diseños considerando las cargas de fatiga de materiales granulares. Se logra, además, establecer una cantidad N de ciclos que valida el método. De las proyecciones de este trabajo de titulación, se considera este ensayo como el punto de partida para calibrar la máquina y utilizarla para normalizar el ensayo por fatiga y a futuro, diseñar mezclas de materiales teniendo en cuenta la fatiga, lo que se traduciría en posibles bajas en los costos de construcción al optimizar las dosificaciones de los materiales, producto de simulación a condiciones reales de trabajo.

Zonificación de la capacidad portante del distrito de la Banda de Shilcayo.

Concluyendo que: los suelos predominantes en la Banda de Shilcayo se comportan como suelos medianamente permeables y que en épocas de grandes precipitaciones pluviales se producen infiltraciones, que relacionado a eventos sísmicos de gran magnitud se pueden presentar procesos de licuefacción de arenas y como consecuencia se producen asentamientos diferenciales.

2.5.2. Fundamentación teórica de la investigación

2.5.2.1. Bases teóricas

El estudio se ubica en la tipología de carreteras vecinales no pavimentadas de bajo volumen de tránsito, con superficie de rodadura afirmada, que según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), corresponde a aquellas que están constituida por materiales granulares naturales provenientes de canteras, excedentes de excavaciones o materiales que se ajustan a determinadas especificaciones técnicas en relación con su tamaño, su composición granulométrica, su resistencia y su calidad de finos.

Por sus características de exposición a diversos factores naturales, este tipo de carreteras están sujetas a procesos permanentes de mejoramiento que les permita adecuadas

condiciones de transitabilidad, para lo cual se requiere de la aplicación de determinados procesos técnicos en el diseño del afirmado.

2.5.2.1.1. Estudio de tráfico

En Ingeniería civil, un estudio de tráfico vehicular comprende la cuantificación, clasificación y conocimiento del volumen de los vehículos que se movilizan por una vía, como información indispensable para el diseño de carreteras. Su importancia radica en la consideración de los usuarios de la vía a diseñar; así lo considera Fernández Aguilera (2011) cuando afirma que el tránsito es la circulación de personas, algunas de ellas en vehículos, por el espacio público. Esto implica que más allá de ser un fenómeno físico que requiere ser entendido, debe ser puesto al servicio de la sociedad y, en especial, de las personas más vulnerables: peatones, niños, ancianos y personas con discapacidad.

Según el Manual de carreteras. Suelos, geología, geotecnia y pavimentos del MTC (2014-a), el estudio de tráfico deberá proporcionar la información del índice medio diario anual (IMDA) para cada tramo vial materia de un estudio. Es conveniente para ello que los Términos de Referencia de cada estudio ya proporcionen la identificación de los tramos homogéneos.

Por tanto, los estudios de tráfico se enfocan en el movimiento de vehículos de pasajeros de carga que circulan en un tramo de la carretera, empleando conteos volumétricos para estimar el Índice Medio Diario Anual.

Índice medio diario anual

El MTC (2014-b), en el Manual de Carreteras: Diseño Geométrico, considera que el Índice medio diario anual (IMDA) representa el promedio aritmético de los volúmenes diarios para todos los días del año, previsible o existente en una sección dada de la vía. Su conocimiento da una idea cuantitativa de la importancia de la vía en la sección considerada y permite realizar los cálculos de factibilidad económica.

Los valores de IMDA para tramos específicos de carretera, proporcionan al proyectista, la información necesaria para determinar las características de diseño de la carretera, su clasificación y desarrollar los programas de mejoras y mantenimiento. Los valores vehículo/día son importantes para evaluar los programas de seguridad y medir el servicio proporcionado por el transporte en carretera.

La carretera se diseña para un volumen de tránsito, que se determina como demanda diaria promedio a servir hasta el final del período de diseño, calculado como el número de vehículos promedio, que utilizan la vía por día actualmente y que se incrementa con una tasa de crecimiento anual.

Cálculo de la tasa de crecimiento y la población

Se puede calcular el crecimiento de transito utilizando una formula simple:

$Tn = To\ (1+i)n-1$……...(1)

En la que:

Tn = Tránsito proyectado al año "n" en veh/día.

To = Tránsito actual (año base) en veh/día.

n = Años del periodo de diseño.

i = Tasa anual de crecimiento del tránsito que se define en correlación con la dinámica de crecimiento socio-económico (tasa anual de crecimiento de la economía-PBI), normalmente entre 2% y 6% a criterio del equipo técnico.

Estas tasas pueden variar sustancialmente si existieran proyectos de desarrollo específicos por implementarse con certeza a corto plazo en la zona de la carretera.

Las proyecciones pueden también dividirse en dos partes: Una proyección para vehículos de pasajeros que crecerá aproximadamente al ritmo de la tasa de crecimiento de la población.

Y una proyección de vehículos de carga que crecerá aproximadamente con la tasa de crecimiento de la economía.

Ambos datos sobre índices de crecimiento normalmente obran en poder de la región.

La figura Nº 01 presenta las tasas de crecimiento del Producto Bruto Iterno en promedio anual a nivel departamental.

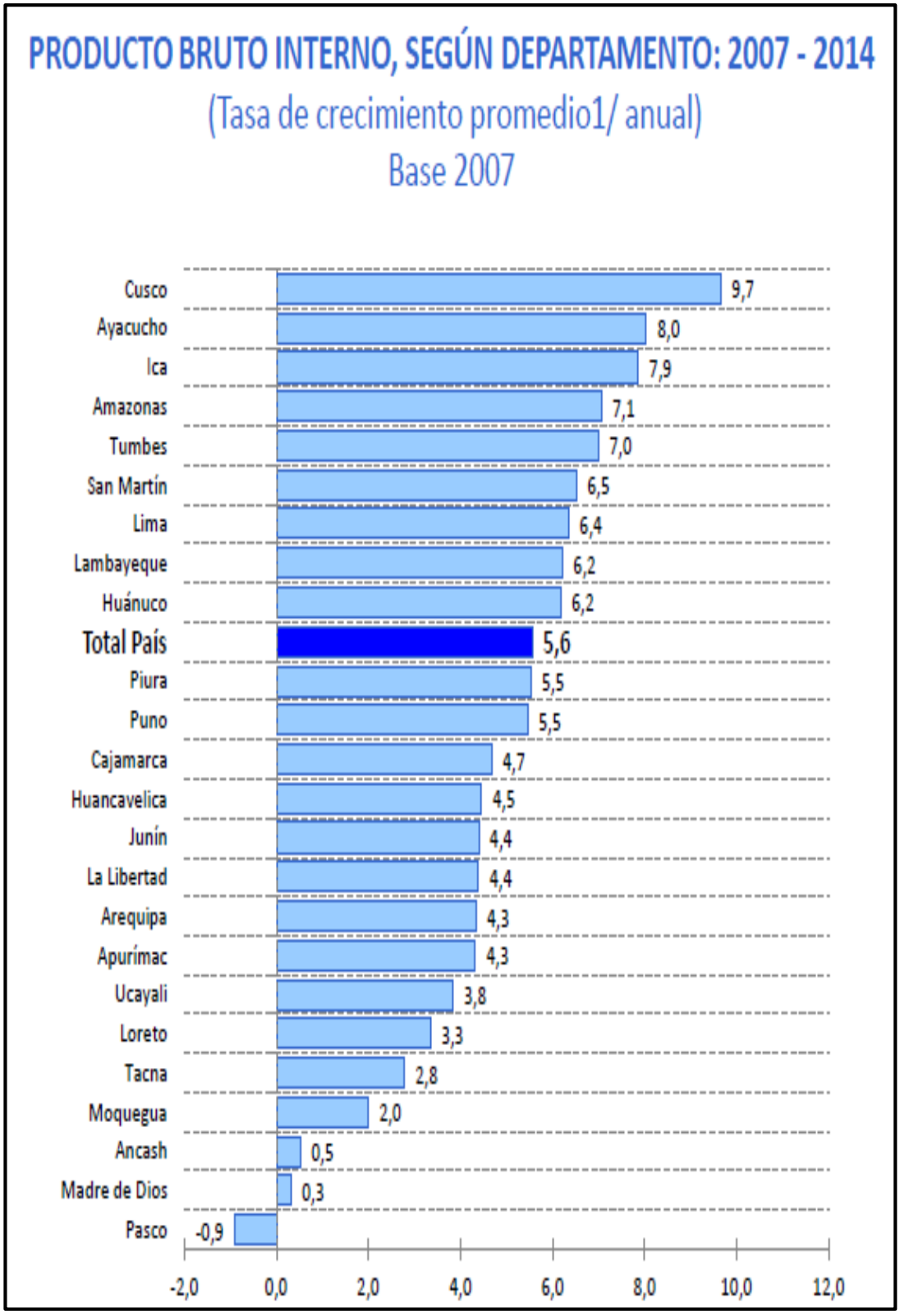


Gráfico 1. Tasas de crecimiento del PBI según departamentos. (Fuente: INEI (2014))

La tabla 2 proporciona el criterio para seleccionar el Factor de Crecimiento Acumulado (Fca.) para el periodo de diseño, considerando la tasa anual de crecimiento (r) y el periodo de análisis en años.

Tabla 2

Factor de crecimiento acumulado (Fca.) para el cálculo de número de repeticiones de EE.

Período de diseño, años (n)	**Tasa de crecimiento anual (g) en porcentaje**								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	2.02	2.03	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.09	2.10
3	3.06	3.09	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.28	3.31
4	4.12	4.19	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.58	4.64
5	5.20	5.31	5.42	5.53	5.54	5.75	5.87	5.99	6.11
6	6.31	6.47	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.53	7.72
7	7.43	7.67	7.9	8.14	8.39	8.65	8.92	9.21	9.49
8	8.58	8.90	9.21	9.55	9.90	10.28	10.64	11.04	11.44
9	9.75	10.17	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.04	13.58
10	10.95	11.48	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.22	15.94
11	12.17	12.83	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	17.59	18.53
12	13.41	14.22	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	20.18	21.38
13	14.68	15.66	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	23.01	24.52
14	15.97	17.13	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	26.09	27.97
15	17.29	18.66	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	29.46	31.77
16	18.64	20.23	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	33.14	35.95
17	20.01	21.86	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	37.15	40.55
18	21.41	23.53	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	41.53	45.60
19	22.54	25.11	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	46.31	51.16
20	24.30	27.04	29.78	33.06	36.79	41.00	45.78	51.53	57.28
21	25.85	29.00	32.15	35.99	40.40	45.45	51.25	58.37	65.49
22	27.39	30.96	34.53	38.93	44.02	49.90	56.71	65.21	73.71
23	28.94	32.92	36.90	41.86	47.63	54.35	62.18	72.05	81.92
24	30.48	34.88	39.28	44.80	51.25	58.80	67.64	78.89	90.14
25	32.03	36.84	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	85.73	98.35
26	33.74	39.14	44.54	51.47	59.70	69.49	81.14	96.36	111.58
27	35.44	41.43	47.42	55.21	64.54	75.73	89.18	106.99	124.81
28	37.15	43.73	50.31	58.96	69.38	81.98	97.21	117.62	138.03
29	38.85	46.02	53.19	62.70	74.22	88.22	105.25	128.25	151.26
30	40.56	48.32	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	138.89	164.49
31	42.45	51.02	59.59	71.22	85.53	103.22	125.09	155.44	185.80
32	44.33	53.72	63.11	75.99	92.01	111.97	136.90	172.00	207.10
33	46.22	56.42	66.62	80.77	98.48	120.73	148.70	188.56	228.41
34	48.10	59.12	70.14	85.54	104.96	129.48	160.51	205.11	249.71
35	49.99	61.82	73.65	90.32	111.43	138.24	172.32	221.67	271.02

Fuente: MTC (2008-b) Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito

$$\text{Factor Fca} = \frac{(1+r)^n - 1}{r} \quad \ldots\ldots\ldots\

Dónde: r = Tasa anual de crecimiento

n = Período de años

Tráfico

Desde el punto de vista del diseño del pavimento sólo tienen interés los vehículos pesados (buses y camiones), considerando como tales aquellos cuyo peso bruto excede de 2.5 toneladas. El resto de los vehículos que puedan circular con un peso inferior (motocicletas, automóviles y camionetas) provocan un efecto mínimo sobre el pavimento, por lo que no se tienen en cuenta en su cálculo.

El tráfico proyectado al año horizonte, se clasificará según lo siguiente:

Tabla 3
Tráfico proyectado al año horizonte

CLASE	T0	T1	T2	T3
IMDA (Total vehículos ambos sentidos)	<15	16 - 50	51 - 100	101 - 200
Vehículos pesados (carril de diseño)	<6	6 - 15	16 - 28	29 - 56
N° Rep. EE (carril de diseño)	$< 2.5x10^4$	$2.6x10^4 - 7.8x10^4$	$7.9x10^4 - 1.5x10^5$	$1.6x10^5 - 3.1x10^5$

Fuente: MTC (2008-b) Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito

Para la obtención de la clase de tráfico que circula para el tramo en estudio, se realizará lo siguiente:

Identificación de “sub tramos homogéneos” de la demanda.

Conteos de tráfico en ubicaciones acordadas con la Entidad y por un período mínimo de 3 días (1 día de semana+sábado+Domingo), de una semana que haya sido de circulación normal. Los conteos serán volumétricos y clasificados por tipo de vehículo.

El Estudio podrá ser complementado con información, de variaciones mensuales, proveniente de estaciones de conteo y/o pesaje del MTC, cercanas al tramo en estudio, que sea representativo de la variación de tránsito del proyecto.

Con los datos obtenidos se determinará el número de vehículos (IMDa) y la cantidad de vehículos pesados (buses+camiones) para el carril de diseño, suficientes para definir la clase tipo de tráfico. No obstante, será necesario obtener el Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes (EE) para el periodo de diseño.

El concepto de EE corresponde a la unidad normalizada por la AASHTO que representa el deterioro que causa en el pavimento un eje simple cargado con 8,16 toneladas. Para el cálculo de los factores destructivos por eje equivalente calculados se toma en cuenta el criterio simplificado de la metodología AASHTO, aplicando las siguientes relaciones:

Tabla 4
Relación de ejes equivalentes

Tipo de eje	Eje Equivalente EE 8.2tn
Eje simple de rueda simple	$[P/6.6]^{4}$
Eje simple de rueda doble	$[P/8.6]^{4}$
Eje tandem de rueda doble	$[P/15.1]^{4}$
Eje tridem de rueda doble	$[P/22.9]^{4}$
P = peso por eje en toneladas	-

Fuente: MTC (2008-b) Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito

En el cálculo de los EE, las llantas deberán tener una presión máxima de 80 psi pulg^2.
Para el cálculo del número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 t, se usará las siguientes expresiones por tipo de vehículo pesado, el resultado final será la sumatoria de los tipos de vehículos pesados considerados:

Nrep de EE 8.20 tn = $\sum$[$EE_{día\text{-}carril}$ x 365 x Fca]
$EE_{día\text{-}carril}$ = EE x Factor Direccional x Factor Carril
EE = Nº de vehículos según tipo x Factor de carga x Factor de presión de llantas

Donde:

Nrep de EE 8.20 tn = Número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.20 tn.
$EE_{día\text{-}carril}$ = Ejes equivalentes por día para el carril de diseño
365 = Número de días del año
EE = Ejes equivalentes
Fca = $\frac{(1+r)^n-1}{r}$
n = Período de años
r = Tasa anual de crecimiento
Factor direccional = 0.5, corresponde a caminos de dos direcciones por calzada

Factor carril = 1, corresponde a un carril por dirección o sentido

Factor de presión de llantas = 1, este valor se estima para los CBVT y con capa de revestimiento granular.

2.5.2.1.2. Estudio de mecánica de suelos.

Explorar e investigar el suelo es muy importante, porque por medio de esta podemos determinar las características del suelo a estudiar, así como para el correcto diseño de la estructura del pavimento. Si la información registrada y las muestras enviadas al laboratorio son representativas, los resultados de las pruebas aun con exigencias de precisión, no tendrán mayor sentido para los fines propuestos.

Para la exploración de suelos y rocas del terreno, se realizan exploraciones a cielos abiertos (calicatas) de 1.50 m. de profundidad mínima, separados cada 500 metros en forma alternada de tal forma que la información obtenida sea representativa. Ante esto se procederá a realizar el perfil estratigráfico de dichas calicatas para obtener luego las muestras inalteradas, colocadas en bolsas de polietileno, que serán trasladadas al laboratorio para los ensayos respectivos.

2.5.2.1.3. Diseño de afirmados

El afirmado de una carretera que no va a llevar otras capas de recubrimiento, según las especificaciones del MTC (2008-c), está clasificado en cuatro tipos de afirmado en función del Índice Medio Diario (IMD) de tráfico vehicular:

El AFIRMADO TIPO 1, corresponde a un material granular natural o grava seleccionada por zarandeo, con un índice de plasticidad hasta 9; excepcionalmente se podrá incrementar la plasticidad hasta 12, previa justificación técnica y aprobación del Supervisor. Se utilizará en los caminos de bajo volumen de tránsito, clases **T0 y T1, con IMD proyectado menor a 50 vehículos día.**

El AFIRMADO TIPO 2, corresponde a un material granular natural o de grava seleccionada por zarandeo, con un índice de plasticidad hasta 9; excepcionalmente se podrá incrementar la plasticidad hasta 12, previa justificación técnica y aprobación del Supervisor.

Se utilizará en los caminos de bajo volumen de tránsito, clase T2, con IMD proyectado entre 51 y 100 vehículos día.

El AFIRMADO TIPO 3, corresponde a un material granular natural o grava seleccionada por zarandeo o por chancado, con un índice de plasticidad hasta 9; excepcionalmente se podrá incrementar la plasticidad hasta 12, previa justificación técnica y aprobación del Supervisor. Se utilizará en los caminos de bajo volumen de tránsito, clase T3, con IMD proyectado entre 101 y 200 vehículos día

El AFIRMADO TIPO 4, corresponde a un material granular o grava seleccionada por chancado o trituración, en caso el material natural tenga caras fracturadas o aristas se podrá seleccionar mediante zarandeo, previa aprobación del Supervisor. El material debe tener un índice de plasticidad hasta 9, excepcionalmente se podrá incrementar la plasticidad hasta 12, previa justificación técnica y aprobación del Supervisor. Se utilizará en los caminos de bajo volumen de tránsito, clase T4, con IMD proyectado entre 201 y 400 vehículos día.

Para el diseño de afirmados, el MTC establece que para el dimensionamiento de los espesores de la capa de afirmado se adopte como representativa la siguiente ecuación del método NAASRA, (National Association of Australian State Road Authorities, hoy AUSTROADS) que relaciona el valor soporte del suelo (CBR) y la carga actuante sobre el afirmado.

El espesor total determinado, está compuesto por una capa de afirmado, por la granulometría del material y aspectos constructivos, el espesor de la capa de afirmado no será menor de 150mm.

$$e = [219 * 211 \times (\log 10 CBR) + 58 \times (\log 10 CBR)2] \times \log 10 (Nrep/120)$$

Donde:

e = espesor de la capa de afirmado en mm.

CBR = valor del CBR de la subrasante.

Nrep = número de repeticiones de EE para el carril de diseño.

En base a esta disposición normativa se podrán ajustar las secciones de afirmado en función de las condiciones y experiencias locales, para lo cual se analizará las condiciones de la sub rasante natural, la calidad de los materiales de las canteras, la demanda específica de tráfico en el tramo y se decidirá el espesor necesario de la nueva estructura de la capa granular de rodadura.

En caso de que el tramo tenga ya una capa de afirmado, se aprovechará el aporte estructural de la capa existente. Sólo se colocará el espesor de afirmado necesario para completar el espesor total obtenido según la metodología de diseño empleada.

Este espesor complementario no será menor a 100 mm. El nuevo material de afirmado se mezclará con el existente hasta homogenizarlo y conformar la nueva capa de afirmado, debidamente perfilada y compactada.

Para carreteras de muy bajo volumen de tránsito, menor a 50, se estudiarán y analizarán diferentes alternativas constructivas de capas granulares, incluyendo material granular, y estabilización con gravas. En el caso de no haber disponibilidades de gravas de fácil uso a distancias económicamente razonables, se podrá recurrir a procedimientos de estabilización de los suelos naturales, analizando económicamente alternativa como estabilización con cal, estabilización con sal, estabilización con cemento, estabilización química, según sea el caso.

En caso de que se requiriese proteger la superficie de los carreteras afirmadas para retardar su deterioro por razones de erosión y pérdidas de material, debido al tránsito y/o para evitar la presencia de polvo levantado por el tránsito que crea riesgos y deteriora el ambiente agrícola, podrá colocarse una capa protectora que podría ser una imprimación reforzada bituminosa o una capa superficial de afirmado con mayor índice de plasticidad que reemplazaría un espesor similar del afirmado diseñado o una estabilización con cloruros de sodio, de magnesio, u otros estabilizadores químicos

Terreno de fundación y capa de afirmado en la carretera

Entre los componentes de un camino, para el caso carreteras afirmadas, se tiene definida al terreno de fundación y capa de afirmado bajo los siguientes criterios

Según el MTC el terreno de fundación o sub rasante es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado.

La sub rasante es la capa superficial, de espesor usual entre 0.30 m y 0.45 m, sobre, la cual se apoya el afirmado.

Su capacidad de soporte en condiciones de servicio, junto con el tránsito y las características de los materiales de construcción de la superficie de rodadura, constituyen las variables básicas para el diseño del afirmado.

Se identificarán cinco categorías de subrasante:

Tabla 5
Capacidad de soporte de los suelos (CBR)

DESCRIPCIÓN	CBR %	CLASIFICACIÓN
Subrasante muy pobre	CBR < 3%	S0
Subrasante pobre	CBR = 3% - 5%	S1
Subrasante regular	CBR = 6 - 10%	S2
Subrasante buena	CBR = 11 - 19%	S3
Subrasante muy buena	CBR > 20%	S4

Fuente: MTC (2008-a) EG CBT

Se considerarán como materiales aptos para la coronación de la sub rasante suelos con CBR igual o mayor de 6%. En caso de ser menor se procederá a eliminar esa capa de material inadecuado y colocar un material granular con CBR mayor a 6%; o, se procederá a estabilizar esa capa superior de la sub rasante con un %. La profundidad mínima especificada de esta capa figura en el catálogo de estructuras de pavimento, que se presenta más adelante. Igualmente se estabilizarán las zonas húmedas locales y áreas blandas, añadiendo una capa de espesor mínimo de 0.30m de material grueso rocoso o de piedras grandes.

La superficie de la sub rasante debe quedar encima del nivel de la napa freática; como mínimo, a 0.60 m cuando se trate de una sub rasante muy buena y buena, a 0.80 m cuando se trate de una sub rasante regular, a 1.00 m cuando se trate de una sub rasante pobre y a 1.20 m cuando se trate de una sub rasante muy pobre.

En el caso de presentarse en la capa superior de la sub rasante (0.30 m – 0.45 m) suelos susceptibles al congelamiento, se reemplazará este suelo en el espesor indicado o se levantará la rasante, con un relleno granular adecuado, hasta el nivel necesario.

La capa de afirmado consiste en una capa compactada de material granular natural o procesada, con gradación específica que soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito. Debe poseer la cantidad apropiada de material fino cohesivo que permita mantener aglutinadas las partículas. Funciona como superficie de rodadura en caminos y carreteras no pavimentadas.

Para efectos del diseño del afirmado también se definirán sectores homogéneos, a lo largo de cada uno de ellos, donde las características del material de sub rasante se identifican como uniforme. Dicha uniformidad se establecerá sobre la base del Estudio del Suelo y de ser

necesario, la realización del muestreo. El proceso de sectorización requiere de análisis y criterio del especialista.

Composición y clasificación del suelo

Crespo Villalaz (1979), describe los suelos más comunes con los nombres generalmente utilizados por en la ingeniería civil para su identificación:

Gravas. son acumulaciones sueltas de fragmentos de rocas y que tiene más de dos milímetros de diámetro dado el origen. Cuando son acarreadas por el agua, las gravas sufren desgaste de sus aristas y son por lo tanto redondeadas.

Arenas. son granos finos procedentes de la denudación de las rocas o de su trituración artificial, y cuyas partículas varían entre 2mm y 0.05mm de diámetro.

Las arenas son materiales que, estando limpias, no se contraen al secarse, no son plásticas, son mucho menos comprensibles que la arcilla y se si aplica una carga en su superficie, se comprime casi instantáneamente.

Limos. El diámetro de las partículas de los limos está comprendido entre 0.05mm y 0.005mm.los limos sueltos y saturados son completamente inadecuados para soportar cargas por medio de zapatas.

Arcillas. se da el nombre de arcilla a las partículas sólidas con diámetro menor a 0.005mm y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mesclada con agua

Con referencia a las relaciones volumétricas y gravimétricas, Crespo Villalaz (1979), considera que: siendo un suelo medio poroso se le puede considerar formado, normalmente, por tres fases:

Fase sólida. formado por las partículas minerales o por las orgánicas, o por ambos tipos de partículas

Fase líquida. está llena formada por el agua libre específicamente, aunque en el suelo pueden existir otros líquidos de menor significación

Fase gaseosa. comprende sobre todo el aire, pero pueden estar presentes otros gases (vapores sulfurosos, anhídrido carbónico, etc.)

Sobre la clasificación de los suelos Crespo Villalaz (1979), afirma que “la gran variedad de suelos que se presentan en la naturaleza, ha permitido a la mecánica de Suelos desarrollar algunos métodos de clasificación de los mismos “cada uno de estos métodos tiene, prácticamente, su campo de aplicación según la necesidad y uso que los haya fundamentado y así se tiene la clasificación de los suelos según el tamaño de sus partículas, la clasificación de la asociación americana de funcionarios de caminos públicos .(American association stale highway officials). La clasificación de administración aeronautic civil(C.A.A.), el sistema unificado de la clasificación de suelos (S.U.C.S.).

Braja M. Das (2001), indica que los dos sistemas principales de clasificación actualmente en uso son (1) el sistema AASTHO (American Association of state High-way and transportation officialals) y (2) el Unified Soil classifications system (también ASTM). Así mismo Braja M. Das (2001), indica que el sistema de clasificación AASTHO se usa principalmente para clasificación de carreteras. No se usa en la construcción de cimentaciones.

Sistema AASTHO

Braja M. Das (2001), indica que el sistema de clasificación de suelos AASTHO fue propuesto originalmente por el Highway Research Boards Committee sobre la clasificación de materiales para subrasante caminos y caminos de tipo granular (1945).de acuerdo con la actual forma de este sistema, los suelos pueden clasificarse ocho grupos principales A-1 al A-8, en base a la distribución granulométrica, limite liquido e índice de plasticidad. Los suelos comprendidos en los grupos A-1, A-2, y A-3 son materiales de grano grueso y aquellos en los grupos A-4, A-5, A-6, A-7 son de grano fino. La turba, el lodo y en otros suelos altamente orgánicos quedan clasificados en el grupo A-8. Estos son identificados por inspección visual.

Para la valuación cuantitativa de conveniencia de un suelo como material para sub rasante de un camino, se desarrolló también un número denominado índice de grupo. Entre mayor es el valor del índice de grupo para un suelo, será menor el uso del suelo como sub rasante. Un índice de grupo de 20 o más indica un material muy pobre para ser usado al respecto.

Propiedades del suelo

Braja (2001), Indica que las propiedades geotécnicas del suelo, como la distribución del tamaño del grano, la plasticidad, la comprensibilidad y la resistencia por corte son necesarios para el cálculo de la resistencia del terreno y para estimar el comportamiento que tendrá al

trascurrir el tiempo, y puede ser determinados mediante apropiadas pruebas de laboratorio o por ensayos hecho en lugar a cimentar.

Para determinar las propiedades físicas y mecánicas de un suelo en el laboratorio de mecánica de suelos, Crespo Villalaz (1979), considera que es preciso contar con muestras representativas de dicho suelo. Un muestreo adecuado y representativo es de primordial importancia, pues tiene el mismo valor que los de los ensayos en sí. A menos que la muestra obtenida sea verdaderamente representativa de los materiales que se pretende usar, cualquier resultado del análisis de la muestra solo será aplicable a la propia muestra y no al material del cual procede, de aquí la imperiosa necesidad de que el muestreo sea efectuado por persona conocedora de su trabajo.

Las propiedades de los suelos se pueden agrupar de la siguiente forma:

Distribución granulométrica.

Crespo Villalaz (1979), hace mención que: el conocimiento de la composición granulométrica de un suelo grueso sirve para discernir sobre la influencia que puede tener en la densidad del material compactado. El análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad en porciento de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo.

Juárez Badillo – Rico Rodríguez (1984), explica lo siguiente: solamente los suelos gruesos, cuya granulometría puede determinarse por mallas, la distribución por tamaños puede revelar algo de lo referente a las propiedades físicas del material; en efecto, la experiencia indica que los suelos bien graduados, o sea con amplia gama de tamaños, tiene comportamiento ingenieril más favorable.

Para Martínez Quiroz (2010), granulometría es el estudio y determinación de los diferentes tamaños de las partículas de los suelos, la granulometría ofrece criterios que permiten encasillar a un suelo en sistemas de clasificación ampliamente difundidos con la posibilidad de poder utilizar experiencias de otras investigaciones.

Braja M. (2001), indica que “en cualquier masa de suelo, tamaño de los granos varían considerablemente. Para clasificar apropiadamente un suelo se debe conocer su distribución granulométrica. La distribución granulométrica de suelos de grano grueso es generalmente determinada mediante análisis granulométrico por mallas. Para suelo de grano fino, la

distribución granulométrica puede obtenerse por medio de análisis granulométrico por hidrómetro.

Densidad del suelo en el terreno

Medina Dávila (2008), nos indica que un suelo natural o compactado requiere la determinación de la densidad in situ. En la mayoría de los casos, esta determinación se realiza utilizando método del cono de arena.

El método cono de Arena, según el MTC E117, (2000), se realiza con los aparatos como el cono de arena, un recipiente cilíndrico de metal que continúa hacia abajo con un doble cono (uno mirando hacia abajo y el otro hacia arriba) y, como equipo, va acompañado de una placa metálica con una abertura al centro circular de igual; además de una placa metálica cuadrada o rectangular, balanzas y equipo de secado para determinar el contenido de humedad de la muestra extraída del hoyo

Plasticidad

La plasticidad, según Crespo Villalaz (1979), es la propiedad que presentan los suelos de poder deformarse, hasta cierto límite, sin romperse, por medio de ella se mide el comportamiento de los suelos en todas las épocas. Las arcillas presentan esta propiedad en grado variable. Para conocer la plasticidad de un suelo se hace uso de los límites de Atterberg.

Braja M. (2001), señala que "cuando un suelo arcilloso se mezcla con una cantidad excesiva de agua, este puede fluir como un semilíquido. Si el suelo es secado granulométricamente, se comportará como material plástico, semisólido o sólido dependiendo de su contenido de agua". Este, en por ciento, con el que el suelo cambia de un estado líquido a un estado plástico se define como límite líquido (LL).

Igualmente, los contenidos de agua, en por ciento, con el que el suelo cambia de un estado plástico a un semisólido y de un semisólido a un sólido se define como límite plástico (LP) y el límite de contracción (SL), respectivamente. Estos de denominan límites de atterbeg.

Crespo Villalaz (1979), indica que cuando no se puede determinar el límite plástico de un suelo, se dice que es no plástico (N.P.), y en este caso el índice plástico se dice que es igual a cero.

Así mismo Crespo Villalaz (1979), nos indica que según atterbetg, cuando un suelo tiene índice plástico (I.P.) igual a cero, el suelo es no plástico; cuando el índice plástico es menor de 7, el suelo presenta baja plasticidad; cuando el índice plástico está comprendido entre 7y 17 se dice que el suelo es medianamente plástico y cuando el suelo presenta índice plástico mayor de 17, se dice que es altamente plástico.

En el Perú el MTC considera que la Plasticidad: es la propiedad de estabilidad que representa los suelos hasta cierto límite de humedad sin disgregarse, por tanto, la plasticidad de un suelo depende, no de los elementos gruesos que contiene, sino únicamente de sus elementos finos. El análisis granulométrico no permite apreciar esta característica, por lo que es necesario determinar los Límites de Atterberg.

Los Límites de Atterberg establecen cuan sensible es el comportamiento de un suelo en relación con su contenido de humedad (agua), definiéndose los límites correspondientes a los tres estados de consistencia según su humedad y de acuerdo a ello puede presentarse un suelo: líquido, plástico o sólido. Estos límites de Atterberg que miden la cohesión del suelo son: el límite líquido (LL, según ensayo MTC EM110), el límite plástico (LP, según ensayo MTC EM 111) y el límite de contracción (LC, según ensayo MTC EM 112). Límite Líquido (LL), cuando el suelo pasa del estado semilíquido a un estado plástico y puede moldearse. Límite Plástico (LP), cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe.

Además del LL y del LP, una característica a obtener es el Índice de plasticidad IP (ensayo MTC EM 111) que se define como la diferencia entre LL y LP:

$$IP = LL - LP$$

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

Soporte o resistencia

Para determinar la capacidad de soporte o resistencia del suelo se realiza la prueba CBR "California Bearing Ratio", el valor soporte o resistencia del suelo, que estará referido al 95% de la MDS (Máxima Densidad Seca) y a una penetración de carga de 2.54 mm

Para la obtención del valor CBR de diseño de la sub rasante, se debe considerar lo siguiente:

En los sectores con 6 o más valores de CBR realizados por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos, se determinará el valor de CBR de diseño de la sub rasante considerando el promedio del total de los valores analizados por sector de características homogéneas.

En los sectores con menos de 6 valores de CBR realizados por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos, se determinará el valor de CBR de diseño de la sub rasante en función a los siguientes criterios:

Si los valores son parecidos o similares, tomar el valor promedio.

Si los valores no son parecidos o no son similares, tomar el valor crítico (más bajo) o en todo caso subdividir la sección a fin de agrupar subsectores con valores de CBR parecidos o similares y definir el valor promedio. La longitud de los subsectores no será menor a 100m.

Según Braja (2001) “En el sentido general de la ingeniería, suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto con el líquido y gas que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas.”

En teoría cualquier suelo puede estabilizarse con cemento, a excepción de los suelos con bastante contenido tanto de sales que afecten al cemento como de substancia orgánica o materiales deletéreos, pero es ampliamente recomendado su uso en suelos granulares, ya que en suelos plásticos requiere grandes cantidades de cemento para que tenga un comportamiento favorable.

Intervenciones de mejoramiento y rehabilitación de un suelo

Los procesos de deterioro a los que están sujetas las carreteras no pavimentadas, constituyen una característica permanente y acelerada, que según Paterson (1987), los finos al mezclarse con la humedad aglutinan a las fracciones más gruesas, y bajo la acción abrasiva de los neumáticos (acción del tráfico) llegan a pulverizarse en condiciones secas. Estos finos pulverizados aparecen como material particulado en suspensión (polvo) y por la constante pérdida de éstos es que los agregados gruesos están de manera suelta ante la acción del tráfico, y es así que la superficie de rodadura comienza a desgastarse de manera progresiva dando lugar a la formación de las depresiones, baches, y ondulaciones.

Los procesos de modernización de la infraestructura vial, están asociado por lo general con la idea de mejorar las condiciones de operación y seguridad de la misma. Este mejoramiento se obtiene mediante la rectificación del trazo, ampliación del ancho de corona y calzada, así como con la mejoría de la superficie de rodadura de las mismas.

El MTC (2005) considera al mejoramiento de un camino como las "Mejoras de la geometría horizontal y vertical del camino, el ancho, el alineamiento, la curvatura o la pendiente longitudinal para incrementar la capacidad de la vía, la seguridad de los vehículos y la velocidad de circulación. También la ampliación de la calzada, la elevación del estándar del tipo de superficie y la construcción de estructuras como alcantarillas grandes, puentes o intersecciones"

Igualmente, el MTC (2005) considera que las obras de rehabilitación, "Restaura el deterioro del camino. Comprende la rehabilitación del drenaje, mejoramientos en el trazado, el escarificado, reposición mayor del afirmado, reperfilado y recompactación. También el refuerzo en puntos selectivos en la estructura de la superficie de rodadura"

Los procesos de mejoramiento y rehabilitación, en lo referido al terreno de fundación y la capa de afirmado, implican la estabilización del suelo, que consiste en darle determinadas cualidades que lo hagan capaz de conservarse en el tiempo bajo determinadas condiciones de tráfico y bajo la acción de agentes atmosféricos. De acuerdo con Velásquez (1961), estas cualidades son:

Tener estabilidad suficiente.

Resistir a la acción del calor sin retracciones que puedan dar lugar a la fisuración.

Resistir al efecto de la humedad prolongada sin esponjamiento.

Resistencia a los ciclos de hielo y deshielo.

La estabilización de un suelo, según el MTC (2014-a), es "el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos (…) consiste en dotar a los mismos, de resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo. Las técnicas son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más agentes

estabilizantes. Cualquiera sea el mecanismo de estabilización, es seguido de un proceso de compactación" (p. 107)

2.5.2.1.4. Estabilización con suelo-cemento

Entre los diversos tipos de estabilización de suelos para caminos, se tiene a la estabilización con cemento. Según Fernández (1982), este es uno de los materiales que se ha utilizado mucho en la actualidad como producto endurecido de la mezcla compactada suelo con cemento y agua, llamado suelo-cemento.

Las principales razones de la aplicación de los tratamientos con cemento a los suelos consisten, en el hecho de que los suelos constituyen una inagotable fuente de materiales de construcción que se tienen a la mano y son un recurso renovable, evidentemente también son los más baratos y expeditos para usar.

Según De la fuente (1995): "El suelo-cemento es una mezcla intima de suelo, convenientemente pulverizado, con determinadas porciones de agua y cemento que se compacta y cura para obtener mayor densidad. Cuando el cemento se hidrata la mezcla se transforma en un material duro, durable y rígido".

El material llamado suelo-cemento se obtiene por la mezcla íntima de un suelo suficientemente disgregado con cemento, agua y otras eventuales adiciones, seguida de una compactación y un curado adecuados. De esta forma, el material suelto se convierte en otro endurecido, mucho más resistente. A diferencia del concreto, sin embargo, los granos de los suelos no están envueltos en pasta de cemento endurecido, sino que están puntualmente unidos entre sí. Por ello, el suelo-cemento tiene una resistencia inferior y un módulo de elasticidad más bajo que el concreto.

Las propiedades del suelo-cemento dependen de:

Tipo y cantidad de suelo, cemento y agua.

Ejecución.

Edad de la mezcla compactada y tipo de curado.

El cemento para estabilización será del tipo Portland, el cual es un material finamente pulverizado, generalmente de color gris a café grisáceo, compuesto principalmente por

minerales cristalinos artificiales, siendo los más importantes los silicatos de calcio y aluminio. Estos minerales al reaccionar con el agua producen compuestos capaces de impartir propiedades semejantes a las de las rocas una vez que se ha endurecido la mezcla de cemento con agua. (Fernández, 1982).

El agua deberá ser limpia y estará libre de materia orgánica, álcalis y otras sustancias deletéreas. Su pH, medido según norma ASTM D-1293, deberá estar comprendido entre cinco y medio y ocho (5.5 - 8.0) y el contenido de sulfatos, expresado como SO4 y determinado según norma ASTM D-516, no podrá ser superior a un gramo por litro (1 g/l).

El contenido óptimo de agua se determina por el ensayo proctor como en la compactación de suelos.

El material por estabilizar con cemento podrá provenir de la escarificación de la capa superficial existente o ser un suelo natural proveniente de:

Excavaciones o zonas de préstamo.

Agregados locales de baja calidad.

Mezclas de ellos.

Cualquiera que sea el material a emplear, deberá estar libre de materia orgánica u otra sustancia que pueda perjudicar la elaboración y fraguado del concreto. Deberá, además, cumplir los siguientes requisitos generales.

Granulometría de los agregados

La granulometría del material a estabilizar, según lo establecido por el MTC puede corresponder a los siguientes tipos de suelos A– 1, A– 2, A– 3, A– 4, A– 5, A– 6 y A – 7, con finos de plasticidad baja o media (LL < 40, IP < 18). Además, el tamaño máximo no podrá ser mayor de cincuenta milímetros (50 mm) o un tercio (1/3) del espesor de la capa compactada. El espesor total de la capa de suelo estabilizado será de 150 mm.

Dosificación

La dosificación de cemento puede fijarse aproximadamente en función del tipo de suelo, según lo siguiente:

Tabla 6
Dosificación de cemento según clasificación de suelos

Clasificación de Suelos AASHTO	Rango usual de cemento requerido Porcentaje del peso de los suelos
A-1-a	3 – 5- Para canteras - caso del proyecto
A-1-b	5 – 8
A –2	5 – 9- Para canteras-caso del proyecto
A – 3	7 – 11
A – 4	7 – 12
A – 5	8 – 13
A – 6	9 –15-TDF- caso del proyecto
A – 7	10 – 16-TDF- caso del proyecto

Fuente: MTC (2008-b) Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito

La relación agua-cemento apropiada difiere en su obtención de la del concreto convencional. La cantidad de agua apropiada depende más de la elaboración y trabajabilidad que se desee obtener en la mezcla, para aprovechar mejor los equipos de construcción disponibles. (De la Fuente, 1995).

Diseño de la mezcla

La mezcla se debe diseñar mediante el método de la Portland Cement Association (PCA). Como parámetros de diseño se tomarán los ensayos de resistencia a compresión simple y humedecimiento-secado (normas MTC E 1103 y MTC E 1104).

En el primero de ellos, se deberá garantizar una resistencia mínima de 1.76 Mpa (18 Kg/cm2), luego de siete (7) días de curado húmedo, mientras que, en el segundo, el contenido de cemento deberá ser tal, que la pérdida de peso de la mezcla compactada, al ser sometida al ensayo de durabilidad (humedecimiento-secado), no supere los siguientes límites de acuerdo con la clasificación que presente el suelo por estabilizar:

Tabla 7
Pérdida máxima en %, según suelos por estabilizar

Suelos por estabilizar	Pérdida máxima (%)
A-1; A-2-4; A-2-5; A-3	14
A-2-6; A-2-7; A-4; A-5	10
A-6; A-7	7

Fuente: MTC (2008-b)

Resistencia a la compresión simple

Para verificar en el laboratorio su resistencia a compresión simple se deben moldear probetas luego de siete días. La preparación de los testigos, así como el ensayo, será de acuerdo al MTC E 1101 y MTC E 1103.

La resistencia media de las seis (6) o más probetas diarias (Rm) deben ser igual o superior al cien por ciento (100%) de la resistencia correspondiente al diseño presentado por el contratista (Rd), conforme se describe en el aparte sobre el diseño mezcla de esta especificación.

$$Rm \geq Rd$$

A su vez, la resistencia de cada probeta (Ri) debe ser igual o mayor al noventa y cinco por ciento (95%) del valor de diseño (Rd).

$$Ri \geq 0.95\ Rd$$

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

Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad estático es muy variable y depende del tipo de suelo y de la cantidad de cemento principalmente. En general, este módulo es bajo comparándolo con el del concreto y muy alto si se le compara con el del suelo natural. (De la Fuente, 1995).

2.5.2.1.5. Catalogo estructural de superficie de rodadura

Para el dimensionamiento de los espesores de la capa de grava o afirmado, se adoptó como representativa la siguiente ecuación empírica del método NAASRA, que relaciona el valor soporte del suelo (CBR) y la carga actuante sobre el afirmado, expresada en Número de Repeticiones de EE:

$$\mathbf{e = [219 - 211 \times (\log_{10} CBR) + 58 \times (\log_{10} CBR)^2] \times \log 10 \times (Nrep / 120)}$$

Donde:

e = Espesor de la capa de afirmado en mm

CBR = Valor del CBR de la subrasante

Nrep = Número de repeticiones de EE para el carril de diseño

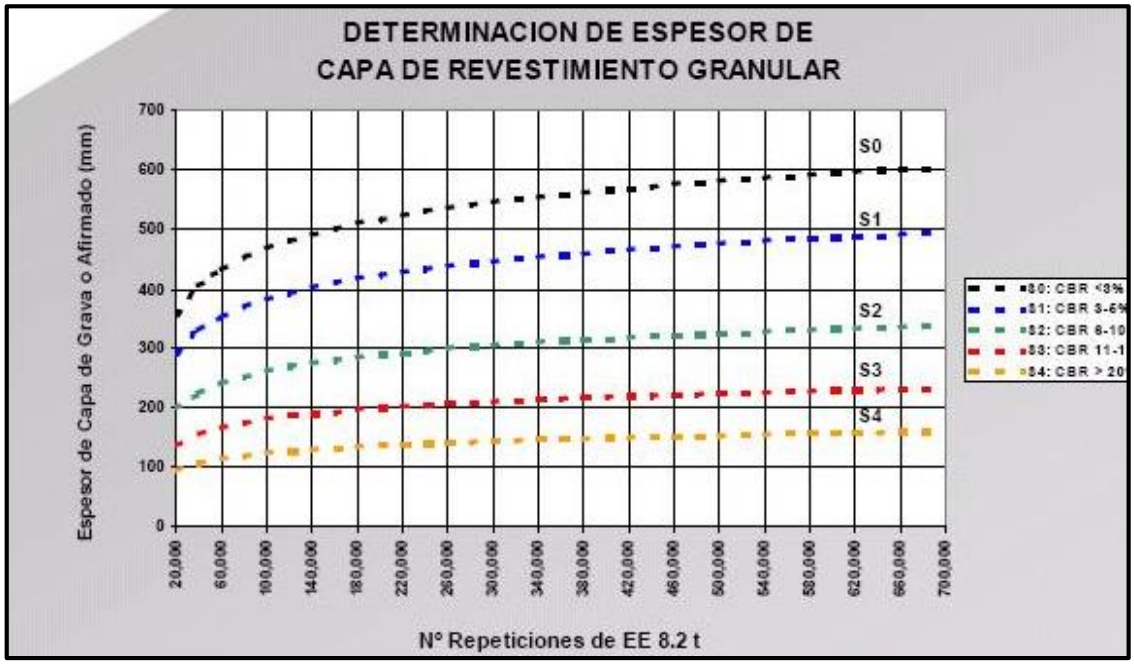


Figura 6. Determinación de espesor de capa de revestimiento granular. (Fuente: MTC- Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito).

Sin ser una limitación, en estas Normas de Diseño se incluye catálogos de secciones de pavimento, para cada tipo de tráfico y de sub rasante, estos han sido elaborados en función de la ecuación indicada.

En todo caso se podrán optimizar las secciones de pavimento propuestas, para ello:

Se analizará las condiciones de la sub rasante, la calidad de los materiales de las canteras, la demanda específica de tráfico en el tramo y se determinarán los espesores necesarios de la nueva estructura del pavimento; en caso, de que el tramo tenga una capa de afirmado, se aprovechará el aporte estructural de la capa existente, solo se colocará el espesor de afirmado necesario o el mínimo constructivo (de 100 mm) para completar el espesor obtenido según la metodología de diseño empleada.

Se estudiarán y analizarán diferentes alternativas constructivas de pavimento, incluyendo estabilización granulométrica, estabilización con cal, estabilización con sal, estabilización con cemento, estabilización con asfalto, estabilización química (según Norma MTC E

1109); según sea el caso, se considerará una capa de protección de imprimación asfáltica reforzada, que restrinja el levantamiento de polvo.

Se optará por la estructura de pavimento económico (construcción y mantenimiento), técnico y ambientalmente óptimo para el horizonte del proyecto.

La sección de la superficie del pavimento tendrá un bombeo o inclinación transversal de 2.5% en zonas con una precipitación menor de 800 mm/año y de 3% en zonas con una precipitación mayor de 800 mm/año.

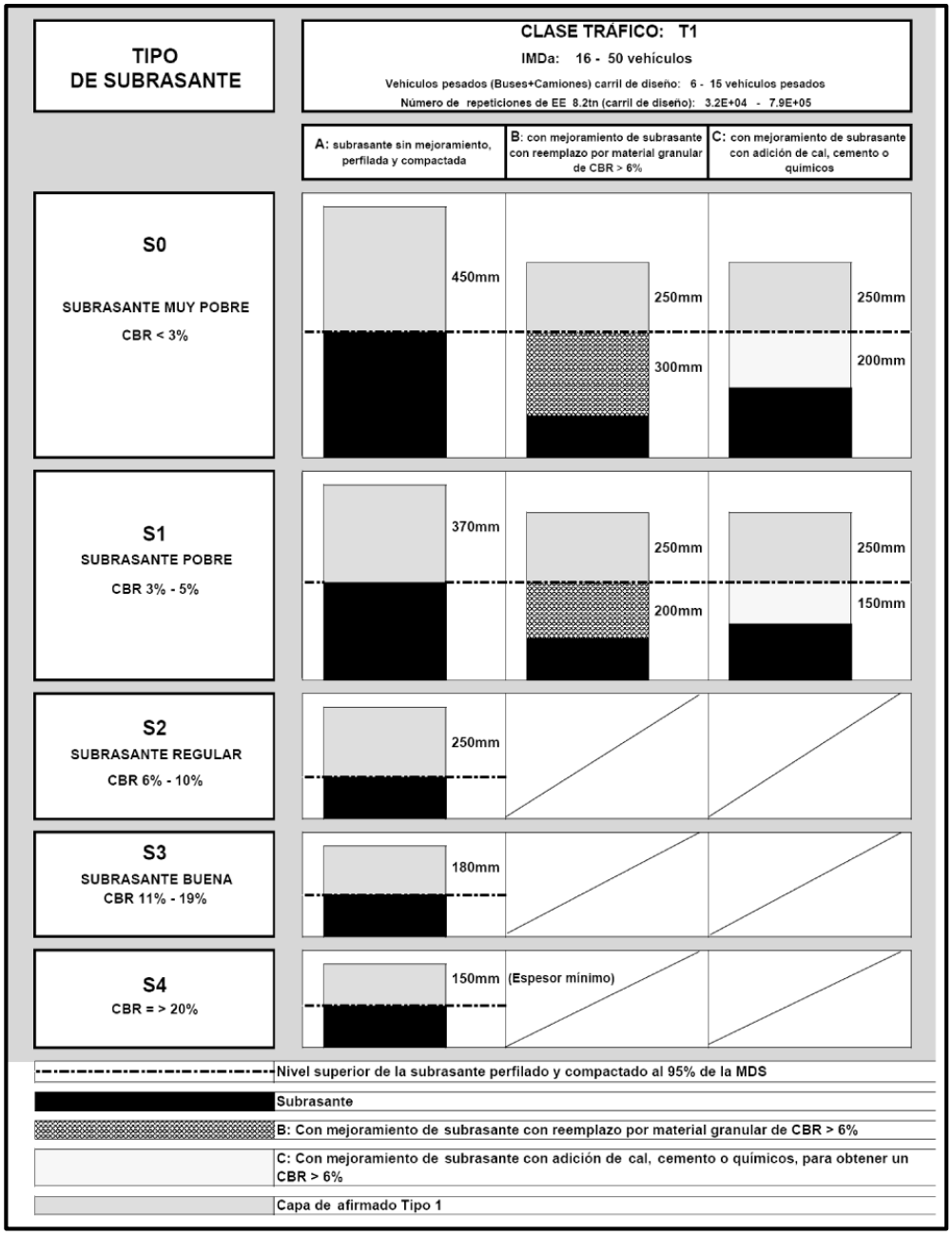


Figura 7. Catálogo de capas de revestimiento granular Trafico T1. (Fuente: MTC (2008-b) Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito).

2.5.2.1.6. Materiales para capa de afirmado

El material a usarse varía según la región y las fuentes locales de agregados, cantera de cerro o de río, también se diferencia si se utilizará como una capa superficial o capa inferior, porque de ello depende el tamaño máximo de los agregados y el porcentaje de material fino o arcilla, cuyo contenido es una característica obligatoria en el camino de afirmado.

El afirmado es una mezcla de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla. Si no existe una buena combinación de estos tres tamaños, el afirmado será pobre.

El afirmado requiere de un porcentaje de piedra para soportar las cargas, asimismo necesita un porcentaje de arena clasificada según tamaño para llenar los vacíos entre las piedras y dar estabilidad a la capa; y, obligatoriamente un porcentaje de finos plásticos para cohesionar los materiales de la capa de afirmado.

Hay dos principales aplicaciones en el uso de afirmados: su uso como superficie de rodadura en caminos no pavimentados o su uso como capa inferior granular o como colchón anticontaminante.

Como superficie de rodadura, un afirmado sin suficientes finos, está expuesto a perderse, porque es inestable. En construcción de caminos se requiere un porcentaje limitado pero suficiente de materiales finos y plásticos, que cumplan la función de aglutinar para estabilizar la mezcla de gravas.

2.5.2.1.6.1. Gradación de los materiales de la capa de afirmado

Existen pocos depósitos naturales de material que tiene una gradación ideal, donde el material sin procesar se puede utilizar directamente, por lo que será necesario zarandear el material para obtener la granulometría especificada.

En general los materiales serán agregados naturales procedentes de excedentes de excavaciones o canteras o podrán provenir de la trituración de rocas y gravas, o podrán estar constituidos por una mezcla de productos de ambas procedencias.

Es recomendable que las piedras tengan caras fracturadas o aristas y superficies rugosas, su comportamiento es mucho mejor que la piedra lisa redondeada o canto rodado, dándole a la capa de afirmado resistencia y estabilidad bajo las cargas actuantes.

Gravas procedentes de bancos que contienen piedras fracturadas naturalmente son consideradas como muy buenos materiales. En todo caso, se podrán obtener mejores resultados procesando el material por trituración; esto significa que un buen porcentaje de las piedras tendrán caras fracturadas por proceso de la trituración, lográndose mejores propiedades de resistencia y estabilidad de la capa de afirmado.

Es muy importante indicar que todas las gravas no son iguales, por lo que la calidad verdadera debe ser determinada efectuando ensayos y dosificaciones de los materiales que constituyen el afirmado, esto asegurará que la dosificación puesta en obra sea la adecuada.

Tal como se indicó el afirmado se compone de tres grupos del agregado: piedra, arena, y finos. Dependiendo donde se utilizará el material, la dosificación de estos tres grupos variará. Por ejemplo, existen Especificaciones como las presentadas a continuación que recomiendan las siguientes granulometrías:

Tabla 8
Especificaciones granulométricas según tipo de tráfico

Porcentaje que pasa del tamiz	**Tráfico t0 y t1: tipo 1 Imd<50 veh.**	**Tráfico t2: tipo 2 51 - 100 veh.**	**Tráfico t3: tipo 3 101 – 200 veh.**
50 mm	**100**	100	
37.5 mm (1 ½")		95 – 100	100
25 mm	**50 – 80**	75 – 95	90 – 100
19 mm (3/4")			65 – 100
12.5 mm (1/2")			
9.5 mm (3/8")		40 – 75	45 – 80
4.75 mm (Nº 4)	**20 – 50**	30 – 60	30 – 65
2.36 mm (Nº 8)			
2.00 mm (Nº 10)		20 – 45	22 – 52
4.25 um (Nº 40)		15 – 30	15 – 35
75 um (Nº 200)	**4 – 12**	5 – 15	5 – 20
Índice de P.	**4 - 9**	**4 - 9**	**4 - 9**

Fuente: MTC (2008-b) Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito.

La especificación anterior diferencia el material de la capa inferior de la capa superficial, donde evidentemente la gradación de la capa inferior permite que el 100% del material pase el tamiz de 1 pulgada, pero retiene hasta el 20% de la piedra en el tamiz de 3/4 pulgada. Esto da buenos resultados como capa inferior porque le proporciona una estructura resistente; pero

es muy probable que no sea así, cuando se emplee como capa superficial, porque habría demasiada piedra grande, dando por resultado un mantenimiento muy difícil.

Además, el alto porcentaje del material grueso haría una superficie áspera para el tráfico circulante.

Existe también una diferencia en el material fino y el índice de la plasticidad (IP), mientras que en la capa superficial se permite que el 4% y hasta el 15% del material pase la malla #200, en cambio en la capa inferior tiene mínimo de 3%, pero no más del 12% que pasa el mismo tamiz.

Mucho más importante, es el IP que en la capa inferior está entre 0 y 6, pero en la capa superficial llega hasta un máximo de 12 y no debe ser menor de 4.

La razón es que la capa superficial necesita un mayor porcentaje de material plástico y las arcillas naturales, le darán la cohesión necesaria y por lo tanto una superficie cómoda para la conducción vehicular.

Esto puede ser crítico durante el periodo seco, pues necesitará riego de agua; en cambio durante periodo húmedo en la superficie pueden aparecer pequeñas huellas que después de la lluvia rápidamente se secarán y endurecerán, por efecto del sol y el viento.

En cambio, sí la capa inferior presenta una gran cantidad de finos plásticos, esta grava causará problemas si es que la humedad llega a este nivel pues esta capa inferior perderá resistencia y estabilidad, causando ahuellamiento profundo o la falla total del pavimento.

Normalmente se utiliza el mismo material para la capa inferior y la capa superficial, esto solo evidencia que será buena para uno de los dos propósitos, pero no trabajará para ambos usos.

En lo posible, se deberá colocar una capa superficial de afirmado, que contemple los criterios expuestos anteriormente y cuyo espesor dependerá del espesor total de la capa de afirmado, pero no será menor al mínimo constructivo de 100 mm.

Para la dosificación y mezcla del material para afirmado, se tendrá como referencia y punto de partida las gradaciones que recomienda la Especificación Técnica EG-2000, Sección 302:

Tabla 9
Gradación de tamiz por porcentaje que pasa, según tipo de suelo

Tamiz	Porcentaje que pasa	
	A - 1	**A - 2**
50 mm (2")	100	-
37.5 mm (1 1/2")	100	-
25 mm (1")	90 - 100	100
19 mm (3/4")	65 - 100	80 - 100
9.5 mm (3/8")	45 - 80	65 - 100
4.75 mm (N°4)	30 - 65	50 - 85
2.0 mm (N°10)	22 - 52	33 - 67
4.25 um (N° 40)	15 - 35	20 - 45
75 um (N° 200)	5 -20	5 - 20

Fuente: AASHTO M - 147

2.5.2.1.6.2. Manipuleo y colocación del material de afirmado

En relación a la obtención y manipuleo de los materiales en las canteras o fuentes de materiales es muy importante, que antes de comenzar a procesar el material, se retire la capa de tierra vegetal y la vegetación de la superficie, pues ésta contiene materia orgánica que no es buena para la superficie del camino.

Generalmente toda cantera o fuente de material tiene variaciones en las capas de revestimiento granular a explotar, pues se presentan capas aparentemente muy uniformes, pero cambian repentinamente con bolsones de un material diferente y esto afecta la gradación total de la grava, por eso es importante el conocimiento e investigación de las fuentes de materiales para conseguir una correcta explotación y una buena mezcla desde el comienzo del proceso.

Otro de los problemas es la segregación del material durante el proceso, cuando ocurre esto, las partículas de gran tamaño tienden a juntarse hasta conseguir aislarse, en vez de mezclarse con el resto del material. Esta situación provocará la inconsistencia del material, así como dificultad en su compactación. Las zonas superficiales que contienen una cantidad inusual de partículas gruesas presentarán una condición suelta e inestable, mientras que otras zonas presentarán exceso de finos, que provocarán ahuellamientos profundos durante el periodo de lluvias.

Cuando el afirmado tenga que ser colocada sobre el camino, es importante que la superficie se encuentre en buenas condiciones, sin problemas de drenaje e imperfecciones sobre la

superficie, como ahuellamientos, baches, desniveles, etc, todos estos problemas deben ser eliminados, hasta formar correctamente la sección transversal del camino; entonces, el material de afirmado se puede colocar en un espesor uniforme y en el futuro será más fácil su mantenimiento.

En caso que la superficie del camino sea lisa y este endurecida, se deberá escarificar ligeramente la superficie para conseguir una buena adherencia con el nuevo material, esta es la única manera que una capa uniforme de afirmado nueva puede ser colocada.

El comportamiento de la capa de afirmado dependerá en gran parte de su ejecución, especialmente de la compactación que se le haya dado. La compactación reducirá los vacíos y aumentará el número de puntos de contacto entre partículas y el correspondiente rozamiento. La capa de afirmado debe ser compactada por lo menos, al 100% de la densidad máxima, determinada según el método AASHTO T180.

Otro aspecto importante lo constituye el perfilado, en cuanto a la conformación del bombeo y peraltes, cualquier defecto en el mismo constituye un impedimento para el drenaje superficial del agua de las lluvias.

No obstante, es necesario indicar que el comportamiento de una superficie de afirmado no tendrá en ningún caso un comportamiento similar a las superficies pavimentadas.

Siempre habrá algunas pérdidas de agregados en virtualmente todos los caminos de afirmado, por lo que se debe evaluar la necesidad de colocar capas de protección o estabilizaciones, según lo permitan los presupuestos de construcción y/o mantenimiento y la disponibilidad de materiales en la zona.

2.5.2.1.7. Estudio de fuente de materiales – Canteras

Se deberá efectuar un estudio de canteras – fuentes de materiales para rellenos, capa de afirmado y para obras de concreto hidráulico.

Para el caso de canteras que cuenten con estudios previos, se efectuarán solamente ensayos que confirmen la calidad y potencia de las mismas.

Las Canteras serán evaluadas y seleccionadas por su calidad y cantidad (potencia), así como por su menor distancia a la obra.

Las prospecciones que se realizarán en las canteras se efectuarán en base a calicatas, de las que se obtendrán las muestras necesarias para los análisis y ensayos de laboratorio. Se realizarán exploraciones (mínimo 06 prospecciones por cada área menor o igual a una hectárea) por medio de sondeos, calicatas y/o trincheras. Las muestras representativas de los materiales de cada cantera serán sometidas a los ensayos estándar, mínimo 06 pruebas por tipo de ensayo, a fin de determinar sus características y aptitudes para los diversos usos que sean necesarios (rellenos, afirmados, concreto, etc).

A todas las muestras se les realizará ensayos de clasificación, en tanto que, a un número representativo del total del muestreo, se les efectuará ensayos de compactación, CBR y ensayos que permitan determinar las propiedades mecánicas y de resistencia.

La exploración de las canteras o fuentes de materiales debe cubrir un área que asegure un volumen de material útil explotable del orden de 1.5 veces las necesidades del proyecto.

Estos trabajos se efectuarán a criterio, experiencia y responsabilidad del Proyectista, los resultados y conclusiones que presente deben ser los representativos y con una confiabilidad aceptada, de tal manera que los materiales procedentes de las canteras seleccionadas por el Proyectista cumplan estrictamente las Especificaciones Técnicas para Construcción de Carreteras (EG-2000).

2.5.3. Marco conceptual: terminología básica

Calicata. Se realiza en un terreno, con la finalidad de permitir la observación de los estratos del suelo a diferentes profundidades y eventualmente obtener muestras disturbadas.

Capacidad portante. Es la capacidad de soporte del suelo a fuerzas verticales.

Cohesión. Es la resistencia del corte al suelo, a una tensión normal.

Compactación. Es la densidad del suelo por medio de una manipulación mecánica.

Compresión. Acción de comprimir un material aplicando una carga que puede ser axial, para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo, existiendo

variantes en ensayos como: no confinada, triaxial y entre estos el ensayo consolidado no drenado**.**

Consistencia. Es la relativa facilidad con la que el suelo puede fluir y deformarse.

Contracción (factores). Parámetros relativos a cambios de volumen de un suelo.

Curva granulométrica de un suelo. Es una representación gráfica de los resultados obtenidos en un laboratorio cuando se analiza la estructura del suelo desde el punto de vista del tamaño de las partículas que lo forman.

Estrato típico. Estrato de un suelo con características tales que puede ser representativo de otros iguales o similares en un terreno dado.

Estudio de mecánica de suelos. Es el conjunto de exploraciones de investigaciones de campo, ensayos de laboratorio y análisis de gabinete que tiene por objeto estudiar el comportamiento de los suelos y sus respuestas ante las solicitaciones de una edificación.

Humedad. Porcentaje de agua en suelo o material**.**

Módulo de finura. Número empírico que se obtiene sumando los porcentajes retenidos en cada una de las mallas que se indican más abajo y luego dividiendo el resultado entre 100.

Nivel freático. Es el nivel superior del agua subterránea en el momento de la exploración. El nivel se puede dar respecto a la superficie del terreno.

Relaciones humedad/densidad (Proctor): Humedad vs. P.U. de suelos compactados.

2.5.4. Marco histórico

En el antiguo Perú, los caminos eran una maravilla. Desde épocas muy remotas, los seres humanos habían establecido contacto y circulaban bastante. El mismo despertar del asentamiento de Caral se explica por el intercambio de productos civilizatorios entre regiones de costa, sierra y selva. Milenios después, los caminos fueron unificados bajo el imperio inca para la afirmación del Estado y, al entrar los españoles, había más de 30,000 km que cruzaban todo el territorio andino.

Los principales eran dos, que corrían de norte a sur, atravesando tanto la costa como la sierra. Estos caminos longitudinales estaban conectados por multitud de ramales y se complementaban con rutas de penetración hacia la selva.

Los arrieros coloniales y del siglo XIX se movían a lomo de bestia, por caminos malísimos que frecuentemente eran asaltados por malhechores. Las cosas empeoraron sensiblemente durante el primer siglo republicano, cuando tan cerca como la Tablada de Lurín se encontraban peligrosos bandoleros que asolaron varias veces la capital. El Estado se había venido abajo y, comparado con el poder del inca, los primeros presidentes republicanos eran pigmeos.

Los caminos del Inca o Capac Ñan, abarcaban aproximadamente 23 mil kilómetros entre caminos principales y secundarios a lo largo de toda la cordillera de los andes. Este se extendió más allá de Ibarra y Quito. Por el norte colindaba con el cauce del río Guáytara; por el sur con Colombia, y hasta las fronteras entre Picunches y Mapuches cerca de la actual ciudad de Concepción, en el centro sur de Chile, y a la tierra de los Huarpes en Mendoza Argentina.

El Capac Ñan está considerado como uno de legados arqueológicos más extensos para el Mundo y la Humanidad. Esta obra tiene un gran reconocimiento arquitectónico y en la ingeniería, ya que está construida en diferentes clases de suelo relieve y climas variados. Trabajando en terrenos abruptos desarrollaron muchas técnicas para solucionar los problemas para conectar todo el Tahuantinsuyo.

Este estado de cosas empezó a ser superado durante el "oncenio" de Leguía. Habían llegado los vehículos a motor y la red carretera se constituyó en una prioridad. De una manera compulsiva y a través de una ley de conscripción vial, se construyó el primer sistema para vehículos menores. Pocos años después, en los treinta, Benavides construyó la Panamericana y se restableció la comunicación de valle en valle por la costa, atravesando los desiertos, algo que se había perdido al caer el Tawantinsuyu. Parecía que los medios técnicos de la modernidad permitirían superar por fin el legado de los incas. Dicho sea de paso, recién en 1940, el Perú alcanzó la población del imperio incaico, 12 millones de habitantes.

Ya en el gobierno de Fernando Belaunde Terry, planteó el proyecto de construcción de la carretera Marginal de la Selva, que una vez concluida se extendería desde Arauca, en la

frontera de Colombia y Venezuela, hasta el terminal ferroviario de Santa Cruz, en Bolivia, uniendo las tres grandes cuencas fluviales de América del Sur (Orinoco, Amazonas y La Plata), conectando en su extenso recorrido a Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Argentina.

Una vez culminada la obra, se harían accesibles más de 7 millones de hectáreas de elevado rendimiento agrícola sobre un nuevo espacio habitable y productivo para millones de colonos. Estudios preliminares permitían prever que la zona de influencia de la carretera en el Perú se extendería a más de 2 millones de hectáreas, favoreciendo a más de 600 mil habitantes al generar una producción agrícola estimada en más de 10 millones de dólares por año de aquellas épocas.

Representantes de los cuatro países directamente involucrados –Perú, Colombia, Ecuador y Bolivia- acordaron en Lima, en enero de 1964, la pronta iniciación de la obra. En el Perú, el trabajo se concentró en el eje Tingo María-Moyobamba que más tarde, con la terminación del tramo Jaén-San Ignacio, logró la unión de esta provincia fronteriza con la carretera Lima-Pucallpa.

Actualmente el Ministerio de Transporte y Comunicaciones viene invirtiendo en proyectos de mejoramiento y/o rehabilitación de la red vial nacional.

Finalmente, está la red departamental y vecinal, de gran importancia pues se enmarca dentro de la preocupación del Gobierno por impulsar la inclusión económica y social de los centros poblados y los distritos con más necesidades del país.

2.6.Hipótesis a demostrar

La aplicación de suelo-cemento con la elección de un adecuado material de cantera, origina una óptima estabilización del terreno de fundación y capa de afirmado en el mejoramiento y rehabilitación de la carretera vecinal Juan Guerra-Bello Horizonte, distrito de Juan Guerra, provincia de San Martin, región San Martin.

CAPÍTULO III
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

Para el presente trabajo se ha hecho uso de lo siguiente:

3.1.1. Recursos humanos

Estudios topográficos

02 Topógrafos

01 Auxiliar libretista

02 Ayudante porta miras

02 Ayudantes wincheros

02 Ayudantes porta jalones

Trabajo de gabinete

01 Tesista

01 Asesor

Estudio de mecánica de suelos

01 Tesista

02 Técnicos de laboratorio

10 Ayudantes (excavación)

Los demás estudios especiales preliminares y diseños fueron realizados por el Tesista.

3.1.2. Recursos materiales

Equipo de oficina

01 Computadora portátil

01 Impresora

01 Plotter

01 Escritorio de trabajo

02 Calculadoras científicas

01 Agenda

Varios (plumones, lapiceros, etc.)

Equipo de campo

Estación Total
Teodolito
Nivel Topográfico
G.P.S.
01 brújula
Papel bon A-4
Libretas de Topografía
01 eclímetro
01 escalimetro
01 wincha 50 metros
01 cámara fotográfica
Machetes, botas de jebe, Ponchos impermeables.

Estudio de mecánica de suelos

Muestras de suelos
Bolsas de polietileno
Equipos e instrumentos de laboratorio

Los demás estudios especiales preliminares y diseños fueron realizados por el Tesista mediante investigaciones varias.

Finalmente se procedió a la aplicación de los conocimientos adquiridos durante la formación académica profesional utilizando herramientas como:

Hojas de cálculos varios.

Programa asistido de dibujo (AUTOCAD 2017).

3.2. Metodología

3.2.1. Universo, muestra y población

Universo

El universo de estudio está conformado toda la extensión longitudinal de la carretera Juan Guerra - Bello Horizonte.

Muestra

Conformado por la extensión longitudinal de 8.520 Km de la carretera Juan Guerra - Bello Horizonte donde se realizarán los ensayos para la investigación.

Población

Conformada por los pobladores de la Provincia de San Martin, en especial del distrito de Juan Guerra y del centro poblado Bello Horizonte.

3.2.2. Sistema de variables

3.2.2.1. Variable independiente

Suelo- cemento.

Indicadores

Granulometría del material de canteras

Dosificación

Diseño de mezcla

Resistencia

Módulo de elasticidad

3.2.2.2. Variable dependiente

Terreno de fundación y capa de afirmado

Indicadores

Distribución granulométrica

Densidad

Plasticidad

Soporte o resistencia

3.2.3. Diseño experimental de la investigación

3.2.3.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo aplicada con un diseño con post prueba únicamente y grupo de control, según el esquema siguiente

G_1	**X**	**O_1**
G_2	**X**	**O_2**
G_3		**O_3**

Donde:

G_1 : Representa al grupo experimental del terreno de fundación

G_2 : Representa al grupo experimental de la combinación de las canteras Nº 01 Sector Las Flores y Cantera Nº 02 Sector San Fernando

G_3 : Representa al grupo control del suelo existente en la carretera en estudio

X : Representa a la aplicación de la variable independiente: Suelo-cemento

O^1 y O^2: Representan al resultado en la variable dependiente; la estabilización del terreno de fundación y capa de afirmado después de la aplicación de la variable independiente, en cada una de las canteras.

O^3 : Representa al resultado en la variable dependiente; la estabilización del terreno de fundación y capa de afirmado en el estado actual de la carretera

3.2.3.2. Nivel de investigación

En el marco de los niveles que identifican a una investigación, el presente estudio se ubica en el nivel explicativo, no solo describe los fenómenos estudiados, sino que explica la causalidad de los mismos, porque pretende determinar la relación Causa-efecto que existe entre las variables.

3.2.4. Diseño de instrumentos

3.2.4.1. Fuentes técnicas

Para investigación documental se utilizó información existente en fuentes bibliográficas, recurriendo a fuentes originales en lo posible: utilizaremos textos, libros, tesis y revistas de la Biblioteca Especializada de la FICA- UNSM, y la página web del internet, que traten del tema en forma general y también de aquellos textos y revistan que tocan el tema en forma puntual.

3.2.4.2. Instrumentos de selección de datos

Los ensayos de mecánica de suelos se realizaron en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Nacional de San Martin – FICA, que nos permitió obtener los resultados, de las propiedades físicas, químicas, mecánicas de la capacidad de carga del suelo en las diferentes áreas del ámbito rural de la carretera vecinal que une Juan Guerra y Bello Horizonte, de esta manera dar a conocer a los pobladores las propiedades del material suelo-cemento para la rehabilitación y mejoramiento de dicha carretera.

3.2.5. Procesamiento de información

3.2.5.1. Procesamiento de datos

Primero se realizó la recopilación de información disponible del sitio en estudio (planos) la cual sirvió de base y orientación para la planificación y, organización de trabajo de campo.

Seguidamente se realizó la visita de campo con la finalidad de identificar, de forma preliminar, los problemas geológicos del área en estudio, para luego realizar las exploraciones a cielos abiertos (calicatas) para poder obtener las muestras de suelo tratando siempre sea inalterada.

Estas muestras fueron llevadas al laboratorio de mecánica de suelos, donde se realizaron los respectivos ensayos para obtener las propiedades, físicas, mecánicas de los suelos (contenido de humedad, análisis granulométricos, densidad de campo, límite plástico, limite líquido, CBR, humedad optima y máxima densidad).

Con los resultados obtenidos de las propiedades físicas y mecánicas antes y después de la aplicación del suelo cemento, estos se utilizarán para la realización de la prueba de hipótesis T de Student.

3.2.5.2. Presentación de datos

La presentación de los datos se realizó mediante las memorias de cálculo de los resultados obtenidos en laboratorio de mecánica de suelos.

Los resultados se presentarán ordenados y si es necesario se elaborarán cuadros resúmenes para dar mayor claridad a los resultados obtenidos en la investigación, de forma que permitan una adecuada interpretación

Los Procesamientos y presentación de datos se realizaron de acuerdo a las Normas Técnicas Peruanas de Diseño de Carreteras, y utilizando cálculos estadísticos adecuados con la finalidad de obtener resultados satisfactorios.

Con respecto al estudio de mecánica de suelos realizado se utilizó el CBR en el diseño del espesor del pavimento y la calidad del agregado en la conformación de la sub rasante y afirmado.

3.2.5.3. Descripción de los estudios para el diseño del afirmado

3.2.5.3.1. Estudio de tráfico

El estudio de tráfico vehicular tiene por objeto, cuantificar, clasificar y conocer el volumen de los vehículos que se movilizan en la carretera Juan Guerra – bello Horizonte, perteneciente al Distrito de Juan Guerra; elemento para la determinación de las características de diseño del pavimento en la carretera en estudio.

El Estudio de tráfico se realizará considerando lo siguiente:

Identificación de “tramos homogéneos” de la demanda.

Identificación de los nodos y su naturaleza, que generan estos tramos homogéneos.

Conteos de tráfico en ubicaciones estratégicas. Los conteos serán volumétricos y clasificados por tipo de vehículo, durante 7 días continuos.

Con los correspondientes factores de corrección (horario, diario, estacional), se obtendrá el Índice Medio Diario Anual (IMDA) de tráfico que corresponda al tramo o sub tramo, por tipo de vehículo y total.

Características generales del conteo

El conteo se realizó durante tres semanas ininterrumpidas. Para eso se ha usado tres estaciones:

La estación N°01 estaba ubicado en las progresivas 0+000 (cruce carretera F Belaunde Terrry-Sur con Jr. Vencedores de Comainas en la localidad de Juan Guerra).

La estación N°02 ubicado en la progresiva 7+800 (Cruce hacia el Sector paraíso escondido).

La estación N°03 ubicado en la progresiva 8+520 (Final de la carretera del proyecto y al costado del campo de futbol de la localidad de Bello Horizonte).

El trabajo de gabinete consistió en adecuar el Formato de Clasificación Vehicular (Formato Nº 1), para ser utilizados en las estaciones de control preestablecidas en el trabajo de campo, el Formato Nº 1, considera la toma de información correspondiente a la estación de control establecido, la hora, día y fecha del conteo, para cada tipo de vehículo según eje.

Antes de realizar el trabajo de campo y con el propósito de identificar y precisar in situ las estaciones predeterminadas, se realizaron coordinaciones en gabinete previas para el reconocimiento de cada una de las carreteras en evaluación por cada uno de los jefes de brigada, para ubicar estratégicamente las estaciones necesarias para la aplicación del conteo volumétrico por tipo de vehículos.

Durante el reconocimiento de la zona de estudio, considerando el nivel de tráfico existente se seccionaron tramos de acuerdo al volumen existente, identificando 1 lugar, en el cuadro 1 se muestra detalladamente cada uno de ellos:

Cuadro 1
Ubicación de estaciones

Zona	Estación	Código
Juan guerra(cruce FBT con Jr. Vencedores de Comainas)	PROG. 0+000	E1
Bello Horizonte(Cruce a paraíso escondido)	PROG. 7+800	E2
Bello Horizonte(Campo de Fútbol)	PROG. 8+520	E3

Fuente: Elaboración propia. E = Estación

El trabajo de campo, consistió en la aplicación de los formatos para el conteo de tráfico para el levantamiento de la información necesaria. Cabe indicar que, de acuerdo a la Resolución Directoral Nº 006-2008-EF/68.01, se aprueba la Aplicación de los Contenidos Mínimos a Nivel de Perfil para los Proyectos de Inversión Pública, la cual indica que se efectuará conteos de tráfico vehicular como mínimo durante 7 días en las estaciones principales y 5 días en las estaciones de cobertura, durante las 24 horas.

Los conteos de tráfico deberán efectuarse según el formato del Ministerio de Transportes.

El presente estudio ha considerado la necesidad de establecer 03 estaciones, que están en las siguientes Progresivas 0+000; 7+800; 8+520. Cabe indicar que los conteos de tráfico fueron realizados en estricto cumplimiento de los contenidos mínimos antes descritos.

Cálculo del índice medio diario

Para el análisis respectivo, se ha tomado los resultados de la Estación (E3), por ser la que arroja mayor cantidad de tráfico vehicular.

El tramo corresponde al flujo vehicular que se observa en la Prog. 8+520 siendo esta vía la que presenta un tráfico donde predomina el paso de camiones de 2 ejes.

Para convertir el volumen de tráfico obtenido del conteo, en Índice Medio Diario (IMD), se utilizó la siguiente fórmula:

$$IMDs = \frac{Vi}{7} \quad \text{(Conteo de 7 días).}$$

$$IMDa = IMDs \times FC$$

Donde:

IMDs = Índice Medio Diario Semanal de la Muestra vehicular tomada.
IMDa = Índice Medio Diario Anual.
Vi = Volumen vehicular diario de cada uno de los 7 días de conteo.
F.C. = Factor de Corrección Estacional.

Factores de corrección estacional

Para el presente estudio se ha considerado como factor de corrección los valores de **0.938618** para vehículos ligeros y de **0.987785** para vehículos pesados, correspondientes a la estación

03. Estos factores de corrección son tomados del peaje más próximo que es el de Moyobamba (código P042) para vehículos ligeros y para vehículos pesados y son para los meses de diciembre.

Proyecciones del tráfico

En este punto se tratará de la proyección durante un periodo de 10 años. Para llegar a esto se parte de la información de campo y luego esta es procesada y con ayuda de información proveniente de la tasa de crecimiento se proyectan los valores de tráfico.

Existen dos procedimientos que generalmente son utilizados para proyectar el tráfico en vías de características similares a la carretera en estudio:

Con información histórica de los Índices Medios Diarios Anuales (IMDA) del tráfico existente en la carretera en estudio.

Con indicadores macro económicos, expresados en tasas de crecimiento y otros parámetros relacionados, que permiten determinar las tasas de crecimiento del tráfico.

Respecto del primer procedimiento, no existe información estadística del tráfico referente a data histórica de varios años de la carretera, por lo que se consideró razonable utilizar para las proyecciones de tráfico el segundo procedimiento.

Tráfico normal

En la investigación, para el cálculo del tráfico normal se ha realizado el conteo de vehículos en tres estaciones.

Proyecciones de tráfico normal

Para la proyección del tráfico normal hasta el 2027 se utilizará los indicadores macro-económicos que estableció el Ministerio de Economía y Finanzas. La tasa de crecimiento del Producto Bruto Interno para el departamento de la San Martin viene dada por el valor de **6.60%** y la tasa de crecimiento poblacional es de **2.60%,** para el Departamento de San Martin.

3.2.5.3.2. Estudio de mecánica de suelos

El propósito de la investigación del suelo del área de estudio, ubicada en el Distrito de Juan Guerra – Carretera vecinal, Tramo= Juan Guerra - Bello Horizonte, se realizó con fines de determinar las propiedades físicas, mecánicas del suelo de fundación.

Realizando estudios del sub suelo, se determinan valores admisibles aplicables para la sobre carga, debido a la estructura por construir. Se utilizó el método de exploración por excavaciones manualmente a cielos abiertos.

Estrategia adoptada

El objetivo principal del trabajo del proyecto de tesis, es estudiar el comportamiento de un suelo a través de su mejoramiento con la adición de cemento, proporcionándoles características de capacidad de carga y estabilización volumétrica, que posibiliten la previsión del desempeño mecánico de tales materiales en obras reales de ingeniería con satisfactoria confiabilidad.

Específicamente, el estudio es sobre el comportamiento de la sub rasante estabilizada con suelo-cemento y su relación, con la obtención a partir de ensayos de laboratorio (ensayos de CBR), y de la investigación con correlaciones existentes.

Reconocimiento de campo

Los trabajos de Campo fueron realizados por el Tesista Bach. Ing. Civil. Flavio Gean Pierre Pezo López y una cuadrilla de 10 obreros, identificando los lugares de la zona, en las cuales se debería realizar las excavaciones con la finalidad de determinar el perfil de suelo del área de estudio, realizando 18 calicatas o pozos a cielos abiertos distribuidos convenientemente cada 500m. dentro del tramo de la carretera en estudio.

Excavaciones a cielos abiertos (calicatas)

Con la finalidad de determinar las propiedades, el perfil de los suelos, propiedades físicas, mecánicas, la capacidad relativa de soporte por zonas de acuerdo a las características de los suelos, se han realizado 18 calicatas o pozos a cielo abierto distribuido convenientemente cada 500m, según norma MTC.

Muestreo alterado.

Se han recuperado muestras alteradas de cada uno de los tipos de suelos encontrados durante las excavaciones, en cantidades suficientes o representativas, para realizar los ensayos de clasificación e identificación de suelos y se han recolectado 28 muestras MAB de 18 calicatas excavadas. Se realizaron un total de (18) calicatas ubicadas convenientemente con su respectivo kilometraje, como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 2
Ubicación de las calicatas

CALICATAS - Nº	PROGRESIVA (KM)	PROFUNDIDAD EXCAVADA (M)	COORDENADAS UTM		ALTITUD MSNM
			ESTE	*NORTE*	
C-01- L/IZQ.	0+010	1.50 m	0353829	9271843	226
C-02 – L/D	0+500	1.50 m	0354233	9272129	239
C-03 – L/D	1+000	1.50 m	0354650	9272378	225
C-04- L/IZQ.	1+500	1.50 m	0354851	9272715	236
C-05 – L/D	2+000	1.50m	0355068	9273037	248
C-06- L/IZQ.	2+500	1.50m	0355268	9273449	248
C-07 – L/D	3+000	1.50m	0355629	9273790	254
C-08 – L/IZQ.	3+500	1.50m	0355922	9274190	267
C-09 – L/D	4+000	1.50m	0355886	9274661	266
C-10-L/IZQ.	4+500	1.50m	0356103	9274890	276
C-11 – L/D	5+000	1.50m	0356406	9275206	291
C-12 – L/D	5+500	1.50m	0356541	9275664	291
C-13- L/D	6+000	1.50m	0356849	9275981	310
C-14- L/IZQ.	6+500	1.50m	0356953	9276403	326
C-15- L/D	7+000	1.50m	0356987	9276875	344
C-16- L/D	7+500	1.50m	0356765	9277264	293
C-17- L/D	8+000	1.50m	0356556	9277646	282
C-18- L/D	8+500	1.50m	0356245	9278047	302

Fuente: Elaboración propia

Muestreos inalterados

Se extrajeron cinco (05) muestras inalteradas, 02 muestras inalteradas en moldes de CBR, calicatas Nº 09-km 4+000, calicata Nª 14-km 6+500, 03 muestras inalteradas para ensayos de compresión simple, calicatas Nº 09-km 4+000, calicatas Nº 14-km 6+500, calicata Nª 15-km 7+000, para determinar sus resistencias en estado natural, así como también ensayos de densidades de campo para determinar el peso volumétrico del suelo natural y el grado de compactación del suelo en estado natural-In-situ.

Materiales

Las muestras y excavaciones fueron extraídas hasta 1.50 m de profundidad mínima por debajo de la subrasante, que fueron descritas, in-situ de sus características, en su estado

natural y mejorado con adición de cemento para ser comparados, con los resultados de las mejoras en el contenido de humedad, el grado de compactación, las variaciones de densidad y su capacidad de soporte.

Espaciamiento y características de las calicatas.

El espaciamiento de las calicatas y las características de cada una de ellas varían de acuerdo a la topografía, y ubicación del área de estudio sin salir de la normativa AASHTO Para EMS.

Las calicatas fueron realizadas según Norma Técnica ASTM D 420, las cuales son aplicadas a todos los Estudios de Mecánica de Suelos (EMS).

Los autores y estudiosos indican que el estudio como el muestreo, a fin de lograr una buena precisión del perfil del suelo, se debe tomar muestras a una distancia de 500 m., en realidad para lograr perfiles de suelos que sean más reales, se deben tomar muestras a distancias cortas. Las muestras llevadas al laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional de San Martin - FICA., fueron las más representativas y en las cantidades reglamentarias para cada tipo de material, escogidos luego del cuarteo respectivo.

Para el transporte de las muestras extraídas, se han utilizado bolsas plásticas y recipientes cerrados herméticamente, a los cuales, para su identificación, se les coloco etiquetas con los siguientes datos:

Cuadro 3
Identificación de muestras

NOMBRE DEL PROYECTO	**TIPO DE MUESTRAS**
Lugar de ubicación	Profundidad de la muestra
Fecha de excavación	Técnico responsable
Numero de calicatas	Registro de excavación
Número de Estrato	

Fuente: Elaboración propia

Métodos experimentales - Ensayos de laboratorio mecánica de suelos.

Para las muestras extraídas en los puntos de investigación y/o de muestreo de la fase de investigación de campo, se determinaron sus propiedades físicas y mecánicas mediante la ejecución de los ensayos estándar y especiales que se indican a continuación:

Cuadro 4
Lista de ensayos realizados

Núm.	Norma	Título
1.	AASHTO T 2-91 (2000)	Muestreo de suelos
2.	AASHTO T 89-02	Determinación del límite liquido del suelo
3.	AASHTO T 90-03	Determinación de límite plástico e índice de plasticidad
4.	AASHTO T 27-99	Análisis por tamices de suelo fino y grueso
5.	AASHTO M 145-91 (2000)	Método de ensayo estándar para clasificación de los suelos y mezclas de suelo-agregado para la construcción de carreteras (AASHTO)
6.	ASTM D 2487-00	Norma estándar de Clasificación de Suelos para fines de ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS)
7.	ASTM D 2974-00	Método de ensayo para determinar el contenido de humedad,
8.	NTP 339.141 ASTM D1557	Relación Humedad Densidad (Proctor Modificado)
9.	ASTM D 2166 – AASTHO T 208	Ensayo de Compresión No Confinada
10.	MTC E 117-2000 - AASHTO T 191-92 - ASTM D 1556	Densidad de campo, Control de compactación - Método cono de arena
11.	AASHTO T 193-99 -(2003)	Método de ensayo para determinar el Valor de Soporte de California (CBR)

Fuente: Elaboración propia

Los materiales, para los análisis de laboratorio, fueron extraídos del tramo de la carretera vecinal Juan Guerra Bello Horizonte, por el Tesista Bach. Ing. Civil. Flavio Gean Pierre Pezo López, Los ensayos del laboratorio de mecánica de suelos, se realizaron en estado natural y con adición de cemento Pacasmayo tipo I con diferentes proporciones, (Método experimental), dependiendo de su clasificación (AASHTO) (Considerando los suelos de baja resistencia – mas criticos). Las muestras ensayadas en el laboratorio se han clasificado de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.) y AASHTO; y por pruebas sencillas de campo, observación con las muestras representativas ensayadas.

Ensayo proctor modificado, ASTM D 1557

El ensayo de compactación mediante el ensayo de Proctor modificado, relaciona la humedad del suelo versus su densidad seca, empleando un martillo de 4.54 kg (10 lb) soltado desde

una altura de 457 mm (18 pulg), trasmitiendo una energía de compactación de 56,000 lb-pie/pie3 ó 2,700 kN-m/m3.

La Humedad Natural de Suelos Arenosos y Limo-Arcillosos muchas veces alcanzan valores muy por encima del O.C.H. y la Densidad Natural presenta valores mucho menores al Ensayo Proctor Modificado. En Conclusión, el terreno de fundación no alcanzará y/o estará lejos de la Densidad Equivalente al 95% ó 100% de la MDS, criterio que se asume como regla general.

California Bearing Ratio (C.B.R.)

El CBR de suelos compactados (como es el caso de terraplenes) y de suelos granulares densos, están asociados al 100% de la máxima densidad seca del proctor modificado.

El CBR de sub rasantes arenosas y limo arcillosas no puede asociarse a este valor, porque su densidad de campo es debajo de la máxima densidad seca y su humedad natural es mayor que el óptimo contenido de humedad. En este último caso el CBR se obtiene de muestras inalteradas (A. Ordóñez y S. Minaya, 2001).

El CBR es la relación (expresada en porcentaje) entre la resistencia a la penetración requerida para que un pistón de 3 pulg2 de área penetrada 0.1 pulg dentro de un suelo entre 1000 psi que es la resistencia a la penetración de una muestra patrón. La muestra patrón es una piedra chancada.

El CBR se expresa como:

$$\boldsymbol{CBR = \frac{Resistencia\ a\ la\ penetracion\ (psi)\ requerida\ para\ penetrar\ 0.1\ pulg}{1,000\ lb\ /\ pulg2} x100}$$

En varios casos el CBR, calculado para 0.2” con su factor de 1500 PSI a veces es mayor, que el resultado de 0.1”, de observar esto se debe realizar un nuevo ensayo.

Si los resultados son similares, el valor del CBR para 0.2 pulg de penetración, se reporta como el CBR representativo de la muestra.

CBR en muestras inalteradas

Que es recomendado para sub-rasantes de suelos finos. Consistió en obtener una muestra inalterada de campo, que fue protegida para que no pierda su humedad natural. En el

laboratorio se realizó el ensayo de penetración en su condición natural, siguiendo el mismo procedimiento que en muestras remoldeadas.

CBR en muestras remoldeadas

Método que recomendado para sub-rasantes granulares, materiales de base, sub base y afirmado.

Los especímenes se ensayaron en su condición saturada, luego de un período de inmersión en agua, la condición saturada fue la más desfavorable.

Extracción y preparación de muestras.

Para los estudios de muestras inalteradas, se tuvo que cubrir, proteger las muestras, la estructura y el contenido de humedad para representar las condiciones de campo, las muestras inalteradas fueron necesarias para ensayos de CBR. Las muestras inalteradas se extrajeron con los moldes de CBR y un accesorio de este, que permitió cortar el suelo. Se protegió y trasladó al laboratorio para su inmediato ensayo, el CBR así calculado, está asociado a la densidad y humedad natural.

Las muestras alteradas fueron obtenidas mediante excavaciones con herramientas manuales en cantidades suficientes para la realización de todos los ensayos previstos. Las muestras así obtenidas fueron acondicionadas y transportadas al Laboratorio en recipientes adecuadamente cerrados. El muestreo fue hecho con mucho cuidado para evitar la contaminación del material.

Ensayo de densidad natural (método cono de arena) AASHTO T 191-92

Por el ensayo de densidad natural, se conoce la condición natural del terreno de fundación, otra aplicación de este ensayo es en los controles de compactación de campo para el caso de la conformación de terraplenes, capas de afirmado, base y sub base. Conociendo la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del suelo a compactar, se puede verificar el porcentaje de compactación con este ensayo.

El equipo y método usado para medir la densidad natural del suelo y contenido de humedad fue el método del cono de arena.

3.2.5.3.2.1. Descripción de los perfiles estratigráficos - TDF:

Calicata Nº 01- L/Izq. - Suelo natural (T.D.F.)- km 0+010

Un primer estrato de 0.00 a 0.50 m. Conformado por un Material de afirmado mezcla de grava arena limo y arcilla suelo denso de color marrón.

Un segundo estrato de 0.50 a 1.00 m. Conformado por un Material de relleno arena arcilloso-limosa con 30.55% mezclas de gravas de hasta 6", suelo denso de color marrón claro, de baja plasticidad con respecto al L.L. y de baja plasticidad con respecto al I.P con 30.09% finos (Que pasa la malla Nº 200), L.L.= 22.16% e I.P.= 5.84%, de expansión baja en condición normal con respecto al I.P. De clasificación: **SUCCS= SM-SC y ASSHTO= A2-4(0)- Material de Relleno**

Un tercer estrato de 1.00 a 1.50 m. Conformado por una Arcilla delgada con arena, suelo semi denso, de color marrón con manchas rojizas, de media plasticidad con respecto L.L., de media plasticidad con respecto al I.P. con 75.43% de finos (Que pasa la malla Nº 200), L.L.= 33.47% e I.P.= 13.99%, de expansión media en condición normal con respecto al I.P. De clasificación: **SUCCS= CL y ASSHTO= A-6(9)**

Calicata Nº 02-L/D - Suelo natural (T.D.F.)- km 0+500

Un primer estrato de 0.00 a 0.20 m. Conformado por un Material de afirmado mezcla de grava arena limo y arcilla suelo denso de color marrón

Un segundo estrato de 0.20 a 1.50 m. Conformado por una Arcilla delgada, suelo semi denso, de color marrón con puntos blanquecinos, de alta plasticidad con respecto L.L., de media plasticidad con respecto al I.P. con 85.60% de finos (Que pasa la malla Nº 200), L.L.= 35.19% e I.P.= 15.76%, de expansión media en condición normal con respecto al I.P. De clasificación: **SUCCS= CL y ASSHTO= A-6(13).**

Calicata Nº 03 - L/D - Suelo natural (T.D.F.)- km 1+000.

Un primer estrato de 0.00 a 0.20 m. Conformado por un Material de afirmado mezcla de grava arena limo y arcilla suelo denso de color marrón

Un segundo estrato de 0.20 a 1.50 m. Conformado por una Arcilla limosa con arena, suelo semi denso, de color marrón con manchas blanquecinas y amarillentas, de baja plasticidad

con respecto L.L., de baja plasticidad con respecto al I.P. con 76.66% de finos (Que pasa la malla Nº 200), L.L.= 26.31% e I.P.= 5.14%, de expansión baja en condición normal con respecto al I.P. De clasificación: **SUCCS= CL-ML y ASSHTO= A-4(2).**

Calicata Nº 04 - L/Izq. - Suelo natural (T.D.F.)- km 1+500.

Un primer estrato de 0.00 a 0.10 m. Conformado por una materia orgánica mezcla de gravas y raíces, de color negro

Un segundo estrato de 0.10 a 0.60 m. Conformado por una Arena arcilloso-limosa, suelo denso, de color gris, de baja plasticidad con respecto L.L., de baja plasticidad con respecto al I.P. con 28.66% de finos (Que pasa la malla Nº 200), L.L.= 22.08% e I.P.= 4.58%, de expansión baja en condición normal con respecto al I.P. De clasificación: **SUCCS= SM-SC y ASSHTO= A-2-4(0)**

Un tercer estrato de 0.60 a 1.10 m. Conformado por una Arena arcilloso con mezcla de fragmentos sedimentados, suelo denso, de color amarillento con manchas rojizas y blanquecinas, de baja plasticidad con respecto L.L., de baja plasticidad con respecto al I.P. con 32.16% de finos (Que pasa la malla Nº 200), L.L.= 24.99% e I.P.= 7.36%, de expansión baja en condición normal con respecto al I.P. De clasificación: **SUCCS= SC y ASSHTO= A-2-4(0).**

Un cuarto estrato de 1.10 a 1.50 m. Conformado por una Arcilla delgada, suelo denso, de color gris con machas oscuras, de alta plasticidad con respecto al L.L. y de alta plasticidad con respecto al I.P con 97.12% de finos (Que pasa la malla Nº 200), L.L.= 43.43% e I.P.= 18.87%, de expansión media en condición normal con respecto al I.P. De clasificación: **SUCCS= CL y ASSHTO= A-7-6(20)**

Calicata Nº 05- L/D - Suelo natural (T.D.F.)- km 2+000.

Un primer estrato de 0.00 a 0.25 m. Conformado por un Material de afirmado mezcla de grava arena limo, suelo denso de color marrón claro

Un segundo estrato de 0.25 a 1.50 m. Conformado por una Arcilla limosa-arenosa, suelo denso, de color blanquecino, de media plasticidad con respecto L.L., de baja plasticidad con respecto al I.P. con 55.41% de finos (Que pasa la malla Nº 200), L.L.= 25.83% e I.P.=

5.90%, de expansión baja en condición normal con respecto al I.P. De clasificación: **SUCCS= CL-ML y ASSHTO= A-4(1)**

Calicata Nº 06-L/Izq. - Suelo natural (T.D.F.)- km 2+500

Un primer estrato de 0.00 a 0.20 m. Conformado por un Material de afirmado, mezcla de grava arena y limo, suelo denso de color marrón claro

Un segundo estrato de 0.20 a 1.00 m. Conformado por una Arcilla delgada con arena, suelo denso, de color marrón oscuro, de alta plasticidad con respecto L.L., de alta plasticidad con respecto al I.P. con 83.55% de finos (Que pasa la malla Nº 200), L.L.= 38.28% e I.P.= 17.39%, de expansión media en condición normal con respecto al I.P. De clasificación: **SUCCS= CL y ASSHTO= A-6(14).**

Un tercer estrato de 1.00 a 1.50 m. Conformado por una Arcilla inorgánica, suelo denso, de color marrón claro con manchas grises, de muy alta plasticidad con respecto al L.L. y de alta plasticidad con respecto al I.P con 97.38% finos (Que pasa la malla Nº 200), L.L.= 58.54% e I.P.= 28.44%, de expansión media en condición normal con respecto al I.P. De clasificación: **SUCCS= CH y ASSHTO= A-7-5(20).**

Calicata Nº 07- L/D-Suelo natural (T.D.F.)- km 3+000

Un primer estrato de 0.00 a 0.20 m. Conformado por un Material de afirmado mezcla de grava arena y limo, suelo denso, de color marrón claro.

Un segundo estrato de 0.20 a 0.50 m.Conformado por una Arena arcilla con raíces, suelo denso de color marrón claro con manchas oscuras.

Un tercer estrato de 0.50 a 1.50 m. Conformado por una Arena arcilloso-limosa, suelo semi denso, de color marrón claro, de baja plasticidad con respecto L.L., de baja plasticidad con respecto al I.P. con 25.97% de finos (Que pasa la malla Nº 200), L.L.= 17.04% e I.P.= 4.54%, de expansión baja en condición normal con respecto al I.P. De clasificación: **SUCCS= SM-SC y ASSHTO= A-2-4(0).**

Calicata Nº 08 - L/Izq.-Suelo natural (T.D.F.)- km 3+500

Un primer estrato de 0.00 a 0.20 m. Conformado por un Material de afirmado mezcla de grava arena y limo, suelo denso, de color marrón claro

Un segundo estrato de 0.20 a 0.50 m. Conformado por un Material de relleno (conglomerado mezcla de grava arena limo y arcilla, con bolonerias de hasta 9", suelo denso, de color marrón con puntos blancos)

Un tercer estrato de 0.50 a 1.50 m. Conformado por una Arcilla delgada, suelo muy denso, de color rojizo claro con manchas blancas, de alta plasticidad con respecto L.L., de alta plasticidad con respecto al I.P. con 95.73% de finos (Que pasa la malla Nº 200), L.L.= 36.30% e I.P.= 16.95%, de expansión media en condición normal con respecto al I.P. De clasificación: **SUCCS= CL y ASSHTO= A-6(17).**

Calicata Nº 09 - L/D.-Suelo natural (T.D.F.)- km 4+000

Un primer estrato de 0.00 a 0.15 m. Conformado por un Material de afirmado, mezcla de grava arena y limo, suelo semi denso, de color marrón claro

Un segundo estrato de 0.15 a 0.70 m. Conformado por una Arcilla delgada, suelo semi denso, de color marrón, de alta plasticidad con respecto L.L., de alta plasticidad con respecto al I.P. con 87.47% de finos (Que pasa la malla Nº 200), L.L.= 37.60% e I.P.= 17.58%, de expansión media en condición normal con respecto al I.P. De clasificación: **SUCCS= CL y ASSHTO= A-6(15).** Un tercer estrato de 0.70 a 1.10 m. Conformado por una Arena arcillosa con mezcla de grava en un 11.17 %, suelo semi denso, de color amarillento, de media plasticidad con respecto L.L., de baja plasticidad con respecto al I.P. con 48.07% de finos (Que pasa la malla Nº 200), L.L.= 26.13% e I.P.= 8.68%, de expansión baja en condición normal con respecto al I.P. De clasificación: **SUCCS= SC y ASSHTO= A-4(1).**

Un cuarto estrato de 1.10 a 1.50 m. Conformado por un Conglomerado, mezcla de grava, arena, limo y arcilla, con un 49.26% de grava, suelo semi denso húmedo, de color marrón oscuro con machas amarillentas, de baja plasticidad con respecto al L.L. y de baja plasticidad con respecto al I.P con 27.91% de finos (Que pasa la malla Nº 200), L.L.= 24.15% e I.P.= 6.68%, de expansión baja en condición normal con respecto al I.P.

De clasificación: **SUCCS= GM-GC y ASSHTO= A-2-4(0)**

Calicata Nº 10 - L/Izq.-Suelo natural (T.D.F.)- km 4+500

Un primer estrato de 0.00 a 0.20 m. Conformado por un Material de afirmado, mezcla de grava arena y limo, suelo denso, de color marrón claro

Un segundo estrato de 0.20 a 0.40 m. Conformado por una Arcilla arenosa, suelo semi denso de color marrón con manchas amarillentas

Un tercer estrato de 0.40 a 0.60 m. Conformado por un conglomerado fino, mezcla de grava arena limo y arcilla, suelo semi denso, de color amarillento con manchas blanquecinas y marrones.

Un cuarto estrato de 0.56 a 1.50 m. Conformado por una Arcilla delgada, suelo muy denso, de color marrón oscuro, de alta plasticidad con respecto L.L., de alta plasticidad con respecto al I.P. con 94.82% de finos (Que pasa la malla Nº 200), L.L.= 42.41% e I.P.= 19.06%, de expansión media en condición normal con respecto al I.P. De clasificación: **SUCCS= CL y ASSHTO= A-7-6(20).**

Calicata Nº 11 - L/D.-Suelo natural (T.D.F.)- km 5+000

Un primer estrato de 0.00 a 0.20 m.

Conformado por un Material de afirmado, mezcla de grava arena y limo, suelo denso de color marrón claro

Un segundo estrato de 0.20 a 1.10 m.

Conformado por una Arcilla inorgánica, suelo denso, de color marrón oscuro, de muy alta plasticidad con respecto L.L., de alta plasticidad con respecto al I.P. con 99.01% de finos (Que pasa la malla Nº 200), L.L.= 59.60% e I.P.= 29.22%, de expansión media en condición normal con respecto al I.P. De clasificación: **SUCCS= CH y ASSHTO= A-7-5(20).**

Un tercer estrato de 1.10 a 1.50 m.

Conformado por una Arcilla inorgánica, suelo denso, de color marrón claro, de muy alta plasticidad con respecto al L.L. y de alta plasticidad con respecto al I.P con 98.43% finos (Que pasa la malla Nº 200), L.L.= 59.38% e I.P.= 28.82%, de expansión media en condición normal con respecto al I.P. De clasificación: **SUCCS= CH y ASSHTO= A-7-5(20)**

Calicata Nº 12 - L/D.-Suelo natural (T.D.F.)- km 5+500

Un primer estrato de 0.00 a 0.20 m. Conformado por una Material de afirmado, mezcla de grava arena y limo, suelo denso de color marrón claro

Un segundo estrato de 0.20 a 1.50 m.

Conformado por una Arcilla delgada, suelo semi denso, de color marrón, de alta plasticidad con respecto L.L., de alta plasticidad con respecto al I.P. con 92.16% de finos (Que pasa la malla Nº 200), L.L.= 45.63% e I.P.= 20.03%, de expansión media en condición normal con respecto al I.P. De clasificación: **SUCCS= CL y ASSHTO= A-7-6(20).**

Calicata Nº 13 - L/D.-Suelo natural (T.D.F.)- km 6+000

Un primer estrato de 0.00 a 1.70 m.

Conformado por una Material de relleno, (material propio, arcilla plástica suelo semi denso, con raíces, de color rojo débil).

Un segundo estrato de 1.50 a 2.10 m.

Conformado por una Arcilla delgada, suelo denso, de color rojo oscuro, de alta plasticidad con respecto L.L., de alta plasticidad con respecto al I.P. con 91.21% de finos (Que pasa la malla Nº 200), L.L.= 45.41% e I.P.= 19.95%, de expansión media en condición normal con respecto al I.P. De clasificación: **SUCCS= CL y ASSHTO= A-7-6(20).**

Calicata Nº 14 - L/Izq.-Suelo natural (T.D.F.)- km 6+500

Un primer estrato de 0.00 a 0.50 m. Conformado por una Materia orgánica, arcilla plástica, suelo denso de color rojizo con manchas amarillentas

Un segundo estrato de 1.00 a 1.50 m.

Conformado por una Arcilla delgada, suelo denso, de color marrón oscuro, de alta plasticidad con respecto L.L., de alta plasticidad con respecto al I.P. con 89.61% de finos (Que pasa la malla Nº 200), L.L.= 43.66% e I.P.= 18.94%, de expansión media en condición normal con respecto al I.P. De clasificación: **SUCCS= CL y ASSHTO= A-7-6(19)**

Calicata Nº 15- L/D.-Suelo natural (T.D.F.)- km 7+000

Un primer estrato de 0.00 a 0.10 m.

Conformado por una materia orgánica, arcilla plástica con raíces, suelo semi denso de color gris con manchas amarillentas

Un segundo estrato de 0.10 a 0.90 m. Conformado por una Arcilla inorgánica, suelo denso, de color gris blanquecino con manchas rojizas, de muy alta plasticidad con respecto L.L., de alta plasticidad con respecto al I.P. con 99.59% de finos (Que pasa la malla Nº 200), L.L.= 59.79% e I.P.= 29.56%, de expansión media en condición normal con respecto al I.P. De clasificación: **SUCCS= CH y ASSHTO= A-7-5(20).**

Un tercer estrato de 0.90 a 1.50 m. Conformado por una Arcilla inorgánica, suelo denso, de color rojo oscuro con manchas blancas, de muy alta plasticidad con respecto al L.L. y de alta plasticidad con respecto al I.P con 99.74% finos (Que pasa la malla Nº 200), L.L.= 59.87% e I.P.= 29.67%, de expansión media en condición normal con respecto al I.P. De clasificación: **SUCCS= CH y ASSHTO= A-7-5(20).**

Calicata Nº 16- L/Izq.-Suelo natural (T.D.F.)- km 7+500

Un primer estrato de 0.00 a 0.30 m.

Conformado por una Materia orgánica, arcilla arenosa, suelo denso de color negro.

Un segundo estrato de 0.30 a 0.90 m.Conformado por una Arcilla delgada con arena, suelo denso, de color amarillento con manchas negras, de media plasticidad con respecto L.L., de media plasticidad con respecto al I.P. con 70.33% de finos (Que pasa la malla Nº 200), L.L.= 31.45% e I.P.= 10.58%, de expansión media en condición normal con respecto al I.P. De clasificación: **SUCCS= CL y ASSHTO= A-6(6)**

Un tercer estrato de 0.90 a 1.50 m. Conformado por una Arcilla delgada arenosa, suelo denso, de color amarillo rojizo con manchas negras, de media plasticidad con respecto al L.L. y de media plasticidad con respecto al I.P con 68.67% finos (Que pasa la malla Nº 200), L.L.= 31.30% e I.P.= 10.31%, de expansión media en condición normal con respecto al I.P. De clasificación: **SUCCS= CL y ASSHTO= A-4(5).**

Calicata Nº 17- L/D.-Suelo natural (T.D.F.)- km 8+000

Un primer estrato de 0.00 a 0.20 m. Conformado por un Material de afirmado mezcla de grava arena y limo, suelo denso, de color marrón claro

Un segundo estrato de 0.20 a 0.40 m. Conformado por una Materia orgánica, arcilla arenosa con raíces, suelo semi denso de color marrón oscuro

Un tercer estrato de 0.40 a 1.50 m.

Conformado por una Arcilla delgada con arena, suelo semi denso, de color marrón rojizo, de alta plasticidad con respecto L.L., de media plasticidad con respecto al I.P. con 78.03% de finos (Que pasa la malla Nº 200), L.L.= 35.42% e I.P.= 14.68%, de expansión media en condición normal con respecto al I.P. De clasificación: **SUCCS= CL y ASSHTO= A-6(11).**

Calicata Nº 18- L/Izq.-Suelo natural (T.D.F.)- km 8+500

Un primer estrato de 0.00 a 0.30 m. Conformado por una Material de afirmado, conglomerado mezcla de grava arena limo y arcilla, suelo denso. De color marrón rojizo.

Un segundo estrato de 0.30 a 0.90 m. Conformado por una Arena limosa, suelo semi denso, de color gris con manchas amarillentas, de baja plasticidad con respecto L.L., de baja plasticidad con respecto al I.P. con 46.93% de finos (Que pasa la malla Nº 200), L.L.= 14.02% e I.P.= 3.96%, de expansión baja en condición normal con respecto al I.P. De clasificación: **SUCCS= SM y ASSHTO= A-4(0).**

Un tercer estrato de 0.90 a 1.50 m.

Conformado por una Arcilla delgada arenosa, suelo denso, de color amarillento con manchas negras, de media plasticidad con respecto al L.L. y de baja plasticidad con respecto al I.P con 60.45% finos (Que pasa la malla Nº 200), L.L.= 28.40% e I.P.= 9.34%, de expansión baja en condición normal con respecto al I.P. De clasificación: **SUCCS= CL y ASSHTO= A-4(3).**

3.2.5.3.2.2. Análisis de la cimentación de la subrasante natural- TDF

Compactación de suelos – Proctor modificado- NORMA ASTM D- 1557.

Este ensayo determina la cantidad de energía aplicada al suelo para estabilizarlo y eliminar la proporción de varios; conforme a especificación, siendo el principal objetivo el determinar la máxima densidad seca versus el óptimo contenido de humedad con lo cual se obtiene máxima densidad del suelo.

El trabajo de análisis de la cimentación de la sub rasante natural se realizó en las siguientes calicatas:

Cuadro 5
Ubicación y profundidad excavada

CALICATAS - Nº	PROGRESIVA (KM)	PROFUNDIDAD EXCAVADA (m)	TIPO DE EXCAVACION
C-01 – L/IZQ.	0+010	1.50 m	MANUALMENTE
C-02 – L/D	0+500	1.50 m	MANUALMENTE
C-03 – L/D	1+000	1.50 m	MANUALMENTE
C-04 – L/IZQ.	1+500	1.50 m	MANUALMENTE
C-05 – L/D	2+000	1.50m	MANUALMENTE
C-06 – L/IZQ.	2+500	1.50m	MANUALMENTE
C-07 – L/D	3+000	1.50m	MANUALMENTE
C-08 – L/IZQ.	3+500	1.50m	MANUALMENTE
C-09 – L/D	4+000	1.50m	MANUALMENTE
C-10 – L/IZQ.	4+500	1.50m	MANUALMENTE
C-11 – L/D	5+000	1.50m	MANUALMENTE
C-12 – L/D	5+500	1.50m	MANUALMENTE
C-13- L/D	6+000	1.50m	MANUALMENTE
C-14- L/IZQ.	6+500	1.50m	MANUALMENTE
C-15- L/D	7+000	1.50m	MANUALMENTE
C-16- L/D	7+500	1.50m	MANUALMENTE
C-17- L/D	8+000	1.50m	MANUALMENTE
C-18- L/D	8+500	1.50m	MANUALMENTE

Fuente: Elaboración propia

Relación de soporte california (CBR)

La capacidad de soporte de los suelos ha sido clasificada según el cuadro siguiente:

Tabla 10
Capacidad de soporte de los suelos (CBR)

DESCRIPCIÓN	CBR %	CLASIFICACIÓN
Subrasante muy pobre	CBR < 3%	S0
Subrasante pobre	CBR = 3% - 5%	S1
Subrasante regular	CBR = 6 - 10%	S2
Subrasante buena	CBR = 11 - 19%	S3
Subrasante muy buena	CBR > 20%	S4

Fuente: EG CBT-2008

Esta clasificación de los valores de la relación Soporte California (CBR) se debe tener en consideración al momento de calcular el espesor del afirmado, el que deberá tener el espesor suficiente para que las cargas no asimiladas por sus capas, no excedan la capacidad portante del suelo de fundación o sub rasante.

3.2.5.3.2.3. Estabilización de suelos

La Resolución Directoral No 05-2013-MTC/14., dice que se puede mejorar con estabilización de suelos, hace que mejora las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos.

Estabilizaciones, por lo general se realizan en los suelos de sub-rasante malas de baja resistencia, se requiere de varios tipos de aditivos, para mejorar el suelo y estabilizarlos, **suelo-cemento**, suelo-cal, suelo-asfalto y otros productos diversos cualquiera sea el mecanismo de estabilización, es seguido de un proceso de compactación.

Criterios geotécnicos para la estabilización de suelos

Para la estabilización de suelos es necesario determinar el tipo de suelo existente.

Los suelos que se encuentran en este ámbito son: las arcillas delgadas, arcillas delgadas con arena, Arena arcilloso-limosa, o las arenas limosas.

Cuadro 6
Guía referencial para la selección del tipo de estabilización

ÁREA	CLASE DE SUELO	TIPO DE ESTABILIZAR RECOMENDADO	RESTRICCIÓN EN LL Y IP DEL SUELO	RESTRICCIÓN EN EL PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA 200	OBSERVACIONES
1A	SW ó SP	(1) Asfalto			
		(2) Cemento Pórtland			
		(3) Volantes	IP no excede de 25		
1B	SW-SM ó SP-SM ó SW-SC ó SP-PC	(1) Asfalto	IP no excede de 10		
		(2) Cemento Pórtland	IP no excede de 30		
		(3) Cal	IP no menor de 12		
		(4) Volantes	IP no excede de 25		
1C	SM ó SC ó SM-SC	(1) Asfalto	IP no excede de 10	No debe exceder el 30% en peso	
		(2) Cemento Pórtland	(b)		
		(3) Cal	IP no menor de 12		
		(4) Cal-Cemento-Cenizas	IP no excede de 25		
2A	GW ó GP	(1) Asfalto			Solamente material bien graduado.

		(2)	Cemento Pórtland			El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la Malla N°4.
		(3)	Cal-Cemento-Cenizas	IP no excede de 25		
2B	GW-GM ó GP-GM ó GW-GC ó GP-GC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10		Solamente material bien graduado.
		(2)	Cemento Pórtland	IP no excede de 30		El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la Malla N°4.
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Cenizas	IP no excede de 25		
2C	GM ó GC ó GM-GC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10	No debe exceder el 30% en peso	Solamente material bien graduado.
		(2)	Cemento Pórtland	(b)		El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la Malla N°4.
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Cenizas	IP no excede de 25		
3	CH ó CL ó MH ó ML ó OH ó OL ó ML-CL	(1)	Cemento Pórtland	LL no menor de 40 IP no menor de 20		Suelos orgánicos y fuertemente ácidos contenidos en esta área no son susceptibles a la estabilización por métodos ordinarios.
		(2)	Cal	IP no menor de 12		
IP = Índice Plástico. (b) IP 20 + (50 - porcentaje que pasa la Malla N°200) /4.				Sin restricción u observación. No es necesario.		

Fuente: Resolución Directoral No. 05-2013-MTC/14

3.2.5.3.2.4. Estabilización con cemento- Caso del proyecto

Para la realización de la investigación, primero se tuvo que determinar los tipos de suelos que comprenden el tramo de la carretera, mediante ensayos de clasificación (análisis granulométrico por tamizado, límites de consistencia), con el fin de obtener su "Clasificación de Suelos AASHTO", del terreno de fundación, luego mediante lo estipulado en el Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito, se estableció los diferentes porcentajes de adición de cemento.

La dosificación de cemento puede fijarse aproximadamente en función del tipo de suelo, según la siguiente tabla:

Tabla 11
Dosificación de cemento según clasificación de suelos.

Clasificación de Suelos AASHTO	Rango usual de cemento requerido Porcentaje del peso de los suelos
A-1-a	**3 – 5- Para canteras - caso del proyecto**
A-1-b	5 – 8
A –2	**5 – 9, Para canteras-caso del proyecto**
A – 3	7 – 11
A – 4	7 - 12
A – 5	8 – 13
A – 6	**9 –15-TDF-caso del proyecto**
A – 7	**10 – 16-TDF-caso del proyecto**

Fuente: MTC- Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito

Se determinaron en el laboratorio, siguiendo los pasos siguientes:

Estimar el porcentaje de cemento

Determinar el incremento de la resistencia del suelo estabilizado con cemento.

Determinar el contenido de cemento para el cual la resistencia aumenta en forma importante.

Se debe reportar resultados de la capacidad de soporte según la metodología "California Bearing Ratio - CBR" (Relación de Soporte de California), para clasificar las mejoras.

Por ningún motivo se debe emplear más del 16% de cemento en el suelo, ya que se aumenta la resistencia.

Los suelos que se usen para la construcción de Suelo-Cemento deberá estar libre de materia orgánica u otra sustancia que pueda perjudicar la elaboración y fraguado.

El cemento que se utiliza es (Cemento Pacasmayo tipo I).

El cemento utilizado será Portland, el cual deberá cumplir lo especificado en la Norma Técnica Peruana NTP334.009, Norma AASHTO M85 o la Norma ASTM-C150.

3.2.5.3.2.5. Mezcla suelo - cemento.

Este procedimiento se basa en el hecho de que la adición de cemento necesaria para estabilizar un suelo es aquella que garantiza la vida útil de él.

Con este proceso se logrará mejores resultados a futuro dentro de la carretera del proyecto en estudio.

Para ello, se ensayan muestras con distintos porcentajes de cemento, midiéndose la resistencia en determinadas condiciones. Estos procesos se hicieron en el laboratorio de mecánica de suelos.

3.2.5.3.2.6. Proporcionamiento y mezclado de las muestras.

Porcentaje mínimo de cemento

El porcentaje mínimo de cemento, se ha tenido en cuenta, de acuerdo al tipo de suelo estabilizado a conseguir, en este caso la de menor resistencia y la clasificación AASHTO, que permita obtener una capacidad de soporte del suelo.

Porcentaje óptimo de cemento

Se tuvo que hacer ensayos con diferentes porcentajes de adición de cemento de acuerdo a su clasificación AASHTO, solo se realizaron las combinaciones en algunas calicatas y/o tramo, por la similitud que tienen en su clasificación, también se realizaron en los suelos donde se obtuvieron CBR, más bajos en resistencia (más críticos TDF), las cuales se presenta:

Cuadro 7
Porcentaje (%) óptimo de cemento ejecutados

CALICATAS - Nº	KM	CLASIFICACIÓN AASHTO	CLASIFICACIÓN SUCSS	RANGO USUAL DE CEMENTO REQUERIDO % DEL PESO DE LOS SUELOS	% OPTIMO DE CEMENTO
C-02 – L/D	0+500	A-6(13)	CL	9 - 15	9
C-06 – L/IZQ.	2+500	A-6(14)	CL	9 - 15	9
C-09 – L/D	4+000	A-6(15)	CL	9 - 15	9
C-11 – L/D	5+000	A-7-5(20)	CH	10 - 16	10
C-15- L/D	7+000	A-7-5(20)	CH	10 - 16	10

Fuente: Elaboración propia

Obteniendo un porcentaje óptimo de cemento, permite aprovechar al máximo los efectos del cemento sobre el suelo a tratar, con un sobrecosto mínimo, de esta forma, se logrará un material con unas propiedades geotécnicas resistentes adecuadas, que no sólo cumpla las especificaciones necesarias, sino que, además, tenga características y comportamientos de durabilidad mucho mejores, así como también considerando la Tabla Nº 10 de los tipos de CBR como muy buenos, mayores de 20%.

3.2.5.3.3. Estudio de canteras y fuentes de agua

Paralelamente al estudio de mecánica de suelos, se realizó el reconocimiento de fuentes de aprovisionamiento de materiales, para la construcción del pavimento a nivel de afirmado, contempladas en el presente estudio.

Como parte de la evaluación de fuentes de materiales, se han hecho las averiguaciones sobre su ubicación, fácil acceso, potencia, rendimientos, así como su situación legal.

Estos trabajos fueron realizados por el tesista **Bach. Ing. Civil. Flavio Gean Pierre Pezo López**

3.2.5.3.3.1. Metodología de estudios de canteras

El estudio de canteras del presente proyecto se realizó en dos etapas, comprende la ubicación, investigación y verificación de las propiedades físicas mecánicas y químicas de los materiales agregados, para la estructura de la carretera vecinal capa de afirmado.

Se seleccionaron únicamente aquellas canteras que demuestren la calidad y cantidad de material existente, son adecuados, cercanos y suficientes para la construcción total de la vía.

Adicionalmente se verificará que las explotaciones de las canteras seleccionadas cumplan con las especificaciones técnicas del EG - CBT 2008

Investigaciones de campo, de las canteras propuestas

Las investigaciones de campo de las canteras propuestas, fueron realizadas en dos etapas, según el tipo de formación geológica, las que se detallan a continuación:

Etapa I*:* Estudio de canteras de cerro natural:

Dentro del marco de estudios de canteras, se realizó la ubicación, investigación y verificación de las propiedades física-mecánicas de los materiales provenientes de dos canteras de bancos de cerro, Cantera Nº 01 - Sector Las Flores, carretera Bello Horizonte - San Fernando - Las Flores Km 9+970, Cantera de cerro natural, Conglomerado (mezcla de grava, arena, limo y arcilla), suelo semi denso, de color amarillento con manchas blancas; Cantera Nº 02 - Sector San Fernando carretera Bello Horizonte - San Fernando Km 6+000 - Talud de cerro L/Der. Cantera de cerro natural, Conglomerado (mezcla de grava, arena, limo y arcilla), suelo semi denso, de color marrón claro con puntos blancos, con la finalidad de determinar su aptitud para su utilización para la capa afirmado.

Exploraciones

Se realizaron los reconocimientos de campo de toda el área de las canteras, con inspección visual, tomando fotografías de vistas panorámicas. En la primera etapa se realizaron investigaciones de dos canteras, con exploraciones en varios puntos, las cuales se detallan:

Cuadro 8
Ubicación de canteras

Canteras	Progresiva (km)	Estado del acceso	Usos	Propiedad
Cantera Nª 01 - Sector Las Flores - carretera Bello Horizonte - San Fernando - Las Flores	9+970	Bueno	Capa de afirmado	Privado
Cantera Nª 02- Sector San Fernando carretera Bello Horizonte – San Fernando	6+000	Bueno	Capa de afirmado	Privado

Fuente: Elaboración propia

Excavaciones - exploraciones de calicatas en canteras

Una vez ubicados las canteras, se procedió a su investigación mediante las excavaciones de calicatas, para determinar las características y su potencia. Seguidamente con la descripción de cada punto de exploración en cuanto a su espesor, dilatancia, humedad, compacidad, plasticidad, volumen, se tomaron muestras representativas de los materiales explorados. Las muestras representativas se analizaron en el laboratorio de mecánica de suelos, con la finalidad de determinar el área por explotarse y se realizaron mediciones de la superficie.

Ensayos de laboratorio

Con el objetivo de determinar las características, propiedades y calidad de los materiales, se realizaron los ensayos considerando las normas técnicas vigentes (ASTM, EG - CBT 2008).

Cuadro 9
Relación detallada de los ensayos de laboratorio –preliminares para realizar las combinaciones (Propiedades físicas)

Ensayos Estándar	Normas
Porcentaje de Humedad Natural	ASTM D-2216
Peso Específico y Absorción	AASHTO T-84 Y AASHTO T-85
Análisis Granulométrico por Tamizado	MTC E 204 D-422 – T27
Limite Liquido	MTC E 110 - ASTM D 4318
Índice de plasticidad	MTC E 111 ASTM D 4318

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente se realizó un diseño de mezclas con combinaciones de ambas canteras y al mismo tiempo los estudios correspondientes - Diseño, Combinación de los agregados Cantera Nº 02 - Sector San Fernando carretera Bello Horizonte - San Fernando Km 6+000 - Talud de cerro L/Der. - (Privado) 70% + 30% Cantera Nº 01 - Sector Las Flores, carretera Bello Horizonte - San Fernando - Las Flores Km 9+970

Se realizaron los siguientes ensayos con el objetivo de determinar las características, propiedades y calidad de los materiales, considerando las normas técnicas vigentes (ASTM, EG - CBT 2008).

Cuadro 10
Relación detallada de los ensayos de laboratorio

Ensayos estándar	**Normas**
Porcentaje de Humedad Natural	ASTM D-2216
Peso Específico y Absorción	AASHTO T-84 Y AASHTO T-85
Análisis Granulométrico por Tamizado	MTC E 204 D-422 – T27
Limite Liquido	MTC E 110 - ASTM D 4318
Índice de plasticidad	MTC E 111 ASTM D 4318
Ensayos de requisitos de calidad	**Normas**
Equivalente de Arena	MTC E 114- ASTM D 2419 - AASHTO T 176
Desgaste a la abrasión	MTC E 207 C 131 - T 96 – AASHTO T 96 - ASTM C-535
CBR	MTC E 132 D 1883 T 180
Densidad – Humedad	MTC E 117 - ASTM D 1557 T180

Fuente: Elaboración propia

Descripción de canteras de los bancos de cerro naturales:

Se ubicaron dos canteras de aprovisionamiento de materiales para conformar el afirmado, previos estudios preliminares y fusiones. Los trabajos de campo fueron realizados durante el mes de septiembre del 2017, en los anexos se adjuntan planos de canteras y fuentes de agua.

Cantera N° 01

Ubicación **:** Sector Las Flores, carretera Bello Horizonte – San Fernando - Las Flores Km 9+970

Coordenadas UTM **:** N= 9277716 – E= 0353901

Acceso **:** Tramo de la carretera Bello Horizonte –San Fernando - Las Flores hasta la altura del Km 9+970, lugar donde se ubica la cantera (carretera afirmada).

Propiedad **:** Privado

Rendimiento **:** 40 %

Potencia estimada **:** 8,000 m3

Clasificación **:** SUCS : GC AASHTO: A-2-4(0)

Tipo de material **:** Conglomerado (mezcla de grava canto rodado, arena, limo y arcilla), color amarillento con manchas blancas

Uso **:** Afirmado

Tratamiento **:** El material será procesado y seleccionado, utilizando una malla, zarandeada, de tamaño máximo 2".

Método de explotación **:** maquinaria pesada**,** Excavadora, cargador frontal, volquetes.

Cantera de cerro banco natural ubicada en el tramo de la carretera Bello Horizonte - San Fernando - Las Flores hasta la altura del Km 9+970, lugar donde se ubica la cantera, será utilizado para capa de afirmado.

Cantera N° 02

Ubicación **:** Sector San Fernando, carretera Bello Horizonte – San Fernando Km 6+000 - Talud de cerro L/Der.

Coordenadas UTM **:** N= 9277495 – E= 0355281

Acceso **:** Tramo de la carretera Bello Horizonte – San Fernando - Las Flores hasta la altura del Km 6+000, lugar donde se ubica la cantera (carretera Afirmada).

Propiedad **:** Privado

Rendimiento **:** 60 %

Potencia estimada **:** 15,000 m3

Clasificación **:** SUCS : SC AASHTO: A-2-6(0)

Tipo de material **:** Conglomerado (mezcla de grava canto rodado, arena, limo y arcilla), de color marrón claro con puntos blancos

Uso **:** Afirmado

Tratamiento **:** El material será procesado y seleccionado, utilizando una malla, zaranda, de tamaño máximo 2".

Método de explotación **:** Maquinaria Pesada**,** Excavadora, cargador frontal, volquetes.

Cantera de cerro natural ubicada en el tramo de la carretera Bello Horizonte - San Fernando - Las Flores altura del Km 6+000, lugar donde se encuentra ubicada la cantera, será utilizado para capa de afirmado.

Etapa II: Estudios opcionales - canteras de Río: Río Mayo y Río Cumbaza

Dentro del marco de estudios de canteras propuestas, se realizaron las ubicaciones, investigaciones y verificaciones de las propiedades física-mecánicas de los materiales provenientes de las dos canteras de los ríos, Cantera Nº 03 - Cantera Río Mayo - Sector Puente Colombia, Mezcla de gravas canto rodado arena y limo, de color marrón, Cantera Nº 04 - Cantera Río Cumbaza - Sector Juan Guerra, Mezcla de gravas canto rodado arena y limo, de color blanquecino, con la finalidad de determinar su aptitud para su utilización como capa de afirmado.

Exploraciones

Se realizaron 04 calicatas- exploraciones en cada cantera hasta 2.00m de profundidad, las calicatas ubicadas convenientemente en toda el área que contempla las canteras, las cuales se detallan:

Cuadro 11
Ubicación de calicatas

Canteras	Sector	Estado del acceso	Usos	Propiedad
Cantera Nº 03 - Cantera Río Mayo	Puente Colombia	Bueno	Afirmado	Privado
Cantera Nº 04 - Cantera Río Cumbaza	Juan Guerra.	Bueno	Afirmado	Municipalidad Distrital de Juan Guerra

Fuente: Elaboración propia

Excavaciones de calicatas de canteras de río

Una vez ubicados las canteras, se procedió la investigación mediante las excavaciones de las calicatas hasta 2.00 m de profundidad, para determinar las características y su potencia.

Seguidamente con la descripción de cada punto de exploración en cuanto a su espesor, dilatancia, humedad, compacidad, plasticidad, se tomaron muestras representativas de los materiales explorados. Las muestras representativas se analizaron en el laboratorio de

mecánica de suelos, con la finalidad de determinar el área por explotarse, realizaron mediciones de la superficie.

Ensayos de laboratorio

Con el objetivo de determinar las características, propiedades y calidad de los materiales, se realizaron los ensayos considerando las normas técnicas vigentes (ASTM, EG - CBT 2008).

Cuadro 12
Relación detallada de los ensayos de laboratorio

Ensayos estándar	Normas
% de Humedad Natural	ASTM D-2216
Peso Específico y Absorción	AASHTO T-84 Y AASHTO T-85
Análisis Granulométrico por Tamizado	MTC E 204 D-422 – T27
Limite Liquido	MTC E 110 - ASTM D 4318
Índice de plasticidad	MTC E 111 ASTM D 4318
Ensayos de requisitos de calidad	
Equivalente de Arena	MTC E 114- ASTM D 2419 - AASHTO T 176
Desgaste a la abrasión	MTC E 207 C 131 - T 96 – AASHTO T 96 - ASTM C-535
CBR	MTC E 132 D 1883 T 180
Densidad – Humedad	MTC E 117 - ASTM D 1557 T180

Fuente: Elaboración propia

Descripción de canteras

Se ubicaron dos canteras de aprovisionamiento de materiales para conformar el afirmado. Los trabajos de campo fueron realizados durante el mes de septiembre del 2017, en los anexos de adjuntan plano de canteras y fuentes de agua.

Cantera N° 03

Ubicación	**:** Cantera río Mayo - Sector Puente Colombia
Coordenadas UTM	**:** N= 9271709 – E= 0355682
Acceso	**:** Siguiendo la misma carretera asfaltada Fernando Belaunde Terry Sur, antes de cruzar el puente Colombia, nos dirigimos por la carretera asfaltada shapaja-chazuta del óvalo unos 200m, lado derecho, cantera del Rio Mayo
Propiedad	**:** Privado
Rendimiento	**:** 80 %
Potencia estimada	**:** 35,000 m3
Clasificación	**:** SUCS : GP-GC AASHTO: A1-a(0)
Tipo de material	**:** Mezcla de gravas canto rodado arena y limo, de color marrón
Uso	**:** Afirmado
Tratamiento	**:** El material será procesado y seleccionado, utilizando una malla, zaranda, de tamaño máximo 2”.
Método de explotación	**:** Maquinaria pesada**,** tiempo de estiaje, con excavadora, cargador frontal, volquetes

La cantera está conformada por depósitos fluviales, se componen por acumulaciones de material mezcla de gravas canto rodado arena y limo, de color marrón, arrastrados y depositados por las aguas del rio a lo largo de su cauce, y será utilizado para capa de afirmado.

Cantera N° 04

Ubicación	**:** Cantera río Cumbaza - Sector Juan Guerra.
Coordenadas UTM	**:** N= 9272629 – E= 0351623
Acceso	**:** Ubicada en la localidad de Juan Guerra, en dirección hacia el río Cumbaza, carretera afirmada.
Propiedad	**:** Municipalidad Distrital de Juan Guerra
Rendimiento	**:** 80 %

Potencia estimada **:** 20,000 m3

Clasificación **:** SUCS : SP-SM AASHTO: A1-a(1)

Tipo de material **:** Mezcla de gravas canto rodado arena y limo, de color blanquecino

Uso **:** Afirmado

Tratamiento **:** El material será procesado y seleccionado, utilizando una malla, zaranda, de tamaño máximo 2".

Método de explotación **:** Maquinaria Pesada**,** tiempo de estiaje, con excavadora, cargador frontal, volquetes

Esta cantera está conformada por depósitos fluviales, se componen por acumulaciones de material mezcla de gravas canto rodado arena y limo, de color marrón, arrastrado y depositado por las aguas del rio a lo largo de su cauce, y será utilizada para la capa de Afirmado.

3.2.5.3.4. Especificaciones técnicas para afirmados - EG - CBT 2008

Para la dosificación y mezcla del material para afirmado, se tendrá como referencia y punto de partida las gradaciones que recomienda la especificación técnica EG- CBT 2008, sección 302B.:

Tabla 12
Granulometría correspondiente por cada tipo de afirmado

PORCENTAJE QUE PASA EL TAMIZ	TRÁFICO T0 Y T1: TIPO 1 IMD<50 VEH.	TRÁFICO T2: TIPO 2 51-100 VEH.	TRÁFICO T3: TIPO 3 101 – 200 VEH.	TRÁFICO T4: TIPO 4 201 – 400 VEH.
50 mm (2")	100	100		
37.5 mm (1½")		95 – 100	100	
25 mm (1")	50 – 80	75 – 95	95 – 100	100
19 mm (¾")			65 – 100	80 – 100
12.5 mm (½")				
9.5 mm (3/8")		40 – 75	45 – 80	65 – 100
4.75 mm (Nº 4)	20 – 50	30 – 60	30 – 65	50 – 85
2.36 mm (Nº 8)				
2.0 mm (Nº 10)		20 – 45	22 – 52	33 – 67
4.25 um (Nº 40)		15 – 30	15 – 35	20 – 45
75 um (Nº 200)	4 – 12	5 – 15	5 – 20	5 – 20
Índice de Plasticidad	4 – 9	4 – 9	4 – 9	4 – 9

Fuente: MTC- Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito

Para el caso del porcentaje que pasa el tamiz 75 µm (Nº 200), se tendrá en cuenta las condiciones ambientales locales (temperatura y lluvia), especialmente para prevenir el daño por la acción de las heladas, en este caso será necesario tener porcentajes más bajos al porcentaje especificado que pasa el tamiz 75 µm (Nº 200), por lo que el proyectista especificará los porcentajes apropiados. Además, deberán satisfacer los siguientes requisitos de calidad:

Desgaste Los Ángeles	: 50% máx.	(MTC E 207)
Límite Líquido	: 35% máx.	(MTC E 110)
Índice de Plasticidad	: 4 – 9	(MTC E 111)
CBR (1)	: 40% mín.	(MTC E 132)
Equivalente de Arena	: 20% mín.	(MTC E 114)

Referido al 100% de la máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1" (2.5 mm).

3.2.5.3.5. Fuentes de Agua

Ubicación

El estudio de fuentes de agua consistió en la ubicación y la toma de muestra representativa de fuentes de agua a lo largo del tramo de la carretera en estudio. Las mismas que fueron remitidas al laboratorio, para los correspondientes ensayos de calidad.

Se presentan las ubicaciones de los puntos de aguas muestreados, las mismas que fueron sometidas a ensayos químicos con la finalidad de determinar sus propiedades físicas y químicas, si presentan cantidades perjudiciales de ácido, sales, cloruro o sulfato, materia orgánica y otras sustancias que pueden ser nocivos para los materiales que comprenden el pavimento-afirmado.

Cuadro 13
Ubicación y usos recomendados de fuentes de agua del proyecto

Fuente de agua				
Nº	**Nombre**	**Progresivas (km)**	**Ubicación**	**Usos recomendados**
1	Quebrada Shatuyacu	3+860, 5+890 y 7+887	Tramo de la carretera del proyecto	Esta fuente de agua se encuentra en tres tramos de la misma carretera, y su empleo será para la capa de afirmado

Fuente: Elaboración propia

Ensayos de laboratorio (ensayos químicos)

Los ensayos químicos efectuados de las muestras obtenidas, se realizaron a fin de determinar los contenidos de:

Sólidos en Suspensión	MTC E 716
Materia Orgánica	MTC E 716
Sales de magnesio	MTC E 716
Residuos Sólidos (antes Sales S. Totales)	Norma NTP 339.088
Cloruros (CL-)	Norma NTP 339.088
Sulfatos (SO =4)	MTC E 716 - Norma NTP 339.088
PH	ASTM D-1293

3.2.5.3.6. Ancho de plataforma

El ancho de plataforma de la carretera en estudio es de **4.60 m de 1 sólo carril con dos sentidos de tránsito**, se ha tomado esta medida del ancho de plataforma de acuerdo al manual del MTC para carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito- carretera vecinal, que según el estudio de tráfico efectuado en nuestro proyecto con un IMD = 48 veh/día, se obtiene una carretera de tipo T1 con un ancho de calzada de 3.50-6.00 m, teniendo en consideración que el ancho mínimo de una carretera es de 3.60 m , siendo la estructura un Afirmado (material granular natural, grava, seleccionada por zarandeo o por chancado (tamaño máximo 5 cm); perfilado y compactado, min. 15 cm.

Medida tomada teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

Ancho máximo de un vehículo según MTC: Ancho máximo (sin espejos) para todo tipo de vehículo (incluida la mercancía o bienes transportados) = **2.60m.**

Bermas = 0.40 m de bermas en ambos lados de la carretera (**0.80 m** total).

Considerando que la carretera es de 2 sentidos de tránsito se ha aumentado **1.20 m** de ancho con plazoletas de cruce, adelantamiento o volteo cada 500– 1000 m.

Con estas medidas se obtienen los **4.60 m** de ancho de plataforma asumidos.

Cuadro 14

Características básicas para la superficie de rodadura de las carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito.

Carretera de Bvt	**IMD proyectado**	**Ancho de calzada (m)**	**Estructuras y superficie de rodadura alternativas (**)**
T3	101-200	2 carriles 5.50-6.00	Afirmado (material granular, grava de tamaño máximo 5 cm homogenizado por zarandeado o por chancado) con superficie de rodadura adicional (min. 15 cm), estabilizada con finos ligantes u otros; perfilado y compactado
T2	51-100	2 carriles 5.50-6.00	Afirmado (material granular natural, grava, seleccionada por zarandeo o por chancado (tamaño máximo 5 cm); perfilado y compactado, min. 15 cm.
T1	16-50	1 carril (*) o 2 carriles 3.50-6.00	Afirmado (material granular natural, grava, seleccionada por zarandeo o por chancado (tamaño máximo 5 cm); perfilado y compactado, min. 15 cm.
T0	<15	1 carril (*) 3.50-4.50	Afirmado (tierra) En lo posible mejorada con grava seleccionada por zarandeo, perfilado y compactado, min. 15 cm
Trocha carrozable	IMD Indefinido	1 sendero (*)	Suelo natural (tierra) en lo posible mejorado con grava natural seleccionada; perfilado y compactado.

Fuente: Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito

Nota:

(*) Con plazoletas de cruce, adelantamiento o volteo cada 500 – 1000 m; mediante regulación de horas o días, por sentido de uso.

(**) En caso de no disponer gravas en distancia cercana la carretera puede ser estabilizado mediante técnicas de estabilización suelo-cemento o cal o productos químicos u otros.

3.2.5.3.7. Cálculo de espesor de subrasante mejorada- Método AASHTO

Para calcular el espesor de la subrasante mejorada se ha utilizado el procedimiento del Método AASHTO, la cual se determinan los siguientes parámetros:

Numero estructural requerido de pavimento con subrasante muy pobre a pobre – CBR < 6%.

Parámetros	
ZR =	-1.282
So =	0.45
Pi =	4.00
Pt =	2.00
EE 18tn =	$4.40x10^5$
CBR =	**4.69**
MR =	6977 psi
SNr =	3.3

$MR = 2555 \times CBR^{0.65}$ (Expresión general en la guía del AASHTO 2002).

R = 90%

Utilizando el ábaco de diseño de la guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO,1993 se obtiene el número estructural

Numero estructural requerido de pavimento con subrasante muy buena – CBR>20%.

Parámetros	
ZR =	-1.282
So =	0.45
Pi =	4.00
Pt =	2.00
EE 18tn =	$4.40x10^5$
CBR =	**21.57**
MR =	18810 psi
SNo =	2.2

$MR = 2555 \times CBR^{0.65}$ (Expresión general en la guía del AASHTO 2002).

R = 90%

Utilizando el ábaco de diseño de la guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO,1993 se obtiene el número estructural

Para la determinación de la altura de mejoramiento a realizar se hará de acuerdo a lo indicado en el Manual para el Diseño de Caminos Pavimentados de Bajo Volumen de tránsito, el cual emplea la siguiente fórmula:

$$D_4 = \frac{SNr - SNo}{a_4 \, x \, m_4}$$

Siendo:

D_4 = Espesor efectivo de la subrasante mejorada en plg

SNr = Numero estructural requerido del pavimento con subrasante muy pobre a pobre.

SNo = Numero estructural requerido del pavimento con subrasante regular, buena o muy buena.

a_4 = 0.094/plg, coeficiente estructural de capa de subrasante mejorada, para reemplazar la sub rasante muy pobre y pobre, por una subrasante muy buena con CBR > 20%.

m_4 = coeficiente de drenaje = 1.00

3.2.5.3.8. Dimensionamiento del espesor de la superficie de rodadura.

Con los datos obtenidos en los estudios antes mencionados (análisis de tráfico, CBR de diseño, Periodo de Diseño y Ejes equivalentes), se procederá a introducir en la fórmula de diseño de pavimento según la ecuación del Método NAASRA planteado por el MTC en sus manuales de CBVT.

El manual de MTC menciona tres formas de determinar el espesor del afirmado, derivadas de la ecuación del método NAASRA, estas son:

La ecuación propiamente dicha

El grafico en función de la ecuación

El catalogo derivado de la ecuación

Para un CBR de material natural – sin estabilización con cemento.

Resolviendo la ecuación:

$$\mathbf{e = [219 - 211 \times (\log_{10}CBR) + 58 \times (\log_{10}CBR)^2] \times \log 10 \times (Nrep / 120)}$$

Datos:

CBR diseño = 4.69

Nrep de EE 8.2 Tn. = 7.56 E+04

Reemplazando en la ecuación:

$$\mathbf{e = [219 - 211 \times (\log_{10}(4.69)) + 58 \times (\log_{10}(4.69))^2] \times \log 10 \times (7.56E+04 / 120)}$$

Desarrollando:

e = 289.776 mm

e = 28.98 cm

Para un CBR con estabilización de cemento.

Resolviendo la ecuación:

$$\mathbf{e = [219 - 211 \times (\log_{10}CBR) + 58 \times (\log_{10}CBR)^2] \times \log 10 \times (Nrep / 120)}$$

Datos:

CBR diseño = 21.57

Nrep de EE 8.2 Tn. = 7.56 E+04

Reemplazando en la ecuación:

$$e = \mathbf{[219 - 211 \times (\log_{10}(21.57)) + 58 \times (\log_{10(}21.57)^2] \times \log 10 \times (7.56E+04 / 120)}$$

Desarrollando:

e = 114.076 mm

e = 11.41 cm

3.2.5.3.9. Catálogo estructural de superficie de rodadura

Para determinar el dimensionamiento de los espesores de la capa de afirmado se utilizó el catálogo de capas de revestimiento granular y así determinar el espesor del afirmado para cada tipo de sub rasante y de tráfico según calculo ya mencionado.

3.2.5.3.9.1. Cálculo del espesor del afirmado con CBR en estado natural

Para el proyecto consideramos un IMDa de 16-50 vehículos y número de repeticiones EE igual a < 2.60 x10^4 a 7.80 x 10^4 (En carril de diseño), con estos datos consideraremos un tráfico del tipo **T1-S1**. Para la sub rasante consideraremos el valor promedio de C.B.R. de **4.69%- TDF**, con la cual se determina que la sub rasante es de la categoría S1 (Sub rasante pobre).

Con estos datos entramos al catálogo de superficie de rodadura en la cual se determina un espesor para la estructura de pavimento de 37.00 cm.= 20cm capa de afirmado y 17 cm de mejoramiento a la sub rasante con material de préstamo calificado, de las combinaciones de canteras, Cantera Nº 02 - Sector San Fernando carretera Bello Horizonte - San Fernando Km 6+000 - Talud de cerro L/Der. - (Privado) 70% + 30% Cantera Nº 01 - Sector Las Flores, carretera Bello Horizonte - San Fernando - Las Flores Km 9+970, el material debe ser zarandeado por malla 2”., la cual se muestra en la siguiente figura:

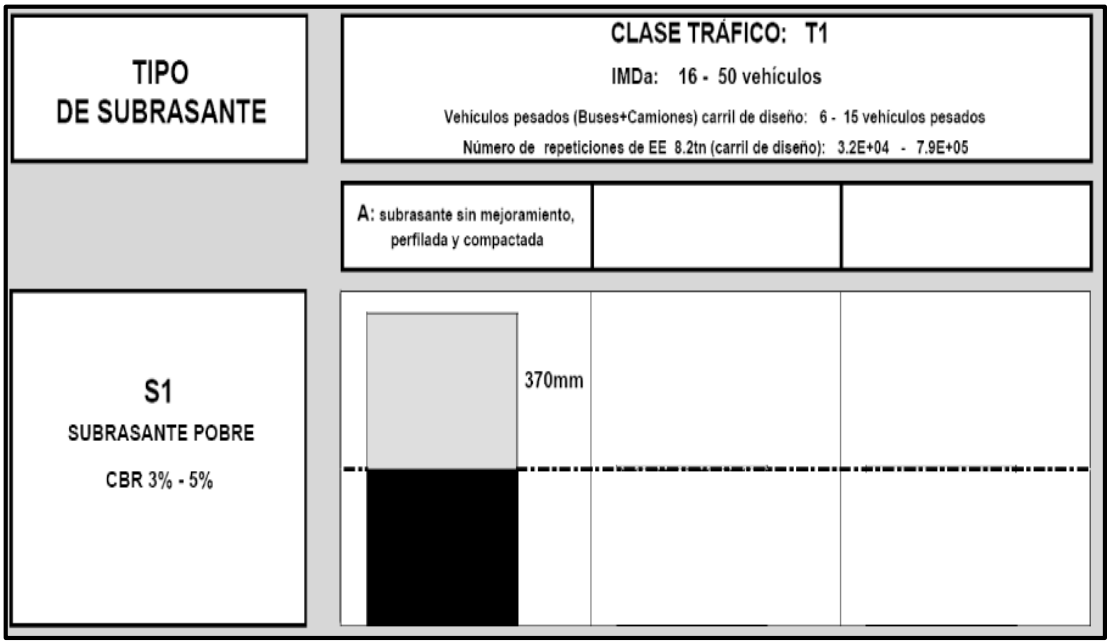


Figura 8. Catálogo de capas de revestimiento granular – Tipo T1-S1. (Fuente: MTC- Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito).

3.2.5.3.9.2. Cálculo con mejoramiento de sub rasante con adición de cemento

Para el proyecto consideramos un IMDa de 16-50 vehículos y número de repeticiones EE igual a < 2.60 x10^4 a 7.80 x 10^4 (En carril de diseño), con estos datos consideraremos un tráfico del tipo **T1-S4**. Para la sub rasante consideraremos el valor del C.B.R. mayor al **20.00% de la adición del 10% al TDF, más crítico**, con la cual se determina que la sub rasante es de la categoría S4 (Sub rasante muy buena).

Con estos datos entramos al catálogo de superficie de rodadura en la cual se determina un espesor para la estructura de pavimento de 15.00 cm, más la estabilización de la sub rasante, previa escarificación y adición de cemento Pacasmayo tipo IP, con 10%, la cual se muestra en la siguiente figura:

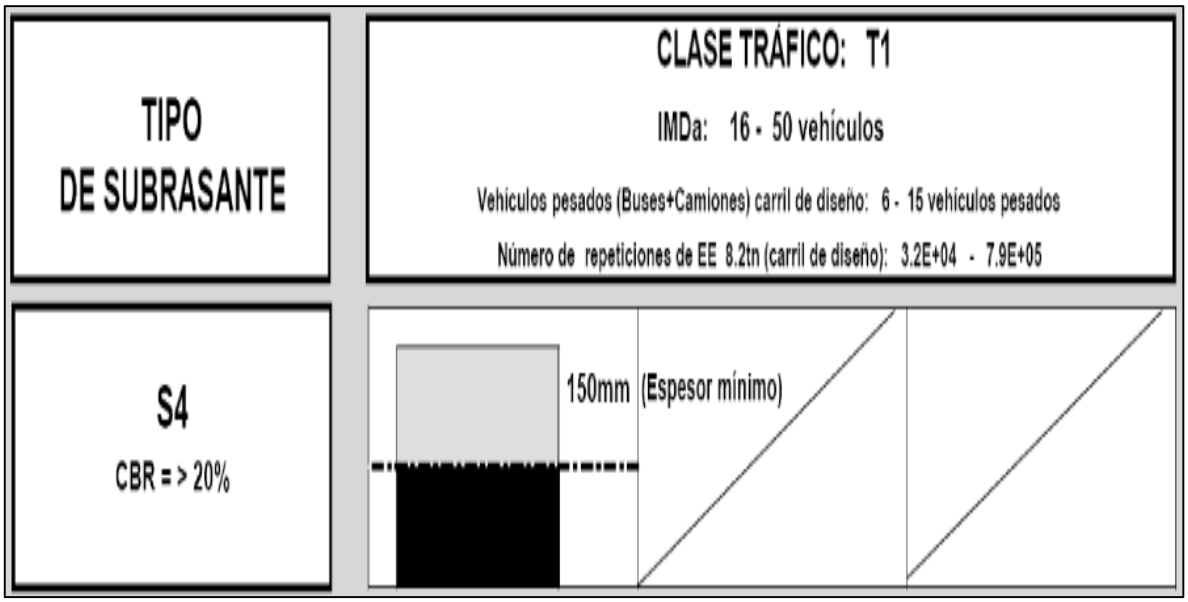


Figura 9. Catálogo de capas de revestimiento granular – Tipo T1-S4. (Fuente: MTC- Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito).

3.2.5.3.10. Cuantificación de cemento a utilizar.

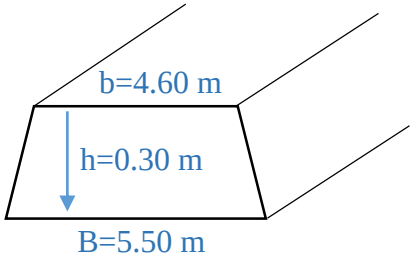
La cantidad de cemento (Portland - Pacasmayo Tipo I) a utilizar tanto para la sub rasante y para la capa de afirmado se obtendrá de acuerdo al peso volumétrico de cada uno de estos materiales, para ello se tiene los siguientes datos:

Cantidad de cemento para la subrasante.

La cantidad de cemento a utilizar para estabilizar la subrasante sólo será aplicada para aquellos suelos o tramos que tengan CBR menores al 6%, para los tramos que tengan CBR mayores al 6% no será necesario estabilizar.

Los tramos que serán estabilizados son: km 2+500 - 3+000, km 4+000 - 4+500, km 4+500 - 5+000, km 5+000 – 5+500, km 5+500 – 6+000, km 6+000 – 6+500, km 6+500 – 7+000, km 7+000 – 7+500.

Datos:



Longitud total de tramos a estabilizar = 4.000 km

Espesor capa de subrasante = 0.30 m

Ancho de calzada = 4.60 m

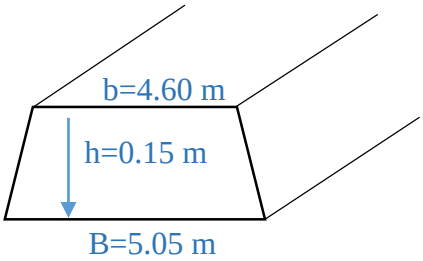
Peso volumétrico de suelo a estabilizar = 1.65 g/m3 = 1650 kg/m3

Porcentaje de cemento a utilizar en estabilización = 10.00%

Cantidad de cemento para capa de afirmado (combinación canteras Nº01 Sector Las Flores y Nº 02 Sector San Fernando).

La cantidad de cemento a utilizar para estabilizar la capa de afirmado será aplicada para todo el tramo en estudio.

Datos:



Longitud total carretera = 8.520 km

Espesor capa de afirmado = 0.15 m

Ancho de calzada = 4.60 m

Peso volumétrico de suelo a estabilizar = 1.85 g/m3 = 1850 kg/m3

Porcentaje de cemento a utilizar en estabilización = 6.00%

CAPÍTULO IV
RESULTADOS

Los resultados obtenidos durante la investigación se plasman de la siguiente manera en forma ordenada y resumida.

4.1. Resultados del estudio de tráfico

4.1.1. Índice medio diario anual (IMDA)

Para el análisis respectivo, se ha tomado los resultados de la Estación (E3), por ser la que arroja mayor cantidad de tráfico vehicular.

Cuadro 15
Tráfico vehicular - IMD corregido (veh/día)

Tipo de vehículos	IMDa	Distrib.%
Autos	9	18.8%
Satation Wagon	8	16.7%
Camioneta Pick Up	9	18.8%
Panel	6	12.5%
Rural (Combi)	5	10.4%
Micro	1	2.1%
Omnibus 2E y 3E	8	16.7%
Camión 2E	2	4.2%
Camión 3E	0	0.0%
Camión 4E	0	0.0%
Semi trayler	0	0.0%
Trayler	0	0.0%
TOTAL IMD	**48**	**100.0%**

Fuente: Elaboración propia a partir del conteo de tráfico

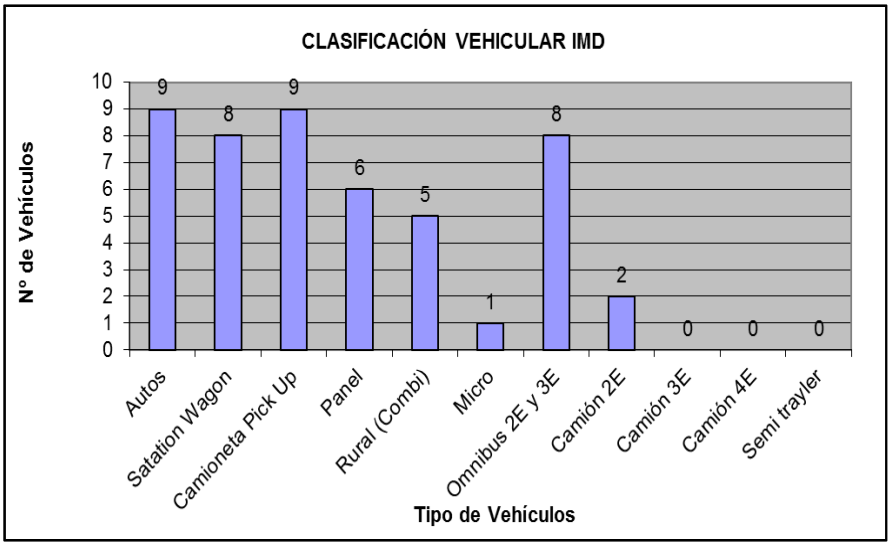


Gráfico 2. Clasificación vehicular IMD. (Fuente: Elaboración propia).

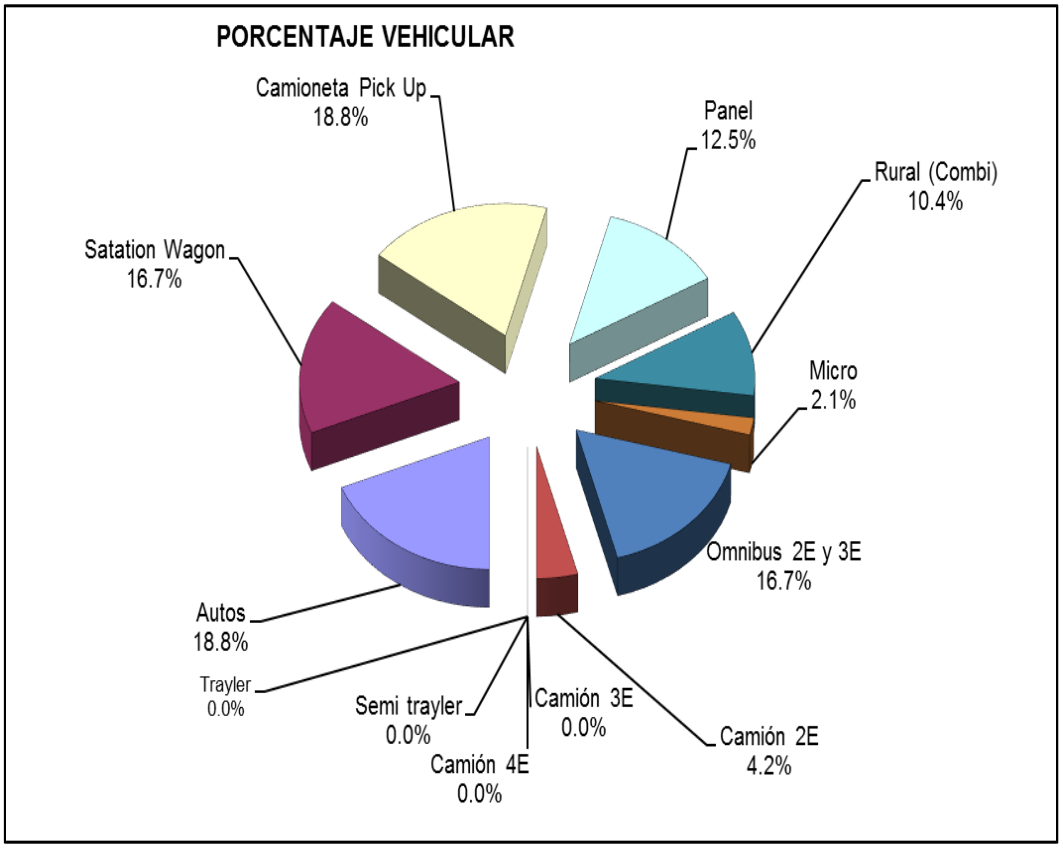


Gráfico 3. Porcentaje Vehicular. (Fuente: Elaboración propia).

4.1.2. Variación diaria

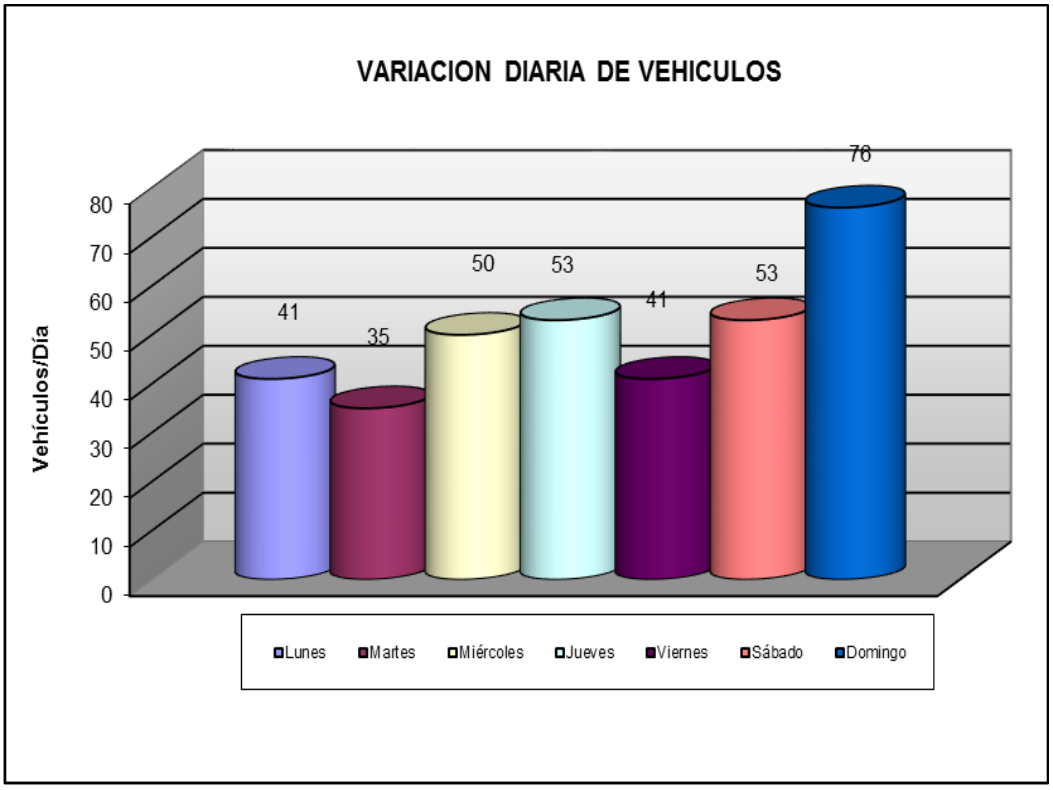


Gráfico 4. Variación diaria de vehículos. (Fuente: Elaboración propia)

4.1.3. Proyecciones de tráfico

Tabla 13
Proyección del tráfico vehicular

Año	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Trafico Normal	**48**	**48**	**48**	**52**	**55**	**55**	**55**	**59**	**59**	**61**	**63**
Autos	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	12
Satation Wagon	8	8	8	9	9	9	9	10	10	10	10
Camioneta Pick Up	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	12
Panel	6	6	6	6	7	7	7	7	7	8	8
Rural (Combi)	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6
Micro	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Omnibus 2E y 3E	8	8	8	9	9	9	9	10	10	10	10
Camión 2E	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4
Camión 3E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Camión 4E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Semi trayler	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trayler	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia - Trabajo de campo, conteo y clasificación vehicular

Tabla 14
Tráfico vehicular ambos sentidos por días.

Tipo de Vehículos	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total Semanal	IMDs Σ Vi/7	FC	IMDs x FC
Autos	7	4	13	7	8	10	19	68	10	0.93861800	9
Satation Wagon	9	6	8	9	6	8	15	61	9	0.93861800	8
Camioneta Pick Up	9	7	7	12	6	10	18	69	10	0.93861800	9
Panel	2	3	5	5	7	8	11	41	6	0.93861800	6
Rural (Combi)	6	4	5	9	3	4	7	38	5	0.93861800	5
Micro	0	1	1	2	1	3	0	8	1	0.98778500	1
Omnibus 2E y 3E	7	9	10	8	8	7	4	53	8	0.98778500	8
Camión 2E	1	1	1	1	2	3	2	11	2	0.98778500	2
Camión 3E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.98778500	0
Camión 4E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.98778500	0
Semi trayler	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.98778500	0
Trayler	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.98778500	0
TOTAL IMD	**41**	**35**	**50**	**53**	**41**	**53**	**76**	**349**	**50.00**		**48.00**

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15
Proyección tráfico total

Año	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Trafico Normal	**48**	**48**	**48**	**52**	**55**	**55**	**55**	**59**	**59**	**61**	**63**
Autos	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	12
Satation Wagon	8	8	8	9	9	9	9	10	10	10	10
Camioneta Pick Up	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	12
Panel	6	6	6	6	7	7	7	7	7	8	8
Rural (Combi)	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6
Micro	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Omnibus 2E y 3E	8	8	8	9	9	9	9	10	10	10	10
Camión 2E	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4
Camión 3E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Camión 4E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Semi trayler	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trayler	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tráfico Generado y Desviado	**7**	**7**	**7**	**8**	**8**	**8**	**8**	**9**	**9**	**9**	**9**
Autos	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
Satation Wagon	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
Camioneta Pick Up	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
Panel	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Rural (Combi)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Micro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Omnibus 2E y 3E	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
Camión 2E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Camión 3E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Camión 4E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Semi trayler	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trayler	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	**55**	**55**	**55**	**60**	**63**	**63**	**63**	**68**	**68**	**70**	**72**

Fuente: Elaboración propia - Trabajo de campo, conteo y clasificación vehicular

4.2. Resultados del estudio de mecánica de suelos

4.2.1. Resultados de capacidad de soporte de los suelos (CBR) -TDF:

Cuadro 16
Capacidad de soporte de los suelos TDF- Calicatas Nº 01 al Nº 04

CALICATA Nº CAPA Nº	Calicata Nº 01 - Capa Nº 03- L/Izq.	Calicata Nº 02-Capa Nº 02-L/D	Calicata Nº 03-Capa Nº 02 – L/ D	Calicata Nº 04-Capa Nº 02 – L/Izq.	Unidades
PROFUNDIDAD (m)	1.00 – 1.50	0.20 – 1.50	0.20 - 1.50	0.10 – 0.60	m
KM	0+010	0+500	1+000	1+500	
C.B.R. AL 100% de compactación	13.20	13.24	19.15	34.46	%
C.B.R. AL 95% de compactación	**8.83**	**9.36**	**13.20**	**25.39**	%

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 17
Capacidad de soporte de los suelos TDF- Calicatas Nº 05- al Nº 08

CALICATA Nº CAPA Nº	Calicata Nº 05- Capa Nº 02 – L/D	Calicata Nº 06- Capa Nº 02 – L/Izq.	Calicata Nº 07-Capa Nº 03 - L/D	Calicata Nº 08-Capa Nº 03 L/Izq.	Unidades
PROFUNDIDAD (m)	0.25 - 1.50	0.20 – 1.00	0.50 – 1.50	0.50 - 1.50	m
KM	2+000	2+500	3+000	3+500	
C.B.R. AL 100% de compactación	31.37	9.18	36.18	12.16	%
C.B.R. AL 95% de compactación	**20.24**	**6.12**	**26.13**	**8.57**	%

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 18
Capacidad de soporte de los suelos TDF – Calicatas Nº 09 al Nº 12

CALICATA Nº CAPA Nº	Calicata Nº 09- Capa Nº 02 - L/D	Calicata Nº 10- Capa Nº 04 - L/Izq.	Calicata Nº 11-Capa Nº 02 - L/D	Calicata Nº 12-Capa Nº 02 - L/D	Unidades
PROFUNDIDAD (m)	0.15 – 0.70	0.60 - 1.50	0.20 – 1.10	0.20 – 1.50	m
KM	4+000	4+500	5+000	5+500	
C.B.R. AL 100% de compactación	9.71	9.36	6.82	9.88	%
C.B.R. AL 95% de compactación	**6.38**	**6.21**	**4.84**	**6.56**	%

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 19
Capacidad de soporte de los suelos TDF – Calicatas Nº 13 al Nº 16

CALICATA Nº CAPA Nº	Calicata Nº 13-Capa Nº 02 - L/D	Calicata Nº 14-Capa Nº 02 - L/Izq.	Calicata Nº 15-Capa Nº 02 - L/D	Calicata Nº 16-Capa Nº 02 - L/Izq.	Unidades
PROFUNDIDAD (m)	1.70 – 2.10	0.50 – 1.50	0.10 – 0.90	0.10 – 0.90	m
KM	6+000	6+500	7+000	7+500	
C.B.R. AL 100% de compactación	10.76	10.23	6.96	16.97	%
C.B.R. AL 95% de compactación	**6.38**	**6.56**	**4.69**	**11.11**	%

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 20
Capacidad de soporte de los suelos TDF – Calicatas Nº 17 al Nº 18

CALICATA Nº CAPA Nº	Calicata Nº 17-Capa Nº 03 - L/D	Calicata Nº 18-Capa Nº 02-L/Izq.	Unidades
PROFUNDIDAD (m)	0.40 – 1.50	0.20 – 0.80	m
KM	8+000	8+500	
C.B.R. AL 100% de compactación	15.48	51.62	%
C.B.R. AL 95% de compactación	**9.53**	**41.08**	%

Fuente: Elaboración propia

Los resultados reflejan una sub rasante de mala calidad como terreno de fundación.

Las distribuciones de las muestras y evaluaciones según el sistema de clasificación de suelos SUCS y ASHTO son como sigue:

Total, Tramo Evaluado: 100%

SC-SM=11.11%	A-2-4 CON INDICE DE GRUPO DE 0
SM=5.56%	A-4 CON INDICE DE GRUPO DE 0
CL-ML=11.11%	A-4 CON INDICE DE GRUPO DE 1 A 2
CL=61.11%	A-6- y A-7-6 CON INDICE DE GRUPO DE 11 y 20
CH=11.11%	A-7-6 CON INDICE DE GRUPO DE 20

El índice de plasticidad varía entre:

0-10 =27.78%

10-20 =55.56%

20-30 =16.66%

Obtenidos del material conforme de la plataforma encontradas en in-situ.

4.2.2. Características de las propiedades físicas y mecánicas- resultados obtenidos - suelo natural (T.D.F.)- sub rasante

Cuadro 21

Propiedades físicas y mecánicas -suelos naturales TDF- Calicatas Nº 01 al Nº 03

CALICATA Nº CAPA Nº	**Calicata Nº 01 - Capa Nº 02- L/Izq.**	**Calicata Nº 01 - Capa Nº 03- L/Izq.**	**Calicata Nº 02-Capa Nº 02-L/D**	**Calicata Nº 03-Capa Nº 02 – L/ D**	**Unidades**
PROFUNDIDAD (m)	0.50 – 1.00	1.00 – 1.50	0.20 – 1.50	0.20 - 1.50	m
KM	0+010	0+010	0+500	1+000	
C.B.R. AL 100% de compactación	-	13.20	13.24	19.15	%
C.B.R. AL 95% de compactación	-	**8.83**	**9.36**	**13.20**	%
PROCTOR MODIFICADO					
Máxima Densidad	-	1.880	1.873	1.95	Grs./cm3
Humedad Optima %	-	14.25	15.15	11.60	%
% de Humedad Natural	8.45	18.39	12.53	6.31	%
GRANULOMETRÍA					
% pasa la malla Nº 4	69.45%	99.72%	100.00%	99.34%	%
% pasa la malla Nº 10	66.74%	99.28%	99.60%	98.52%	%
% pasa la malla Nº 40	55.45%	95.34%	98.87%	97.65%	%
% pasa la malla Nº 200	30.09%	75.43%	85.60%	76.66%	%
LÍMITES DE CONSISTENCIAS					
Límite Líquido	22.16	33.47	35.19	26.31	%
Límite Plástico	16.32	19.48	19.43	21.17	%
Índice de Plasticidad	5.84	13.99	15.76	5.14	%
Clasificación SUCCS	**SM-SC**	**CL**	**CL**	**CL-ML**	
Clasificación ASHHTO	**A-2-4(0)**	**A-6(9)**	**A-6(13)**	**A-4(2)**	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 22

Propiedades físicas y mecánicas -suelos naturales TDF- Calicatas Nº 04 al Nº 05

CALICATA Nº CAPA Nº	**Calicata Nº 04- Capa Nº 02 – L/Izq.**	**Calicata Nº 04-Capa Nº 03 – L/Izq.**	**Calicata Nº 04-Capa Nº 04 – L/Izq.**	**Calicata Nº 05-Capa Nº 02 – L/D**	**Unidades**
PROFUNDIDAD (m)	0.10 – 0.60	0.60 – 1.10	1.10 – 1.50	0.25 - 1.50	m
KM	1+500	1+500	1+500	2+000	
C.B.R. AL 100% de compactación	34.46	-	-	31.37	%
C.B.R. AL 95% de compactación	**25.39**	-	-	**20.24**	%
PROCTOR MODIFICADO					
Máxima Densidad	1.96	-	-	1.88	Grs./cm3
Humedad Optima %	11.00	-	-	11.30	%
% de Humedad Natural	8.49	11.29	12.49	7.37	%
GRANULOMETRÍA					
% pasa la malla Nº 4	97.69%	77.19%	99.57%	99.46%	%
% pasa la malla Nº 10	92.67%	71.83%	98.72%	98.34%	%
% pasa la malla Nº 40	79.51%	68.15%	98.06%	91.41%	%
% pasa la malla Nº 200	28.66%	32.16%	97.12%	55.41%	%
LÍMITES DE CONSISTENCIAS					
Límite Líquido	22.08	24.99	43.43	25.83	%
Límite Plástico	17.50	17.64	24.57	19.93	%
Índice de Plasticidad	4.58	7.36	18.87	5.90	%
Clasificación SUCCS	**SM-SC**	**SC**	**CL**	**CL-ML**	
Clasificación ASHHTO	**A-2-4(0)**	**A-2-4(0)**	**A-7-6(20)**	**A-4(1)**	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 23

Propiedades físicas y mecánicas -suelos naturales TDF- Calicatas Nº 06 al Nº 08

CALICATA Nº CAPA Nº	**Calicata Nº 06-Capa Nº 02 – L/Izq.**	**Calicata Nº 06-Capa Nº 03 – L/Izq.**	**Calicata Nº 07-Capa Nº 03 - L/D**	**Calicata Nº 08-Capa Nº 03 L/Izq.**	**Unidades**
PROFUNDIDAD (m)	0.20 – 1.00	1.00 – 1.50	0.50 – 1.50	0.50 - 1.50	m
KM	2+500	2+500	3+000	3+500	
C.B.R. AL 100% de compactación	9.18	-	36.18	12.16	%
C.B.R. AL 95% de compactación	**6.12**	-	**26.13**	**8.57**	%
PROCTOR MODIFICADO					
Máxima Densidad	1.90	-	2.00	1.904	Grs./cm3
Humedad Optima %	14.35	-	9.50	13.50	%
% de Humedad Natural	12.72	17.46	3.62	9.60	%
GRANULOMETRÍA					
% pasa la malla Nº 4	92.99%	100.00%	100.00%	99.93%	%
% pasa la malla Nº 10	90.14%	99.89%	99.96%	99.87%	%
% pasa la malla Nº 40	86.72%	99.44%	99.09%	98.81%	%
% pasa la malla Nº 200	83.55%	97.38%	25.97%	95.73%	%
LÍMITES DE CONSISTENCIAS					
Límite Líquido	38.28	58.54	17.04	36.30	%
Límite Plástico	20.89	30.10	12.50	19.35	%
Índice de Plasticidad	17.39	28.44	4.54	16.95	%
Clasificación SUCCS	**CL**	**CH**	**SM-SC**	**CL**	
Clasificación ASHHTO	**A-6(14)**	**A-7-5(20)**	**A-2-4(0)**	**A-6(17)**	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 24

Propiedades físicas y mecánicas -suelos naturales TDF- Calicatas Nº 09 al Nº 10

CALICATA Nº CAPA Nº	**Calicata Nº 09-Capa Nº 02 - L/D**	**Calicata Nº 09-Capa Nº 03 - L/D**	**Calicata Nº 09-Capa Nº 04 - L/D**	**Calicata Nº 10-Capa Nº 04 - L/Izq.**	**Unidades**
PROFUNDIDAD (m)	0.15 – 0.70	0.70 – 1.10	1.10 – 1.50	0.60 - 1.50	m
KM	4+000	4+000	4+000	4+500	
C.B.R. AL 100% de compactación	9.71	-	-	9.36	%
C.B.R. AL 95% de compactación	**6.38**	-	-	**6.21**	%
PROCTOR MODIFICADO					
Máxima Densidad	1.89	-	-	1.83	Grs./cm3
Humedad Optima %	14.00	-	-	16.00	%
% de Humedad Natural	16.33	13.31	11.31	14.78	%
GRANULOMETRÍA					
% pasa la malla Nº 4	99.90%	88.83%	50.74%	0.00%	%
% pasa la malla Nº 10	99.33%	82.99%	41.10%	99.98%	%
% pasa la malla Nº 40	95.86%	75.46%	37.61%	99.60%	%
% pasa la malla Nº 200	87.47%	48.07%	27.91%	94.82%	%
LÍMITES DE CONSISTENCIAS					
Límite Líquido	37.60	26.13	24.15	42.41	%
Límite Plástico	20.02	17.45	17.47	23.35	%
Índice de Plasticidad	17.58	8.68	6.68	19.06	%
Clasificación SUCCS	**CL**	**SC**	**GM-GC**	**CL**	
Clasificación ASHHTO	**A-6(15)**	**A-4(1)**	**A-2-4(0)**	**A-7-6(20)**	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 25

Propiedades físicas y mecánicas -suelos naturales TDF- Calicatas Nº 11 al Nº 13

CALICATA Nº CAPA Nº	**Calicata Nº 11-Capa Nº 02 - L/D**	**Calicata Nº 11-Capa Nº 03 - L/D**	**Calicata Nº 12-Capa Nº 02 - L/D**	**Calicata Nº 13-Capa Nº 02 - L/D**	**Unidades**
PROFUNDIDAD (m)	0.20 – 1.10	1.10 – 1.50	0.20 – 1.50	1.70 – 2.10	m
KM	5+000	5+000	5+500	6+000	
C.B.R. AL 100% de compactación	6.82	-	9.88	10.76	%
C.B.R. AL 95% de compactación	**4.84**	-	**6.56**	**6.38**	%
PROCTOR MODIFICADO					
Máxima Densidad	1.77	-	1.81	1.850	Grs./cm3
Humedad Optima %	17.40	-	17.00	15.40	%
% de Humedad Natural	23.32	11.33	22.82	18.42	%
GRANULOMETRÍA					
% pasa la malla Nº 4	100.00%	100.00%	100.00%	99.88%	%
% pasa la malla Nº 10	99.94%	99.87%	99.58%	98.32%	%
% pasa la malla Nº 40	99.64%	99.38%	98.47%	95.47%	%
% pasa la malla Nº 200	99.01%	98.43%	92.16%	91.21%	%
LÍMITES DE CONSISTENCIAS					
Límite Líquido	59.60	59.38	45.63	45.41	%
Límite Plástico	30.38	30.56	25.60	25.46	%
Índice de Plasticidad	29.22	28.82	20.03	19.95	%
Clasificación SUCCS	**CH**	**CH**	**CL**	**CL**	
Clasificación ASHHTO	**A-7-5(20)**	**A-7-5(20)**	**A-7-6(20)**	**A-7-6(20)**	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 26

Propiedades físicas y mecánicas -suelos naturales TDF- Calicatas Nº 14 al Nº 16

CALICATA Nº CAPA Nº	**Calicata Nº 14-Capa Nº 02 - L/Izq.**	**Calicata Nº 15-Capa Nº 02 - L/D**	**Calicata Nº 15-Capa Nº 03 - L/D**	**Calicata Nº 16-Capa Nº 02 - L/Izq.**	**Unidades**
PROFUNDIDAD (m)	0.50 – 1.50	0.10 – 0.90	0.90 – 1.50	0.10 – 0.90	m
KM	6+500	7+000	7+000	7+500	
C.B.R. AL 100% de compactación	10.23	6.96	-	16.97	%
C.B.R. AL 95% de compactación	**6.56**	**4.69**	-	**11.11**	%
PROCTOR MODIFICADO					
Máxima Densidad	1.79	1.764	-	1.91	Grs./cm3
Humedad Optima %	16.00	15.60	-	13.50	%
% de Humedad Natural	18.81	23.44	16.31	14.72	%
GRANULOMETRÍA					
% pasa la malla Nº 4	100.00%	100.00%	0.00%	100.00%	%
% pasa la malla Nº 10	99.67%	99.98%	0.00%	99.76%	%
% pasa la malla Nº 40	98.42%	99.92%	99.98%	96.14%	%
% pasa la malla Nº 200	89.61%	99.59%	99.74%	70.33%	%
LÍMITES DE CONSISTENCIAS					
Límite Líquido	43.66	59.79	59.87	31.45	%
Límite Plástico	24.72	30.23	30.20	20.87	%
Índice de Plasticidad	18.94	29.56	29.67	10.58	%
Clasificación SUCCS	**CL**	**CH**	**CH**	**CL**	
Clasificación ASHHTO	**A-7-6(19)**	**A-7-5(20)**	**A-7-5(20)**	**A-6(6)**	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 27
Propiedades físicas y mecánicas -suelos naturales TDF- Calicatas Nº 16 al Nº 18

CALICATA Nº CAPA Nº	**Calicata Nº 16-Capa Nº 03 - L/Izq.**	**Calicata Nº 17-Capa Nº 03 - L/D**	**Calicata Nº 18-Capa Nº 02- L/Izq.**	**Calicata Nº 18-Capa Nº 03- L/Izq..**	**Unidades**
PROFUNDIDAD (m)	0.90 – 1.50	0.40 – 1.50	0.20 – 0.80	0.80 – 1.50	m
KM	7+500	8+000	8+500	8+500	
C.B.R. AL 100% de compactación	-	15.48	51.62	-	%
C.B.R. AL 95% de compactación	-	**9.53**	**41.08**	-	%
PROCTOR MODIFICADO					
Máxima Densidad	-	1.88	1.98	-	Grs./cm3
Humedad Optima %	-	14.90	10.50	-	%
% de Humedad Natural	13.64	17.16	9.29	17.37	%
GRANULOMETRÍA					
% pasa la malla Nº 4	99.98%	100.00%	100.00%	100.00%	%
% pasa la malla Nº 10	99.61%	99.90%	99.42%	99.54%	%
% pasa la malla Nº 40	95.27%	97.16%	89.08%	92.79%	%
% pasa la malla Nº 200	68.67%	78.03%	46.93%	60.45%	%
LÍMITES DE CONSISTENCIAS					
Límite Líquido	31.30	35.42	14.02	28.40	%
Límite Plástico	20.99	20.74	10.06	19.06	%
Índice de Plasticidad	10.31	14.68	3.96	9.34	%
Clasificación SUCCS	**CL**	**CL**	**SM**	**CL**	
Clasificación ASHHTO	**A-4(5)**	**A-6(11)**	**A-4(0)**	**A-4(3)**	

Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Resultados obtenidos suelo natural inalterado (CBR)

Cuadro 28
Calicata Nº 09 /lado derecho km 4+000 – CBR inalterado

ENSAYO RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R-INALTERADO.				**Unidades**
Compactación	Sin Saturar	Sin Saturar	Sin Saturar	-
Densidad Seca	1.81	1.82	1.83	grs/cm3
% de Humedad	15.78	15.87	15.71	%
CBR-0.1”	3.62	3.79	3.72	%

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 29
Calicata Nº 14 /lado derecho km 6+500 – CBR inalterado

ENSAYO RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R-INALTERADO.				**Unidades**
Compactación	Sin Saturar	Sin Saturar	Sin Saturar	-
Densidad Seca	1.67	1.67	1.62	grs/cm3
% de Humedad	16.72	16.47	16.09	%
CBR-0.1”	3.79	4.09	4.38	%

Fuente: Elaboración propia

4.2.4. Resultados obtenidos - Suelo natural inalterado- Ensayo de compresión no confinada

Cuadro 30

Calicata Nº 09- Ensayo de compresión no confinada

ENSAYO DE COMPRESION NO CONFINADA-ASTM D 2166 – AASTHO T 208		
Calicata Nº 09-Capa Nº 02 - Lado Derecho – km 4+000		**UNIDADES**
Humedad Natural	10.20	%
Peso Volumétrico ASTM D - 2937	1.82	grs/cm3
Esfuerzo de la Muestra	1.777	kg/cm2
Cohesión	0.46	Kg./cm2
Angulo de Fricción	11.90°	°

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 31

Calicata Nº 14- Ensayo de compresión no confinada

ENSAYO DE COMPRESION NO CONFINADA-ASTM D 2166 – AASTHO T 208		
Calicata Nº 14-Capa Nº 02 - Lado Izquierdo – km 6+500		**UNIDADES**
Humedad Natural	18.52	%
Peso Volumétrico ASTM D - 2937	1.73	grs/cm3
Esfuerzo de la Muestra	2.188	kg/cm2
Cohesión	0.42	Kg./cm2
Angulo de Fricción	16.80°	°

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 32

Calicata Nº 15- Ensayo de compresión no confinada

ENSAYO DE COMPRESION NO CONFINADA-ASTM D 2166 – AASTHO T 208		
Calicata Nº 15-Capa Nº 02 - Lado derecho – km 7+000		**UNIDADES**
Humedad Natural	25.56	%
Peso Volumétrico ASTM D - 2937	1.59	grs/cm3
Esfuerzo de la Muestra	2.152	kg/cm2
Cohesión	0.48	Kg./cm2
Angulo de Fricción	12.20°	°

Fuente: Elaboración propia

4.2.5. Resultados obtenidos - Suelo natural (T.D.F.) + adición de cemento Pacasmayo tipo I

Cuadro 33
Calicata Nº 09- Ensayo de compresión no confinada

ENSAYO DE COMPRESION NO CONFINADA-ASTM D 2166 – AASTHO T 208					
Calicata Nº 09-Capa Nº 02 - Lado derecho - Suelo natural (T.D.F.) + adición de cemento Pacasmayo tipo I - (Sin saturar y/o fraguado)– km 4+000					**UNIDADES**
Adición de Cemento Pacasmayo tipo I	**9**	**11**	**12**	**15**	%
Humedad Natural	14.04	14.08	14.20	14.22	%
Peso Volumétrico ASTM D - 2937	1.88	1.88	1.86	1.87	grs/cm3
Esfuerzo de la Muestra	3.235	5.155	5.109	5.451	kg/cm2
Cohesión	0.32	0.31	0.33	0.36	Kg./cm2
Angulo de Fricción	28.20°	44.10°	40.70°	43.00°	°

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 34
Calicata Nº 15- Ensayo de compresión no confinada

ENSAYO DE COMPRESION NO CONFINADA-ASTM D 2166 – AASTHO T 208					
Calicata N° 15-Capa Nº 02 - Lado derecho - Suelo natural (T.D.F.) + adición de cemento Pacasmayo tipo I - (Sin saturar y/o fraguado)-km 7+000					**UNIDADES**
Adición de Cemento Pacasmayo tipo I	**10**	**12**	**14**	**16**	%
Humedad Natural	15.41	15.47	15.09	15.24	%
Peso Volumétrico ASTM D - 2937	1.74	1.73	1.74	1.74	grs/cm3
Esfuerzo de la Muestra	3.592	4.674	5.378	4.631	kg/cm2
Cohesión	0.28	0.29	0.38	0.25	Kg./cm2
Angulo de Fricción	32.00°	41.00°	42.00°	40.00°	°

Fuente: Elaboración propia

4.2.6. Resultados obtenidos - suelo natural prueba de densidad de campo- Control de compactación - Método cono de arena

Cuadro 35
Calicata Nº 14 – Método cono de Arena

Calicata Nº 14-Capa Nº 02 - Lado izquierdo– km 6+500		**UNIDADES**
Humedad en in-situ	14.40	%
Densidad Suelo Húmedo	1.65	grs/cm3
Porcentaje de Compactación	80.38	%

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 36
Calicata Nº 15 – Método cono de Arena

Calicata Nº 15-Capa Nº 02 - Lado derecho– km 7+000		**UNIDADES**
Humedad en in-situ	15.00	%
Densidad Suelo Húmedo	1.72	grs/cm3
Porcentaje de Compactación	84.85	%

Fuente: Elaboración propia

3.2.6. Características de las propiedades físicas y mecánicas- Resistencia - Resultados obtenidos – Con adición de cemento Pacasmayo tipo I

Cuadro 37
Calicata Nº 02- Adición cemento Pacasmayo tipo I

Calicata Nº 02 - Capa Nº 02 – KM 0+500					
% CEMENTO	**9%**	**11%**	**13%**	**15%**	**UNIDADES**
C.B.R. AL 100% de compactación	40.66	44.03	50.02	52.27	%
C.B.R. AL 95% de compactación	**32.13**	**36.55**	**39.17**	**43.29**	%
PROCTOR MODIFICADO					
Máxima Densidad	1.88	1.873	1.869	1.881	Grs./cm3
Humedad Optima %	13.80	14.60	14.45	12.80	%
GRANULOMETRÍA					
% pasa la malla Nº 4	100.00	100.00	100.00	100.00	%
% pasa la malla Nº 10	99.89	99.91	99.90	99.88	%
% pasa la malla Nº 40	99.20	99.25	99.20	99.19	%
% pasa la malla Nº 200	86.76	87.50	87.50	87.83	%
LÍMITES DE CONSISTENCIAS					
Límite Líquido	34.36	33.33	32.31	31.39	%
Límite Plástico	26.08	26.06	25.81	26.05	%
Índice de Plasticidad	8.28	7.27	6.50	5.34	%
Clasificación SUCCS	**ML**	**ML**	**ML**	**ML**	
Clasificación ASHHTO	**A-4(8)**	**A-4(7)**	**A-4(6)**	**A-4(5)**	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 38
Calicata Nº 06- Adición cemento Pacasmayo tipo I

Calicata Nº 06 - Capa Nº 02 – KM 2+500					
% CEMENTO	**9%**	**11%**	**13%**	**15%**	**UNIDADES**
C.B.R. AL 100% de compactación	44.03	45.16	53.39	56.76	%
C.B.R. AL 95% de compactación	**33.40**	**35.05**	**40.66**	**45.68**	%
PROCTOR MODIFICADO					
Máxima Densidad	1.905	1.902	1.904	1.901	Grs./cm3
Humedad Optima %	11.75	11.35	10.35	11.45	%
GRANULOMETRÍA					
% pasa la malla Nº 4	98.20	97.97%	98.53	97.17	%
% pasa la malla Nº 10	96.12	96.46%	96.74	95.50	%
% pasa la malla Nº 40	91.85	92.31%	92.33	91.43	%
% pasa la malla Nº 200	83.02	83.48%	84.32	83.56	%
LÍMITES DE CONSISTENCIAS					
Límite Líquido	32.30	32.22	31.88	34.30	%
Límite Plástico	26.45	25.54	26.30	28.67	%
Índice de Plasticidad	5.85	6.68	5.58	5.63	%
Clasificación SUCCS	**ML**	**ML**	**ML**	**ML**	
Clasificación ASHHTO	**A-4(5)**	**A-4(6)**	**A-4(5)**	**A-4(5)**	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 39
Calicata Nº 09- Adición cemento Pacasmayo tipo I

Calicata Nº 09 - Capa Nº 02 – KM 4+000					
% CEMENTO	**9%**	**11%**	**13%**	**15%**	**UNIDADES**
C.B.R. AL 100% de compactación	46.28	45.16	51.15	52.27	%
C.B.R. AL 95% de compactación	**33.93**	**36.55**	**38.79**	**42.54**	%
PROCTOR MODIFICADO					
Máxima Densidad	1.902	1.910	1.913	1.897	Grs./cm3
Humedad Optima %	12.20	11.30	12.80	12.55	%
GRANULOMETRÍA					
% pasa la malla Nº 4	99.72	99.59	99.20	99.72	%
% pasa la malla Nº 10	98.79	98.62	98.26	98.81	%
% pasa la malla Nº 40	95.49	95.18	95.11	95.69	%
% pasa la malla Nº 200	85.87	85.57	84.84	85.53	%
LÍMITES DE CONSISTENCIAS					
Límite Líquido	35.64	33.55	34.76	33.34	%
Límite Plástico	26.65	25.56	27.66	25.82	%
Índice de Plasticidad	8.99	7.99	7.10	7.52	%
Clasificación SUCCS	**ML**	**ML**	**ML**	**ML**	
Clasificación ASHHTO	**A-4(8)**	**A-4(7)**	**A-4(7)**	**A-4(7)**	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 40

Calicata Nº 11- Adición cemento Pacasmayo tipo I

Calicata Nº 11 - Capa Nº 02 – KM 5+000					
% CEMENTO	**10%**	**12%**	**14%**	**16%**	**UNIDADES**
C.B.R. AL 100% de compactación	40.29	41.41	45.91	51.15	%
C.B.R. AL 95% de compactación	**31.01**	**32.05**	**35.42**	**39.09**	%
PROCTOR MODIFICADO					
Máxima Densidad	1.805	1.810	1.807	1.800	Grs./cm3
Humedad Optima %	13.40	12.25	12.35	12.20	%
GRANULOMETRÍA					
% pasa la malla Nº 4	100.00	100.00	100.00	100.00	%
% pasa la malla Nº 10	99.72	99.76	99.81	99.81	%
% pasa la malla Nº 40	99.08	99.20	99.17	99.19	%
% pasa la malla Nº 200	97.79	98.28	97.97	98.21	%
LÍMITES DE CONSISTENCIAS					
Límite Líquido	56.08	54.34	50.50	49.97	%
Límite Plástico	43.82	42.23	38.56	38.51	%
Índice de Plasticidad	12.26	12.11	11.94	11.46	%
Clasificación SUCCS	**MH**	**MH**	**MH**	**ML**	
Clasificación ASHHTO	**A-7-5(19)**	**A-7-5(19)**	**A-7-5(18)**	**A-7-5(17)**	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 41

Calicata Nº 15- Adición cemento Pacasmayo tipo I

Calicata Nº 15 - Capa Nº 02 – KM 7+000					
% CEMENTO	**10%**	**12%**	**14%**	**16%**	**UNIDADES**
C.B.R. AL 100% de compactación	27.56	40.29	47.03	50.32	%
C.B.R. AL 95% de compactación	**21.57**	**32.13**	**37.67**	**40.09**	%
PROCTOR MODIFICADO					
Máxima Densidad	1.730	1.724	1.737	1.720	Grs./cm3
Humedad Optima %	15.20	15.00	15.10	15.30	%
GRANULOMETRÍA					
% pasa la malla Nº 4	100.00	100.00	100.00	100.00	%
% pasa la malla Nº 10	99.97	99.94	99.95	99.94	%
% pasa la malla Nº 40	99.74	99.70	99.74	99.69	%
% pasa la malla Nº 200	97.60	97.78	97.71	97.46	%
LÍMITES DE CONSISTENCIAS					
Límite Líquido	50.32	49.74	47.70	44.57	%
Límite Plástico	39.43	40.28	39.42	38.40	%
Índice de Plasticidad	10.89	9.47	8.28	6.17	%
Clasificación SUCCS	**MH**	**ML**	**ML**	**ML**	
Clasificación AASHTO	**A-7-5(16)**	**A-5(15)**	**A-5(14)**	**A-5(11)**	

Fuente: Elaboración propia

4.2.7. Cuadros comparativos de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos del proyecto – Resultados suelo natural vs adición de cemento Pacasmayo tipo I.

Cuadro 42
Calicata Nº 02 –Suelo natural vs adición de cemento Pacasmayo tipo I

CALICATA Nº	**Calicata Nº 02 – Lado derecho**					
Capa Nº	Capa Nº 02					
Profundidad	0.20 - 1.50m					
Kilometraje	0+500					
	Suelo natural	**Suelo natural + adición de cemento Pacasmayo tipo I**				**Unidades**
% de cemento utilizado	-	**9%**	**11%**	**13%**	**15%**	
Análisis Granulométrico por tamizado - ASTM D - 422						
% pasa la malla Nº 4	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	%
% pasa la malla Nº 10	99.60	99.89	99.91	99.90	99.88	%
% pasa la malla Nº 20	98.87	99.20	99.25	99.20	99.19	%
% pasa la malla Nº 200	85.60	86.76	87.50	87.50	87.83	%
Límites de Consistencias - ASTM D - 4318						
Límite Líquido	35.19	34.36	33.33	32.31	31.39	%
Limite Plástico	19.43	26.08	26.06	25.81	26.05	%
Índice de Plasticidad	15.76	8.28	7.27	6.50	5.34	%
Próctor Modificado - ASTM D-1557						
Máxima Densidad Seca	1.873	1.88	1.873	1.869	1.881	Grs./cm3
Humedad Óptima %	15.15	13.80	14.60	14.45	12.80	%
Ensayo relación soporte de california - C.B.R. - Saturado 4 días - ASTM D 1883						
C.B.R. AL 100% de compactación	13.24	40.66	44.03	50.02	52.27	%
C.B.R. AL 95% de compactación	**9.36**	**32.13**	**36.55**	**39.17**	**43.29**	%
Clasificación AASHTO	**A-6(13)**	**A-4(8)**	**A-4(7)**	**A-4(6)**	**A-4(5)**	-
Clasificación SUCS	**CL**	**ML**	**ML**	**ML**	**ML**	-

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 43
Calicata Nº 06 –Suelo natural vs adición de cemento Pacasmayo tipo I

CALICATA Nº	**Calicata Nº 06 – Lado izquierdo**					
Capa Nº	Capa Nº 02					
Profundidad	0.20 - 1.00m					
Kilometraje	2+500					
	Suelo natural	**Suelo natural + adición de cemento Pacasmayo tipo I**				**Unidades**
% de cemento utilizado	-	**9%**	**11%**	**13%**	**15%**	
Análisis Granulométrico por tamizado - ASTM D - 422						
% pasa la malla Nº 4	92.99	98.20	97.97	98.53	97.17	%
% pasa la malla Nº 10	90.14	96.12	96.46	96.74	95.50	%
% pasa la malla Nº 20	86.72	91.85	92.31	92.33	91.43	%
% pasa la malla Nº 200	83.55	83.02	83.48	84.32	83.56	%
Límites de Consistencias - ASTM D - 4318						
Límite Líquido	38.28	32.30	32.22	31.88	34.30	%
Limite Plástico	20.89	26.45	25.54	26.30	28.67	%
Índice de Plasticidad	17.39	5.85	6.68	5.58	5.63	%
Próctor Modificado - ASTM D-1557						
Máxima Densidad Seca	1.90	1.905	1.902	1.904	1.901	Grs./cm3
Humedad Óptima %	14.35	11.75	11.35	10.35	11.45	%
Ensayo relación soporte de california - C.B.R. - Saturado 4 días - ASTM D 1883						
C.B.R. AL 100% de compactación	9.18	44.03	45.16	53.39	56.76	%
C.B.R. AL 95% de compactación	**6.12**	**33.40**	**35.05**	**40.66**	**45.68**	%
Clasificación AASHTO	**A-6(14)**	**A-4(5)**	**A-4(6)**	**A-4(5)**	**A-4(5)**	-
Clasificación SUCS	**CL**	**ML**	**ML**	**ML**	**ML**	-

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 44
Calicata Nº 09 –Suelo natural vs adición de cemento Pacasmayo tipo I

CALICATA Nº	**Calicata Nº 09 – Lado derecho**					
Capa Nº	Capa Nº 02					
Profundidad	0.15 - 0.70m					
Kilometraje	4+000					
	Suelo natural	**Suelo natural + adición de cemento Pacasmayo tipo I**				**Unidades**
% de cemento utilizado	**-**	**9%**	**11%**	**13%**	**15%**	
Analisis Granulométrico por tamizado - ASTM D - 422						
% pasa la malla Nº 4	99.90	99.72	99.59	99.20	99.72	%
% pasa la malla Nº 10	99.33	98.79	98.62	98.26	98.81	%
% pasa la malla Nº 20	95.86	95.49	95.18	95.11	95.69	%
% pasa la malla Nº 200	87.47	85.87	85.57	84.84	85.53	%
Límites de Consistencias - ASTM D - 4318						
Límite Líquido	37.60	35.64	33.55	34.76	33.34	%
Limite Plástico	20.02	26.65	25.66	27.66	25.82	%
Índice de Plasticidad	17.58	8.99	7.99	7.10	7.52	%
Próctor Modificado - ASTM D-1557						
Máxima Densidad Seca	1.89	1.902	1.91	1.913	1.897	Grs./cm3
Humedad Óptima %	14.00	12.20	11.30	12.80	12.55	%
Ensayo relación soporte de california - C.B.R. - Saturado 4 dias - ASTM D 1883						
C.B.R. AL 100% de compactación	9.71	46.28	45.16	51.15	52.27	%
C.B.R. AL 95% de compactación	**6.38**	**33.93**	**36.55**	**38.79**	**42.54**	%
Clasificación AASHTO	**A-6(15)**	**A-4(8)**	**A-4(7)**	**A-4(7)**	**A-4(7)**	-
Clasificación SUCS	**CL**	**ML**	**ML**	**ML**	**ML**	-

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 45
Calicata Nº 11 –Suelo natural vs adición de cemento Pacasmayo tipo I

CALICATA Nº	Calicata Nº 11 – Lado derecho					
Capa Nº	Capa Nº 02					
Profundidad	0.20 - 1.10m					
Kilometraje	5+000					
	Suelo natural	**Suelo natural + adición de cemento Pacasmayo tipo I**				**Unidades**
% de cemento utilizado	**-**	**10%**	**12%**	**14%**	**16%**	
Analisis Granulométrico por tamizado - ASTM D - 422						
% pasa la malla Nº 4	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	%
% pasa la malla Nº 10	99.94	99.72	99.76	99.81	99.81	%
% pasa la malla Nº 20	99.64	99.08	99.20	99.17	99.19	%
% pasa la malla Nº 200	99.01	97.79	98.28	97.97	98.21	%
Límites de Consistencias - ASTM D – 4318						
Límite Líquido	59.60	56.08	54.34	50.50	49.97	%
Limite Plástico	30.38	43.82	42.23	38.56	38.51	%
Índice de Plasticidad	29.22	12.26	12.11	11.94	11.46	%
Próctor Modificado - ASTM D-1557						
Máxima Densidad Seca	1.77	1.805	1.81	1.807	1.80	Grs./cm3
Humedad Óptima %	17.40	13.40	12.25	12.35	12.20	%
Ensayo relación soporte de california - C.B.R. - Saturado 4 dias - ASTM D 1883						
C.B.R. AL 100% de compactación	6.82	40.29	41.41	45.91	51.15	%
C.B.R. AL 95% de compactación	**4.84**	**31.01**	**32.05**	**35.42**	**39.09**	%
Clasificación AASHTO	**A-7-5(20)**	**A-7-5(19)**	**A-7-5(19)**	**A-7-5(18)**	**A-7-5(17)**	-
Clasificación SUCS	**CH**	**MH**	**MH**	**MH**	**ML**	-

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 46
Calicata Nº 15 –Suelo natural vs adición de cemento Pacasmayo tipo I

CALICATA Nº	**Calicata Nº 15 – Lado derecho**					
Capa Nº	Capa Nº 02					
Profundidad	0.90 - 1.50m					
Kilometraje	7+000					
	Suelo natural	**Suelo natural + adición de cemento Pacasmayo tipo I**				**Unidades**
% de cemento utilizado	**-**	**10%**	**12%**	**14%**	**16%**	
Análisis Granulométrico por tamizado - ASTM D - 422						
% pasa la malla Nº 4	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	%
% pasa la malla Nº 10	99.98	99.97	99.94	99.95	99.94	%
% pasa la malla Nº 20	99.92	99.74	99.70	99.74	99.69	%
% pasa la malla Nº 200	99.59	97.60	97.78	97.91	97.46	%
Límites de Consistencias - ASTM D - 4318						
Límite Líquido	59.79	50.32	49.74	47.70	44.57	%
Limite Plástico	30.23	39.43	40.28	39.42	38.40	%
Índice de Plasticidad	29.56	10.89	9.47	8.28	6.17	%
Próctor Modificado - ASTM D-1557						
Máxima Densidad Seca	1.764	1.730	1.724	1.737	1.72	Grs./cm3
Humedad Óptima %	15.60	15.20	15.00	15.10	15.30	%
Ensayo relación soporte de california - C.B.R. - Saturado 4 días - ASTM D 1883						
C.B.R. AL 100% de compactación	6.96	27.56	40.29	47.03	50.32	%
C.B.R. AL 95% de compactación	**4.69**	**21.57**	**32.13**	**37.67**	**40.09**	%
Clasificación AASHTO	**A-7-5(20)**	**A-7-5(16)**	**A-5(15)**	**A-5(14)**	**A-5(11)**	-
Clasificación SUCS	**CH**	**MH**	**ML**	**ML**	**ML**	-

Fuente: Elaboración propia

4.3. Resultados del estudio de canteras y fuentes de agua

4.3.1. Etapa 1-Estudio de canteras de cerro natural

4.3.1.1. Resultados de los ensayos en laboratorio sin combinaciones-en estado natural

Cuadro 47
Resultados sin combinaciones para poder realizar el diseño de mezcla teniendo en cuenta especificaciones técnicas, solo propiedades físicas

Canteras	**Cantera Nª 01 - Sector Las Flores, carretera Bello Horizonte - San Fernando - Las Flores Km 9+970**	**Cantera Nº 02 - Sector San Fernando carretera Bello Horizonte - San Fernando Km 6+000 - Talud de cerro L/Der.**	**UNIDADES**
Humedad Natural	6.62	8.55	%
Granulometría	**% que Pasa**	**% que Pasa**	
% pasa la malla 2”	-	-	%
% pasa la malla 1 1/2”	100.00	100.00	%
% pasa la malla 1”	81.92	82.31	%
% pasa la malla 3/4”	71.09	76.31	%
% pasa la malla 1/2”	62.71	70.51	%
% pasa la malla 3/8”	58.30	67.36	%
% pasa la malla 1/4”	53.91	64.40	%
% pasa la malla Nº 4	52.52	63.31	%
% pasa la malla Nº8	45.98	58.46	%
% pasa la malla Nº 10	43.63	55.49	%
% pasa la malla Nº 16	41.80	52.43	%
% pasa la malla Nº 20	40.70	50.42	%
% pasa la malla Nº 30	38.64	46.87	%
% pasa la malla Nº 40	35.97	43.00	%
% pasa la malla Nº 50	30.66	35.68	%
% pasa la malla Nº 60	29.12	34.18	%
% pasa la malla Nº 80	22.78	28.29	%
% pasa la malla Nº 100	22.03	27.45	%
% pasa la malla Nº 200	18.99	25.17	%
Limite Líquido	22.33	33.45	%
Limite Plástico	15.10	21.15	%
Índice de plasticidad	7.23	12.30	%
Clasificación AASHTO	**A-2-4(0)**	**A-2-6(0)**	
Clasificación SUCS	**GC**	**SC**	

Fuente: Elaboración propia

4.3.1.2. Resultados obtenidos de los agregados - Diseños de mezclas, combinaciones natural - comparaciones según las especificaciones técnicas del EG - CBT 2008

Cuadro 48
Combinación cantera Nº 01 y cantera Nº 02

Canteras de cerro bancos naturales	**Diseño, Combinación de los agregados Cantera Nº 02 - Sector San Fernando carretera Bello Horizonte - San Fernando Km 6+000 - Talud de cerro L/Der. - (Privado) 70% + 30% Cantera Nº 01 - Sector Las Flores, carretera Bello Horizonte - San Fernando - Las Flores Km 9+970**	**ESPECIFICACIONES TECNICAS Para capa afirmado y mejoramiento. TRÁFICO T0 Y T1: TIPO 1 IMD<50 VEH.**	**Unidades**
Peso Específico Global)	2.599	**-**	gr./cm^3
Absorción Global	1.23		%
Granulometría	**% que Pasa**		
% pasa la malla 2”	100.00%	**100 - 100**	%
% pasa la malla 1 1/2”	92.82%		%
% pasa la malla 1”	67.70%	**50 – 80**	%
% pasa la malla 3/4”	61.17%		%
% pasa la malla 1/2”	52.71%		%
% pasa la malla 3/8”	48.81%		%
% pasa la malla 1/4”	45.86%		%
% pasa la malla Nº 4	44.42%	**20 – 50**	%
% pasa la malla Nº8	40.37%		%
% pasa la malla Nº 10	38.15%		%
% pasa la malla Nº 16	33.74%		%
% pasa la malla Nº 20	30.80%		%
% pasa la malla Nº 30	27.61%		%
% pasa la malla Nº 40	24.29%		%
% pasa la malla Nº 50	20.32%		%
% pasa la malla Nº 60	18.31%		%
% pasa la malla Nº 80	14.90%		%
% pasa la malla Nº 100	13.40%		%
% pasa la malla Nº 200	11.13%	**4 - 12**	%
Desgaste a la abrasión	48.16	**50 % máx.**	%
Limite Líquido	30.88	**35 % máx.**	%
Limite Plástico	22.58	**-**	%
Índice de plasticidad	8.30	**4 - 9**	%
CBR - 0.1” al 95%	48.53	**-**	%
CBR - 0.1” al 100 %	62.01	**40 % mín.**	%
Densidad del Próctor	2.12	**-**	Grs/cm3
Humedad optima del Próctor	10.70	**-**	%
Equivalente de Arena	30.00	**20.00 min**	
Contenido de Sales Solubles	0.10	**%**	
Clasificación AASHTO	**A-2-4(0)**	**-**	
Clasificación SUCS	**GP-GC**	**-**	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 49
Combinación cantera Nº 01 y 02 con adición de cemento Pacasmayo tipo I

Canteras de cerro bancos naturales	**Cantera Nº 02 - Sector San Fernando carretera Bello Horizonte - San Fernando Km 6+000 - Talud de cerro L/Der. - (Privado) 70% + 30% Cantera Nº 01 - Sector Las Flores, carretera Bello Horizonte - San Fernando - Las Flores Km 9+970 + 6% cemento Pacasmayo tipo I**	**ESPECIFICACIONES TECNICAS Para capa afirmado y mejoramiento. TRÁFICO T0 Y T1: TIPO 1 IMD<50 VEH.**	**Unidades**
Peso Específico Global)	2.622	-	gr./cm^3
Absorción Global	1.05		%
Granulometría	**% que Pasa**		
% pasa la malla 2”	100.00%	**100 - 100**	%
% pasa la malla 1 1/2”	90.00%		%
% pasa la malla 1”	67.49%	**50 – 80**	%
% pasa la malla 3/4”	61.17%		%
% pasa la malla 1/2”	53.07%		%
% pasa la malla 3/8”	49.22%		%
% pasa la malla 1/4”	46.08%		%
% pasa la malla Nº 4	44.48%	**20 – 50**	%
% pasa la malla Nº8	40.45%		%
% pasa la malla Nº 10	38.43%		%
% pasa la malla Nº 16	34.04%		%
% pasa la malla Nº 20	31.62%		%
% pasa la malla Nº 30	28.51%		%
% pasa la malla Nº 40	25.23%		%
% pasa la malla Nº 50	20.53%		%
% pasa la malla Nº 60	18.47%		%
% pasa la malla Nº 80	13.91%		%
% pasa la malla Nº 100	12.37%		%
% pasa la malla Nº 200	9.65%	**4 - 12**	%
Desgaste a la abrasión	41.00	**50 % máx.**	%
Limite Líquido	27.25	**35 % máx.**	%
Limite Plástico	23.58	-	%
Índice de plasticidad	3.67	**4 - 9**	%
CBR - 0.1” al 95%	63.13	-	%
CBR - 0.1” al 100 %	84.10	**40 % mín.**	%
Densidad del Próctor	2.14	-	Grs/cm3
Humedad optima del Próctor	10.50	-	%
Equivalente de Arena	29.00	**20.00 min**	
Contenido de Sales Solubles	0.06	**%**	
Clasificación AASHTO	**A1-a(0)**	-	
Clasificación SUCS	**GP-GM**	-	

Fuente: Elaboración propia

4.3.1.3. Cuadro comparativo de los resultados materiales naturales y combinados, con adición de cemento, comparaciones según las especificaciones técnicas del EG - CBT 2008.

Cuadro 50

Combinación cantera Nº 01 y Nº 02 vs con adición de cemento Pacasmayo tipo I

Canteras de cerro bancos naturales	**Diseño, Combinación de los agregados Cantera Nº 02 - Sector San Fernando carretera Bello Horizonte - San Fernando Km 6+000 - Talud de cerro L/Der. - (Privado) 70% + 30% Cantera Nº 01 - Sector Las Flores, carretera Bello Horizonte - San Fernando - Las Flores Km 9+970**	**Cantera Nº 02 - Sector San Fernando carretera Bello Horizonte - San Fernando Km 6+000 - Talud de cerro L/Der. - (Privado) 70% + 30% Cantera Nº 01 - Sector Las Flores, carretera Bello Horizonte - San Fernando - Las Flores Km 9+970 + 6% de adición de cemento Pacasmayo tipo I**	**ESPECIFICACIONES TECNICAS Para capa afirmado y mejoramiento. TRÁFICO T0 Y T1: TIPO 1 IMD<50 VEH.**	**Unidades**
Peso Específico Global)	2.599	2.622	**-**	gr./cm^3
Absorción Global	1.23	1.05		%
Granulometría	**% que Pasa**	**% que Pasa**		
% pasa la malla 2”	100.00%	100.00%	**100 - 100**	%
% pasa la malla 1 1/2”	92.82%	90.00%		%
% pasa la malla 1”	67.70%	67.49%	**50 – 80**	%
% pasa la malla 3/4”	61.17%	61.17%		%
% pasa la malla 1/2”	52.71%	53.07%		%
% pasa la malla 3/8”	48.81%	49.22%		%
% pasa la malla 1/4”	45.86%	46.08%		%
% pasa la malla Nº 4	44.42%	44.48%	**20 – 50**	%
% pasa la malla Nº8	40.37%	40.45%		%
% pasa la malla Nº 10	38.15%	38.43%		%
% pasa la malla Nº 16	33.74%	34.04%		%
% pasa la malla Nº 20	30.80%	31.62%		%
% pasa la malla Nº 30	27.61%	28.51%		%
% pasa la malla Nº 40	24.29%	25.23%		%
% pasa la malla Nº 50	20.32%	20.53%		%
% pasa la malla Nº 60	18.31%	18.47%		%
% pasa la malla Nº 80	14.90%	13.91%		%
% pasa la malla Nº 100	13.40%	12.37%		%
% pasa la malla Nº 200	11.13%	9.65%	**4 - 12**	%
Desgaste a la abrasión	48.16	41.00	**50 % máx.**	%
Limite Líquido	30.88	27.25	**35 % máx.**	%
Limite Plástico	22.58	23.58	**-**	%
Índice de plasticidad	8.30	3.67	**4 - 9**	%
CBR - 0.1” al 95%	48.53	63.13	**-**	%
CBR - 0.1” al 100 %	62.01	84.10	**40 % mín.**	%
Densidad del Próctor	2.12	2.14	**-**	Grs/cm3
Humedad optima del Próctor	10.70	10.50	**-**	%
Equivalente de Arena	30.00	29.00	**20.00 min**	
Contenido de Sales Solubles	0.10	0.06	**%**	
Clasificación AASHTO	**A-2-4(0)**	**A1-a(0)**	**-**	
Clasificación SUCS	**GP-GC**	**GP-GM**	**-**	

Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Etapa II- Estudios opcionales - canteras de río: rio Mayo y rio Cumbaza.

4.3.2.1. Resultados de los ensayos en laboratorio sin combinaciones-Naturales

Cuadro 51

Canteras rio Mayo y Cumbaza – Ensayos- Especificaciones técnicas

Canteras	**Cantera rio Mayo - Sector Puente Colombia**	**Cantera rio Cumbaza - Sector Juan Guerra.**	**ESPECIFICACIONES TECNICAS Para capa afirmado. TRÁFICO T0 Y T1: TIPO 1 IMD<50 VEH.**	**Unidades**
Peso Específico Global)	2.623	2.55	-	gr./cm^3
Absorción Global	1.11	1.35		%
Granulometría	**% que Pasa**	**% que Pasa**		
% pasa la malla 2”	100.00%	100.00%	**100 - 100**	%
% pasa la malla 1 1/2”	90.99%	90.78%		%
% pasa la malla 1”	71.98%	72.38%	**50 – 80**	%
% pasa la malla 3/4”	64.94%	63.99%		%
% pasa la malla 1/2”	55.70%	54.97%		%
% pasa la malla 3/8”	50.63%	52.57%		%
% pasa la malla 1/4”	45.38%	50.38%		%
% pasa la malla Nº 4	42.89%	46.86%	**20 – 50**	%
% pasa la malla Nº8	34.95%	42.86%		%
% pasa la malla Nº 10	31.23%	39.94%		%
% pasa la malla Nº 16	26.98%	36.17%		%
% pasa la malla Nº 20	23.62%	29.88%		%
% pasa la malla Nº 30	20.82%	20.93%		%
% pasa la malla Nº 40	17.98%	15.64%		%
% pasa la malla Nº 50	15.37%	12.40%		%
% pasa la malla Nº 60	13.93%	10.27%		%
% pasa la malla Nº 80	12.33%	8.45%		%
% pasa la malla Nº 100	11.56%	7.78%		%
% pasa la malla Nº 200	10.16%	6.43%	**4 - 12**	%
Desgaste a la abrasión	42.00	**70.40**	**50 % máx.**	%
Limite Líquido	20.88	**0.00**	**35 % máx.**	%
Limite Plástico	15.19	**0.00**	-	%
Índice de plasticidad	5.69	**0.00**	**4 - 9**	%
CBR - 0.1” al 95%	50.77	45.53	-	%
CBR - 0.1” al 100 %	74.96	66.72	**40 % mín.**	%
Densidad del Próctor	2.15	2.10	-	Grs/cm3
Humedad optima del Próctor	7.95	5.95	-	%
Equivalente de Arena	41.00	37.00	**20.00 min**	%
Clasificación AASHTO	**A1-a(0)**	**A1-a(1)**	-	
Clasificación SUCS	**GW-GC**	**GP-GM**	-	

Fuente: Elaboración propia

4.3.2.2. Resultados obtenidos de los agregados, de las canteras de rio, más la adición con cemento, según clasificación AASHTO - comparaciones según las especificaciones técnicas del EG - CBT 2008, según clasificación AASHTO:

Cuadro 52
Canteras rio Mayo y Cumbaza con adición de cemento Pacasmayo tipo I

Canteras	Cantera río Mayo- sector Puente Colombia +Adición del 4.00 % de Cemento Pacasmayo tipo I	Cantera río Cumbaza- sector Juan Guerra + Adición del 4.00 % de Cemento Pacasmayo tipo I	ESPECIFICACIONES TECNICAS Para capa de afirmado. TRÁFICO T0 Y T1: TIPO 1 IMD<50 VEH.	Unidades
Peso Específico Global)	2.63	2.569	-	gr./cm^3
Absorción Global	1.01	1.08		%
Granulometría	% que Pasa	% que Pasa		
% pasa la malla 2”	100.00%	100.00%	100 - 100	%
% pasa la malla 1 1/2”	91.81%	84.64%		%
% pasa la malla 1”	75.63%	78.09%	50 – 80	%
% pasa la malla 3/4”	68.82%	72.25%		%
% pasa la malla 1/2”	60.05%	64.41%		%
% pasa la malla 3/8”	55.95%	60.85%		%
% pasa la malla 1/4”	50.09%	50.78%		%
% pasa la malla Nº 4	45.45%	48.37%	20 – 50	%
% pasa la malla Nº8	35.76%	42.52%		%
% pasa la malla Nº 10	34.57%	40.70%		%
% pasa la malla Nº 16	28.87%	34.64%		%
% pasa la malla Nº 20	25.80%	29.85%		%
% pasa la malla Nº 30	20.24%	21.94%		%
% pasa la malla Nº 40	17.17%	15.09%		%
% pasa la malla Nº 50	14.97%	12.86%		%
% pasa la malla Nº 60	12.05%	10.13%		%
% pasa la malla Nº 80	9.68%	8.05%		%
% pasa la malla Nº 100	9.23%	7.47%		%
% pasa la malla Nº 200	7.52%	6.28%	4 - 12	%
Desgaste a la abrasión	39.10	59.90	50 % máx.	%
Limite Líquido	24.10	19.11	35 % máx.	%
Limite Plástico	19.05	16.50	-	%
Índice de plasticidad	5.05	2.61	4 - 9	%
CBR - 0.1” al 95%	69.87	60.88	-	%
CBR - 0.1” al 100 %	93.31	82.22	40 % mín.	%
Densidad del Próctor	2.17	2.122	-	Grs/cm3
Humedad optima del Próctor	8.50	5.95	-	%
Equivalente de Arena	35.00	35.00	20.00 min	%
Contenido de Sales Solubles	0.06	0.07	%	
Clasificación AASHTO	A1-a(0)	A1-a(0)		
Clasificación SUCS	GP-GC	GP-GC		

Fuente: Elaboración propia

4.3.2.3. Cuadro comparativo de los resultados de los estudios de la cantera de rio Mayo en estado natural, más adición de cemento - comparaciones según las especificaciones técnicas del EG - CBT 2008.

Cuadro 53

Cantera rio Mayo en estado natural vs adición con cemento Pacasmayo tipo I

Canteras	Cantera rio Mayo - Sector Puente Colombia (NATURAL)	Cantera río Mayo- sector Puente Colombia + adición del 4.00% de Cemento Pacasmayo tipo I	ESPECIFICACIONES TECNICAS Para capa afirmado y mejoramiento. TRÁFICO T0 Y T1: TIPO 1 IMD<50 VEH.	Unidades
Peso Específico Global)	2.623	2.63	-	gr./cm^3
Absorción Global	1.11	1.01		%
Granulometría	% que Pasa	% que Pasa		
% pasa la malla 2”	100.00%	100.00%	100 - 100	%
% pasa la malla 1 1/2”	90.99%	91.81%		%
% pasa la malla 1”	71.98%	75.63%	50 – 80	%
% pasa la malla 3/4”	64.94%	68.82%		%
% pasa la malla 1/2”	55.70%	60.05%		%
% pasa la malla 3/8”	50.63%	55.95%		%
% pasa la malla 1/4”	45.38%	50.09%		%
% pasa la malla Nº 4	42.89%	45.45%	20 – 50	%
% pasa la malla Nº8	34.95%	35.76%		%
% pasa la malla Nº 10	31.23%	34.57%		%
% pasa la malla Nº 16	26.98%	28.87%		%
% pasa la malla Nº 20	23.62%	25.80%		%
% pasa la malla Nº 30	20.82%	20.24%		%
% pasa la malla Nº 40	17.98%	17.17%		%
% pasa la malla Nº 50	15.37%	14.97%		%
% pasa la malla Nº 60	13.93%	12.05%		%
% pasa la malla Nº 80	12.33%	9.68%		%
% pasa la malla Nº 100	11.56%	9.23%		%
% pasa la malla Nº 200	10.16%	7.52%	4 - 12	%
Desgaste a la abrasión	42.00	39.10	50 % máx.	%
Limite Líquido	20.88	24.10	35 % máx.	%
Limite Plástico	15.19	19.05	-	%
Índice de plasticidad	5.69	5.05	4 - 9	%
CBR - 0.1” al 95%	50.77	69.87	-	%
CBR - 0.1” al 100 %	74.96	93.31	40 % mín.	%
Densidad del Próctor	2.15	2.17	-	Grs/cm3
Humedad optima del Próctor	7.95	8.50	-	%
Equivalente de Arena	41.00	35.00	20.00 min	%
Contenido de Sales Solubles	-	0.06	%	
Clasificación AASHTO	A-1-a(0)	A-1-a(0)		
Clasificación SUCS	GW-GC	GP-GC		

Fuente: Elaboración propia

4.3.2.4. Cuadro comparativo de los resultados de los estudios de la cantera de rio Cumbaza en estado natural, más adición de cemento - comparaciones según las especificaciones técnicas del EG - CBT 2008.

Cuadro 54

Cantera rio Cumbaza en estado natural vs adición con cemento Pacasmayo tipo I

Canteras	Cantera rio Cumbaza - Sector Juan Guerra (NATURAL)	Cantera río Cumbaza-sector Juan Guerra + adicción del 4.00% de Cemento Pacasmayo tipo I	ESPECIFICACIONES TECNICAS Para capa afirmado y mejoramiento. TRÁFICO T0 Y T1: TIPO 1 IMD<50 VEH.	Unidades
Peso Específico Global)	2.55	2.569	-	gr./cm^3
Absorción Global	1.35	1.08		%
Granulometría	% que Pasa	% que Pasa		
% pasa la malla 2”	100.00%	100.00%	100 - 100	%
% pasa la malla 1 1/2”	90.78%	84.64%		%
% pasa la malla 1”	72.38%	78.09%	50 – 80	%
% pasa la malla 3/4”	63.99%	72.25%		%
% pasa la malla 1/2”	54.97%	64.41%		%
% pasa la malla 3/8”	52.57%	60.85%		%
% pasa la malla 1/4”	50.38%	50.78%		%
% pasa la malla Nº 4	46.86%	48.37%	20 – 50	%
% pasa la malla Nº8	42.86%	42.52%		%
% pasa la malla Nº 10	39.94%	40.70%		%
% pasa la malla Nº 16	36.17%	34.64%		%
% pasa la malla Nº 20	29.88%	29.85%		%
% pasa la malla Nº 30	20.93%	21.94%		%
% pasa la malla Nº 40	15.64%	15.09%		%
% pasa la malla Nº 50	12.40%	12.86%		%
% pasa la malla Nº 60	10.27%	10.13%		%
% pasa la malla Nº 80	8.45%	8.05%		%
% pasa la malla Nº 100	7.78%	7.47%		%
% pasa la malla Nº 200	6.43%	6.28%	4 - 12	%
Desgaste a la abrasión	70.40	59.90	50 % máx.	%
Limite Líquido	0.00	19.11	35 % máx.	%
Limite Plástico	0.00	16.50	-	%
Índice de plasticidad	0.00	2.61	4 - 9	%
CBR - 0.1” al 95%	45.53	60.88	-	%
CBR - 0.1” al 100 %	66.72	82.22	40 % mín.	%
Densidad del Próctor	2.10	2.122	-	Grs/cm3
Humedad optima del Próctor	5.95	5.95	-	%
Equivalente de Arena	37.00	35.00	20.00 min	%
Contenido de Sales Solubles		0.07	%	
Clasificación AASHTO	A1-a (1)	A1-a (0)		
Clasificación SUCS	GP-GM	GP-GC		

Fuente: Elaboración propia

4.3.3. Fuentes de Agua

Cuadro 55
Fuente de agua- Quebrada Shatuyacu km 3+860, km 5+890 y km 7+887- Resultados de ensayos

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	RESULTADOS	OBSERVACIONES
Materia orgánica	6.20 mg/l	Riesgo Bajo
Sales Solubles Totales	32.01 mg/l	Normal
Sales de Magnesio	70.55 mg/l	Normal
Cloruros (Cl,K)	65.22 mg/l	Normal
Sulfatos (So4, Ba)	95.85 mg/l	Normal
Sólidos en suspensión	166.78 mg/l	Normal
PH	6.60	Poco ácido

Fuente: Elaboración propia

4.4. Resultados de cálculo del espesor de subrasante mejorada – Método AASHTO

Numero estructural requerido pavimento con Subrasante muy pobre a pobre–CBR < 6%.

Parámetros	
ZR =	-1.282
So =	0.45
Pi =	4.00
Pt =	2.00
EE 18tn =	$4.40x10^5$
CBR =	**4.69**
MR =	6977 psi
SNr =	3.3

MR = 2555 x $CBR^{0.65}$ (Expresión general en la guía del AASHTO 2002).

R = 90%

Utilizando el ábaco de diseño de la guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO,1993 se obtiene:

SN = 3.3

Numero estructural requerido pavimento con Subrasante muy buena – CBR>20%.

Parámetros	
ZR =	-1.282
So =	0.45
Pi =	4.00
Pt =	2.00
EE 18tn =	$4.40x10^5$
CBR =	**21.57**
MR =	18810 psi
SNo =	2.2

MR = 2555 x $CBR^{0.65}$ (Expresión general en la guía del AASHTO 2002).

R = 90%

Utilizando el ábaco de diseño de la guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO,1993 se obtiene:

SN = 2.2

Para la determinación de la altura de mejoramiento a realizar se hará de acuerdo a lo indicado en el Manual para el Diseño de Caminos Pavimentados de Bajo Volumen de tránsito, el cual emplea la siguiente fórmula:

$$D_4 = \frac{SNr - SNo}{a_4 \, x \, m_4}$$

Siendo:

D_4 = Espesor efectivo de la subrasante mejorada en plg.

SNr = Numero estructural requerido del pavimento con subrasante muy pobre a pobre.

SNo = Numero estructural requerido del pavimento con subrasante regular, buena o muy buena.

a_4 = 0.094/plg, coeficiente estructural de capa de subrasante mejorada, para reemplazar la sub rasante muy pobre y pobre, por una subrasante muy buena con CBR > 20%.

m_4 = coeficiente de drenaje = 1.00

Reemplazando en la fórmula se obtiene:

$$D_4 = \frac{3.3 - 2.2}{0.094 \, x \, 1.00} = 11.7 \text{ plg} = 29.7 \text{ cm}$$ => Espesor adoptado = **30 cm**

Se obtiene 29.7 cm de espesor, se adopta una medida constructiva de **30 cm de espesor para la subrasante mejorada.**

4.5. Resultados del diseño de afirmado por método NAASRA – En estado natural – Sin adición de cemento Pacasmayo tipo I

$$e = [219 - 211\ x\ (log_{10}CBR) + 58\ x\ (log_{10}CBR)^2]\ x\ log_{10}\ (Nrep/120)$$

Donde:

e = Espesor de la capa de afirmado en mm.

CBR = Valor del CBR de la sub rasante.

Nrep = Número de repeticiones de EE para el carril de diseño.

4.5.1. Número de repeticiones de ejes equivalentes

Con los datos obtenidos en el Estudio de Tráfico se determinará el número acumulado de repeticiones de ejes equivalentes a 8.2 Toneladas para el periodo de diseño, de acuerdo a la fórmula:

Nrep de EE 8.2t = Σ [EEdía-carril x 365 x Fca]

EEdía-carril = EE x Factor Direccional x Factor Carril

EE = Nº de vehículos según tipo x Factor de carga x Factor de Presión de Llantas

Fca = $\frac{(1+r)^n-1}{r}$

Donde:

Nrep de EE 8.2t = Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2t

EEdía-carril = Ejes Equivalentes por día para el carril de diseño

365 = Número de días del año

t = Tasa de proyección del tráfico, en centésimas

n = Periodo de años

r = Tasa anual de crecimiento

EE = Ejes Equivalentes

Factor Direccional = 0.5, corresponde a caminos de dos direcciones por calzada

Factor Carril = 1, corresponde a un carril por dirección o sentido

Factor de Presión de Llantas = 1, este valor se estima para los CBVT y con capa de revestimiento granular.

El IMD lo obtenemos del estudio de tráfico, en este caso y a criterio propio se toman los valores del IMD proyectado en el máximo período de diseño que son 10 años y vehículo pesados de 2 ejes

IMD= N° de vehículos según tipo = 10 (Vehículos Pesados).

Así mismo, se ha empleado una tasa de crecimiento de 6.60% del PBI para vehículos pesados, de acuerdo a los datos estadísticos de INEI con un periodo de diseño de 10 años.

Datos:

Tipo de Pavimento	Capa de afirmado
Tipo de obra por ejecutarse	Nueva construcción
Clase de Tráfico	T1
Periodo de diseño: n	10 años
CBR PROMEDIO = Valor del CBR subrasante	4.69
CBR PROMEDIO = Valor del CBR subrasante para diseño	4.69
Categorías de subrasante	Sub rasante Pobre-S1
Factor direccional	0.5
Factor carril	1.00
Factor de presión de llantas	1.00
Fca	13.56

Tabla 16
Cálculo de número de repeticiones de EE para 10 años

TIPO DE VEHÍCULO		IMDA (Total ambos Sentidos)	Veh. Pesados (Carril de diseño)	LEFs - FC	EE por tipo de vehículo	EEdía - carril por tipo de vehículo	Nº de Repeticiones EE 8.2 tn (10 años carril de diseño) EEdía - carril * 365 * Fca
BUSES	**B2**		2	3.56	7.1200	3.5600	17619.86
	B3-1	48	3	1.88	5.6400	2.8200	13957.31
CAMION	**C2**		5	3.56	17.8000	8.9000	44049.66
Nº de Repeticiones EE 8.2 tn EEdía - carril * 365 * Fca							**7.56E+04**

Fuente: Elaboración propia

Resultados obtenidos:

IMDA (Total vehiculos ambos sentidos)	48
Vehiculos pesados (carril de diseño)	10
Nrep = número de repeticiones de EE para el carril de diseño	7.56 E+04

Luego reemplazamos resultados en la fórmula del método NAASRA

$e = [219 - 211\ x\ (log_{10}CBR) + 58\ x\ (log_{10}CBR)^2]\ x\ log_{10}\ (Nrep/120)$

e = 289.776 mm

e = 28.98 cm

4.5.2. Diseño del espesor del afirmado utilizando el grafico elaborado en base a la ecuación de diseño del método NAASRA, del manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito del MTC.

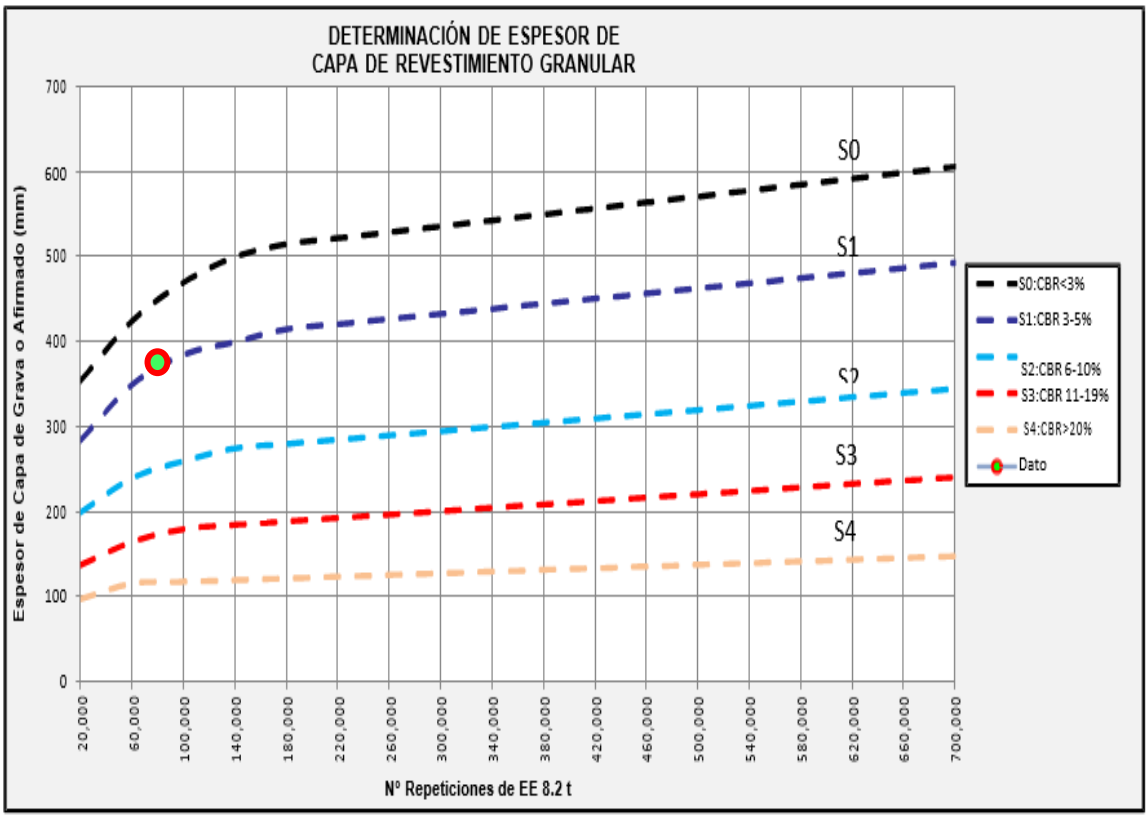


Figura 10. Determinación de espesor de capa de revestimiento granular. (Fuente: MTC-Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito).

Del gráfico se obtiene:

e = 37.00 cm

4.5.3. Diseño de la capa de afirmado utilizando el catalogo derivado del método NAASRA.

Cálculo del espesor del afirmado con CBR en estado natural

Datos:

Tráfico del tipo **T1-S1**

C.B.R. de **4.69%**

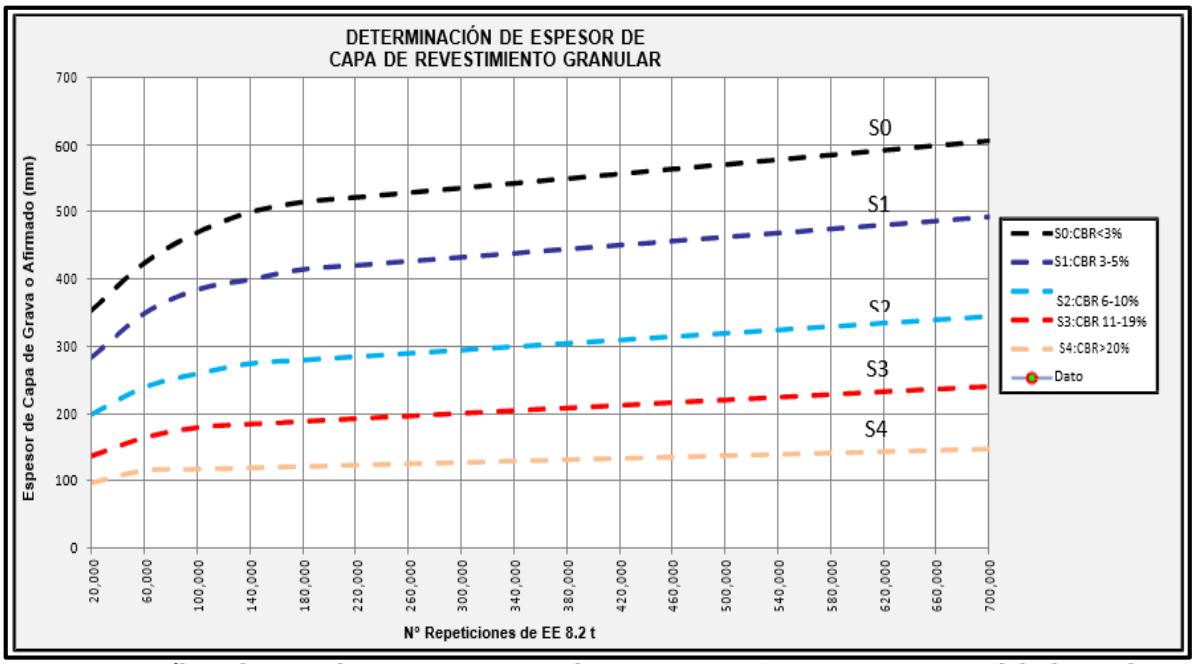


Figura 11. Catálogo de capas de revestimiento granular- Tipo T1-S1. (Fuente: MTC- Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito).

Del gráfico se obtiene:

e = 370 mm espesor total

Por lo tanto:

e = 20.00 cm capa de afirmado

e = 17.00 cm capa de mejoramiento de la sub rasante

Se recomienda para la estructura del pavimento de un espesor de 37.00 cm, espesor total, distribuido de la siguiente= 20 cm de capa de afirmada, más 17 cm capa de mejoramiento, de las combinaciones de canteras, Cantera Nº 02 - Sector San Fernando carretera Bello Horizonte - San Fernando Km 6+000 - Talud de cerro L/Der. - (Privado) 70% + 30% Cantera Nº 01 - Sector Las Flores, carretera Bello Horizonte - San Fernando - Las Flores Km 9+970, el material debe ser zarandeado por malla 2".

4.6. Resultados del diseño de afirmado por método NAASRA – Con adicion de cemento Pacasmayo tipo I

$$e = [219 - 211\ x\ (log_{10}CBR) + 58\ x\ (log_{10}CBR)^2]\ x\ log_{10}\ (Nrep/120)$$

Donde:

e = Espesor de la capa de afirmado en mm.

CBR = Valor del CBR de la sub rasante.

Nrep = Número de repeticiones de EE para el carril de diseño.

4.6.1. Número de repeticiones de ejes equivalentes

Con los datos obtenidos en el Estudio de Tráfico se determinará el número acumulado de repeticiones de ejes equivalentes a 8.2 Toneladas para el periodo de diseño, de acuerdo a la fórmula:

Nrep de EE 8.2t = Σ [EEdía-carril x 365 x Fca]

EEdía-carril = EE x Factor Direccional x Factor Carril

EE = Nº de vehículos según tipo x Factor de carga x Factor de Presión de Llantas

Fca $= \frac{(1+r)^n - 1}{r}$

Donde:

Nrep de EE 8.2t = Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2t

EEdía-carril = Ejes Equivalentes por día para el carril de diseño

365 = Número de días del año

t = Tasa de proyección del tráfico, en centésimas

n = Periodo de años

r = Tasa anual de crecimiento

EE = Ejes Equivalentes

Factor Direccional = 0.5, corresponde a caminos de dos direcciones por calzada

Factor Carril = 1, corresponde a un carril por dirección o sentido

Factor de Presión de Llantas = 1, este valor se estima para los CBVT y con capa de revestimiento granular.

El IMD lo obtenemos del estudio de tráfico, en este caso y a criterio propio se toman los valores del IMD proyectado en el máximo período de diseño que son 10 años y vehículo pesados de 2 ejes

IMD= N° de vehículos según tipo = 10 (Vehículos Pesados).

Así mismo, se ha empleado una tasa de crecimiento de 6.60% del PBI para vehículos pesados, de acuerdo a los datos estadísticos de INEI con un periodo de diseño de 10 años.

Datos:

Tipo de Pavimento	Capa de afirmado
Tipo de obra por ejecutarse	Nueva construcción
Clase de Tráfico	T1
Periodo de diseño: n	10 años
CBR PROMEDIO = Valor del CBR subrasante	21.57
CBR PROMEDIO = Valor del CBR subrasante para diseño	21.57
Categorías de subrasante	Sub rasante muy Buena-S4
Factor direccional	0.5
Factor carril	1.00
Factor de presión de llantas	1.00
Fca	13.56

Tabla 17
Cálculo de número de repeticiones de EE para 10 años

TIPO DE VEHÍCULO		IMDA (Total ambos Sentidos)	Veh. Pesados (Carril de diseño)	LEFs - FC	EE por tipo de vehículo	EEdía - carril por tipo de vehículo	Nº de Repeticiones EE 8.2 tn (10 años carril de diseño) EEdía - carril * 365 * Fca
BUSES	**B2**	48	2	3.56	7.1200	3.5600	17619.86
	B3-1		3	1.88	5.6400	2.8200	13957.31
CAMION	**C2**		5	3.56	17.8000	8.9000	44049.66
Nº de Repeticiones EE 8.2 tn EEdía - carril * 365 * Fca							**7.56E+04**

Fuente: Elaboración propia

Resultados obtenidos:

IMDA (Total vehículos ambos sentidos)	48
Vehículos pesados (carril de diseño)	10
Nrep = número de repeticiones de EE para el carril de diseño	7.56E+04

Luego reemplazamos resultados en la fórmula del método NAASRA

$e = [219 - 211\ x\ (log_{10}CBR) + 58\ x\ (log_{10}CBR)^2]\ x\ log_{10}\ (Nrep/120)$

e = 114.076 mm

e = 11.41 cm

4.6.2. Diseño del espesor del afirmado utilizando el grafico elaborado en base a la educación de diseño del método NAASRA, del manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito del MTC.

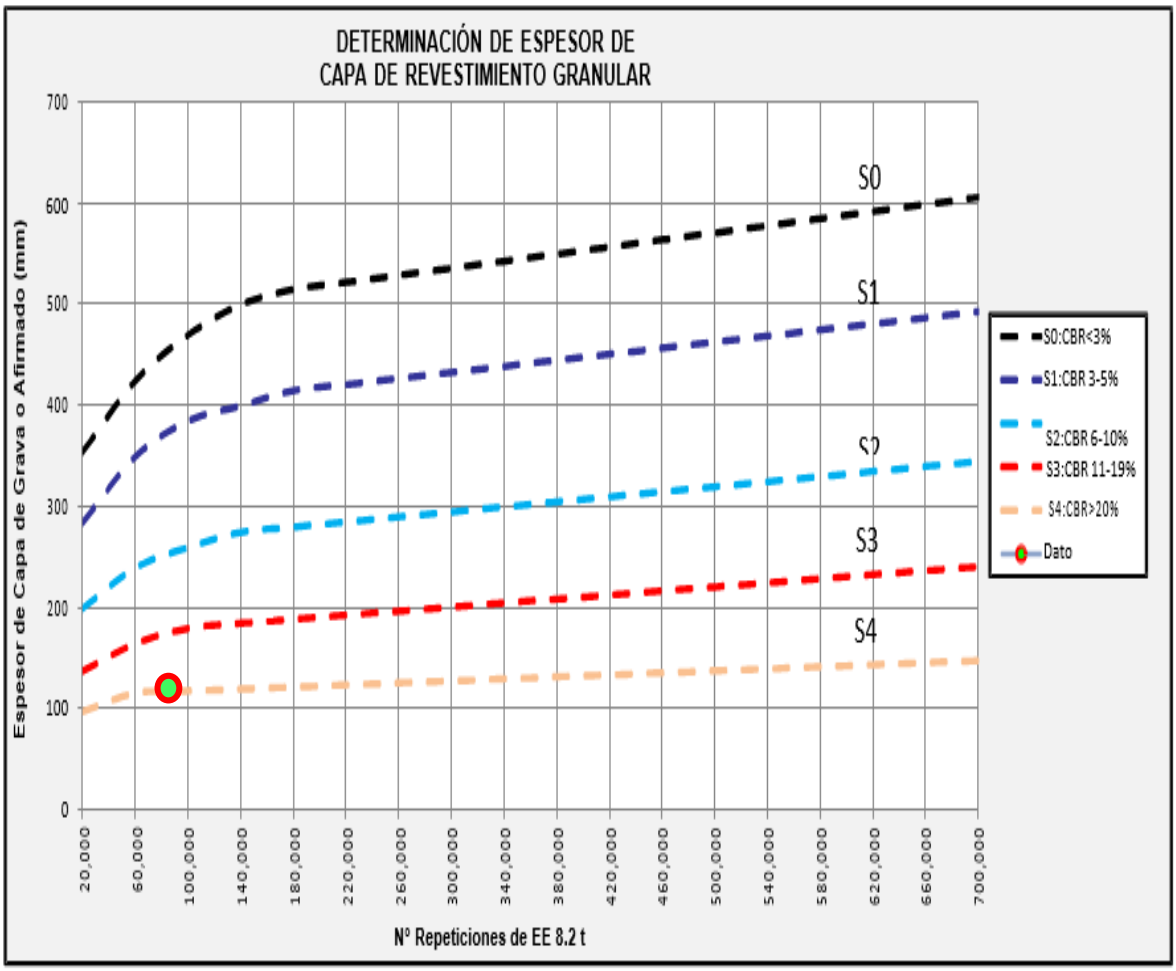


Figura 12. Determinación de espesor de capa de revestimiento granular. (Fuente: MTC-Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito).

Del gráfico se obtiene:

e =12 cm

Cálculo con mejoramiento de sub rasante con adición de cemento 10%

Datos:

Tráfico del tipo **T1-S4**.
C.B.R. mayor al **20.00% = 21.57%**

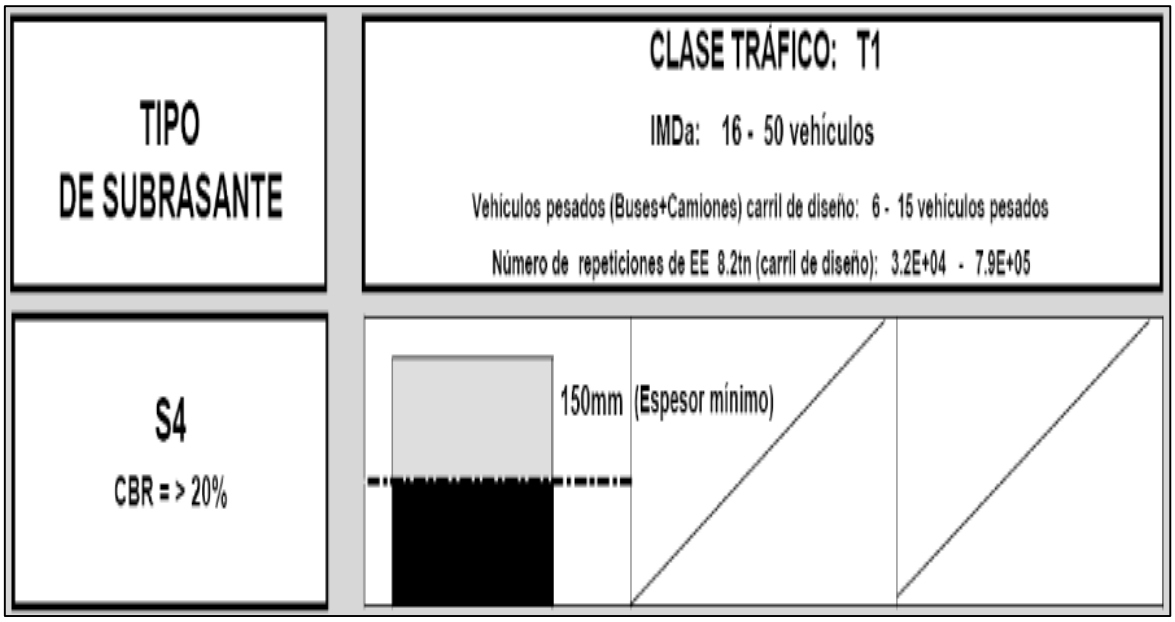


Figura 13. Catálogo de capas de revestimiento granular- Tipo T1-S4. (Fuente: MTC- Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito).

Del gráfico se obtiene:

e = 150 mm capa de afirmado

e = 15.00 cm

Se recomienda para la estructura del pavimento un espesor de 15.00 cm, más la estabilización de la sub rasante, previa escarificación y adición de cemento Pacasmayo tipo IP, con 10%, material de afirmado de las combinaciones de canteras, Cantera Nº 02 - Sector San Fernando carretera Bello Horizonte - San Fernando Km 6+000 - Talud de cerro L/Der. - (Privado) 70% + 30% Cantera Nº 01 - Sector Las Flores, carretera Bello Horizonte - San Fernando - Las Flores Km 9+970.

4.7. Resultados de cuantificación de cemento a utilizar

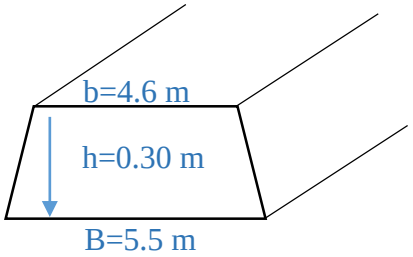
La cantidad de cemento (Portland - Pacasmayo Tipo I) a utilizar tanto para la sub rasante y para la capa de afirmado se obtendrá de acuerdo al peso volumétrico de cada uno de estos materiales, para ello se tiene los siguientes datos:

Cantidad de cemento para la subrasante.

La cantidad de cemento a utilizar para estabilizar la subrasante sólo será aplicada para aquellos suelos o tramos que tengan CBR menores al 6%, para los tramos que tengan CBR mayores al 6% no será necesario estabilizar.

Los tramos que serán estabilizados son: km 2+500 - 3+000, km 4+000 - 4+500, km 4+500 - 5+000, km 5+000 – 5+500, km 5+500 – 6+000, km 6+000 – 6+500, km 6+500 – 7+000, km 7+000 – 7+500.

Datos:



Longitud total de tramos a estabilizar = 4.000 km

Espesor capa de subrasante = 0.30 m

Ancho de calzada = 4.60 m

Peso volumétrico de suelo a estabilizar = 1.65 g/m3 = 1650 kg/m3

Porcentaje de cemento a utilizar en estabilización = 10.00%

Solución:

Volúmen del suelo a estabilizar = 4000m x [0.30m x ((4.60+5.5) /2) m] = 6060 m3

Peso del suelo a estabilizar = 1650 kg/m3 x 6060m3 = 9 999 000 kg

Peso del cemento = 9 999 000 kg x 0.10= 999 900 kg

Bolsas de cemento = 999 900kg/42.5kg = 23 527 bolsas

Aplicando un desperdicio del 5% se obtiene 23 527 bolsas x 1.05 = 24 703 bolsas, por lo tanto, para la sub rasante (pobre – Tipo S1) del tramo en estudio con un espesor de 0.30m se emplearán **24 703 bolsas** de cemento utilizando un óptimo del 10.00% de cemento.

Cantidad de cemento para capa de afirmado (combinación canteras Nº01 Sector Las Flores y Nº 02 Sector San Fernando).

La cantidad de cemento a utilizar para estabilizar la capa de afirmado será aplicada para todo el tramo en estudio.

Datos:

Longitud carretera = 8.520 km

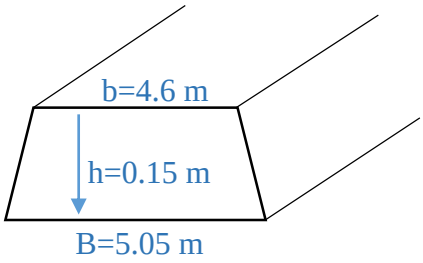
Espesor capa de afirmado = 0.15 m

Ancho de calzada = 4.60 m

Peso volumétrico de suelo a estabilizar = 1.85 g/m3 = 1850 kg/m3

Porcentaje de cemento a utilizar en estabilización = 6.00%

Solución:



Volúmen del suelo a estabilizar = 8520m [0.15m x ((4.60+5.05) /2) m] = 6166.4 m3

Peso del suelo a estabilizar = 1850 kg/m3 x 6166.4m3 = 11 407 748 kg

Peso del cemento = 11 407 748 kg x 0.6 = 6 844 648.5 kg

Bolsas de cemento = 6 844 648.5 kg/ 42.5 kg = 161 051 bolsas

Entonces:

Aplicando un desperdicio del 5% se obtiene 161 051 bolsas x 1.05 = 169 104 bolsas, por lo tanto, para la capa de afirmado (combinación de las canteras Nº 01 Sector Las Flores y Nº 02 Sector San Fernando) del tramo en estudio con un espesor de 0.15m se emplearán **169 104 bolsas** de cemento utilizando un óptimo del 6.00% de cemento.

CAPÍTULO V
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Estudio de tráfico

Con los datos de conteo del estudio de tráfico se ha obtenido un IMD (Índice Medio Diario) de 48 veh/día, recopilando la cantidad y tipo de vehículos que circulan por el camino vecinal tramo Juan Guerra – Bello Horizonte, siendo en su mayoría autos, camionetas y camiones, de la información obtenida en campo, lo que permitió analizar el tráfico existente y proyectar el tráfico a futuro y los ejes equivalentes para el dimensionamiento de la vía; estudio realizado como elemento componente indispensable en todo proyecto vial; porque, como lo sostiene Muñoz (2011), es la herramienta fundamental de la ingeniería que permite conocer el comportamiento del tráfico, que servirá de sustento para el diseño de las vías existentes o nuevas.

5.2. Estudio de mecánica de suelos

El estudio de mecánica de suelos consistió en la realización de calicatas, estas se ubicaron cada 500 m., alternadamente, de acuerdo a la Guía para muestreo de suelos y rocas, según Norma MTC-E101–2000, la excavación se hizo manualmente de las calicatas hasta la profundidad mínima de 1.50m debajo de la sub rasante, se inició en el Km 00+000 (Cruce FBT con Jr. Vencedores de Comainas) y se terminó en el Km 8+520 (Al costado de campo de fútbol de Bello Horizonte). Determinando sus propiedades físicas, mecánicas según norma técnica MTC, para la determinación de la capacidad portante de la sub-rasante (CBR), se realizó un total de 18 calicatas a lo largo de todo el camino vecinal.

En las diferentes calicatas realizadas se pudo observar los diferentes tipos de estratos de suelos que existen dentro del tramo en estudio siendo en su gran mayoría según sus propiedades físicas, clasificación AASHTO tipo A-6 (16) y A-7-5 (20), así como también los resultados de las propiedades mecánicas (CBR), considerada como sub rasante pobre, suelos plásticos y expansivos.

Aquellos suelos de sub rasante con un CBR consideradas como sub rasante pobre, se optó por estabilizarlos con adición de Cemento Portland Pacasmayo Tipo I, obteniendo resultados significativos, considerados como sub rasantes muy buenas, que ayudarán en el mejoramiento de la carretera vecinal.

Al realizar las adiciones de cemento a los suelos del TDF, según su clasificación y cumpliendo con las normas de los % de cemento según clasificación AASHTO, obteniendo resultados satisfactorios, considerados como sub rasante muy buenas mayos del 20.00% CBR, según este análisis se optó por estabilizar todo el TDF, con el 10% de cemento.

5.2.1. Estudio de canteras y fuentes de agua

5.2.1.1. Estudio de canteras

El estudio de canteras, consistió básicamente en obtener material adecuado y que cumplan con lo que indica la guía del MTC- Manual de Diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito, estos materiales fueron sometidos a ensayos correspondientes de acuerdo a la norma para ser evaluados y saber si podrán ser utilizados como material de mejoramiento, encontrando dos canteras de bancos de cerros naturales: Cantera Nº 01 Sector las Flores y Cantera Nº 02 Sector San Fernando, así mismo se encontró como segunda opción dos canteras de Rio: Cantera Nº 03 Rio Mayo y Cantera Nº 04 Rio Cumbaza.

Se pudo observar que los materiales de bancos de cerro de natural no tienen el volumen necesario para ser utilizados independientemente en el tramo en estudio, por lo que se vio obligado a combinar la Cantera Nº 01 Sector Las Flores y la Cantera Nº 02 Sector San Fernando para obtener un volumen necesario para ser utilizado dentro del tramo en estudio. obteniendo resultados de los ensayos de esta combinación satisfactorios cumpliendo adecuadamente según norma del MTC- Diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito.

Los estudios realizados de las canteras del río Mayo y Cumbaza, se obtuvo resultados satisfactorios para la cantera del río Mayo, cumpliendo con las propiedades físicas, mecánicas, según especificaciones técnicas de norma del MTC, pero la cantera del río Cumbaza se obtuvieron resultados poco satisfactorios no cumpliendo en los ensayos de límites de consistencia y en el ensayo del degaste a la abrasión, descartándole a esta cantera.

Desgaste Los Ángeles	: 50% máx.	(MTC E 207)
Límite Líquido	: 35% máx.	(MTC E 110)
Índice de Plasticidad	: 4 – 9	(MTC E 111)

CBR (1)	: 40% mín.	(MTC E 132)
Equivalente de Arena	: 20% mín.	(MTC E 114)

Con el propósito de cumplir con la investigación, para la estabilización de las canteras, se realizaron las adiciones del cemento según norma técnica MTC, considerando la clasificación AASHTO para la adición en % de cemento portland Pacasmayo Tipo I, y al mismo tiempo se realizaron los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas, cantera Nº 02 - Sector San Fernando carretera Bello Horizonte - San Fernando Km 6+000 - Talud de cerro L/Der. - (Privado) 70% + 30% Cantera Nº 01 - Sector Las Flores, carretera Bello Horizonte - San Fernando - Las Flores Km 9+970. obteniendo mejores resultados, con relación a los estudios realizados en estado natural sin adición, determinando el 6.00 % de cemento como óptimo, cumpliendo las normas técnicas del MTC.

La cantera río Mayo al realizar la estabilización con cemento según norma técnica del MTC considerando la clasificación AASHTO para la adición en % de Cemento Portland Pacasmayo Tipo I, y al mismo tiempo se realizaron los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas, de dicha Cantera, obteniendo mejores resultados, con relación a los estudios realizados en estado natural sin adición, determinando el 4.00 % de cemento como óptimo, cumpliendo las normas técnicas del MTC.

Con respecto a la cantera del río Cumbaza al realizar la estabilización con cemento según norma técnica del MTC considerando la clasificación AASHTO para la adición en % de cemento portland Pacasmayo tipo I, y al mismo tiempo se realizaron los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas, de dicha Cantera, no se obtuvieron resultados satisfactorios, con la determinación del 4.00 % de cemento como óptimo, no cumpliendo las normas técnicas del MTC, por lo tanto se descarta esta opción (No cumple en estado natural los límites de consistencia y el desgate a la abrasión).

El estudio de canteras realizado se sustenta los propósitos sostenidos por el MTC (2013) en el sentido que el interés del estudio de las fuentes de materiales de donde se extraerán agregados para casos de mejoramiento de vías es determinar sí estos agregados son o no aptos para el tipo de obra a emplear, por lo que se requirió determinar sus características mediante la ejecución de los respectivos ensayos de laboratorio

5.2.1.2. Fuentes de agua

Se realizó el estudio respectivo de fuentes de agua en la quebrada de Shatuyacu en 3 sectores del tramo en estudio: kilómetros 3+860, 5+890 y 7+887 con el propósito de identificar el tipo de fuente y su distancia a la obra, conforme a lo dispuesto por el MTC (2013) y así mismo tener las características de calidad del agua, disponibilidad y variación estacional.

5.3. Diseño del afirmado

Para el dimensionamiento de espesores de afirmado, se utilizó la ecuación del método NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities que relaciona el valor soporte del suelo (CBR) y la carga actuante sobre el afirmado, expresada en número de repeticiones, es validada en el Perú por el MTC (2013).

La segunda opción con el método del catálogo de capas de revestimiento granular, según el tipo de tránsito (T1) IMDa de 16-50 vehículos-MTC carreteras no pavimentadas de bajo volumen de transito

El conteo vehicular IMD actual por día es de 48 vehículos/día (camioneta, camión, camión, tráiler, de tres ejes). Una vez obtenidos los datos del IMD se calculó el Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes obteniéndose para un CBR de **4.69** % estado natural – sin combinación de cemento = 7.56E+04 y para un CBR de **21.57** % con adición de cemento = 7.56E+04

Con los datos del Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes y CBR de diseño, para ambos casos (estado natural y con adición de cemento), se determinó el espesor del revestimiento de la capa granular o afirmado, utilizando los tres procedimientos para el cálculo de espesor del afirmado derivados del método NAASRA.

La rapidez y la simplicidad de estés métodos nos resultan de gran utilidad cuando se precisa optimizar los procedimientos, ya que para elaborar un proyecto se necesita de mayor optimización de los materiales, cuidando la calidad y eficiencia del trabajo, obteniendo resultados comparativos en los espesores que se asemejan para ambos métodos al ser diseñados con el 4.69% de CBR, en estado Natural. Así como también al ser diseñados con resultados con la estabilización del TDF, con la adición de cemento con el óptimo del 10%, con un CBR, de 21.57%, espesores que se asemejan para ambos métodos.

Al diseñar el espesor del pavimento y con los resultados obtenidos de ambos, al compararlos, se observa que existe una gran diferencia en el espesor del pavimento al ser estabilizado versus el terreno natural, llegando a resultados satisfactorios en la investigación, con relación a obtener más vida útil del pavimento, mejores propiedades de los suelos al ser estabilizado, mejores condiciones de estabilidad en la plataforma, menor espesor en el afirmado, menor costo.

5.4. Contrastación de hipótesis

El presente trabajo se propuso la siguiente hipótesis de investigación:

La aplicación de suelo-cemento con la elección de un adecuado material de cantera, origina una óptima estabilización del terreno de fundación y capa de afirmado en el mejoramiento de la carretera vecinal Juan Guerra-Bello Horizonte, distrito de Juan Guerra, provincia de San Martin, región San Martin.

Realizados los estudios experimentales de laboratorio, siguiendo el diseño de estudio, se tiene los siguientes resultados:

Tabla 18.
Comparación de datos

CBR	**Estado natural**	**Adición de cemento 10%**
CBR PROMEDIO = Valor del CBR subrasante para diseño	4.69	21.57
Espesor según fórmula del Método NAASRA	33.95 cm	11.41 cm
Capa de afirmado	20.00 cm	15.00 cm
Capa de mejoramiento de la sub rasante	17.00 cm	
Estructura recomendada del pavimento	37.00 cm	15.00 cm*
**más la estabilización de la sub rasante*		

Fuente: Elaboración propia

Los resultados evidencian que la variable de estudio terreno de fundación con adición de cemento al 10% con la elección de un adecuado material de cantera, origina una óptima estabilización del terreno de fundación y capa de afirmado, en relación comparativa con el terreno en estado natural, por tanto, se acepta la hipótesis propuesta.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Según el estudio de tráfico efectuado, por ser la Estación 3 progresiva 8+520, la que arroja mayor concentración vehicular, el IMD (Índice Medio Diario) es de 48 veh/día. Para el presente diseño se toma los vehículos: Buses B2, B3-1 y el Camión C2.

De acuerdo a los resultados de las pruebas del valor relativo de soporte (C.B.R) realizados en el material extraído del área de estudio, los valores varían entre **4.69% a 41.08%,** considerándose que la vía cuenta con sub rasantes, según tramos, desde pobres hasta buenas, teniendo que el valor del C.B.R considerado como sub rasante pobre de **4.69%** obtenido, es el de menor resistencia del estudio

Los suelos predominantes en la zona de estudio se comportan como suelos medianamente permeables, donde en épocas de grandes precipitaciones pluviales se producen filtraciones, que relacionado a eventos sísmicos de gran magnitud, pueden presentar procesos de asentamientos diferenciales, por ser finos, plásticos y expansivos.

La vía es de un solo carril de 4.60 m de ancho, tiene una topografía en la mayor parte del tramo semi plana, como también en algunos casos pendientes moderadas o leves.

Para la clasificación del material (suelo) muestreado; se hizo uso del Sistema Unificado de Clasificación SUCS y por la Asociación Amarinada de Funcionarios Estatales de Transportes y Aeropista AASHTO.

Para la realización de la investigación (estabilización del TDF), primero se tuvo que determinar zonas de suelos de mala calidad (críticos), donde los CBR no sean superiores al 10%, además ver la similitud en clasificación del suelo (método AASHTO), según norma técnica, determinando los siguientes porcentajes:

Calicatas - Nº	Km	Clasificación AASHTO	Clasificación SUCS	Rango usual de cemento requerido % del peso de los suelos- según MTC
C-02 – L/D	0+500	A-6(13)	CL	9 - 15
C-06 – L/IZQ.	2+500	A-6(14)	CL	9 - 15
C-09 – L/D	4+000	A-6(15)	CL	9 - 15
C-11 – L/D	5+000	A-7-5(20)	CH	10 - 16
C-15- L/D	7+000	A-7-5(20)	CH	10 - 16

Fuente: Elaboración propia

Al realizar la estabilización del suelo, al mismo tiempo los ensayos según norma, se realizó la comparación de ambos estudios del TDF, en estado natural y estabilizado, obteniendo mejores resultados con la adición del cemento Los valores del CBR se incrementan y presentan mejores propiedades físicas y mecánicas, dichos resultados se presentan a continuación**:**

Valores de los ensayos de CBR en los suelos estudiados- Natural y Estabilizado.

CAL. Nº	**ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR –SATURADO 4 DIAS**				**% Optimo de Cemento**
	Suelo natural		**Suelo estabilizado**		
	C.B.R. AL 100%	**C.B.R. AL 95%**	**C.B.R. AL 100%**	**C.B.R. AL 95%**	
02	13.24	9.36	40.66	32.13	9%
06	9.18	6.12	44.03	33.40	9%
09	9.71	6.38	46.28	33.93	9%
11	6.82	4.84	40.29	31.01	10%
15	6.96	4.69	27.56	21.57	10%

Fuente: Elaboración propia

Al realizar las comparaciones, se deduce la cantidad óptima para todo el tramo, del 10% de cemento para la estabilización del TDF, obteniendo resultados satisfactorios, con la mejora de las propiedades del suelo, límite líquido, limite plástico, índice de plasticidad, CBR 21.57%, Sub rasante muy buena, más duradero, mejores resultados en el espesor de la estructura, más estable.

La combinación de canteras, Cantera Nº 02 - Sector San Fernando carretera Bello Horizonte - San Fernando Km 6+000 - Talud de cerro L/Der. - (Privado) 70% + 30%; Cantera Nº 01 - Sector Las Flores, carretera Bello Horizonte - San Fernando - Las Flores Km 9+970, generó resultados satisfactorios cumpliendo las especificaciones técnicas para capa de afirmado, (Clase T1) en estado natural, NTP, EG- CBT 2008. Dichas canteras son las más cercanas al proyecto, pueden ser explotados en cualquier tiempo del año, existen vías de transporte y el acarreo es accesible, con menor costo y mayor volumen.

Se realizaron adiciones de cemento para estabilizar al material de Cantera Nº 02 - Sector San Fernando carretera Bello Horizonte - San Fernando Km 6+000 - Talud de cerro L/Der. - (Privado) 70% + 30% Cantera Nº 01 - Sector Las Flores, carretera Bello Horizonte - San Fernando - Las Flores Km 9+970, con adición de cemento del **6.00%** según su clasificación AASHTO, para luego realizar los ensayos según norma técnica, para la capa de afirmado, obteniendo mejores resultados, de las propiedades físicas y mecánicas, mejores resultados en el CBR, mayor estabilidad, suelos impermeables, mayor dureza, mayor tiempo de vida útil de la plataforma y rodadura.

En las canteras opcionales, según los estudios en estado natural de las canteras de los ríos Mayo y Cumbaza; se obtuvo resultados satisfactorios para la cantera del Rio Mayo, cumpliendo con las propiedades físicas y mecánicas según especificaciones técnicas del MTC, pero en la cantera del rio Cumbaza se obtuvieron resultados poco satisfactorios no cumpliendo en los ensayos de límites de consistencia y en el ensayo del degaste a la abrasión, descartándose su uso.

Al realizar la estabilización con cemento del material de la cantera del rio Mayo, según norma técnica del MTC considerando la clasificación AASHTO para la adición en % de cemento portland Pacasmayo tipo I, con los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas, se obtuvieron mejores resultados en los estudios realizados en estado natural sin adición, determinando el 4.00 % de cemento como óptimo, cumpliendo las normas técnicas del MTC.

Con respecto a la cantera del rio Cumbaza, al realizar la estabilización con cemento según norma técnica del MTC considerando la clasificación AASHTO para la adición en % de cemento Pacasmayo tipo I, realizados los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas, no se obtuvieron resultados satisfactorios con la determinación del 4.00 % de cemento como óptimo, no cumpliendo las normas técnicas del MTC, por lo tanto se descarta esta opción.

En el estudio de fuentes de agua, los valores de los ensayos, físicos y químicos de la fuente de la Quebrada Shatuyacu, cumplen con los límites permisibles indicados en la norma, con un PH de 6.60, por lo tanto, la fuente de agua es apta para el uso en la conformación del afirmado.

En el diseño del pavimento, con resultados de la estabilización del TDF, con la adición de cemento con el óptimo del 10%, con un CBR, de 21.57%; se obtienen espesores que se

asemejan para ambos métodos. Al diseñar el espesor del pavimento, comparando los resultados obtenidos de ambos casos, se observa que existe una gran diferencia en el espesor del pavimento al ser estabilizado versus el terreno natural, llegando a obtener resultados satisfactorios en la investigación, con la obtención de más vida útil del pavimento, mejores propiedades de los suelos al ser estabilizado, mejores condiciones de estabilidad en la plataforma, menor espesor en el afirmado y menor costo.

Diseñado el espesor del afirmado, éste cumple con las expectativas propuestas para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito. El espesor del afirmado obtenido sin adición de cemento con un CBR de 4.69%, es de 37.00 cm espesor, y con adición de cemento con un CBR mayor al 20% = 21.57%, 15 cm de espesor.

Recomendaciones

Según los resultados obtenidos de la estabilización del terreno de fundación se recomienda estabilizar toda la plataforma con el 10% de cemento portland Pacasmayo tipo I, tomando en cuenta el resultado obtenido del CBR, (21.57%), así como también el diseño respectivo

Por lo siguientes aspectos:

Por la obtención de mejores resultados en espesor de las estructuras del pavimento

Por ser más duradero en el tiempo de vida útil

Mejor dureza

Mayor estabilidad

Cumple según las especificaciones técnicas

Se recomienda para el proceso constructivo para la estabilización, en terreno de fundación, con adición de cemento 10.00% todo el tramo, teniendo en cuenta el siguiente proceso constructivo:

A continuación, una vez que la plataforma este limpia, nivelada se procederá a escarificar con riper 10cm, para luego colocar el aditivo estabilizador, adición de cemento 10.00% en peso del material, la misma que se realizará in-situ.

Se distribuirá el aditivo y el agua sobre el suelo extendido de la forma más uniforme posible. La mezcla puede realizarse con motoniveladora y se darán las pasadas y vueltas

necesarias hasta conseguir una mezcla intima de los materiales. También es posible realizar estabilizaciones con distribución manual y maquinaria agrícola.

Una vez extendida la mezcla uniformemente se procede a su compactación con contenido óptimo de agua.

Se compacta con rodillos pata de cabra y/o neumáticos, etc.

La compactación será enérgica hasta alcanzar las densidades especificadas, en general no inferiores al 95% del proctor modificado.

A continuación, se procederá al curado para que el producto colocado adquiera sus propiedades definitivas, para luego colocar la capa de afirmado, previo control de calidad, ensayos de densidad de campo grado de compactación del suelo al 95% de la máxima densidad seca del proctor modificado

Se recomienda para la capa de afirmado considerar para el proyecto en mención, un espesor de 15.00 cm, como primera opción las canteras de bancos de cerro natural, Combinación de canteras, Cantera Nº 02 - Sector San Fernando carretera Bello Horizonte - San Fernando Km 6+000 - Talud de cerro L/Der. - (Privado) 70% + 30% Cantera Nº 01 - Sector Las Flores, carretera Bello Horizonte - San Fernando - Las Flores Km 9+970, presenta buenas condiciones, y se ajustan a las especificaciones técnicas EG- CBT 2008:

Por lo siguientes aspectos:

Por ser más económicas en costos

Fácil de obtener en el tiempo y distancia (7.00 kilómetros aprox. al inicio de carretera en estudio).

Procesos constructivos

Cumple según las especificaciones técnicas

Se recomienda zarandear los materiales de las canteras propuestas, por la malla 2” antes de ser mezclado- combinados según diseños propuestos.

Se recomienda que el material propuesto para la capa de afirmado, debe estar bien mezclado, que esté homogéneo y además que los materiales estén con su contenido de humedad óptima para ser compactados.

Se recomienda para el proceso constructivo, de la capa de afirmado en utilizar las canteras propuestas, Cantera Nº 02 - Sector San Fernando carretera Bello Horizonte - San Fernando Km 6+000 - Talud de cerro L/Der. - (Privado) 70% + 30% Cantera Nº 01 - Sector Las Flores, carretera Bello Horizonte - San Fernando - Las Flores Km 9+970, materiales naturales sin adición de cemento, primeramente zarandear en cantera y/o acopio, para luego mezclar según las combinaciones propuestas para ambas cantera del 70% y 30%, seguidamente una vez que la plataforma de sub rasante está estabilizada, en condiciones de recibir la capa de afirmado, previo control de calidad de los aspectos técnicos, topografía, grado de compasión del suelo, se debe colocar en la plataforma según el espesor propuesto (15.00cm), los materiales en volúmenes apropiados para no desperdiciar, luego se debe extender, batir, mezclar uniformizar, que el material se encuentre con su contenido óptimo de humedad para luego compactar dicho material con el rodillo apropiado y el peso según espesor, una vez que la plataforma esté en condiciones estables plana se debe realizar el control de calidad, grado de compactación del suelo al 100% de la máxima densidad seca obtenida en el proctor modificado, para luego dar pase a los vehículos.

El control de calidad en obra, de las pruebas de densidad de campo, serán cada 250 m2, grado de compactación del suelo al 95 % de la máxima densidad seca del proctor modificado de la sub rasante (TDF), y 100% de la máxima densidad seca del proctor modificado para la capa de afirmado.

Se recomienda para el material de cantera en caso de optar por estabilizar, las canteras de cerro propuestos, Cantera Nº 02 - Sector San Fernando carretera Bello Horizonte - San Fernando Km 6+000 - Talud de cerro L/Der. - (Privado) 70% + 30% Cantera Nº 01 - Sector Las Flores, carretera Bello Horizonte - San Fernando - Las Flores Km 9+970,, con la adición de cemento Pacasmayo del 6.00% en peso

Se recomienda para el material de cantera en caso de optar por estabilizar, la cantera del rio Mayo como segunda opción, con la adición de cemento Pacasmayo del 4.00% en peso

Se recomienda para el proceso constructivo para la estabilización, de la capa de afirmado:

El suelo a estabilizar debe ser escarificado y pulverizado con anterioridad a la mezcla, la misma que se realizará in situ.

Se distribuirá el aditivo y el agua sobre el suelo extendido de la forma más uniforme posible. La mezcla puede realizarse con motoniveladora y se darán las pasadas y vueltas necesarias hasta conseguir una mezcla intima de los materiales. También es posible realizar estabilizaciones con distribución manual y maquinaria agrícola.

Una vez extendida la mezcla uniformemente se procede a su compactación a con- tenido óptimo de agua.

Se compacta con rodillos vibratorios, de neumáticos, lisos, etc.

La compactación será enérgica hasta alcanzar las densidades especificadas, en general no inferiores al 95% ó 100% del proctor modificado, para luego dar pase al tránsito vehicular.

Se debe contar con la maquinaria apropiada en canteras para el zarandeo y mezclas de los materiales a ser utilizados, para luego ser transportados a obra.

En obra se debe contar con los siguientes equipos para el proceso constructivo: Motoniveladoras, rodillos lisos, volquetes, cisternas y en caso de utilizar pata de cabra según el tipo de suelos,

En obra se debe contar con equipos de laboratorios, para los controles de calidad, de los materiales y procesos constructivos.

Se recomienda utilizar la cantera fuente de agua quebrada Shatuyacu por los siguientes aspectos Técnicos:

Cumplen con los análisis fiscos químicos según las especificaciones técnicas
Se encuentra dentro del tramo del proyecto en tres zonas apropiadas (kilómetros: 3+860, 5+890 y 7+887).
Se puede utilizar para el mezclado de materiales de préstamo calificado en el proceso constructivo del proyecto, terraplenes rellenos, mejoramiento, afirmado, y para la elaboración del concreto

Se recomienda la capa de afirmado, según diseños obtenidos en el proyecto de investigación, estabilizar toda la plataforma de la carretera con un contenido óptimo de Cemento Portland Tipo I, del 10%, estructura del pavimento capa de afirmado = **15 cm,** mezclas de la cantera

Nº 02 - Sector San Fernando carretera Bello Horizonte - San Fernando Km 6+000 - Talud de cerro L/Der. - (Privado) 70% + 30% Cantera Nº 01 - Sector Las Flores, carretera Bello Horizonte - San Fernando - Las Flores Km 9+970, previa escarificación, inclusión de adición de cemento, estabilización del terreno de fundación y siguiendo el procediendo contractivo propuesto en el acápite (6.2.2).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arévalo, J.A. (2014). *Evaluación técnica y de costos de la utilización de material suelo–cemento con respecto a la utilización de materiales de relleno subbase y base tipo invías* (tesis de pregrado). Universidad Nueva Granada, Bogotá, Colombia.

Braja, D. (1985). *Fundamentos de la Ingeniería Geotécnica (4 ed.).* México D.F.: International Thomson Editores.

Covarrubias, C. y Bojorquez, E.E. (2011). *Aplicación del método de estabilización con cemento de la asociación de cemento portland (P.C.A.) a un suelo granular del fraccionamiento del puente real CD Obregón Sonora* (tesis de pregrado). Instituto tecnológico de Sonora, Obregón, México.

Crespo, C. (1979). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones. (1 ed.).* México D.F.: Editorial Limusa.

De la Fuente, E. (2013). *Suelo-cemento: sus usos, propiedades y aplicaciones*. México D.F.: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.

De la Rossa, N.P. (2013). *Análisis de la fatiga de bases estabilizadas con suelo cemento en rutas de bajo tránsito* (tesis de pregrado). Universidad Austral Valdivia, Chile.

Diez, M. y Navarro, J. (2008). *Estudio Geotécnico con Fines de Cimentación y Pavimentación en Zonas de Expansión Urbana en Lurín* (tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú. 2008.

Fernández, R. (2011). *Elementos de la teoría del tráfico vehicular"*. Lima: Fondo Editorial PUCP.

Guerrero, L. E. y Miranda, H. (2012). *Correlación del módulo de elasticidad dinámico, resistencia a la compresión y coeficiente de capa en bases de suelo cemento* (tesis de pregrado). Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

Instituto Nacional de Estadística e Informática – INEI. (2014). *"Comportamiento de la Economía Peruana"*. Lima.

Juárez, E. y Rico, A. (1984). *Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de suelos. (3 ed.). México D.F.:* Editorial Limusa.

Martínez, E. (2010). *Mecánica de Suelos I.* Tarapoto.

Martínez, J. (2012). *Evaluación del mejoramiento de suelos arcillosos empleando materiales cementantes* (tesis de pregrado*)*. Universidad Veracruzana, Xalapa, México.

Medina, P. (2008). *Laboratorio de Geotecnia. Guía.* Universidad de Santiago de Chile, Chile.

Ministerio de transportes y comunicaciones – MTC. (2014-a). *Manual de carreteras. Suelos, geología, geotecnia y pavimentos.* Lima.

Ministerio de transportes y comunicaciones – MTC. (2014-b). *Manual de carreteras. Suelos, geología, geotecnia y pavimento.* Lima.

Ministerio de transportes y comunicaciones – MTC. (2008-a). *Manual de especificaciones técnicas generales para la construcción de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito*. Lima.

Ministerio de transportes y comunicaciones – MTC. (2008-b). *Manual de especificaciones técnicas generales para la construcción de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito*. Lima.

Ministerio de transportes y comunicaciones – MTC. (2008-c). *Manual de Carreteras: Diseño Geométrico*. Lima.

Ministerio de transportes y comunicaciones – MTC. (2006). *Manual técnico de mantenimiento periódico para la red vial departamental no pavimentada*. Lima.

Ministerio de transportes y comunicaciones – MTC. (2005). *Manual para el diseño de caminos no pavimentados de bajo volumen de tránsito.* Lima.

Ministerio de transportes y comunicaciones – MTC. (2000). *Manual de Ensayo de Materiales".* Lima.

Rocha, C. (2010). *Zonificación de la Capacidad Portante del Distrito de Morales* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú.

ANEXOS