

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Influencia de la metodología RAMCODES en el diseño de pavimentos en

carreteras urbano-rurales bajo un enfoque BIM – Caso de estudio:

Carretera Chivay - Canacota

Tesis presentada por la Bachiller:

Mejia Ccarita, Fiorella Estephany

ORCID: 0009-0009-9772-0744

para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Asesor (a):

Mag. Gamarra Tuco, Rubén Francisco

ORCID: 0000-0003-1748-5887

Arequipa - Perú

2024

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA CIVIL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 16 de Marzo del 2024

Dictamen: 009500-C-EPIC-2024

Visto el borrador del expediente 009500, presentado por:

2017246392 - MEJIA CCARITA FIORELLA ESTEPHANY

Titulado:

**INFLUENCIA DE LA METODOLOGÍA RAMCODES EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN
CARRETERAS URBANO-RURALES BAJO UN ENFOQUE BIM - CASO DE ESTUDIO: CARRETERA
CHIVAY - CANACOTA**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**29676388 - TEJADA CALDERON JUAN CARLOS
DICTAMINADOR**



**41587204 - GARCIA GODOS PEÑALOZA LUZ MATILDE
DICTAMINADOR**



**46309156 - MONTOYA VILLANUEVA FILIBERTO RODY
DICTAMINADOR**



Influencia de la metodología RAMCODES en el diseño de pavimentos en carreteras urbano-rurales bajo un enfoque BIM – Caso de estudio: Carretera Chivay - Canacota

ORIGINALITY REPORT

6%

SIMILARITY INDEX

5%

INTERNET SOURCES

1%

PUBLICATIONS

4%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María Student Paper	2%
2	repositorio.uprit.edu.pe Internet Source	1%
3	repositorio.unjbg.edu.pe Internet Source	1%
4	repositorio.utp.edu.pe Internet Source	1%
5	tesis.ucsm.edu.pe Internet Source	1%
6	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Student Paper	1%
7	documentop.com Internet Source	1%

DEDICATORIA

A mis papás, por ser las personas más importantes en mi vida, por hacerme sentir que nunca me iba a faltar nada y recordarme lo importante que es terminar la tesis, por ser las personas que más le interesa mi progreso y alegrarse por eso, porque verlos me hace seguir adelante, por ser un motor fundamental en mi vida y por muchas cosas más, le dedico mi tesis y todos mis futuros éxitos, porque sin ellos nada sería posible.



AGRADECIMIENTOS

A Diosito por guiarme y siempre estar conmigo, por pedirle en las mañanas que todo me vaya bien y sentir su bendición a diario durante mi proceso.

A mi mamá, por sus consejos persistentes por sacar a delante la tesis, por demostrarme su apoyo en cada momento.

A mi papá, que, a pesar de su silencio, me demostró su apoyo con sus actitudes.

A mis docentes, por brindarme sus conocimientos en cualquier duda que tuve y a todas las personas cercanas que me brindaron su interés y buenas vibras.



RESUMEN

El objetivo del presente estudio es analizar la condición de la vía de acceso al centro poblado de Canacota, Chivay – Arequipa mediante el método del PCI, explicar la causa de falla y realizar el diseño profesional del suelo compactado mediante la metodología RAMCODES para evaluar su influencia en el diseño de pavimento bajo un enfoque BIM.

La investigación se desarrolla en base al diseño del pavimento de la metodología RAMCODES, que lineamientos sigue, la realización de un experimento factorial de 21 especímenes para el procesamiento en el programa Origin Pro 2023 y construcción del mapa de resistencia que al intersectarlo con las curvas de saturación nos brinda el espectro de curvas de diseño de la vía de estudio. Se optimizó el diseño del pavimento ya que se incrementa el CBR en un 26% aumentando a 96.5% el porcentaje de compactación, lo que significa que el espesor de la capa de la base se reduce en 5cm.

Después se realizó un análisis presupuestal y cronológico con ayuda del modelado de la metodología BIM, dando como resultados una reducción en 3% del presupuesto y cronograma base.

PALABRAS CLAVE: RAMCODES, pavimentos, BIM.

ABSTRACT

The objective of this study is to analyze the condition of the access road to the town center of Canacota, Chivay – Arequipa using the PCI method, explain the cause of failure and carry out the professional design of the compacted soil using the RAMCODES methodology to evaluate its influence in pavement design under a BIM approach.

The research is developed based on the pavement design of the methodology

RAMCODES, what guidelines it follows, the realization of a factorial experiment of 21 specimens for processing in the Origin Pro 2023 program and construction of the resistance map that, when intersected with the saturation curves, give us the spectrum of road design curves study. The pavement design was optimized since the CBR is increased by 26%, increasing the compaction percentage to 96.5%, which means that the thickness of the base layer is reduced by 5cm.

Afterwards, a budget and chronological analysis was carried out with the help of BIM methodology modeling, resulting in a 3% reduction in the base budget and schedule.

KEYWORDS: RAMCODES, pavements, BIM.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2. PROBLEMA.....	4
1.2.1. Problema General.....	4
1.2.2. Problemas Específicos	4
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	4
1.3.1. Justificación social.....	4
1.3.2. Justificación económica.....	5
1.3.3. Justificación tecnológica.....	5
1.3.4. Justificación ambiental.....	5
1.4. HIPÓTESIS	6
1.4.1. Hipótesis general.....	6
1.4.2. Hipótesis específicas.....	6
1.5. OBJETIVOS	7
1.5.1. Objetivo principal	7
1.5.2. Objetivo específicos.....	7
1.6. CUADRO DE CONSISTENCIA.....	8
1.7. ALCANCES	9
1.8. LIMITACIONES.....	11
1.9. VIABILIDAD	11
1.10. APORTE.....	11
CAPITULO II.....	12

2.	FUNDAMENTO TEÓRICO.....	13
2.1.	ESTADO DEL ARTE.....	13
2.2.	MARCO LEGAL.....	14
2.3.	MARCO TEÓRICO.....	16
2.3.1.	Método Índice de Condición del pavimento (PCI).....	16
2.3.2.	Diseño de pavimentos en carreteras urbano rurales.....	29
2.3.3.	Estudio de Tránsito.....	32
2.3.4.	Estudio de Mecánica de Suelos para diseño de pavimentos.....	34
2.3.5.	Metodología RAMCODES.....	40
2.3.6.	Metodología BIM.....	45
	CAPITULO III.....	48
3.	METODOLOGIA PROPUESTA.....	49
3.1.	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	49
3.2.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	49
3.3.	VARIABLES.....	49
3.4.	MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	49
3.5.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	51
3.6.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	51
	CAPITULO IV.....	52
4.	ANÁLISIS DE LOS DETERIOROS EXISTENTES DEL PAVIMENTO ...	53
4.1.	DETERMINACIÓN DE LAS UNIDADES DE MUESTREO PARA EVALUACIÓN.....	54
4.2.	INTERVALO DE LAS UNIDADES DE MUESTREO.....	54
4.3.	CALCULO DEL PCI DE LAS UNIDADES DE MUESTREO.....	55
4.4.	CALCULO DEL PCI DE TODA LA SECCIÓN DEL PAVIMENTO.....	66
4.5.	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LOS DAÑOS ENCONTRADOS EN LA VÍA.....	67
	CAPITULO V.....	70
5.	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS.....	71
5.1.	UBICACIÓN Y EXTRACCIÓN DE LAS MUESTRAS.....	71
5.1.1.	Ubicación de la muestra.....	71
5.1.2.	Extracción de la muestra.....	72
5.2.	DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DEL SUELO.....	72

5.3.	REALIZACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO	76
5.3.1.	Para la subrasante.....	76
5.3.2.	Para la base	111
5.4.	REQUERIMIENTOS PARA LA BASE GRANULAR.....	127
5.4.1.	Requerimientos para el Agregado Fino	128
5.4.2.	Requerimientos para el Agregado Grueso	129
5.5.	CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS	130
CAPITULO VI		133
6.	ESTUDIO DE TRANSITO	134
6.1.	CÁLCULO DEL IMDA.....	134
6.2.	CÁLCULO DE LAS TASAS DE CRECIMIENTO	141
6.3.	CALCULO DEL FACTOR CARRIL (Fc) Y EL FACTOR DIRECCIONAL (Fd)	142
6.4.	CALCULO DEL FACTOR DE CRECIMIENTO ACUMULADO (Fca).....	143
6.5.	NÚMERO DE REPETICIONES DE EJES EQUIVALENTES	143
CAPITULO VII.....		148
7.	DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN CARRETERAS.....	149
7.1.	METODOLOGÍA DE DISEÑO	149
7.2.	DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE - METODOLOGÍA AASHTO 93	149
7.3.	DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE (TRADICIONAL).....	154
7.4.	DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE (RAMCODES)	155
7.5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	157
CAPITULO VIII		158
8.	PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN CON BIM.....	159
8.1.	PUNTO DE PARTIDA– 1D.....	159
8.2.	VECTOR 2D.....	160
8.3.	PROCEDIMIENTO DE MODELADO 3D.....	160
8.3.1.	Niveles de información	160
8.3.2.	Modelado de vía en civil 3D	162
8.3.3.	Procesamiento del proyecto en InfraWorks	163
8.4.	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	164
8.4.1.	Metrados	164

8.4.2. Presupuesto	165
8.5. ANÁLISIS CRONOLÓGICO	168
8.5.1. Procesamiento del proyecto en NasvisWorks:.....	168
8.6. COMPARATIVA.....	172
8.7. MAPA DE PROCESOS.....	175
8.8. BENEFICIOS/OPTIMIZACIÓN BAJO EN ENFOQUE BIM.....	175
8.9. RECOMENDACIONES ESTRATÉGICAS	176
CONCLUSIONES.....	178
RECOMENDACIONES.....	180
REFERENCIAS	181
ANEXOS	185
ANEXO A: CÁLCULO DEL PCI PARA CADA UNIDAD DE MUESTREO.....	186
ANEXO B: CBR PARA CADA ESPÉCIMEN DEL EXPERIMENTO FACTORIAL	211
ANEXO C: CONTEO DE VEHÍCULOS PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTO URBANO	254
ANEXO D: DESAGREGADO DE METRADOS PARA LOS ELEMENTOS DE LA VÍA.....	262
ANEXO E: ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARA LA VÍA DE ESTUDIO	265
ANEXO F: CONSTANCIA DE REALIZACIÓN DE ENSAYOS	272

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Situación actual de la vía de acceso a Canacota - Tramo 0+ 414m	3
Figura 2 Ubicación de la carretera de estudio Chivay – Canacota.	10
Figura 3 Agrietamiento piel de cocodrilo	17
Figura 4 Falla por exudación	18
Figura 5 Agrietamiento en bloque.	19
Figura 6 Abultamientos y hundimientos.....	19
Figura 7 Falla por corrugación.	20
Figura 8 Falla por Depresión.	20
Figura 9 Falla por grietas de borde.....	21
Figura 10 Grieta de reflexión de junta de losas de concreto.....	22
Figura 11 Falla de desnivel carril – berma.	22
Figura 12 Grietas longitudinales y transversales.	23
Figura 13 Falla por parcheo.	24
Figura 14 Falla por pulimiento de agregados.	24
Figura 15 Falla por cruce de vía férrea.....	25
Figura 16 Falla por Ahuellamiento.....	26
Figura 17 Falla por desplazamiento.....	27
Figura 18 Falla por grietas parabólicas.....	27
Figura 19 Falla por Hinchamiento.....	28
Figura 20 Falla por desprendimiento de agregados.....	29
Figura 21 Falla por meteorización de agregados.....	29
Figura 22 Estructura de un pavimento flexible.....	30
Figura 23 Componentes del volumen de tránsito futuro.	33
Figura 24 Aparatos para el ensayo de CBR.....	36

Figura 25 Partículas de caras fracturadas	37
Figura 26 Experimento factorial de la metodología RAMCODES	43
Figura 27 Mapa de resistencia Densidad – Humedad – Resist. al corte en 3D.	45
Figura 28 Gráfico del mapa de resistencia en 2D.	45
Figura 29 Formato de PCI para cada unidad de muestreo.	55
Figura 30 Formato para la obtención del máximo valor deducido corregido.	56
Figura 31 Abaco para la obtención del valor deducido total.	56
Figura 32 Resumen de valores de PCI por unidad de muestreo.	61
Figura 33 Distribución del PCI en toda la sección de la vía de estudio.	66
Figura 34 Ubicación de las calicatas del tramo en estudio.	71
Figura 35 Calicata para el estudio de suelos de la carretera de estudio.	72
Figura 36 Curva granulométrica para subrasante calicata 01.	77
Figura 37 Ensayo análisis granulométrico para Subrasante calicata 01.	78
Figura 38 Curva granulométrica para subrasante calicata 02.	79
Figura 39 Curva granulométrica para subrasante calicata 03.	81
Figura 40 Ensayo análisis granulométrico para Subrasante calicata 03.	82
Figura 41 Gráfico Limite Líquido para subrasante calicata 01.	83
Figura 42 Gráfico Limite Líquido para subrasante calicata 02.	84
Figura 43 Gráfico Limite Líquido para subrasante calicata 03.	85
Figura 44 Ensayo determinación del Límite Líquido	86
Figura 45 Ensayo determinación del Límite Plástico.	86
Figura 46 Ensayo Límite Plástico- después del secado en horno.	86
Figura 47 Carta de Plasticidad – Subrasante.	87
Figura 48 Ensayo gravedad específica mediante picnómetro de agua.	88
Figura 49 Ensayo peso específico y absorción de agregados gruesos.	89

Figura 50 Curva de compactación del ensayo Proctor Modificado para CBR.....	91
Figura 51 Ensayo CBR con 4 días de inmersión.	93
Figura 52 Esquema del experimento factorial para CBR.	95
Figura 53 Superficie de respuesta del suelo de la subrasante.	96
Figura 54 Curvas de compactación del experimento factorial CBR.	97
Figura 55 Curvas de resistencia CBR del experimento factorial CBR.....	97
Figura 56 Introducción de datos en la hoja de cálculo.	98
Figura 57 Opciones para la generación aleatoria de la matriz.	99
Figura 58 Recuadro para la generación de la matriz (Random Gridding).....	99
Figura 59 Matriz generada para el mapa de resistencia.....	100
Figura 60 Gráfico de contorno o mapa de resistencia.	100
Figura 61 Gráfico de contorno o mapa de resistencia con intervalos de 10.	101
Figura 62 Generación de curvas de saturación.	102
Figura 63 Introducción de las curvas de saturación en el mapa de resistencia.....	103
Figura 64 Intersección de las curvas de saturación con el mapa de resistencia.....	104
Figura 65 Espectro de curvas de diseño.	105
Figura 66 Curvas de resistencia CBR en función del γ_d para $S_r=86.5\%$	106
Figura 67 Curvas de resistencia CBR en función del %C para $S_r=86.5\%$	107
Figura 68 Curvas de diseño con un grado de saturación al 86.5%.	108
Figura 69 Curvas de resistencia CBR en función del γ_d para $S_r=89\%$	109
Figura 70 Curvas de resistencia CBR en función del %C para $S_r=89\%$	109
Figura 71 Curvas de diseño con un grado de saturación $S_r=89\%$	110
Figura 72 Curva granulométrica para la base.	112
Figura 73 Análisis Granulométrico de agregado grueso para Base.....	113
Figura 74 Análisis Granulométrico de agregado fino para Base.	113

Figura 75 Curva de compactación del ensayo Proctor Modificado para CBR.....	115
Figura 76 Gráfico Limite Líquido para Base.....	116
Figura 77 Ensayo de determinación de Limite Líquido para Base.....	117
Figura 78 Ensayo de determinación de Limite Plástico para Base.....	117
Figura 79 Ensayo equivalente de arena para Base.....	118
Figura 80 Ensayo Sales Solubles para fracción fina de Base.	119
Figura 81 Ensayo durabilidad al sulfato de magnesio del agregado fino.	120
Figura 82 Ensayo partículas con una cara fracturada.	121
Figura 83 Ensayo partículas con dos caras fracturadas.	122
Figura 84 Ensayo Abrasión de los Ángeles para la base.....	123
Figura 85 Ensayo de partículas chatas y alargadas para Base.	124
Figura 86 Ensayo Sales Solubles para fracción gruesa de Base.....	125
Figura 87 Ensayo de partículas chatas y alargadas para Base.	126
Figura 88 Tramo de estudio para el conteo vehicular diario.	134
Figura 89 Gráfica Comparativa entre el IMDS y IMDA.....	139
Figura 90 Espesores del pavimento de la vía- metodología tradicional.	155
Figura 91 Espesores del pavimento de la vía - metodología RAMCODES.	156
Figura 92 Flujo de modelado BIM.	159
Figura 93 Verificación de curvas de nivel de la vía Canacota.....	162
Figura 94 Reconocimiento del proyecto en Civil 3D.	162
Figura 95 Modelado de la vía en Civil 3D.	162
Figura 96 Reconocimiento del proyecto en InfraWorks.....	163
Figura 97 Relación cronológica de la maquinaria por % de compactación.....	170
Figura 98 Programación de la vía en estudio - metodología tradicional.	171
Figura 99 Programación de la vía en estudio - metodología BIM/RAMCODES. ...	171

Figura 100	Comparación % del efecto económico– movimiento de tierras.....	173
Figura 101	Comparación %l del efecto económico– pavimento flexible.....	173
Figura 102	Comparación de los días programados por ambas metodologías.	174
Figura 103	Mapa de procesos de la vía de estudio.	175
Figura 104	Comparación beneficio económico - cronológico.	176
Figura 105	PCI, escala de calificación y colores - UM 01.	188
Figura 106	PCI, escala de calificación y colores - UM 02.	190
Figura 107	PCI, escala de calificación y colores - UM 03.	192
Figura 108	PCI, escala de calificación y colores - UM 04.	194
Figura 109	PCI, escala de calificación y colores – UM 05.....	196
Figura 110	PCI, escala de calificación y colores – UM 06.....	198
Figura 111	PCI, escala de calificación y colores – UM 07.....	200
Figura 112	PCI, escala de calificación y colores – UM 08.....	202
Figura 113	PCI, escala de calificación y colores – UM 09.....	204
Figura 114	PCI, escala de calificación y colores – UM 10.....	206
Figura 115	PCI, escala de calificación y colores – UM 11.....	208
Figura 116	PCI, escala de calificación y colores – UM 12.....	210
Figura 117	Estudio de transito día 1.....	255
Figura 118	Estudio de transito día 2.....	256
Figura 119	Estudio de transito día 3.....	257
Figura 120	Estudio de transito día 4.....	258
Figura 121	Estudio de transito día 5.....	259
Figura 122	Estudio de transito día 6.....	260
Figura 123	Estudio de transito día 7.....	261
Figura 124	Relación económica de la maquinaria por % de compactación.	271

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cuadro de consistencia	8
Tabla 2 Alcances de la investigación.....	9
Tabla 3 Estado del arte.....	13
Tabla 4 Marco legal de la investigación	15
Tabla 5 Rangos de clasificación del PCI	17
Tabla 6 Niveles de severidad para huecos.	25
Tabla 7 Tamices para el ensayo de Análisis Granulométrico.....	34
Tabla 8 Número de esferas según gradación.	38
Tabla 9 Gradación de muestras de ensayos.	38
Tabla 10 Factor característico Fp en relación con la clasificación cualitativa.....	41
Tabla 11 Factor característico Fnp en relación con la clasificación cualitativa.....	41
Tabla 12 Valores sugeridos para niveles de contenido de agua.....	43
Tabla 13 Programa propuesta para la compactación de los 15 especímenes.....	44
Tabla 14 Cuadro de variables e indicadores de la investigación.	49
Tabla 15 Cuadro de objetivos y métodos de estudio	50
Tabla 16 Longitudes de unidades de muestras asfálticas.....	53
Tabla 17 Selección de las unidades de muestreo para la vía de estudio.	58
Tabla 18 Cantidad según el tipo de falla en la vía de estudio.....	59
Tabla 19 Resumen de resultados de PCI por unidad de muestreo.....	60
Tabla 20 Daños encontrados en campo señalados por kilometraje.	62
Tabla 21 Registro fotográfico de los daños encontrados en la vía de estudio.	67
Tabla 22 Perfil Estratigráfico – calicata 1.....	73
Tabla 23 Perfil Estratigráfico – calicata 2.....	74
Tabla 24 Perfil Estratigráfico – calicata 3.....	75

Tabla 25 Ensayos realizados a cada calicata.....	76
Tabla 26 Análisis Granulométrico por tamizado de la subrasante calicata 01.	77
Tabla 27 Análisis Granulométrico por tamizado de la subrasante calicata 02.	79
Tabla 28 Análisis Granulométrico por tamizado de la subrasante calicata 03.	81
Tabla 29 Límites de consistencia para subrasante calicata 01.....	83
Tabla 30 Límites de consistencia para subrasante calicata 02.....	84
Tabla 31 Límites de consistencia para subrasante calicata 03.....	85
Tabla 32 Resultados de gravedad especifica de agregado fino.....	88
Tabla 33 Masas para el ensayo Grav. Esp. de agregado grueso.	89
Tabla 34 Resultados del ensayo gravedad especifica de agregado grueso.	89
Tabla 35 Determinación de la densidad húmeda para Proctor Modif.....	90
Tabla 36 Det. de la humedad y densidad seca para Proctor Modif.....	90
Tabla 37 Determinación de gravedad específica para curva de saturación.	90
Tabla 38 Resultados del ensayo Proctor Modificado para CBR.....	91
Tabla 39 Ensayo CBR a 4 días de inmersión.....	92
Tabla 40 Resultados del ensayo CBR a 4 días de inmersión.....	94
Tabla 41 Resultados del experimento factorial CBR.....	96
Tabla 42 Resultados de intersecciones curva de saturación – mapa de resistencia. .	104
Tabla 43 Resultados de CBR mediante las dos metodologías.....	110
Tabla 44 Análisis Granulométrico por tamizado de la Base.....	111
Tabla 45 Determinación de la densidad húmeda para Proctor Modif.....	114
Tabla 46 Det. de la humedad y densidad seca para Proctor Modif.....	114
Tabla 47 Resultados del ensayo Proctor Modificado para CBR.....	114
Tabla 48 Límites de consistencia para Base.	116
Tabla 49 Ensayo equivalente de arena para Base.	118

Tabla 50 Ensayo Sales Solubles para fracción fina de Base.....	119
Tabla 51 Ensayo durabilidad al sulfato de magnesio del agregado fino.....	120
Tabla 52 Resultados partículas con una cara fracturada para la base.	121
Tabla 53 Resultados partículas con dos caras fracturadas para la base.	122
Tabla 54 Resultados ensayo Abrasión de los Ángeles.....	123
Tabla 55 Resultados partículas chatas y alargadas para base.	124
Tabla 56 Ensayo Sales Solubles para fracción gruesa de Base.....	125
Tabla 57 Ensayo durabilidad al sulfato de magnesio para el agregado grueso.....	126
Tabla 58 Requerimientos granulométricos para base granular.....	127
Tabla 59 Resultados del ensayo granulométrico base granular.	127
Tabla 60 Requerimientos del Agregado Fino para base.	128
Tabla 61 Resultados de ensayos para el agregado fino de la base.....	128
Tabla 62 Requerimientos del Agregado Grueso para base.	129
Tabla 63 Verificación de requerimientos del Agregado Grueso para base.....	129
Tabla 64 Clasificación de suelos por el sistema AASHTO.	130
Tabla 65 Clasificación de suelos por el sistema SUCS.	131
Tabla 66 Clasificación de suelos AASHTO, SUCS y RAMCODES.	132
Tabla 67 Cálculo del factor diario para el estudio de tránsito.	136
Tabla 68 Factor de Corrección para Vehículos Ligeros (Peaje Patahuasi).....	136
Tabla 69 Factor de Corrección para Vehículos Pesados (Peaje Patahuasi)	136
Tabla 70 Índice Medio Diario Anual Rural. Tramo Chivay – Peaje Patahuasi.....	138
Tabla 71 IMDA del tramo de estudio.	140
Tabla 72 Tasa anual de crecimiento de tránsito.....	141
Tabla 73 IMDA proyectado en un periodo de diseño de 15 años.....	142
Tabla 74 Cálculo del factor carril y factor direccional.	142

Tabla 75 Cálculo de EE para cada tipo de eje para pavimentos flexibles.	144
Tabla 76 Peso máximo por ejes y Factor de Ejes Equivalentes.	144
Tabla 77 Peso máximo por ejes y Factor de Ejes Equivalentes.....	146
Tabla 78 Valores de nivel de confiabilidad (10 a 20 años) según tráfico.	150
Tabla 79 Zr (10 a 20 años) según confiabilidad y tráfico.	150
Tabla 80 Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi) según rango de Tráfico.	151
Tabla 81 Índice de Serviciabilidad Final (Pt) según rango de Tráfico.	152
Tabla 82 Coeficientes Estructurales de las capas del pavimento.	153
Tabla 83 Resultado CBR de la vía de estudio metodología tradicional.....	154
Tabla 84 Calculo del número estructural - metodología tradicional.....	154
Tabla 85 Espesores efectivos del pavimento - metodología tradicional.	155
Tabla 86 Resultado CBR de la vía de estudio metodología RAMCODES.	155
Tabla 87 Calculo del número estructural - metodología RAMCODES.....	156
Tabla 88 Espesores efectivos del pavimento - metodología RAMCODES.....	156
Tabla 89 Evaluación y definición del LOIN.	161
Tabla 90 Partidas para los elementos de la vía de estudio.	164
Tabla 91 Metrado de la vía de estudio, metodología Tradicional.....	165
Tabla 92 Metrado de la vía de estudio, metodología BIM/RAMCODES.	165
Tabla 93 Tabla de Salarios y Beneficios Sociales.	166
Tabla 94 Presupuesto de la vía de estudio, metodología Tradicional.	167
Tabla 95 Presupuesto de la vía de estudio, metodología BIM/RAMCODES.	167
Tabla 96 Partidas para los elementos de la vía de estudio.	168
Tabla 97 Duración estimada para las partidas, metodología tradicional.	169
Tabla 98 Duración estimada para las partidas, metodología BIM/RAMCODES.....	169
Tabla 99 Comparación % del efecto económico de las metodologías propuestas....	172

Tabla 100	Comparación del efecto cronológico de las metodologías propuestas. ...	174
Tabla 101	Determinación de CBR 55g/c muestra n1.	212
Tabla 102	Determinación de CBR 55g/c muestra n2.	214
Tabla 103	Determinación de CBR 55g/c muestra n3.	216
Tabla 104	Determinación de CBR 55g/c muestra n4.	218
Tabla 105	Determinación de CBR 55g/c muestra n5.	220
Tabla 106	Determinación de CBR 55g/c muestra n6.	222
Tabla 107	Determinación de CBR 55g/c muestra n7.	224
Tabla 108	Determinación de CBR 26g/c muestra n8.	226
Tabla 109	Determinación de CBR 26g/c muestra n9.	228
Tabla 110	Determinación de CBR 26g/c muestra n10.	230
Tabla 111	Determinación de CBR 26g/c muestra n11.	232
Tabla 112	Determinación de CBR 26g/c muestra n12.	234
Tabla 113	Determinación de CBR 26g/c muestra n13.	236
Tabla 114	Determinación de CBR 26g/c muestra n14.	238
Tabla 115	Determinación de CBR 12g/c muestra n15.	240
Tabla 116	Determinación de CBR 12g/c muestra n16.	242
Tabla 117	Determinación de CBR 12g/c muestra n17.	244
Tabla 118	Determinación de CBR 12g/c muestra n18.	246
Tabla 119	Determinación de CBR 12g/c muestra n19.	248
Tabla 120	Determinación de CBR 12g/c muestra n20.	250
Tabla 121	Determinación de CBR 12g/c muestra n21.	252
Tabla 122	Metrado detallado, metodología tradicional.	263
Tabla 123	Metrado detallado, metodología BIM/RAMCODES.	264
Tabla 124	Análisis de Precios Unitarios, metodología tradicional.	266

Tabla 125 Análisis de Precios Unitarios, metodología BIM/RAMCODES.268



INTRODUCCIÓN

La condición del pavimento puede repercutir en la seguridad de las personas y en un desgaste del vehículo, es importante implementar estudios con avances tecnológicos como la metodología RAMCODES y BIM para asegurar un correcto diseño del pavimento, es por esto que se tomó el caso de estudio: la vía al centro poblado de Canacota, Chivay para su análisis.

Se plantearon 4 objetivos específicos. El primero se desarrolló en el capítulo IV y se cumplió a través del método del PCI analizando 12 unidades de muestreo, con lo que se concluyó que la condición del pavimento es “Malo” con un PCI igual a 29.2. El segundo se desarrolló en el capítulo V, estudio de mecánica de suelos para la subrasante y la base, se determinaron los CBRs para ambas metodologías y se estableció un % de compactación diferente al criterio tradicional del 95%; el capítulo VI, el estudio del tránsito, donde se verificó el bajo volumen de tránsito y se determinó el ESAL de diseño, y el capítulo VII, el diseño del pavimento flexible en carreteras urbano rural, donde se tuvo en una diferencia de espesores de 5cm para la base. El tercer objetivo se desarrolló mediante la metodología BIM, para el presupuesto se utilizó dos programas, Civil 3D para la revisión del diseño e InfraWorks para el análisis de constructibilidad, y para el cronograma se usó NavisWorks para la planificación con el modelado 4D, con lo que se concluyó una diferencia del 3% tanto para el presupuesto y cronograma base. El cuarto se desarrolló mediante una revisión general de los capítulos de desarrollo, y concluyó en la recomendación de usar las metodologías propuestas en proyectos viales de mayor envergadura, con largos kilometrajes y grandes movimientos de tierra.

Finalmente, a través de los métodos desarrollados, se puede concluir que la investigación cumple con su finalidad y cierra la brecha del conocimiento respecto a la implementación de la metodología RAMCODES en el diseño de pavimentos en carreteras urbano-rurales bajo un enfoque BIM.



1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Formulación del problema

Anualmente, según las cifras de la OMS (2022), en el mundo los accidentes de tránsito ocasionan la muerte de 1,3 millones de personas aproximadamente; además, entre 20 y 50 millones de personas sufren algún traumatismo que en su mayoría provocan alguna discapacidad, siendo además la causa principal de mortalidad entre niños y jóvenes de 5 a 29 años.

El trazado vial puede afectar considerablemente a la seguridad de las personas y la conservación de una carretera. En la actualidad las carreteras presentan diferentes tipos de deficiencias: el diseño geométrico inadecuado como pendientes elevadas o radios mínimos que ocasionan curvas cerradas, el cálculo erróneo en la determinación de los espesores de las capas de pavimento, considerar el tráfico real incorrecto, problemas en el drenaje como alcantarillas dañadas, y ausencia de seguridad vial como la falta de señalización y sistemas de contención. Estas deficiencias ocasionan múltiples problemáticas y conllevan a la sobresaturación de vehículos, congestión, accidentes de tránsito y problemas económicos y de tiempo al conductor. Además, las fallas estructurales en los pavimentos reducen su capacidad de carga y al no tener un adecuado control de pesos se ocasionan fisuras, grietas y deformaciones que podría acabar en un colapso (Bautista, 2021).

Para esta problemática, durante la última década, el Perú ha venido adoptando las medidas necesarias para mejorar la calidad de las infraestructuras viales. Sin embargo, el sector construcción es uno de los que sigue manteniendo el uso de metodologías de trabajo tradicionales (Vicsan, 2021).

Respecto a las alternativas de diseño de pavimento, un aspecto primordial es el estudio de suelos. Particularmente, el CBR es uno de los ensayos más extendidos y aceptados en el

mundo debido al relativo bajo costo de ejecución. Es un ensayo para evaluar la calidad de un material de suelo con base en su resistencia (Geotechtips, 2020).

En su normativa que es la ASTM D1883-21 la selección técnica de las condiciones de hidratación y del número de sobrecarga no es especificada, no se detalla si un suelo tiene más de un valor de CBR con un rango de humedades afectando indirectamente al diseño del pavimento por una mala elección, lo cual podría ocasionar gastos excedentes en el proyecto en la etapa de ejecución.

La carretera de Chivay a Canacota presenta deficiencias en su diseño a pesar de haber sido construida hace 5 años, tiene problemas como baches, deslizamientos en la carretera con desprendimientos, además de grietas y fisuras muy pronunciadas, como se observa en la Figura 1, a pesar de no contar con un alto volumen de tránsito.

Figura 1

Situación actual de la vía de acceso a Canacota - Tramo 0+ 414m .



1.2. Problema

1.2.1. Problema General

¿Cuál es la influencia de la metodología RAMCODES en el diseño del pavimento bajo un enfoque BIM en la carretera de estudio Chivay - Canacota?

1.2.2. Problemas Específicos

- a) ¿Cuál es el análisis de los deterioros existentes en la superficie del pavimento de la carretera de estudio Chivay – Canacota?
- b) ¿En qué medida es efectiva la implementación de los mapas de resistencia de la metodología RAMCODES respecto a la metodología AASHTO en ensayos de CBR para el diseño del pavimento de la infraestructura vial?
- c) ¿Cuál es la diferencia del presupuesto y cronograma utilizando las metodologías BIM y RAMCODES en la fase de diseño de los sistemas de infraestructura vial obtenidos en el rediseño en comparación de una metodología tradicional?
- d) ¿Qué recomendaciones estratégicas se pueden plantear para implementar las metodologías BIM y RAMCODES en carreteras urbano rural?

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación social

El desarrollo de una sociedad es un proceso que a medida que avanza el tiempo busca mejorar los estándares y la calidad de vida. El deterioro de las carreteras puede repercutir a nivel social e involucrar la integridad y seguridad ciudadana, provocando también un desgaste en el vehículo y cortando su vida útil. Por este motivo es importante desarrollar estudios con avances tecnológicos y detallados cuya aplicación incremente el paradigma de una sociedad más segura y desarrollada. Se presenta esta investigación acerca de los mapas de resistencia y el espectro de curvas de diseño como una alternativa de solución y precisión en la determinación de los espesores de un pavimento y el empleo de la metodología BIM para la

generación de información digital utilizando softwares de modelado que ayude a crear un prototipo de infraestructura vial que satisfaga con los parámetros y normativas respectivas y diseños más óptimos para una sociedad más satisfecha.

1.3.2. Justificación económica

Hoy en día los sobrecostos generados en obras viales es un tema de mucha relevancia, diferentes estudios indican que estos se desarrollan en un alto grado por un mal cálculo hallado en la elaboración de los expedientes técnicos, seguido por las modificaciones que se presentan durante su ejecución. Tanto la metodología BIM y el espectro de curvas de diseño de la metodología RAMCODES cuentan con una mayor precisión en el diseño y la reducción en los materiales por cada metro notándose en pavimentos de mayor envergadura una mayor diferencia, siendo el resultado un ahorro considerable en el presupuesto.

1.3.3. Justificación tecnológica

La presente investigación se enfocará en el estudio de la metodología BIM en respuesta a la evolución de la industria de la construcción siendo una de las industrias más descuidadas viéndose normal el desperdicio de los materiales o los retrasos de un proyecto, por la utilización de los mismos métodos y las mismas herramientas de construcción de hace 5, 15 o 20 años. Esta investigación permitirá ofrecer un método de construcción con tecnología más avanzada, profundizándose el modelamiento digital. Además, se propone herramientas de la metodología RAMCODES como aporte a un nuevo enfoque o perspectiva sobre la determinación de los espesores de las capas de un pavimento, contribuir como una alternativa que posibilitaría el incremento de un resultado más eficiente en relación al uso de la manera tradicional.

1.3.4. Justificación ambiental

Vale la pena resaltar que los efectos de la actividad humana suponen una ruptura del equilibrio ambiental, cuando se ejecutan carreteras, puentes o rotondas se impacta al medio ambiente en, por ejemplo, ruidos, vibraciones, movimiento de tierras y emisiones gaseosas

emitidas por las maquinarias, estos efectos pueden ser mitigados al aplicar una metodología de cálculo más precisa, en esta investigación se explora esas metodologías, abordando los mapas de resistencia de la metodología RAMCODES y la metodología BIM que proporcionan una manera de cuidar y gestionar mejor los recursos de las obras además de reducción de tiempos y una mejor planificación, mostrando los cambios constantes a lo largo del ciclo de vida proyecto y adaptándose a las nuevas circunstancias del medio ambiente ecosistema.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Al analizar la influencia de la metodología RAMCODES en el diseño del pavimento de la carretera de acceso Chivay – Canacota mediante ensayos de laboratorio bajo un enfoque BIM existe una mejora física y económica lo cual permitirá la optimización del diseño de pavimento de este tipo de infraestructura.

1.4.2. Hipótesis específicas

- a) Mediante el método del PCI se realizó un análisis de deterioros existentes en el pavimento de la carretera de estudio de Chivay-Canacota y se determinó que presenta una integridad estructural y condición funcional de mala calidad.
- b) Mediante el análisis de resultados que producen los mapas de resistencia de la metodología RAMCODES respecto a la metodología AASHTO en ensayos de CBR se obtendrá el menor espesor de pavimento que obedece las cargas y normativa teniendo una disminución económica del presupuesto base optimizándose este costo para proyectos de mayor envergadura.
- c) A través del uso de los mapas de resistencia y espectros de diseño de la metodología RAMCODES y de los softwares DELPHIN EXPRESS y NAVISWORKS, se obtendrá el presupuesto optimizado y cronograma en

tiempo real del sistema de infraestructura vial en comparación con una metodología tradicional.

- d) A través de las recomendaciones estratégicas planteadas se podrán implementar las metodologías BIM y RAMCODES en carreteras urbano rural de forma efectiva.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo principal

Determinar la influencia de la metodología RAMCODES en el diseño de pavimentos en carreteras urbano rurales bajo un enfoque BIM en el caso de estudio: Carretera Chivay – Canacota.

1.5.2. Objetivo específicos

- a) Determinar un análisis de los deterioros existentes en la superficie del pavimento de la carretera de estudio Chivay – Canacota.
- b) Determinar la viabilidad para implementar los mapas de resistencia de la metodología RAMCODES en ensayos de CBR para el diseño del pavimento del sistema de infraestructura vial y comparar los espesores respecto a una metodología tradicional.
- c) Comparar el presupuesto de la carretera bajo el enfoque BIM incluyendo los mapas de resistencia de RAMCODES en comparación con una metodología tradicional.
- d) Plantear recomendaciones estratégicas para la implementación adecuada de las metodologías BIM y RAMCODES en carreteras urbano rural.

1.6. Cuadro de consistencia

La Tabla 1 presenta el cuadro de consistencia de la investigación donde se observa en forma panorámica los elementos básicos del proyecto de investigación.

Tabla 1

Cuadro de consistencia

Problema general:	Objetivo general:	Hipótesis general:
¿Cuál es la influencia de la metodología RAMCODES en el diseño del pavimento bajo un enfoque BIM en la carretera de estudio Chivay - Canacota?	Determinar la influencia de la metodología RAMCODES en el diseño de pavimentos en carreteras urbano rurales bajo un enfoque BIM en el caso de estudio: Carretera Chivay – Canacota.	Al analizar la influencia de la metodología RAMCODES en el diseño del pavimento de la carretera de acceso Chivay – Canacota mediante ensayos de laboratorio bajo un enfoque BIM existe una mejora física y económica lo cual permitirá la optimización del diseño de pavimento de este tipo de infraestructura.
Problemas específicos:	Objetivos específicos:	Hipótesis específicas:
¿Cuál es el análisis de los deterioros existentes en la superficie del pavimento de la carretera de estudio Chivay – Canacota?	Determinar un análisis de los deterioros existentes en la superficie del pavimento de la carretera de estudio Chivay – Canacota	Mediante el método del PCI se realizó un análisis de deterioros existentes en el pavimento de la carretera de estudio de Chivay-Canacota y se determinó que presenta una integridad estructural y condición funcional de mala calidad.
¿En qué medida es efectiva la implementación de los mapas de resistencia de la metodología RAMCODES respecto a la metodología AASTHO en ensayos de CBR para el diseño del pavimento de la infraestructura vial?	Determinar la viabilidad para implementar los mapas de resistencia de la metodología RAMCODES en ensayos de CBR para el diseño del pavimento del sistema de infraestructura vial y comparar los espesores respecto a una metodología tradicional.	Mediante el análisis de los resultados que producen los mapas de resistencia de la metodología RAMCODES respecto a la metodología AASTHO en ensayos de CBR se obtendrá el menor espesor de pavimento que obedece las cargas y normativa teniendo una disminución económica del presupuesto base optimizándose este costo para proyectos de mayor envergadura.
¿Cuál es la diferencia del presupuesto y cronograma utilizando las metodologías BIM y RAMCODES en la fase de diseño de los sistemas de infraestructura vial en comparación de una metodología tradicional?	Comparar el presupuesto de la carretera bajo el enfoque BIM y los mapas de resistencia de RAMCODES, así como su respectivo cronograma de obra en comparación con una metodología tradicional.	A través del uso de los mapas de resistencia y espectros de diseño de la metodología RAMCODES y de los softwares DELPHIN EXPRESS y NAVISWORKS, se obtendrá el presupuesto optimizado y cronograma en tiempo real del sistema de infraestructura vial en comparación con una metodología tradicional.

<p>¿Qué recomendaciones estratégicas se pueden plantear para implementar las metodologías BIM y RAMCODES en carreteras urbano rural?</p>	<p>Plantear recomendaciones estratégicas para la implementación adecuada de las metodologías BIM y RAMCODES en carreteras urbano rural.</p>	<p>A través de las recomendaciones estratégicas planteadas se podrán implementar las metodologías BIM y RAMCODES en carreteras urbano rural de forma efectiva.</p>
--	---	--

1.7. Alcances

El alcance del presente trabajo de investigación es la evaluación de la influencia de la metodología RAMCODES, sus retos y oportunidades en el diseño de pavimento de una carretera. Para realizar el diseño de la carretera bajo el enfoque BIM se utilizarán los programas CIVIL 3D, INFRAWORKS y NAVISWORK.

Para el empleo de herramientas de la metodología RAMCODES, el CBR tradicional de la metodología AASHTO está dirigido a un rango suelos, sin embargo, al usar la segunda variante del CBR y por ende los mapas de resistencia de RAMCODES su uso sería para cualquier tipo de suelo.

La Tabla 2 presenta el alcance de la investigación y que metodología se utilizara en función de las etapas del diseño de la infraestructura vial de estudio.

Tabla 2

Alcances de la investigación

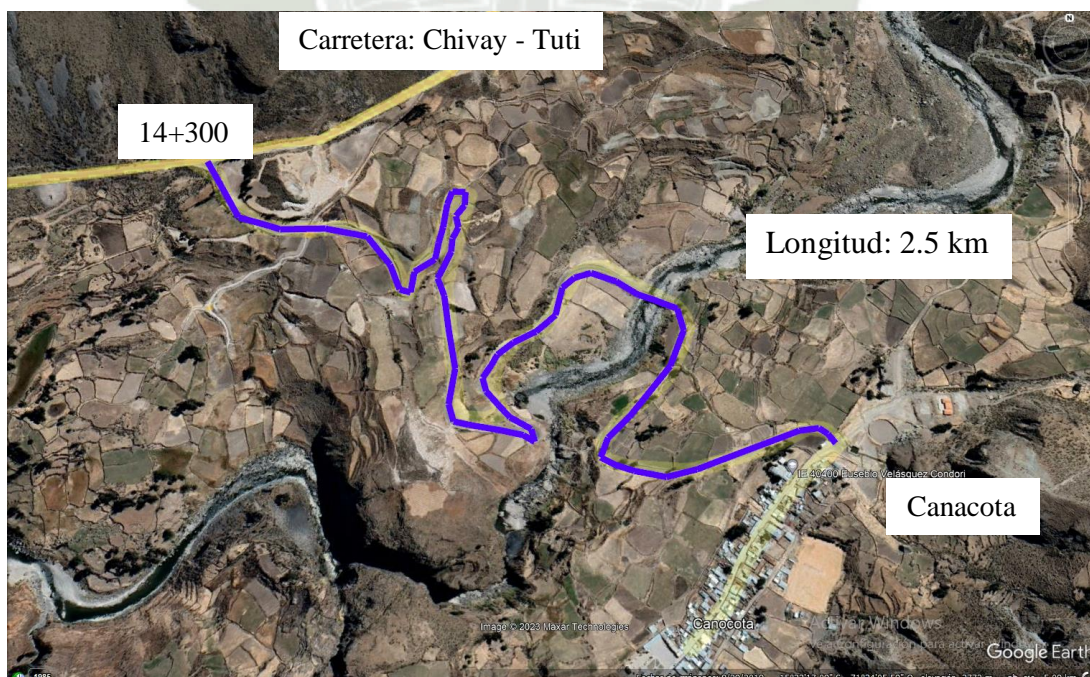
ID	Etapas del diseño de la vía	Optimización por BIM	Optimización por RAMCODES
1	Estudio de mecánica de suelos		X
1.1	Ensayo de CBR		X
2	Diseño de pavimento		X
2.1	Determinación de espesores		X
3.	Presupuesto	X	X
4.	Cronograma	X	X

Como se mencionó en la Sección 1.1 Problemática de la Investigación, la vía de estudio tiene las siguientes características:

Es una obra de transitabilidad vehicular que comprende desde el kilómetro 14+300 de la carretera de Chivay a Tuti hasta al centro poblado de Canacota en el distrito de Chivay, provincia de Caylloma Arequipa como se muestra en la Figura 2, la cual tiene un alargamiento de 2.5 km y una elevación de 3747 msnm. Presenta parchados, grietas y fisuras de hasta 12 cm de ancho, además de hundimientos que ponen en riesgo a la población del centro de Canacota. Tomando de referencia a la norma de Suelos geología, geotecnia y pavimentos (MTC, 2014) se considera la carretera de estudio como una carretera de bajo volumen de tránsito con un IMDA < 200 veh./día de una calzada donde le corresponde 1 calicata x km según la sección 4.2 y 1 ensayo de CBR cada 3 km según la sección 4.2.1 del manual. Entonces, para el tramo en estudio se procederá a realizar tres calicatas a la carretera de estudio.

Figura 2

Ubicación de la carretera de estudio Chivay – Canacota.



Nota. Vista panorámica de la vía de acceso al centro poblado Canacota, por Google Earth s.f.

1.8. Limitaciones

El empleo de la metodología BIM cuenta con algunas limitantes para su práctica como una alta inversión económica en contraste con una metodología tradicional, ya que se requiere el empleo de una nube de datos y diversos programas los cuales cuentan con costosas licencias, además profesionales no debidamente capacitados en BIM y la insuficiencia de coordinación y cooperación desarrollan inconvenientes al momento de usar esta metodología. Para la carretera en estudio una limitante para la investigación es el estudio hidrológico.

Por otro lado, las herramientas de la metodología RAMCODES no cuentan con mucha información en el país por eso mismo su práctica es muy escasa, a pesar de tener grandes beneficios como potencializar la resistencia del suelo y una vez perfeccionada la construcción de los mapas conduce a minimizar los ensayos directos de resistencia al corte, se necesita una mayor cantidad de muestras del método tradicional del CBR y además de un software graficador como Origin8.1 o OriginPro.

1.9. Viabilidad

Resulta viable la propuesta de diseño integral para sistemas de infraestructura vial ya que se tomó en cuenta medidas para su realización, se tuvo una correcta recolección de información y datos, se determinaron procedimientos para el desarrollo del diseño de pavimentos que cuentan con financiamiento cubierto por el tesista.

1.10. Aporte

Desarrollar un estudio de los daños de deterioros existentes en el pavimento de la carretera de estudio, además de replantear un rediseño optimizado del pavimento mediante la metodología RAMCODES y responder en qué medida es útil respecto con una metodología tradicional.



CAPITULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Estado del arte

Actualmente se ha dado énfasis en el crecimiento de las obras de infraestructura vial ya que se ha observado el deterioro prematuro de pavimentos, es por eso que se están implementado nuevas metodologías para evitar causales de fallas. La tabla 3 muestra investigaciones y estudios relacionados a la investigación, detalla el autor, el objetivo de la investigación y que métodos se emplearon para determinar dichos objetivos.

Tabla 3

Estado del arte.

ID	Autor	Objeto de estudio	Métodos
1	Inga, J. y Gutiérrez, W. (2022)	Implementar las curvas de diseño de RAMCODES de suelos insaturados subrasante en el diseño de pavimento.	Estimación de la variación de la saturación de la subrasante, realización del experimento factorial, mapas de resistencia, espectro de curvas de diseño, CBR optimo según el mes, diseño del pavimento flexible mediante la metodología AASHTO.
2	Huacallo, F. (2022)	Realizar un estudio comparativo entre la metodología convencional y la metodología BIM 4D, en la optimización del tiempo programado para la ejecución de una obra de vial en etapa de diseño.	Obtener el expediente técnico del proyecto, modelado en dimensión 3D con NAVISWORK, comparación de resultados.
3	Rodríguez, A. (2021)	Realizar el diseño integral para el mejoramiento a nivel de afirmado de una vía vecinal.	Estudio de tránsito, diseño del afirmado, estudio topográfico, diseño geométrico, estudio de mecánica de suelos, estabilidad de taludes, estudio hidrológico y obras de arte, diseño hidráulico, presupuesto y programación de obra.
4	Espinoza, D. (2019)	Determinar la relación existente entre la variación de sobrecargas equivalentes a un espesor real de pavimento basado en el ensayo de CBR, diseñando espesores con sobrecarga estándar vs. sobrecarga real aplicados a pavimentos urbanos, rurales y aeropuertos.	Ensayos de campo, estudio de tráfico, ensayo de CBR, diseño de pavimento flexible y aeroportuario, presupuesto y programación de obras.

5	Oyola, R. y Oyola, R. (2018)	Realizar una evaluación geotécnica forense al suelo compactado, explicar la causa de la falla del tramo de la base de un pavimento de concreto compactado con equipo liviano.	Realizar los mapas de resistencia de dos tramos de la carretera, uno compactado por equipo liviano y otro por equipo pesado. Realizar el espectro de curvas de diseño, análisis de resultados. Verificar que el suelo no cumple con las condiciones mínimas de CBR.
6	Tacza, E.; Rodríguez, B. (2018)	Evaluación de fallas del pavimento flexible del corredor Javier Prado mediante el método del PCI y alternativas para su mejoramiento.	Mostrar la realidad problemática, determinar el tipo, cantidad y severidad de las fallas, evaluación del PCI del tramo de estudio en función del PCI de cada unidad de muestra y presentar una matriz consolidada de alternativas de intervención.
7	Luque, A. y Ccolque, C. (2016)	Comparar el método del AASHTO y la metodología RAMCODES, en suelos para el mejoramiento de subrasante únicamente con material adicionado con suelos de la zona de préstamo.	Muestreo de suelos, ensayos de laboratorio, análisis de saturación en suelo (nivel freático), experimentos factoriales, mapas de resistencia y curvas de diseño.
8	Feo, L. y Alvarado, L. (2012)	Se propone el uso de “mapas de resistencia”, siendo esta una representación tridimensional de los parámetros involucrados en la compleja interacción densidad-humedad-resistencia al corte	Datos reales de un experimento factorial, datos reales de un terraplén de prueba, análisis de resultados.
9	Rodríguez, E. (2009)	Aplicación del método del PCI para la evaluación de la Av. Luis Montero (pavimento flexible).	Descripción de la metodología y tipos de falla en un pavimento flexible, además del procedimiento para el cálculo del PCI de la vía de estudio.

Al revisar la documentación se identificó el estado actual de las condiciones de los sistemas de infraestructura vial y de qué manera la implementación de las metodologías BIM y RAMCODES brindan soluciones a problemáticas encontradas en la actualidad y optimizan los procedimientos y cálculos para proyectos más precisos en la etapa del diseño y planificación.

2.2. Marco legal

La Tabla 4 muestra las normas que contienen las disposiciones y bases que se utilizaran en esta investigación, que a su vez proporcionan los procedimientos y métodos para realizar de

manera correcta el diseño de pavimentos flexibles para carreteras rurales bajo un enfoque BIM y RAMCODES.

Tabla 4

Marco legal de la investigación

Marco Legal	Objeto de Uso
Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013) aprobado por RD N°22-2013-MTC/14	Estable las condiciones, requisitos y procedimientos para los trabajos preliminares y requerimientos que deben cumplir las capas del pavimento; además proporciona pautas para el diseño del pavimento.
Ensayo de Materiales aprobado por RD N°18-2016-MTC/14	Establece los procedimientos que se deben hacer para los diferentes ensayos de materiales correspondientes para el estudio de suelos, además de los equipos, cálculos e informes a entregar.
Manual de carreteras suelos geología, geotecnia y pavimentos aprobado sección suelos y pavimentos R.D N° 10-2014 – MTC/14	Establece criterios técnicos y pautas para un buen diseño de las capas superiores de la subrasante y la superficie de rodadura de los distintos tipos de carreteras para un mejor desempeño técnico y un mayor beneficio económico.
“Glosario de Partidas” aplicables a obras de rehabilitación, mejoramiento y construcción de carreteras y puentes aprobado por RD N°17-2012-MTC/14	Establece un modelo del orden y uso de las partidas en los presupuestos y también facilitar la elaboración los metrados, costos, cronogramas entre otros en obras de infraestructuras vial.
ASTM D1882-21 Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils.	Estable un método de prueba de laboratorio para evaluar la resistencia potencial de los materiales de la subrasante, subbase y base para el diseño de pavimentos flexibles.
ASTM D6433-23 Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys.	Estable parámetros y procedimientos para la determinación de la condición del pavimento a través de estudios visuales utilizando el método del índice de condición del pavimento (PCI).

GUIA NACIONAL BIM. Gestión Establece los objetivos y acciones para la de la información para inversiones implementación de la adopción BIM en las fases de desarrolladas con BIM aprobado inversión, de manera progresiva, además de por el Decreto Supremo N°237-2019-EF garantizar una mejor calidad y eficiencia de todas las entidades.

Reglamento Nacional de Establece medidas para implementar de forma Vehículos aprobado por Decreto correcta las políticas de transporte y tránsito terrestre, Supremo N° 034-2001-MTC. para el diseño del pavimento flexible.

Con la revisión e implementación de las normas se desarrollará un correcto análisis de los deterioros existentes de la carretera de estudio mediante el método PCI y además la comparación de espesores de las capas del pavimento de estudio mediante la metodología tradicional y BIM – RAMCODES.

2.3. Marco teórico

Se presenta información teórica preliminar y se prolonga como parte del análisis de resultados en los capítulos 4, 5, 6, 7 y 8.

2.3.1. Método Índice de Condición del pavimento (PCI)

Pavement Condition Index (PCI) constituye una metodología completa para la estimación del estado del pavimento, rígido y flexible. Es un método considerado como no destructivo y de fácil desarrollo, además de económico, ya que se basa en identificar las patologías mediante observaciones visuales. Esta metodología clasifica el deterioro del pavimento en base del tipo de daño, su severidad y cantidad. El PCI es un índice numérico que califica los daños del pavimento desde cero (0) para un mal estado o fallado y cien (100) para perfectas condiciones. La Tabla 5 presenta los rangos de calificación correspondiente a la norma ASTM D6433 -23.

Tabla 5

Rangos de clasificación del PCI

Rango	Clasificación
100 – 85	Excelente
85 - 70	Muy bueno
70 – 55	Bueno
55 – 40	Regular
40 – 25	Malo
25 – 10	Muy Malo
10 - 0	Fallado

Nota. De: “Manual de daños”, por Vásquez, 2002.

Esta metodología nos indica que se debe estudiar estas patologías dividiendo la carretera en unidades de muestreo para la inspección y llenar formatos de exploración de condiciones del pavimento para cada uno.

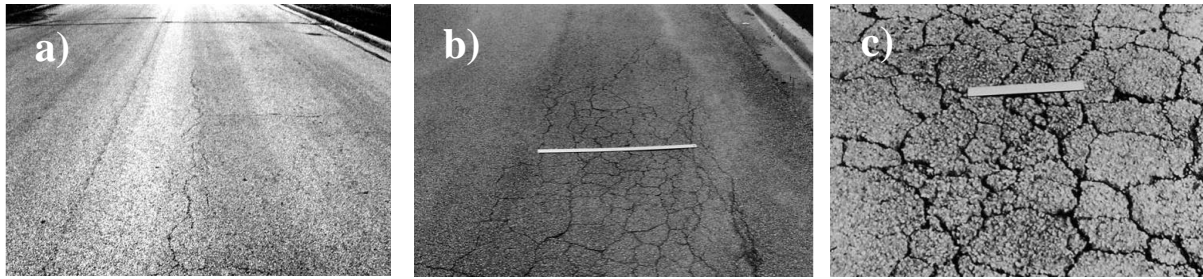
Seguidamente, se explica cada tipo de daño según indicaciones de la norma ASTM D6433-23 y Vásquez (2002):

2.3.1.1. Agrietamiento piel de cocodrilo (fatiga) - Alligator Cracking (Fatigue)

Es una serie de grietas interconectadas a causa de las cargas del tráfico repetitivos, comienza en la parte inferior como la base, donde las tensiones y la deformación por tracción son más altas bajo las cargas de la rueda. Estas grietas se conectan en ángulos agudos formando la piel de un cocodrilo y tienen dimensiones menores a 50cm. Ocurre solo en zonas sujetas a las cargas de tránsito. Su nivel de severidad se basa en el ancho de las grietas y si se encuentran descascaradas, si coexisten dos o tres niveles estos se anotan por separado. Esta falla se determina en pies cuadrados o metros cuadrados del área afectada (Figura 3).

Figura 3

Agrietamiento piel de cocodrilo



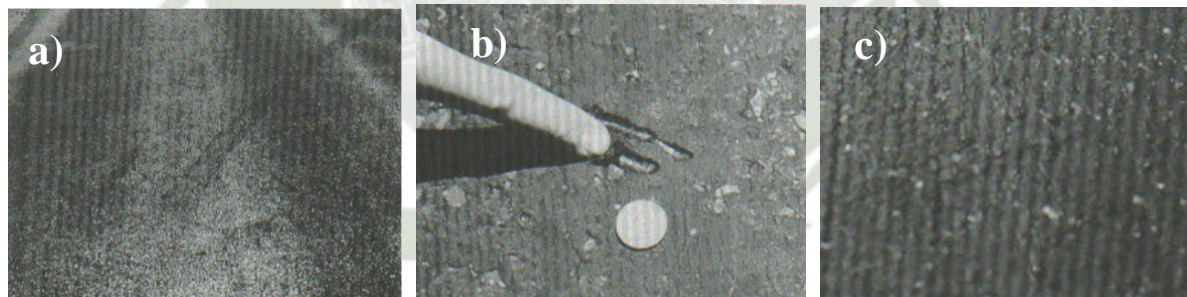
Nota. Se muestra en: a) Severidad baja. b) Severidad media. c) Severidad alta. Tomado de: ASTM - D6433 (2023).

2.3.1.2. Exudación - Bleeding

Se entiende por exudación a una película bituminosa brillante y cristalina en la superficie del pavimento, mayormente pegajosa. Es causada por el exceso de asfalto o un bajo contenido de aire en la mezcla asfáltica. Se cuantifica en pies o metros cuadrados y una opción de reparación es aplicar arena o agregados y cilindrados (Figura 4).

Figura 4

Falla por exudación



Nota. Se muestra en: a) Severidad baja. b) Severidad media. c) Severidad alta. Tomado de: ASTM - D6433 (2023).

2.3.1.3. Agrietamiento en bloque – Block Cracking

Son grietas rectangulares interconectadas que varían en tamaño desde 30cm x30cm a 3m x3m a causa de la contracción del concreto asfáltico y los cambios diarios de temperatura (que ocasionan ciclos de esfuerzo – deformación), se encuentran sobre una gran parte del pavimento y no están sujetos a cargas de tránsito (Figura 5).

Figura 5

Agrietamiento en bloque.



Nota. Se muestra en: a) Severidad baja. b) Severidad media. c) Severidad alta. Tomado de: ASTM D6433 (2023).

2.3.1.4. Abultamientos (Bumps) y hundimientos (Sags)

Se entiende por los abultamientos a desplazamientos inferiores ascendentes en la superficie del pavimento originados por varios factores como:

- a) Expansión por congelación en pavimentos asfálticos.
- b) Infiltración y levantamiento en una grieta por las cargas de tránsito.

Y, por los hundimientos a desplazamientos abruptos y pequeños dirigidos a debajo de la superficie del pavimento. Ambos se miden en pies o metros lineales. Si el abultamiento se presenta junto con una grieta, también se anota. Una opción de reparación es el reciclado en frío (Figura 6).

Figura 6

Abultamientos y hundimientos.



Nota. Se muestra en: a) Severidad baja. b) Severidad media. c) Severidad alta. Tomado de: ASTM D6433 (2023).

2.3.1.5. Corrugación - Corrugation

Se refiere a una serie de montañas y depresiones próximas a intervalos regulares, usualmente a menos de 3.0m. Ocurren perpendiculares a la trayectoria del tránsito y es originado por una carpeta débil junto con la acción del tránsito. Si las cimas de hinchamiento ocurren con una separación menor a 3.00m cualquiera que sea la causa se llama corrugación, se cuantifica en ft² o m² y una opción de reparación es la reconstrucción (Figura 7).

Figura 7

Falla por corrugación.



Nota. Se muestra en: a) Severidad baja. b) Severidad media. c) Severidad alta. Tomado de: ASTM D6433 (2023).

2.3.1.6. Depresión - Depression

Son áreas con hundimientos ligeros en la superficie del pavimento, son bastante visibles cuando se almacena agua posterior a la lluvia y algunas veces producen manchas. Son causadas por el asentamiento de la subrasante y/o una mala construcción. Los hundimientos en comparación de las depresiones son caídas bruscas. Esta falla se cuantifica en ft o m cuadrados y su nivel de severidad se determina en función de su profundidad (Figura 8).

Figura 8

Falla por Depresión.



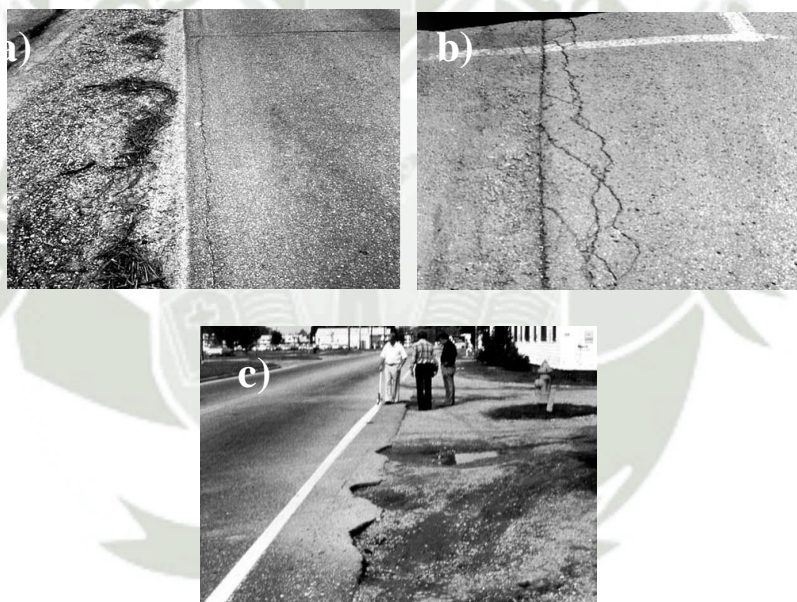
Nota. Se muestra en: a) Severidad baja. b) Severidad media. c) Severidad alta. Tomado de: ASTM D6433 (2023).

2.3.1.7. Grietas de borde – Edge cracking:

Son grietas paralelas a la trayectoria del tránsito y están usualmente dentro de los 30 a 50 cm del borde exterior del pavimento. Ocurre por la debilitación de las capas de base o subrasante en el borde del pavimento por las heladas o cambios climáticos, a mayor carga de tránsito aparecen estas fallas con mayor brevedad llegando a remover pedazos (Figura 9).

Figura 9

Falla por grietas de borde.



Nota. Se muestra en: a) Severidad baja. b) Severidad media. c) Severidad alta. Tomado de: ASTM D6433 (2023).

2.3.1.8. Grieta de reflexión de junta (de losas de concreto portland) – Joint Reflection Cracking:

Esta falla ocurre únicamente cuando la carpeta asfáltica está construida sobre una losa de concreto Portland. Estas grietas son originadas en su mayoría por los cambios de temperatura o por la humedad de la losa de concreto debajo de la carpeta asfáltica, no está relacionada con la carga, sin embargo, la carga de tránsito puede ocasionar ruptura de la carpeta

asfáltica cerca de las grietas. Su nivel de severidad se determina en los anchos de las fisuras y se mide en metros o pies lineales (Figura 10).

Figura 10

Grieta de reflexión de junta de losas de concreto.



Nota. Se muestra en: a) Severidad baja. b) Severidad media. c) Severidad alta. Tomado de: ASTM D6433 (2023).

2.3.1.9. Desnivel carril / berma – Lane / Shoulder drop off

Esta falla indica una variación de elevaciones entre la berma y el borde del pavimento, es originado por el asentamiento de la berma, su erosión o la colocación de las carpetas sin igualar al nivel de la berma. Su severidad se determina por la diferencia de niveles y se cuantifica en metros o pies lineales (Figura 11).

Figura 11

Falla de desnivel carril – berma.



Nota. Se muestra en: a) Severidad baja. b) Severidad media. c) Severidad alta. Tomado de: ASTM D6433 (2023).

2.3.1.10. Grietas longitudinales y transversales – Longitudinal and Transverse Cracking

Las grietas longitudinales son paralelas a la línea central de la dirección del eje central del pavimento, mientras que las grietas transversales se proyectan en aproximadamente ángulo recto al eje del pavimento, como se ve en la Figura 12. Esta falla se ocasiona por: una junta de carril mal construida, contracción de la carpeta asfáltica por las bajas temperaturas, endurecimiento del asfalto o los cambios de temperatura diarios; o una grieta reflejada por las grietas de la base. Mayormente esta falla no está asociada a las cargas repetitivas del tránsito, su nivel de severidad se determina en el ancho de las grietas rellena o no y se cuantifica en pies lineales (ft) o metros lineales (m).

Figura 12

Grietas longitudinales y transversales.



Nota. Se muestra en: a) Severidad baja. b) Severidad media. c) Severidad alta. Tomado de: ASTM D6433 (2023).

2.3.1.11. Parcheo – Patching and utility cut patching

Se entiende por parcheo a un área de pavimento el cual ha sido sustituido por material nuevo para restaurar el pavimento existente fallado. Se estima una falla pese a que después proporcione un correcto funcionamiento, además de presentar usualmente una textura áspera. Su severidad se determina en las condiciones en las que se encuentra el parche y se cuantifica en pies o metros cuadrados del área de la superficie (Figura 13).

Figura 13

Falla por parcheo.



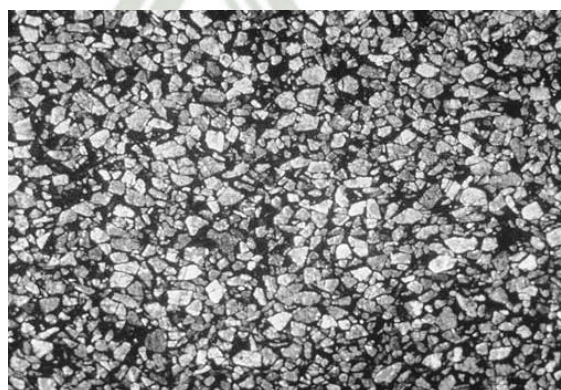
Nota. Se muestra en: a) Severidad baja. b) Severidad media. c) Severidad alta. Tomado de: ASTM D6433 (2023).

2.3.1.12. Pulimiento de agregados – Polished Aggregate

Esta falla se refiere a que el agregado presente en la superficie del pavimento es escaso o que no hay presencia de agregado áspero o angular que proporcionen resistencia al deslizamiento lo cual provoca una textura suave al tacto que reduce la adherencia con las llantas del vehículo, esto causado por las cargas repetitivas del tránsito. Se determina en pies (ft²) o metros cuadrados (m²) del área afectada (Figura 14).

Figura 14

Falla por pulimiento de agregados.



Nota. Tomado de: ASTM D6433 (2023).

2.3.1.13. Baches o Huecos – Potholes:

Son pequeñas depresiones con diámetros inferiores a 90cm y con forma de plato en la superficie del pavimento, ocurrido porque el tráfico extrae pequeños pedazos de la superficie del pavimento por una pobre mezcla asfáltica cuando se tiene la falla de piel de cocodrilo severa. Los niveles de severidad baja (L), media (M) y alta (H) son de acuerdo al tamaño y profundidad de los huecos como se muestra a continuación en la Tabla 6. Su opción de reparación es el parcheo.

Tabla 6

Niveles de severidad para huecos.

Profundidad máx. del bache	Diámetro promedio (mm)(pulg.)		
	De 100 a 200 mm.	De 200 a 450 mm.	De 450 a 750 mm.
	(4 a 8 pulg.)	(8 a 18 pulg.)	(18 a 30 pulg.)
De 13mm a 25 mm	L	L	M
De 25mm a 50mm	L	M	H
Mayor a 50mm	M	M	H

Nota. Adaptado de ASTM D6433 (2023).

2.3.1.14. Cruce de vía férrea – Railroad crossing

Esta falla se refiere a los hundimientos o abultamientos entre o alrededor de los rieles. Su severidad se determina en la calidad del tránsito y se cuantifica en pies cuadrados (ft²) o metros cuadrados (m²) del área afectada (Figura 15).

Figura 15

Falla por cruce de vía férrea.



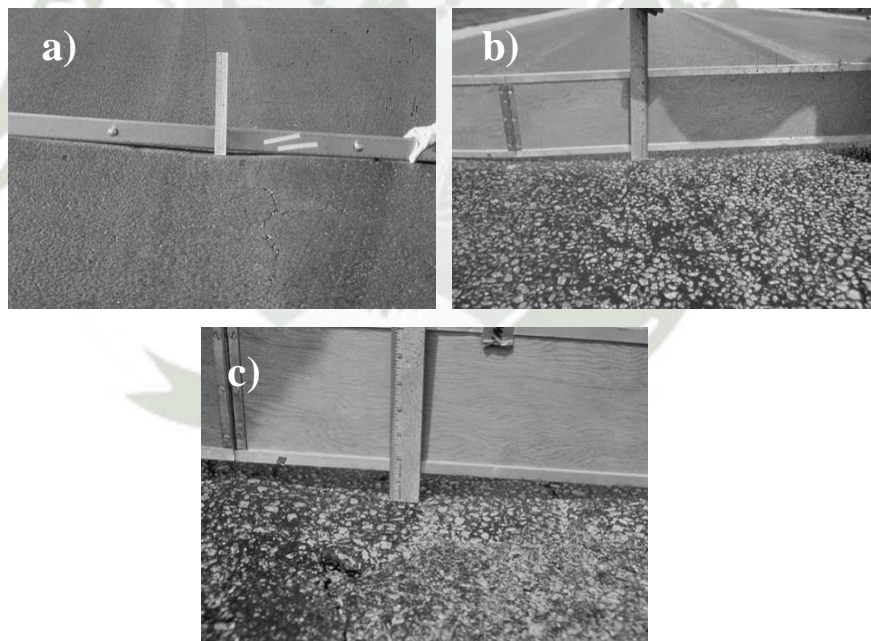
Nota. Se muestra en: a) Severidad baja. b) Severidad media. c) Severidad alta. Tomado de: ASTM D6433 (2023).

2.3.1.15. Ahuellamiento – Rutting

El ahuellamiento se refiere a una depresión en la superficie del pavimento de la trayectoria (huellas) de las ruedas de los vehículos y puede ocurrir levantamiento a lo largo de sus lados (Figura 16). Es provocada por la deformación permanente de alguna capa del pavimento o subrasante, generalmente por el movimiento de los materiales por las cargas del tránsito. Su nivel de severidad de esta falla se determina por la profundidad del ahuellamiento y se cuantifica en ft² o m² del área de la superficie afectada del pavimento.

Figura 16

Falla por Ahuellamiento.



Nota. Se muestra en: a) Severidad baja. b) Severidad media. c) Severidad alta. Tomado de: ASTM D6433 (2023).

2.3.1.16. Desplazamiento – Shoving

Esta falla se refiere a un corrimiento (como un empujón) longitudinal y permanente de un área ubicada en la superficie del pavimento producido por las cargas del tránsito. Se produce

una onda corta y abrupta en la superficie cuando el tránsito empuja contra el pavimento. Generalmente es causado por mezclas de asfalto líquido inestable y cuando combinan pavimentos de concreto con pavimentos asfálticos. El nivel de severidad de esta falla se determina en la calidad del tránsito y se cuantifica en pies o metros cuadrados del área afectada.

Figura 17

Falla por desplazamiento.



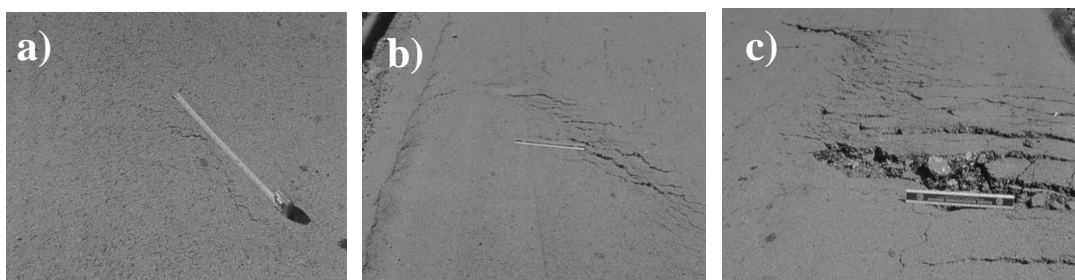
Nota. Se muestra en: a) Severidad baja. b) Severidad media. c) Severidad alta. Tomado de: ASTM D6433 (2023).

2.3.1.17. Grietas parabólicas – Slippage Cracking

Esta falla se refiere a grietas en forma de media luna usualmente transversales a la dirección de desplazamiento. Son ocasionadas cuando las ruedas que frenan o giran hacen que la superficie del pavimento se deforme o deslice. Mayormente esta falla es originada cuando la mezcla asfáltica es de baja resistencia o por una liga pobre entre la superficie y la capa adyacente de la estructura del pavimento. Su nivel de severidad se determina por el ancho promedio de la grieta y el área afectada alrededor. Se cuantifica en ft² o m².

Figura 18

Falla por grietas parabólicas.



Nota. Se muestra en: a) Severidad baja. b) Severidad media. c) Severidad alta. Tomado de: ASTM D6433 (2023).

2.3.1.18. Hinchamiento - Swell

Esta falla se identifica por un abultamiento en la superficie del pavimento, una onda larga y gradual con dimensiones mayores a 3m hasta 10m de largo aproximadamente, puede presentar fisuras alrededor del hinchamiento (Figura 19). Es ocasionado por el congelamiento de la subrasante o por suelos potencialmente expansivos. Su nivel de severidad se basa en la calidad del tránsito y su medida es pies o metros cuadrados del área afectada.

Figura 19

Falla por Hinchamiento.



Nota. Tomado de: D6433 (2023).

2.3.1.19. Meteorización / Desprendimiento de agregados – Raveling / Dense mix asphalt

El desprendimiento se refiere a la pérdida de las partículas de agregado grueso de la superficie del pavimento ocasionado por un aglomerante asfáltico insuficiente, mala calidad de mezcla o compactación y segregación, esto debido por cierto tipo de tránsito como vehículos oruga (Figura 20). La meteorización se refiere al desgaste del ligante asfáltico y a la matriz de

agregado fino. El ablandamiento de la superficie y la pérdida de agregado de aceites también se consideran en esta falla. Se mide en pies o metros cuadrados del área afectada (Figura 21).

Figura 20

Falla por desprendimiento de agregados.



Nota. Tomado de: ASTM D6433 (2023).

Figura 21

Falla por meteorización de agregados.



Nota. Se muestra en: a) Severidad baja. b) Severidad media. c) Severidad alta. Tomado de: ASTM D6433 (2023).

2.3.2. Diseño de pavimentos en carreteras urbano rurales.

Según la norma Suelos, geología, geotecnia y pavimentos (MTC, 2014) un pavimento es una estructura integrada por varias capas horizontales de materiales adecuados y compactados construida sobre la subrasante para resistir y repartir los esfuerzos de las cargas repetitivas del tránsito. Generalmente están formadas por: La capa de rodadura, la base y la subbase como se ve en la Figura 22.

- La subbase: es una capa netamente económica que soporta a la base y a la carpeta. Se emplea como capa de drenaje e impide el paso de materiales de la subrasante a la base, además disminuye las deformaciones de la subrasante por los cambios de temperatura. Esta capa puede ser de material granular ($CBR \geq 40\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento y en función del diseño también puede obviarse.
- La base: es una capa inferior a la capa de rodadura con un espesor de diseño, cuyo principal objetivo es sostener, repartir y transferir los esfuerzos ocasionados por el tránsito a la subbase y a la subrasante en una intensidad menor. Esta capa puede ser de material granular ($CBR \geq 80\%$) o tratada con cemento, asfalto o cal.
- La capa de rodadura: es la parte superior del pavimento que proporciona una superficie uniforme y estable al tránsito, puede ser de material bituminoso (flexible) o de concreto de cemento Portland (rígido) o de adoquines. Debe soportar los efectos del tránsito abrasivo y evitar al interior del pavimento el paso del agua.

Figura 22

Estructura de un pavimento flexible.



Nota. Tomado de: “*Metodologías de reparación para pavimentos flexibles de mediano y bajo tránsito*”, por González (2018).

a) Clasificación de los pavimentos:

Los tipos de pavimentos según el manual Suelos, geología, geotecnia y pavimentos (MTC, 2014) son:

- Pavimentos flexibles: es una estructura conformada por una carpeta bituminosa sostenida sobre capas granulares (subbase y base).
- Pavimentos semirrígidos: es una estructura de pavimento conformado básicamente igual que un pavimento flexible, en donde una de sus capas se halla rigidizada artificialmente con un aditivo como: asfalto, cemento, cal y químicos. Dentro de este tipo de pavimentos se encuentra los pavimentos adoquinados.
- Pavimentos rígidos: es una estructura de pavimento conformada por una losa de concreto hidráulico apoyada sobre otra capa de material diferente como la subbase o base granular, o puede ser tratada con cemento, asfalto o cal.

b) Factores en el diseño del pavimento:

Según el manual Suelos, geología, geotecnia y Pavimentos (MTC, 2014), los factores para considerar en el diseño de pavimento son los siguientes:

El tránsito: es importante para el metrado de las cargas más pesadas por eje (simple, tándem o tridem) de los pavimentos que se espera resistir durante su periodo de vida. Para la evaluación de la estructura del pavimento son fundamentales las cargas repetitivas del tránsito y en consecuencia la acumulación de las deformaciones.

La subrasante: Según la calidad de la subrasante se determina en gran parte los espesores de las capas del pavimento. Se debe considerar la respuesta del suelo frente al contenido de agua, que pueden ocasionar modificaciones de volumen, lo cual es dañino para la estructura del pavimento. Para la estimación de la subrasante se usa la capacidad de soporte o resistencia a la deformación bajo las cargas repetitivas del tránsito.

El clima: las lluvias y cambios de temperaturas son factores que más afectan al pavimento. Las lluvias por modificar el nivel freático repercuten en la resistencia, cambios

volumétricos de los suelos. Las variaciones de temperatura en pavimentos flexibles pueden ocasionar esfuerzos que provocan deformaciones e interferir en el servicio de la vía.

Los materiales disponibles: son determinantes para la selección de una estructura de pavimento técnica y económica además de contar con la calidad adecuada. Se consideran los agregados disponibles en canteras y a los materiales básico de mayor costo a: ligante y conglomerantes. El análisis de los precios debe complementarse con una previsión del comportamiento del pavimento, su conservación y evaluación de futuros refuerzos, renovaciones y reconstrucciones.

2.3.3. Estudio de Tránsito

De acuerdo a la norma Suelos, geología, geotecnia y Pavimentos (MTC, 2014) , es un factor esencial para el diseño de pavimento correcto que estima la demanda de los volúmenes de tráfico que necesita de capacidad la estructura vial y para este sentido se tiene en interés solo vehículos pesados. El estudio de tránsito debe proporcionar el índice medio diario anual (IMDA) con el que se determinará el número total de repeticiones de ejes equivalentes (W18), que es el daño ocasionado sobre la superficie del pavimento por un eje simple cargado con 8.2 ton. Estos ejes equivalentes representan el factor destructivo de las distintas cargas de cada vehículo pesado sobre la estructura del pavimento, y además para el cálculo del IMDA se utilizará no solamente los volúmenes de tránsito normales, sino también los incrementos para un volumen de tránsito futuro. De acuerdo al libro Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones (Cal y Mayor & Cardenas, 2018) para la determinación del Tránsito Futuro (TF) se tiene la siguiente ecuación y como se ve en la Figura 23.

$$TF = TA + IT$$

Donde:

TA: es el tránsito actual, y para el mejoramiento de una carretera existente se compone de:

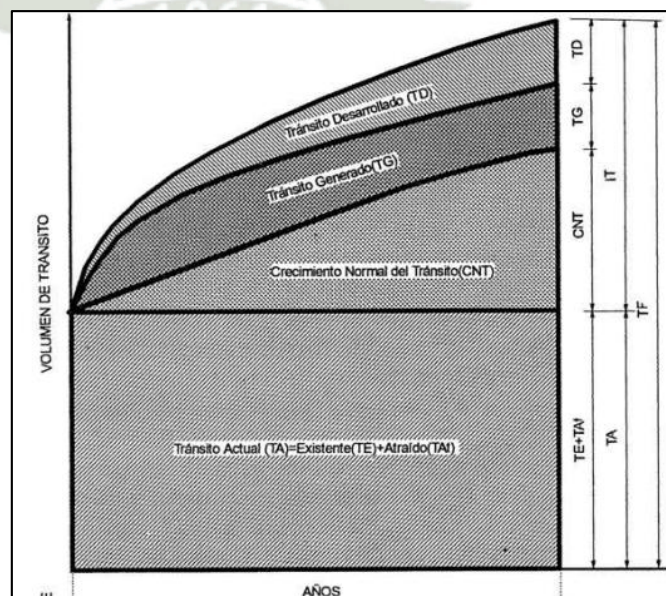
- Transito existente (TE): se refiere al tránsito actual ocurrido hasta el momento antes de la mejora.
- Transito atraído (TAt.): la cantidad de transito atraído por la carretera depende de los volúmenes de las carreteras existente, así como su capacidad.

IT: es el incremento de volumen de tránsito en la carretera en el año futuro seleccionado, se compone de:

- Crecimiento normal del tránsito (CNT): se refiere al incremento de volumen de tránsito por el aumento normal del uso de vehículos.
- Transito generado (TG): se refiere al tránsito generado por la construcción de la nueva carretera. Este tránsito se divide en tres categorías: transito inducido, el transito convertido y el transito trasladado.
- Transito desarrollado (TD): se refiere al incremento del tránsito por las mejoras en el suelo adyacente a la carretera.

Figura 23

Componentes del volumen de tránsito futuro.



Nota. Extraído de: “Ingeniería de Tránsito”, por Cal y Mayor & Cardenas (2018).

2.3.4. Estudio de Mecánica de Suelos para diseño de pavimentos

Es un análisis para reconocer el tipo de suelo del terreno y determinar la presión admisible, el asentamiento y diversos parámetros necesarios para la evaluación estructural, así como el cálculo y diseño de una adecuada cimentación según el Manual de ensayos de materiales (MTC, 2016).

Según requerimientos normativos, para el diseño del pavimento de la carretera en estudio, se deben realizar los siguientes ensayos: análisis granulométrico, determinación de límites de consistencia, gravedad específica del agregado fino, peso específico del agregado grueso, Proctor para CBR, CBR, partículas de caras fracturadas, abrasión de los ángeles, partículas chatas y alargadas, contenido de sales solubles, equivalente de arena y durabilidad al sulfato de magnesio. A continuación, se definen estos ensayos. El desarrollo de los ensayos se detalla en el Capítulo VI. Estudio de Mecánica de Suelos.

a) Ensayo Análisis Granulométrico por tamizado MTC E 107

Se realiza este ensayo para calcular la distribución de tamaños de partículas de la subrasante. La Tabla 7 indica los porcentajes que pasan los distintos tamices hasta el de 74mm (N°200).

Tabla 7

Tamices para el ensayo de Análisis Granulométrico.

Tamices	Abertura (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 ½"	38,100
1"	25,400
¾"	19,000
3/8"	9,500
N°4	4,760
N°10	2,000

N°20	0,840
N°40	0,425
N°60	0,260
N°140	0,106
N°200	0,075

Nota. Extraído de: “Manual de ensayos de materiales”, por MTC, 2016.

b) Determinación del límite líquido MTC E 110

Este ensayo establece el porcentaje de humedad cuando el geomaterial de la subrasante está en el límite entre los estados líquido y plástico, es empleado para clasificar al suelo mediante las metodologías SUCS y AASHTO.

c) Determinación del límite plástico MTC E 111

Se elabora este ensayo para calcular el límite plástico y el índice de plasticidad conociendo el límite líquido del suelo. El límite plástico es el contenido de agua mínimo con el que se puede formar barritas de suelo de 1/8” de diámetro. Es utilizado para clasificar en los sistemas AASHTO y SUCS del suelo de la subrasante.

d) Gravedad específica de los suelos MTC E 113

Este ensayo determina la gravedad específica del suelo pasante por el tamiz n° 4,75mm (N°4) mediante un picnómetro de agua. Es utilizado para el cálculo de relaciones de fase del suelo como grado de saturación y relación de vacíos, además de calcular la densidad de los sólidos del suelo de la subrasante, mediante la multiplicación de la gravedad específica hallada por la densidad del agua (a una temperatura óptima). La norma menciona la siguiente ecuación para hallar la gravedad específica de dos fracciones diferentes, donde G1 y G2, son las gravedades específicas de cada fracción y R y P, los porcentajes retenidos.

$$G_{av@20^{\circ}C} = \frac{1}{\frac{R}{100 \cdot G1} + \frac{P}{100 \cdot G2}}$$

e) Relación humedad – densidad compactada Proctor Modif. MTC E 115

Este ensayo da la correlación entre el peso unitario seco y el contenido de agua en una gráfica llamada Curva de Compactación. Establece la metodología para la simulación de compactación del suelo de campo en el laboratorio utilizando una energía modificada de 2700 KN-m/m³) y determinar la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad. Se tiene tres métodos para realizar este ensayo y se utiliza según los siguientes parámetros granulométricos:

Método A: 25% o menos retiene el tamiz No.4

Método B: 25% o menos retiene el tamiz 3/8 in

Método C: 30% o menos retiene el tamiz 3/4 in

f) Corrección de contenido de humedad – densidad seca ASTM D4718

Esta normativa da las pautas para hacer la corrección del contenido de humedad óptimo y densidad seca máxima procedentes de la curva de compactación del ensayo de Proctor a partir de las siguientes ecuaciones:

$$W_T = W_F \cdot P_F + W_C \cdot P_C$$

Donde:

- W_T = Contenido de humedad óptimo corregido (%)
- W_F = Contenido de humedad óptimo – Proctor (%)
- W_C = Contenido de humedad fracción sobre medida (%)
- P_F = % en peso de la fracción sobre medida.
- P_C = % en peso de la fracción de ensayo.

$$\gamma_{DT} = \frac{100 \cdot \gamma_{DF} \cdot G_M \cdot \gamma_\omega}{\gamma_{DF} \cdot P_C + G_M \cdot \gamma_\omega \cdot P_F}$$

Donde:

- Y_{DT} = Peso unitario seco corregido total (fracción fina y sobre medida).
- G_M = Gravedad específica OD (oven dried) de la fracción sobre medida.
- Y_{DF} = Peso unitario seco de la fracción fina – Proctor.
- Y_w = Peso unitario del agua.
- P_F = % en peso de la fracción sobre medida.
- P_C = % en peso de la fracción de ensayo.

Para determinar la densidad del agua la norma ASTM D4718 da la siguiente fórmula dependiendo de la temperatura.

$$\rho_w = 1.00034038 - (7.77 \times 10^{-6}) \cdot T - (4.95 \times 10^{-6}) \cdot T^2$$

Donde:

- P_w = densidad del agua.
- T° = temperatura del agua.

a) Ensayo de CBR- MTC E 132

Este ensayo es para evaluar principalmente la resistencia potencial de materiales cohesivos, la subrasante, subbase y material base, de tamaño máximo de partículas menores a 3/4 pulg, sin embargo, no se encuentra limitado a ello. Este método de ensayo se encarga de determinar el CBR del suelo con un óptimo contenido de agua o un rango de contenidos de agua. El valor del CBR obtenido es un dato integral en el diseño de pavimentos.

Muestra y aparatos:

Según el manual Ensayo de Materiales (MTC, 2016) se utilizan los siguientes aparatos para este ensayo (ver Figura 24):

- Máquina de carga
- Molde

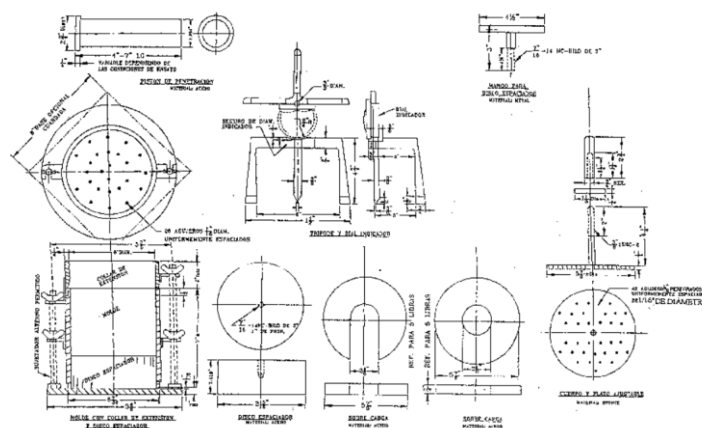
- Disco espaciador
- Apisonador
- Pesas
- Pistos de penetración
- Dial de deformación
- Aparato para medir la expansión.
- Aparatos generales

Procedimientos del ensayo:

Fijar el molde a la placa base, insertar el disco espaciador en la placa base y colocar un disco o papel filtro sobre la parte superior del disco espaciador. Compactar la mezcla de agua y suelo en el molde. Retirar el disco espaciador y enrasar el suelo sobresaliente con una varilla. Retirar la placa base y el disco espaciador, pesar y registrar la masa del molde más el suelo compactado. Colocar un disco de papel filtro, invertir el molde y fijar la placa base. Colocar los pesos para la sobrecarga en la placa perforada. Aplicar el sobrepeso igual al peso del material base y pavimento. Sumergir el molde y las pesas en agua durante 96 horas, tomar medidas iniciales para calcular la hinchazón como porcentaje de la altura inicial del espécimen. Retirar el agua y permitir drenar al espécimen durante 15 min. Retirar las pesas, la placa perforada y papel filtro, determinar y registrar la masa. Realizar la prueba de soporte (NTP 339.145, 1999).

Figura 24

Aparatos para el ensayo de CBR.



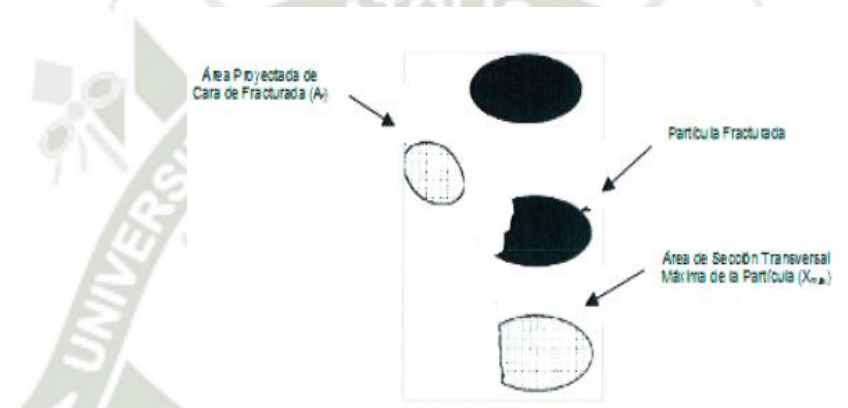
Nota. Extraído de: “Método de ensayo CBR”, por NTP 339.145, (1999).

b) Porcentaje de caras fracturas en los agregados MTC E 210

Determina el porcentaje de agregado grueso que tiene partículas o caras fracturadas, ya que aumenta el inter-contacto maximizando el esfuerzo cortante. Además, incrementa la fricción por la textura de los agregados. Una cara fracturada tiene una superficie áspera y rugosa ocasionada por un chancado (ver Figura 25).

Figura 25

Partículas de caras fracturadas .



Nota. Extraído de: “*Manual de Ensayo de Materiales*”, por MTC (2016, pág. 342).

c) Determinación del equivalente de arena MTC 114

Este ensayo actúa como una correlación rápida de campo. Asigna un valor numérico a la cantidad de material arcilloso presente en la muestra de ensayo. Su propósito es indicar las proporciones relativas de suelos arcillosos o finos y polvo en suelos granulares y agregados finos que pasan el tamiz n°4.

d) Abrasión en la máquina de Los Ángeles MTC E 207

Este ensayo determina la resistencia a la degradación de agregados gruesos menores que 37,5 mm utilizando la Máquina de Los Ángeles. La degradación consiste en impacto y

trituration en un tambor utilizando esferas de acero. El número de esferas depende de la gradación según la Tabla 8 y Tabla 9.

Tabla 8

Número de esferas según gradación.

Gradación	Número de Esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Nota. Extraído de: "Manual de Ensayo de Materiales", por MTC, (2016, pág. 316).

Tabla 9

Gradación de muestras de ensayos.

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado, g			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37,5 mm (1 ½")	25,0 mm (1")	1250 ± 25	-	-	-
25,0 mm (1")	19,0 mm (¾")	1250 ± 25	-	-	-
19,0 mm (¾")	12,5 mm (½")	1250 ± 25	2500 ± 10	-	-
12,5 mm (½")	9,5 mm (¾")	1250 ± 25	2500 ± 10	-	-
9,5 mm (¾")	6,3 mm (¼")	-	-	2500 ± 10	-
6,3 mm (¼")	4,75 mm (N°4)	-	-	2500 ± 10	-
4,75 mm (N°4)	2,36 mm (N°8)	-	-	-	5000
TOTAL		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Nota. Extraído de: "Manual de Ensayo de Materiales", por MTC, (2016, pág. 316).

También se cuenta con un procedimiento para ensayar agregados gruesos mayores que le tamiz 19,0 mm (¾ pulg.).

Para el cálculo del porcentaje de conteo de partículas con el numero requerido de caras fracturadas se emplea la siguiente formula:

$$P = \frac{F}{(F + N)} \times 100$$

Donde:

- P: % de partículas con el número requerido de caras fracturadas
- F: cantidad de partículas con el número requerido de caras fracturadas
- N: cantidad de partículas con caras no fracturadas.

e) Durabilidad en sulfato de sodio y sulfato de magnesio MTC E 209

Este ensayo determina la resistencia a la desintegración de los agregados grueso y fino por medio de soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, durante mínimo 16 horas y máximo 18 horas, que cubra toda la muestra. Simula el comportamiento de la acción a la intemperie.

f) Partículas chatas y alargadas MTC E 223 -ASTM D4791

Este ensayo determina los porcentajes de partículas chatas y alargadas en el agregado grueso. Una partícula chata o alargada puede interferir con la consolidación y colocación de los materiales.

g) Contenido de sales totales MTC E 219

Este ensayo determina el porcentaje de cloruros y sulfatos solubles en agua de los agregados utilizados en las mezclas asfálticas y bases. El agregado de muestra es sometido a varios lavados con agua destilada a una temperatura de ebullición, hasta la extracción total de las sales. Del agua total con que se lavó la muestra se toma una proporción y se cristaliza para evaluar la cantidad de sales presentes. Su cálculo está dado por la ecuación:

$$\text{Sales solubles (\%)} = \frac{1}{\frac{CxA}{DxB} - 1} \times 100$$

Donde:

- A: masa inicial de la muestra seca a 0,01g.

- B: volumen de agua destilada acumulados a un matraz aforado y enrasado.
- C: proporción de un volumen entre 50 y 100ml de la muestra.
- D: masa de la proporción cristalizada en un horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

2.3.5. Metodología RAMCODES

Rational Methodology for Compacted Geomaterials' Density and Strength Analysis con las siglas RAMCODES es un método de diseño de suelos compactados, aplicables más que todo a suelos susceptibles a la humedad, como, por ejemplo: GM, GC, SM, SS, SM-SC. Diversos proyectos de carreteras y puentes requieren de la evaluación de agentes como la presión de confinamiento, el grado de saturación y el grado de compactación, es por lo expuesto que es necesario realizar una evaluación en el laboratorio. RAMCODES se fundamenta en conocimientos estadísticos para desarrollarlos y analizar experimentos para el diseño. Es importante mencionar que el diseño de un suelo compactado es establecer un porcentaje de compactación (%C) mínimo que cumpla la respuesta deseada bajo las condiciones establecidas del proyecto según el manual RAMCODES (Sanchez, 2009). Esta metodología cuenta con cuatro herramientas fundamentales:

1. Espectro de Curvas de Diseño
2. La pirámide RAMCODES
3. Los cuadrante QA/QC
4. La clasificación cuantitativa de RAMCODES.

Para el análisis de la vía en estudio se emplearán las dos herramientas siguientes:

2.3.5.1. Clasificación RAMCODES:

El sistema de clasificación RAMCODES se desarrolla con la finalidad de definir a los materiales no solo con una clasificación cualitativa, de símbolos o grupos, como SUCS y AASHTO, sino que también relacionarlo con un factor cuantitativo, que permitiera relacionar las propiedades del material compactado y generar correlaciones.

Este sistema de clasificación desglosa los materiales con finos plásticos y finos no plásticos. La base de este sistema de clasificación es un parámetro llamado “factor característico”, F_p cuando se trata de agregados con finos plásticos, y F_{np} para materiales con finos no plásticos (Sanchez, 2009).

$$F_p = (1 + w_L) \cdot \frac{F}{1+G} \qquad F_{np} = \frac{D_{60}}{D_{10}} (1 + F)$$

Donde:

w_L = límite líquido, F es el material pasante por el tamiz Nro. 200 y G es el contenido retenido en el tamiz Nro., 4, todos en decimal.

La Tabla 10 y Tabla 11 muestran la relación del “Factor Característico” y la clasificación cualitativa.

Tabla 10

Factor característico F_p en relación con la clasificación cualitativa.

Valores de F_p	Grupo	Clasificación cualitativa
0.0 - 0.2	RS1	Gravas limosas y arcillosas
0.2 – 0.5	RS2	Gravas limosas y arcillosas con arena
0.5 – 0.7	RS3	Arenas limosas y arcillosas
0.7 – 1.4	RS4	Arcillas ligeras arenosas y limosas
> 1.4	RS5	Arcillas francas

Nota. Extraído de: “Manual de aplicación RAMCODES”, por Sánchez (2009, pág. 13).

Tabla 11

Factor característico F_{np} en relación con la clasificación cualitativa.

Valores de F_{np}	Grupo	Clasificación cualitativa
>100	RS1*	Gravas limosas o arcillosas
15 - 100	RS2*	Arenas limosas con grava y arenas gruesas limosas
0 - 15	RS3*	Arenas limosas finas

Nota. Extraído de: “Manual de aplicación RAMCODES”, por Sánchez (2009, pág. 13).

2.3.5.2. Espectro de curvas de diseño:

Son un conjunto de curvas de diseño a diferentes grados de saturación que relacionan el porcentaje de compactación (%C) con la resistencia del suelo (CBR) y determinar el mínimo grado de compactación que lograría que el suelo cumpla con tal pedimento (Geotechtips, 2020).

(a) Ensayo CBR en la metodología RAMCODES:

Existen dos clases de CBR, el CBR de 3 puntos (tradicional) y el CBR de 15 puntos mínimos (RAMCODES), la diferencia principal entre ellos a causa de la condición de humedad, puesto que para el método de 15 puntos se trabaja con un rango mayor y menor del contenido de agua óptimo (Geotechtips, 2020).

- CBR para un contenido de agua

Se determina el CBR a un porcentaje del máximo peso unitario seco y al óptimo contenido de agua. Se compacta tres especímenes a partir del geomaterial preparado utilizando diferentes números de golpes por capa para cada espécimen. La penetración se hará en cada uno de estos especímenes. Se realiza una gráfica CBR vs la relación del peso unitario seco con los resultados dados de los ensayos.

- CBR para un rango de contenido de agua

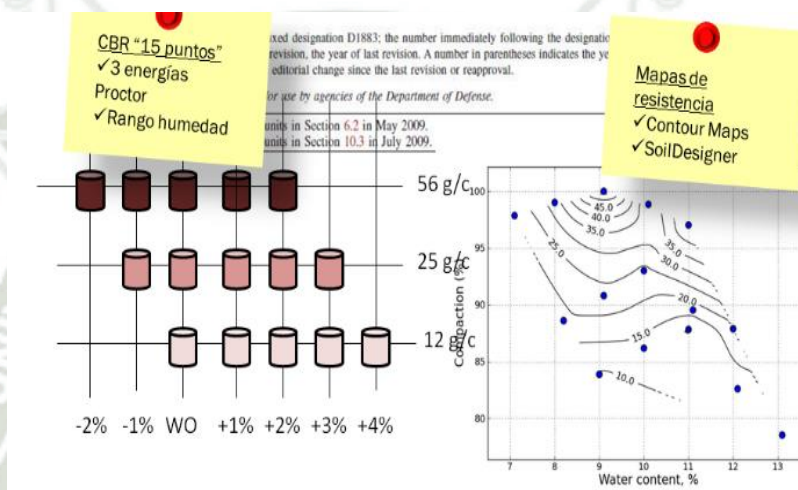
Se prepararán las muestras similares al CBR tradicional. Se medirá el desempeño mecánico del suelo, su resistencia (CBR), en diferentes contenidos de humedad y pesos unitarios secos a través de un experimento factorial, que se procesan en el software Origin 8.1 dando de resultado a la herramienta el espectro de curvas de diseño de la metodología RAMCODES que al intersectarlos con las curvas de saturación se obtiene las curvas de diseño.

(b) Experimento factorial

Son aquellos experimentos en los que se comparan o estudian simultáneamente dos o más factores principales, incluyendo los diferentes niveles de cada uno (ver Figura 26) (Galiard et al., 2010). Para esta investigación los tres factores principales son: el peso unitario seco, el contenido de humedad y la resistencia (CBR), cada uno con sus variaciones.

Figura 26

Experimento factorial de la metodología RAMCODES



Nota. Geotechnips (2020).

La realización del experimento factorial se realizó según el Manual de aplicación RAMCODES (Sanchez, 2009) donde indica que se debe usar mínimo 3 niveles de energía de compactación como, por ejemplo: 56, 25 y 12 golpes/capa y sugiere valores para los niveles de contenido de agua como se observa en la tabla 25 según la clasificación del suelo (Tabla 12).

Tabla 12

Valores sugeridos para niveles de contenido de agua.

Nivel de contenido de agua	1	2	3	4	5
	W _{fx} -3@	W _{fx} -2@	W _{fx} -@	W _{fx}	W _{fx} +@

Nota. Extraído de: “Manual de aplicación RAMCODES”, por Sánchez (2009, pág. 89).

Donde:

- ✓ W_{fx} : es el contenido de agua óptimo.
- ✓ @: es el valor absoluto del incremento del contenido de agua con respecto a W_{fx} .

La Tabla 13 muestra los 15 tratamientos, resultado de las variaciones del contenido de humedad con las distintas energías de compactación.

Tabla 13

Programa propuesta para la compactación de los 15 especímenes.

		Variación de Humedades(cont. de agua)				
		1	2	3	4	5
Energía de compactación	A	A1	A2	A3	A4	A5
	B	B1	B2	B3	B4	B5
	C	C1	C2	C3	C4	C5

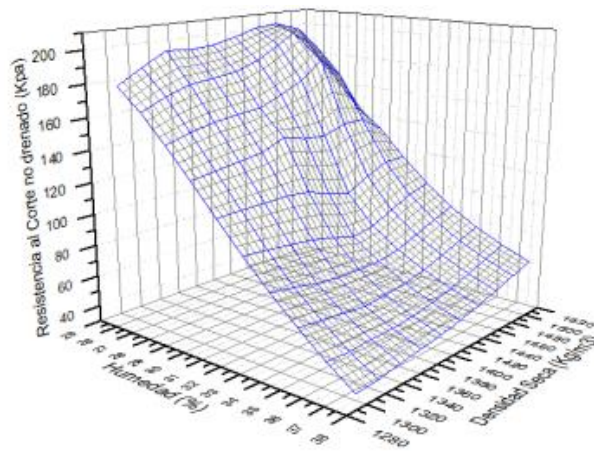
Nota. Extraído de: “*Manual de aplicación RAMCODES*”, por Sánchez (2009).

(c) Mapas de resistencia

El mapa de resistencia es una herramienta de RAMCODES que sirven para analizar geomateriales compactados y tener una referencia de porcentajes de compactación son óptimos. Para trazarlos, es importante elaborar previamente un experimento factorial. Es una representación tridimensional de la compleja interacción de los parámetros densidad-humedad-resistencia (CBR) (ver Figura 27 y figura 28). Estas gráficas permiten analizar el requerimiento de estos parámetros para cada material de suelo y determinar el mínimo grado de compactación que produciría que el suelo cumpla con la solicitud (Feo & Alvarado, 2012).

Figura 27

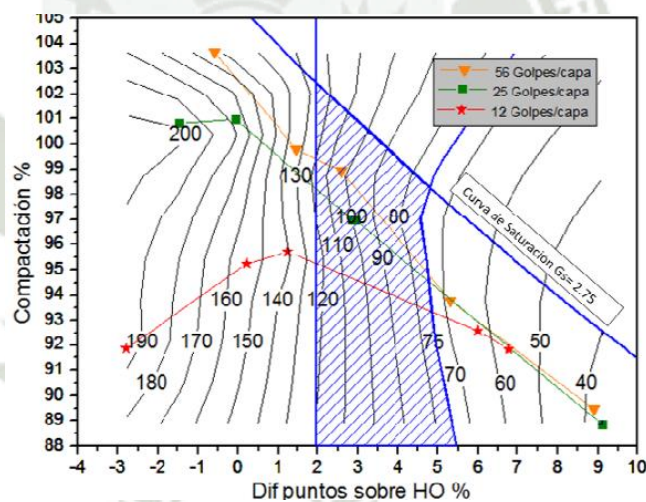
Mapa de resistencia Densidad – Humedad – Resist. al corte en 3D.



Nota. De: Feo, L. y Alvarado, L. (2012).

Figura 28

Gráfico del mapa de resistencia en 2D.



Nota. De: Fuente Feo, L. y Alvarado, L. (2012).

2.3.6. Metodología BIM

Building Information Modeling (BIM) es una metodología de trabajo que centraliza toda la información del proyecto en un modelo de información digital creado por todos sus componentes y/o especialidades. La metodología BIM permite optimizar el diseño vial mediante la implementación de herramientas que cuentan con funciones avanzadas para el diseño geométrico, que ayudan a mejorar el diseño del trazado del alineamiento vertical y

horizontal, el diseño de interacción con el ambiente, diseño de los carriles, diseño de bombeo y peralte entre otros parámetros que permiten mitigar riesgos y la toma de decisiones a lo largo de la obra de infraestructura vial (Huayana, 2022).

Según el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) y el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), la implementación de la metodología BIM en las obras de infraestructuras viales permitirá almacenar toda la información necesaria para monitorear en las distintas fases como su conservación, operación y mantenimiento, además esta metodología brinda el modelamiento digital de los proyectos con la cual se podrá simular, programar y organizar actividades de la ejecución de la obra.

Es importante detallar las dimensiones BIM, en tanto que, permiten una mejor comprensión de la gestión de la infraestructura en cada fase del ciclo de su ciclo de vida según la Guía Nacional BIM (MEF, 2023).

- a) 1D Punto de partida: Esta dimensión hace referencia al concepto, las normativas, recopilación de información, estudios previos, programa funcional y simulaciones.
- b) 2D Vector: Esta dimensión hace referencia al boceto, los dibujos 2D, documentación, a los procedimientos, flujo de trabajo, vistas y planos. Es la dimensión plana tradicional.
- c) 3D Modelo: Esta dimensión hace referencia a la coordinación 3D, revisión de diseño, nube de puntos, una realidad aumentada y los drones.
- d) 4D Tiempo: Esta dimensión hace referencia a la planificación en las diferentes fases del proyecto, gestión de la construcción, del ciclo de vida del proyecto.
- e) 5D Costo: Esta dimensión hace referencia al presupuesto, la obtención de metrados, a la gestión de los costos detallados del proyecto y toma de decisiones informadas.

- f) 6D Sostenibilidad: Esta dimensión hace referencia al análisis energético del proyecto, información sobre la sostenibilidad, análisis de iluminación y análisis de vientos.
- g) 7D Operación y mantenimiento: Esta dimensión alude a la planificación de mantenimiento, inspecciones y reparaciones, la gestión de los activos (AIM) e instalaciones.

2.3.6.1. Civil 3D con enfoque BIM

Es un software que permite trabajar con flujos de trabajo más eficaces para el modelado de superficies, el modelado de infraestructura lineal, el diseño de carreteras y autopistas, emplazamientos, el diseño de rieles, el alcantarillado y saneamiento, y la producción de planos (Vitorino, 2021).

2.3.6.2. InfraWorks

Es un software BIM de diseño que permite el modelado, el análisis, la visualización y la comprensión de los proyectos de diseño dentro de un contexto 3D realista que incluye modelos naturales y construidos, mejorando los resultados del proyecto y toma de decisiones. Permite el diseño conceptual de rotondas, carreteras, intersecciones, líneas de ferrocarril, redes de drenaje, túneles, puentes, construcciones y mobiliario urbano (Bascoy, 2022).

2.3.6.3. NasvisWorks

NasvisWorks es un software BIM de visualización 3D que permite abrir y combinar los modelos 3D, navegar por ellos en tiempo real, comprobar interferencias, hacer una planificación de obra, entre otros. Junta los datos de diseño y construcción en un modelo único, identifica y resuelve interferencias y problemas antes de iniciar la construcción, lo que permite ahorrar tiempo en la obra real (Zubimendi, 2021).



CAPITULO III

METODOLOGÍA PROPUESTA

3. METODOLOGIA PROPUESTA

3.1. Tipo y nivel de investigación

Según Hernandez (2014), los estudios descriptivos buscan especificar las características, procesos y propiedades de cualquier fenómeno de estudio que se someta a análisis. Esta investigación fue descriptiva ya que planteó una propuesta metodológica que describió la utilización de los métodos BIM y RAMCODES para optimizar los sistemas de infraestructura vial.

3.2. Diseño de la investigación

Según Hernandez (2014) los diseños experimentales plantean la utilización de ensayos. La presente investigación tuvo un diseño experimental, porque se realizaron ensayos de laboratorio para el estudio de mecánica de suelos, se analizaron y procesaron los resultados.

3.3. Variables

La Tabla 14 señala las variables y sus respectivos indicadores.

Tabla 14

Cuadro de variables e indicadores de la investigación.

	Variables	Indicadores
Dependientes	Diseño	Espesores del pavimento
	Costo	Variación de presupuesto
	Tiempo	Ampliación de plazos
Independientes	Alcance del diseño del pavimento	Demanda a satisfacer

3.4. Métodos de investigación

En la siguiente tabla se detalló los métodos de estudio planteados para el cumplimiento de cada objetivo específico de la presente investigación (ver Tabla 15).

Tabla 15

Cuadro de objetivos y métodos de estudio

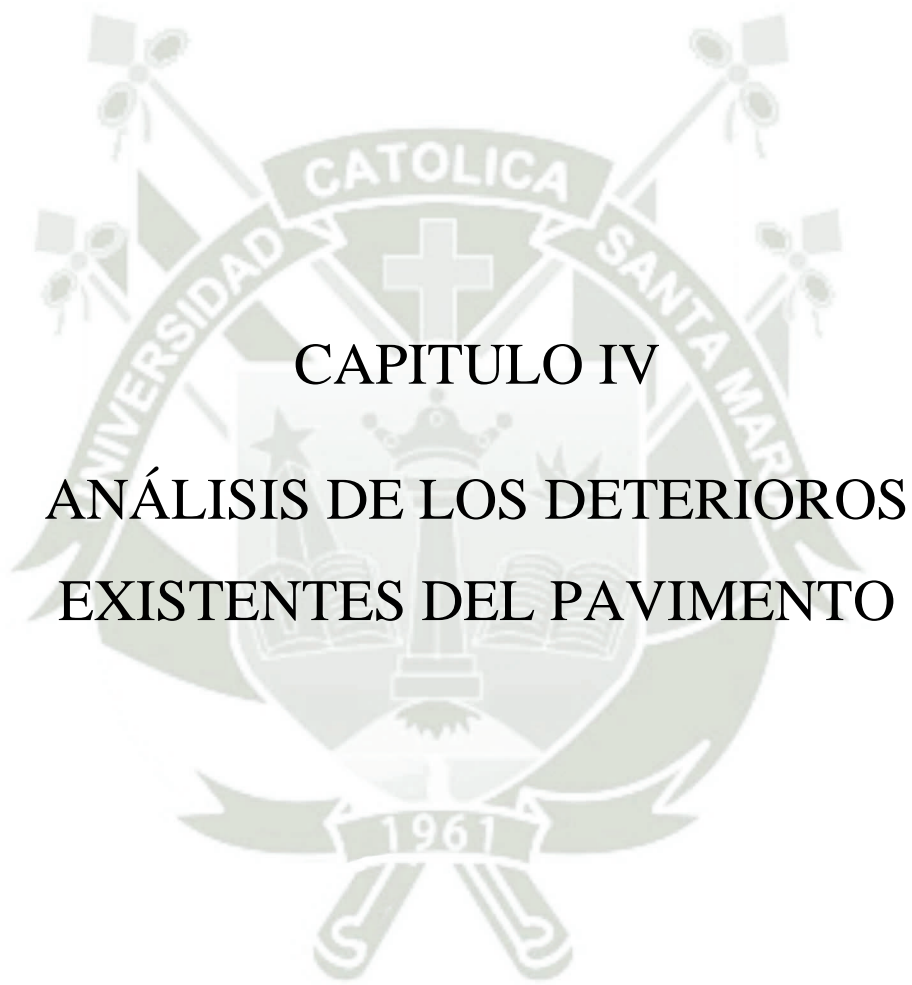
ID	OBJETIVOS	MÉTODOS DE ESTUDIO
1	Determinar un análisis de los deterioros existentes en la superficie del pavimento de la carretera de estudio Chivay – Canacota.	<p>A. Revisión de la normativa del marco legal</p> <p>B. Realizar un análisis de los deterioros existentes del pavimento en base a la normativa y mediante el método PCI.</p>
2	Determinar la viabilidad para implementar los mapas de resistencia de la metodología RAMCODES en ensayos de CBR para el diseño del pavimento del sistema de infraestructura vial y comparar los espesores respecto a una metodología tradicional.	<p>A. Revisar la normativa del marco legal.</p> <p>B. Realizar el estudio de tráfico.</p> <p>C. Efectuar los ensayos de laboratorio del estudio de mecánica de suelos.</p> <p>D. Realizar los ensayos de CBR mediante experimentos factoriales.</p> <p>E. Ejecutar los mapas de resistencia y las curvas de diseño para el menor CBR que cumpla con las especificaciones del proyecto.</p> <p>F. Determinar el espesor del pavimento y realizar un análisis comparativo de los espesores del pavimento usando los mapas de resistencia de la metodología RAMCODES vs AASHTO.</p>
3	Comparar el presupuesto de la carretera bajo el enfoque BIM y los mapas de resistencia de RAMCODES, así como su respectivo cronograma de obra en comparación con una metodología tradicional.	<p>A. Revisar la normativa del marco legal.</p> <p>B. Utilizar la herramienta los mapas de resistencia y los espectros de diseño para la metodología RAMCODES y los softwares para el presupuesto BIM y NAVISWORK para el cronograma detectando fallas e incoherencias.</p> <p>C. Comparar el presupuesto y cronograma base vs utilizando BIM y RAMCODES.</p>
4	Plantear recomendaciones estratégicas para la implementación adecuada de las metodologías BIM y RAMCODES.	<p>A. Revisar el diseño integral del sistema de infraestructura vial implementando las metodologías BIM y RAMCODES.</p> <p>B. Establecer pautas en base al procedimiento realizado.</p>

3.5. Población y muestra

La población estará referida a carreteras de pavimentos flexibles para todo tipo de suelos en la ciudad de Arequipa. La muestra de estudio del presente trabajo de investigación es del tramo 14+300 de la carretera de Chivay - Tuti hasta la entrada del centro poblado Canacota, del distrito de Caylloma provincia de Arequipa. Se escoge esta vía debido a su diseño de pavimento y a la problemática identificada; se hicieron los ensayos de estudios de suelos de manera incorrecta, encontrándose la vía en un estado crítico presentando hundimientos, baches, fisuras y grietas como se indica en el ítem 1.1.

3.6. Técnicas e instrumentos

Las técnicas e instrumentos a utilizar en el presente trabajo de investigación dependieron de los objetivos específicos y las preguntas de investigación que se plantearon. Para evaluar la influencia de la metodología BIM en una obra de infraestructura vial, se utilizó los softwares Civil 3D, InfraWorks y NasvisWorks que son herramientas BIM. Para determinar los espesores utilizando herramientas como los mapas de resistencia y el espectro de curvas de diseño de la metodología RAMCODES en ensayos de CBR para la base, se empleó la técnica de muestreo de suelo y ensayos de laboratorio, además se utilizó el software especializado ORIGIN PRO para la interpretación de los datos.



CAPITULO IV

ANÁLISIS DE LOS DETERIOROS EXISTENTES DEL PAVIMENTO

4. ANÁLISIS DE LOS DETERIOROS EXISTENTES DEL PAVIMENTO

Para el análisis de los deterioros existentes del pavimento se empleó el método del PCI (Pavement Condition Index), en el cual se detalla la base teórica presentada en la Sección 2.3.1. Seguidamente se describe el procedimiento para su cálculo en la vía de estudio:

Primero, se debe tener presente las dimensiones de la carretera:

$$\text{Ancho de la calzada} = 5.30 \text{ m} \quad \text{y} \quad \text{Longitud de la calzada} = 2500 \text{ m}$$

El manual de daños de Vásquez (2002) proporciona longitudes para unidades de muestreo en pavimentos asfálticos como se ve en la Tabla 16, ya que tenemos un ancho de calzada de 5.30m se procede a interpolar teniendo una longitud de unidad de muestro de 43.5m.

Tabla 16

Longitudes de unidades de muestras asfálticas.

Ancho de calzada (m)	Longitud de la unidad de muestreo (m)
5.0	46.0
5.5	41.8
6.0	38.3
6.5	35.4
7.3 (máximo)	31.5

Nota. De: "Manual de daños", por Vásquez (2002, pág. 03).

Con el ancho de calzada y las longitudes, total y de unidad de muestra, se procede a determinar las áreas para el cálculo del número total de unidades de muestreo "N".

- Longitud total= 2500 m → Área total = 13,250 m²
- Longitud unidad= 43.5m → Área unidad = 230.5 m²

Se muestra que el área de la unidad de muestreo (230.5m²) cumple con el rango especificado en la norma ASTM D6433-23 (225±90m²).

$$N = \frac{13,250}{230.5} = 57.47 \approx 58 \text{ unidades de muestreo}$$

4.1. Determinación de las unidades de muestreo para evaluación

Al tener un número de unidades de muestreo muy grande (58 unidades), que podría generar mucho tiempo y costo, se empleó la ecuación mostrada a continuación para un mínimo número de unidades de muestreo que pueden evaluarse, con una confiabilidad del 95% de verdadero PCI.

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N - 1) + \sigma^2}$$

Donde:

- n: número mínimo de unidades de muestreo aceptables
- e: error admisible en el cálculo del PCI de la sección (e=5%)
- σ : desviación estándar del PCI de una a otra unidad de muestra en la sección.
- N: número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento.

El manual de daños (Vásquez, 2002) y la norma ASTM D6433-23 indican que se debe asumir durante una inspección visual una desviación estándar (σ) del PCI de 10 para pavimentos asfálticos. Por ende, reemplazando los datos de la vía de estudio en la ecuación se obtiene:

$$n = \frac{58 \times 10^2}{\frac{5^2}{4} \times (58 - 1) + 10^2} = 12$$

Se tiene 12 unidades mínimas de muestreo a estudiar para la vía de acceso a Canacota.

4.2. Intervalo de las unidades de muestreo.

A partir de la siguiente ecuación se calcula el intervalo de unidades de muestreo aceptables.

$$i = \frac{N}{n}$$

trabaja con el mayor número deducido (HDV_i). El cálculo del valor numérico de los valores deducidos se determina por los ábacos de la norma en las páginas 38-42.

Con este valor se determina el “Número máximo permitido de Valores Deducidos” (m) usando la siguiente ecuación:

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) (100 - HDV_i) \leq 10$$

Donde:

- m : número máximo admisible de “valores deducidos”
- HDV_i : mayor valor deducido individual de la unidad de muestreo i .

Posteriormente se procede a corregir el máximo valor deducido, CDV , por un ábaco que proporciona la norma ASTM D6433-23 como se ve en la Figura 30.

Figura 30

Formato para la obtención del máximo valor deducido corregido

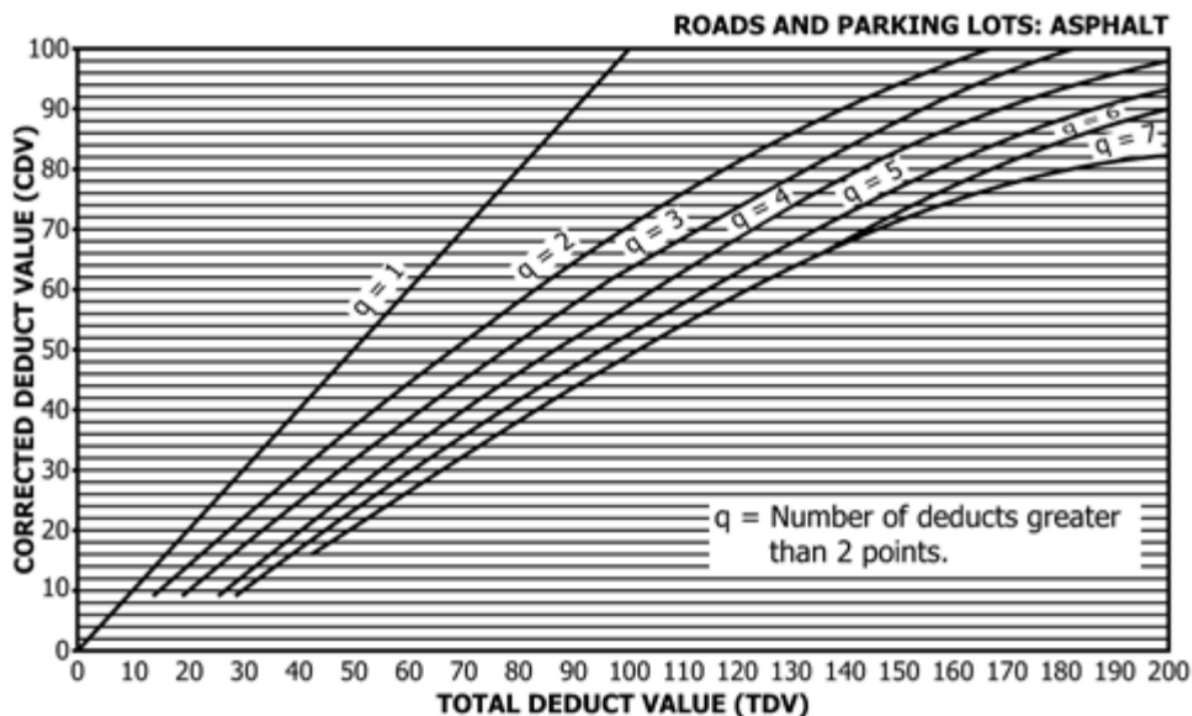
n°	Valor Deducido									Total	q	CDV
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												

Nota. Formato para las iteraciones del cálculo del CDV , extraído de la norma ASTM D6433 (2023, pág. 03).

Este formato se utiliza simultáneamente con el Abaco de la Figura 31 para el cálculo del valor deducido total.

Figura 31

Abaco para la obtención del valor deducido total.



Nota. Extraído de la norma ASTM D6433 (2023, pág. 42).

Finalmente, para determinar el valor del PCI de la unidad de muestreo se emplea la ecuación mostrada a continuación para cada unidad de muestreo, para promediarlo y calcular el valor de PCI de la vía de estudio.

$$PCI = 100 - Max.CDV$$

La Tabla 17 muestra el total de las unidades de muestreo de la vía con sus progresivas, el intervalo y la selección para su evaluación.

Tabla 17

Selección de las unidades de muestreo para la vía de estudio.

	Progresiva		Nro. Unidad	Área (m2)
	De	a	de muestreo	
	0+000	0+043.5	01	
01	0+043.5	0+087	02	230.55
	0+087	0+130.5	03	
	0+130.5	0+174	04	
	0+174	0+217.5	05	
	0+217.5	0+261	06	
02	0+261	0+304.5	07	230.55
	0+304.5	0+348	08	
	0+348	0+391.5	09	
	0+391.5	0+435	10	
	0+435	0+478.5	11	
03	0+478.5	0+522	12	230.55
	0+522	0+565.5	13	
	0+565.5	0+609	14	
	0+609	0+652.5	15	
	0+652.5	0+696	16	
04	0+696	0+739.5	17	230.55
	0+739.5	0+783	18	
	0+783	0+826.5	19	
	0+826.5	0+870	20	
	0+870	0+913.5	21	
05	0+913.5	0+957	22	230.55
	0+957	1+000.5	23	
	1+000.5	1+044	24	
	1+044	1+087.5	25	
	1+087.5	1+131	26	
06	1+131	1+174.5	27	230.55
	1+174.5	1+218	28	
	1+218	1+261.5	29	
	1+261.5	1+305	30	
	1+305	1+348.5	31	
07	1+348.5	1+392	32	230.55
	1+392	1+435.5	33	
	1+435.5	1+479	34	
	1+479	1+522.5	35	
	1+522.5	1+566	36	
08	1+566	1+609.5	37	230.55
	1+609.5	1+653	38	
	1+653	1+696.5	39	
	1+696.5	1+740	40	
	1+740	1+783.5	41	
09	1+783.5	1+827	42	230.55
	1+827	1+870.5	43	

	1+870.5	1+914	44	
	1+914	1+957.6	45	
	1+957.6	2+001	46	
10	2+001	2+044.5	47	230.55
	2+044.5	2+088	48	
	2+088	2+131.5	49	
	2+131.5	2+175	50	
	2+175	2+218.5	51	
11	2+218.5	2+262	52	230.55
	2+262	2+305.5	53	
	2+305.5	2+349	54	
	2+349	2+392.5	55	
	2+392.5	2+436	56	
12	2+436	2+479.5	57	230.55
	2+479.5	2+523	58	

Después de la evaluación de cada unidad de muestreo seleccionados, mostrados en el Anexo A, se encontraron 8 tipos de fallas de las 19 fallas definidas en el método del PCI mostradas en la Tabla 18, donde se indican las cantidades por unidad de medida según el tipo de falla a lo largo de los 2.5km del pavimento en estudio.

Tabla 18

Cantidad según el tipo de falla en la vía de estudio.

N°	Tipo de Falla	Unidad	Cantidad
1	Piel de cocodrilo	m2	49.66
2	Exudación	m2	0.00
3	Fisuras en bloque	m2	718.65
4	Abultamientos y hundimientos	m	4.04
5	Corrugación	m2	0.00
6	Depresión	m2	0.53
7	Fisura de borde	m	6.48
8	Fisura de reflexión de junta	m	0.00
9	Desnivel carril - berma	m	0.00
10	Fisuras longit. y transversales	m	46.86
11	Parcheo- parcheo servicios públ.	m2	0.00
12	Agregado pulido	m2	0.00
13	Baches	und	143.00
14	Cruce de ferrocarril	m2	0.00
15	Ahuellamiento	m2	0.00

16	Desplazamiento	m2	0.00
17	Fisura parabólica o por desliz.	m2	0.00
18	Hinchamiento	m2	0.00
19.1	Intemperismo	m2	691.65
19.2	Peladura	m2	0.00

La Tabla 19 muestra el resumen de los resultados obtenidos de las 12 unidades de muestreo mostrados en el anexo A, y la Figura 32 el resultado a través de su progresiva. Además, se presenta en la Tabla 20 la ubicación de las fallas de cada tipo encontradas en las 12 unidades de muestro para la vía de estudio.

Tabla 19

Resumen de resultados de PCI por unidad de muestreo.

N°	Progresiva			PCI	Clasificación
UM-01	0+043.5	-	0+087	62	Bueno
UM-02	0+261	-	0+304.5	20	Muy Malo
UM-03	0+478.5	-	0+522	50	Regular
UM-04	0+696	-	0+739.5	27	Malo
UM-05	0+913.5	-	0+957	55	Regular
UM-06	1+131	-	1+174.5	3.6	Fallado
UM-07	1+348.5	-	1+392	10	Fallado
UM-08	1+566	-	1+435.5	24	Muy Malo
UM-09	1+783.5	-	1+479	4	Fallado
UM-10	2+001	-	1+522.5	10	Fallado
UM-11	2+218.5	-	1+566	51	Regular
UM-12	2+436	-	1+609.5	40	Malo

Figura 32

Resumen de valores de PCI por unidad de muestreo.

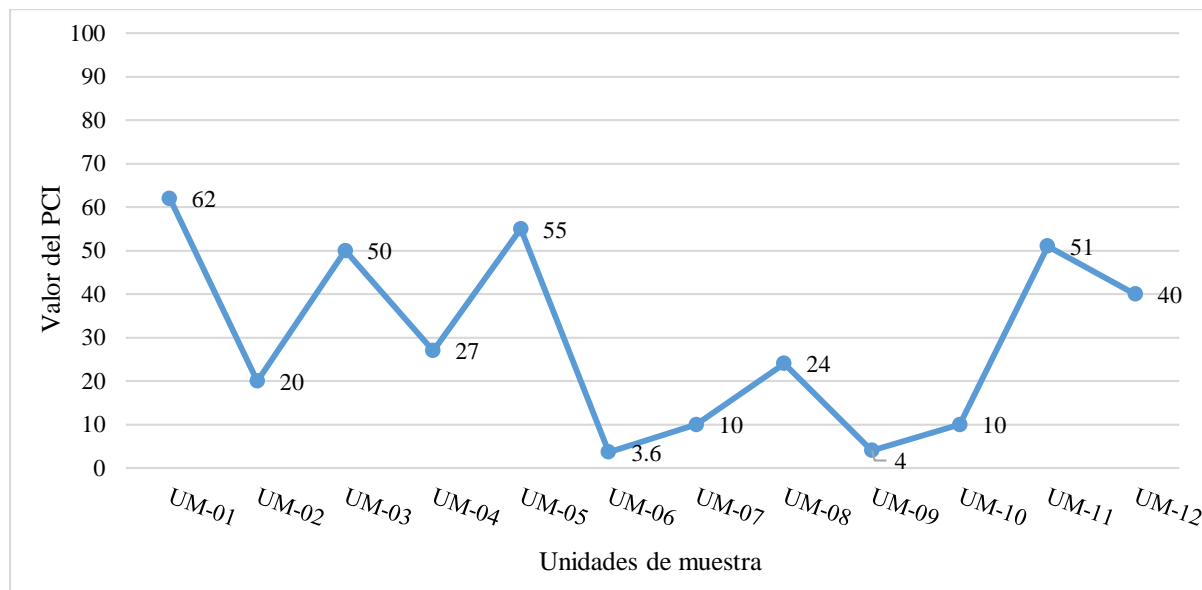
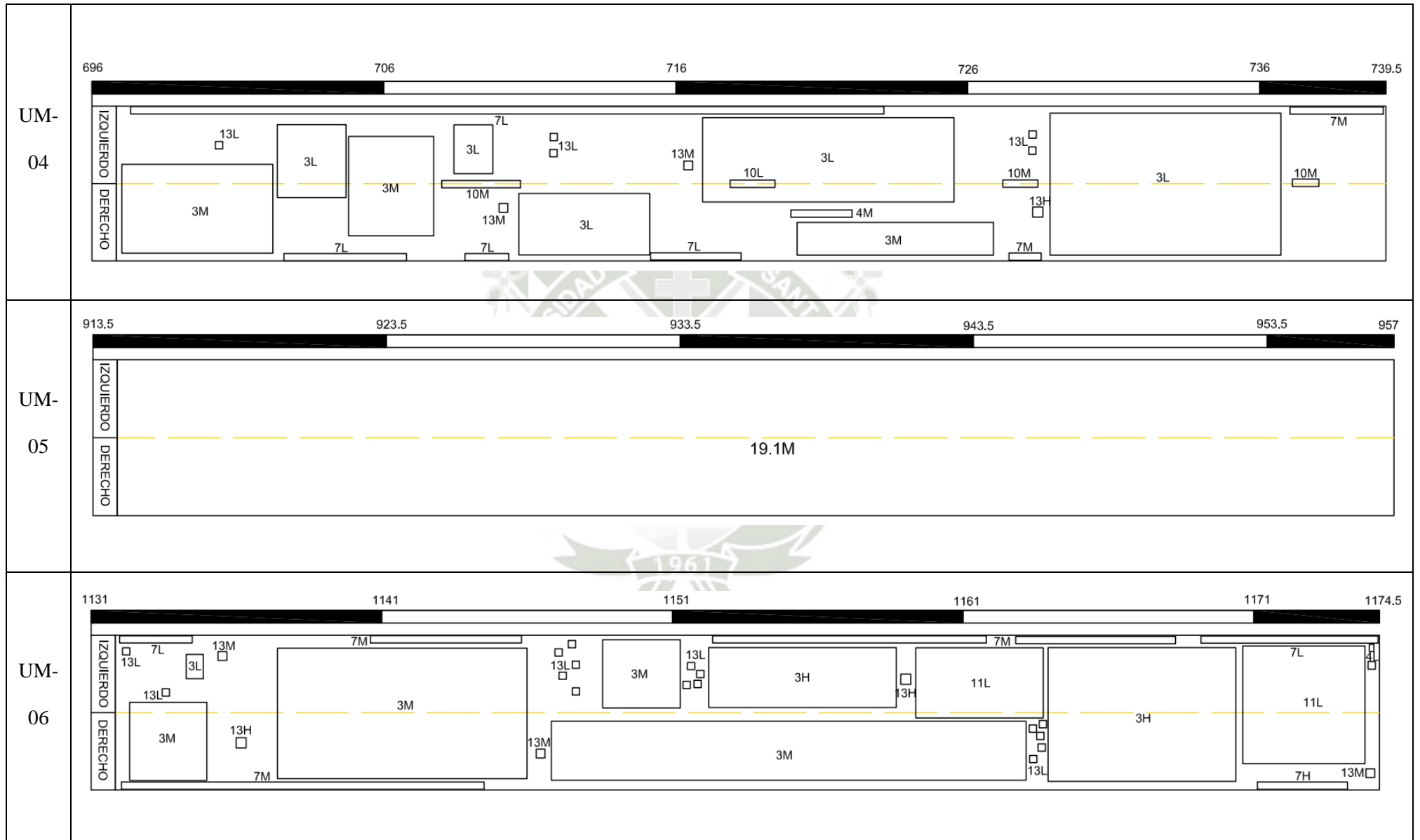
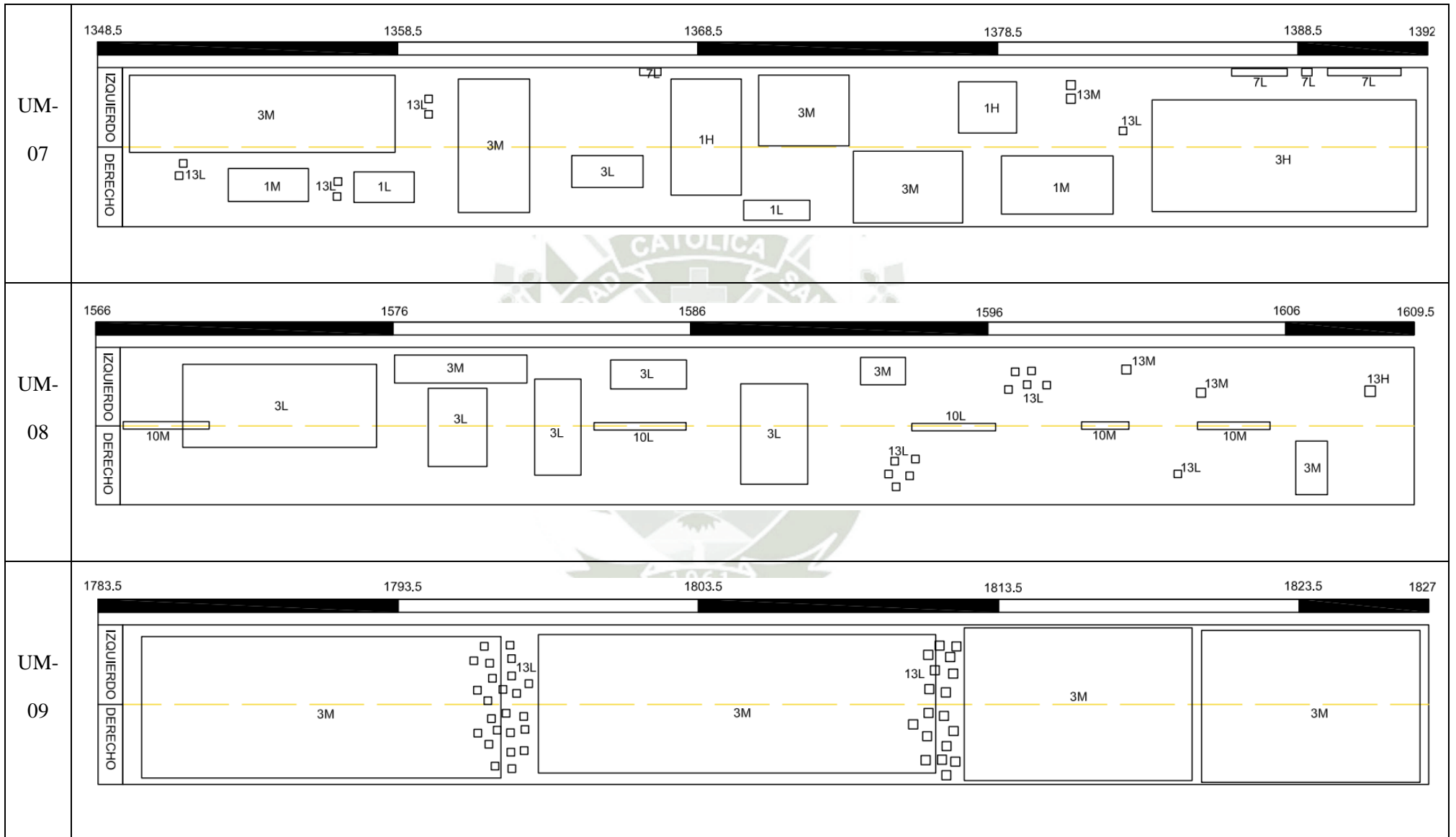


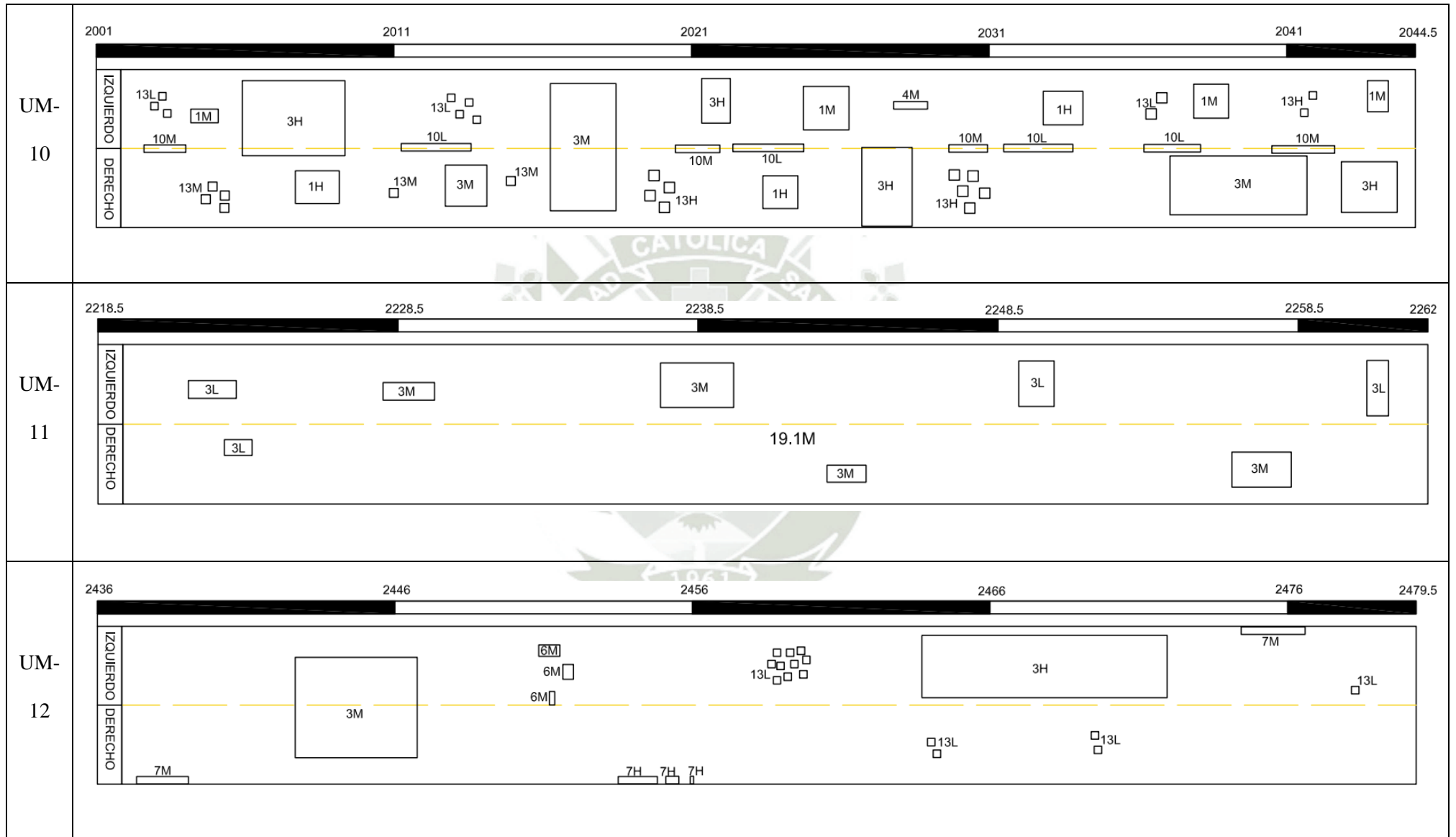
Tabla 20

Daños encontrados en campo señalados por kilometraje.

N°	Daños encontrados en la zona de estudio	
UM-01		
UM-02		
UM-03		







4.4. Cálculo del PCI de toda la sección del pavimento

La sección de pavimento abarca varias unidades de muestreo, se calculará mediante la ecuación:

$$PCI_{pavimento} = \frac{[(N - A) \times PCI_R] + (A \times PCI_A)}{N}$$

Donde:

PCI_R: PCI promedio de las unidades de muestreo representativas.

PCI_A: PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales.

N: número total de unidades de muestreo.

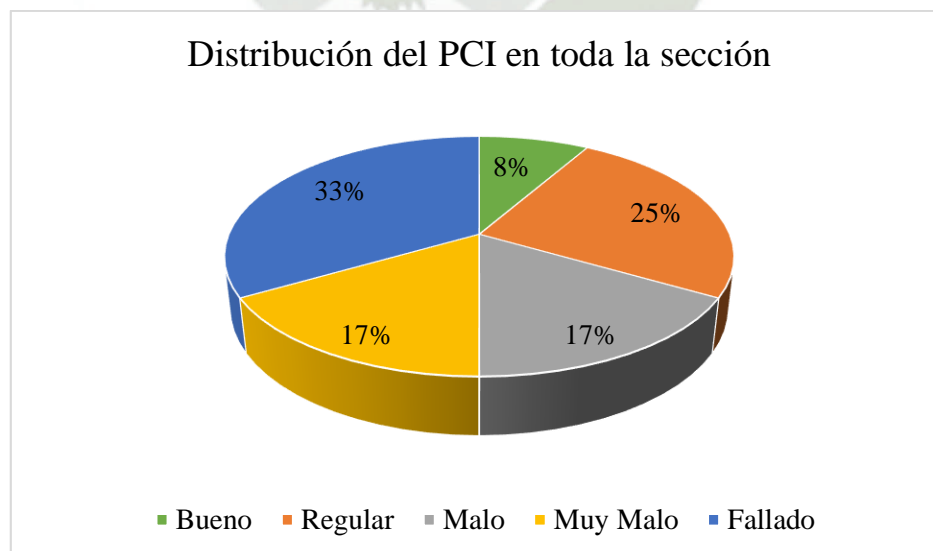
A: número adicional de unidades de muestreo.

$$PCI_{pavimento} = 29.2$$

Obteniendo como resultado de PCI de toda la sección del pavimento=29.2 Se considera “Malo” según la Tabla 5 extraída de la norma ASTM D6433-23.

Figura 33

Distribución del PCI en toda la sección de la vía de estudio.



De la Figura 33 se interpreta que el mayor porcentaje (33%) de la carretera se encuentra “Fallado” y el menor porcentaje (8%) en “Buenas” condiciones.

4.5. Registro fotográfico de los daños encontrados en la vía

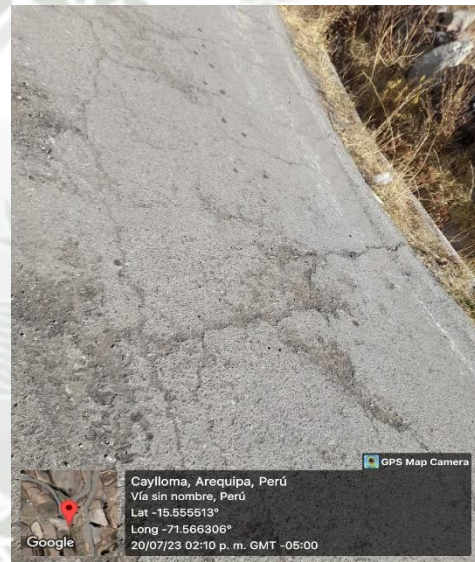
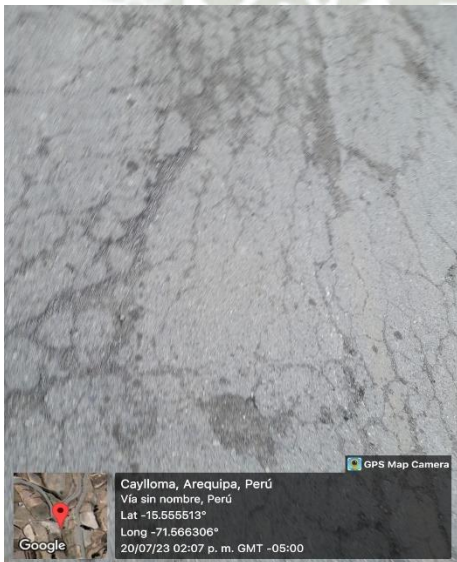
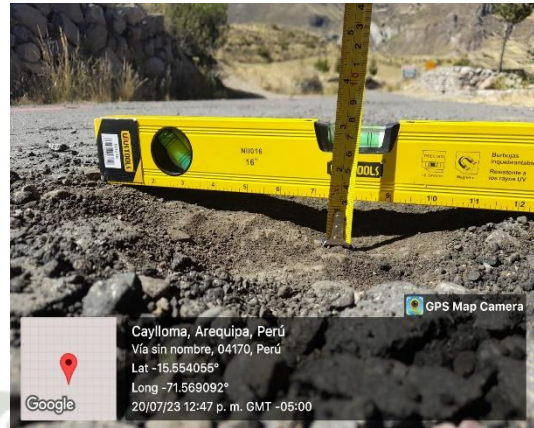
La Tabla 21 presenta un registro fotográfico de fallas encontradas en la vía.

Tabla 21

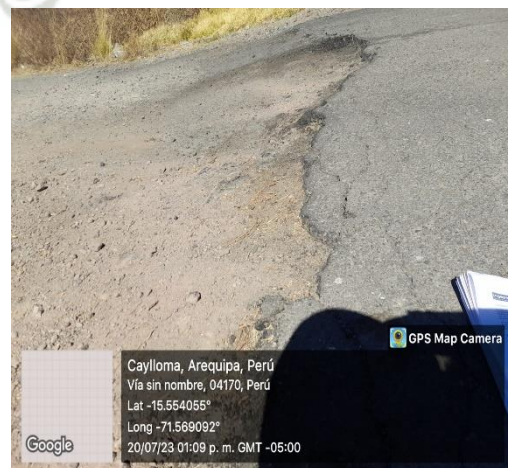
Registro fotográfico de los daños encontrados en la vía de estudio.

Presencia de piel de cocodrilo con baches	
<p>Caylloma, Arequipa, Perú Via sin nombre, 04170, Perú Lat -15.554055° Long -71.569092° 20/07/23 12:43 p. m. GMT -05:00</p>	<p>Caylloma, Arequipa, Perú Via sin nombre, 04170, Perú Lat -15.554055° Long -71.569092° 20/07/23 01:16 p. m. GMT -05:00</p>
<p>Caylloma, Arequipa, Perú Via sin nombre, Perú Lat -15.555513° Long -71.566306° 20/07/23 02:04 p. m. GMT -05:00</p>	<p>Caylloma, Arequipa, Perú Via sin nombre, Perú Lat -15.555513° Long -71.566306° 20/07/23 02:05 p. m. GMT -05:00</p>
Fisuras en bloque	
<p>Caylloma, Arequipa, Perú Via sin nombre, Perú Lat -15.555513° Long -71.566306° 20/07/23 02:17 p. m. GMT -05:00</p>	<p>Caylloma, Arequipa, Perú Via sin nombre, 04170, Perú Lat -15.554055° Long -71.569092° 20/07/23 12:38 p. m. GMT -05:00</p>

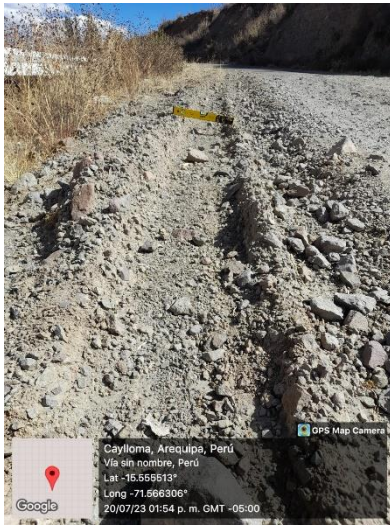
Baches



Depresión por falla geológica



Ahuellamiento



Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados



Fisuras transversales y longitudinales





CAPITULO V

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS

5. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS

En la Sección 1.7. se describió el tramo en estudio, el cual comprende 2.5 km. Además, en la Sección 2.3.4, se presentó el alcance teórico necesario para el desarrollo de los ensayos. En este capítulo se presentan los resultados:

5.1. Ubicación y extracción de las muestras

5.1.1. Ubicación de la muestra

La Figura 34 muestra la ubicación de las tres calicatas, cuyas coordenadas son las siguientes:

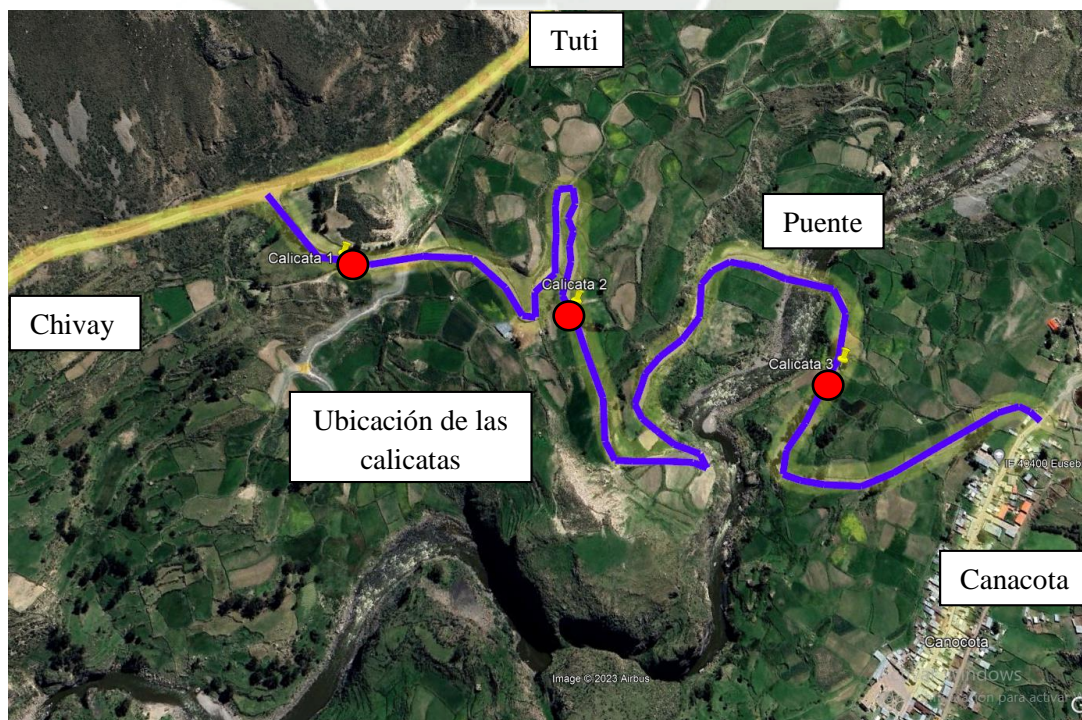
Calicata 1: $15^{\circ}33'16.2''S$ $71^{\circ}34'07.1''W$

Calicata 2: $15^{\circ}33'20.0''S$ $71^{\circ}33'56.9''W$

Calicata 3: $15^{\circ}33'24.6''S$ $71^{\circ}33'45.1''W$

Figura 34

Ubicación de las calicatas del tramo en estudio.



Nota. Vista panorámica de la vía de acceso a Canacota, por Google Earth, s.f

5.1.2. Extracción de la muestra

Tomando en consideración la Sección 4.2. de la Norma Suelos, geología, geotecnia y pavimentos (MTC, 2014), se realizó una calicata de 1.5 m de profundidad al lado de la vía de acceso al centro poblado Canacota como se observa en la Figura 35 para la realización de ensayos de laboratorio y clasificar al suelo de la subrasante. Para la extracción de las muestras base se realizó a través de una perforación a la carretera de estudio.

Figura 35

Calicata para el estudio de suelos de la carretera de estudio.



5.2. Descripción e identificación del Suelo

Al realizar las calicatas se identificó que la carretera en estudio está conformada por la subrasante, la base y la carpeta asfáltica con las siguientes dimensiones y especificaciones como se muestran en la Tabla 22, Tabla 23 y Tabla 24, respectivamente.

Leyenda:




-  Carpeta Asfáltica (5cm)
-  Base (25cm)
-  Subrasante (150cm)

Tabla 22

Perfil Estratigráfico – calicata 1.


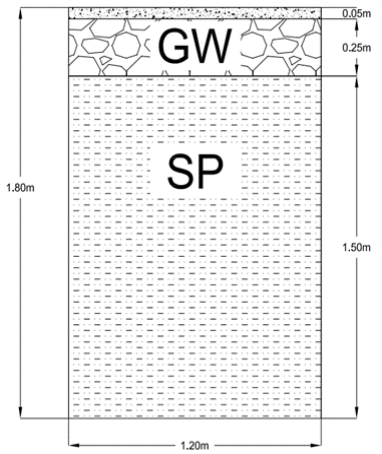
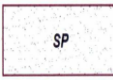
Gráfica	Profundidad (m)		Nivel freático (m)	Clasificación			Nro. De estrato	Descripción	Panel fotográfico						
	Númérica (m)	Acumulada (m)		Nomenclatura	Descripción	Leyenda									
■	0.05	0.05	NO PRESENTA	GW	GRAVA BIEN GRADUADA CON ARENA		Base	Grava bien gradada con arena (GW): siendo un 63% de grava, un 35% de arena y con presencia poco o nada (2%) de material fino. Con un tamaño máximo de 2" (50.8 mm) y plasticidad baja (IP=3). Condiciones In-Situ, de color rosado, consistencia firme, estructura homogénea							
	0.05	0.10													
■	0.05	0.15													
	0.05	0.20													
■	0.05	0.25													
	0.05	0.30													
■	0.20	0.30													
	0.20	0.50													
■	0.20	0.70								NO PRESENTA	SP	ARENA MAL GRADUADA CON GRAVA		Subrasante	Arena mal gradada con grava (SP): siendo un 75% de arena en su mayoría media y fina, un 23% de grava y con presencia poco o nada (1%) de material fino. Con un tamaño máximo de 1" (25.4mm) y plasticidad media (IP=8). Condiciones In-Situ, de color de color marrón pálido, consistencia firme, estructura homogénea.
	0.20	0.90													
■	0.20	1.10													
	0.20	1.30													
■	0.20	1.50													
	0.20	1.70													
■	0.10	1.80													

Tabla 23

Perfil Estratigráfico – calicata 2.



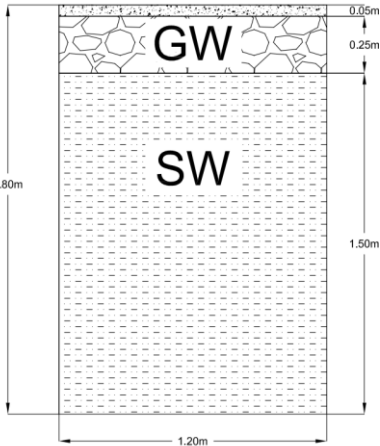














Gráfica	Profundidad (m)		Nivel freático (m)	Clasificación			Nro. De estrato	Descripción	Panel fotográfico
	Numérica (m)	Acumulada (m)		Nomenclatura	Descripción	Leyenda			
	0.05	0.05	NO PRESENTA	GW	GRAVA BIEN GRADUADA CON ARENA		Base	Grava bien gradada con arena (GW): siendo un 63% de grava, un 35% de arena y con presencia poco o nada (2%) de material fino. Con un tamaño máximo de 2" (50.8 mm) y plasticidad baja (IP=3). Condiciones In-Situ, de color rosado, consistencia firme, estructura homogénea	
	0.05	0.10							
	0.05	0.15							
	0.05	0.20							
	0.05	0.25							
	0.05	0.30	NO PRESENTA	SW	ARENA BIEN GRADUADA CON GRAVA		Subrasante	Arena bien gradada con grava (SW): siendo un 66% de arena en su mayoría gruesa y media, un 32% de grava y 2% de material fino. Con un tamaño máximo de 1" (25.4mm) y plasticidad media (IP=8). Condiciones In-Situ, de color de color marrón pálido, consistencia firme, estructura homogénea.	
	0.20	0.30							
	0.20	0.50							
	0.20	0.70							
	0.20	0.90							
	0.20	1.10							
	0.20	1.30							
	0.20	1.50							
	0.20	1.70							
	0.10	1.80							

Tabla 24

Perfil Estratigráfico – calicata 3.

Gráfica	Profundidad (m)		Nivel freático (m)	Clasificación			Nro. De estrato	Descripción	Panel fotográfico
	Númérica (m)	Acumulada (m)		Nomenclatura	Descripción	Leyenda			
	0.05	0.05	NO PRESENTA	GW	GRAVA BIEN GRADUADA CON ARENA		Base	Grava bien gradada con arena (GW): siendo un 63% de grava, un 35% de arena y con presencia poco o nada (2%) de material fino. Con un tamaño máximo de 2" (50.8 mm) y plasticidad baja (IP=3). Condiciones In-Situ, de color rosado , consistencia firme, estructura homogénea	
	0.05	0.10							
	0.05	0.15							
	0.05	0.20							
	0.05	0.25							
	0.05	0.30							
	0.20	0.30							
	0.20	0.50							
	0.20	0.70							
	0.20	0.90							
0.20	1.10								
0.20	1.30								
0.20	1.50								
0.20	1.70	0.10	1.80						

5.3. Realización de Ensayos de laboratorio

La referencia teórica para el desglose de esta parte de la investigación se presentó en la Sección 2.3.4, desde la cual se detalla el procedimiento seguido a continuación. Se detalla en la Tabla 25 los ensayos realizados a cada calicata, donde SR es subrasante y B significa base.

Tabla 25

Ensayos realizados a cada calicata.

Ensayo	Calicata 01	Calicata 02	Calicata 03
Análisis Granulométrico MTC E107	SR & B	SR	SR
Det. Límite Líquido MTC E 110	SR & B	SR	SR
Det. del L. Plástico e Índ. Plástico MTC E 111	SR & B	SR	SR
Gravedad especif. con picnómetro MTC E 113	SR & B		
Peso específico y abs. de AG. MTC E 206	SR & B		
Proctor Modif. para CBR MTC E 115	SR & B		
CBR MTC E 132	SR & B		
Equivalente de Arena MTC E 114	B		
Sales solubles Totales MTC E 219	B		
Durabilidad Sulfato de magnesio MTC E 209	B		
Caras fracturadas MTC E 210	B		
Abrasión de los Ángeles MTC E 207	B		
Partículas Chatas y alargadas MTC E 223	B		

5.3.1. Para la subrasante

Las muestras extraídas fueron llevadas al laboratorio para clasificar el suelo de la subrasante en términos físico – mecánicos. Tomando en cuenta el Manual de Ensayos de Materiales (MTC, 2016) se realizaron los siguientes ensayos para su evaluación:

5.3.1.1. Análisis Granulométrico por tamizado MTC E 107

Para la elaboración de este ensayo la preparación de muestras estuvo constituida por dos fracciones: una retenida por el tamiz n°4 y otra pasante por dicho tamiz. Los resultados para las tres calicatas se presentan a continuación: (Tabla 26, Tabla 27 y Tabla 28; y además la Figura 36, Figura 37, Figura 38, Figura 39 y Figura 40).

- **Cantera: calicata n°01**
- Masa total antes de la separación: 10649g
- Masa total seca <N°4: 444.62g

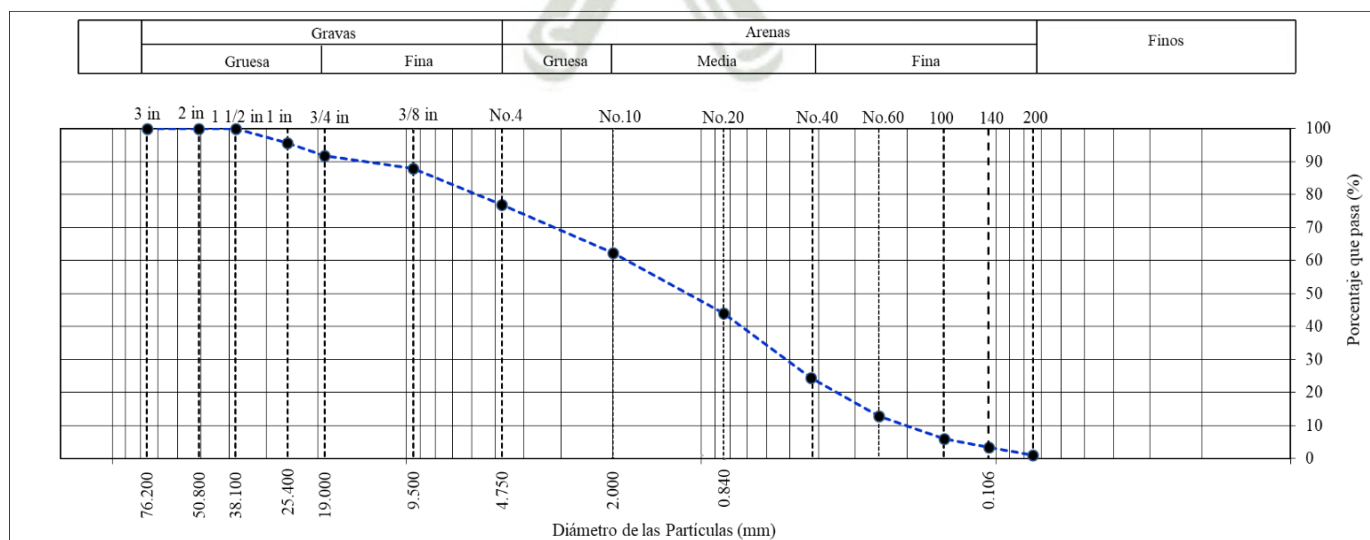
Tabla 26

Análisis Granulométrico por tamizado de la subrasante calicata 01.

N° Tamiz	Diámetro (mm)	Fracción Gruesa (0,1g)	Fracción Fina (0,01g)	% Parcial Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
3 in.	76.200	0.0		0.0	0.0	100.0
2 in.	50.800	0.0		0.0	0.0	100.0
1 -1/2 in.	38.100	0.0		0.0	0.0	100.0
1 in.	25.400	465.0		4.4	4.4	95.6
3/4 in.	19.000	409.0		3.8	8.2	91.8
3/8 in.	9.500	425.0		4.0	12.2	87.8
No. 4	4.750	1163.0		10.9	23.1	76.9
No. 10	2.000		84.05	14.5	37.6	62.4
No. 20	0.840		105.43	18.2	55.8	44.2
No. 40	0.425		113.14	19.6	75.4	24.6
No. 60	0.250		67.65	11.7	87.1	12.9
No. 100	0.150		40.26	7.0	94.1	5.9
No. 140	0.106		15.05	2.6	96.7	3.3
No. 200	0.075		13.67	2.4	99.1	0.9
Fondo	-		5.37	0.9	100.0	0.0

Figura 36

Curva granulométrica para subrasante calicata 01.



- Grava: 23.1%
- Arena: 76.0%
- Finos: 0.9%

Debido a que el porcentaje pasante de finos es menor al 5% se calculara el coeficiente de curvatura y el coeficiente de uniformidad para saber si el suelo está bien o mal gradado.

- D_{10} : 0.207 mm
- D_{30} : 0.534 mm
- D_{60} : 1.871 mm

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 9.04$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = 0.74$$

El coeficiente de uniformidad cumple, mientras el coeficiente de curvatura no cumple, por lo tanto, se considera mal gradado.

Figura 37

Ensayo análisis granulométrico para Subrasante calicata 01.



Nota. Se muestra en: a) la fracción gruesa b) la fracción fina.

- **Cantera: calicata n°02**
- Masa total antes de la separación: 12632g
- Masa total seca <N°4: 748.5g

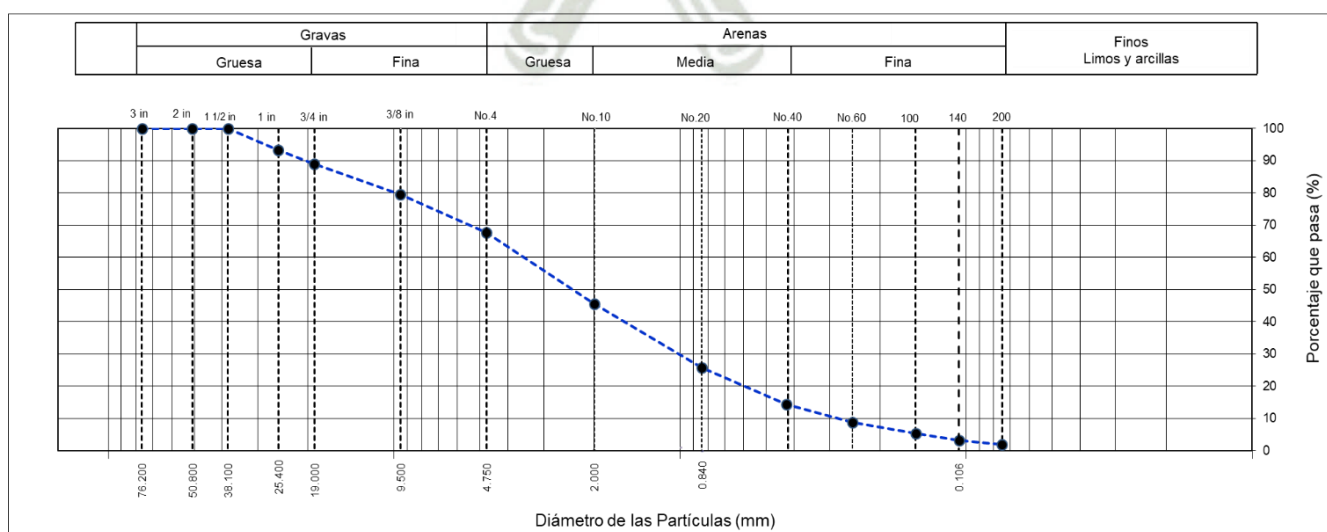
Tabla 27

Análisis Granulométrico por tamizado de la subrasante calicata 02.

N° Tamiz	Diámetro (mm)	Fracción Gruesa (0,1g)	Fracción Fina (0,01g)	% Parcial Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
3 in.	76.200	0.0		0.0	0.0	100.0
2 in.	50.800	0.0		0.0	0.0	100.0
1 -1/2 in.	38.100	0.0		0.0	0.0	100.0
1 in.	25.400	938.0		6.6	6.6	93.4
3/4 in.	19.000	463.0		4.5	11.1	88.9
3/8 in.	9.500	1187.0		9.4	20.5	79.5
No. 4	4.750	1496.5		11.8	32.3	67.7
No. 10	2.000		244.99	22.1	54.5	45.5
No. 20	0.840		218.16	19.7	74.2	25.8
No. 40	0.425		126.73	11.5	85.7	14.3
No. 60	0.250		61.37	5.5	91.2	8.8
No. 100	0.150		39.14	3.5	94.7	5.3
No. 140	0.106		23.16	2.1	96.8	3.2
No. 200	0.075		14.72	1.3	98.2	1.8
Fondo	-		20.23	1.8	100.0	0.0

Figura 38

Curva granulométrica para subrasante calicata 02.



- Grava: 32.3%
- Arena: 65.9%
- Finos: 1.8%

Debido a que el porcentaje pasante de finos es menor al 5% se calculara el coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura para saber si el suelo está bien o mal gradado.

- D₁₀: 0.288 mm
- D₃₀: 1.09 mm
- D₆₀: 3.79 mm

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 13.17$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = 1.74$$

Se determinó que ambos coeficientes cumplen, por lo tanto, se considera bien gradado.

- **Cantera: calicata n°03**
- Masa total antes de la separación: 9359.0g
- Masa total seca <N°4: 369.34g

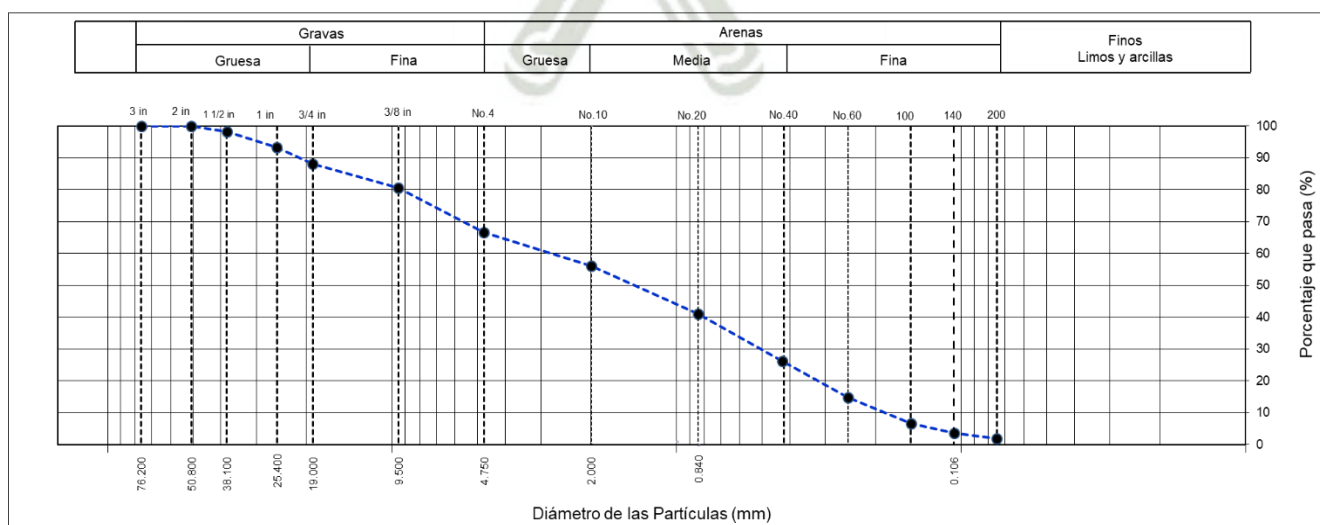
Tabla 28

Análisis Granulométrico por tamizado de la subrasante calicata 03.

N° Tamiz	Diámetro (mm)	Fracción Gruesa (0,1g)	Fracción Fina (0,01g)	% Parcial Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
3 in.	76.200	0.0		0.0	0.0	100.0
2 in.	50.800	0.0		0.0	0.0	100.0
1 -1/2 in.	38.100	160.0		0.0	1.7	98.3
1 in.	25.400	478.0		6.6	6.8	93.2
3/4 in.	19.000	466.0		4.5	11.8	88.2
3/8 in.	9.500	712.0		9.4	19.4	80.6
No. 4	4.750	1300.0		11.8	33.3	66.7
No. 10	2.000		58.43	22.1	43.8	56.2
No. 20	0.840		84.30	19.7	59.1	40.9
No. 40	0.425		81.54	11.5	73.8	26.2
No. 60	0.250		63.42	5.5	85.3	14.7
No. 100	0.150		45.38	3.5	93.4	6.6
No. 140	0.106		16.78	2.1	96.5	3.5
No. 200	0.075		9.38	1.3	98.2	1.8
Fondo	-		20.23	1.8	100.0	0.0

Figura 39

Curva granulométrica para subrasante calicata 03.



- Grava: 33.3%
- Arena: 64.9%
- Finos: 1.8%

Debido a que el porcentaje pasante de finos es menor al 5% se calculó el coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura para saber si el suelo está bien o mal gradado.

- D_{10} : 0.192 mm
- D_{30} : 0.532 mm
- D_{60} : 2.995 mm

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 15.60$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = 0.49$$

El coeficiente de uniformidad cumple, mientras el coeficiente de curvatura no cumple, por lo tanto, se considera mal gradado.

Figura 40

Ensayo análisis granulométrico para Subrasante calicata 03.



Nota. Se muestra en: a) la fracción gruesa b) la fracción fina.

5.3.1.2. Determinación del límite líquido y límite plástico MTC E 110-111.

Se determinaron los límites de consistencia para la subrasante calicata 01(ver Tabla 29 y Figura 41).

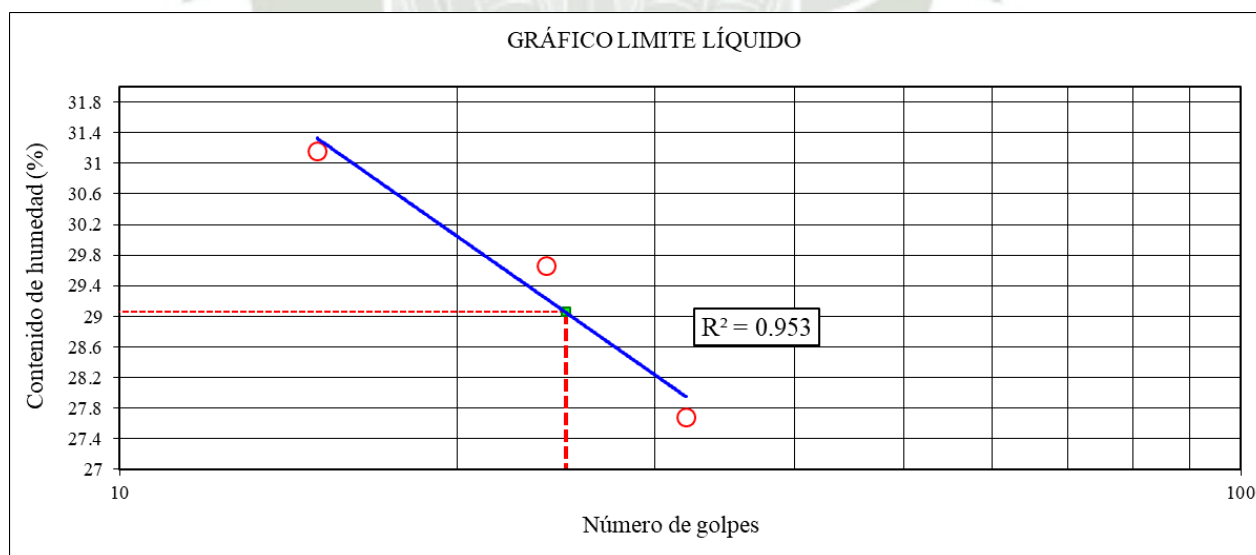
Tabla 29

Límites de consistencia para subrasante calicata 01.

Límites de consistencia						
		Límite líquido			Límite Plástico	
		1	2	3	1	2
Muestra		1	2	3	1	2
Nº Golpes		32	24	15	-	-
Peso de tara	g	11.05	11.06	11.08	11.11	11.09
Peso suelo húmedo + tara	g	21.89	19.19	18.74	16.65	16.83
Peso de suelo seco	g	19.54	17.33	16.92	15.67	15.82
Peso agua	g	2.35	1.86	1.82	0.98	1.01
Contenido de humedad	%	27.68	29.67	31.16	21.49	21.35

Figura 41

Gráfico Limite Líquido para subrasante calicata 01.



- Límite Líquido (LL) = 29
- Límite Plástico (LP) = 21
- Índice de Plasticidad (IP) = 8

Se determinaron los límites de consistencia para la subrasante calicata 02 (ver Tabla 30 y Figura 42).

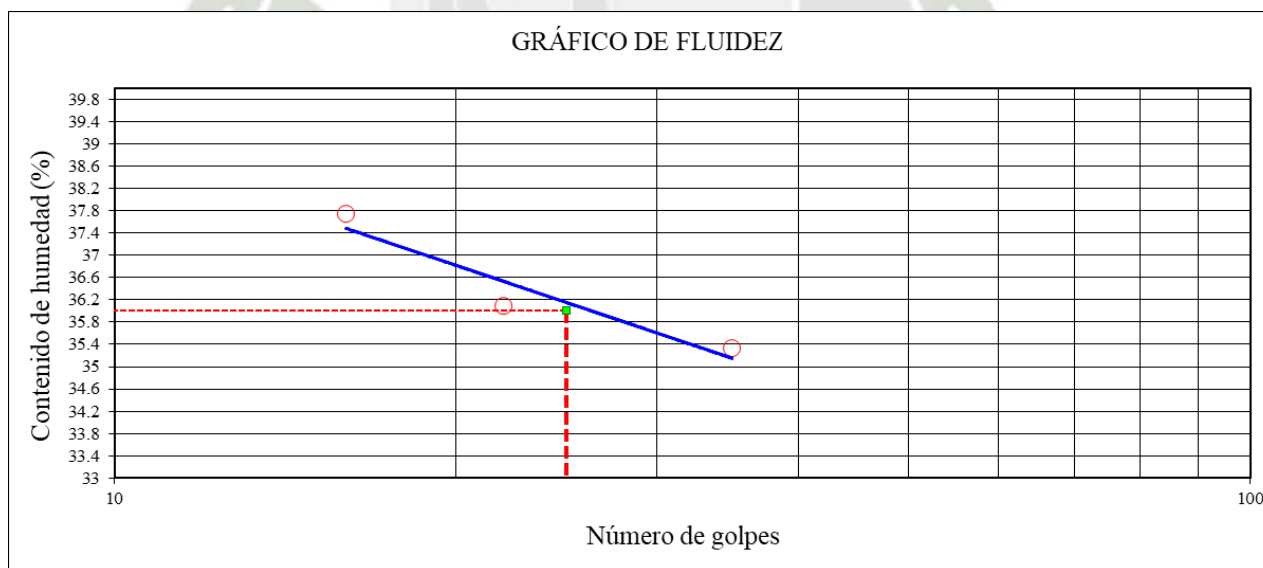
Tabla 30

Límites de consistencia para subrasante calicata 02.

Límites de consistencia						
		Límite líquido			Límite Plástico	
Muestra		1	2	3	1	2
Nº Golpes		35	22	16	-	-
Peso de tara	g	13.84	13.96	14.03	14.19	14.14
Peso suelo húmedo + tara	g	31.00	35.38	29.65	19.63	20.36
Peso de suelo seco	g	26.52	29.70	25.37	18.43	19.04
Peso agua	g	4.48	5.68	4.28	1.20	1.32
Contenido de humedad	%	35.33	36.09	37.74	28.30	26.94

Figura 42

Gráfico Limite Líquido para subrasante calicata 02.



- Límite Líquido (LL) = 36
- Límite Plástico (LP) = 28
- Índice de Plasticidad (IP) = 8

Se determinaron los límites de consistencia para la subrasante calicata 03 (ver Tabla 31 y Figura 43).

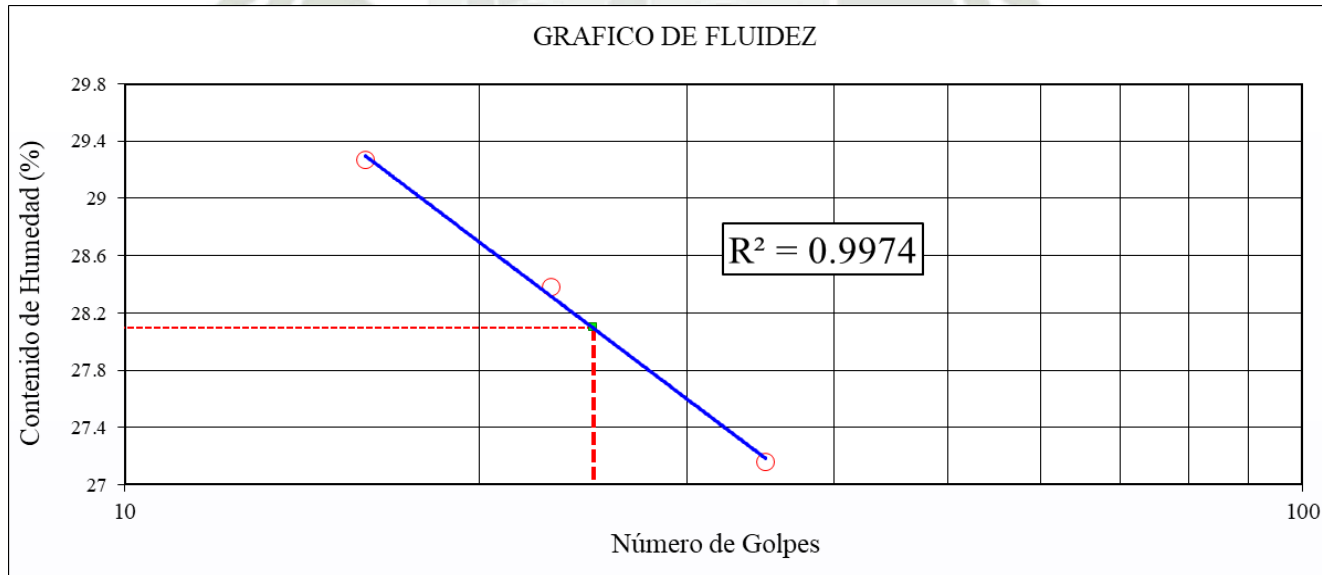
Tabla 31

Límites de consistencia para subrasante calicata 03.

Límites de consistencia						
Muestra		Límite líquido			Límite Plástico	
		1	2	3	1	2
Nº Golpes		35	23	16	-	-
Peso de tara	g	14.11	14.30	13.85	13.65	13.72
Peso suelo húmedo + tara	g	23.99	27.78	29.00	17.46	19.73
Peso de suelo seco	g	21.88	24.80	25.57	16.73	18.60
Peso agua	g	2.11	2.98	3.43	0.73	1.13
Contenido de humedad	%	27.16	28.38	29.27	23.70	23.16

Figura 43

Gráfico Limite Líquido para subrasante calicata 03.



- Límite Líquido (LL) = 28
- Límite Plástico (LP) = 23
- Índice de Plasticidad (IP) = 5

Figura 44

Ensayo determinación del Límite Líquido .



Nota. Se muestra en: a) antes b) después de ranurar con el acanalador.

Figura 45

Ensayo determinación del Límite Plástico.



Nota. Se muestra en: a) y b) formación de barritas de suelo.

Figura 46

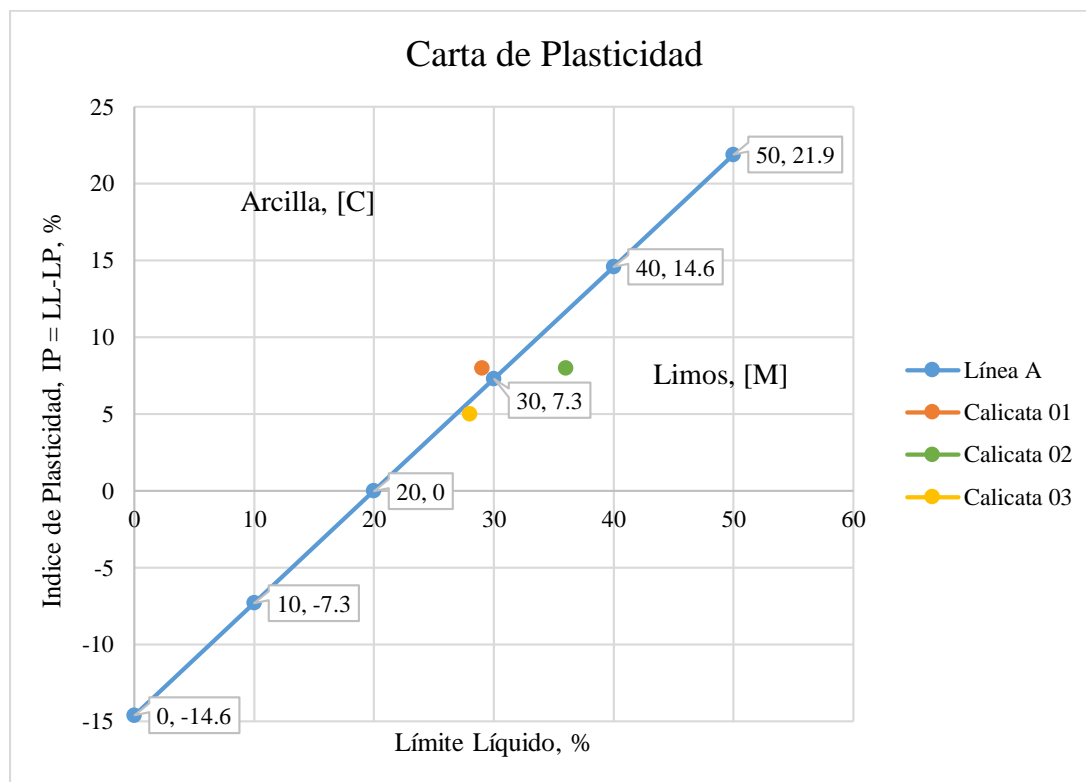
Ensayo Límite Plástico- después del secado en horno.



La Figura 44, Figura 45 y Figura 46 muestran el panel fotográfico de la elaboración de los ensayos límite líquido y límite plástico.

Figura 47

Carta de Plasticidad – Subrasante.



De la Figura 47 se interpreta que la fracción fina de la subrasante para la calicata 1, es arcilloso con baja plasticidad y para la calicata 2 y 3, es limo con baja plasticidad.

5.3.1.3. Gravedad específica de sólidos de suelos mediante el picnómetro de agua MTC E 113

Este ensayo se realizó para el suelo pasante por el tamiz N°4, dando como resultados los siguientes datos (ver Tabla 32 y Figura 48):

Tabla 32

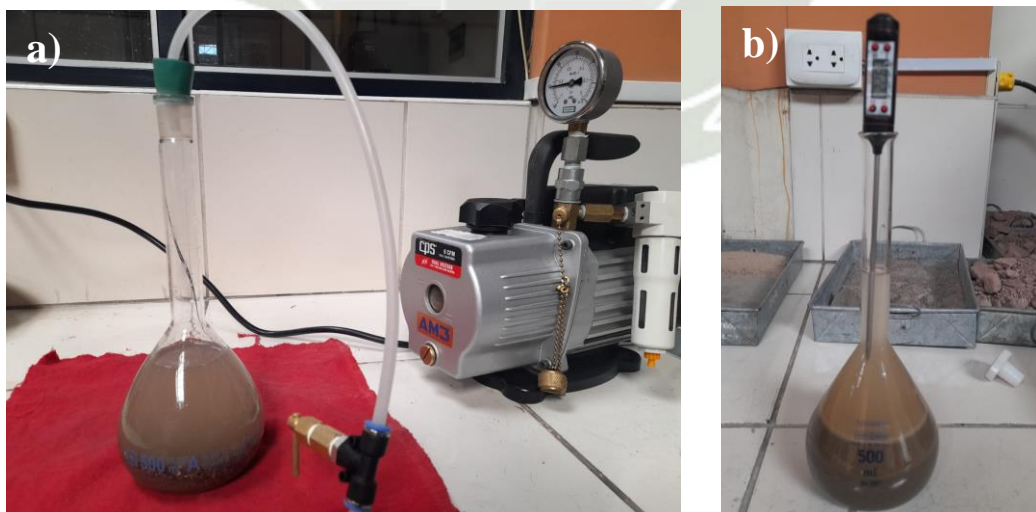
Resultados de gravedad específica de agregado fino.

Número de fiola	Unid.	A	B	C
Peso de suelo seco	g	500.00	200.00	150.00
Peso de fiola + agua destilada	g	671.13	671.53	671.13
Peso de fiola + agua destilada + suelo	g	984.10	796.23	765.12
Temperatura	°C	22.7	26.9	24.7
Coeficiente de corrección a 20°C	-	0.99941	0.99834	0.99892
Peso específico de sólidos	-	2.67	2.66	2.68
Gravedad específica de sólidos	-	2.67	2.65	2.68

Promedio = 2.67

Figura 48

Ensayo gravedad específica mediante picnómetro de agua.



Nota. Se muestra en: a) extracción de aire mediante bomba de vacíos y b) toma de temperatura.

5.3.1.4. Peso específico y absorción de agregados gruesos MTC E 206

Se determinaron el peso específico y la absorción de agregados grueso para la subrasante calicata 01 (ver Tabla 33, Tabla 34 y Figura 49).

Tabla 33

Masas para el ensayo Grav. Esp. de agregado grueso.

Datos de Prueba		
A	Masa de la muestra seca en el horno	2989.0 g
B	Masa de la muestra al aire SSD	3006.0 g
C	Masa de la muestra sumergida	1827.0 g

Tabla 34

Resultados del ensayo gravedad específica de agregado grueso.

Resultados	
Densidad Relativa (Gravedad específica OD)	2.52
Densidad Relativa (Gravedad específica SSD)	2.57
Densidad Relativa Aparente (Gravedad específica)	2.66
Absorción (%)	2.00

Figura 49

Ensayo peso específico y absorción de agregados gruesos.



5.3.1.5. Proctor Modificado para CBR MTC E 115.

Se halló la máxima densidad seca, el máximo peso unitario seco y el óptimo contenido de agua para el ensayo de CBR. (ver Tabla 35, Tabla 36, Tabla 37, Tabla 38 y Figura 50).

Tabla 35

Determinación de la densidad húmeda para Proctor Modif.

N° de molde		1	2	3	4	5
Volumen del molde*	(1cm ³)	2156	2156	2156	2156	2156
Nro. de Capas	(1)	5	5	5	5	5
Nro. de Golpes	(1)	56	56	56	56	56
Peso del molde	(1g)	6670	6670	6670	6670	6670
Peso del suelo compactado + molde	(1g)	11068	11196	11487	11452	11378
Peso del suelo compactado	(1g)	4398	4526	4817	4782	4708
Densidad húmeda	(0.01g/cm ³)	2.040	2.099	2.234	2.218	2.183

Tabla 36

Det. de la humedad y densidad seca para Proctor Modif.

		1	2	3	4	5
Peso del recipiente	(0.1g)	122.2	127.4	159.6	115.5	104.4
Peso del suelo húmedo + recipiente	(0.1g)	647.2	627.9	660.1	616.0	604.6
Peso del suelo seco + recipiente	(0.1g)	623.6	598.3	617.5	568.0	553.8
Peso del agua	(0.1g)	23.6	29.6	42.6	48.0	50.9
Peso del suelo seco	(0.1g)	501.4	470.9	457.9	452.5	449.4
Contenido de humedad	(0.1%)	4.70	6.29	9.31	10.61	11.32
Densidad seca	(0.01g/cm ³)	1.95	1.97	2.04	2.01	1.96
Peso Unitario Seco	(0.1kN/m³)	19.10	19.36	20.04	19.66	19.23

Tabla 37

Determinación de gravedad específica para curva de saturación.

Fracción dimensionada (pasa 3/4"- ret. Nro. 4)	% en peso de fracción	24.12 %
	Grav. Especifica aparente	2.55
Fracción que pasa tamiz Nro. 4	% en peso de fracción	75.88%
	Grav. Especifica aparente	2.67
Fracción dimensionada + pasante Nro. 4	Grav. Especifica aparente	2.64

Figura 50

Curva de compactación del ensayo Proctor Modificado para CBR.

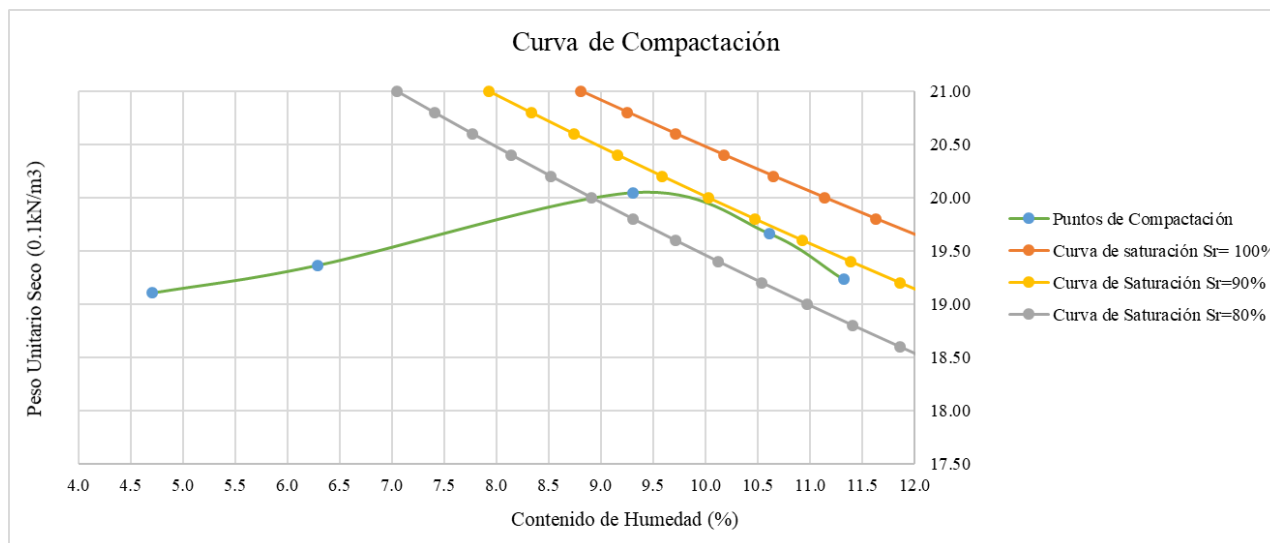


Tabla 38

Resultados del ensayo Proctor Modificado para CBR.

Corrección ASTM D4718	
Máxima densidad seca	2.046 g/cm ³
Máximo peso unitario seco	20.07 kN/m ³
Humedad optima	9.6 %

* Los datos del volumen del molde son:

D (mm)=153.66mm, 153.62mm, 153.61mm
 H (mm)= 116.38mm, 116.34mm, 116.24mm
 V(cm³) =2156.24cm³

5.3.1.6. CBR MTC E 132

Se determinó el CBR de manera tradicional a 4 días de inmersión y con 3 energías de compactación: 12gol/c, 26gol/c y 55gol/c; a 0.1” y 0.2” de deformación (Tabla 39 y Figura 51).

Tabla 39

Ensayo CBR a 4 días de inmersión.

I.- COMPACTACION Y DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD HÚMEDA									
Muestra		M-01		M-02		M-03			
Nro. de Capas	(1)	5		5		5			
Nro. de Golpes	(1)	12		26		55			
		No Saturada	Saturada	No Saturada	Saturada	No Saturada	Saturada		
Volumen del molde:	(1cm ³)	-	2120	-	2119	-	2123		
Peso del molde	(1g)	-	4915	-	4196	-	4972		
Peso del suelo compac + molde	(1g)	-	9431	-	8779	-	9734		
Peso del suelo compactado	(1g)	-	4516	-	4583	-	4762		
Densidad húmeda	(0.01g/cm ³)	-	2.130	-	2.163	-	2.243		
II.- DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD Y DENSIDAD SECA									
		M-01		M-02		M-03			
		No Saturada	Saturada	No Saturada	Saturada	No Saturada	Saturada		
Peso del recipiente	(0.1g)	-	133.3	-	55.3	-	54.7		
Peso del suelo húmedo + recipiente	(0.1g)	-	585.7	-	394.3	-	214.1		
Peso del suelo seco + recipiente	(0.1g)	-	545.7	-	365.2	-	200.2		
Peso del agua	(0.1g)	-	40.1	-	29.2	-	13.9		
Peso del suelo seco	(0.1g)	-	412.4	-	309.9	-	145.5		
Contenido de humedad	(0.1%)	-	9.7	-	9.4	-	9.6		
Densidad seca	(0.01g/cm ³)	-	1.94	-	1.98	-	2.05		
Peso Unitario Seco	(0.1kN/m³)	-	19.04	-	19.39	-	20.07		
III.- DETERMINACIÓN DE LA EXPANSION									
			Dial 1		Dial 2		DIAL 3		
Fecha	Hora	Tiempo 1h	Lectura mm	Expansión %	Lectura mm	Expansión %	Lectura mm	Expansión %	
26/09/2023	12:30	0	-	-	-	-	-	-	
27/09/2023	12:30	24	0.85	0.7	2.04	1.6	2.46	1.9	
28/09/2023	12:30	48	1.36	1.1	2.86	2.3	3.81	3.0	
29/09/2023	12:30	72	1.94	1.5	3.65	2.9	4.68	3.7	
30/09/2023	12:30	96	2.10	1.7	4.01	3.2	5.39	4.2	
IV.- PENETRACIÓN									
Penetración	Velocidad	Tiempo de carga	Carga Estándar	M -01		M -02		M -03	
mm	mm/min	min	kgf/cm ²	kgf	Corrección	kgf	Corrección	kgf	Corrección

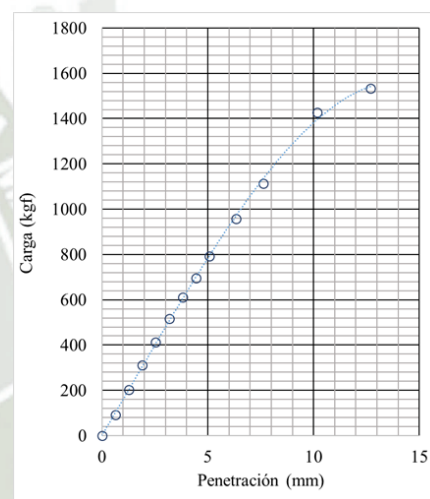
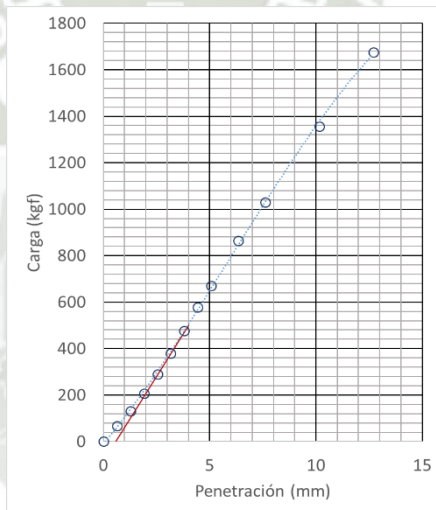
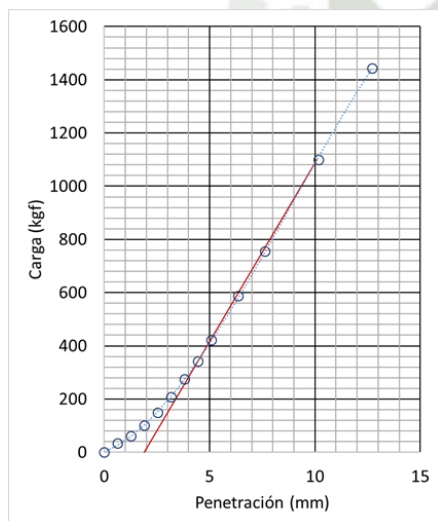
0.00	1.27	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
0.64	1.27	0.5	33.9	67.7	131.0	202.8	312.5	412.5	-
1.27	1.27	1.0	61.0	101.5	131.0	207.0	288.4	356.1	-
1.91	1.27	1.5	101.5	149.6	207.0	288.4	356.1	412.5	-
2.54	1.27	2.0	70.31	149.6	321.5	288.4	356.1	412.5	-
3.18	1.27	2.5		208.2	380.0	477.1	578.4	696.5	
3.81	1.27	3.0		274.5	477.1	578.4	696.5	793.6	-
4.45	1.27	3.5		342.0	578.4	696.5	793.6	958.2	
5.08	1.27	4.0	105.46	421.4	637.6	671.2	719.2	793.6	-
6.35	1.27	5.0		587.2	865.3	1029.9	1357.4	1426.6	
7.62	1.27	6.0		756.0	1029.9	1357.4	1675.6	1532.1	
10.16	1.27	8.0		1100.4	1357.4	1675.6			
12.70	1.27	10.0		1444.3	1675.6				

V.- GRÁFICAS CBR

12 gol/cap.

26 gol/cap.

55 gol/cap.



CBR a 0.1"	1%	23
CBR a 0.2"	1%	31

CBR a 0.1"	1%	26
CBR a 0.2"	1%	35

CBR a 0.1"	1%	30
CBR a 0.2"	1%	38

Figura 51

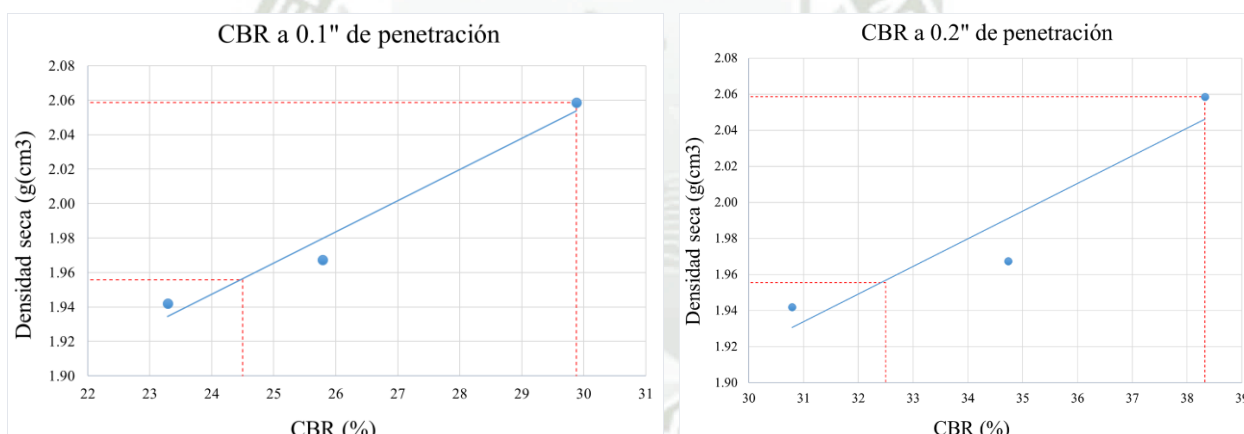
Ensayo CBR con 4 días de inmersión.



Tabla 40

Resultados del ensayo CBR a 4 días de inmersión

RESULTADOS DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Método de compactación			Proctor Modificado para CBR			
Densidad Seca		0.01g/cm ³			2.05	
95% de la Densidad Seca		0.01g/cm ³			1.95	
Contenido de Humedad		0.1%			9.6	
RESULTADOS DEL ENSAYO CBR						
Nro. de golpes	Contenido de humedad	Densidad seca	% Compactación	% de expansión	CBR 0.1"	CBR 0.2"
1	0.1%	0.01g/cm³	(%)	(%)	(%)	(%)
12	9.7	1.94	94	1.7	23	31
26	9.4	1.98	96	3.2	26	35
55	9.6	2.05	100	4.2	30	38



CBR a 0.1" al 100% de M.D.S.	30%	CBR a 0.1" al 100% de M.D.S.	38%
CBR a 0.1" al 95% de M.D.S.	24%	CBR a 0.1" al 95% de M.D.S.	33%

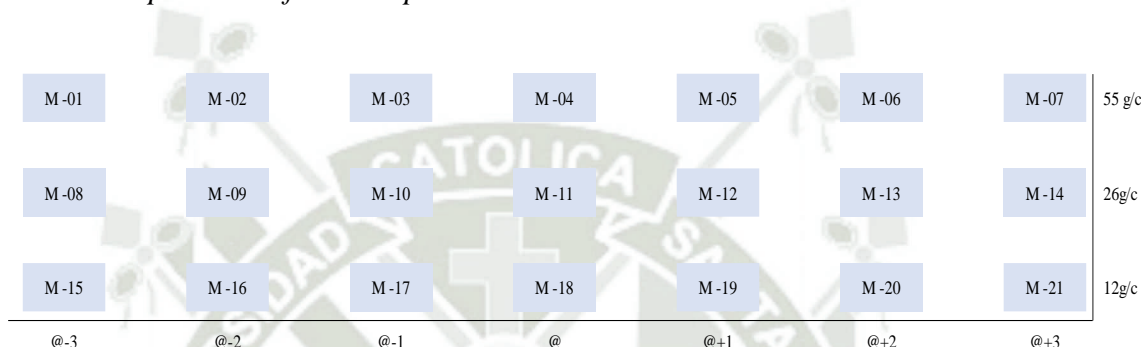
Los resultados del ensayo se detallan en la Tabla 40, de acuerdo a la normativa Suelos geología, geotecnia y pavimentos (MTC, 2014), donde se refiere al CBR requerido de diseño al 95% de la M.D.S. y a una penetración de carga de 2.54mm (0.1"), con lo cual en conformidad a los resultados del ensayo CBR (Tabla 43), el mínimo CBR requerido es 24% para la subrasante de estudio.

$$CBR_{\text{mínimo}} = 24\%$$

Para la metodología RAMCODES descrita en la sección 2.3.5, el cálculo de CBR se determinó en principio mediante un experimento factorial de 21 especímenes. Se seleccionó un intervalo de 1% aproximadamente para la variación del contenido de agua con respecto al óptimo (Tabla 12) como se ve en la Figura 52, entendiéndose por @ como la humedad óptima.

Figura 52

Esquema del experimento factorial para CBR.



A partir de este experimento factorial de tres factores (energía de compactación) con siete niveles de tratamiento (contenido de agua) se obtuvieron 21 estados de compactación para el análisis. La capacidad de resistencia (CBR) se midió en 21 estados de compactación diferentes (diferente peso unitario seco y diferente contenido de agua) a una velocidad de penetración y una sobrecarga constantes, y además en una condición “tal como se compacto”.

Trazado de datos:

Con los resultados del experimento factorial mostrados en la Tabla 41 (ver Anexo B para el desarrollo de cada CBR), se obtuvieron gráficos de superficie de respuesta “Mapa de resistencia” que vinculan las variables contenido de agua (eje X), peso unitario seco (eje Y) y CBR (eje Z), utilizando un software comercial OriginPro versión 2020.

Generación del espectro de curvas de diseño:

Las curvas de diseño se obtuvieron cruzando las curvas de contorno CBR del mapa de resistencia con curvas de diferentes grados de saturación. La Figura 53 describe el comportamiento tridimensional del contenido de agua, peso unitario seco y la resistencia.

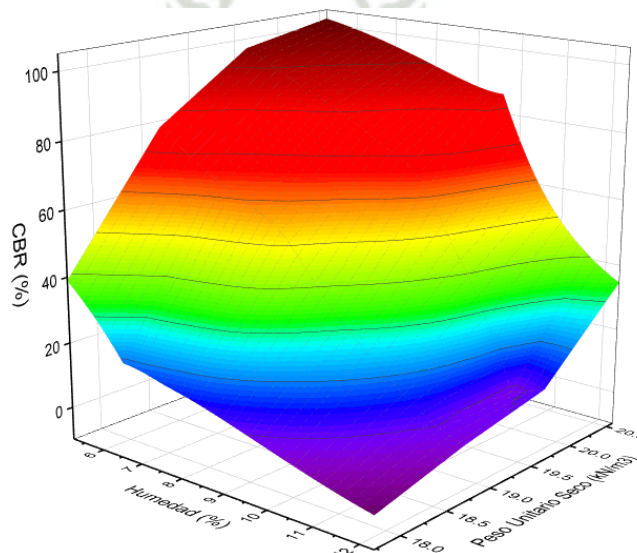
Tabla 41

Resultados del experimento factorial CBR.

Numero de golpes por capa	Contenido de agua (%)	Peso unitario seco (kN/m ³)	CBR (%)
55 golpes/ capa	5.2	19.09	97.2
	5.9	19.12	79.8
	8.6	19.78	71.8
	9.6	20.08	77.3
	10.2	19.95	30.9
	11.6	19.63	7.9
	12.2	19.51	14.1
26 golpes/ capa	5.6	18.12	49.8
	6.3	18.30	54.2
	8.3	18.91	68.9
	9.5	19.41	74.8
	10.6	19.66	39.8
	11.5	19.45	27.7
	12.0	19.49	9.9
12 golpes/ capa	6.6	17.73	19.0
	7.6	17.85	19.7
	8.7	18.47	34.3
	9.5	18.91	40.7
	10.9	19.23	31.2
	11.2	19.17	17.5
	12.3	19.05	9.6

Figura 53

Superficie de respuesta del suelo de la subrasante.



De la Figura 54, se verifica que a medida que se incrementa la energía de compactación, el peso unitario seco máximo también aumenta y el contenido óptimo de humedad disminuye en cierta medida siguiendo la tendencia descrita en el libro Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (Das, 2013).

Figura 54

Curvas de compactación del experimento factorial CBR.

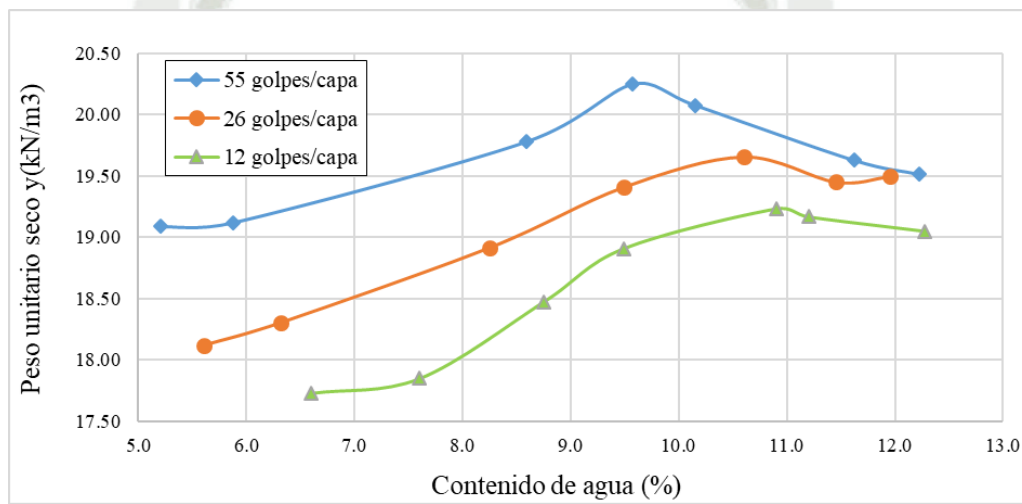
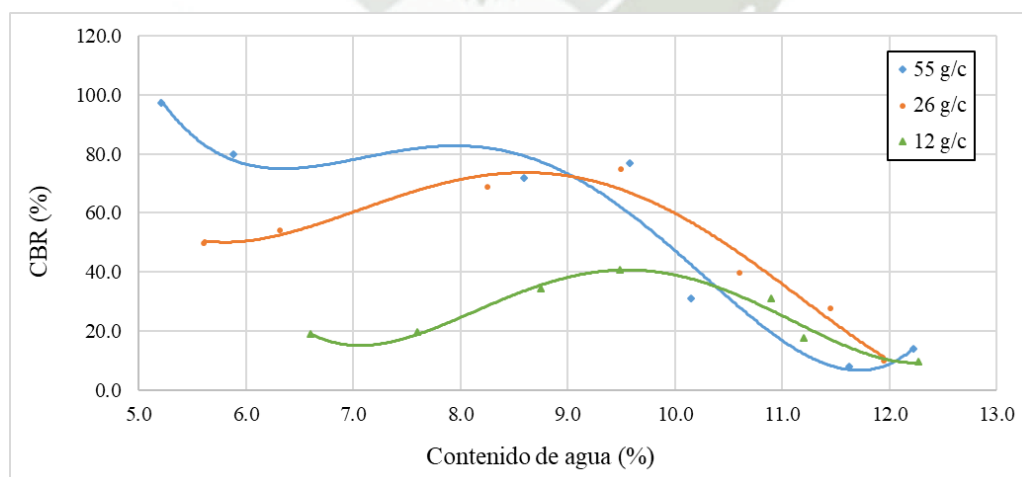


Figura 55

Curvas de resistencia CBR del experimento factorial CBR.



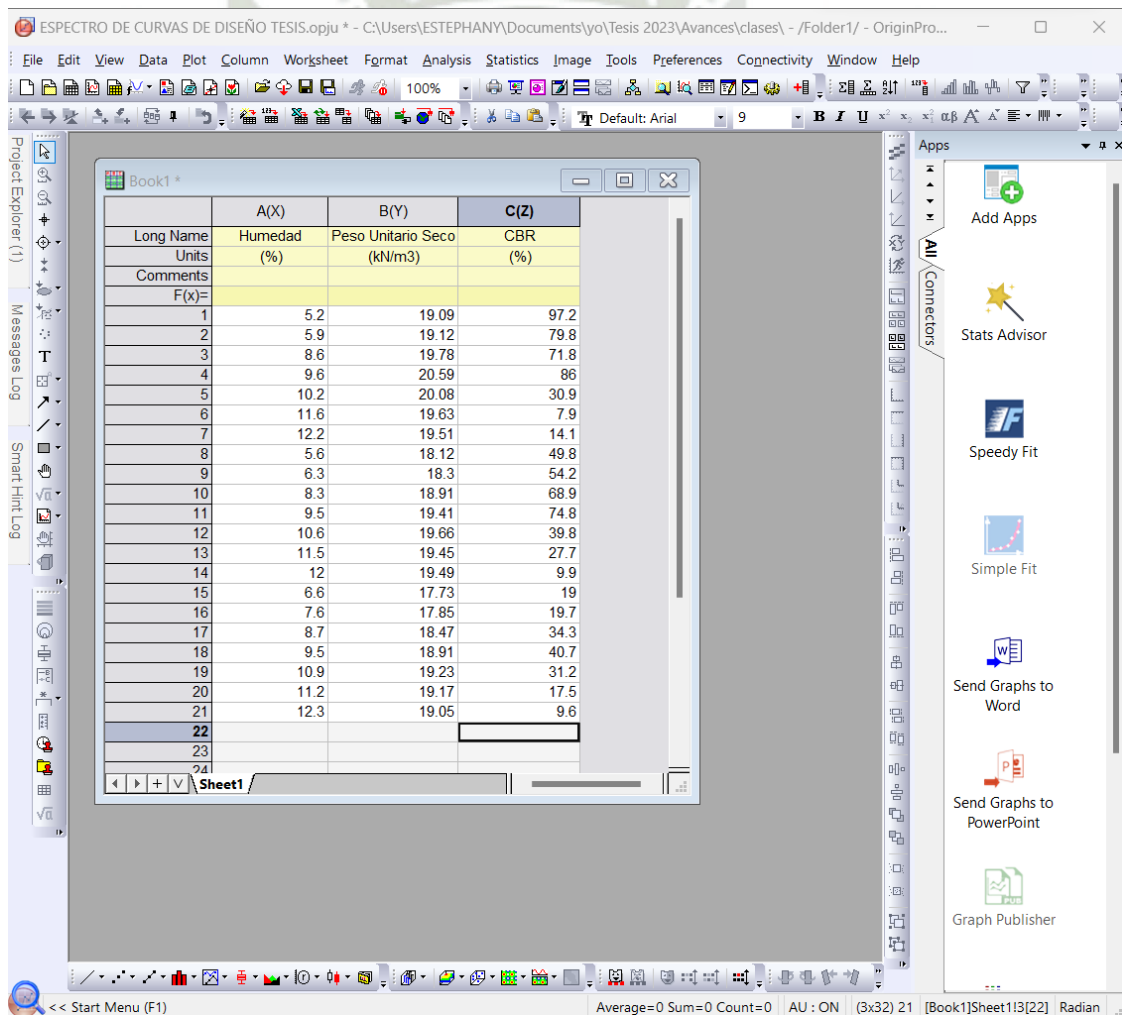
Sin embargo, al observar las dos figuras (Figura 54 y Figura 55), se ve que las mayores resistencias no se producen cuando el suelo tiene un peso unitario seco igual al máximo y un contenido de agua igual al óptimo, sino que se ocasionan cuando el suelo tiene un contenido de agua inferior que el óptimo.

(a) Procesamiento en Origin Pro

Al abrir un proyecto nuevo de Origin Pro, se observa que se muestra una tabla con dos columnas, se procedió a añadir una columna con el atajo Ctrl +D, o haciendo click en las opciones “Column” >> “Add New Columns”, y se les dio nombres a las columnas A, B y C como contenido de agua (%), densidad seca (g/cm³) y CBR (%), respectivamente. Se convierte la tercera columna C(Y) en C(Z), seleccionando “Column”>>” Set As” >> “Z” (Figura 56).

Figura 56

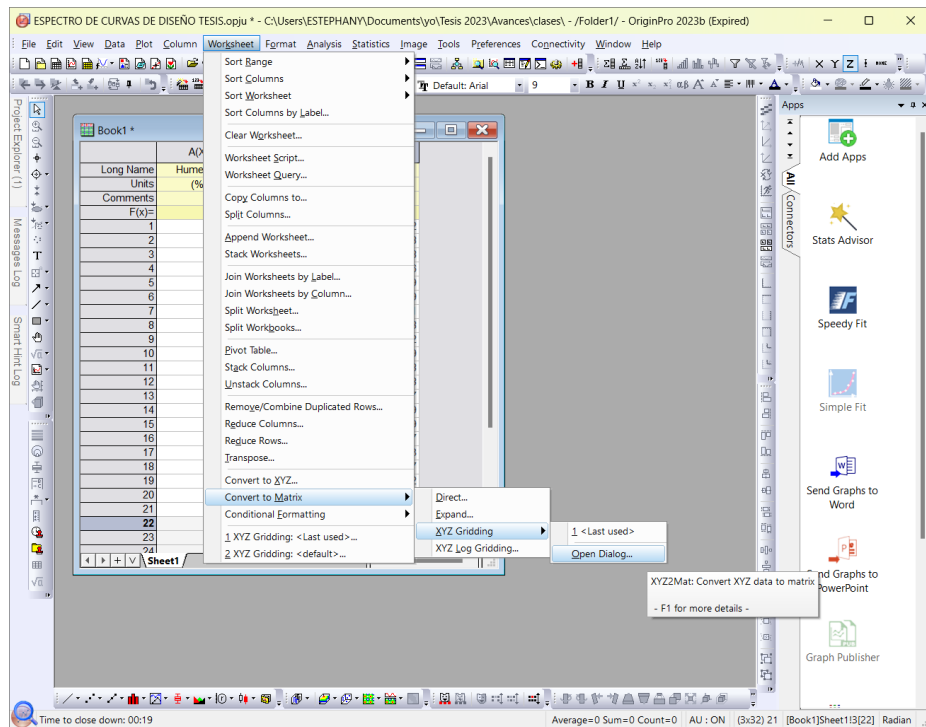
Introducción de datos en la hoja de cálculo.



Se llenó los datos a las tres columnas para generar la matriz. Después se procedió a seleccionar la columna C(Z) y generar la matriz haciendo click en las opciones “Worksheet” >> “Convert to Matrix” >> “XYZ Gridding” >> “Open Dialog...” (ver Figura 57).

Figura 57

Opciones para la generación aleatoria de la matriz.



Seguidamente aparecerá un recuadro “XYZ Gridding: Convert Worksheet to Matrix”, donde se procedió a cambiar el método de cuadrícula (Gridding Method) a “Random (Kriging Correlation)”. Se oprimió la opción “Aceptar” y se guardó el trabajo realizado hasta el momento (“File >> Save Project”) como se observa en la Figura 58 y la Figura 59.

Figura 58

Recuadro para la generación de la matriz (Random Gridding)

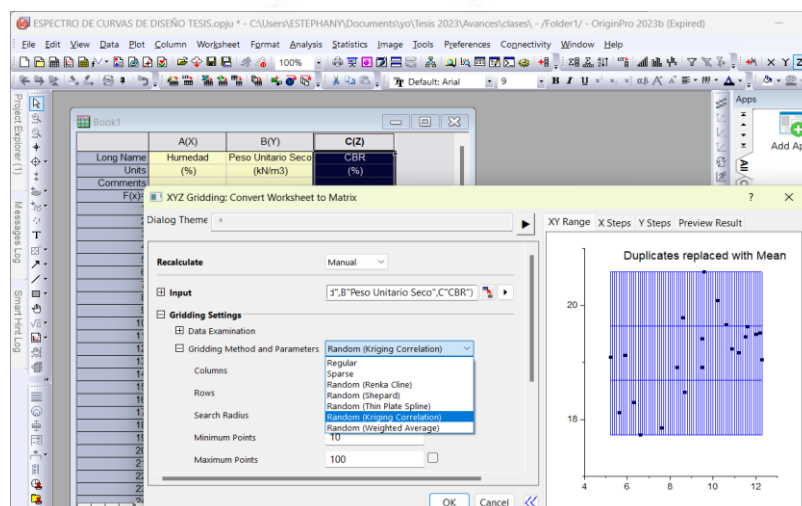


Figura 59

Matriz generada para el mapa de resistencia

Long Name	A(X)	B(Y)	C(Z)
Humedad	(%)	Peso Unitario Seco	CBR
Units	(%)	(kN/m3)	(%)
Comments			
F(x)=			
1	5.2	19.09	97.2
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			

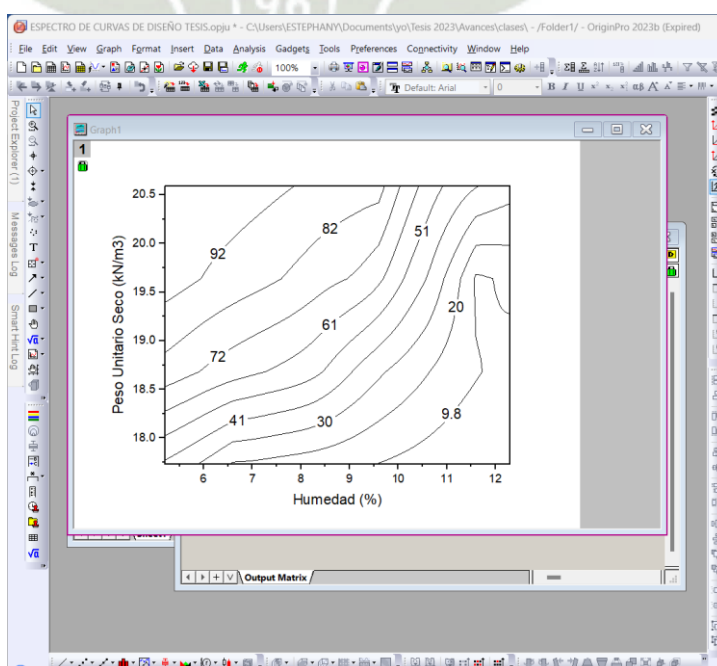
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	39.01322	37.85037	36.65232	35.41807	34.14634	32.83562	31.48413	30.09069
2	78.00502	77.22572	76.38335	75.49084	74.56347	73.61733	72.66762	71.71111
3	97.09069	96.51639	95.90037	95.2502	94.57452	93.8824	93.18271	92.47222
4	102.12513	101.87702	101.61738	101.34639	101.06423	100.77111	100.46723	100.15111

(i) Desarrollo del mapa de resistencia

A continuación, se procedió a generar el mapa de resistencia, con la ventana de matriz activa, se seleccionó el comando “Plot” >> “Contour” >> “Contour –B/W Lines + Labels” y apareció un gráfico como se ve en la Figura 60.

Figura 60

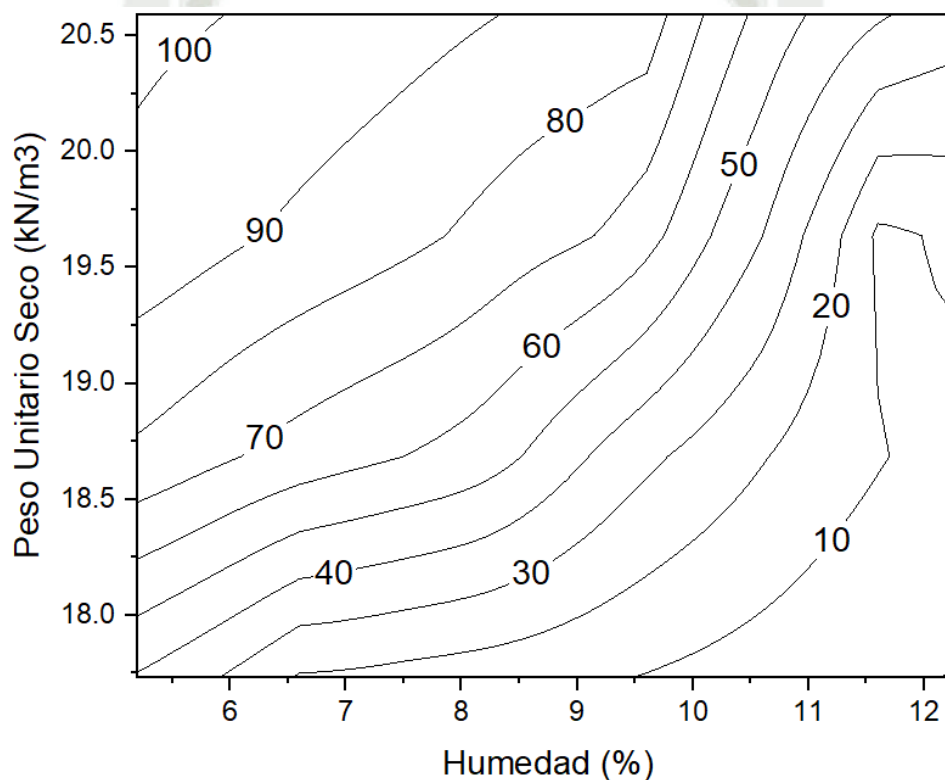
Gráfico de contorno o mapa de resistencia.



Para dar el formato al gráfico, se hizo doble click en los ejes X y Y y se escribió sus nombres, Humedad (%) y Densidad Seca (kN/m^3), respectivamente. Posteriormente se hizo doble click izquierdo en las líneas del gráfico y se modificó el incremento haciendo click en “Level” >> opción “Increment” >> “10” (ver Figura 61).

Figura 61

Gráfico de contorno o mapa de resistencia con intervalos de 10.



(i) Trazo de espectro de curvas de diseño

Para trazar el espectro de curvas de diseño, se duplica el gráfico mapa de resistencia para no perderlo, con la opción “Duplicate” (F1) y poder trabajar encima de él. El gráfico de espectro de curvas de diseño relaciona la densidad con la humedad (tomando en cuenta el grado de saturación con la gravedad específica del suelo), se observa el rango de humedad en el mapa de resistencia para colocarlo en una nueva hoja de cálculo.

Se coloca el rango de humedad en la columna A en la nueva hoja de cálculo y se coloca la función “= yo/(1/(Gs+ω/S)) >> “=9.81/(1/2.635+col(A)/100/1)” en la columna B, ecuación mencionada en la sección 2.3.5, para generar la curva de saturación de 100%, donde la columna A representa el “ω” el contenido de agua. Posteriormente se agregan 5 columnas más, y se colocan las funciones “=9.81/(1/2.635+col(A)/100/0.9)”, “=9.81/(1/2.635+col(A)/100/0.8)”, “=9.81/(1/2.635+col(A)/100/0.7)”, “=9.81/(1/2.635+col(A)/100/0.6)” y “=9.81/(1/2.635+col(A)/100/0.5)” para las curvas de saturación de 90%, 80%, 70%, 60% y 50%, respectivamente. Se colocó su nombre a cada columna “Sr=100%” correspondiente a su grado de saturación y se guardó la información (Ctrl+S) como se ve en la Figura 62.

Figura 62

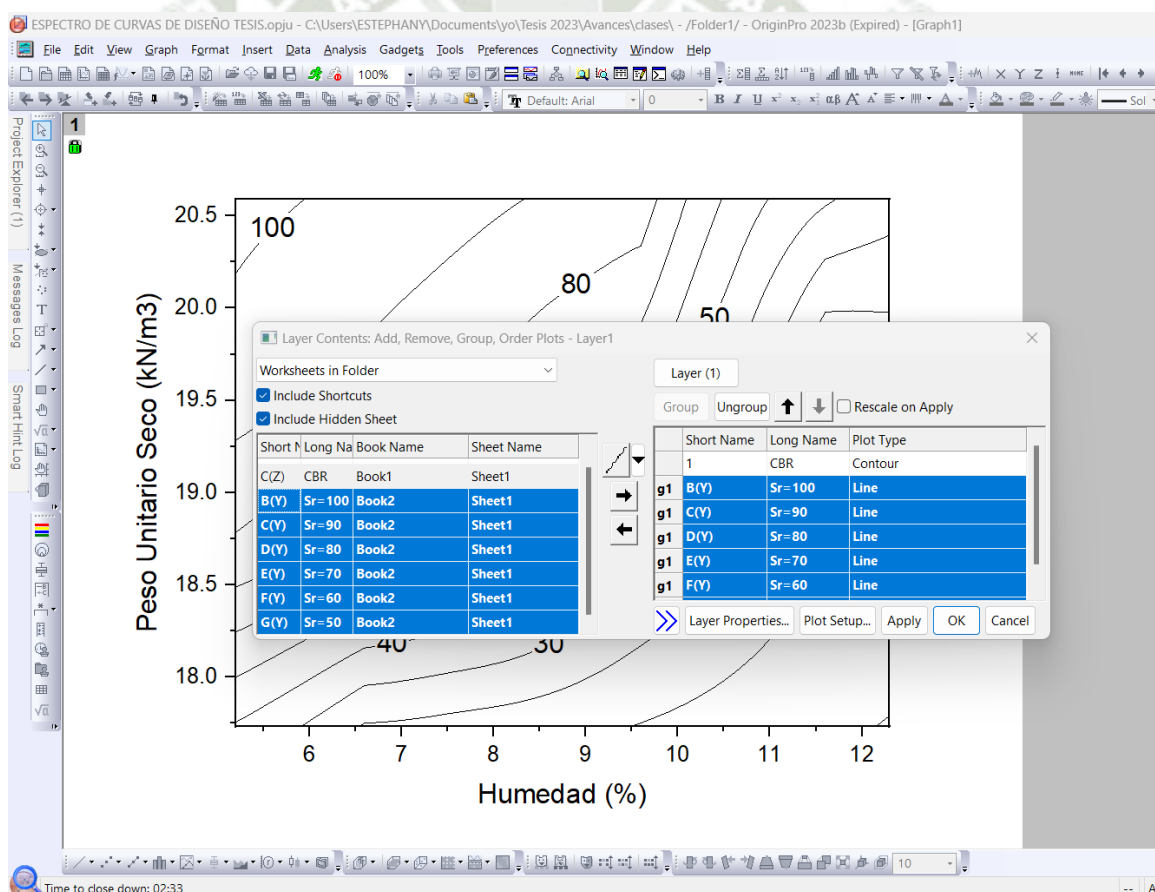
Generación de curvas de saturación.

	A(X)	B(Y) Sr=100	C(Y) Sr=90	D(Y) Sr=80	E(Y) Sr=70	F(Y) Sr=60	G(Y) Sr=50
Long Name		Sr=100	Sr=90	Sr=80	Sr=70	Sr=60	Sr=50
Units		%	%	%	%	%	%
Comments							
F(x)=		9.807/(1/2.635+col(A)/100/1)	9.807/(1/2.635+col(A)/100/0.9)	9.807/(1/2.635+col(A)/100/0.8)	9.807/(1/2.635+col(A)/100/0.7)	9.807/(1/2.635+col(A)/100/0.6)	9.807/(1/2.635+col(A)/100/0.5)
1	5.5	22.57043	22.25739	21.87809	21.40901	20.814	20.03446
2	6	22.31366	21.98025	21.57724	21.08031	20.45227	19.63337
3	6.5	22.06266	21.70993	21.28455	20.76154	20.1029	19.24803
4	7	21.81725	21.44617	20.9997	20.45227	19.76527	18.87753
5	7.5	21.57724	21.18875	20.72237	20.15208	19.43879	18.52101
6	8	21.34246	20.93743	20.45227	19.86057	19.12292	18.17772
7	8.5	21.11272	20.69201	20.18912	19.57738	18.81716	17.84692
8	9	20.88788	20.45227	19.93266	19.30215	18.52101	17.52794
9	9.5	20.66778	20.21803	19.68263	19.03455	18.23405	17.22017
10	1	25.178	25.10639	25.01743	24.90399	24.75432	24.54778
11	10.5	20.24121	19.78527	19.20093	18.52101	17.68599	16.63594
12	11	20.03446	19.54641	18.96881	18.2745	17.42414	16.35845
13	11.5	19.83189	19.33235	18.74224	18.03446	17.16992	16.09006
14	12	19.63337	19.12292	18.52101	17.80064	16.92302	15.83034
15	12.5	19.43879	18.91799	18.30495	17.57281	16.68311	15.57887
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34							
35							

Posteriormente, para colocar las curvas de saturación en el mapa de resistencia, se regresó al gráfico mediante la opción “Windows” y seleccionando el gráfico “mapa de resistencia”. Se dio doble click derecho dentro del gráfico y se seleccionó el comando “Layers Contents...” (F12), aparecerá un cuadro: “Layer Contents: Add, Remove, Group, Order Plots” y se elige la opción “Worksheets in Folder”, además se seleccionó las curvas de saturación creadas: “Sr=100%, Sr=90%, Sr=80%, Sr=70%, Sr=60%, y Sr=50%, y se selecciona la opción “Line”, para después pasarlas al lado derecho, para finalmente dar click en Aceptar (Figura 63)

Figura 63

Introducción de las curvas de saturación en el mapa de resistencia.



A continuación, se generan las intersecciones de las curvas de saturación con el mapa de resistencia dando click en “Screen Reader” para una mejor lectura (Tabla 42). Se anota cada

intersección de CBR con cada curva de saturación para obtener el gráfico del espectro de curvas de diseño (Figura 64).

Figura 64

Intersección de las curvas de saturación con el mapa de resistencia.

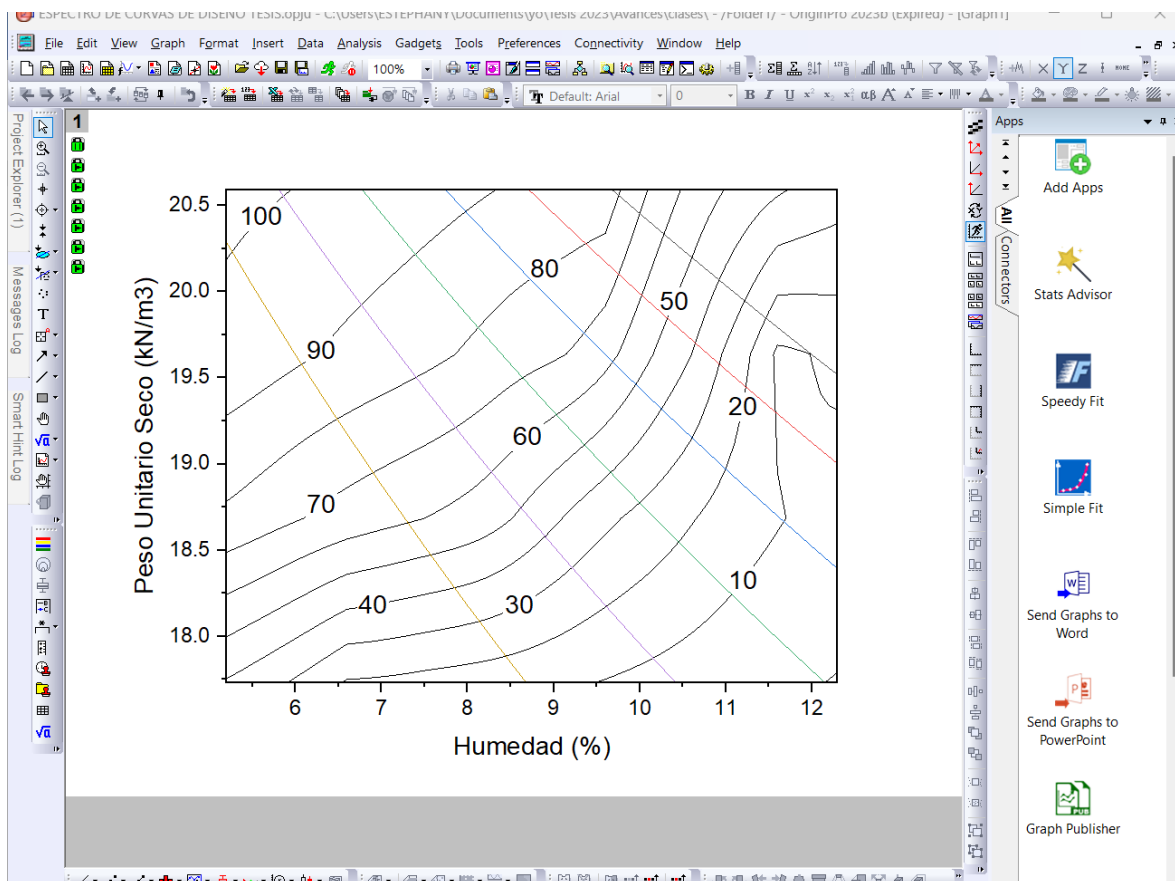


Tabla 42

Resultados de intersecciones curva de saturación – mapa de resistencia.

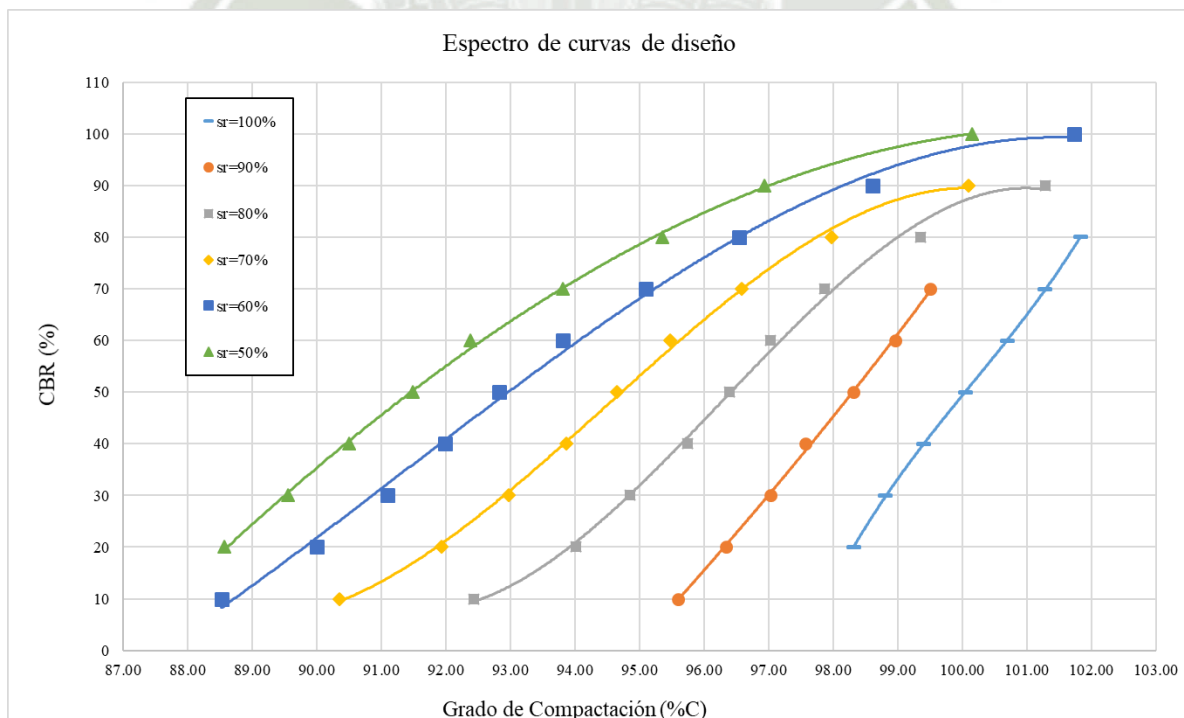
Sr=100%			Sr=90%			Sr=80%		
ys	%C	CBR	ys	%C	CBR	ys	%C	CBR
19.86	98.95	20	19.31	96.21	10	18.67	93.02	10
19.96	99.45	30	19.46	96.96	20	18.99	94.62	20
20.08	100.05	40	19.60	97.66	30	19.16	95.47	30
20.21	100.70	50	19.71	98.21	40	19.34	96.36	40
20.34	101.35	60	19.86	98.95	50	19.47	97.01	50
20.46	101.94	70	19.99	99.60	60	19.60	97.66	60
20.57	102.49	80	20.10	100.15	70	19.77	98.51	70
			20.28	101.05	80	20.07	100.00	80
						20.46	101.94	90

Sr=70%			Sr=60%			Sr=50%		
ys	%C	CBR	ys	%C	CBR	ys	%C	CBR
18.25	90.93	10	17.88	89.09	10	17.89	89.14	20
18.57	92.53	20	18.18	90.58	20	18.09	90.13	30
18.78	93.57	30	18.40	91.68	30	18.28	91.08	40
18.96	94.47	40	18.58	92.58	40	18.48	92.08	50
19.12	95.27	50	18.75	93.42	50	18.66	92.97	60
19.29	96.09	60	18.95	94.42	60	18.95	94.42	70
19.51	97.21	70	19.21	95.71	70	19.26	95.96	80
19.79	98.60	80	19.50	97.16	80	19.58	97.56	90
20.22	100.75	90	19.92	99.25	90	20.23	100.80	100
			20.55	102.39	100			

Estas curvas mostradas en la Figura 65, a diferencia de la curva normal de CBR, permiten obtener la resistencia de un suelo para diferentes grados de saturación para un determinado grado de compactación del suelo.

Figura 65

Espectro de curvas de diseño.



Se puede observar un aumento de resistencia (CBR) cuando aumenta la compactación del suelo y también cuando la saturación disminuye.

Según los datos obtenidos por los ensayos realizados anteriormente:

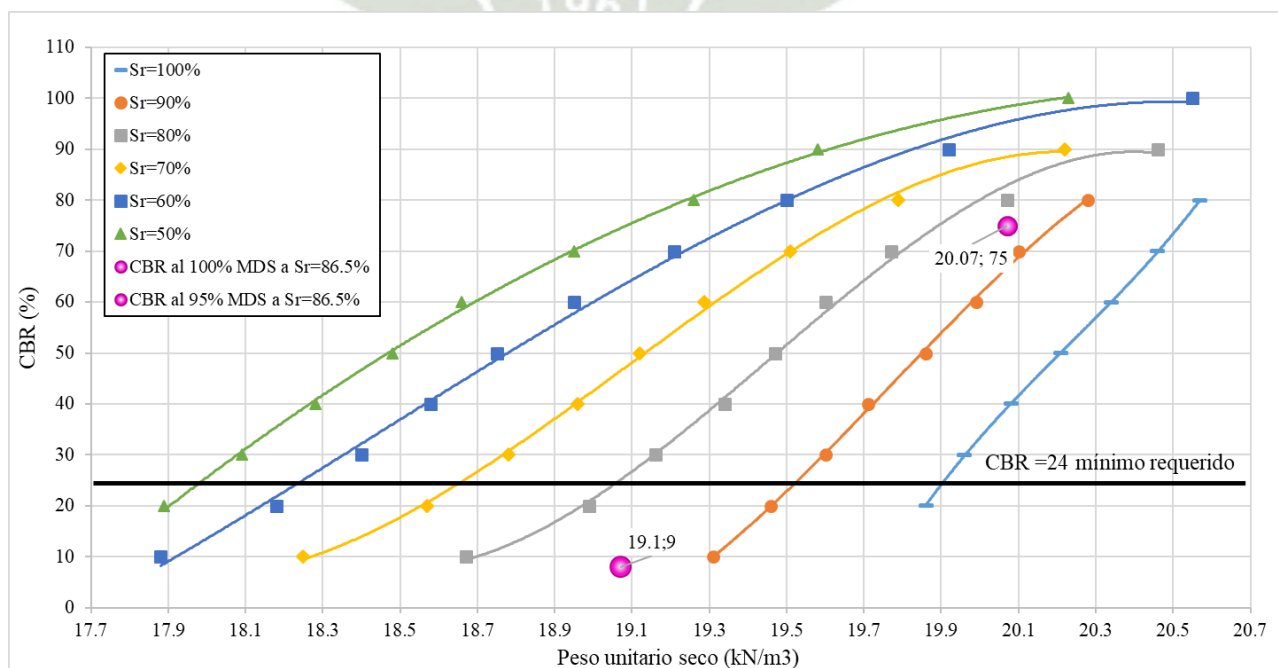
- Máxima densidad seca: 2.046 g/cm³
- Peso unitario seco máximo: 20.07 kN/m³.
- Peso unitario seco máximo al 95% : 19.07 kN/m³.

Del espectro de curva de diseño de la vía de estudio se analiza en primer lugar la curva de diseño de $S_r=86.5\%$ (contenido de agua óptimo) y posteriormente la curva con un grado de saturación de cuatro días de inmersión ($S_r= 89\%$).

La Figura 66 muestra que, cuando el peso unitario seco fue 20.07 kN/m³(100% del porcentaje de compactación con respecto al peso unitario seco máximo) y para el contenido óptimo de agua (grado de saturación de 86.5%), el CBR medido resultó 75%. Por otro lado, cuando el peso unitario seco fue de 19.07 kN/m³ (95% del porcentaje de compactación con respecto al peso unitario seco) y un grado de saturación de 86.5%, el CBR resultante fue 9%. Demostrando que el CBR al 95% fue menor al mínimo requerido ($CBR \geq 24\%$), mientras que para el 100% es un valor superior.

Figura 66

Curvas de resistencia CBR en función del γ_d para $S_r=86.5\%$.

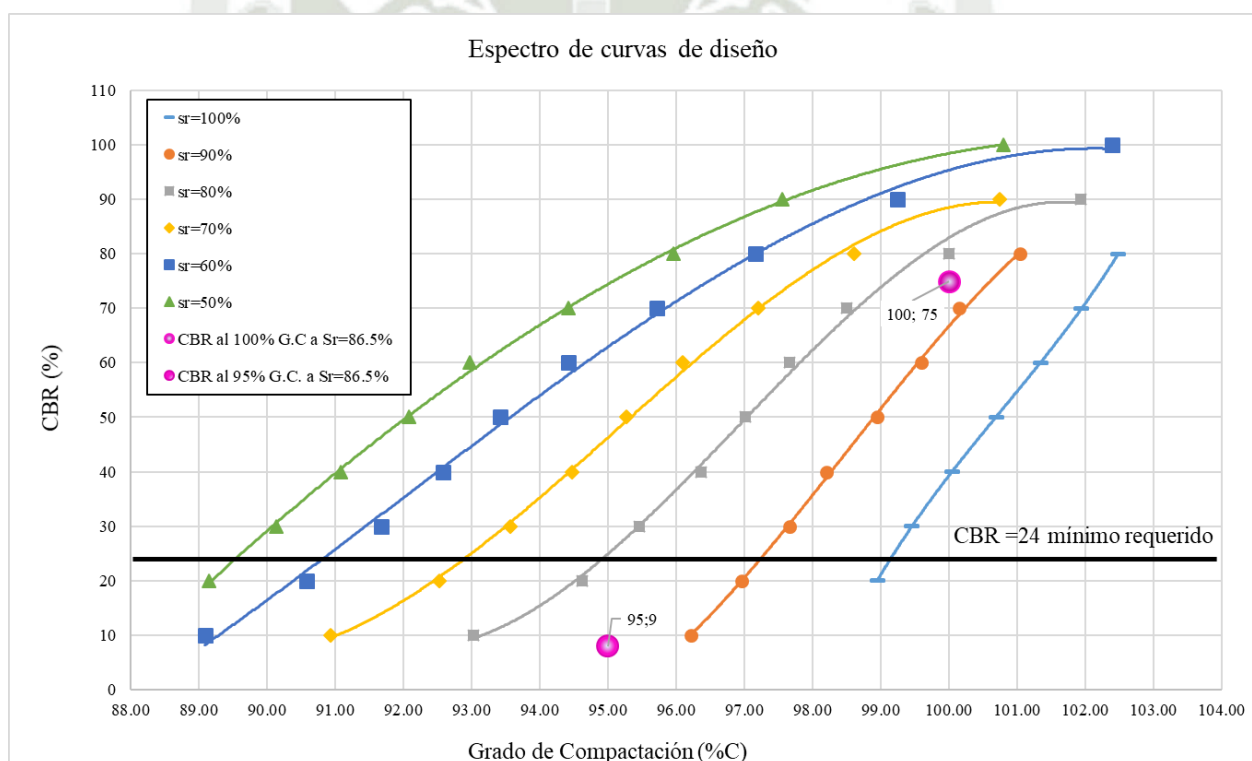


De la Figura 67 se puede ver también que el material muestra valores CBR superiores al mínimo para grados de saturación de 50, 60, 70 y 80%, además la Figura 67 muestra que:

- Para un 100% de porcentaje de compactación y un grado de saturación del 86.5%, el CBR fue de 75%, representando una diferencia de 51%.
- Para un 95% de porcentaje de compactación y un grado de saturación del 86.5%, el CBR fue de 9%, representando una diferencia de 15%.

Figura 67

Curvas de resistencia CBR en función del %C para $S_r=86.5\%$.



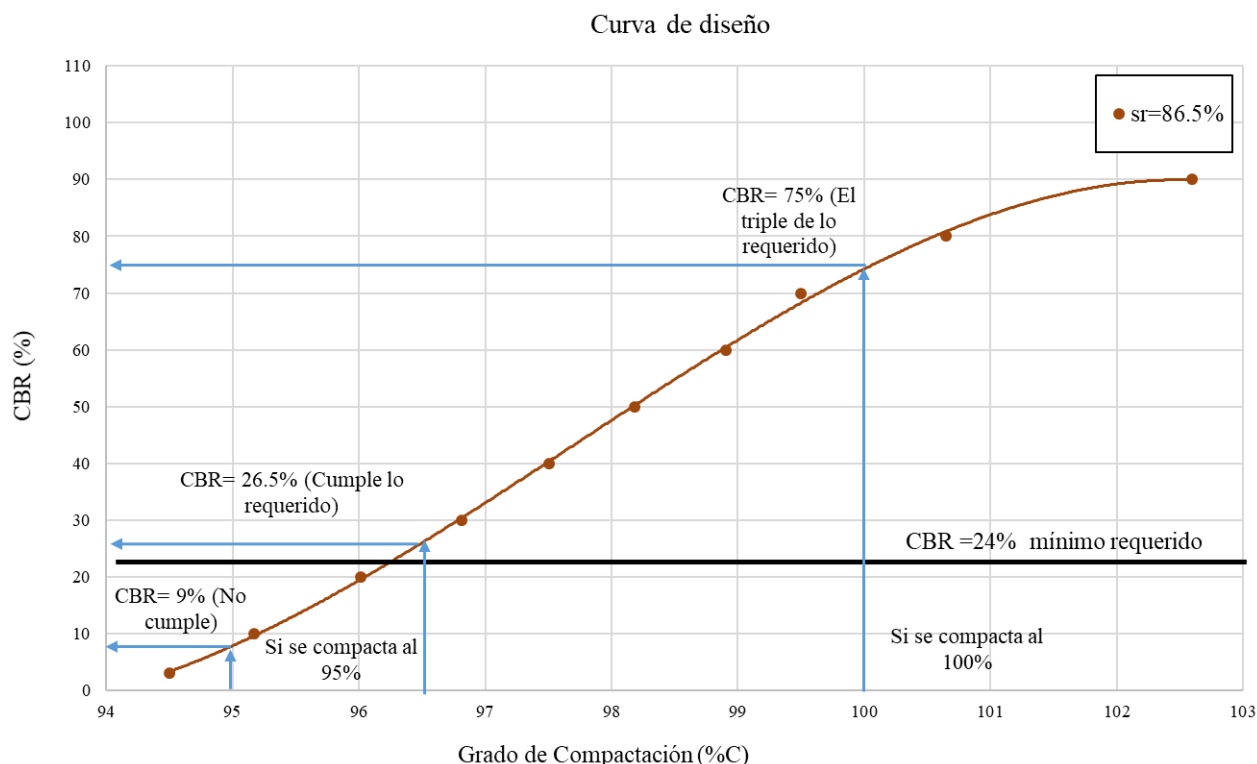
Se interpreta de lo expuesto que con un 96.5% de porcentaje de compactación el material cumple con el CBR mínimo requerido, siendo 26.5%, contando con un factor de seguridad.

Además, se explicaron las causas de las fallas a través de los datos cuantitativos obtenidos en el laboratorio a partir del experimento factorial mediante la metodología RAMCODES.

La Figura 68 muestra la curva de diseño del suelo compactado a detalle para el caso de la vía de estudio con un grado de saturación de 86.5%.

Figura 68

Curvas de diseño con un grado de saturación al 86.5%.



La Figura 69 muestra que, cuando el peso unitario seco fue 20.07 kN/m³ (100% del porcentaje de compactación con respecto al peso unitario seco máximo) y para el grado de saturación=89% (4 días de inmersión), el CBR medido resultó 70%. Por otro lado, cuando el peso unitario seco fue de 19.07 kN/m³ (95% del porcentaje de compactación con respecto al peso unitario seco) y un grado de saturación de 89%, el CBR resultante fue 2%. Demostrando que el CBR al 95% fue menor al mínimo requerido ($CBR \geq 24\%$), mientras que para el 100% es un valor superior.

Figura 69

Curvas de resistencia CBR en función del γ_d para $S_r=89\%$.

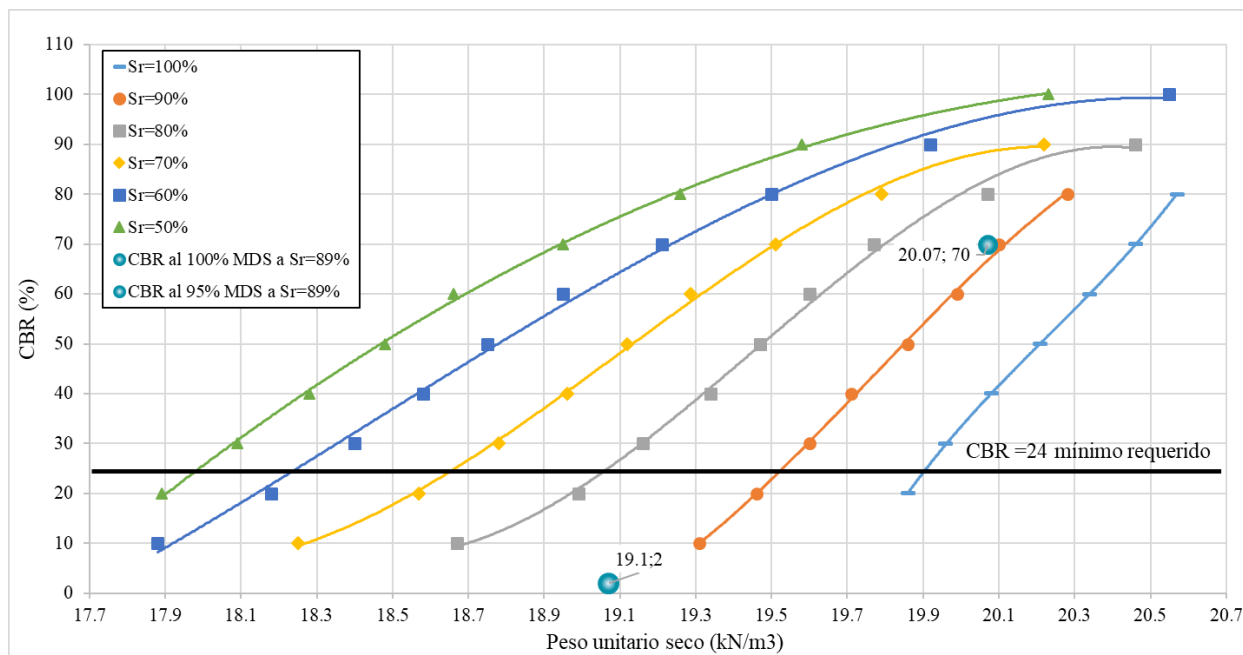
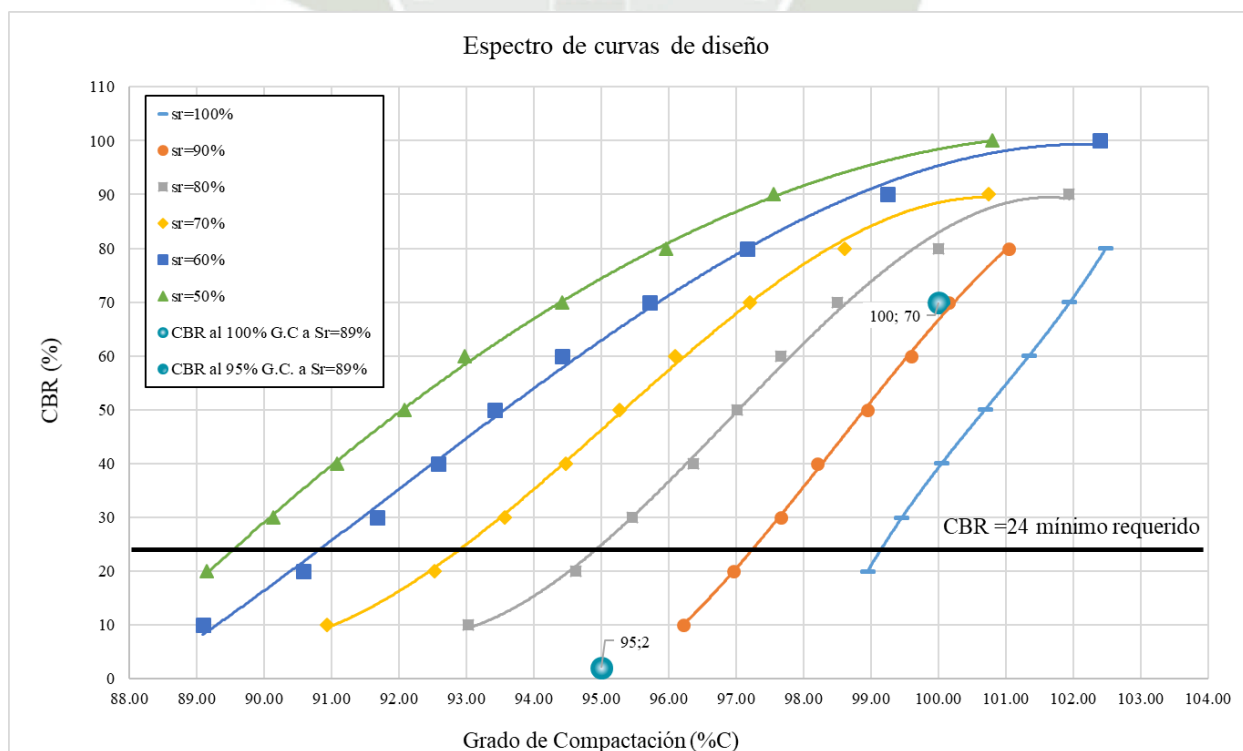


Figura 70

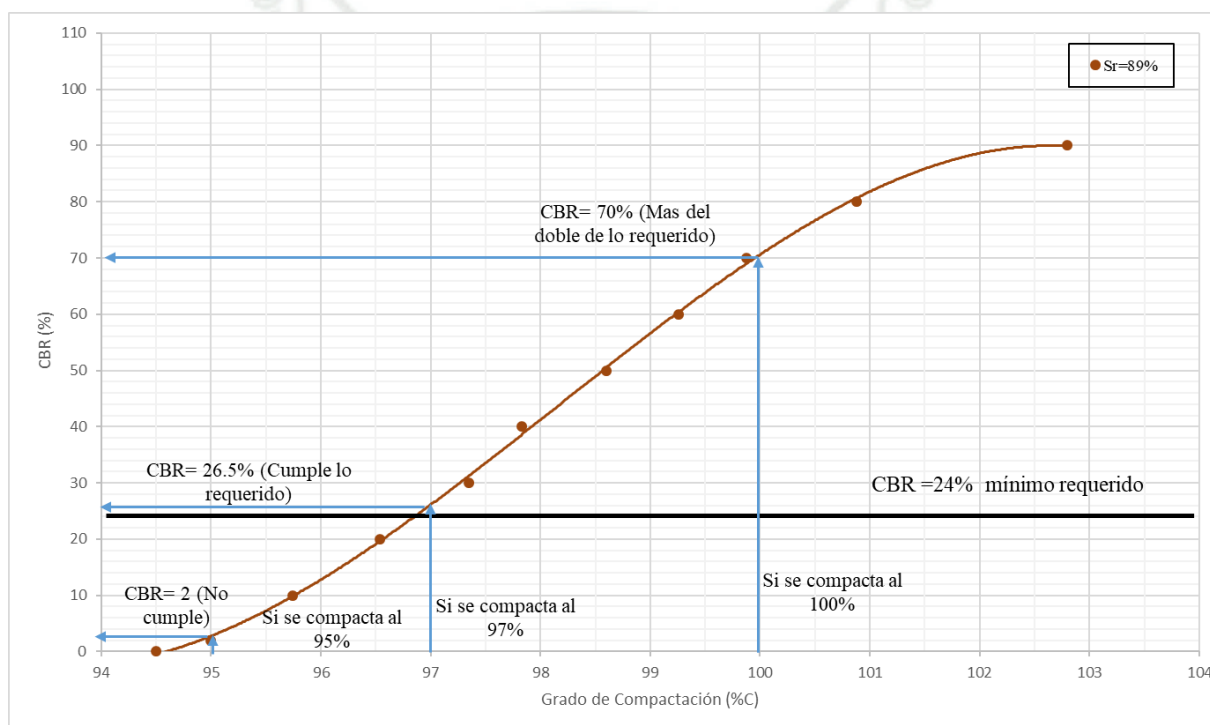
Curvas de resistencia CBR en función del %C para $S_r=89\%$.



La Figura 70 muestra que: para un 100% de porcentaje de compactación y un grado de saturación del 89%, el CBR fue de 70%, representando una diferencia de 46%, y para un 95% de porcentaje de compactación y un grado de saturación del 89%, el CBR fue de 9%, representando una diferencia de 15%. La Figura 71 muestra la curva de diseño del suelo compactado a detalle para el caso de la vía de estudio con un grado de saturación de 89%.

Figura 71

Curvas de diseño con un grado de saturación $S_r=89\%$.



De lo expuesto se llega a la siguiente conclusión (Tabla 43).

Tabla 43

Resultados de CBR mediante las dos metodologías.

	Cont. de agua	Sr	CBR	Condición
95% compactación (tradicional)	Óptimo	86.5%	9	No cumple
96.5% compactación (RAMCODES)	Óptimo	86.5%	27	Cumple
95% compactación (tradicional)	4 días de inmersión	89%	2	No cumple
97% compactación (RAMCODES)	4 días de inmersión	89%	27	Cumple

5.3.2. Para la base

Para la realización de los ensayos de laboratorio se tomó en cuenta la norma Especificaciones Técnicas Generales (MTC, 2013) para la selección de ensayos y la norma Manual de Ensayos de Materiales (MTC, 2016) para su evaluación:

5.3.2.1. Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos MTC E 204

La Tabla 44 muestra los resultados de los %pasantes en cada tamiz en forma tabulada y la Figura 72 muestra los resultados en forma gráfica como la curva granulométrica.

- Cantera: Calicata 1
- Material: Base
- Masa total antes de la separación: 9681g
- Masa total seca <N°4: 406.76g

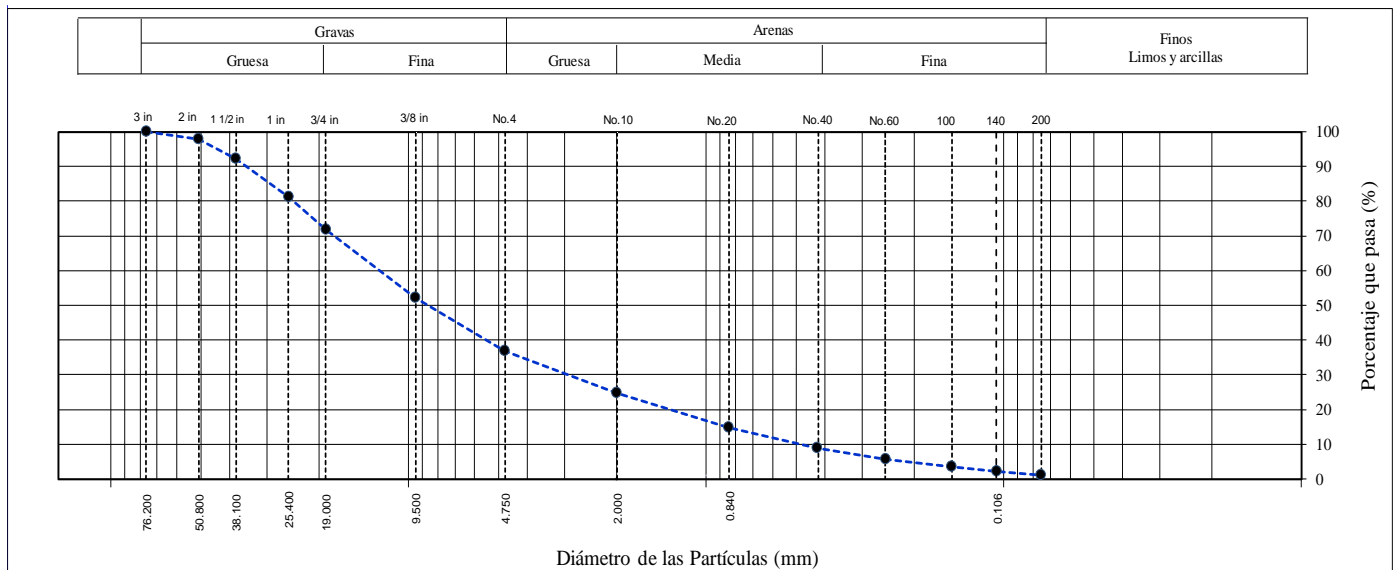
Tabla 44

Análisis Granulométrico por tamizado de la Base.

N° Tamiz	Diámetro (mm)	Fracción Gruesa (0,1g)	Fracción Fina (0,01g)	% Parcial Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
3 in.	76.200	0.0		0.0	0.0	100.0
2 in.	50.800	206.0		2.1	2.1	97.9
1 -1/2 in.	38.100	538.5		5.6	7.7	92.3
1 in.	25.400	1073.5		11.1	18.8	81.2
3/4 in.	19.000	908.5		9.4	28.2	71.8
3/8 in.	9.500	1910.0		19.7	47.9	52.1
No. 4	4.750	1475.5		15.2	63.1	36.9
No. 10	2.000		134.04	12.2	75.3	24.7
No. 20	0.840		109.14	9.9	85.2	14.8
No. 40	0.425		66.68	6.0	91.2	8.8
No. 60	0.250		35.76	3.2	94.4	5.6
No. 100	0.150		22.72	2.1	96.5	3.5
No. 140	0.106		13.03	1.2	97.7	2.3
No. 200	0.075		12.06	1.1	98.8	1.2
Fondo	-		13.33	1.2	100.0	0.0

Figura 72

Curva granulométrica para la base.



- Grava: 63.1%
- Arena: 35.7%
- Finos: 1.2%

Debido a que el porcentaje pasante de finos es menor al 5% se calculara el coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura para saber si el suelo está bien o mal gradado.

- D_{10} : 0.508 mm
- D_{30} : 3.195 mm
- D_{60} : 13.310 mm

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 26.20$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = 1.51$$

El coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura cumple, por lo tanto, se considera bien gradado.

La Figura 73 y Figura 74 muestran el panel fotográfico del ensayo análisis granulométrico para la base de la vía de estudio para la fracción gruesa y fina respectivamente.

Figura 73

Análisis Granulométrico de agregado grueso para Base.



Figura 74

Análisis Granulométrico de agregado fino para Base.



5.3.2.1. Proctor Modificado para CBR MTC E 115.

Se halló la máxima densidad seca, el máximo peso unitario seco y el óptimo contenido de agua para el ensayo de CBR para el material de la base. (ver Tabla 45, Tabla 46, Tabla 47 y Figura 75).

Tabla 45

Determinación de la densidad húmeda para Proctor Modif.

N° de molde		1	2	3	4	5
Volumen del molde*	(1cm ³)	2156.2	2156.2	2156.2	2156.2	2156.2
Nro. de Capas	(1)	5	5	5	5	5
Nro. de Golpes	(1)	56	56	56	56	56
Peso del molde	(1g)	6670	6670	6670	6670	6670
Peso del suelo compactado + molde	(1g)	11061	11276	11420	11504	11470
Peso del suelo compactado	(1g)	4391	4606	4750	4834	4800
Densidad húmeda	(0.01g/cm ³)	2.036	2.136	2.203	2.242	2.226

Tabla 46

Det. de la humedad y densidad seca para Proctor Modif.

		1	2	3	4	5
Peso del recipiente	(0.1g)	124.55	86.53	127.38	133.21	129.52
Peso del suelo húmedo + recipiente	(0.1g)	689.01	653.75	685.44	886.05	756.12
Peso del suelo seco + recipiente	(0.1g)	666.03	622.1	650.7	831.4	705.08
Peso del agua	(0.1g)	22.98	31.65	34.74	54.65	51.04
Peso del suelo seco	(0.1g)	541.5	535.6	523.3	698.2	575.6
Contenido de humedad	(0.1%)	4.24	5.91	6.64	7.83	8.87
Densidad seca	(0.01g/cm ³)	1.95	2.02	2.066	2.08	2.04
Peso Unitario Seco	(0.1kN/m³)	19.16	19.78	20.26	20.39	20.05

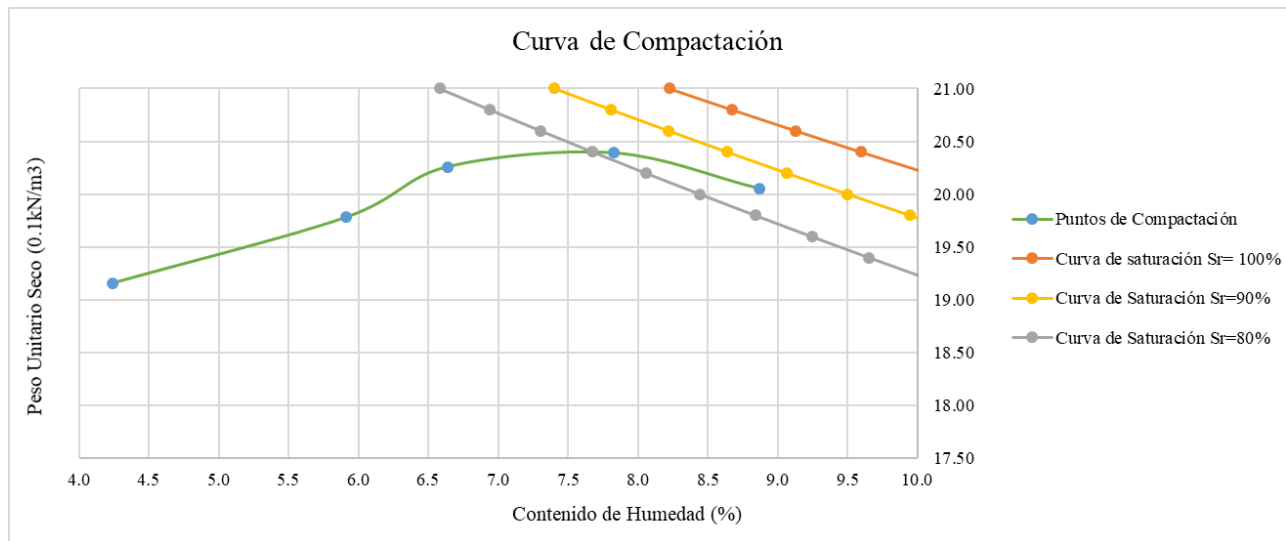
Tabla 47

Resultados del ensayo Proctor Modificado para CBR.

Corrección ASTM D4718	
Máxima densidad seca	2.066 g/cm ³
Máximo peso unitario seco	20.39 kN/m ³
Humedad optima	7.83 %

Figura 75

Curva de compactación del ensayo Proctor Modificado para CBR.



* Los datos del volumen del molde son:

D (mm)=153.66mm, 153.62mm, 153.61mm

H (mm)= 116.38mm, 116.34mm, 116.24mm

V(cm³) =2156.24cm³

5.3.2.2. Para agregado fino:

(a) Determinación del Índice plástico MT C E 111

Se determinó el Índice Plástico para la base - Calicata 01(ver Tabla 48 y Figura 76).

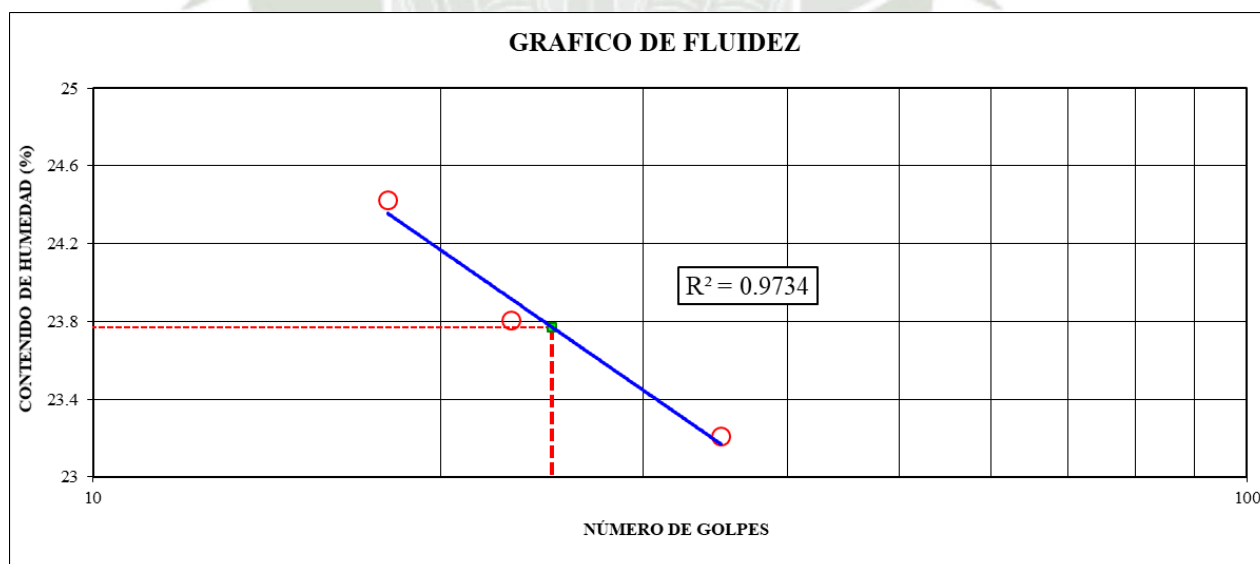
Tabla 48

Límites de consistencia para Base.

Muestra	Límites de consistencia					
		Límite líquido			Límite Plástico	
		1	2	3	1	2
N° Golpes		35	23	18		
Peso de tara	g	13.99	13.95	14.05	14.04	13.99
Peso suelo húmedo + tara	g	35.61	31.84	34.73	23.9	22.75
Peso de suelo seco + tara	g	31.51	28.4	30.67	22.18	21.22
Peso agua	g	4.1	3.44	4.06	1.72	1.53
Contenido de humedad	%	23.40	23.81	24.43	21.13	21.16

Figura 76

Gráfico Limite Líquido para Base.



- Límite Líquido (LL) = 24
- Límite Plástico (LP) = 21
- Índice de Plasticidad (IP) = 3

La Figura 77 y Figura 78 muestran el panel fotográfico del ensayo Limite Líquido y Limite Plástico granulométrico para la base de la vía de estudio respectivamente.

Figura 77

Ensayo de determinación de Limite Líquido para Base.



Figura 78

Ensayo de determinación de Limite Plástico para Base.



(b) Determinación de equivalente de arena MTC E 114

Se determinó el equivalente de arena para la fracción fina de la base (Tabla 49 y Figura 79).

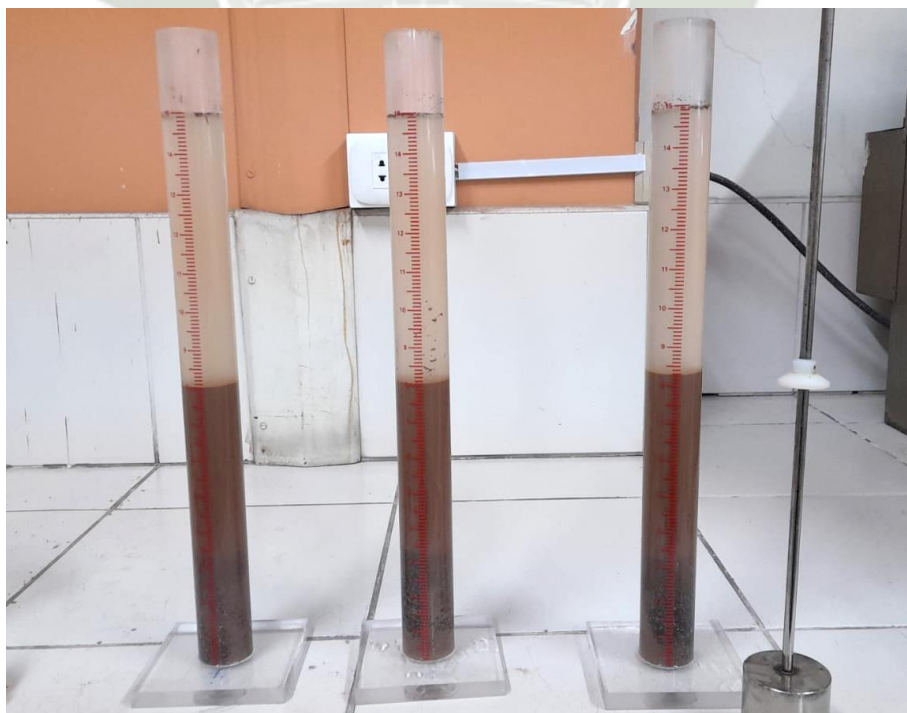
Tabla 49

Ensayo equivalente de arena para Base.

Ítem	Descripción	Ensayos		
		1	2	3
1	Muestra N°	1	2	3
2	Hora de Entrada a saturación	04:40	04:43	04:45
3	Hora de Salida de saturación	04:50	04:53	05:55
Irrigación				
4	Hora de Entrada a reposo	04:53	04:56	04:58
5	Hora de Salida de reposo	05:13	05:16	05:18
6	Altura Máxima de Material Fino (Pulgadas)	8.00	8.00	8.00
7	Altura Máxima de la Arena (Pulgadas)	2.75	2.70	2.80
8	Equivalente de Arena (%)	34.4	33.8	35.0
9	Equivalente de Arena Promedio (%)	35.0		

Figura 79

Ensayo equivalente de arena para Base.



(c) Contenido de Sales solubles totales MTC E 219

Se determinó el contenido de sales solubles para la fracción fina de la base (Tabla 50 y Figura 80).

Tabla 50

Ensayo Sales Solubles para fracción fina de Base.

SALES SOLUBLES TOTALES		
RELACION DE MEZCLA SUELO - AGUA DESTILADA	---	1 : 3
NUMERO DE BEAKER	---	1
PESO DE BEAKER	(g)	207.269
PESO DEL BEAKER + RESIDUOS DE SALES	(g)	207.392
PESO DEL RESIDUO DE SALES	(g)	0.1235
VOLUMEN DE SOLUCION TOMADA	(ml)	50.627
CONSTITUYENTES DE SALES SOLUBLES EN LICUOTA	(p.p.m.)	2439
CONSTITUYENTES DE SALES SOLUBLES EN MUESTRA	(p.p.m.)	7318
CONSTITUYENTES DE S.S EN PESO SECO	(%)	0.732

Figura 80

Ensayo Sales Solubles para fracción fina de Base.



(d) Durabilidad al sulfato de magnesio MTC E 209

Se determinó la durabilidad al sulfato de magnesio para la fracción fina de la base (Tabla 51 y Figura 81).

Tabla 51

Ensayo durabilidad al sulfato de magnesio del agregado fino.

Tamaño de los tamices	Masa inicial de la muestra (g)	Masa final de la muestra (g)	Perdidas después del ensayo (g)	Porcentaje de Pérdida Unitario (%)	Porcentaje de Pérdida General (%)
600 um (N°30) a N°50	101.00	99.55	1.45	1.44	
1,18 mm (N°16) a N°30	100.29	99.38	0.91	0.91	
2,36 mm (N°8) a N°16	100.66	98.39	2.27	2.26	14.14
4,75 mm (N°4) a N°8	100.58	94.73	5.85	5.82	
9,5 mm (3/8") a N°4	100.19	96.46	3.73	3.72	

Figura 81

Ensayo durabilidad al sulfato de magnesio del agregado fino.



5.3.2.3. Para agregado grueso:

(a) Partículas con una cara fractura MTC E 210

Se determinó el ensayo partículas con una cara fracturada al agregado grueso de la base.

(Tabla 52 y Figura 82).

Tabla 52

Resultados partículas con una cara fracturada para la base.

Tamaño del agregado	A	B	C	D	E	
Pasa Tamiz	Retenido en tamiz	Total (g)	con 1 C.F.(g)	((B/A)*100)	% Retenido	C*D
2"	1 1/2"	536.5	277.5	51.7	5.6	289.7
1 1/2"	1"	1084.0	813.5	75.0	11.1	833.0
1"	3/4"	900.0	669.5	74.4	9.4	699.3
3/4"	1/2"	1183.0	993.0	83.9	10.2	856.2
1/2"	3/8"	1925.0	1896.0	98.5	9.5	935.7
TOTAL		5628.5	4649.5			

Porcentaje con una cara Fracturada	Total E	=	3614	78.9	%
	Total D		45.80		

Figura 82

Ensayo partículas con una cara fracturada.



(b) Partículas con dos caras fracturas MTC E 210

Se determinó el ensayo partículas con dos caras fracturadas al agregado grueso de la base. (Tabla 53 y Figura 83).

Tabla 53

Resultados partículas con dos caras fracturadas para la base.

Tamaño del agregado	A	B	C	D	E	
Pasa Tamiz	Retenido en tamiz	Total (g)	con 1 C.F.(g)	$((B/A)*100)$	% Retenido	C*D
2"	1 1/2"	536.5	201.0	37.5	5.6	209.8
1 1/2"	1"	1084.0	590.5	54.5	11.1	604.7
1"	3/4"	900.0	550.0	61.1	9.4	574.4
3/4"	1/2"	1183.0	897.0	75.8	10.2	773.4
1/2"	3/8"	1925.0	1858.0	96.5	9.5	916.9
TOTAL		5628.5	4649.5			

Porcentaje con dos caras Fracturadas	$\frac{\text{Total E}}{\text{Total D}} =$	$\frac{3079}{45.80}$	67.2	%
--------------------------------------	---	----------------------	-------------	----------

Figura 83

Ensayo partículas con dos caras fracturadas.



(c) Abrasión Los Ángeles MTC E 207

Según la granulometría de la base se utilizó la gradación A de la Tabla 11, de la sección 2.3.4, lo cual indica usar 12 esferas según la Tabla 10. Se detalla los resultados del ensayo a continuación (Tabla 54 y Figura 84).

Tabla 54

Resultados ensayo Abrasión de los Ángeles.

	Resultados	
Gradación	A	
Masa del material entre 1 1/2"-1"	1246.5	g
Masa del material entre 1"-3/4"	1250.0	g
Masa del material entre 3/4" - 1/2"	1252.0	g
Masa del material entre 1/2" - 3/8"	1259.5	g
Masa seca total de muestra	5008.0	g
Número de esferas	12	
Masa pasante del tamiz Nro. 12	1060.0	g
Masa retenido en el tamiz Nro. 12	3948.0	g
% Pérdida por desgaste	21.17	%

Figura 84

Ensayo Abrasión de los Ángeles para la base.



(d) Partículas chatas y alargadas ASTM D4791

Se determinó el ensayo partículas chatas y alargadas al agregado grueso de la base.

(Tabla 55 y Figura 85).

Tabla 55

Resultados partículas chatas y alargadas para base.

Tamiz (Pulg.)	Abertura (mm)	AGREGADO GRUESO			Masa de partículas Alargadas	Masa de partículas Chatas y Alargadas	CHATAS y ALARGADAS		
		Masa Retenida Grad. Original	% Retenido	Masa de partículas Chatas			Σ	(%)	(%) CORREGIDO
2"	50.800	206.0	3.4			0.00	-	-	
1 1/2"	38.100	539.0	8.8	103.00		103.00	19.1	1.7	
1"	25.400	1094.0	17.9	119.00	121.00	240.00	21.9	3.9	
3/4"	19.000	908.0	14.9	120.50	23.50	144.00	15.9	2.4	
1/2"	12.700	1196.0	19.6	121.00	88.50	5.00	214.50	17.9	3.5
3/8"	9.500	637.5	10.5			0.00	-	-	
N° 4	4.750	1516.5	24.9			0.00	-	-	
Peso total de la muestra:		6097.0							

PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS EN MASA (%)	11.5
--	-------------

Figura 85

Ensayo de partículas chatas y alargadas para Base.



(e) Contenido de Sales solubles totales MTC E 219

Se determinó el contenido de sales solubles para la fracción gruesa de la base (Tabla 56 y Figura 86).

Tabla 56

Ensayo Sales Solubles para fracción gruesa de Base.

SALES SOLUBLES TOTALES		
RELACION DE MEZCLA SUELO - AGUA DESTILADA	---	1 : 3
NUMERO DE BEAKER	---	2
PESO DE BEAKER	(g)	207.298
PESO DEL BEAKER + RESIDUOS DE SALES	(g)	207.469
PESO DEL RESIDUO DE SALES	(g)	0.1705
VOLUMEN DE SOLUCION TOMADA	(ml)	51.41
CONSTITUYENTES DE SALES SOLUBLES EN LICUOTA	(p.p.m.)	3316
CONSTITUYENTES DE SALES SOLUBLES EN MUESTRA	(p.p.m.)	9949
CONSTITUYENTES DE S.S EN PESO SECO	(%)	0.995

Figura 86

Ensayo Sales Solubles para fracción gruesa de Base.



(f) Durabilidad al sulfato de magnesio MTC E 209

Se determinó el ensayo durabilidad al sulfato de magnesio para el agregado grueso de la base. (Tabla 57 y Figura 87).

Tabla 57

Ensayo durabilidad al sulfato de magnesio para el agregado grueso.

Tamaño de los tamices	Masa inicial de la muestra (g)	Masa final de la muestra (g)	Perdidas después del ensayo (g)	Porcentaje de Pérdida Unitario (%)	Porcentaje de Pérdida General (%)
De 1 1/2" a 3/4"	1514.0	1509.21	4.79	0.32	
De 3/4" a 1/2"	672.0	666.51	5.49	0.82	4.22
De 1/2" a 3/8"	300.6	291.35	9.27	3.08	

Figura 87

Ensayo de partículas chatas y alargadas para Base.



5.4. Requerimientos para la Base Granular

En vista que la vía de estudio se encuentra a 3747 msnm se utilizara los requerimientos mayores a 3000 msnm. Se cita “Para las zonas con altitudes iguales o mayores a 3000 msnm se deberá seleccionar la gradación A” del manual Especificaciones Técnicas Generales (MTC, 2013), por lo que en base a la Tabla 58, se verifica la vía de estudio.

Tabla 58

Requerimientos granulométricos para base granular.

Tamiz	Porcentaje que pasa en peso			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm. (2")	100	100		
25 mm. (1")		75-95	100	100
9,5 mm. (3/8")	30-65	40-75	50-85	60-100
4,75 mm. (Nro.4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2,0 mm. (Nro.10)	15-40	20-45	25-50	40-70
425 um. (Nro.40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 um. (Nro.200)	2-8	5-15	5-15	8-15

Nota. De: “Especificaciones Técnicas Generales”, por MTC (2013, pág. 378).

Tabla 59

Resultados del ensayo granulométrico base granular.

% que pasa en cada tamiz	Resultados Carretera	Requerimiento	Condición
50 mm. (2")	98	100	No Cumple
25 mm. (1")	81		
9,5 mm. (3/8")	52	30-65	
4,75 mm. (Nro.4)	37	25-55	
2,0 mm. (Nro.10)	25	15-40	
425 um. (Nro.40)	9	8-20	
75 um. (Nro.200)	1	2-8	

De la Tabla 59 se aprecia que la granulometría no cumple con el porcentaje % que pasa el tamiz de 2” y el pasante al tamiz Nro. 200. Por lo que se concluye que no cumple en absoluto el requerimiento establecido por la normativa.

5.4.1. Requerimientos para el Agregado Fino

Para el agregado fino, entendiéndose por el material pasante del tamiz Nro. 04, deberán cumplir con los requerimientos (Tabla 60) establecidos en el manual Especificaciones Técnicas Generales (MTC, 2013) a una altitud mayor a 3000 msnm.

Tabla 60

Requerimientos del Agregado Fino para base.

Ensayo	Norma	Requerimientos	
		Altitud	
		< 3000 msnm	> 3000 msnm
Índice plástico	MTC E 111	4% máx.	2% mín.
Equivalente de arena	MTC E 114	35% mín.	45% mín.
Sales solubles	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	-	15%

Nota. De: “Especificaciones Técnicas Generales”, por MTC (2013).

Tabla 61

Resultados de ensayos para el agregado fino de la base.

Ensayo	Resultados Carretera	Requerimiento	Condición
Índice plástico	3	2 mín.	Cumple
Equivalente de arena	35%	45% mín.	No Cumple
Sales solubles	0.7 %	0.5% máx.	No Cumple
Durabilidad al sulfato de magnesio	14%	15%	Cumple

De la Tabla 61, se observa que el material utilizado para la base granular cumple con los ensayos índice plástico, sales solubles y durabilidad al sulfato de magnesio, sin embargo, no estaría cumpliendo con el ensayo equivalente de arena, es decir, no cumple la cantidad de material fino arcilloso en el suelo granular o agregado fino.

5.4.2. Requerimientos para el Agregado Grueso

Para el agregado grueso, entendiéndose por el material retenido en el tamiz Nro. 04, del mismo modo deberán cumplir con los requerimientos (Tabla 62) establecidos en el manual Especificaciones Técnicas Generales (MTC, 2013) a una altitud mayor a 3000 msnm.

Tabla 62

Requerimientos del Agregado Grueso para base.

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimientos	
				Altitud	
				< 3000 msnm	> 3000 msnm
Partículas con una cara fracturada	MTC E 210	D 5821		80% mín.	80% mín.
Partículas con una cara fracturada	MTC E 210	D 5821		40% mín.	50% mín.
Abrasión de Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	40% máx.	40% máx.
Partículas chatas y alargadas		D 4791		15% máx.	15% máx.
Sales solubles	MTC E 219	D 1888		0.5% máx.	0.5% máx.
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	C 88	T 104	-	18% máx.

Nota. De: “Especificaciones Técnicas Generales”, por MTC (2013, pag. 378).

De la Tabla 63, se contempla que ensayos el agregado grueso de la base cumple y no cumple dos ensayos con los requerimientos establecidos por la normativa.

Tabla 63

Verificación de requerimientos del Agregado Grueso para base.

Ensayo	Resultados Carretera	Requerimiento	Condición
Partículas con una cara fracturada	78.9%	80% mín.	No Cumple
Partículas con dos cara fracturada	67.2%	50% mín.	Cumple
Abrasión de Los Ángeles	21.2%	40% máx.	Cumple
Partículas chatas y alargadas	11.5%	15% máx.	Cumple
Sales solubles	0.9%	0.5% máx.	No Cumple
Durabilidad al sulfato de magnesio	4.2%	18% máx.	Cumple

5.5. Clasificación de los suelos

Tomando en cuenta los resultados del ensayo análisis granulométrico se procedió a clasificar el suelo según los sistemas AASHTO, SUCS y RAMCODES.

Clasificación AASHTO:

Tabla 64

Clasificación de suelos por el sistema AASHTO.

General Classification	Granular Materials (35 % or less passing No. 200)				Silt-Clay Materials (More than 35 % passing No. 200)		
Group Classification	A-1	A-3 ^A	A-2	A-4	A-5	A-6	A-7
Sieve analysis, % passing:							
No. 10 (2.00 mm)	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425 µm)	50 max	51 min	...	...	...	...	...
No. 200 (75 µm)	25 max	10 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Characteristics of fraction passing No. 40 (425 µm):							
Liquid limit	...	...	^B	40 max	41 min	40 max	41 min
Plasticity index	6 max	N.P.	^B	10 max	10 max	11 min 11 min	11 min
General rating as subgrade	Excellent to Good				Fair to Poor		

^AThe placing of A-3 before A-2 is necessary in the "left to right elimination process" and does not indicate superiority of A-3 over A-2.

General Classification	Granular Materials (35 % or less passing No. 200)							Silt-Clay Materials (More than 35 % passing No. 200)			
Group classification	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Sieve analysis, % passing:											
No. 10 (2.00 mm)	50 max	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425 µm)	30 max	50 max	51 min	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75 µm)	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Characteristics of fraction passing No. 40 (425 µm):											
Liquid limit	...	...	...	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
Plasticity index	6 max	...	N.P.	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min ^A
Usual types of significant constituent materials	Stone Fragments, Gravel and Sand		Fine Sand	Silty or Clayey Gravel and Sand				Silty Soils		Clayey Soils	
General rating as subgrade	Excellent to Good							Fair to Poor			

^APlasticity index of A-7-5 subgroup is equal to or less than LL minus 30. Plasticity index of A-7-6 subgroup is greater than LL minus 30 (see Fig. 1).

Nota. De: ASTM D3282. (2015).

Clasificación SUCS:

Tabla 65

Clasificación de suelos por el sistema SUCS.

Criterio para asignación de Símbolo de Grupo y Nombre de Grupo utilizando Pruebas de Laboratorio ^A				Clasificación del Suelo			
				Símbolo del Grupo	Nombre del Grupo ^B		
SUELOS DE GRANULOMETRÍA GRUESA Más del 50% es retenido en la malla No. 200	Gravas Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla No.4	Gravas Limpias Menos del 5% de finos ^C	$Cu \geq 4 \text{ y } 1 \leq Cc \leq 3^E$	GW	Grava bien graduada ^F		
		Gravas con Finos Más del 12% de finos ^C	$Cu < 4 \text{ y } 1 > Cc > 3^E$	GP	Grava mal graduada ^F		
			Finos clasificados como ML ó MH	GM	Grava limosa ^{F,G,H}		
	Arenas 50% ó más de la fracción gruesa pasa la malla No.4	Arenas Limpias Menos del 5% de finos ^D	$Cu \geq 4 \text{ y } 1 \leq Cc \leq 3^E$	SW	Arena bien graduada ^I		
		Arenas con Finos Más del 12% de finos ^D	$Cu < 4 \text{ y } 1 > Cc > 3^E$	SP	Arena mal graduada ^I		
			Finos clasificados como ML ó MH	SM	Arena limosa ^{F,G,H}		
SUELOS DE GRANULOMETRÍA FINA 50% ó más pasa la malla No. 200	Arcillas y Limos Límite líquido menor a 50	Inorgánico	$IP > 7$ y puntos en ó sobre la línea "A" ^J	CL	Arcilla magra ^{K,L,M}		
			$IP < 4$ ó puntos debajo de la línea "A" ^J	ML	Limo ^{K,L,M}		
		Orgánico	Límite líquido - secado al horno	-0.75	OL	Arcilla orgánica ^{K,L,M,N}	
			Límite líquido - no secado			Limo orgánico ^{K,L,M,O}	
		Arcillas y Limos Límite líquido de 50 o más	Inorgánico	IP puntos en ó sobre la línea "A"	CH	Arcilla gruesa ^{L,M}	
				IP puntos debajo de la línea "A"	MH	Limo elástico ^{K,L,M}	
	Orgánico		Límite líquido - secado al horno	-0.75	OH	Arcilla orgánica ^{K,L,M,P}	
			Límite líquido - no secado			Limo orgánico ^{K,L,M,O}	
	SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		Sobre todo materia orgánica, color negro, y olor orgánico		PT	Turba	

Nota. De: ASTM D2487 -17e1 (2020).

Clasificación RAMCODES:

Debido a que no presenta plasticidad se utilizó la ecuación para materiales no plásticos “Fnp”, descrita en la sección 2.3.5, para la clasificación de la subrasante:

$$F_{np} = \frac{D_{60}}{D_{10}} (1 + F)$$

Donde:

F= es el contenido de finos o material pasante por el tamiz Nro. 200

- Para la calicata 01:

$$F_{np} = \frac{D_{60}}{D_{10}} (1 + F) = \frac{1.871}{0.207} \cdot \left(1 + \frac{0.9}{100}\right) = 9.12$$

Teniendo en referencia la Tabla 11 se considera una Arena limosa.

- Para la calicata 02:

$$F_{np} = \frac{D_{60}}{D_{10}} (1 + F) = \frac{3.790}{0.288} \cdot \left(1 + \frac{1.8}{100}\right) = 13.40$$

Teniendo en referencia la Tabla 11 se considera una Arena limosa

Para la calicata 03:

$$F_{np} = \frac{D_{60}}{D_{10}} (1 + F) = \frac{2.995}{0.192} \cdot \left(1 + \frac{1.8}{100}\right) = 15.88$$

Teniendo en referencia la Tabla 11 se considera una Arena limosa con grava.

La Tabla 66 detalla el resumen de los tres sistemas de clasificación mencionados considerando la Tabla 64, Tabla 65 y Tabla 11.

Tabla 66

Clasificación de suelos AASHTO, SUCS y RAMCODES.

Material	AASHTO		SUCS		RAMCODES	
	Grupo	Concepto	Grupo	Concepto	Grupo	Concepto
Calicata 01	A-2-4 (0)	Excelente a bueno	SP	Arena pobremente graduada	SR3*	Arena limosa
Calicata 02	A-2-4 (0)	Excelente a bueno	SW	Arena bien graduada	SR3*	Arena limosa
Calicata 03	A-2-4 (0)	Excelente a bueno	SP	Arena pobremente graduada	SR3*	Arena limosa con grava
Base	A-1-a (0)	Excelente a bueno	GW	Grava bien graduada	RS2	Gravas limosas y arcillosas con arena



CAPITULO VI

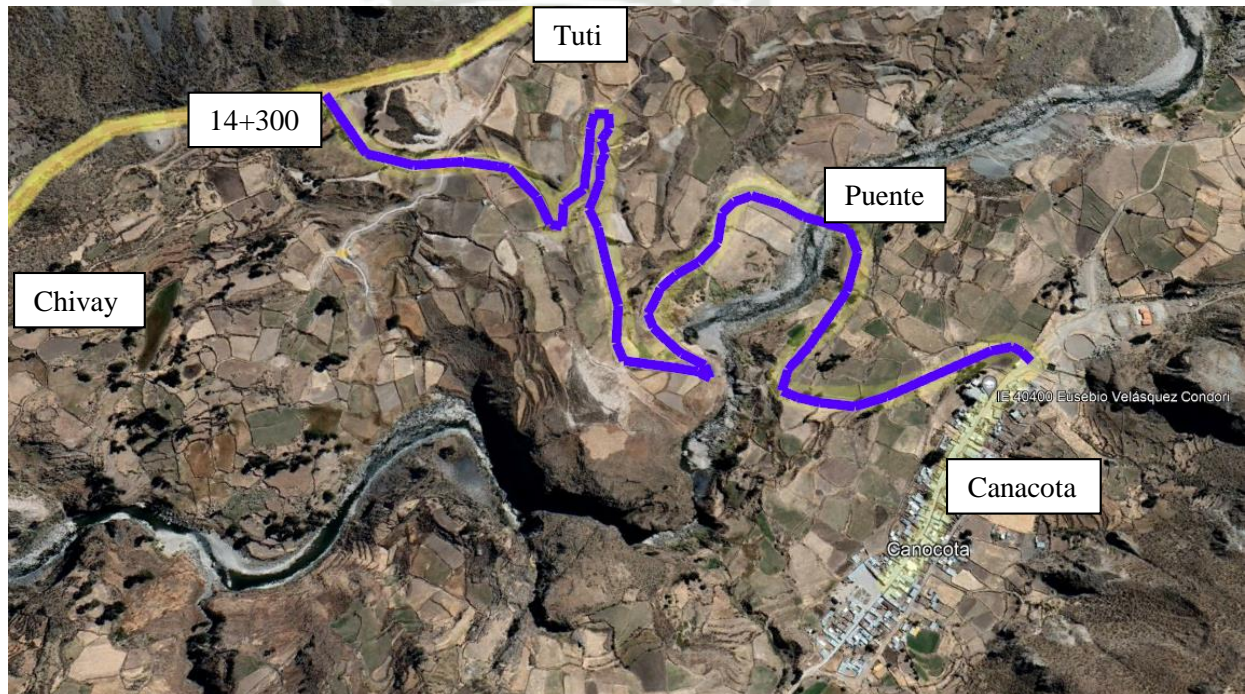
ESTUDIO DE TRÁNSITO

6. ESTUDIO DE TRANSITO

Para la elaboración del estudio de tránsito se realizó el conteo de vehículos durante 7 días durante las 24 horas, en el tramo desde el km.14+300 de la carretera Chivay – Tuti hasta la entrada al centro poblado Canacota entre los días 05 de noviembre y 11 de noviembre del 2023, diferenciando el tipo de vehículo y la direccionalidad con el objeto de determinar el volumen vehicular en la vía de estudio. El tramo para el conteo se observa en la Figura 88.

Figura 88

Tramo de estudio para el conteo vehicular diario.



Nota. Vista panorámica de la vía de estudio, por Google Earth, s.f.

6.1. Cálculo del IMDA

Para el cálculo del índice medio diario anual (IMDA) se convirtió el volumen de tráfico obtenido mediante el conteo vehicular con la siguiente ecuación (Barreto et al., 2018):

$$IMDA_o = (IMDS)(FM)(FD)$$

Donde:

- IMDS: índice medio diario semanal, conforme al conteo vehicular.

- FM: factor de estimación mensual.
- FD: factor de ajuste diario

Calculo de variables:

- **Calculo del IMDS:** para el cálculo del índice medio diario semanal se usó la ecuación mostrada según el conteo vehicular realizado durante los 7 días, las 24 horas.

$$IMDS = \sum \left(\frac{Dveh.}{m} \right)$$

Donde:

- Dveh: sumatoria de vehículos de cada día.
 - m: número de días que se realizó en conteo vehicular (7).
- **Calculo del FD:** el factor de ajuste diario se basa al promedio de vehículos contabilizados en una semana entre la cantidad de vehículos diarios y se determina según la ecuación:

$$FD = \frac{IMDS}{TD}$$

Donde:

- IMDS: índice medio diario semanal.
- TD: tráfico diario, cantidad de vehículos en un día.
- FD: Calculo de factor de ajuste diario

Los resultados del factor de ajuste diario para la carretera de estudio se muestran en la Tabla 67.

Tabla 67

Cálculo del factor diario para el estudio de tránsito.

Día de la semana	IMDS	TD(veh./día)	FD (IMDS/TD)
Lunes		66	1.108
Martes		99	0.739
Miércoles		65	1.125
Jueves	73.14	57	1.283
Viernes		66	1.108
Sábado		94	0.778
Domingo		65	1.125
Promedio FD			1.038

Según los cálculos realizados se obtuvo un factor de ajuste diario igual a $FD = 1.038$

- **Cálculo del FM:** El factor de estimación mensual se debe a que el volumen de tránsito varía en cada mes por causas estacionales como vacaciones escolares, festividades, cosechas entre otros que se producen durante el año, lo cual se eliminara mediante este factor de corrección. (Tabla 68 y Tabla 69).

Tabla 68

Factor de Corrección para Vehículos Ligeros (Peaje Patahuasi)

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1.0505	0.9287	1.1460	1.0872	1.1086	1.1280	0.9169	0.8010	1.0421	0.9869	1.0075	0.9579

Nota. De: Ficha Técnica Estándar Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión en Carreteras Interurbanas, 2023.

Tabla 69

Factor de Corrección para Vehículos Pesados (Peaje Patahuasi)

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1.0668	1.0418	1.0805	1.0643	1.0616	1.0569	1.0065	0.9440	0.9475	0.9036	0.9309	0.9274

Nota. De: Ficha Técnica Estándar Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión en Carreteras Interurbanas, 2023.

Como en este caso el conteo vehicular se realizó en el mes de noviembre, el factor de estimación mensual correspondiente para vehículo ligero es $FM= 1.0075$ y para vehículo pesado es $FM= 0.9309$

Con los datos obtenidos se calcula el índice medio diario anual presente mediante la siguiente fórmula:

$$IMDAo = (IMDS)(FM)(FD)$$

Los resultados de la vía de estudio se muestran en la Tabla 70 y la Figura 89 muestra la comparación entre el IMDS y IMDAo. (ver Anexo C para el detallado del estudio de tránsito de cada día).

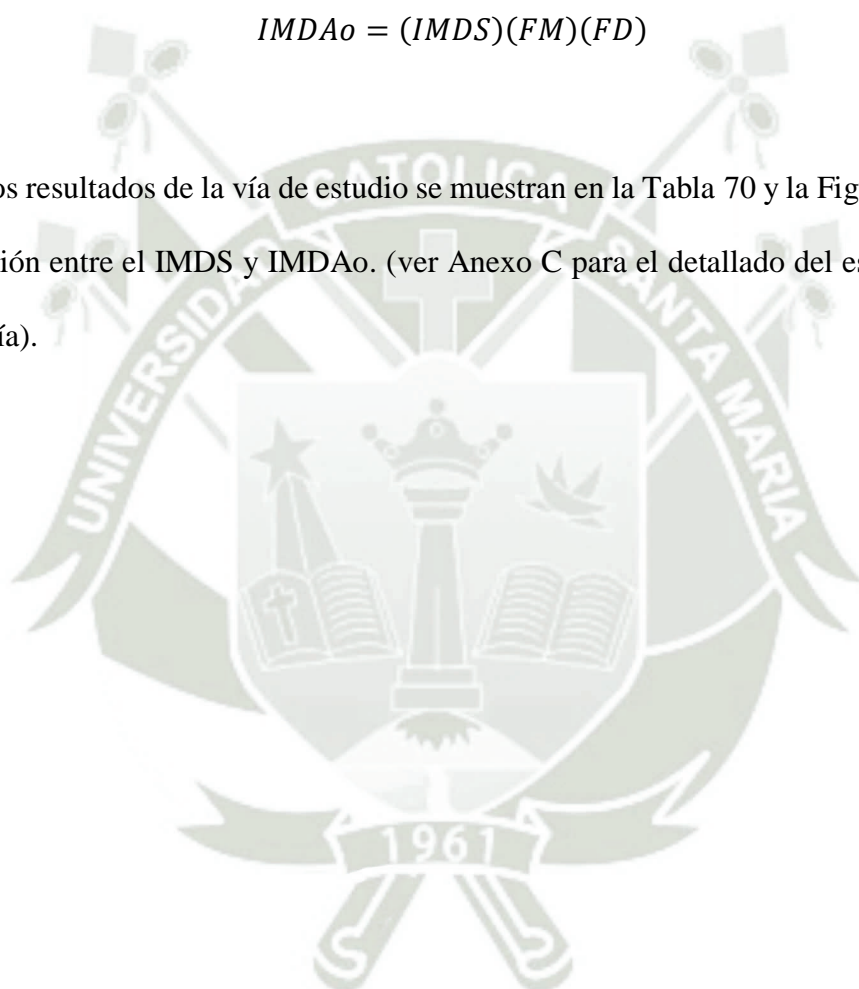


Tabla 70

Índice Medio Diario Anual Rural. Tramo Chivay – Peaje Patahuasi.

RESUMEN CONTEO VEHICULAR

TRAMO DE LA CARRETERA	Vía al centro poblado de Canacota	
UBICACIÓN	Distrito de Chivay, Provincia de Caylloma de Arequipa.	
FACTOR DIARIO	1.0382	
FACTOR DE CORRECCIÓN ESTACIONAL	Veh. Ligeros	1.0075
	Veh. Pesados	0.9309





















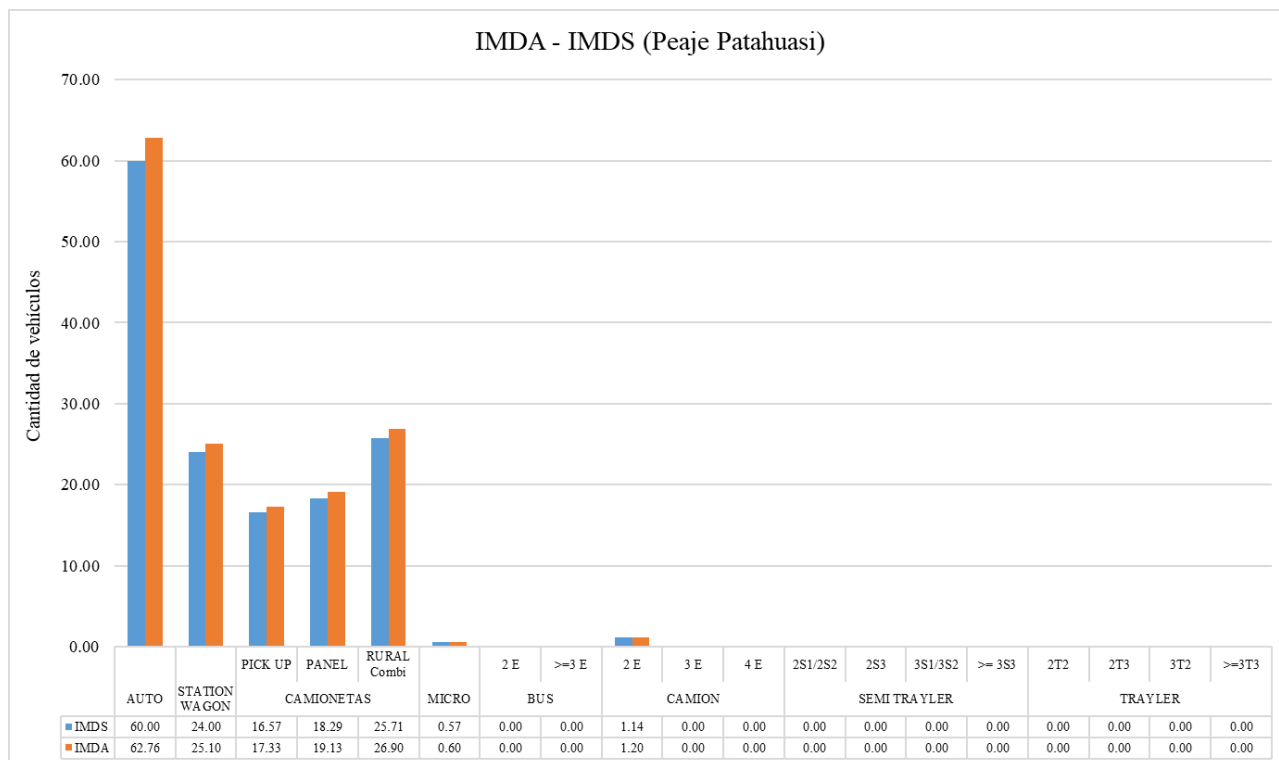
HORA	SENTI DO	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS			CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER			
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
DIAGRA. VEHICULAR																					
Domingo 05/11/2023	E	14	7	2	7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	S	16	8	3	7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Ambos	30	15	5	14	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Lunes 06/11/2023	E	17	8	4	7	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	S	15	6	4	8	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Ambos	32	14	8	15	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Martes 07/11/2023	E	15	5	5	4	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	S	14	4	6	4	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Ambos	29	9	11	8	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Miercoles 08/11/2023	E	12	5	3	3	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	S	14	4	3	3	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Ambos	26	9	6	6	8	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Jueves 09/11/2023	E	14	6	5	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	S	15	5	5	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Ambos	29	11	10	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Viernes 10/11/2023	E	15	9	5	3	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	S	16	8	5	3	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Ambos	31	17	10	6	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sabado 11/11/2023	E	15	4	3	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	S	18	5	5	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Ambos	33	9	8	7	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Total:	Entrada	224	84	61	69	67	3	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Salida	196	84	55	59	113	1	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Ambos	420	168	116	128	180	4	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
IMDS	Entrada	32.0	12.0	8.7	9.9	9.6	0.4	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Salida	28.0	12.0	7.9	8.4	16.1	0.1	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Ambos	60.0	24.0	16.6	18.3	25.7	0.6	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
IMDA	Entrada	33.5	12.6	9.1	10.3	10.0	0.4	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Salida	29.3	12.6	8.2	8.8	16.9	0.1	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Ambos	62.8	25.1	17.3	19.1	26.9	0.6	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
IMDAo 2023	Total de vehiculos	63	25	17	19	27	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 89

Gráfica Comparativa entre el IMDS y IMDA.



Como se mencionó anteriormente, para el cálculo del IMDA se trabaja con volúmenes de vehículos futuros por lo que se le agregara el tránsito generado y desarrollado (Barreto et al., 2018) como se muestra en la siguiente ecuación:

$$IMDA_{futuro} = (IMDS)(FM)(FD) + TG + TD$$

Donde:

- TG: tránsito generado.
- TD: tránsito desarrollado.

➤ **Cálculo del TG:** el tránsito generado, es una tasa de incremento por la mejora oferta del camino que varía entre el 5% y el 25% del tránsito actual.

$$TG = 0\%.IMDA$$

- **Cálculo del TD:** el tráfico desarrollado, es el incremento de tránsito debido a las mejoras en el suelo adyacente a la carretera, con valores oscilantes al 5% del tránsito actual. Para este caso se usó 0%:

$$TD = 0\%.IMDA = 0$$

Para nuestro caso se utilizó 0% en ambos casos por que la vía de acceso en estudio ya se encontraba ejecutada.

Con los valores obtenidos se calcula el Índice Medio Anual Futuro mediante la siguiente formula: (ver los resultados en la Tabla 71).

$$IMDA_{futuro} = (IMDS)(FM)(FD) + TG + TD$$

Tabla 71

IMDA del tramo de estudio.

		AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER			TRAYLER			
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3
IMDAo 2023	Total de vehículos	63	25	17	19	27	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transito Generado	Total de vehículos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transito Desarrollado	Total de vehículos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IMDA	Total de vehículos	63	25	17	19	27	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

De la tabla anterior, el Índice Medio Diario Anual es de 153 veh/día.

6.2. Cálculo de las tasas de crecimiento

De acuerdo con el manual Suelos geología, geotecnia y pavimentos (MTC, 2014) para el cálculo del crecimiento del tránsito se utilizara la ecuación mostrada seguidamente por separado para vehículos de transito ligero y vehículos de tránsito pesado:

$$T_n = T_o \cdot (1 + r)^{n-1}$$

Donde:

- T_n : tránsito proyectado en el año “n” en veh. /día.
- T_o : Transito actual en el año base en veh. /día.
- n: número de años del periodo de diseño
- r: tasa anual de crecimiento de tránsito.

Se tomó en consideración la Tabla 72 para la tasa anual de crecimiento de tránsito (r) para vehículos ligeros y pesados correspondientemente y en base al manual Suelos, geología, geotecnia y pavimentos (MTC, 2014) se tomó en consideración un periodo de diseño de 15 años para caminos de bajo volumen de tránsito.

Tabla 72

Tasa anual de crecimiento de tránsito.

Tasa de Crecimiento Anual de Vehículos Ligeros	Tasa de Crecimiento Anual de Vehículos Pesados
2.90%	2.97%

Nota. De: Ficha Técnica Estándar Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión en Carreteras Interurbanas, 2023.

Los resultados del tránsito proyectado en 15 años se ven en la Tabla 73 para la vía de estudio.

Tabla 73

IMDA proyectado en un periodo de diseño de 15 años.

		AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi	2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
IMDA	Total de veh.	66	27	18	20	28	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	162
IMDA	Total de veh.	94	38	26	29	40	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	241

6.3. Cálculo del factor carril (Fc) y el factor direccional (Fd)

De acuerdo con la norma Suelos geología, geotecnia y pavimentos (MTC, 2014) el factor carril (Fc) indica al carril más cargado por el tránsito y el factor direccional (Fd) indica el sentido o dirección del tránsito, usualmente corresponde a la mitad en ambas direcciones, pero en ocasiones el tránsito puede ser mayor en una dirección respecto a otra. Estos factores se pueden determinar según la Tabla 74:

Tabla 74

Cálculo del factor carril y factor direccional.

Numero de calzadas	Numero de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (Fd)	Factor Carril (Fc)	Factor Ponderado Fd x Fc para carril de diseño
1 calzada (para IMDa total de la calzada)	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
2 calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas)	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentidos	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentidos	4	0.50	0.50	0.25

Nota. De “Manual Suelos geología, geotecnia y pavimentos”, por MTC, (2014).

Según la Tabla 70 se tendrá el factor carril $F_c = 1.00$ y el factor direccional $F_d = 0.50$

6.4. Cálculo del factor de crecimiento acumulado (Fca)

De acuerdo a esto se procederá a calcular el factor de crecimiento acumulado (Fca) para el periodo de diseño (n) y la tasa anual de crecimiento de tránsito (r) con la ecuación mostrada:

$$F_{ca} = \frac{(1 + t)^n - 1}{t}$$

Donde:

- Fca: Factor de crecimiento acumulado por tipo de vehículo pesado
- t: tasa anual de crecimiento, en centésimas.
- n: Periodo de diseño, en años.

Según lo mencionado anteriormente se tiene un periodo de diseño n=15 años y una tasa anual de crecimiento t=2.97%, por lo que:

$$F_{ca} = \frac{(1 + t)^n - 1}{t} = \frac{(1 + 0.0297)^{15} - 1}{0.0297} = 50.722$$

Por lo tanto, el factor de crecimiento acumulado Fca= 50.72

6.5. Número de repeticiones de ejes equivalentes

El efecto del tránsito se mide según AASHTO en ejes equivalentes (EE), que es efecto del daño causado sobre el pavimento por un eje simple de dos ruedas cargado con 8.2 toneladas, con neumáticos a la presión de 80lbs/pulg². Para determinar los ejes equivalentes EE se emplearán las siguientes relaciones simplificadas para las diferentes configuraciones de ejes de vehículos pesados según la siguiente Tabla 75:

Según el reglamento nacional de vehículos se calculará el Factor Equivalente (EE8.2ton) para cada tipo de eje (ver Tabla 76).

Tabla 75

Cálculo de EE para cada tipo de eje para pavimentos flexibles.

Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE _{8.2tn})
Eje Simple de ruedas simples (EE _{S1})	$EE_{S1} = [P / 6.6]^{4.0}$
Eje Simple de ruedas dobles (EE _{S2})	$EE_{S2} = [P / 8.2]^{4.0}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TA1})	$EE_{TA1} = [P / 14.8]^{4.0}$
Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EE _{TA2})	$EE_{TA2} = [P / 15.1]^{4.0}$
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TR1})	$EE_{TR1} = [P / 20.7]^{3.9}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE _{TR2})	$EE_{TR2} = [P / 21.8]^{3.9}$





P = peso real por eje en toneladas

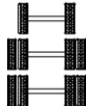

Nota. De “Manual Suelos geología, geotecnia y pavimentos”, por MTC, (2014, pág. 67).

Tabla

76

Peso máximo por ejes y Factor de Ejes Equivalentes.

Tipo de Eje	Gráfico	Peso máximo por eje (ton)	Factor EE(8.2ton)
Eje Simple de ruedas simples		7	1.265
Eje Simple de ruedas dobles		11	3.2338
Eje Tándem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple)		16	1.366
Eje Tándem (2 ejes de ruedas dobles)		18	2.019

Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple)		23	1.508
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles)		25	1.706

Nota.: Adaptado del “Reglamento Nacional de Vehículos”, por MTC (2003, págs. 84,85).

Después se determinó el factor vehículo pesado (Fvp) para cada tipo de vehículo (ver Tabla 77).

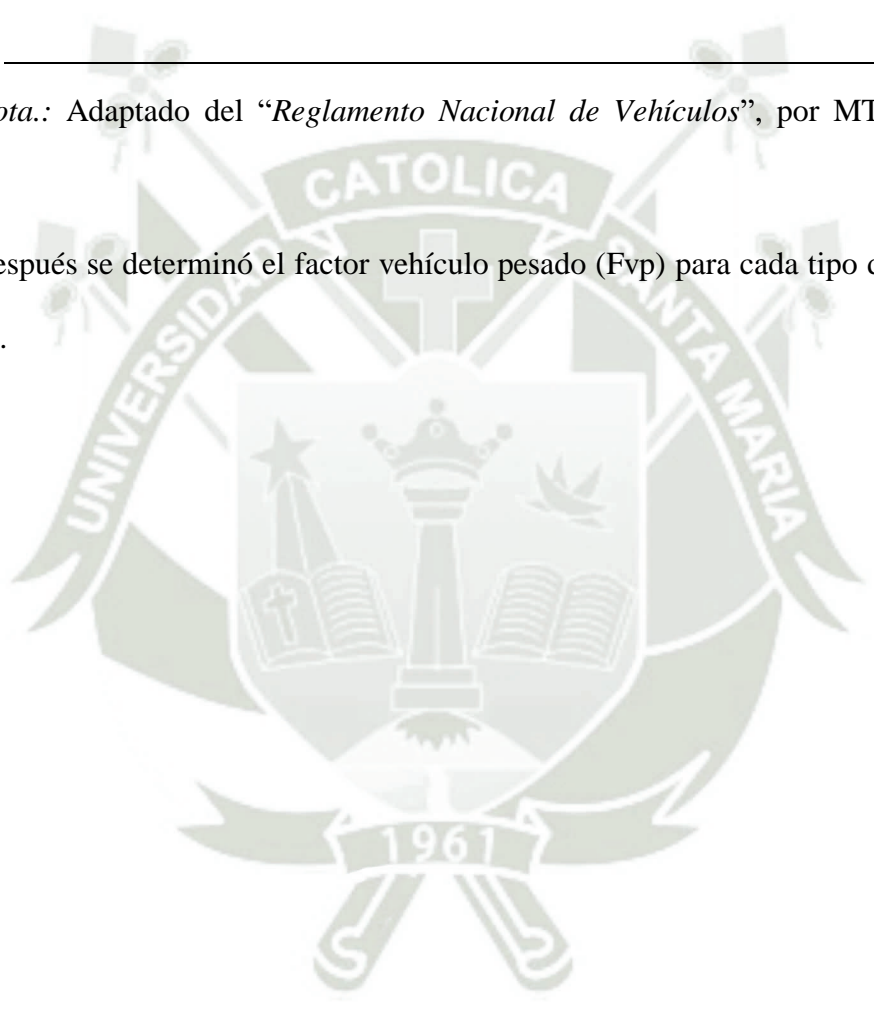


Tabla 77
Peso máximo por ejes y Factor de Ejes Equivalentes.

Tipo de vehículo		IMDA	Ubicac.	Tipo	Número	Carga	Fvpi	Fvpi x IMDa	
		2038	del eje	Eje	Llantas	Eje Tn	Flexible	Flexible	
Vehiculos ligeros	Autos	94.0	Eje Del.	Simple	2	1	0.001	0.0495	
		94.0	Eje Post.	Simple	2	1	0.001	0.0495	
	Swagon	37.6	Eje Del.	Simple	2	1	0.001	0.0198	
		37.6	Eje Post.	Simple	2	1	0.001	0.0198	
	Pick up	26.0	Eje Del.	Simple	2	1	0.001	0.0137	
		26.0	Eje Post.	Simple	2	1	0.001	0.0137	
	Panel	28.6	Eje Del.	Simple	2	1	0.001	0.0151	
		28.6	Eje Post.	Simple	2	1	0.001	0.0151	
	Rural	40.3	Eje Del.	Simple	2	1	0.001	0.0212	
		40.3	Eje Post.	Simple	2	1	0.001	0.0212	
	Micro	0.9	Eje Del.	Simple	2	1	0.001	0.0005	
		0.9	Eje Post.	Simple	2	1	0.001	0.0005	
Bus	2E	0.0	Eje Del.	Simple	2	7	1.265	0.0000	
		0.0	Eje Post.	Simple	4	11	7.716	0.0000	
	>3E	0.0	Eje Del.	Simple	2	7	1.265	0.0000	
		0.0	Eje Post.	Tandem	6	16	34.539	0.0000	
Camion	2E	1.8	Eje Del.	Simple	2	7	1.265	2.2856	
		1.8	Eje Post.	Simple	4	11	3.234	5.8411	
	3E	0.0	Eje Del.	Simple	2	7	1.265	0.0000	
		0.0	Eje Post.	Tandem	8	18	2.019	0.0000	
	4E	0.0	Eje Del.	Simple	2	7	1.265	0.0000	
		0.0	Eje Post.	Tridem	10	23	1.508	0.0000	
Semitrailer	2S1	0.0	Eje Del.	Simple	2	7	1.265	0.0000	
		0.0	Eje Medio	Simple	4	11	3.234	0.0000	
		0.0	Eje Post.	Simple	4	11	3.234	0.0000	
	2S2	0.0	Eje Del.	Simple	2	7	1.265	0.0000	
		0.0	Eje Medio	Simple	4	11	3.234	0.0000	
		0.0	Eje Post.	Tandem	8	18	2.019	0.0000	
	2S3	0.0	Eje Del.	Simple	2	7	1.265	0.0000	
		0.0	Eje Medio	Simple	4	11	3.234	0.0000	
		0.0	Eje Post.	Tridem	12	25	1.706	0.0000	
	3S1	0.0	Eje Del.	Simple	2	7	1.265	0.0000	
		0.0	Eje Medio	Tandem	8	18	2.019	0.0000	
		0.0	Eje Post.	Simple	4	11	3.234	0.0000	
		0.0	Eje Del.	Simple	2	7	1.265	0.0000	
		0.0	Eje Medio	Tandem	8	18	2.019	0.0000	
		0.0	Eje Post.	Tandem	8	18	2.019	0.0000	
	3S2	0.0	Eje Del.	Simple	2	7	1.265	0.0000	
		0.0	Eje Medio	Tandem	8	18	2.019	0.0000	
		0.0	Eje Post.	Tandem	8	18	2.019	0.0000	
		0.0	Eje Del.	Simple	2	7	1.265	0.0000	
		0.0	Eje Medio	Tandem	8	18	2.019	0.0000	
0.0		Eje Post.	Tandem	8	18	2.019	0.0000		
>= 3S3	0.0	Eje Del.	Simple	2	7	1.265	0.0000		
	0.0	Eje Medio	Tandem	8	18	2.019	0.0000		
	0.0	Eje Post.	Tridem	12	25	1.706	0.0000		
Trailer	2T2	0.0	Eje Dela.	Simple	2	7	1.265	0.0000	
		0.0	Eje Medio	Simple	4	11	3.234	0.0000	
		0.0	Eje Post.	Simple	4	11	3.234	0.0000	
	2T3	0.0	Eje Dela.	Simple	2	7	1.265	0.0000	
		0.0	Eje Medio	Simple	4	11	3.234	0.0000	
		0.0	Eje Medio	Simple	4	11	3.234	0.0000	
	3T2	0.0	Eje Post.	Tandem	8	18	2.019	0.0000	
		0.0	Eje Dela.	Simple	2	7	1.265	0.0000	
		0.0	Eje Medio	Tandem	8	18	2.019	0.0000	
	>=3T3	3T2	0.0	Eje Medio	Simple	4	11	3.234	0.0000
			0.0	Eje Post.	Simple	4	11	3.234	0.0000
			0.0	Eje Post.	Simple	4	11	3.234	0.0000
		>=3T3	0.0	Eje Dela.	Simple	2	7	1.265	0.0000
			0.0	Eje Medio	Tandem	8	18	2.019	0.0000
			0.0	Eje Medio	Simple	4	11	3.234	0.0000
0.0	Eje Post.	Tandem	8	18	2.019	0.0000			

Σ IMDA_f x Fvpi

8.3664

Por último, se halló el Factor de presión de neumáticos, debido a que se mide en campo, se asumió un valor referencial de 1.0.

Con los datos obtenidos se resolverá las siguientes ecuaciones para el cálculo del número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 ton, en el periodo de diseño:

$$EE_{dia-carril} = IMDA_f \cdot p_i \cdot F_d \cdot F_c \cdot F_{vpi}$$

Donde:

- IMD_{pi} : Índice medio diario según el tipo de vehículo seleccionado.
- F_d : Factor Direccional.
- F_c : Factor Carril de diseño.
- F_{vpi} : Factor vehículo pesado, representa el número de ejes equivalentes promedio.
- F_p : Factor de presión de neumáticos.

$$EE_{dia-carril} = \sum [IMD_{A_f} \cdot F_{vpi}] \cdot p_i \cdot F_d \cdot F_c$$

$$EE_{dia-carril} = (8.3664) \cdot (1.0) \cdot (0.5) \cdot (1.0)$$

$$EE_{dia-carril} = 4.1832$$

$$Nrep \text{ de } EE_{8.2 \text{ ton}} = \sum [EE_{dia-carril} \times F_{ca} \times 365]$$

Donde:

- ✓ $Nrep$ de EE 8.2ton: Numero de repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 ton.
- ✓ $EE_{día-carril}$: Ejes Equiv. por tipo de vehículo pesado, por día para el carril diseño.
- ✓ F_{ca} : Factor de crecimiento acumulado por tipo de vehículo pesado.

$$Nrep \text{ de } EE_{8.2 \text{ ton}} = ESAL = W18 = EE_{dia-carril} \times F_{ca} \times 365$$

$$ESAL = W18 = (4.1832) \times (50.72) \times 365$$

$$ESAL = W18 = 77,445.15$$



CAPITULO VII

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN
CARRETERA RURAL

7. DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN CARRETERAS

7.1. Metodología de diseño

Para el diseño del pavimento flexible se utilizara la norma Suelos geologia, geotecnia y pavimentos (MTC, 2014) donde nos indica las factores con mayor influencia en el diseño y como emplearlos:

- Las cargas del tránsito vehicular sobre el pavimento
- Las características de la subrasante donde se sobrepone el pavimento

7.2. Diseño de pavimento flexible - metodología AASHTO 93.

Formula de diseño:

$$\log W_{18} = Z_R S_o + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log(M_R) - 8.07$$

Donde:

- ✓ W18: número estimado de ejes simples equivalentes a 8.2 ton.
- ✓ Zr: desviación estándar normal.
- ✓ So: error estándar combinado con la predicción del tránsito y del comportamiento.
- ✓ ΔPSI: diferencia entre el índice de servicio inicial (Po) y el final (Pt).
- ✓ Mr: módulo resiliente.
- ✓ SN: número estructural.

Variables de diseño:

(a) Confiabilidad (%R):

Representa la probabilidad que la estructura de pavimento se comporte de acuerdo a lo previsto durante su periodo de diseño. La confiabilidad no es un factor que ingrese en la ecuación de diseño, pero se determina previo al coeficiente estadístico Zr (Tabla 78).

Tabla 78

Valores de nivel de confiabilidad (10 a 20 años) según tráfico.

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP0	75,000	150,000	65%
	TP1	150,001	300,000	70%
	TP2	300,001	500,000	75%
	TP3	500,001	750,000	80%
	TP4	750 001	1,000,000	80%
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	85%
	TP6	1,500,001	3,000,000	85%
	TP7	3,000,001	5,000,000	85%
	TP8	5,000,001	7,500,000	90%
	TP9	7,500,001	10'000,000	90%
	TP10	10'000,001	12'500,000	90%
	TP11	12'500,001	15'000,000	90%
	TP12	15'000,001	20'000,000	95%
	TP13	20'000,001	25'000,000	95%
	TP14	25'000,001	30'000,000	95%
	TP15		>30'000,000	95%

Nota. De: “Manual Suelos, geología, geotecnia y pavimentos”, por MTC (2014, pág. 133).

(b) Coeficiente Estadístico de Desviación Estándar Norma (Zr):

Este coeficiente establece el valor de la confiabilidad seleccionada (Tabla 79).

Tabla 79

Zr (10 a 20 años) según confiabilidad y tráfico.

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP0	75,000	150,000	-0.385
	TP1	150,001	300,000	-0.524
	TP2	300,001	500,000	-0.674
	TP3	500,001	750,000	-0.842
	TP4	750 001	1,000,000	-0.842
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	-1.036
	TP6	1,500,001	3,000,000	-1.036
	TP7	3,000,001	5,000,000	-1.036
	TP8	5,000,001	7,500,000	-1.282
	TP9	7,500,001	10'000,000	-1.282
	TP10	10'000,001	12'500,000	-1.282
	TP11	12'500,001	15'000,000	-1.282
	TP12	15'000,001	20'000,000	-1.645
	TP13	20'000,001	25'000,000	-1.645
	TP14	25'000,001	30'000,000	-1.645
	TP15		>30'000,000	-1.645

Nota. De: “Manual Suelos, geología, geotecnia y pavimentos”, por MTC (2014, pág. 135).

(c) Desviación Estándar Combinada (So):

Este valor representa la variabilidad esperada de la predicción de los factores que afectan el comportamiento del pavimento como, por ejemplo, la incertidumbre de predicción del tránsito, la construcción o el medio ambiente. La guía AASHTO recomienda valores entre 0.4 y 0.5, sin embargo el manual Suelos geología, geotecnia y pavimentos (MTC, 2014) indica usar el valor de 0.45.

(d) Índice de Serviciabilidad presente (PSI)

Este valor representa la comodidad del funcional del pavimento ofrecida al usuario. Su valor oscila entre 0 y 5, donde 5 refleja la mejor comodidad y 0 por el contrario el peor.

(i) Serviciabilidad Inicial (Pi):

Es la condición de la vía recién construida. (Tabla 80).

Tabla 80

Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi) según rango de Tráfico.

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (Pi)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP1	150,001	300,000	3.80
	TP2	300,001	500,000	3.80
	TP3	500,001	750,000	3.80
	TP4	750,001	1,000,000	3.80
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	4.00
	TP6	1,500,001	3,000,000	4.00
	TP7	3,000,001	5,000,000	4.00
	TP8	5,000,001	7,500,000	4.00
	TP9	7,500,001	10'000,000	4.00
	TP10	10'000,001	12'500,000	4.00
	TP11	12'500,001	15'000,000	4.00
	TP12	15'000,001	20'000,000	4.20
	TP13	20'000,001	25'000,000	4.20
	TP14	25'000,001	30'000,000	4.20
	TP15		>30'000,000	4.20

Nota. De: "Manual Suelos, geología, geotecnia y pavimentos", por MTC (2014, pág. 137).

(ii) Serviciabilidad Final (Pt):

Es la condición de la vía cuando ya requiere alguna reconstrucción o rehabilitación. (Tabla 81).

Tabla 81

Índice de Serviciabilidad Final (Pt) según rango de Tráfico.

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL (Pt)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP1	150,001	300,000	2.00
	TP2	300,001	500,000	2.00
	TP3	500,001	750,000	2.00
	TP4	750,001	1,000,000	2.00
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	2.50
	TP6	1,500,001	3,000,000	2.50
	TP7	3,000,001	5,000,000	2.50
	TP8	5,000,001	7,500,000	2.50
	TP9	7,500,001	10'000,000	2.50
	TP10	10'000,001	12'500,000	2.50
	TP11	12'500,001	15'000,000	2.50
	TP12	15'000,001	20'000,000	3.00
	TP13	20'000,001	25'000,000	3.00
	TP14	25'000,001	30'000,000	3.00
	TP15		>30'000,000	3.00

Nota. De: “Manual Suelos, geología, geotecnia y pavimentos”, por MTC (2014, pág. 138).

(e) De CBR a Modulo Resiliente

Se utilizó la siguiente correlación para obtener el módulo resiliente a partir del ensayo CBR.

$$M_R = 2555 \cdot CBR^{0.64}$$

(f) Numero Estructural (SN):

Este valor representa el espesor total del pavimento de diseño y se transforma a espesores efectivos de cada una de las capas que lo constituyen a través de la siguiente ecuación:

Determinación de espesores: (ver Tabla 82)

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

Donde:

- ✓ a_1, a_2, a_3 : coeficientes estructurales de las capas: superficial, base y subbase, respecto.
- ✓ d_1, d_2, d_3 : espesores (en cm) de las capas: superficial, base y subbase, respectivamente.
- ✓ m_2, m_3 : coeficientes de drenaje para las capas de base y subbase, respectivamente.

Tabla 82

Coefficientes Estructurales de las capas del pavimento.

COMPONENTE DEL PAVIMENTO	COEFICIENTE	VALOR COEFICIENTE ESTRUCTURAL a_i (cm)	OBSERVACIÓN
CAPA SUPERFICIAL			
Carpeta Asfáltica en Caliente, módulo 2,965 MPa (430,000 PSI) a 20 °C (68 °F)	a_1	0.170 / cm	Capa Superficial recomendada para todos los tipos de Tráfico
Carpeta Asfáltica en Frio, mezcla asfáltica con emulsión.	a_1	0.125 / cm	Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq 1'000,000$ EE
Micropavimento 25 mm	a_1	0.130 / cm	Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq 1'000,000$ EE
Tratamiento Superficial Bicapa.	a_1	(*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq 500,000$ EE. No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8%; y, en vías con curvas pronunciadas, curvas de volteo, curvas y contracurvas, y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
Lechada asfáltica (slurry seal) de 12 mm.	a_1	(*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq 500,000$ EE No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8% y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
(*) no se considerapor no tener aporte estructural			
BASE			
Base Granular CBR 80%, compactada al 100% de la MDS	a_2	0.052 / cm	Capa de Base recomendada para Tráfico $\leq 10'000,000$ EE
Base Granular CBR 100%, compactada al 100% de la MDS	a_2	0.054 / cm	Capa de Base recomendada para Tráfico $> 10'000,000$ EE
Base Granular Tratada con Asfalto (Estabilidad Marshall = 1500 lb)	a_{2a}	0.115 / cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cemento (resistencia a la compresión 7 días = 35 kg/cm ²)	a_{2b}	0.070 cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cal (resistencia a la compresión 7 días = 12 kg/cm ²)	a_{2c}	0.080 cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
SUBBASE			
Subbase Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS	a_3	0.047 / cm	Capa de Subbase recomendada con CBR mínimo 40%, para todos los tipos de Tráfico

Nota. De: "Manual Suelos, geología, geotecnia y pavimentos", por MTC (2014, pág. 141).

7.3. Diseño de pavimento flexible (Tradicional).

Se realizó el diseño del pavimento flexible utilizando la siguiente ecuación establecida en el Manual Suelos, geología, geotecnia y pavimentos (MTC, 2014) para calcular el Número Estructural y posteriormente los espesores efectivos de cada capa que conforma al pavimento. El CBR utilizado fue de la metodología tradicional. (Tabla 83 y Tabla 84).

$$\log W_{18} = Z_R S_o + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log(M_R) - 8.07$$

Tabla 83

Resultado CBR de la vía de estudio metodología tradicional.

CBR tradicional		
CBR referido al 95% de la Máxima Densidad Seca y una penetración de 0.1"	%	9

Tabla 84

Calculo del número estructural - metodología tradicional.

Variable	Símbolo	Unid.	Valor
Nº repeticiones de EE 8.2 ton	W18	-	77445.15
Log(Nº repeticiones de EE 8.2 ton)	log(W18)	-	4.889
CBR Subrasante 0.1" al 95% M.P.U.S	-	%	9
Módulo de Resiliencia	MR	psi	10425.72
Confiabilidad	R	%	65
Desviación Estándar Normal	Zr	-	-0.385
Desviación Estándar Combinada	So	-	0.45
Variación de serviciabilidad	ΔPSI	-	1.8
Serviciabilidad Inicial	Pi	-	3.8
Serviciabilidad Final o terminal	Pt	-	2.0
SN			2.1674

Pasa el cálculo de los espesores de las capas del pavimento se usó la ecuación mostrada a continuación, los resultados se muestran en la Tabla 85 y la Figura 90.

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

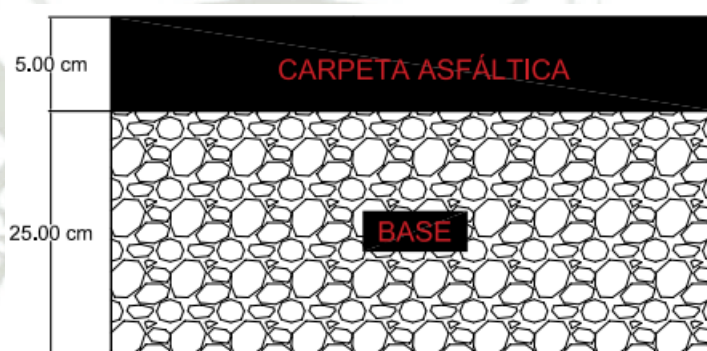
Tabla 85

Espesores efectivos del pavimento - metodología tradicional.

Carp. Asf. a1	Base a2	Subbase a3	Base m1	Subbase m2	Carp. Asf. D1 (cm)	Base D2 (cm)	Subbase D3 (cm)	SN
0.17	0.052	0.047	1	1	5	24	0	2.145
0.17	0.052	0.047	1	1	5	25	0	2.197
0.17	0.052	0.047	1	1	5	26	0	2.249

Figura 90

Espesores del pavimento de la vía- metodología tradicional.



7.4. Diseño de pavimento flexible (RAMCODES)

Se realizó el diseño del pavimento flexible utilizando de igual manera la ecuación establecida en el Manual Suelos, geología, geotecnia (MTC, 2014) para calcular el Número Estructural y posteriormente los espesores efectivos de cada capa que conforma al pavimento. Se utilizó a diferencia el CBR de la metodología RAMCODES (Tabla 86 y Tabla 87).

$$\log W_{18} = Z_R S_o + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log(M_R) - 8.07$$

Tabla 86

Resultado CBR de la vía de estudio metodología RAMCODES.

CBR RAMCODES		
CBR referido al 96.5% de la Máxima Densidad Seca y una penetración de 0.1"	%	27

Tabla 87

Calculo del número estructural - metodología RAMCODES.

Variable	Símbolo	Unid.	Valor
Nº repeticiones de EE 8.2 ton	W18	-	77445.15
Log(Nº repeticiones de EE 8.2 ton)	log(W18)	-	4.889
CBR Subrasante 0.1" al 95% M.P.U.S	-	%	26.5
Módulo de Resiliencia	MR	psi	20809.82
Confiabilidad	R	%	65
Desviación Estándar Normal	Zr	-	-0.385
Desviación Estándar Combinada	So	-	0.450
Variación de serviciabilidad	ΔPSI	-	1.8
Serviciabilidad Inicial	Pi	-	3.8
Serviciabilidad Final o terminal	Pt	-	2.0
SN			1.83

Pasa la determinación de los espesores de las capas del pavimento se usó la siguiente ecuación igualmente, los resultados se muestran en la Tabla 88 y la Figura 91.

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

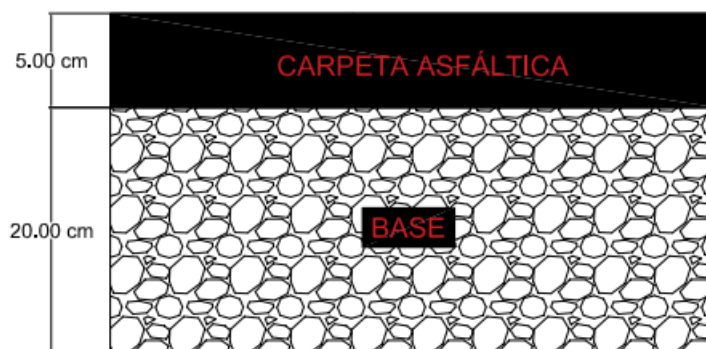
Tabla 88

Espesores efectivos del pavimento - metodología RAMCODES.

Carp. Asf. a1	Base a2	Subbase a3	Base m1	Subbase m2	Carp. Asf. D1 (cm)	Base D2 (cm)	Subbase D3 (cm)	SN
0.17	0.052	0.047	1	1	5	18	0	1.833
0.17	0.052	0.047	1	1	5	19	0	1.885
0.17	0.052	0.047	1	1	5	20	0	1.937

Figura 91

Espesores del pavimento de la vía - metodología RAMCODES.



7.5. Discusión de resultados

Se interpreta de lo expuesto que al utilizar la herramienta espectro de curvas de diseño de la metodología RAMCODES, analizando el grado de saturación de la vía a 86.5% definida a partir del contenido de humedad óptimo de (9.6%), se obtuvo un CBR de 27% como resultado final de un experimento factorial de 21 especímenes, esto aumentando el porcentaje de compactación a 96.5%, el cual cumple con las especificaciones mínimas (CBR=24%), a diferencia de la metodología tradicional donde se obtuvo un CBR de 9% a partir de 3 especímenes con un 95% de compactación preestablecido por la norma, el cual no cumple con el CBR mínimo.

Esta diferencia de CBRs hallados por las diferentes metodologías, mediante una correlación, se convirtieron en diferentes módulos de resiliencia, aplicados a la ecuación del diseño del pavimento, obteniendo como resultado una diferencia de espesores de 5cm para la base, mientras que el espesor de la carpeta asfáltica se mantuvo constante.



CAPITULO VIII
PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN CON BIM

8. PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN CON BIM

Para el desarrollo del enfoque BIM en la carretera de acceso al centro poblado de Canacota se realizó en primer lugar el modelado y para el análisis tanto del presupuesto como del cronograma se centró en el desglose de los siguientes elementos:

- Movimiento de tierras
- Pavimento Flexible

Para el modelado BIM 3D se utilizaron dos programas: Civil 3D e InfraWorks, mientras que para el modelado BIM 4D se utilizó el programa NasvisWorks (Figura 92).

Figura 92

Flujo de modelado BIM.



8.1. Punto de Partida– 1D

Un pequeño diagnóstico

En base a la revisión de la documentación en SEACE, la búsqueda de los informes emitidos por la Municipalidad Provincial de Caylloma, el análisis fue la falta de implementación de métodos colaborativos en la documentación que conforma el contrato como las bases integradas, la oferta ganadora, planos, expediente técnico de obra y calendarios de ejecución, que no incluye una gestión mutua y colaborativa, falta de incentivos para las buenas

prácticas y la falta de claridad, con poca consideración de los riesgos potenciales en el mismo contrato.

Propuestas de mejora

En base a este diagnóstico, se recomienda implementar Contratos estándar como NEC o FIDIC. De acuerdo a Yabar-Ardiles et al. (2023) la gestión contractual puede mejorarse utilizando las siguientes herramientas: identificación temprana de riesgos, incentivo a las buenas prácticas, incentivo para la optimización del tiempo, penalizaciones por bajo rendimiento y mecanismos de comunicación obligatorios.

8.2. Vector 2D

En base a la información del proyecto se tiene los siguientes elementos de análisis: movimiento de tierras y pavimento flexible, los cuales muestran una falta de interacción y compatibilización entre estas especialidades, el proyecto finaliza en 2D con los planos, en tanto que se sabe que no se aplicó 3d, en la siguiente sección se describe el procedimiento del modelado.

8.3. Procedimiento de modelado 3D

8.3.1. Niveles de información

Según la Guía Nacional BIM (MEF, 2023), LOIN (Level of Information Need o Nivel de Información Necesaria), es el nivel de necesidad de información de cada entregable de acuerdo con los objetivos de la fase del ciclo del proyecto, establece una referencia que define el alcance y está conformada por LOD (nivel de detalle) y LOI (nivel de información).

La Tabla 89 muestra la definición del nivel de información necesaria LOIN para el proyecto.

Tabla 89

Evaluación y definición del LOIN.1

¿Cuándo?	Fase de Ejecución / Expediente Técnico	
¿Por qué?	Objetivo: diseño del pavimento implementando la metodología RAMCODES, estimación del costo y programación del pavimento.	
¿Quién?	Solicita: Municipalidad Provincial de Caylloma / Responsable: Proyectista	
¿Qué?	Modelado del diseño del pavimento	
¿Cómo?	Detalle Geométrico:	El modelado considera la forma y dimensión precisa de la vía, el espesor y otros componentes para el diseño como las curvas de nivel.
	Dimensión:	3D
	Ubicación:	15°33'13.16"S 71°34'9.51"O
	Apariencia:	Uso de color y texturas
	Comportamiento paramétrico:	Parámetros de diseño de manera completa
	Identificación:	Pavimento Flexible
LOI 4	Contenido de Información:	CBR tradicional, CBR Ramcodes, Grado de Saturación, ESAL, Largo: 2.5km , Ancho: 5.3m, 2 carriles, Base 20cm, Carpeta Asfáltica: 5cm.
	Documentación Asociada:	-Especificaciones Técnicas (MTC, 2013) -Manual Ramcodes

Se define un LOD 3 ya que se modela como un objeto o sistema con características de cantidad, tamaño y forma definida. Se puede medir el largo, ancho y alto de la forma geométrica de los elementos que componen el diseño. Se tiene ubicación definida y absoluta (coordenadas georreferenciales del proyecto) y se considera color y textura para los tipos de elementos.

Se define un LOI 4 ya que se proporciona información suficiente para el diseño y construcción del pavimento, datos y parámetros para procesar la información en obra, como el costo y tiempo, necesarios para cumplir con los objetivos del proyecto.

8.3.2. Modelado de vía en civil 3D

Para el modelado de la vía en Civil 3D se tomó en cuenta el diseño geométrico ya existente en la actualidad. El proceso del modelamiento no se detalla por fines prácticos, pero se muestran los resultados a continuación (Figura 93, Figura 94 y Figura 95).

Figura 93

Verificación de curvas de nivel de la vía Canacota.

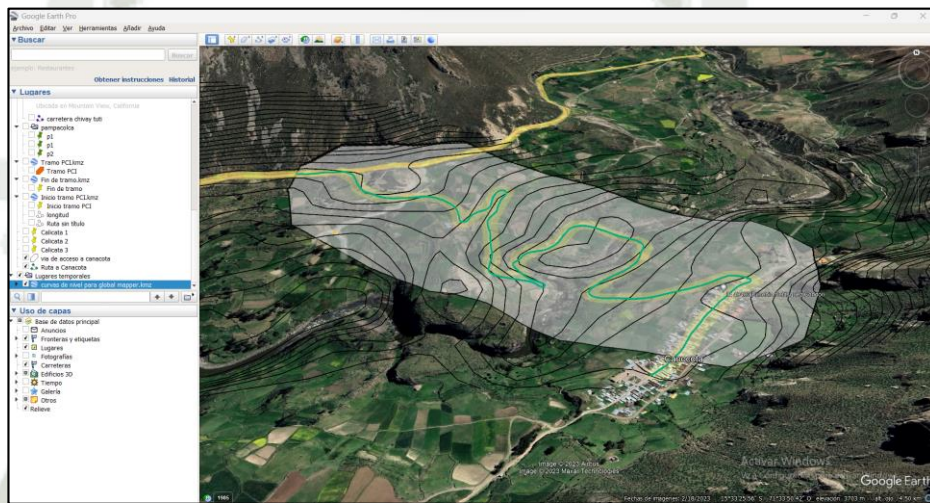


Figura 94

Reconocimiento del proyecto en Civil 3D.

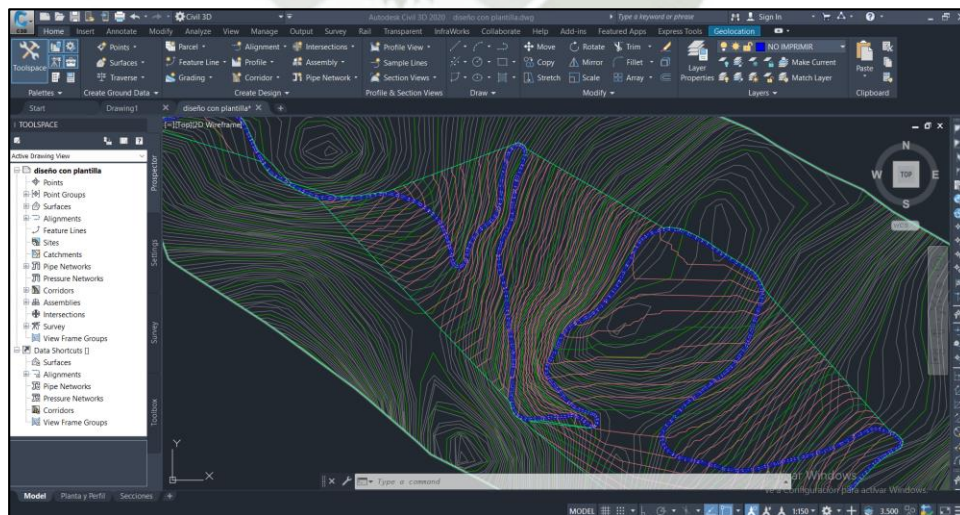
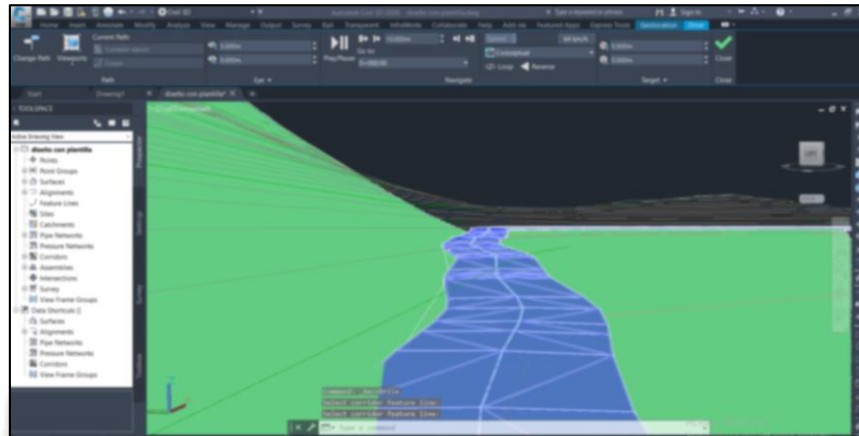


Figura 95

Modelado de la vía en Civil 3D.



8.3.3. Procesamiento del proyecto en InfraWorks

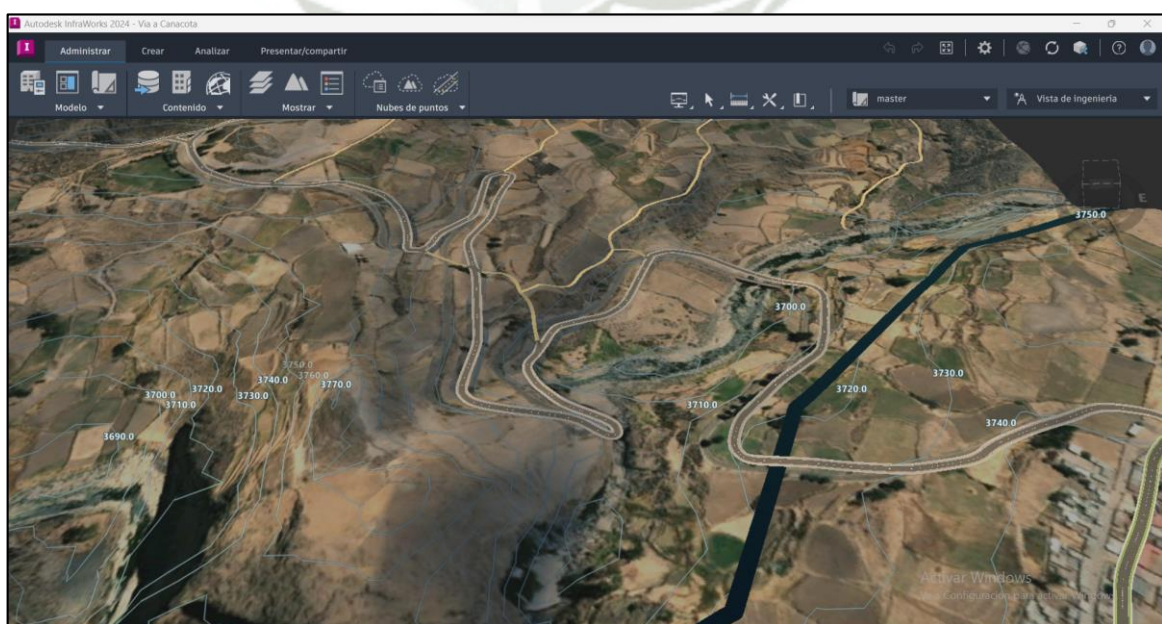
Se vinculó a InfraWorks el modelo realizado en Civil 3D para analizar el diseño previsto y posibles interferencias en un contexto realista.

Además de la visualización, este software BIM también es utilizado para la planeación, ya que es una herramienta enfocada a generar propuestas y presentar el diseño a los clientes.

La figura 96 muestra la vía de estudio en el programa InfraWorks.

Figura 96

Reconocimiento del proyecto en InfraWorks.



8.4. Análisis económico

Para realizar el análisis comparativo del presupuesto se identificaron las principales partidas que muestren un mayor reconocimiento de la incidencia del uso de la metodología BIM y RAMCODES. Se utilizaron las mismas partidas definidas para la comparación de ambos y se muestran en la Tabla 90.

Tabla 90

Partidas para los elementos de la vía de estudio.

Ítem	Metodología Tradicional	Metodología BIM/RAMCODES	Condición
01	Movimiento de tierras	Movimiento de tierras	
01.01	Excavación a nivel de la subrasante	Excavación a nivel de la subrasante	Igual
01.02	Carguío de material excedente	Carguío de material excedente	Igual
01.03	Eliminación de material excedente	Eliminación de material excedente	Igual
01.04	Perfilado y compactado de la subrasante	Perfilado y compactado de la subrasante	Igual
02	Pavimento	Pavimento	
02.01	Base Granular	Base Granular	Igual
02.02	Carpeta Asfáltica	Carpeta Asfáltica	Igual
02.02.01	Imprimación asfáltica	Imprimación asfáltica	Igual
02.02.02	Pavimento de concreto asfáltico	Pavimento de concreto asfáltico	Igual

8.4.1. Metrados

Los metrados para la comparación de las metodologías en el elemento movimiento de tierras se obtuvieron del modelado BIM y para el elemento pavimento flexible se consideró la diferencia de espesores de la base obtenidos anteriormente mediante la metodología RAMCODES. Se respetó las propiedades de la vía existente, por lo que se consideró una vía de 2500m de longitud, de dos sentidos, un carril cada uno y un ancho de calzada de 5.30 m.

A continuación, se muestra los metrados de capa partida analizada en el proyecto de la vía de estudio a Canacota. (Tabla 91 y 92). El desagregado de los metrados de cada partida se detallan en el Anexo D.

Tabla 91

Metrado de la vía de estudio, metodología Tradicional.

Ítem	Descripción	Unid.	Metrado
01	Movimiento de tierras		
01.01	Excavación a nivel de la subrasante	m3	41,473.66
01.02	Carguío de material excedente	m3	29,361.31
01.03	Eliminación de material excedente	m3	29,361.31
01.04	Perfilado y compactado de la subrasante	m2	13,250.00
02	Pavimento		
02.01	Base Granular	m3	3,312.50
02.02	Carpeta Asfáltica		
02.02.01	Imprimación asfáltica	m2	13,250.00
02.02.02	Pavimento de concreto asfáltico	m3	662.50

Tabla 92

Metrado de la vía de estudio, metodología BIM/RAMCODES.

Ítem	Descripción	Unid.	Metrado
01	Movimiento de tierras		
01.01	Excavación a nivel de la subrasante	m3	40,910.50
01.02	Carguío de material excedente	m3	27,983.64
01.03	Eliminación de material excedente	m3	27,983.64
01.04	Perfilado y compactado de la subrasante	m2	13,250.00
02	Pavimento		
02.01	Base Granular	m3	2,650.00
02.02	Carpeta Asfáltica		
02.02.01	Imprimación asfáltica	m2	13,250.00
02.02.02	Pavimento de concreto asfáltico	m3	662.50

8.4.2. Presupuesto

Para el presupuesto se utilizó el ACU detallado en el Anexo E, para el precio unitario de los materiales y equipos se estableció en base a cotizaciones y al manual de Costos y Presupuestos en Edificación (Capeco, 2003), y para los costos unitarios de la mano de obra se usó la tabla de Salarios y Beneficios sociales con periodo de vigencia actual publicado por Capeco y la FTCCP (Tabla 93).

Tabla 93

Tabla de Salarios y Beneficios Sociales.

TABLA SALARIOS Y BENEFICIOS SOCIALES PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIÓN CIVIL						
EXPEDIENTE N° 235-2023-MTPE/2.14-NEC DEL 01.06.2023 AL 31.05.2024						
OPERARIO						
Jomal	84.70	*	6	días	508.20	
D.S.O.	14.12	*	6	días	84.70	
BUC 32 %	27.10	*	6	días	162.62	
Bonif. Por Movilidad	8.00	*	6	días	48.00	
Total Salarios					803.52	
Descuento ONP 13%					98.22	
Descuento CONAF. 2%					11.86	
Pago Neto Semanal					693.45	
OFICIAL						
Jomal	66.45	*	6	días	398.70	
D.S.O.	11.08	*	6	días	66.45	
BUC 30 %	19.94	*	6	días	119.61	
Bonif. Por Movilidad	8.00	*	6	días	48.00	
Total Salarios					632.76	
Descuento ONP 13%					76.02	
Descuento CONAF. 2%					9.30	
Pago Neto Semanal					547.44	
PEÓN						
Jomal	59.80	*	6	días	358.80	
D.S.O.	9.97	*	6	días	59.80	
BUC 30 %	17.94	*	6	días	107.64	
Bonif. Por Movilidad	8.00	*	6	días	48.00	
Total Salarios					574.24	
Descuento ONP 13%					68.41	
Descuento CONAF. 2%					8.37	
Pago Neto Semanal					497.46	
Asignación Escolar por un hijo						
	Diario	Mensual	HORAS EXTRAS			
			Simples	60%	100%	Indemniz.
OPERARIO	7.06	211.75	10.59	16.94	21.18	1.59
OFICIAL	5.54	166.13	8.31	13.29	16.61	1.25
PEON	4.98	149.50	7.48	11.96	14.95	1.12

Fuente: <https://www.ftccperu.com/images/TABLAS%20SALARIALES%20PDF/Tabla%20salarial%20%202023-2024.pdf>.

Los rendimientos utilizados para el análisis de precios unitarios están en base al manual Costos y Tiempos en Carreteras (Ibañez, 2011) y el informe de Análisis de Precios Unitarios (HOB Consultores S.A., 2018). A continuación, se muestra los presupuestos analizados mediante la metodología tradicional y la metodología BIM/RAMCODES en el proyecto de la vía de estudio a Canacota. (Tabla 94 y 95).

Tabla 94

Presupuesto de la vía de estudio, metodología Tradicional.

Ítem	Descripción	Und.	Metrado	Precio	Presupuesto
01	Movimiento de tierras				
01.01	Excavación a nivel de subrasante	m3	41473.66	5.04	S/. 208,838.65
01.02	Carguío de material excedente de la excavación	m3	29361.31	2.28	S/. 66,801.18
01.03	Eliminación de material excedente de la excavación	m3	29361.31	6.12	S/. 179,614.14
01.04	Perfilado y compactación de la subrasante	m2	13250.00	3.65	S/. 48,329.53
02	Pavimento				
02.01	Base Granular	m3	3312.50	70.68	S/. 234,118.33
02.02	Carpeta Asfáltica				
02.02.01	Imprimación Asfáltica	m2	13250.00	3.26	S/. 43,143.65
02.02.02	Pavimento de concreto asfáltico en caliente	m3	662.50	1129.91	S/. 748,566.80
					S/.1,529,412.28

Tabla 95

Presupuesto de la vía de estudio, metodología BIM/RAMCODES.

Ítem	Descripción	Und.	Metrado	Precio	Presupuesto
01	Movimiento de tierras				
01.01	Carguío de material excedente de la excavación	m3	40910.50	5.04	S/. 206,002.88
01.02	Eliminación de material excedente de la excavación	m3	27983.64	2.28	S/. 63,666.78
01.03	Eliminación de material procedente de la excavación	m3	27983.64	6.12	S/. 171,186.40
01.04	Perfilado y compactación de la subrasante	m2	13250.00	3.92	S/. 51,914.26
02	Pavimento				
02.01	Base Granular	m3	2650.00	70.68	S/. 187,294.67
02.02	Carpeta Asfáltica				
02.02.01	Imprimación Asfáltica	m2	13250.00	3.26	S/. 43,143.65
02.02.02	Pavimento de concreto asfáltico en caliente	m3	662.50	1129.91	S/. 748,566.80
					S/.1,471,775.44

8.5. Análisis Cronológico

8.5.1. Procesamiento del proyecto en NasvisWorks:

BIM 4D incorpora la dimensión del tiempo para los elementos del modelado 3D y generar un cronograma, en base a la revisión del modelo, una coordinación y detección de interferencias, lo que permitirá ahorrar tiempo en la obra.

Para procesar el proyecto en NasvisWorks (modelado 4D) se utilizó la información de los elementos del modelado 3D que son:

- Movimiento de tierras
- El pavimento flexible conformado por la base y carpeta asfáltica.

En primer lugar, se identificó y definió las partidas. Las actividades definidas se muestran en la Tabla 96.

Tabla 96

Partidas para los elementos de la vía de estudio.

Ítem	Descripción	Unid.
01	Movimiento de tierras	
01.01	Excavación a nivel de subrasante	m3
01.02	Carguío de material excedente procedente de la excavación	m3
01.03	Eliminación de material procedente de la excavación	m3
01.04	Perfilado y compactación de la subrasante	m2
02	Pavimento	
02.01	Base Granular	m3
02.02	Carpeta Asfáltica	
02.02.01	Imprimación asfáltica	m2
02.02.02	Pavimento de concreto asfáltico en caliente	m3

Posteriormente, se identifica el orden de la ejecución de las partidas para llevarlo a la realidad virtual e identificar futuras incompatibilidades del cronograma.

Para esto es necesario estimar el tiempo que demorara en ejecutarse cada partida, por lo que se usó los rendimientos para el cálculo. Los rendimientos se tomaron en referencia del

manual Costos y Presupuestos en Edificación (Capeco, 2003), ya que no es una variable de estudio (Tabla 97 y Tabla 98).

Tabla 97

Duración estimada para las partidas, metodología tradicional.

Ítem	Descripción	Und.	Metrado	Rendimiento	Und.	Tiempo Calculado (día)	Numero de Cuadrilla	Tiempo Estimado (día)
01	Movimiento de tierras							
01.01	Excavación a nivel de la subrasante	m3	41,473.66	570	m3/día	72.76	1	73
01.02	Carguío de material excedente	m3	29,361.31	840	m3/día	34.95	1	35
01.03	Eliminación de material excedente	m3	29,361.31	195	m3/día	150.57	2	76
01.04	Perfilado y compactación de la subrasante*	m2	13,250.00	2860	m2/día	4.63	1	5
02	Pavimento							
02.01	Base Granular	m3	3,312.50	371	m3/día	8.93	2	5
02.02	Carpeta Asfáltica							
02.02.01	Imprimación asfáltica	m2	13,250.00	4500	m2/día	2.94	1	3
02.02.02	Pavimento de concreto asfáltico	m3	662.50	246	m3/día	2.69	1	3

Tabla 98

Duración estimada para las partidas, metodología BIM/RAMCODES.

Ítem	Descripción	Und.	Metrado	Rendimiento	Und.	Tiempo Calculado (día)	Numero de Cuadrilla	Tiempo Estimado (día)
01	Movimiento de tierras							
01.01	Excavación a nivel de la subrasante	m3	40910.50	570	m3/día	71.77	1	72
01.02	Carguío de material excedente	m3	27983.64	840	m3/día	33.31	1	34
01.03	Eliminación de material excedente	m3	27983.64	195	m3/día	143.51	2	72
01.04	Perfilado y compactación de la subrasante*	m2	13250.00	2860	m2/día	4.63	1	6
02	Pavimento							
02.01	Base Granular	m3	2650.00	371	m3/día	7.14	2	4
02.02	Carpeta Asfáltica							
02.02.01	Imprimación asfáltica	m2	13250.00	4500	m2/día	2.94	1	3
02.02.02	Pavimento de concreto asfáltico	m3	662.50	246	m3/día	2.69	1	3

* Anteriormente se escogió 96.5% de compactación con la metodología RAMCODES, esto tiene una incidencia cronológica y el autor proporciona una relación del ahorro tiempo - máquina para un porcentaje de compactación.

Figura 97

Relación cronológica de la maquinaria por % de compactación.



%C	90%	92.5%	95%
#Pases 8 ton	4	5	6
Ahorro tiempo-máquina/95%	34%	17%	-
Ahorro US\$/día/máquina	340	170	-
Ahorro US\$/año/máquina	83.000	42.500	-
Ahorro total US\$/año: 5 frentes de 2 máquinas c/u	830.000	425.000	-

*año de 250 días. 1 máquina US\$ 1000/día de 8 horas

Nota. De: Sánchez (2009).

De la Figura 97, se observa que para una diferencia de 2.5% de compactación se tiene un ahorro tiempo – máquina del 17%, ya que se está aumentando 1.5% de compactación, se agregó el 10.2% de duración a la partida Compactación de la Subrasante, dado que inicialmente duraba 5 días, ahora será 6 días.

El siguiente paso es el desarrollo del cronograma, para este punto se analizó la secuencia y las duraciones de cada partida, para la metodología tradicional se procesó el análisis en Project 2016, mientras que para la metodología BIM se procesó el modelado 3D en el programa NavisWorks, donde se obtuvo interacciones de cada partida y una visión global de la obra; considerando todas actividades como partidas críticas se procedió a calcular el cronograma (ver Figura 98 y Figura 99).

Figura 98

Programación de la vía en estudio - metodología tradicional.

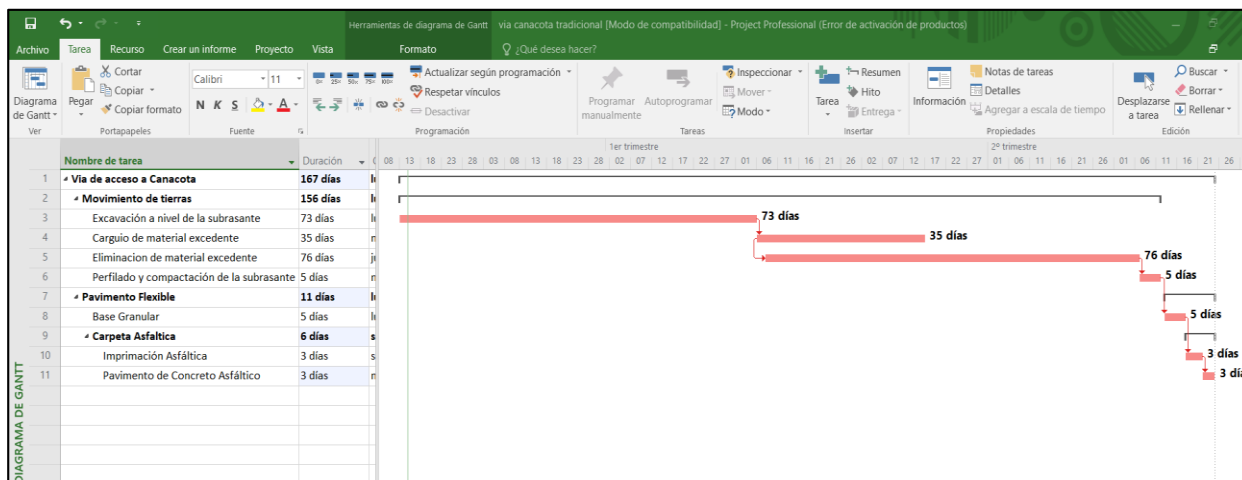
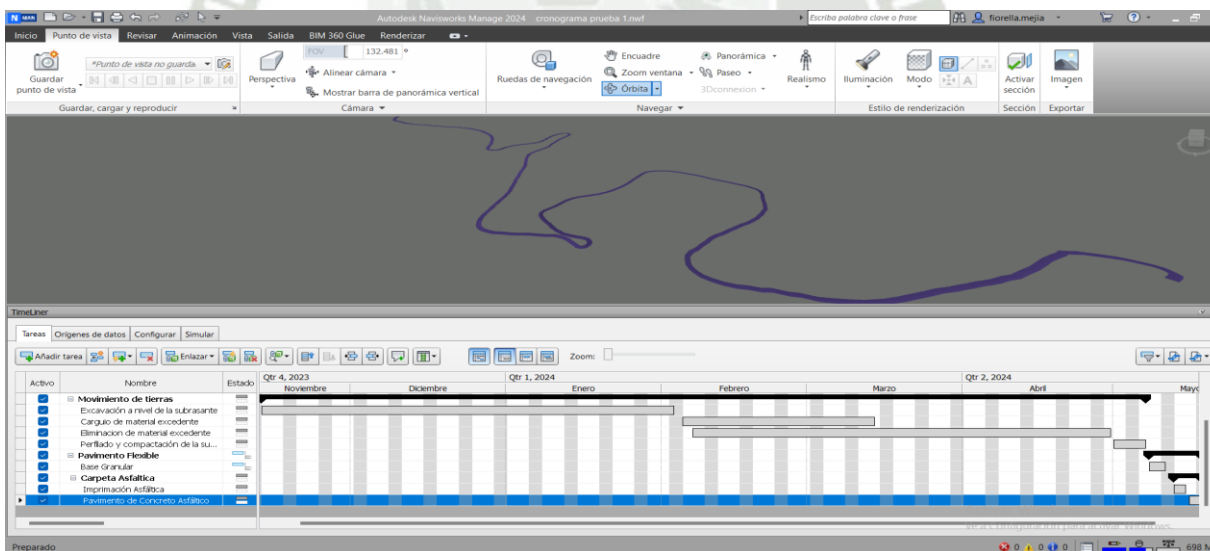


Figura 99

Programación de la vía en estudio - metodología BIM/RAMCODES.



8.6. Comparativa

Se evalúa la variación porcentual del metrado de movimiento de tierras según las metodologías propuestas, donde se observa que aplicando la metodología RAMCODES se pudo reducir el espesor del pavimento y por ende el movimiento de tierras calculado a partir del modelado BIM. Cabe recalcar que dentro del elemento movimiento de tierras al aumentar la compactación con la metodología RAMCODES esto ocasiono un aumento en dinero al proyecto (Figura 100). La Tabla 99 muestra la comparativa del efecto económico de las actividades en mención.

Tabla 99

Comparación % del efecto económico de las metodologías propuestas.

Ítem	Descripción	Unid.	Presupuesto Tradicional	Presupuesto BIM/Ramcodes	Variación	%
01	Movimiento de tierras					
01.01	Excavación a nivel de subrasante	m3	S/.208,838.65	S/.206,002.88	S/-.2,835.77	1.4%
01.02	Carguío de material excedente	m3	S/.66,801.18	S/.63,666.78	S/-.3,134.40	4.7%
01.03	Eliminación de material excedente	m3	S/.179,614.14	S/.171,186.40	S/-.8,427.74	4.7%
01.04	Perfilado y compactación de la subr.	m2	S/.48,329.53	S/.51,914.26	S/-.3,584.73	-7.4%
02	Pavimento Flexible					
02.01	Base Granular	m3	S/.234,118.33	S/.187,294.67	S/-.46,823.67	20.0%
02.02	Carpeta Asfáltica					
02.02.01	Imprimación Asfáltica	m2	S/.43,143.65	S/.43,143.65	S/. 0.00	0.0%
02.02.02	Pavimento de concreto asfáltico	m3	S/.748,566.80	S/.748,566.80	S/. 0.00	0.0%
TOTAL			S/.1,529,412.28	S/.1,471,775.44	S/-.57,636.84	3.8%

Para el elemento pavimento flexible, el metrado final obtenido por las metodologías propuestas es menor que el obtenido por la metodología tradicional, y por ende una menor estimación económica. Al desglosar el elemento, para la base granular, se obtuvo una reducción de presupuesto mientras que para el caso de la carpeta asfáltica y la imprimación asfáltica se mantuvo constante para ambas metodologías como se muestra en la Figura 101.

Figura 100

Comparación % del efecto económico– movimiento de tierras.

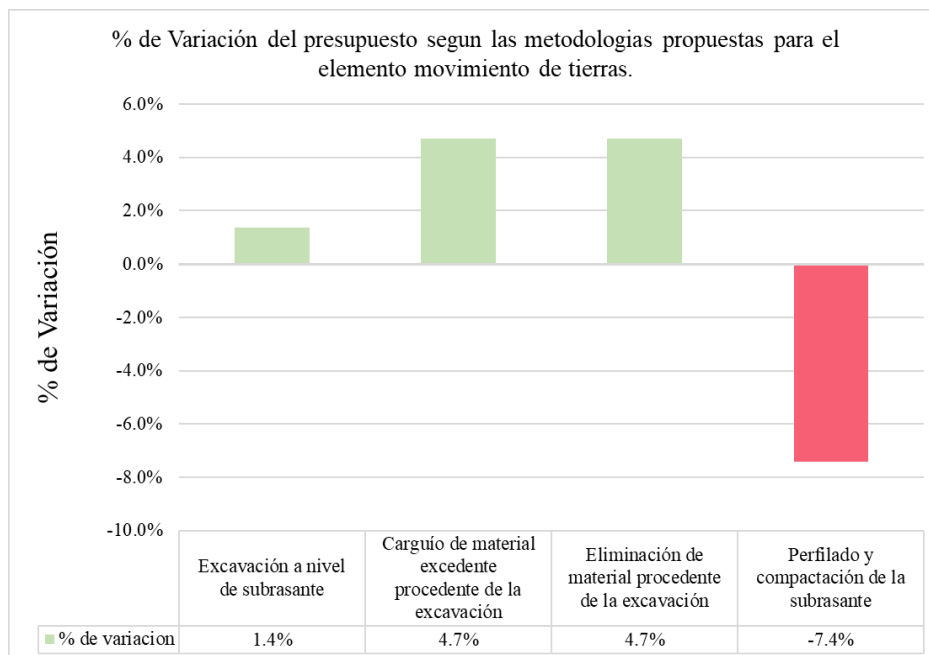
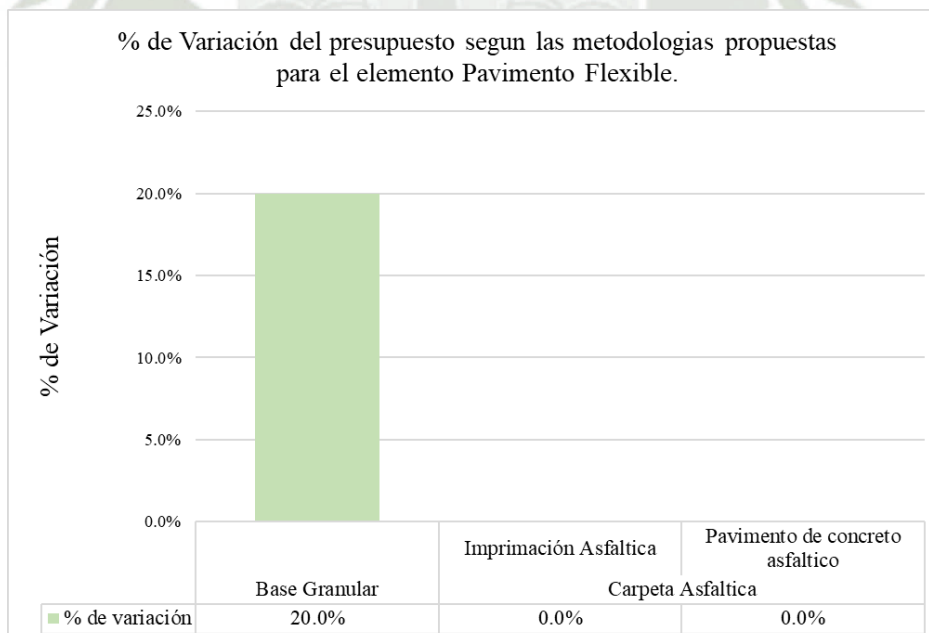


Figura 101

Comparación % del efecto económico– pavimento flexible.



Para el efecto cronológico, más que una diferencia en la duración del proyecto se pudo apreciar que con la metodología BIM se puede tener una mejor gestión en el proceso de la construcción, cambiar algún rendimiento o duración en el programa y obtener automáticamente

la variación en todo el proyecto, si en algún caso ocurre algún percance en la obra, se podrá planificar o ver las alternativas de cambio en el proyecto y tomar la mejor decisión.

La Tabla 100 y Figura 102 muestran la comparativa del efecto cronológico de las actividades.

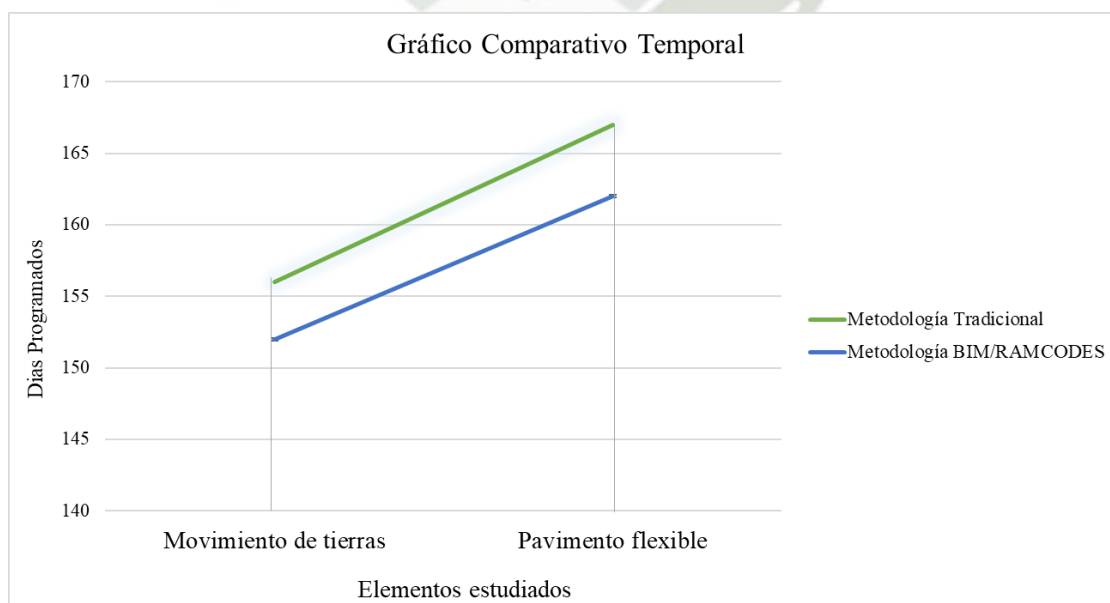
Tabla 100

Comparación del efecto cronológico de las metodologías propuestas.

Ítem	Descripción	Unid.	Tiempo E. (día) Trad.	Tiempo E. (día) BIM/RAMCODES	Variación (días)	%
01	Movimiento de tierras					
01.01	Excavación a nivel de subrasante	m3	73	72	1	1.37%
01.02	Carguío de material excedente	m3	35	34	1	2.86%
01.03	Eliminación de material excedente	m3	76	72	4	5.26%
01.04	Perfilado y compactación de la subr.	m2	5	6	-1	-20.00%
02	Pavimento					
02.01	Base Granular	m3	5	4	1	20.00%
02.02	Carpeta Asfáltica					
02.02.01	Imprimación Asfáltica	m2	3	3	0	0.00%
02.02.02	Pavimento de concreto asfáltico	m3	3	3	0	0.00%

Figura 102

Comparación de los días programados por ambas metodologías.

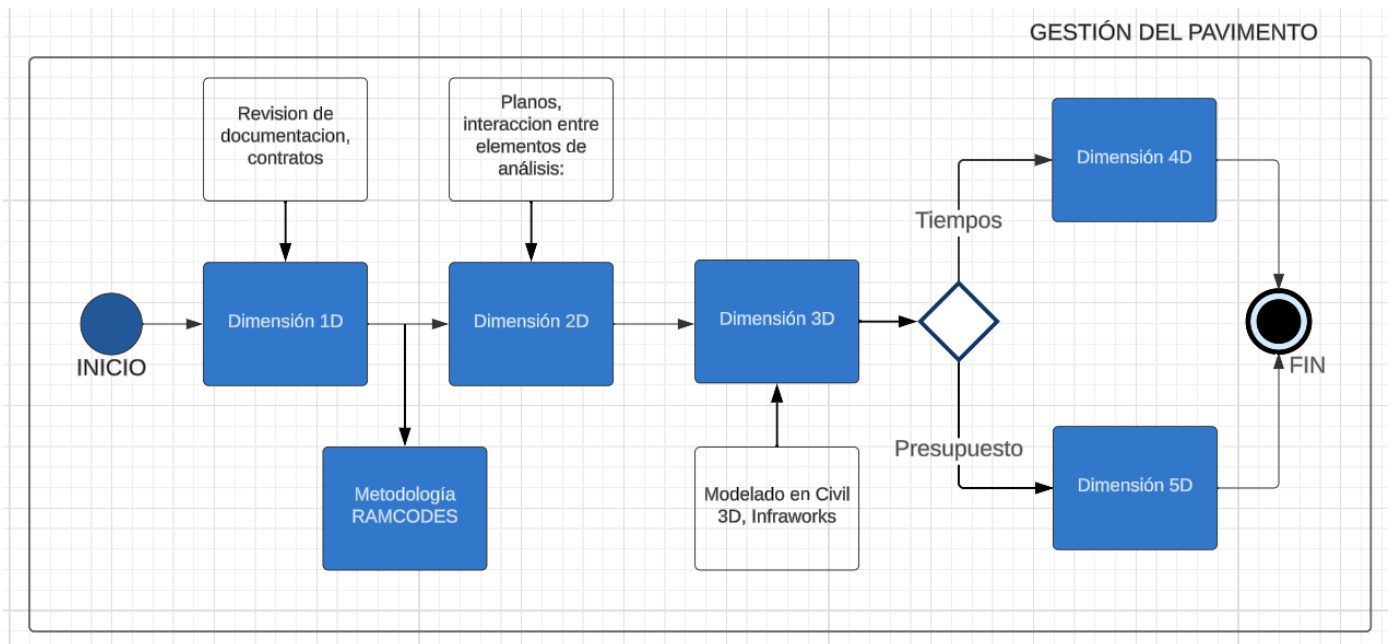


8.7. Mapa de procesos

La figura 103 muestra el mapa de procesos bajo los lineamientos de la guía técnica de BIM Perú para la vía de estudio.

Figura 103

Mapa de procesos de la vía de estudio.



Nota. Elaborado a partir de las recomendaciones de la Guía Nacional BIM. (MEF, 2023).

8.8. Beneficios/optimización bajo en enfoque BIM

Según los presupuestos hallados por las metodologías propuestas en base a los elementos claves indicados anteriormente se tiene:

- Presupuesto de la vía metodología tradicional: S/. 1,529,412.28
- Presupuesto de la vía metodología BIM/RAMCODES: S/. 1,471,775.44

La diferencia entre estos dos presupuestos es de: S/. 57,636.84, lo cual representa un ahorro de 3.8% del presupuesto base.

Según los cronogramas hallados por las metodologías propuestas en base a los elementos claves se tiene:

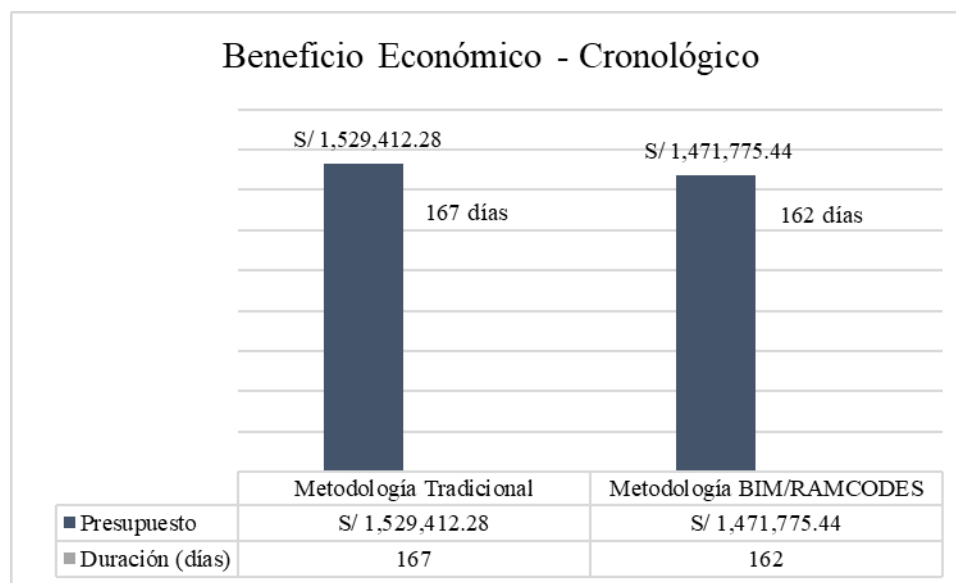
- Duración del cronograma de la vía metodología tradicional: 167 días

- Duración del cronograma de la vía metodología BIM/RAMCODES: 162 días.

La diferencia entre estos dos cronogramas es de: 5 días, lo cual representa un ahorro de 3.0% de la duración base. La Figura 104 muestra ambas comparaciones.

Figura 104

Comparación beneficio económico - cronológico.



8.9. Recomendaciones estratégicas

En el diseño de pavimentos, los profesionales tienen el reto de diseñar bajo parámetros ya establecidos, sin analizar a detalle lo que realmente se necesita, por lo que muchas veces se sobre diseña o sub diseña generando gastos excesivos o pavimentos fallados, es por lo que se recomienda implementar ambas metodologías para una toma de decisiones de manera profesional.

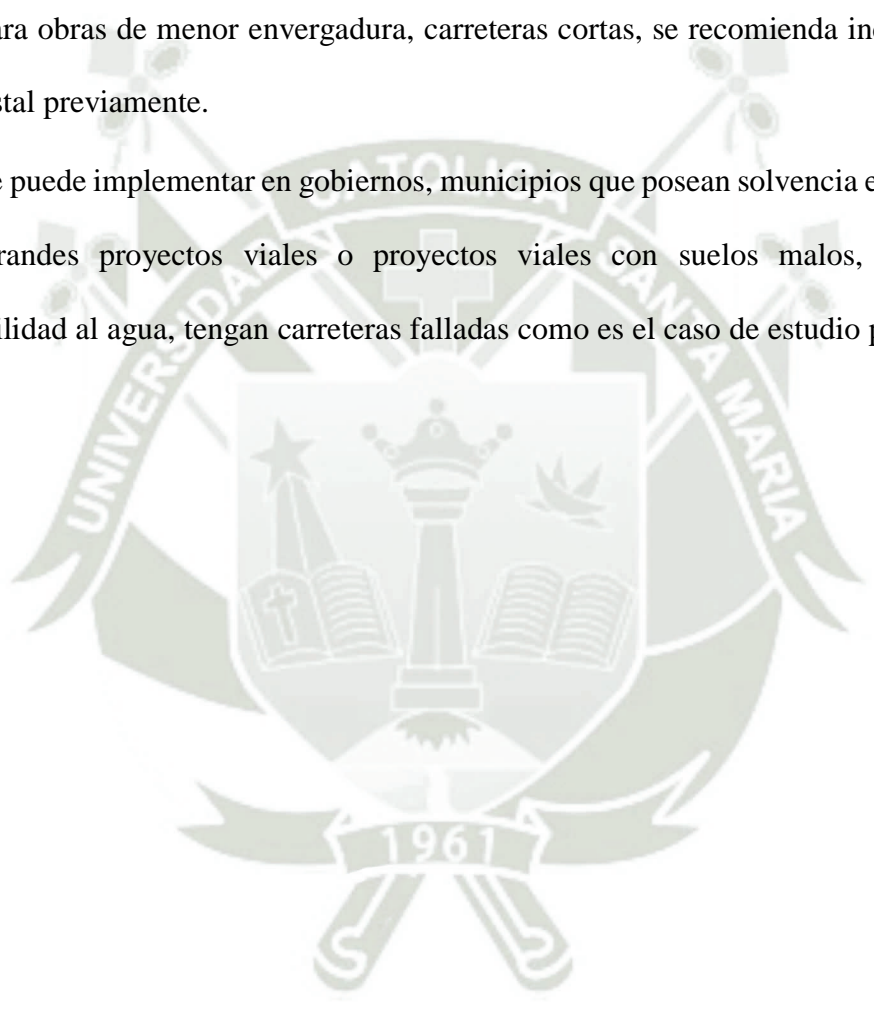
Se recomienda su aplicación en carreteras más extensas y con un mayor movimiento de tierras para beneficios más notables, ya que al tener el mínimo resultado que cumpla con las especificaciones del proyecto se obtendrá un óptimo diseño con menores espesores. Si bien es cierto los beneficios que se obtuvo en la vía de estudio no fueron sustanciales, pero esto es debido a que se trata de una vía de 2.5km.

Se puede implementar las dos metodologías propuestas en cualquier proyecto vial, pero es importante estar capacitado para su correcto desarrollo.

La implementación de la metodología RAMCODES demanda un mayor número de ensayos de CBR, por lo que se recomienda tener una cantidad de técnicos adecuada y los suficientes equipos de laboratorio para el desarrollo.

Para obras de menor envergadura, carreteras cortas, se recomienda incluir un análisis presupuestal previamente.

Se puede implementar en gobiernos, municipios que posean solvencia económica y que tengan grandes proyectos viales o proyectos viales con suelos malos, arcillosos, con susceptibilidad al agua, tengan carreteras falladas como es el caso de estudio para un correcto análisis.



CONCLUSIONES

Respecto al primer objetivo específico, se llevó a cabo una evaluación de los deterioros existentes en la superficie del pavimento de la carretera de estudio Chivay – Canacota. Se utilizó el método del PCI (Pavement Condition Index), para el cual se identificaron 12 unidades de muestreo a evaluar, con lo que se determinó que el 33% se encuentra en estado Fallado (PCI entre 0 y 10), 17 % se encuentra en estado Muy Malo (PCI entre 10 y 25), 17% de la vía se encuentra en estado Malo (PCI entre 25 y 40), 25% se encuentra en estado Regular (PCI entre 40 y 55) y el 8% se encuentra en estado Bueno (PCI entre 55 y 70). Finalmente agrupando los resultados del PCI de las 12 unidades de muestreo se determinó que el PCI de la vía de estudio es 29.2, catalogándola en un estado de “Malo”.

Respecto al segundo objetivo específico, se determinó la viabilidad para implementar los mapas de resistencia de la metodología RAMCODES en ensayos de CBR para el diseño del pavimento del sistema de infraestructura vial y comparar los espesores respecto a una metodología tradicional. Se desarrolló el estudio de mecánica de suelos, y se determinó su clasificación en los sistema SUCS, AASHTO y RAMCODES, además se vio que la subrasante posee una pequeña cantidad de finos, de 1 y 2 % de finos, paquetes arcillo - limosos, se calculó los CBRs de las diferentes metodologías para la subrasante y para ver si la base cumplía los requerimientos establecidos por la norma, tanto para el agregado fino y grueso, se llevó a cabo el estudio de tránsito donde se obtuvo un IMDA de 153 veh./día, verificando un bajo volumen de tránsito para posteriormente hallar el ESAL; y con estas dos variables se realizó el diseño del pavimento. Se estableció un procedimiento para implementar la metodología RAMCODES en un diseño de pavimento flexible para una carretera urbano rural y se demostró que las mayores resistencias no se encuentran con el contenido óptimo de agua, sino con uno inferior. Basado en el experimento factorial, se construyó el mapa de resistencia en el programa OriginPro 2023 y al interseccionarlas con las curvas de saturación se obtuvo el espectro de curvas

de diseño de la vía de estudio, a través de estas curvas de diseño se analizó de manera profesional el criterio tradicional del 95% de compactación y se demostró a este porcentaje de compactación no cumple la resistencia mínima requerida ($CBR=24\%$) motivo por el que la carretera fallo, además se propuso una solución con un CBR óptimo y aumentando el porcentaje de compactación a 96.5% para que cumpla con dichas exigencias. A partir de los dos diseños de pavimento flexible se obtuvo una reducción de los espesores del pavimento, en específico la capa de la base en 20%.

Respecto al tercer objetivo específico, Comparar el presupuesto de la carretera bajo el enfoque BIM incluyendo los mapas de resistencia de RAMCODES en comparación con una metodología tradicional. Al analizar los metrados y los precios unitarios, con la metodología tradicional se tuvo un presupuesto de S/. 1,529,412.28 y al implementar las metodologías BIM-RAMCODES el presupuesto final fue: S/. 1,471,775.44, teniendo una incidencia de S/. 57,636.84, lo cual representa un ahorro de 3.8% del presupuesto base. Al analizar los cronogramas realizados mediante ambas metodologías propuestas se obtuvo una duración con la metodología tradicional de 167 días, y la metodología BIM – RAMCODES de 162 días, una diferencia de 5 días, lo cual representa un ahorro de 3.0% de la duración base. Cabe recalcar que el aumento de 1.5% de compactación tuvo una incidencia en el análisis de precios unitarios de la partida “Perfilado y compactación de la subrasante” de 3.65 (método tradicional) a 3.92 (método BIM/RAMCODES) soles por cada metro cubico.

Respecto al cuarto objetivo específico, se plantearon recomendaciones estratégicas para la implementación adecuada de las metodologías BIM y RAMCODES en carreteras urbano rural. Dentro de las más importantes esta: Se recomienda la aplicación de ambas metodologías propuestas en carreteras más extensas y con un mayor movimiento de tierras ya que al disminuir el espesor del pavimento o el grado de compactación por metro lineal aumenta el porcentualmente el beneficio.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un mantenimiento a la vía de estudio para garantizar un transporte más seguro y cómodo, ya que la vía se encuentra en su mayoría en malas condiciones, con diversas fallas.

Se recomienda evaluar el factor costo para carreteras urbano rurales que no tengan problemáticas y con una buena subrasante, en donde no necesariamente se tenga que aplicar la metodología RAMCODES.

Se recomienda aplicar la metodología BIM en carreteras para una mejor visualización tanto del diseño del pavimento como del diseño geométrico y su verificación con la normativa peruana.

Se recomienda evaluar la implementación de tecnologías como el levantamiento topográfico por dron para un mejor nivel de detalle LOIN.

Recomendaciones para investigaciones futuras: Se recomienda analizar otras herramientas de la metodología RAMCODES como el polígono de vacíos para el diseño Marshall de mezclas asfálticas.

REFERENCIAS

- ASTM D1883. (2021). *Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils*. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM D2487-17e1. (2020). *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM D3282. (2015). *Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes*. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM D6433. (2023). *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys*. West Conshohocken: ASTM International.
- Barreto, S., Banguera, J., & Cordova, J. (2018, Enero). Análisis comparativo de ejes equivalentes obtenidos mediante método AASHTO 93 y los proporcionados por pesaje en balanza fija de vehículos. *Revista Científica de la Universidad de Cienfuegos*, 10. Retrieved from <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/762/863>
- Bascoy, O. (2022, Febrero 23). *Imasgal*. Retrieved from ¿Que es Infraworks?: <https://imasgal.com/que-es-infraworks/>
- Bautista, J. (Julio de 2021). *Análisis de la seguridad vial desde el diseño geométrico de la carretera Canchaque – Huancabamba*. Obtenido de Universidad de Piura: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/5083/ICI_2111.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cal y Mayor, R., & Cardenas, J. (2018). *Ingeniería de Transito, Fundamentos y Aplicaciones*. México: Alfaomega.
- Capeco. (2003). *Costos y presupuestos en edificación*. Lima.
- D.S. N° 058. (2003). *Reglamento Nacional de Vehículos*. MTC, Lima.
- Das, B. (2013). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (Cuarta ed.). México: Cengage Learning.

- Espinoza, D. (2019). *“Determinación de espesores de pavimentos flexibles vial y aeroportuario considerando el análisis y reestructuración de pesas de sobrecarga equivalente en ensayos de CBR para subrasante de suelos granulares en la ciudad de Arequipa.* Arequipa: UCSM.
- Feo, L., & Alvarado, L. (2012, Noviembre). USO DE MAPAS DE RESISTENCIA PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN CONSTRUCCIÓN DE TERRAPLENES DE SUELOS COHESIVOS. *FORO SEGURIDAD DE PRESAS EN PANAMÁ*, 7.
- Galiard, C., Pece, M., & Juarez, M. (2010). *Analisis de la variancia en experimentos factoriales.* Universidad Nacional de Santiago del Estero. Retrieved Marzo 04, 2023, from <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/sd-21-estadistica.pdf>
- Geotechtips. (2020, Diciembre 29). *Geotechtips.* Retrieved from ¿que es el CBR?: <https://www.geotechtips.com/post/que-es-el-cbr?>
- Gonzalez, D. E. (2018). *Metodologías de reparación para pavimentos flexibles de mediano y bajo transito.* Chile: Universidad Andres Bello.
- Hernandez, R. (2014). *Metodologia de la investigación* (Sexta ed.). Mexico, Mexico: McGRAW-HILL.
- HOB Consultores S.A. (2018, Noviembre). *Estudio de Factibilidad y Definitivo del Proyecto: Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera EMP.PE-1NJ (Dv. Huancabamba) Buenos Aires – Salitral – D. Canchaque – EMP.PE-3N – Huancabamba, Tramo: 71+600 – Huancabamba. Análisis de Precios Unitarios.* Retrieved from http://gis.proviasnac.gob.pe/expedientes/2018/pec0001_2018/EXPEDIENTE_TECNICO/43%20An%C3%A1lisis%20de%20precios%20unitarios.pdf
- Huayana, K. P. (2022, Mayo 11). *Konstruedu.* Retrieved from BIM en la pre construcción de proyectos viales: <https://konstruedu.com/es/blog/bim-en-la-preconstruccion-de-proyectos-viales>
- Ibañez, W. (2011). *Costos y Tiempos en Carreteras.* Lima, Perú: Macro.
- Inga, H., & Gutierrez, J. (2022). Implementación del espectro de curvas de diseño RAMCODES de suelos no saturados de subrasantes en el diseño de pavimentos flexibles. *Revista Tecnia.* doi:<https://doi.org/10.21754/tecnia.v32i2>

- MEF. (2023). *Guía Nacional BIM, Gestión de la información para inversiones desarrolladas con BIM*. Lima. Retrieved from <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4333290/Gu%C3%ADa%20Nacional%20BIM%20-%20Gesti%C3%B3n%20de%20la%20informaci%C3%B3n%20para%20inversiones%20desarrolladas%20con%20BIM.pdf?v=1680013516>
- MTC. (2013). *Especificaciones Técnicas Generales para Construcción*. Lima, Peru. Retrieved from [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-13%20Especificaciones%20Técnicas%20Generales%20para%20Construcci%C3%B3n%20-%20EG-2013%20-%20\(Versi%C3%B3n%20Revisada%20-%20JULIO%20](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-13%20Especificaciones%20Técnicas%20Generales%20para%20Construcci%C3%B3n%20-%20EG-2013%20-%20(Versi%C3%B3n%20Revisada%20-%20JULIO%20)
- MTC. (2014). *Suelos geología, geotecnia y pavimentos*. Lima. Retrieved from https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-05-14%20Seccion%20Suelos%20y%20Pavimentos_Manual_de_Carreteras_OK.pdf
- MTC. (2016). *Manual de ensayos de materiales*. Lima, Perú. Retrieved from https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-06-16%20Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf
- NTP 339.145, i. (1999). Metodo de ensayo de CBR (relacion de soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. *Indecopi*.
- OMS. (20 de 06 de 2022). *WHO.INT*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>
- Rodríguez, A. (2019). *Diseño integral para el mejoramiento a nivel de afirmado de la vía vecinal MO-512, tramo Talahuayo - Vinomore del KM 18+000 al KM 23+000, distrito de La Capilla, provincia general Sanchez Cerro, Moquegua, 2019*. Moquegua: UCSM.
- Rodríguez, E. D. (2009). *Calculo del indice de condicion del pavimento flexible en la Av. Luis Montero, Distrito de Castilla*. Piura, Perú: Universidad de Piura. Retrieved Julio 18, 2023

- Sanchez, F. (2009). *Metodología de Análisis y Diseño de Geomateriales*. (I. V. (INVEAS), Ed.) Venezuela: FundaSOLESTUDIOS.
doi:<https://academia.geotechtips.com/courses/suelos-compactados-101>
- Tacza, E., & Rodríguez, B. (2018). *Evaluación de fallas mediante el método PCI y planteamiento de alternativas de intervención para mejorar la condición operacional del pavimento flexible en el carril segregado del corredor Javier Prado*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Retrieved Julio 18, 2023, from <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/624556>
- Vásquez, L. (2002). *Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras*. Manizales: ingepav.
- Vicsan, U. (29 de Setiembre de 2021). BIM, UNA METODOLOGÍA QUE AYUDA LA LUCHA CONTRA LA CORRUPCIÓN, EN EL SECTOR CONSTRUCCIÓN. *Universo Vicsan*. Obtenido de <https://universovicsan.com/articulo/alianza-bim-lucha-contra-la-corrupcion-en-el-sector-construccion/>
- Vitorino, P. (26 de Junio de 2021). *Konstruedu.com*. Obtenido de ¿Qué es y para qué sirve AutoCAD Civil 3D?: <https://konstruedu.com/es/blog/que-es-y-para-que-sirve-autocad-civil-3d>
- Zubimendi. (2021, noviembre 10). *Editeca*. Retrieved from Claves fundamentales para conocer la herramienta Navisworks: <https://editeca.com/claves-fundamentales-navisworks/>



ANEXO A:

Cálculo del PCI para cada unidad de muestreo



UNIDAD DE MUESTREO 01:

METODO PCI						Esquema: 43.5m		
INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO EN VIAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE						5.30m		
HOJA DE REGISTRO								
Nombre de la vía:	Via de acceso a Canacota- Chivay	Seccion:	0+043.5 - 0+087			Unidad de muestra:	Nº02	
Ejecutor:	Bach. Estephany Mejia Ccarita	Fecha:	24/07/2023			Área:	230.55	
1. Piel de cocodrilo (L/M/H), m2	6. Depresión (L/M/H), m2	11. Parcheo- parcheo serv. públ. (L/M/H), m2	16. Desplazamiento (L/M/H),m2					
2. Exudación (L/M/H), m2	7. Fisura de borde (L/M/H), m	12. Agregado pulido, m2	17. Fisura parabólica o por deslizamiento (L/M/H),m2					
3. Fisuras en bloque (L/M/H), m2	8. Fisura de reflexión de junta (L/M/H), m	13. Baches(L/M/H),unid.	18. Hinchamiento (L/M/H),m2					
4. Abultamiento y hundimiento (L/M/H), m	9. Desnivel carril - berma (L/M/H), m	14. Cruce de ferrocarril (L/M/H), m2	19.1 Intemperismo (M/H),m2					
5. Corrugación (L/M/H), m2	10. Fisuras longit. y transv. (L/M/H), m	15. Ahuellamiento (L/M/H), m2	19.2 Peladura (L/M/H),m2					
FALLA	CANTIDAD					TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
1L	0.40					0.40	0.17%	4
1M	0.62					0.62	0.27%	12
1H	1.46					1.46	0.63%	25
3L	14.70	16.78	8.68	2.15	5.92	48.22	20.92%	14
10L	0.81	1.39				2.20	0.95%	0
10M	4.60	2.10	1.50			8.20	3.56%	9
13L	1.00					1.00	0.43%	10
							VDT=	74

Numero de valores deducidos = 6

El valor deducido máximo de la unidad de muestreo 01 es: 25. Por lo tanto:

$$HDV_1 = 25$$

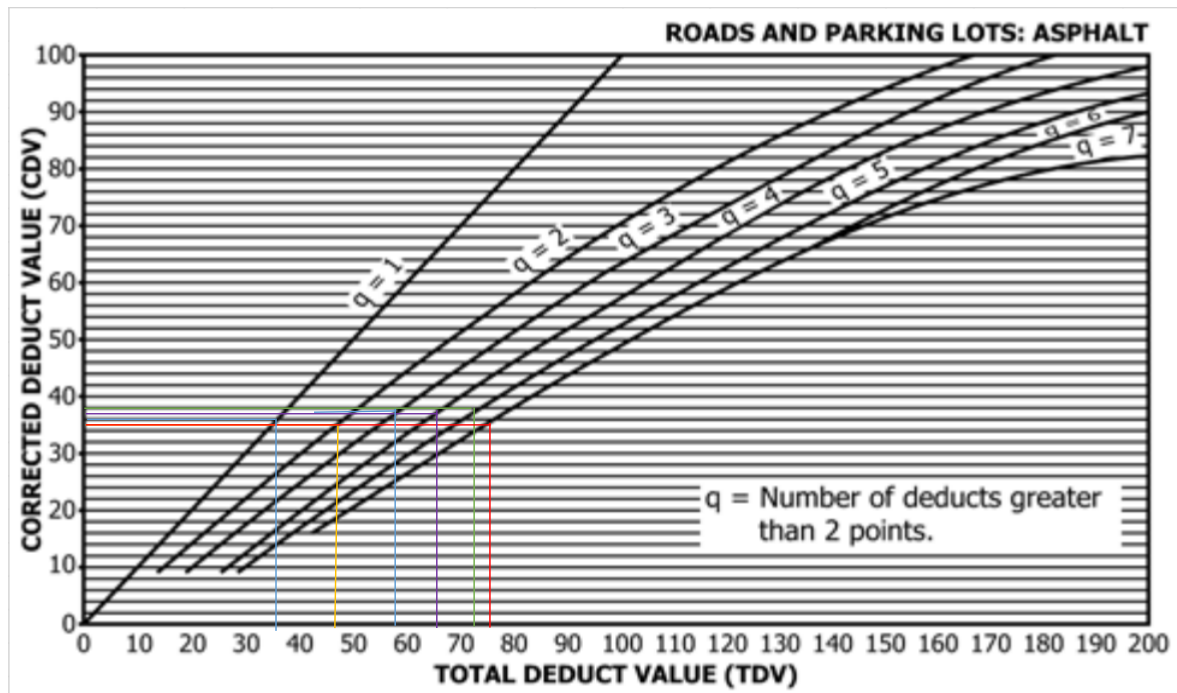
Este valor se reemplaza en la ecuación nº03 para el cálculo de “m” (número máx. de valores deducidos):

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) (100 - HDV_1) \leq 10$$

$$m_1 = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) (100 - 25) = 7.89 \approx 8$$

nº	Valor Deducido									Total	q	CDV
1	25	14	12	10	9	4				74	6	35.8
2	25	14	12	10	9	2				72	5	38.0
3	25	14	12	10	2	2				65	4	37.0
4	25	14	12	2	2	2				57	3	36.5
5	25	14	2	2	2	2				47	2	36.0
6	25	2	2	2	2	2				35	1	35.0
7												
8												
9												
10												
										Max. CDV		38

$$Max. CDV_1 = 38$$



Finalmente, para el cálculo del PCI de la unidad de muestreo N°01 se emplea la ecuación n°04:

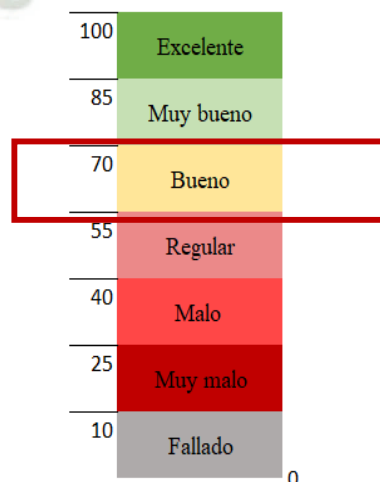
$$PCI_1 = 100 - Max. CDV_1 = 100 - 38$$

$$PCI_1 = 62$$

Este valor representa que la unidad de muestreo N°01 es “Bueno” según el esquema dado en la norma ASTM D6433-23 como se ve en la Tabla 5 y se ve en la Figura 105.

Figura 105

PCI, escala de calificación y colores - UM 01.



Nota. Extraído de: ASTM D6433 (2023, pág. 02).

UNIDAD DE MUESTREO 02:

METODO PCI						Esquema: 43.5m		
INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO EN VIAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE						5.30m		
HOJA DE REGISTRO								
Nombre de la vía:	Via de acceso a Canacota- Chivay	Seccion:	0+261 - 0+304.5			Unidad de muestra:	N°07	
Ejecutor:	Bach. Estephany Mejia Ccarita	Fecha:	30/07/2023			Área:	230.55	
1. Piel de cocodrilo (L/M/H), m2	6. Depresión (L/M/H), m2	11. Parcheo- parcheo serv. públ. (L/M/H), m2	16. Desplazamiento (L/M/H),m2					
2. Exudación (L/M/H), m2	7. Fisura de borde (L/M/H), m	12. Agregado pulido, m2	17. Fisura parabólica o por deslizamiento (L/M/H),m2					
3. Fisuras en bloque (L/M/H), m2	8. Fisura de reflexion de junta (L/M/H), m	13. Baches(L/M/H),unid.	18. Hinchamiento (L/M/H),m2					
4. Abultamiento y hundimiento (L/M/H), m	9. Desnivel carril - berna (L/M/H), m	14. Cruce de ferrocarril (L/M/H), m2	19.1 Intemperismo (M/H),m2					
5. Corrugación (L/M/H), m2	10. Fisuras longit. y transv. (L/M/H), m	15. Ahuellamiento (L/M/H), m2	19.2 Peladura (L/M/H),m2					
FALLA	CANTIDAD					TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
1L	0.77	0.83	1.43	0.50	0.37	3.91	1.69%	14
1M	2.67					2.67	1.16%	22
1H	3.91					3.91	1.69%	38
3L	20.80	9.02	17.86	1.39		49.07	21.28%	13
3M	0.26	5.37				5.62	2.44%	8
4L	0.23	0.15				0.38	0.16%	0
7L	1.18	1.51				2.69	1.17%	3
7M	2.02	0.63	0.74	0.25	0.15	3.79	1.64%	6
13L	1.00	3.00				4.00	1.73%	26
13M	1.00	1.00				2.00	0.87%	29
13H	1.00					1.00	0.43%	37
							VDT=	196

Numero de valores deducidos = 10

El valor deducido máximo de la unidad de muestreo 02 es: 38. Por lo tanto:

$$HDV_2 = 38$$

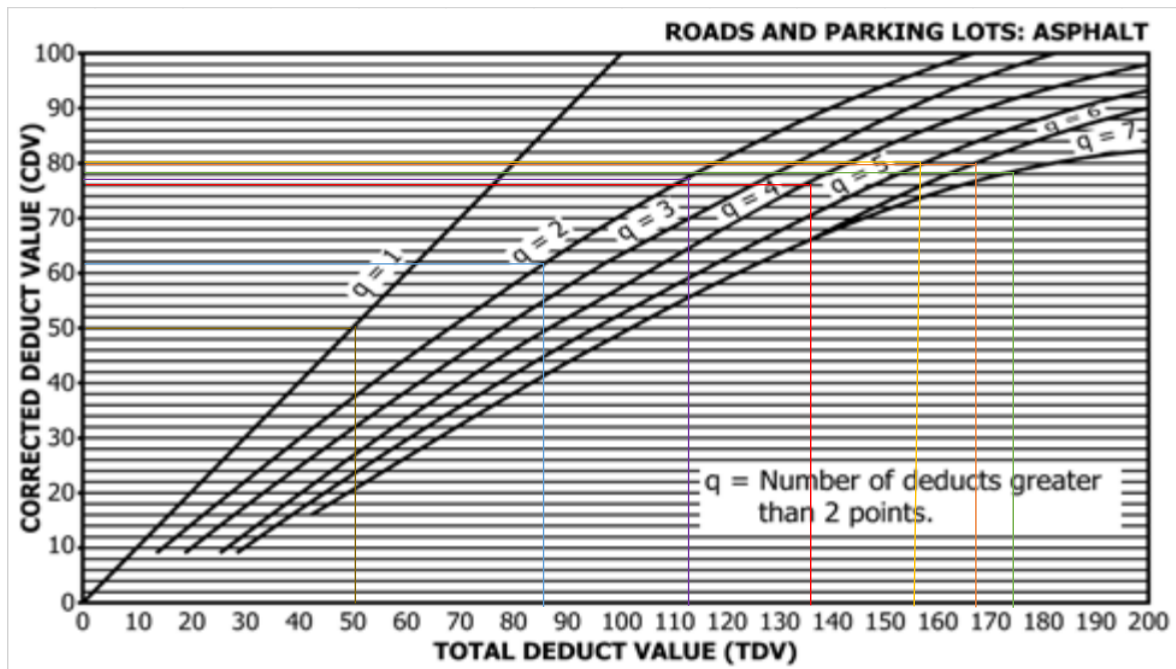
Este valor se reemplaza en la ecuación n°03 para el cálculo de “m” (número máx. de valores deducidos):

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) (100 - HDV_2) \leq 10$$

$$m_2 = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) (100 - 38) = 6.69 \approx 7$$

n°	Valor Deducido								Total	q	CDV
1	38	37	29	26	22	14	8.97		175.0	7	78
2	38	37	29	26	22	14	2		168	6	80
3	38	37	29	26	22	2	2		156	5	80
4	38	37	29	26	2	2	2		136	4	76
5	38	37	29	2	2	2	2		112	3	77
6	38	37	2	2	2	2	2		85	2	62
7	38	2	2	2	2	2	2		50	1	50
8											
9											
10											
									Max. CDV		80

$$Max. CDV_2 = 80$$



Finalmente, para el cálculo del PCI de la unidad de muestreo N°02 se emplea la ecuación n°06:

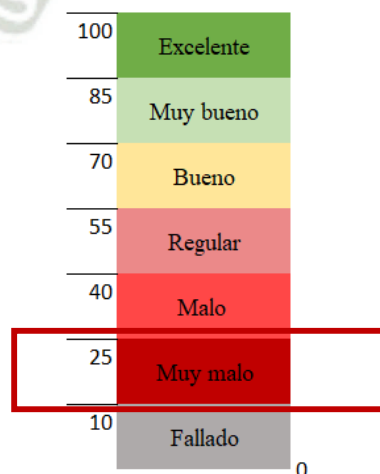
$$PCI_2 = 100 - Max. CDV_2 = 100 - 80$$

$$PCI_2 = 20$$

Este valor representa que la unidad de muestreo N°02 es “Muy malo” según el esquema dado en la norma ASTM D6433-23 como se ve en la Tabla 5 y se ve en la Figura 106.

Figura 106

PCI, escala de calificación y colores - UM 02.



Nota. Extraído de: ASTM D6433 (2023, pág. 02).

UNIDAD DE MUESTREO 03:

METODO PCI				Esquema: 43.5m			
INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO EN VIAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE				5.30m			
HOJA DE REGISTRO							
Nombre de la vía:	Via de acceso a Canacota- Chivay	Seccion:	0+478.5 - 0+522	Unidad de muestra:	N°012		
Ejecutor:	Bach. Estephany Mejia Ccarita	Fecha:	30/07/2023	Área(m2):	230.55		
1. Piel de cocodrilo (L/M/H), m2	6. Depresión (L/M/H), m2	11. Parcheo- parcheo serv. públ. (L/M/H), m2	16. Desplazamiento (L/M/H),m2				
2. Exudación (L/M/H), m2	7. Fisura de borde (L/M/H), m	12. Agregado pulido, m2	17. Fisura parabólica o por deslizamiento (L/M/H),m2				
3. Fisuras en bloque (L/M/H), m2	8. Fisura de reflexión de junta (L/M/H), m	13. Baches(L/M/H),unid.	18. Hinchamiento (L/M/H),m2				
4. Abultamiento y hundimiento (L/M/H), m	9. Desnivel carril - berma (L/M/H), m	14. Cruce de ferrocarril (L/M/H), m2	19.1 Intemperismo (M/H),m2				
5. Corrugación (L/M/H), m2	10. Fisuras longit. y transv. (L/M/H), m	15. Ahuellamiento (L/M/H), m2	19.2 Peladura (L/M/H),m2				
FALLA	CANTIDAD				TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
1M	1.54				1.54	0.67%	17
19.1M	230.55				230.55	100.00%	45
10M	2.01				2.01	0.87%	3
						VDT=	65

Numero de valores deducidos = 3

El valor deducido máximo de la unidad de muestreo 03 es: 45. Por lo tanto:

$$HDV_3 = 45$$

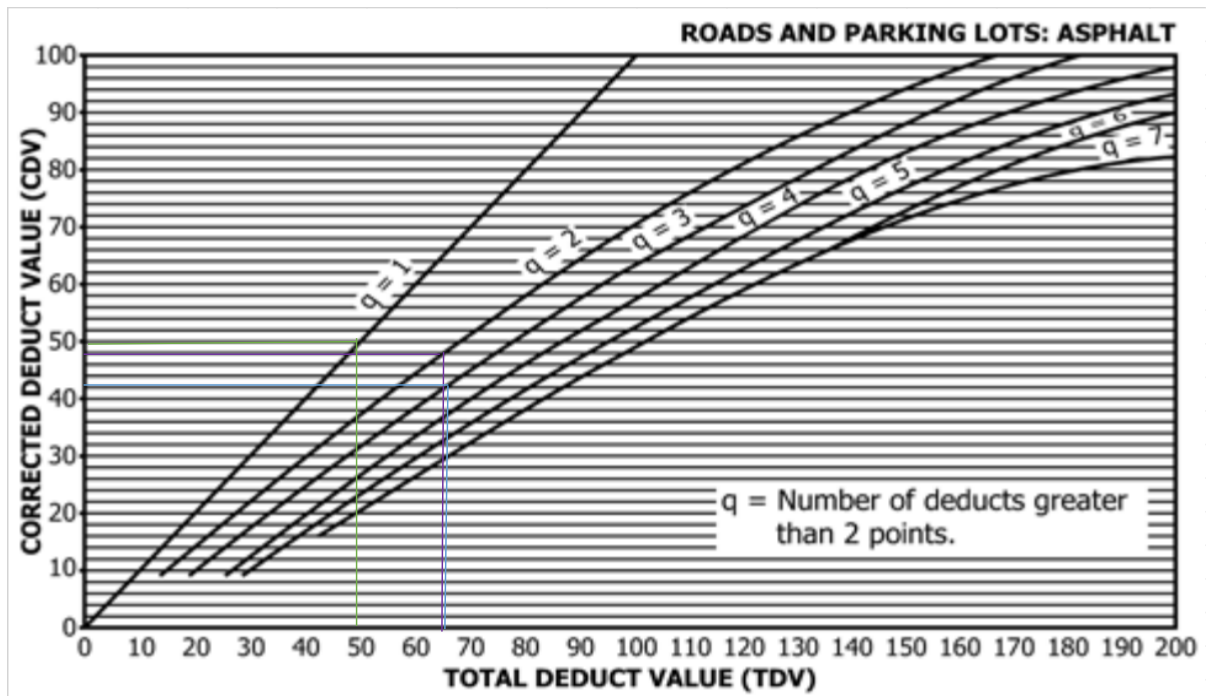
Este valor se reemplaza en la ecuación n°3 para el cálculo de “m” (número máx. de valores deducidos):

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) (100 - HDV_3) \leq 10$$

$$m_3 = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) (100 - 45) = 6.05 \approx 7$$

n°	Valor Deducido								Total	q	CDV
1	45	17	3						65.0	3	42
2	45	17	2						64	2	48
3	45	2	2						49	1	50
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
									Max. CDV		50

$$Max. CDV_3 = 50$$



Finalmente, para el cálculo del PCI de la unidad de muestreo N°03 se emplea la ecuación n°04:

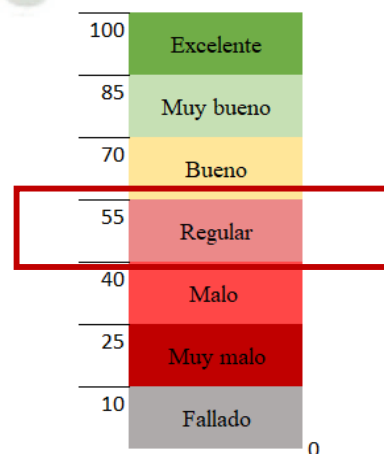
$$PCI_3 = 100 - Max. CDV_3 = 100 - 50$$

$$PCI_3 = 50$$

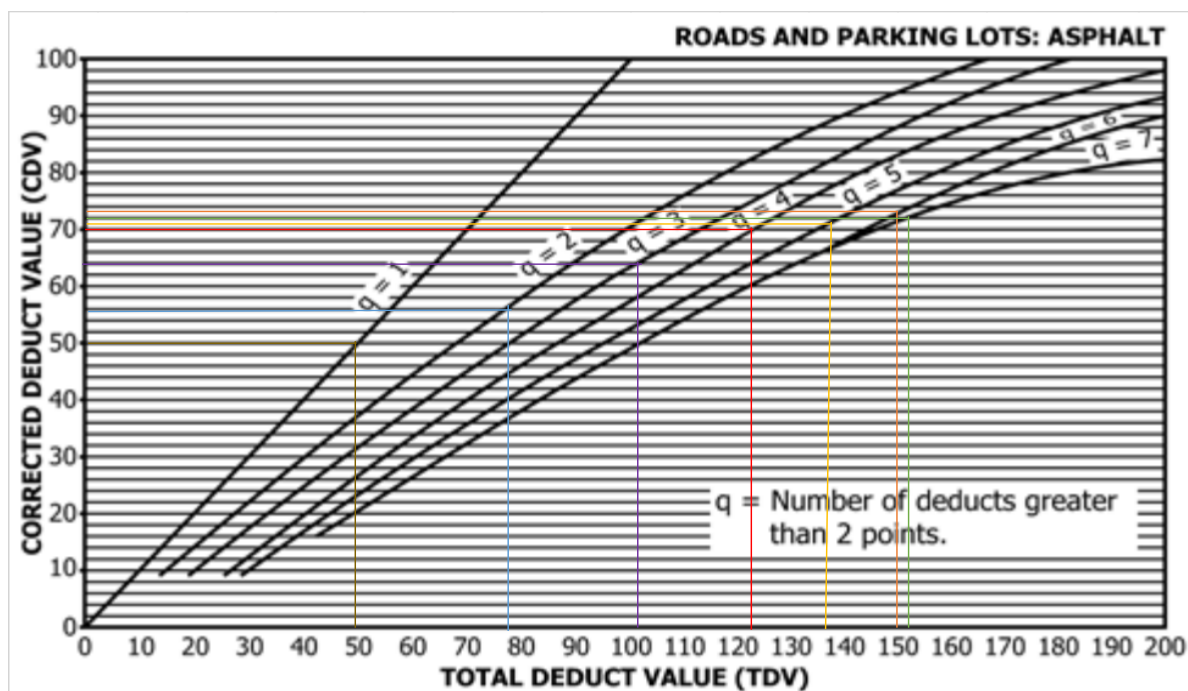
Este valor representa que la unidad de muestreo N°03 es “Regular” según el esquema dado en la norma ASTM D6433-23 como se ve en la Tabla 5 y se ve en la Figura 107.

Figura 107

PCI, escala de calificación y colores - UM 03.



Nota. Extraído de: ASTM D6433 (2023, pág. 02).



Finalmente, para el cálculo del PCI de la unidad de muestreo N°04 se emplea la ecuación n°06:

$$PCI_4 = 100 - Max. CDV_4 = 100 - 73$$

$$PCI_4 = 27$$

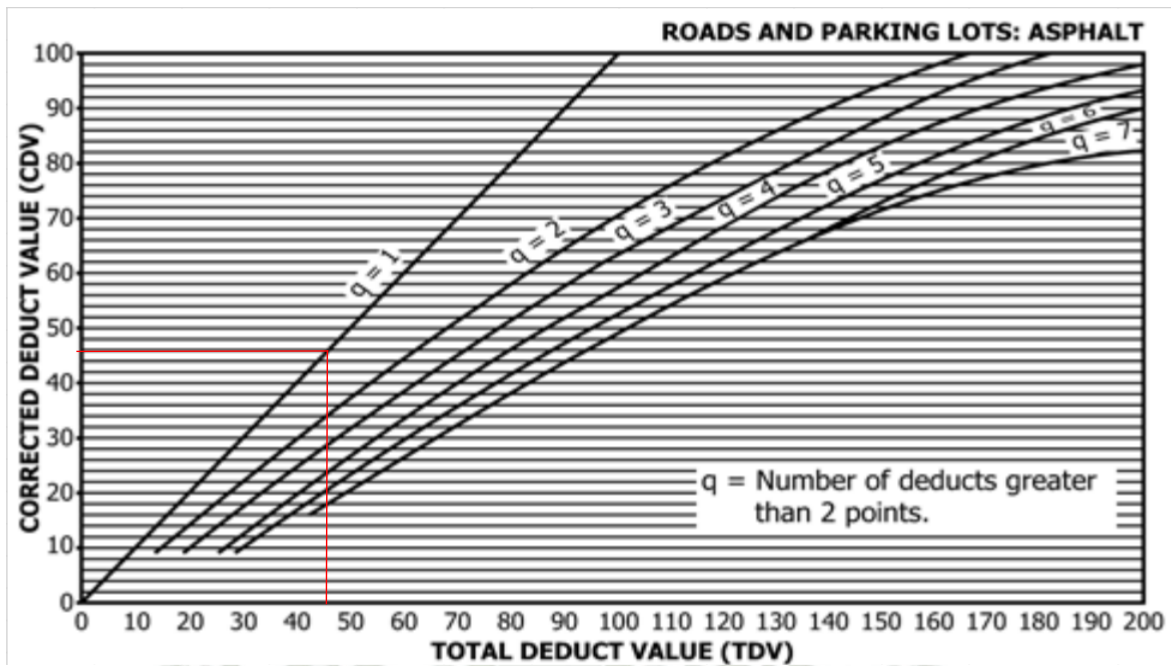
Este valor representa que la unidad de muestreo N°04 es “Malo” según el esquema dado en la norma ASTM D6433-23 como se ve en la Tabla 5 y se ve en la Figura 108.

Figura 108

PCI, escala de calificación y colores - UM 04.

100	Excelente
85	Muy bueno
70	Bueno
55	Regular
40	Malo
25	Muy malo
10	Fallado
0	

Nota. Extraído de: ASTM D6433 (2023, pág. 02).



Finalmente, para el cálculo del PCI de la unidad de muestreo N°05 se emplea la ecuación n°06:

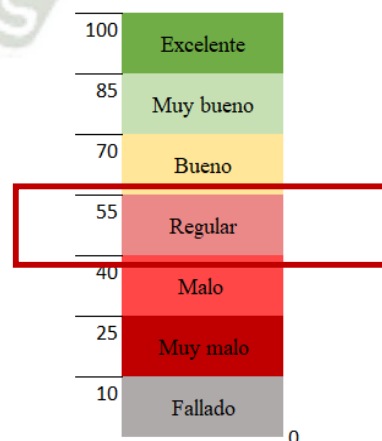
$$PCI_5 = 100 - Max. CDV_5 = 100 - 46$$

$$PCI_5 = 55$$

Este valor representa que la unidad de muestreo N°05 es “Regular” según el esquema dado en la norma ASTM D6433-23 como se ve en la Tabla 5 y se ve en la figura 109.

Figura 109

PCI, escala de calificación y colores – UM 05



Nota. Extraído de: ASTM D6433 (2023, pág. 02).

UNIDAD DE MUESTREO 06:

METODO PCI					Esquema: 43.5m			
INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO EN VIAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE					5.30m			
HOJA DE REGISTRO								
Nombre de la vía:	Via de acceso a Canacota Chivay	Seccion:	1+131 - 1+174.5		Unidad de muestra:	N°027		
Ejecutor:	Bach. Estephany Mejia Ccarita	Fecha:	30/07/2023		Área(m2):	230.55		
1. Piel de cocodrilo (L/M/H), m2	6. Depresión (L/M/H), m2	11. Parcheo- parcheo serv. públ. (L/M/H), m2	16. Desplazamiento (L/M/H),m2					
2. Exudación (L/M/H), m2	7. Fisura de borde (L/M/H), m	12. Agregado pulido, m2	17. Fisura parabólica o por deslizamiento (L/M/H),m2					
3. Fisuras en bloque (L/M/H), m2	8. Fisura de reflexión de junta (L/M/H), m	13. Baches(L/M/H),unid.	18. Hinchamiento (L/M/H),m2					
4. Abultamiento y hundimiento (L/M/H), m	9. Desnivel carril - berma (L/M/H), m	14. Cruce de ferrocarril (L/M/H), m2	19.1 Intemperismo (M/H),m2					
5. Corrugación (L/M/H), m2	10. Fisuras longit. y transv. (L/M/H), m	15. Ahuellamiento (L/M/H), m2	19.2 Peladura (L/M/H),m2					
FALLA	CANTIDAD					TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
3L	0.49					0.49	0.21%	0
3M	38.38	32.98	6.25	7.13		84.74	36.76%	30
3H	29.64	13.26				42.90	18.61%	40
4L	0.15	0.27				0.42	0.18%	0
7L	2.50	6.10				8.60	3.73%	4
7M	9.42	12.48	5.20	5.50		32.60	14.14%	17
7H	3.10					3.10	1.34%	10
11L	10.53	16.97				27.50	11.93%	18
13L	1.00	1.00	5.00	4.00	5.00	16.00	6.94%	50
13M	1.00	1.00	1.00			3.00	1.30%	34
13H	1.00	1.00				2.00	0.87%	48
							VDT=	251

Numero de valores deducidos = 9

El valor deducido máximo de la unidad de muestreo 06 es: 50. Por lo tanto:

$$HDV_6 = 50$$

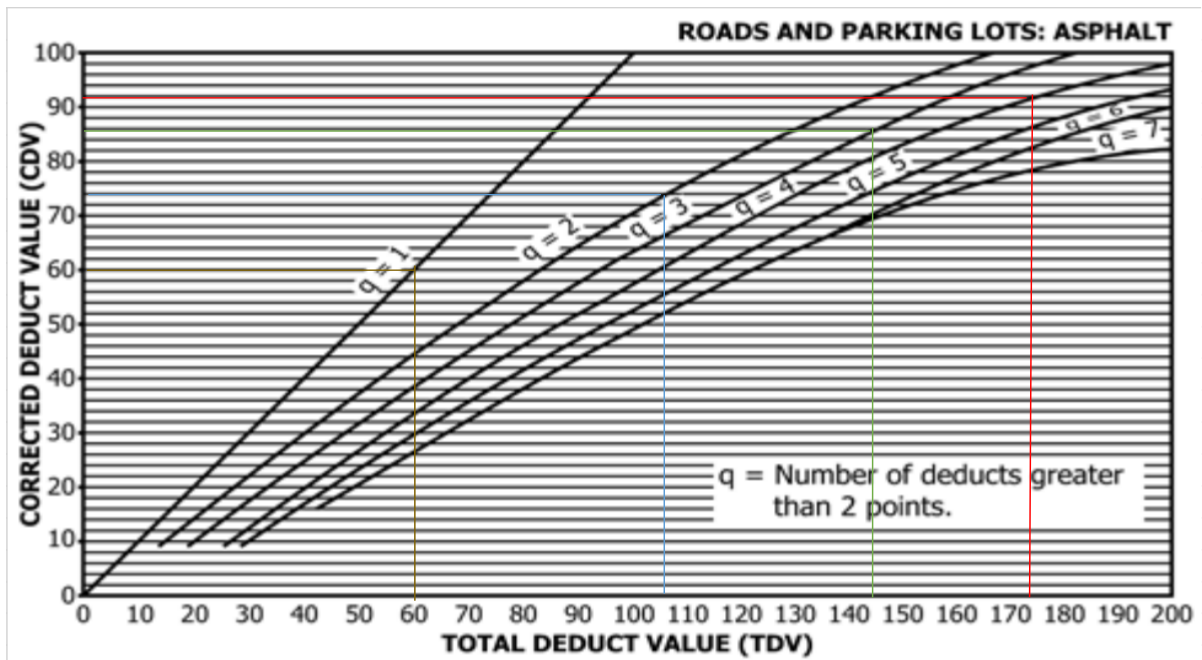
Este valor se reemplaza en la ecuación n°03 para el cálculo de “m” (número máx. de valores deducidos):

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) (100 - HDV_6) \leq 10$$

$$m_6 = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) (100 - 50) = 5.59 \approx 6$$

n°	Valor Deducido							Total	q	CDV
1	50	48	40	34	30	10.62		212.6	6	95.53
2	50	48	40	34	30	2		204	5	96.367
3	50	48	40	34	2	2		176	4	92
4	50	48	40	2	2	2		144	3	86
5	50	48	2	2	2	2		106	2	74
6	50	2	2	2	2	2		60	1	60
7										
8										
9										
10										
								Max. CDV		96.367

$$Max. CDV_6 = 96.367$$



Finalmente, para el cálculo del PCI de la unidad de muestreo N°06 se emplea la ecuación n°06:

$$PCI_6 = 100 - Max.CDV_6 = 100 - 96.367$$

$$PCI_6 = 3.633$$

Este valor representa que la unidad de muestreo N°06 es “Fallado” según el esquema dado en la norma ASTM D6433-23 como se ve en la Tabla 5 y se ve en la Figura 110.

Figura 110

PCI, escala de calificación y colores – UM 06

100	Excelente
85	Muy bueno
70	Bueno
55	Regular
40	Malo
25	Muy malo
10	Fallado
0	

Nota. Extraído de: ASTM D6433 (2023, pág. 02).

UNIDAD DE MUESTREO 07:

METODO PCI					Esquema: 43.5m		
INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO EN VIAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE					5.30m		
HOJA DE REGISTRO							
Nombre de la vía:	Via de acceso a Canacota Chivay	Seccion:	1+348.5 - 1+392		Unidad de muestra:	N°032	
Ejecutor:	Bach. Estephany Mejia Ccarita	Fecha:	29/07/2023		Área(m2):	230.55	
1. Piel de cocodrilo (L/M/H), m2	6. Depresión (L/M/H), m2	11. Parqueo- parcheo serv. públ. (L/M/H), m2	16. Desplazamiento (L/M/H),m2				
2. Exudación (L/M/H), m2	7. Fisura de borde (L/M/H), m	12. Agregado pulido, m2	17. Fisura parabólica o por deslizamiento (L/M/H),m2				
3. Fisuras en bloque (L/M/H), m2	8. Fisura de reflexión de junta (L/M/H), m	13. Baches(L/M/H),unid.	18. Hinchamiento (L/M/H),m2				
4. Abultamiento y hundimiento (L/M/H), m	9. Desnivel carril - berma (L/M/H), m	14. Cruce de ferrocarril (L/M/H), m2	19.1 Intemperismo (M/H),m2				
5. Corrugación (L/M/H), m2	10. Fisuras longit. y transv. (L/M/H), m	15. Ahuellamiento (L/M/H), m2	19.2 Peladura (L/M/H),m2				
FALLA	CANTIDAD				TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
1L	1.46	2.04			3.49	1.51%	12
1M	2.93	7.21			10.14	4.40%	36
1H	9.08	3.30			12.38	5.37%	52
3L	2.53				2.53	1.10%	0
3M	22.74	10.53	7.11	8.69	49.07	21.28%	22
3H	32.73				32.73	14.19%	33
7L	0.34	2.45	0.71	1.85	5.35	2.32%	6
13L	2.00	2.00	2.00	1.00	7.00	3.04%	35
13M	2.00				2.00	0.87%	29
						VDT=	225

Numero de valores deducidos = 8

El valor deducido máximo de la unidad de muestreo 07 es: 52. Por lo tanto:

$$HDV_7 = 52$$

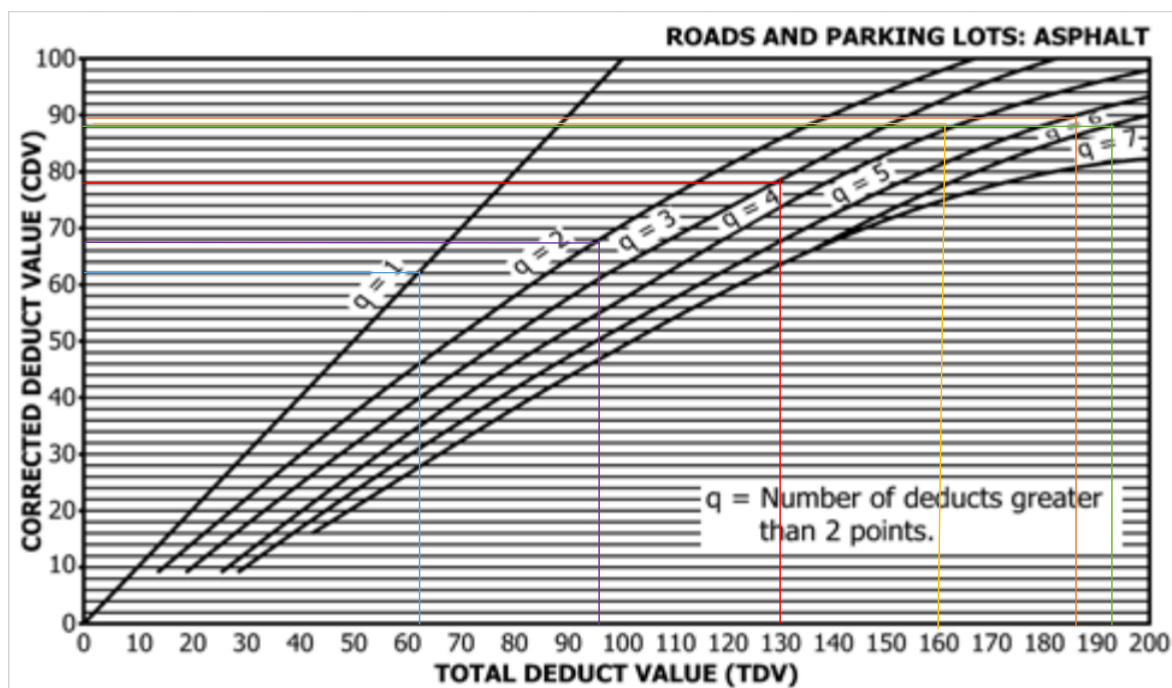
Este valor se reemplaza en la ecuación RR para el cálculo de “m” (número máx. de valores deducidos):

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) (100 - HDV_7) \leq 10$$

$$m_7 = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) (100 - 52) = 5.41 \approx 6$$

n°	Valor Deducido							Total	q	CDV
1	52	36	35	33	29	9.02	194.0	6	88	
2	52	36	35	33	29	2	187	5	90	
3	52	36	35	33	2	2	160	4	88	
4	52	36	35	2	2	2	129	3	78	
5	52	36	2	2	2	2	96	2	68	
6	52	2	2	2	2	2	62	1	62	
7										
8										
9										
10										
							Max. CDV		90	

Max. CDV₇ = 90



Finalmente, para el cálculo del PCI de la unidad de muestreo N°07 se emplea la ecuación n°06:

$$PCI_7 = 100 - \text{Max. } CDV_7 = 100 - 90$$

$$PCI_7 = 10$$

Este valor representa que la unidad de muestreo N°07 es “Fallado” según el esquema dado en la norma ASTM D6433-23 como se ve en la Tabla 5 y se ve en la Figura 111.

Figura 111

PCI, escala de calificación y colores – UM 07.

100	Excelente
85	Muy bueno
70	Bueno
55	Regular
40	Malo
25	Muy malo
10	Fallado
0	

Nota. Extraído de: ASTM D6433 (2023, pág. 02).

UNIDAD DE MUESTREO 08:

METODO PCI						Esquema: 43.5m		
INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO EN VIAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE						5.30m		
HOJA DE REGISTRO								
Nombre de la vía:	Via de acceso a Canacota Chivay	Seccion:	1+566 - 1+609.5			Unidad de muestra:	N°037	
Ejecutor:	Bach. Estephany Mejia Ccarita	Fecha:	29/07/2023			Área(m2):	230.55	
1. Piel de cocodrilo (L/M/H), m2	6. Depresión (L/M/H), m2	11. Parcheo- parcheo serv. públ. (L/M/H), m2	16. Desplazamiento (L/M/H),m2					
2. Exudación (L/M/H), m2	7. Fisura de borde (L/M/H), m	12. Agregado pulido, m2	17. Fisura parabólica o por deslizamiento (L/M/H),m2					
3. Fisuras en bloque (L/M/H), m2	8. Fisura de reflexión de junta (L/M/H), m	13. Baches(L/M/H),unid.	18. Hinchamiento (L/M/H),m2					
4. Abultamiento y hundimiento (L/M/H), m	9. Desnivel carril - berma (L/M/H), m	14. Cruce de ferrocarril (L/M/H), m2	19.1 Intemperismo (M/H),m2					
5. Corrugación (L/M/H), m2	10. Fisuras longit. y transv. (L/M/H), m	15. Ahuellamiento (L/M/H), m2	19.2 Peladura (L/M/H),m2					
FALLA	CANTIDAD					TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
3L	18.24	5.21	5.04	2.49	7.64	38.61	16.75%	14
3M	4.17	1.93	1.40			7.51	3.26%	8.7
10L	2.82	3.10				5.92	2.57%	1
10M	2.89	1.59	2.44			6.92	3.00%	8.5
13L	5.00	5.00	1.00			11.00	4.77%	41
13M	1.00	1.00				2.00	0.87%	38
13H	1.00					1.00	0.43%	37
							VDT=	148.2

Numero de valores deducidos = 6

El valor deducido máximo de la unidad de muestreo 08 es: 41. Por lo tanto:

$$HDV_8 = 41$$

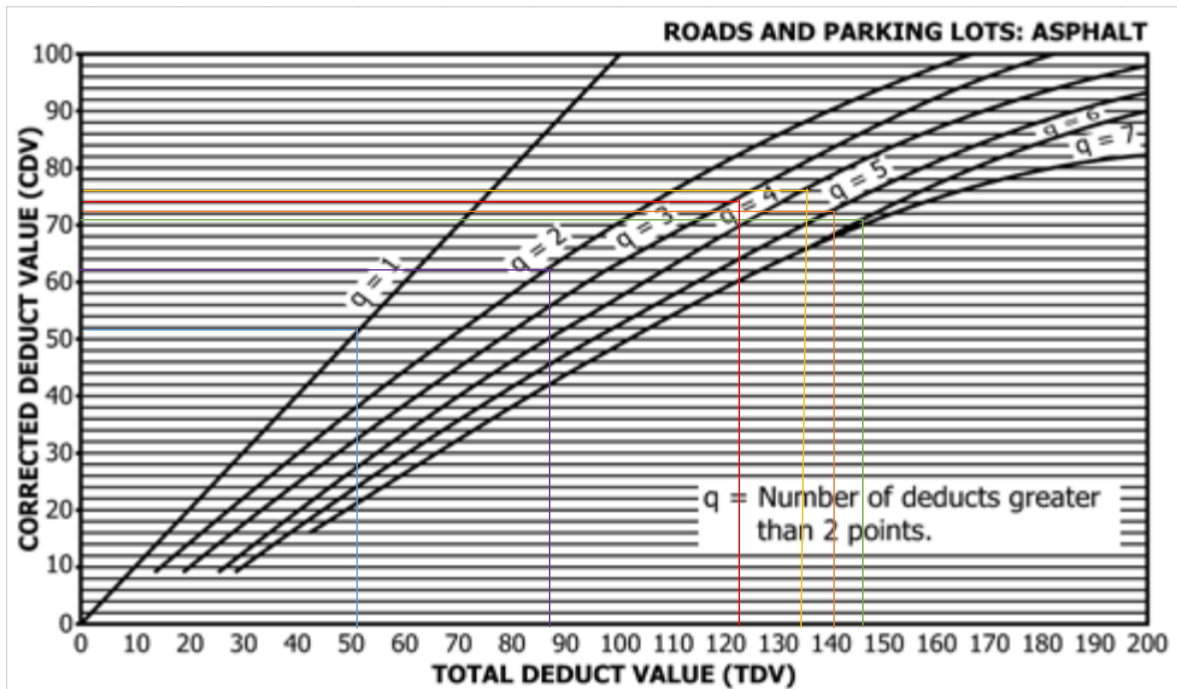
Este valor se reemplaza en la ecuación n°03 para el cálculo de “m” (número máx. de valores deducidos):

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) (100 - HDV_8) \leq 10$$

$$m_8 = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) (100 - 41) = 6.42$$

n°	Valor Deducido							Total	q	CDV
1	41	38	37	14	8.7	8.5		147.2	6	71
2	41	38	37	14	8.7	2		140.7	5	72
3	41	38	37	14	2	2		134	4	76
4	41	38	37	2	2	2		122	3	74
5	41	38	2	2	2	2		87	2	62
6	41	2	2	2	2	2		51	1	52
7										
8										
9										
10										
								Max. CDV		76

$$Max. CDV_8 = 76$$



Finalmente, para el cálculo del PCI de la unidad de muestreo N°08 se emplea la ecuación n°06:

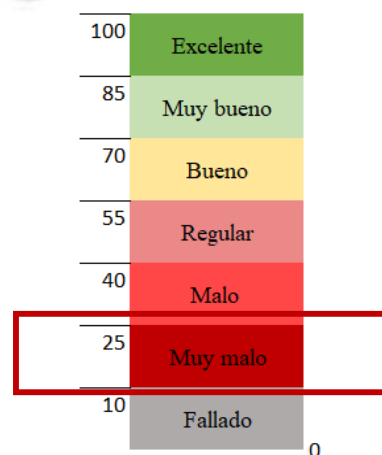
$$PCI_8 = 100 - Max. CDV_8 = 100 - 76$$

$$PCI_8 = 24$$

Este valor representa que la unidad de muestreo N°08 es “Muy malo” según el esquema dado en la norma ASTM D6433-23 como se ve en la Tabla 5 y se ve en la Figura 112.

Figura 112

PCI, escala de calificación y colores – UM 08.



Nota. Extraído de: ASTM D6433 (2023, pág. 02).

UNIDAD DE MUESTREO 09:

METODO PCI						Esquema: 43.5m		
INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO EN VIAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE						5.30m		
HOJA DE REGISTRO								
Nombre de la vía:	Via de acceso a Canacota Chivay	Seccion:	1+783.5 - 1+827			Unidad de muestra:	N°042	
Ejecutor:	Bach. Estephany Mejia Ccarita	Fecha:	29/07/2023			Área(m2):	230.55	
1. Piel de cocodrilo (L/M/H), m2	6. Depresión (L/M/H), m2	11. Parqueo- parcheo serv. públ. (L/M/H), m2	16. Desplazamiento (L/M/H),m2					
2. Exudación (L/M/H), m2	7. Fisura de borde (L/M/H), m	12. Agregado pulido, m2	17. Fisura parabolica o por deslizamiento (L/M/H),m2					
3. Fisuras en bloque (L/M/H), m2	8. Fisura de reflexion de junta (L/M/H), m	13. Baches(L/M/H),unid.	18. Hinchamiento (L/M/H),m2					
4. Abultamiento y hundimiento (L/M/H), m	9. Desnivel carril - berma (L/M/H), m	14. Cruce de ferrocarril (L/M/H), m2	19.1 Intemperismo (M/H),m2					
5. Corrugación (L/M/H), m2	10. Fisuras longit. y transv. (L/M/H), m	15. Ahuellamiento (L/M/H), m2	19.2 Peladura (L/M/H),m2					
FALLA	CANTIDAD					TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
3M	56.24	36.75	60.89	40.56		194.44	84.34%	41
13L	24.00					24.00	10.41%	60
13M	18.00					18.00	7.81%	80
							VDT=	181

Numero de valores deducidos = 3

El valor deducido máximo de la unidad de muestreo 09 es: 80. Por lo tanto:

$$HDV_9 = 80$$

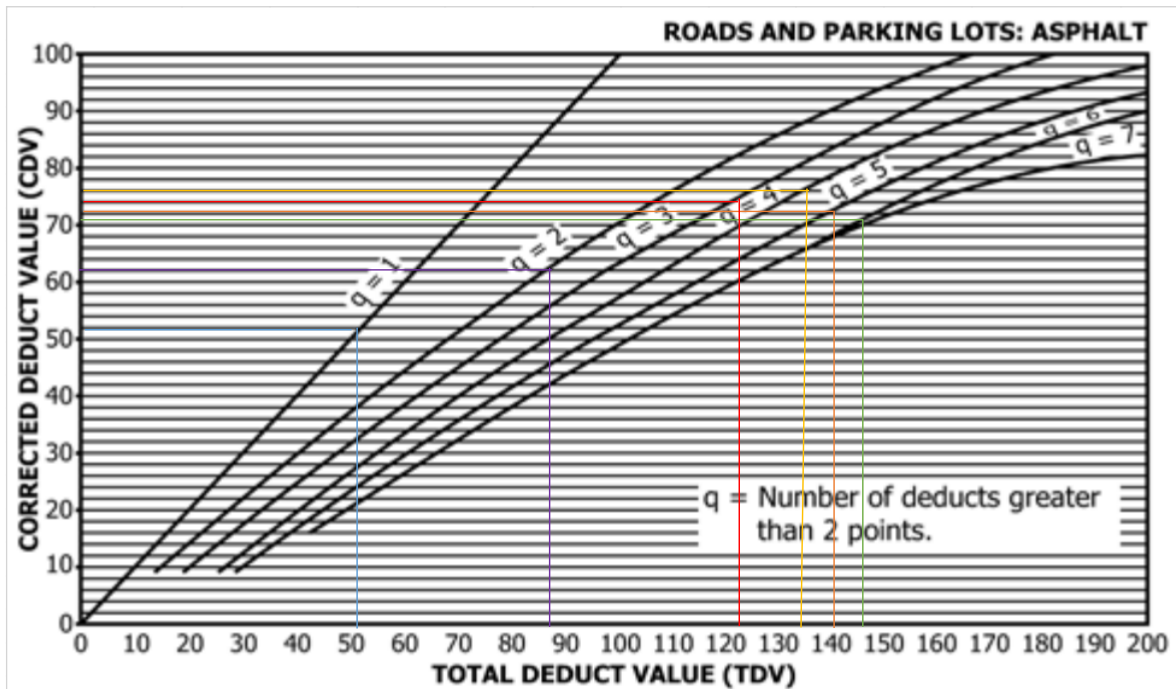
Este valor se reemplaza en la ecuación n°03 para el cálculo de “m” (número máx. de valores deducidos):

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) (100 - HDV_9) \leq 10$$

$$m_9 = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) (100 - 80) = 2.84 \approx 3$$

n°	Valor Deducido								Total	q	CDV
1	80	60	34.44						174.4	3	96
2	80	60	2						142	2	91
3	80	2	2						84	1	86
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
									Max. CDV		96

$$Max. CDV_9 = 96$$



Finalmente, para el cálculo del PCI de la unidad de muestreo N°09 se emplea la ecuación n°04:

$$PCI_9 = 100 - Max. CDV_9 = 100 - 96$$

$$PCI_9 = 4$$

Este valor representa que la unidad de muestreo N°09 es “Fallado” según el esquema dado en la norma ASTM D6433-23 como se ve en la Tabla 5 y se ve en la Figura 113.

Figura 113

PCI, escala de calificación y colores – UM 09.

100	Excelente
85	Muy bueno
70	Bueno
55	Regular
40	Malo
25	Muy malo
10	Fallado

Nota. Extraído de: ASTM D6433 (2023, pág. 02).

UNIDAD DE MUESTREO 10:

METODO PCI					Esquema: 43.5m		
INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO EN VIAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE					5.30m		
HOJA DE REGISTRO							
Nombre de la vía:	Via de acceso a Canacota Chivay	Seccion:	2+001 - 2+044.5		Unidad de muestra:	N°047	
Ejecutor:	Bach. Estephany Mejia Ccarita	Fecha:	29/07/2023		Área(m2):	230.55	
1. Piel de cocodrilo (L/M/H), m2	6. Depresión (L/M/H), m2	11. Parqueo- parcheo serv. públ. (L/M/H), m2	16. Desplazamiento (L/M/H),m2				
2. Exudación (L/M/H), m2	7. Fisura de borde (L/M/H), m	12. Agregado pulido, m2	17. Fisura parabólica o por deslizamiento (L/M/H),m2				
3. Fisuras en bloque (L/M/H), m2	8. Fisura de reflexion de junta (L/M/H), m	13. Baches(L/M/H),unid.	18. Hinchamiento (L/M/H),m2				
4. Abultamiento y hundimiento (L/M/H), m	9. Desnivel carril - berma (L/M/H), m	14. Cruce de ferrocarril (L/M/H), m2	19.1 Intemperismo (M/H),m2				
5. Corrugación (L/M/H), m2	10. Fisuras longit. y transv. (L/M/H), m	15. Ahuellamiento (L/M/H), m2	19.2 Peladura (L/M/H),m2				
FALLA	CANTIDAD				TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
1M	1.35	0.42	0.74	2.24	4.75	2.06%	30
1H	1.50	1.29	1.61		4.39	1.90%	39
3M	9.06	1.93	9.43		20.42	8.86%	15
3H	1.44	8.69	3.19	4.46	17.78	7.71%	25
4M	1.14				1.14	0.49%	8
10L	1.90	2.38	2.32	2.35	8.95	3.88%	3
10M	1.41	2.11	1.30	1.49	6.31	2.74%	7
13L	3.00	4.00	2.00		9.00	3.90%	40
13M	4.00	1.00	1.00		6.00	2.60%	50
13H	4.00	5.00	2.00		11.00	4.77%	85
						VDT=	302

Numero de valores deducidos = 10

El valor deducido máximo de la unidad de muestreo n°10 es: 85. Por lo tanto:

$$HDV_{10} = 85$$

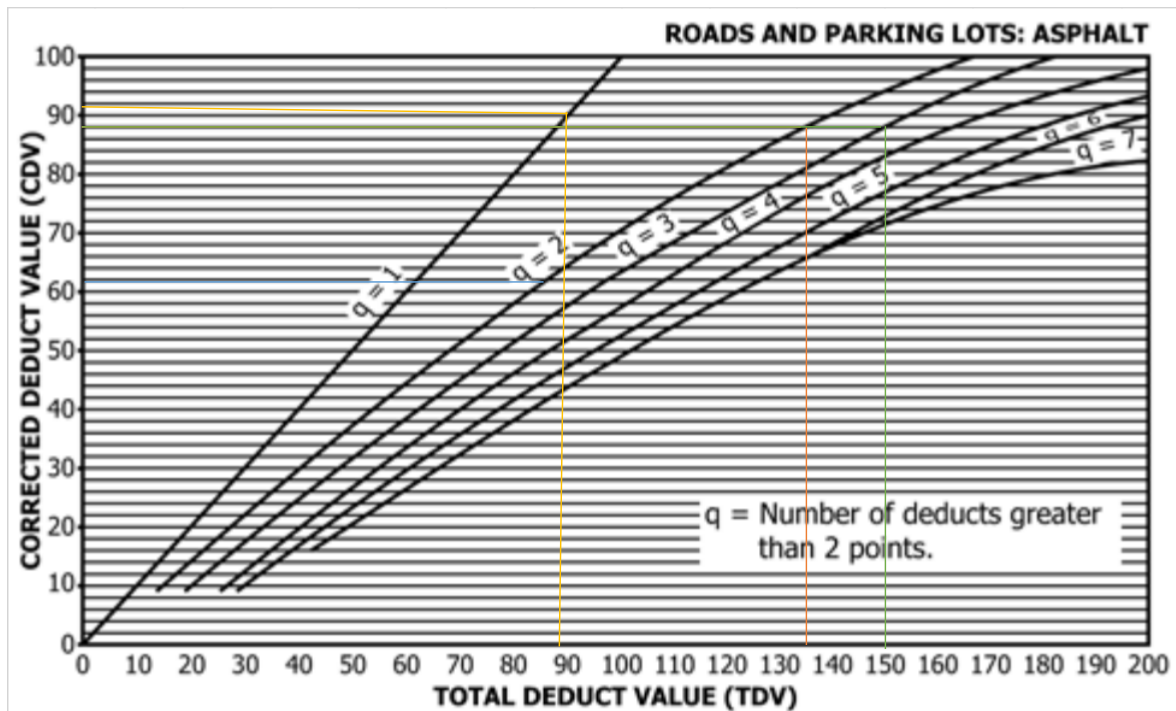
Este valor se reemplaza en la ecuación n°03 para el cálculo de “m” (número máx. de valores deducidos):

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) (100 - HDV_{10}) \leq 10$$

$$m_{10} = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) (100 - 85) = 2.38 \approx 3$$

n°	Valor Deducido								Total	q	CDV
1	85	50	15.2						150.2	3	88
2	85	50	2						137	2	88
3	85	2	2						89	1	90
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
									Max. CDV		90

$$Max. CDV_{10} = 90$$



Finalmente, para el cálculo del PCI de la unidad de muestreo N°010 se emplea la ecuación n°06:

$$PCI_{10} = 100 - Max. CDV_{10} = 100 - 90$$

$$PCI_{10} = 10$$

Este valor representa que la unidad de muestreo N°10 es “Fallado” según el esquema dado en la norma ASTM D6433-23 como se ve en la Tabla 5 y se ve en la Figura 114.

Figura 114

PCI, escala de calificación y colores – UM 10.

100	Excelente
85	Muy bueno
70	Bueno
55	Regular
40	Malo
25	Muy malo
10	Fallado

Nota. Extraído de: ASTM D6433 (2023, pág. 02).

UNIDAD DE MUESTREO 11:

METODO PCI					Esquema: 43.5m		
INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO EN VIAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE					5.30m		
HOJA DE REGISTRO							
Nombre de la vía:	Via de acceso a Canacota Chivay	Seccion:	2+218.5 - 2+262		Unidad de muestra:	N°052	
Ejecutor:	Bach. Estephany Mejia Ccarita	Fecha:	29/07/2023		Área(m2):	230.55	
1. Piel de cocodrilo (L/M/H), m2	6. Depresión (L/M/H), m2	11. Parcheo- parcheo serv. públ. (L/M/H), m2	16. Desplazamiento (L/M/H),m2				
2. Exudación (L/M/H), m2	7. Fisura de borde (L/M/H), m	12. Agregado pulido, m2	17. Fisura parabólica o por deslizamiento (L/M/H),m2				
3. Fisuras en bloque (L/M/H), m2	8. Fisura de reflexion de junta (L/M/H), m	13. Baches(L/M/H),unid.	18. Hinchamiento (L/M/H),m2				
4. Abultamiento y hundimiento (L/M/H), m	9. Desnivel carril - berma (L/M/H), m	14. Cruce de ferrocarril (L/M/H), m2	19.1 Intemperismo (M/H),m2				
5. Corrugación (L/M/H), m2	10. Fisuras longit. y transv. (L/M/H), m	15. Ahuellamiento (L/M/H), m2	19.2 Peladura (L/M/H),m2				
FALLA	CANTIDAD				TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
3L	0.94	0.49	1.34	1.78	4.56	1.98%	2
3M	1.00	0.73	3.61	2.30	7.63	3.31%	9
19.1M	230.55				230.55	100.00%	45
						VDT=	56

Numero de valores deducidos = 3

El valor deducido máximo de la unidad de muestreo n°011 es: 45. Por lo tanto:

$$HDV_{11} = 45$$

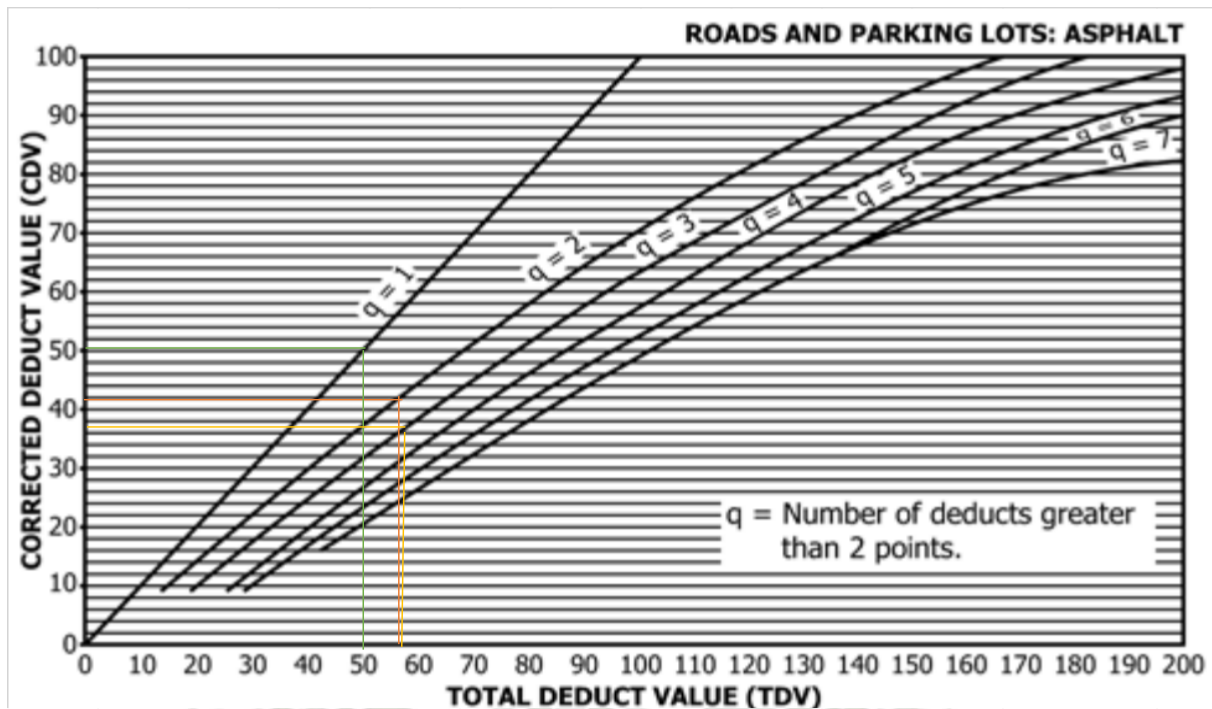
Este valor se reemplaza en la ecuación n°03 para el cálculo de “m” (número máx. de valores deducidos):

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) (100 - HDV_{11}) \leq 10$$

$$m_{11} = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) (100 - 45) = 6.05$$

n°	Valor Deducido								Total	q	CDV
1	45	9	2						56.0	3	35
2	45	9	2						56	2	42
3	45	2	2						49	1	49
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
									Max. CDV		49

$$Max. CDV_{11} = 49$$



Finalmente, para el cálculo del PCI de la unidad de muestreo N°011 se emplea la ecuación n°06:

$$PCI_{11} = 100 - Max. CDV_{11} = 100 - 49$$

$$PCI_{11} = 51$$

Este valor representa que la unidad de muestreo N°11 es “Regular” según el esquema dado en la norma ASTM D6433-23 como se ve en la Tabla 5 y se ve en la Figura 115.

Figura 115

PCI, escala de calificación y colores – UM 11.

100	Excelente
85	Muy bueno
70	Bueno
55	Regular
40	Malo
25	Muy malo
10	Fallado
0	

Nota. Extraído de: ASTM D6433 (2023, pág. 02).

UNIDAD DE MUESTREO 12:

METODO PCI				Esquema: 43.5m			
INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO EN VIAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE				5.30m			
HOJA DE REGISTRO							
Nombre de la vía:	Via de acceso a Canacota Chivay	Seccion:	2+436 - 2+479.5	Unidad de muestra:	N°057		
Ejecutor:	Bach. Estephany Mejia Ccarita	Fecha:	29/07/2023	Área(m2):	230.55		
1. Piel de cocodrilo (L/M/H), m2	6. Depresión (L/M/H), m2	11. Parcheo- parcheo serv. públ. (L/M/H), m2	16. Desplazamiento (L/M/H),m2				
2. Exudación (L/M/H), m2	7. Fisura de borde (L/M/H), m	12. Agregado pulido, m2	17. Fisura parabólica o por deslizamiento (L/M/H),m2				
3. Fisuras en bloque (L/M/H), m2	8. Fisura de reflexion de junta (L/M/H), m	13. Baches(L/M/H),unid.	18. Hinchamiento (L/M/H),m2				
4. Abultamiento y hundimiento (L/M/H), m	9. Desnivel carril - berma (L/M/H), m	14. Cruce de ferrocarril (L/M/H), m2	19.1 Intemperismo (M/H),m2				
5. Corrugación (L/M/H), m2	10. Fisuras longit. y transv. (L/M/H), m	15. Ahuellamiento (L/M/H), m2	19.2 Peladura (L/M/H),m2				
FALLA	CANTIDAD				TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
3M	13.78				13.78	5.98%	11.5
3H	17.23				17.23	7.47%	25
6M	0.27	0.18	0.08		0.53	0.23%	8.5
7M	2.15	1.74			3.89	1.69%	8
7H	1.31	0.44	0.11		1.86	0.81%	10
13L	10.00	2.00	2.00	1.00	15.00	6.51%	48.5
						VDT=	111.5

Numero de valores deducidos = 6

El valor deducido máximo de la unidad de muestreo n°012 es: 48.5. Por lo tanto:

$$HDV_{12} = 48.5$$

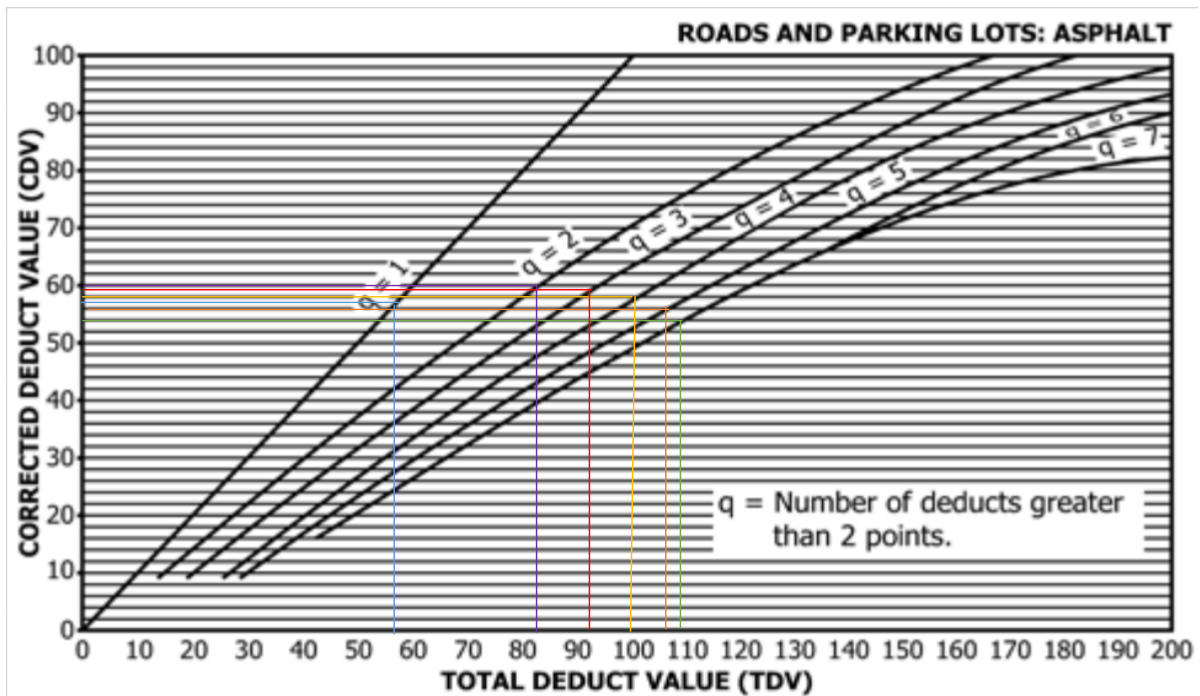
Este valor se reemplaza en la ecuación RR para el cálculo de “m” (número máx. de valores deducidos):

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) (100 - HDV_{12}) \leq 10$$

$$m_{12} = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) (100 - 48.5) = 5.73 \approx 6$$

n°	Valor Deducido							Total	q	CDV
1	48.5	25	11.5	10	8.5	5.84		109.3	6	54
2	48.5	25	11.5	10	8.5	2		105.5	5	56
3	48.5	25	11.5	10	2	2		99	4	58
4	48.5	25	11.5	2	2	2		91	3	59
5	48.5	25	2	2	2	2		81.5	2	60
6	48.5	2	2	2	2	2		58.5	1	57
7										
8										
9										
10										
								Max. CDV		60

$$Max. CDV_{12} = 60$$



Finalmente, para el cálculo del PCI de la unidad de muestreo N°012 se emplea la ecuación n°06:

$$PCI_{12} = 100 - \text{Max. } CDV_{12} = 100 - 60$$

$$PCI_{12} = 40$$

Este valor representa que la unidad de muestreo N°12 es “Malo” según el esquema dado en la norma ASTM D6433-23 como se ve en la Tabla 5 y se ve en la Figura 116.

Figura 116

PCI, escala de calificación y colores – UM 12.

100	Excelente
85	Muy bueno
70	Bueno
55	Regular
40	Malo
25	Muy malo
10	Fallado
0	

Nota. Extraído de: ASTM D6433 (2023, pág. 02).

ANEXO B:

CBR para cada espécimen del Experimento Factorial

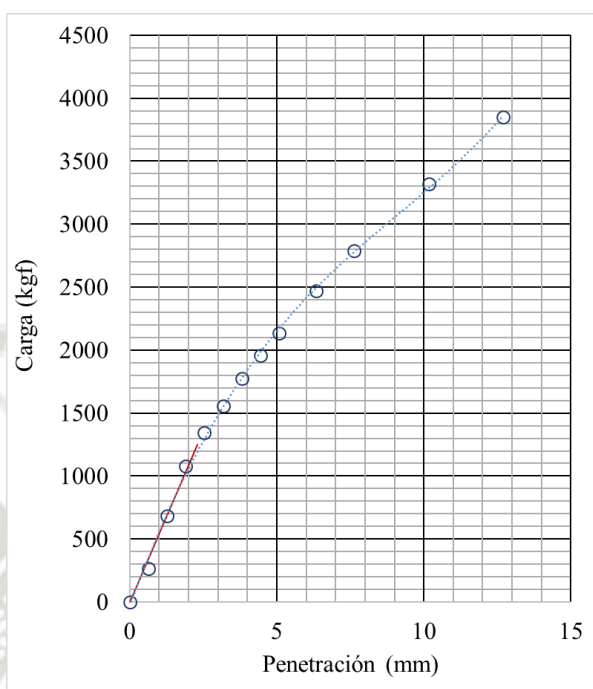


Tabla 101

Determinación de CBR 55g/c muestra n1.

I. Compactación y determinación de la densidad Húmeda								
Muestra							M-01	
Nro. de Capas	1						5	
Nro. de Golpes	1						55	
							No Saturada	Saturada
Volumen del molde:	(1cm ³)						2120	-
Peso del molde	(1g)						4970	-
Peso del suelo compactado + molde	(1g)						9310	-
Peso del suelo compactado	(1g)						4341	-
Densidad húmeda	(0.01g/cm ³)						2.05	-
II. Determinación de la humedad y Densidad Seca								
							No Saturada	Saturada
Peso del recipiente	(0.1g)						149.3	-
Peso del suelo húmedo + recipiente	(0.1g)						682.1	-
Peso del suelo seco + recipiente	(0.1g)						655.7	-
Peso del agua	(0.1g)						26.4	-
Peso del suelo seco	(0.1g)						506.5	-
Contenido de humedad	0.1%						5.2	-
Densidad seca	(0.01g/cm ³)						1.95	-
Peso Unitario Seco	(0.1kN/m ³)						19.09	-
III. Determinación de la Expansión								
NO HAY EXPANSIÓN								
IV. Penetración								
Penetración		Velocidad de ensayo	Tiempo de carga	Carga Estándar	Molde Nro. Carga	1 Corrección		
in	mm	mm/min	min	kgf/cm ²	Dial(div)	kgf	kgf	%
0	0	1.27	0.0		0	0.0		
0.025	0.64	1.27	0.5		60	266.1		
0.05	1.27	1.27	1.0		159	683.9		
0.075	1.91	1.27	1.5		253	1080.6		
0.1	2.54	1.27	2.0	70.31	315	1342.2	1291.9	93.6
0.125	3.18	1.27	2.5		366	1557.4		
0.15	3.81	1.27	3.0		418	1776.9		
0.175	4.45	1.27	3.5		461	1958.4		
0.2	5.08	1.27	4.0	105.46	503	2135.6	2169.2	104.8
0.25	6.35	1.27	5.0		582	2469.0		
0.3	7.62	1.27	6.0		658	2789.7		
0.4	10.16	1.27	8.0		783	3317.3		
0.5	12.7	1.27	10		909	3849.0		

V. Gráfico



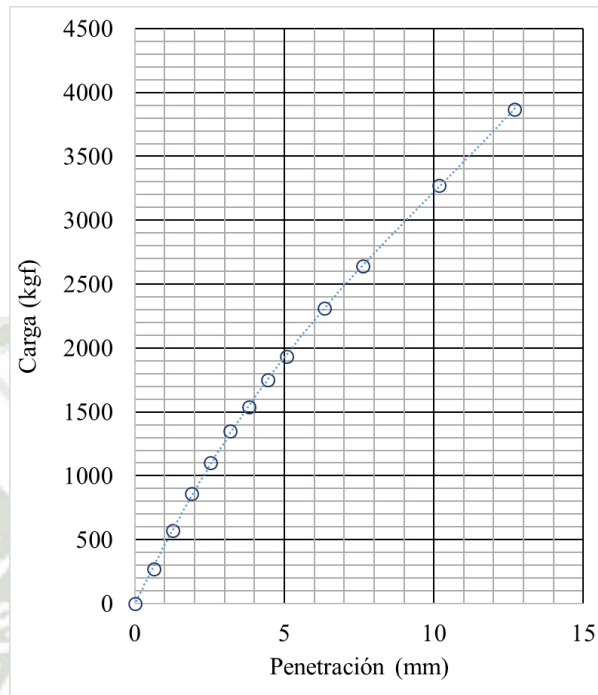
CBR A 0.1"	1%	94
CBR A 0.2"	1%	105

Tabla 102

Determinación de CBR 55g/c muestra n2.

I. Compactación y determinación de la densidad Húmeda									
Muestra							M-02		
Nro. de Capas	1						5		
Nro. de Golpes	1						55		
							No Saturada	Saturada	
Volumen del molde:	(1cm ³)						2120	-	
Peso del molde	(1g)						4970	-	
Peso del suelo compactado + molde	(1g)						9345	-	
Peso del suelo compactado	(1g)						4375	-	
Densidad húmeda	(0.01g/cm ³)						2.07	-	
II. Determinación de la humedad y Densidad Seca									
							No Saturada	Saturada	
Peso del recipiente	(0.1g)						125.9	-	
Peso del suelo húmedo + recipiente	(0.1g)						603.7	-	
Peso del suelo seco + recipiente	(0.1g)						577.2	-	
Peso del agua	(0.1g)						26.5	-	
Peso del suelo seco	(0.1g)						451.3	-	
Contenido de humedad	0.1%						5.9	-	
Densidad seca	(0.01g/cm ³)						1.95	-	
Peso Unitario Seco	(0.1kN/m ³)						19.12	-	
III. Determinación de la Expansión									
NO HAY EXPANSIÓN									
IV. Penetración									
Penetración		Velocidad de ensayo	Tiempo de carga	Carga Estándar	Molde Nro. Carga	1 Corrección			
in	mm	mm/min	min	kgf/cm ²	Dial(div)	kgf	kgf	%	
0	0	1.27	0.0		0	0.0			
0.025	0.64	1.27	0.5		61	270.3			
0.05	1.27	1.27	1.0		133	574.1			
0.075	1.91	1.27	1.5		201	861.1			
0.1	2.54	1.27	2.0	70.31	258	1101.7	-	79.8	
0.125	3.18	1.27	2.5		317	1350.6			
0.15	3.81	1.27	3.0		361	1536.3			
0.175	4.45	1.27	3.5		412	1751.6			
0.2	5.08	1.27	4.0	105.46	455	1933.0	-	93.4	
0.25	6.35	1.27	5.0		545	2312.9			
0.3	7.62	1.27	6.0		623	2642.0			
0.4	10.16	1.27	8.0		773	3275.1			
0.5	12.7	1.27	10		914	3870.1			

V. Gráfico



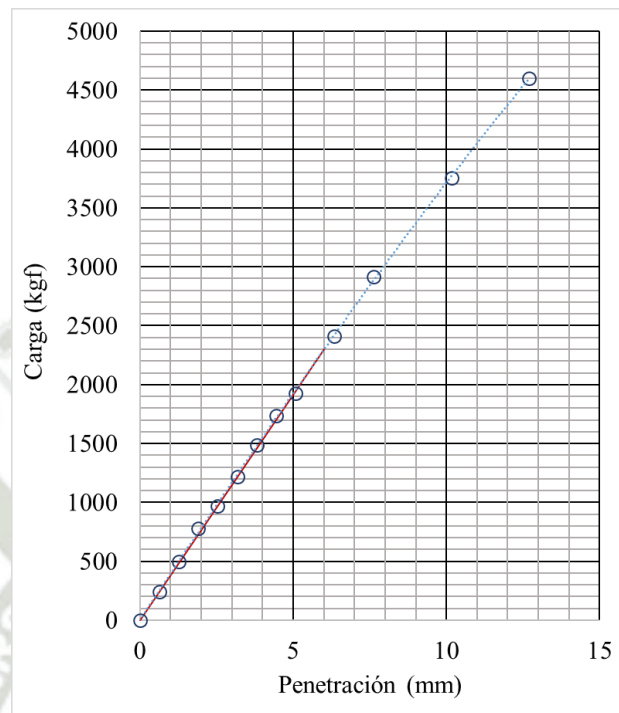
CBR A 0.1"	1%	80
CBR A 0.2"	1%	93

Tabla 103

Determinación de CBR 55g/c muestra n3.

I. Compactación y determinación de la densidad Húmeda									
Muestra							M-03		
Nro. de Capas	1						5		
Nro. de Golpes	1						55		
						No Saturada	Saturada		
Volumen del molde:	(1cm ³)						2121	-	
Peso del molde	(1g)						4970	-	
Peso del suelo compactado + molde	(1g)						9615	-	
Peso del suelo compactado	(1g)						4645	-	
Densidad húmeda	(0.01g/cm ³)						2.19	-	
II. Determinación de la humedad y Densidad Seca									
						No Saturada	Saturada		
Peso del recipiente	(0.1g)						136.7	-	
Peso del suelo húmedo + recipiente	(0.1g)						642.2	-	
Peso del suelo seco + recipiente	(0.1g)						602.2	-	
Peso del agua	(0.1g)						40.0	-	
Peso del suelo seco	(0.1g)						465.5	-	
Contenido de humedad	0.1%						8.6	-	
Densidad seca	(0.01g/cm ³)						2.02	-	
Peso Unitario Seco	(0.1kN/m ³)						19.78	-	
III. Determinación de la Expansión									
NO HAY EXPANSIÓN									
IV. Penetración									
Penetración		Velocidad de ensayo	Tiempo de carga	Carga Estándar	Molde Nro. Carga	1 Corrección			
in	mm	mm/min	min	kgf/cm ²	Dial(div)	kgf	kgf	%	
0	0	1.27	0.0		-	0			
0.025	0.64	1.27	0.5		55	244.5			
0.05	1.27	1.27	1.0		115	498.2			
0.075	1.91	1.27	1.5		182	781.8			
0.1	2.54	1.27	2.0	70.31	227	970.8	991.2	71.8	
0.125	3.18	1.27	2.5		286	1219.8			
0.15	3.81	1.27	3.0		349	1484.9			
0.175	4.45	1.27	3.5		408	1734.7			
0.2	5.08	1.27	4.0	105.46	454	1928.8	1955.4	94.4	
0.25	6.35	1.27	5.0		569	2413.3			
0.3	7.62	1.27	6.0		688	2918			
0.4	10.16	1.27	8.0		886	3751.9			
0.5	12.7	1.27	10		1087	4600.2			

V. Gráfico



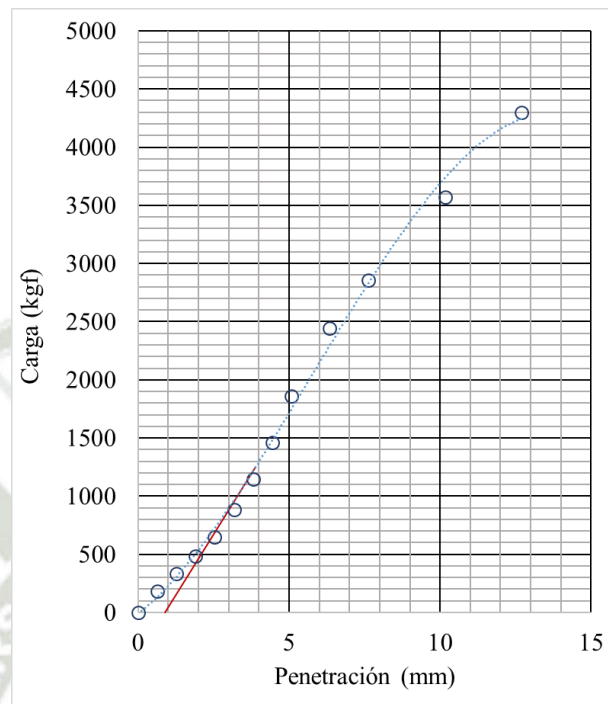
CBR A 0.1"	1%	72
CBR A 0.2"	1%	94

Tabla 104

Determinación de CBR 55g/c muestra n4.

I. Compactación y determinación de la densidad Húmeda									
Muestra								M-04	
Nro. de Capas	1							5	
Nro. de Golpes	1							55	
							No Saturada	Saturada	
Volumen del molde:	(1cm ³)							2121	-
Peso del molde	(1g)							4970	-
Peso del suelo compactado + molde	(1g)							9728	-
Peso del suelo compactado	(1g)							4758	-
Densidad húmeda	(0.01g/cm ³)							2.24	-
II. Determinación de la humedad y Densidad Seca									
							No Saturada	Saturada	
Peso del recipiente	(0.1g)							127.4	-
Peso del suelo húmedo + recipiente	(0.1g)							636.5	-
Peso del suelo seco + recipiente	(0.1g)							592.0	-
Peso del agua	(0.1g)							44.5	-
Peso del suelo seco	(0.1g)							464.7	-
Contenido de humedad	0.1%							9.6	-
Densidad seca	(0.01g/cm ³)							2.05	-
Peso Unitario Seco	(0.1kN/m ³)							20.08	-
III. Determinación de la Expansión									
NO HAY EXPANSIÓN									
IV. Penetración									
Penetración		Velocidad de ensayo	Tiempo de carga	Carga Estándar	Molde Nro. Carga	1 Corrección			
in	mm	mm/min	min	kgf/cm ²	Dial(div)	kgf	kgf	%	
0	0	1.27	0.0		-	0.0			
0.025	0.64	1.27	0.5		40	181.7			
0.05	1.27	1.27	1.0		76	335.3			
0.075	1.91	1.27	1.5		112	483.4			
0.1	2.54	1.27	2.0	70.31	150	645.9	1067.3	77.3	
0.125	3.18	1.27	2.5		207	886.4			
0.15	3.81	1.27	3.0		268	1143.9			
0.175	4.45	1.27	3.5		344	1462.5			
0.2	5.08	1.27	4.0	105.46	438	1860.5	2136.7	103.2	
0.25	6.35	1.27	5.0		576	2443.7			
0.3	7.62	1.27	6.0		674	2857.3			
0.4	10.16	1.27	8.0		843	3570.5			
0.5	12.7	1.27	10		1016	4300.6			

V. Gráfico



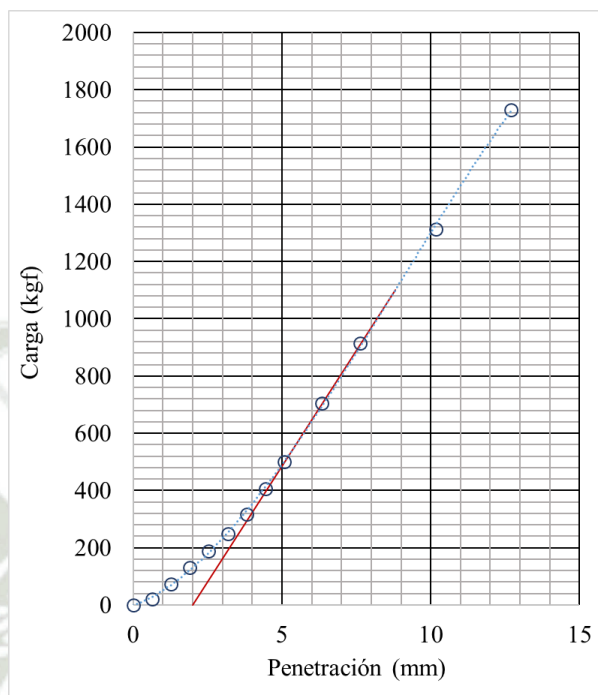
CBR A 0.1"	1%	77
CBR A 0.2"	1%	103

Tabla 105

Determinación de CBR 55g/c muestra n5.

I. Compactación y determinación de la densidad Húmeda									
Muestra							M-05		
Nro. de Capas	1						5		
Nro. de Golpes	1						55		
							No Saturada	Saturada	
Volumen del molde:	(1cm ³)						2121	-	
Peso del molde	(1g)						4970	-	
Peso del suelo compactado + molde	(1g)						9722	-	
Peso del suelo compactado	(1g)						4752	-	
Densidad húmeda	(0.01g/cm ³)						2.24	-	
II. Determinación de la humedad y Densidad Seca									
							No Saturada	Saturada	
Peso del recipiente	(0.1g)						148.1	-	
Peso del suelo húmedo + recipiente	(0.1g)						648.3	-	
Peso del suelo seco + recipiente	(0.1g)						602.2	-	
Peso del agua	(0.1g)						46.1	-	
Peso del suelo seco	(0.1g)						454.0	-	
Contenido de humedad	0.1%						10.2	-	
Densidad seca	(0.01g/cm ³)						2.03	-	
Peso Unitario Seco	(0.1kN/m ³)						19.95	-	
III. Determinación de la Expansión									
NO HAY EXPANSIÓN									
IV. Penetración									
Penetración		Velocidad de ensayo	Tiempo de carga	Carga Estándar	Molde Nro. Carga	1 Corrección			
in	mm	mm/min	min	kgf/cm ²	Dial(div)	kgf	kgf	%	
0	0	1.27	0.0		-	0.0			
0.025	0.64	1.27	0.5		2	21.3			
0.05	1.27	1.27	1.0		14	73.4			
0.075	1.91	1.27	1.5		28	131.0			
0.1	2.54	1.27	2.0	70.31	42	189.7	425.9	30.9	
0.125	3.18	1.27	2.5		56	249.2			
0.15	3.81	1.27	3.0		72	316.7			
0.175	4.45	1.27	3.5		93	405.3			
0.2	5.08	1.27	4.0	105.46	116	500.3	812.4	39.2	
0.25	6.35	1.27	5.0		164	705.0			
0.3	7.62	1.27	6.0		214	915.1			
0.4	10.16	1.27	8.0		308	1312.7			
0.5	12.7	1.27	10		407	1730.5			

V. Gráfico



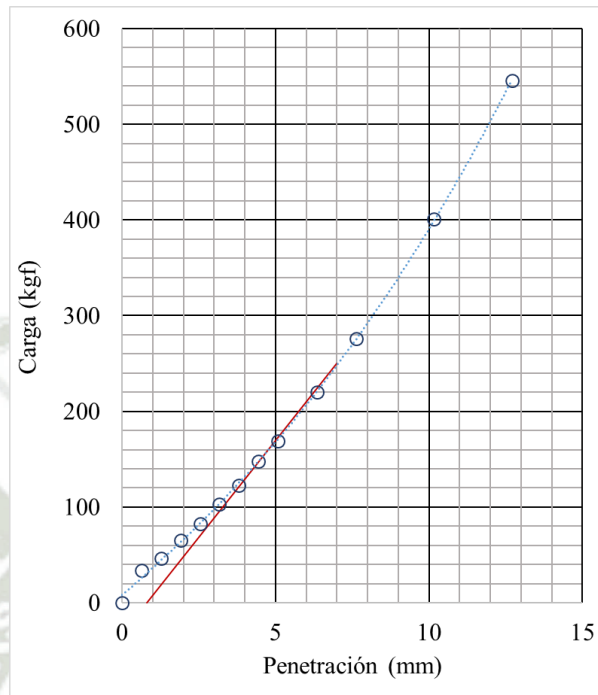
CBR A 0.1"	1%	31
CBR A 0.2"	1%	39

Tabla 106

Determinación de CBR 55g/c muestra n6.

I. Compactación y determinación de la densidad Húmeda									
Muestra								M-06	
Nro. de Capas	1							5	
Nro. de Golpes	1							55	
							No Saturada	Saturada	
Volumen del molde:	(1cm ³)							2121	-
Peso del molde	(1g)							4970	-
Peso del suelo compactado + molde	(1g)							9707	-
Peso del suelo compactado	(1g)							4738	-
Densidad húmeda	(0.01g/cm ³)							2.23	-
II. Determinación de la humedad y Densidad Seca									
							No Saturada	Saturada	
Peso del recipiente	(0.1g)							115.5	-
Peso del suelo húmedo + recipiente	(0.1g)							616.5	-
Peso del suelo seco + recipiente	(0.1g)							564.3	-
Peso del agua	(0.1g)							52.2	-
Peso del suelo seco	(0.1g)							448.8	-
Contenido de humedad	0.1%							11.6	-
Densidad seca	(0.01g/cm ³)							2.00	-
Peso Unitario Seco	(0.1kN/m ³)							19.63	-
III. Determinación de la Expansión									
NO HAY EXPANSIÓN									
IV. Penetración									
Penetración		Velocidad de ensayo	Tiempo de carga	Carga Estándar	Molde Nro. Carga	1 Corrección			
in	mm	mm/min	min	kgf/cm ²	Dial(div)	kgf	kgf	%	
0	0	1.27	0.0		-	0.0			
0.025	0.64	1.27	0.5		5	33.9			
0.05	1.27	1.27	1.0		8	46.6			
0.075	1.91	1.27	1.5		13	65.6			
0.1	2.54	1.27	2.0	70.31	17	82.5	109.4	7.9	
0.125	3.18	1.27	2.5		21	103.2			
0.15	3.81	1.27	3.0		26	122.6			
0.175	4.45	1.27	3.5		32	147.9			
0.2	5.08	1.27	4.0	105.46	37	169.0	202.0	9.8	
0.25	6.35	1.27	5.0		49	220.5			
0.3	7.62	1.27	6.0		62	276.2			
0.4	10.16	1.27	8.0		92	401.1			
0.5	12.7	1.27	10		126	545.9			

V. Gráfico



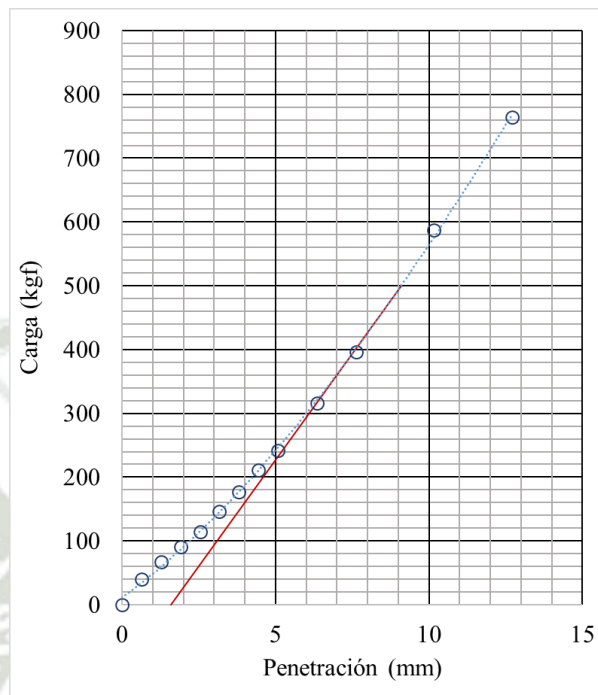
CBR A 0.1"	1%	8
CBR A 0.2"	1%	10

Tabla 107

Determinación de CBR 55g/c muestra n7.

I. Compactación y determinación de la densidad Húmeda								
Muestra							M-07	
Nro. de Capas	1						5	
Nro. de Golpes	1						55	
							No Saturada	Saturada
Volumen del molde:	(1cm ³)						2121	-
Peso del molde	(1g)						4970	-
Peso del suelo compactado + molde	(1g)						9705	-
Peso del suelo compactado	(1g)						4736	-
Densidad húmeda	(0.01g/cm ³)						2.23	-
II. Determinación de la humedad y Densidad Seca								
							No Saturada	Saturada
Peso del recipiente	(0.1g)						145.9	-
Peso del suelo húmedo + recipiente	(0.1g)						653.7	-
Peso del suelo seco + recipiente	(0.1g)						598.4	-
Peso del agua	(0.1g)						55.3	-
Peso del suelo seco	(0.1g)						452.5	-
Contenido de humedad	0.1%						12.2	-
Densidad seca	(0.01g/cm ³)						1.99	-
Peso Unitario Seco	(0.1kN/m ³)						19.51	-
III. Determinación de la Expansión								
NO HAY EXPANSIÓN								
IV. Penetración								
Penetración		Velocidad de ensayo	Tiempo de carga	Carga Estándar	Molde Nro. Carga	1 Corrección		
in	mm	mm/min	min	kgf/cm ²	Dial(div)	kgf	kgf	%
0	0	1.27	0.0		-	0.0		
0.025	0.64	1.27	0.5		2	21.3		
0.05	1.27	1.27	1.0		14	73.4		
0.075	1.91	1.27	1.5		28	131.0		
0.1	2.54	1.27	2.0	70.31	42	189.7	194.8	14.1
0.125	3.18	1.27	2.5		56	249.2		
0.15	3.81	1.27	3.0		72	316.7		
0.175	4.45	1.27	3.5		93	405.3		
0.2	5.08	1.27	4.0	105.46	116	500.3	341.2	16.5
0.25	6.35	1.27	5.0		164	705.0		
0.3	7.62	1.27	6.0		214	915.1		
0.4	10.16	1.27	8.0		308	1312.7		
0.5	12.7	1.27	10		407	1730.5		

V. Gráfico



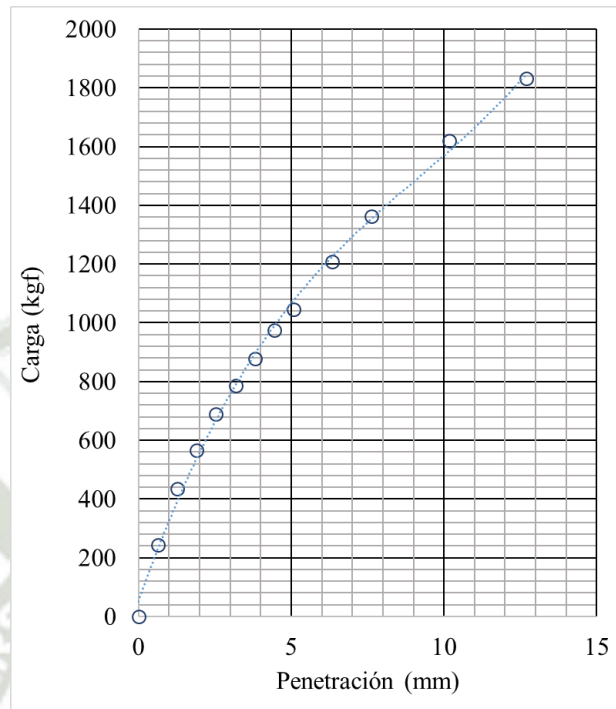
CBR A 0.1"	1%	14
CBR A 0.2"	1%	16

Tabla 108

Determinación de CBR 26g/c muestra n8.

I. Compactación y determinación de la densidad Húmeda								
Muestra							M-08	
Nro. de Capas	1						5	
Nro. de Golpes	1						26	
							No Saturada	Saturada
Volumen del molde:	(1cm ³)						2120	-
Peso del molde	(1g)						4970	-
Peso del suelo compactado + molde	(1g)						9105	-
Peso del suelo compactado	(1g)						4136	-
Densidad húmeda	(0.01g/cm ³)						1.95	-
II. Determinación de la humedad y Densidad Seca								
							No Saturada	Saturada
Peso del recipiente	(0.1g)						130.7	-
Peso del suelo húmedo + recipiente	(0.1g)						803.0	-
Peso del suelo seco + recipiente	(0.1g)						767.3	-
Peso del agua	(0.1g)						35.7	-
Peso del suelo seco	(0.1g)						636.5	-
Contenido de humedad	0.1%						5.6	-
Densidad seca	(0.01g/cm ³)						1.85	-
Peso Unitario Seco	(0.1kN/m ³)						18.12	-
III. Determinación de la Expansión								
NO HAY EXPANSIÓN								
IV. Penetración								
Penetración		Velocidad de ensayo	Tiempo de carga	Carga Estándar	Molde Nro. Carga	1 Corrección		
in	mm	mm/min	min	kgf/cm ²	Dial(div)	kgf	kgf	%
0	0	1.27	0.0		0	0.0		
0.025	0.64	1.27	0.5		55	245.0		
0.05	1.27	1.27	1.0		100	434.9		
0.075	1.91	1.27	1.5		131	565.7		
0.1	2.54	1.27	2.0	70.31	160	688.1	-	49.8
0.125	3.18	1.27	2.5		183	785.1		
0.15	3.81	1.27	3.0		205	878.0		
0.175	4.45	1.27	3.5		228	975.1		
0.2	5.08	1.27	4.0	105.46	245	1046.8	-	50.6
0.25	6.35	1.27	5.0		283	1207.2		
0.3	7.62	1.27	6.0		320	1363.3		
0.4	10.16	1.27	8.0		381	1620.7		
0.5	12.7	1.27	10		431	1831.8		

V. Gráfico



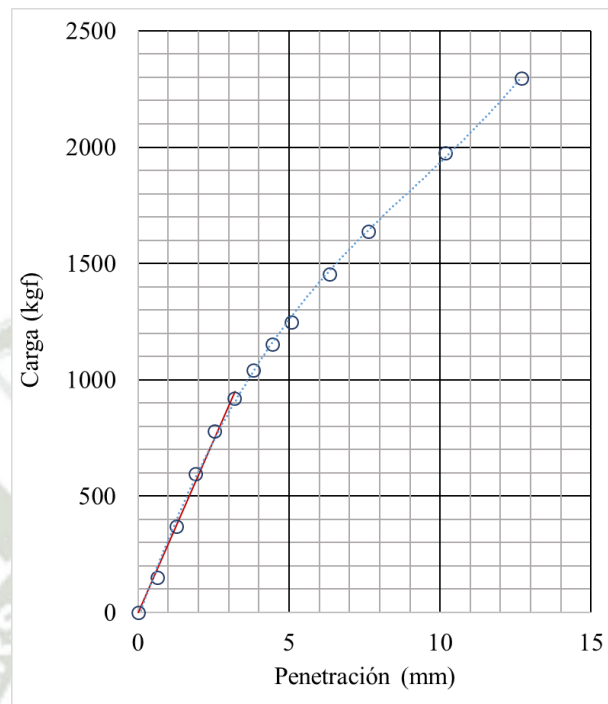
CBR A 0.1"	1%	50
CBR A 0.2"	1%	51

Tabla 109

Determinación de CBR 26g/c muestra n9.

I. Compactación y determinación de la densidad Húmeda								
Muestra							M-09	
Nro. de Capas	1						5	
Nro. de Golpes	1						26	
							No Saturada	Saturada
Volumen del molde:	(1cm ³)						2120	-
Peso del molde	(1g)						4970	-
Peso del suelo compactado + molde	(1g)						9175	-
Peso del suelo compactado	(1g)						4206	-
Densidad húmeda	(0.01g/cm ³)						1.98	-
II. Determinación de la humedad y Densidad Seca								
							No Saturada	Saturada
Peso del recipiente	(0.1g)						86.5	-
Peso del suelo húmedo + recipiente	(0.1g)						625.6	-
Peso del suelo seco + recipiente	(0.1g)						593.6	-
Peso del agua	(0.1g)						32.0	-
Peso del suelo seco	(0.1g)						507.0	-
Contenido de humedad	0.1%						6.3	-
Densidad seca	(0.01g/cm ³)						1.87	-
Peso Unitario Seco	(0.1kN/m ³)						18.30	-
III. Determinación de la Expansión								
NO HAY EXPANSIÓN								
IV. Penetración								
Penetración		Velocidad de ensayo	Tiempo de carga	Carga Estándar	Molde Nro. Carga	1 Corrección		
in	mm	mm/min	min	kgf/cm ²	Dial(div)	kgf	kgf	%
0	0	1.27	0.0		0	0.0		
0.025	0.64	1.27	0.5		33	152.1		
0.05	1.27	1.27	1.0		85	371.6		
0.075	1.91	1.27	1.5		138	595.2		
0.1	2.54	1.27	2.0	70.31	182	780.9	747.7	54.2
0.125	3.18	1.27	2.5		215	920.2		
0.15	3.81	1.27	3.0		244	1042.6		
0.175	4.45	1.27	3.5		270	1152.3		
0.2	5.08	1.27	4.0	105.46	293	1249.4	1272.2	61.4
0.25	6.35	1.27	5.0		342	1456.2		
0.3	7.62	1.27	6.0		385	1637.6		
0.4	10.16	1.27	8.0		465	1975.2		
0.5	12.7	1.27	10		541	2296.0		

V. Gráfico



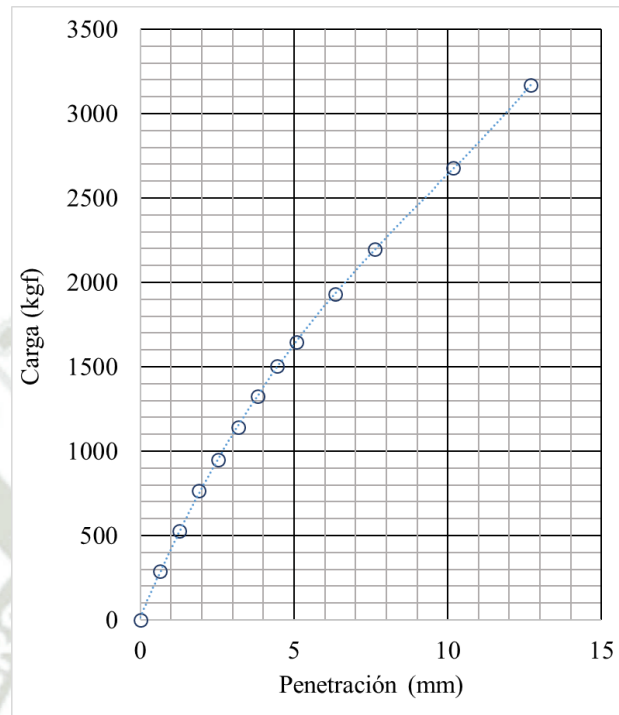
CBR A 0.1"	1%	54
CBR A 0.2"	1%	61

Tabla 110

Determinación de CBR 26g/c muestra n10.

I. Compactación y determinación de la densidad Húmeda								
Muestra							M-10	
Nro. de Capas	1						5	
Nro. de Golpes	1						26	
							No Saturada	Saturada
Volumen del molde:	(1cm ³)						2121	-
Peso del molde	(1g)						4970	-
Peso del suelo compactado + molde	(1g)						9397	-
Peso del suelo compactado	(1g)						4428	-
Densidad húmeda	(0.01g/cm ³)						2.088	-
II. Determinación de la humedad y Densidad Seca								
							No Saturada	Saturada
Peso del recipiente	(0.1g)						86.5	-
Peso del suelo húmedo + recipiente	(0.1g)						652.3	-
Peso del suelo seco + recipiente	(0.1g)						609.2	-
Peso del agua	(0.1g)						43.1	-
Peso del suelo seco	(0.1g)						522.7	-
Contenido de humedad	0.1%						8.3	-
Densidad seca	(0.01g/cm ³)						1.93	-
Peso Unitario Seco	(0.1kN/m ³)						18.91	-
III. Determinación de la Expansión								
NO HAY EXPANSIÓN								
IV. Penetración								
Penetración		Velocidad de ensayo	Tiempo de carga	Carga Estándar	Molde Nro. Carga	1 Corrección		
in	mm	mm/min	min	kgf/cm ²	Dial(div)	kgf	kgf	%
0	0	1.27	0.0		-	0.0		
0.025	0.64	1.27	0.5		65	288.8		
0.05	1.27	1.27	1.0		122	527.7		
0.075	1.91	1.27	1.5		179	768.3		
0.1	2.54	1.27	2.0	70.31	222	951.0	-	68.9
0.125	3.18	1.27	2.5		268	1143.9		
0.15	3.81	1.27	3.0		311	1325.3		
0.175	4.45	1.27	3.5		353	1502.6		
0.2	5.08	1.27	4.0	105.46	387	1646.1	-	79.5
0.25	6.35	1.27	5.0		454	1928.8		
0.3	7.62	1.27	6.0		518	2196.8		
0.4	10.16	1.27	8.0		632	2677.9		
0.5	12.7	1.27	10		748	3167.4		

V. Gráfico



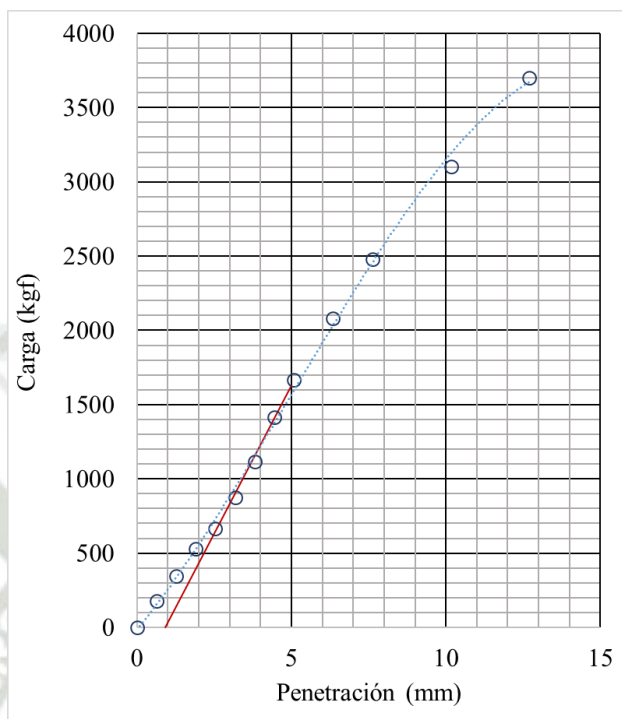
CBR A 0.1"	1%	69
CBR A 0.2"	1%	79

Tabla 111

Determinación de CBR 26g/c muestra n11.

I. Compactación y determinación de la densidad Húmeda									
Muestra								M-11	
Nro. de Capas	1							5	
Nro. de Golpes	1							26	
							No Saturada	Saturada	
Volumen del molde:	(1cm ³)							2121	-
Peso del molde	(1g)							4970	-
Peso del suelo compactado + molde	(1g)							9565	-
Peso del suelo compactado	(1g)							4595	-
Densidad húmeda	(0.01g/cm ³)							2.17	-
II. Determinación de la humedad y Densidad Seca									
							No Saturada	Saturada	
Peso del recipiente	(0.1g)							166.4	-
Peso del suelo húmedo + recipiente	(0.1g)							681.9	-
Peso del suelo seco + recipiente	(0.1g)							637.2	-
Peso del agua	(0.1g)							44.7	-
Peso del suelo seco	(0.1g)							470.8	-
Contenido de humedad	0.1%							9.5	-
Densidad seca	(0.01g/cm ³)							1.98	-
Peso Unitario Seco	(0.1kN/m ³)							19.41	-
III. Determinación de la Expansión									
NO HAY EXPANSIÓN									
IV. Penetración									
Penetración		Velocidad de ensayo	Tiempo de carga	Carga Estándar	Molde Nro. Carga	1 Corrección			
in	mm	mm/min	min	kgf/cm ²	Dial(div)	kgf	kgf	%	
0	0	1.27	0.0		-	0.0			
0.025	0.64	1.27	0.5		39	177.4			
0.05	1.27	1.27	1.0		79	346.2			
0.075	1.91	1.27	1.5		122	527.7			
0.1	2.54	1.27	2.0	70.31	155	667.0	1033	74.8	
0.125	3.18	1.27	2.5		204	873.8			
0.15	3.81	1.27	3.0		262	1116.4			
0.175	4.45	1.27	3.5		333	1417.8			
0.2	5.08	1.27	4.0	105.46	392	1667.2	1911.6	92.3	
0.25	6.35	1.27	5.0		490	2082.0			
0.3	7.62	1.27	6.0		584	2477.4			
0.4	10.16	1.27	8.0		732	3102.0			
0.5	12.7	1.27	10		875	3703.4			

V. Gráfico



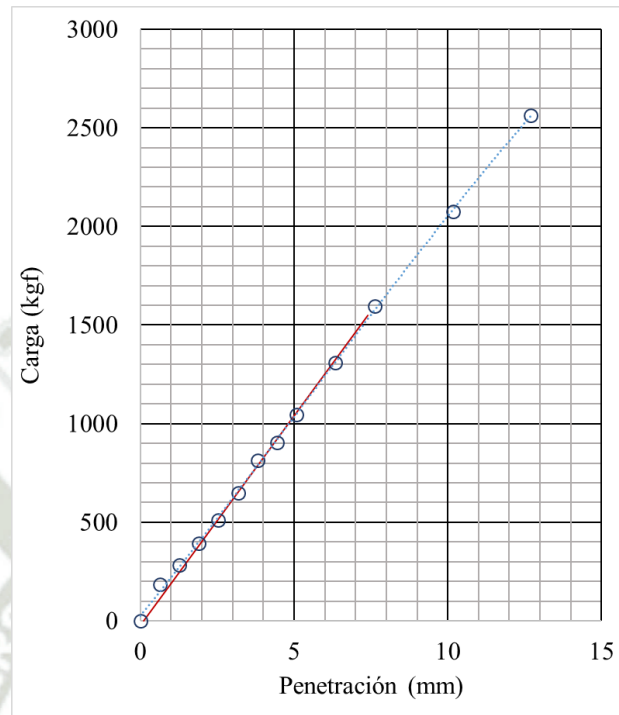
CBR A 0.1"	1%	75
CBR A 0.2"	1%	92

Tabla 112

Determinación de CBR 26g/c muestra n12.

I. Compactación y determinación de la densidad Húmeda									
Muestra							M-12		
Nro. de Capas	1						5		
Nro. de Golpes	1						26		
							No Saturada	Saturada	
Volumen del molde:	(1cm ³)						2121	-	
Peso del molde	(1g)						4970	-	
Peso del suelo compactado + molde	(1g)						9672	-	
Peso del suelo compactado	(1g)						4702	-	
Densidad húmeda	(0.01g/cm ³)						2.22	-	
II. Determinación de la humedad y Densidad Seca									
							No Saturada	Saturada	
Peso del recipiente	(0.1g)						241.0	-	
Peso del suelo húmedo + recipiente	(0.1g)						835.3	-	
Peso del suelo seco + recipiente	(0.1g)						778.1	-	
Peso del agua	(0.1g)						57.2	-	
Peso del suelo seco	(0.1g)						537.1	-	
Contenido de humedad	0.1%						10.6	-	
Densidad seca	(0.01g/cm ³)						2.00	-	
Peso Unitario Seco	(0.1kN/m ³)						19.66	-	
III. Determinación de la Expansión									
NO HAY EXPANSIÓN									
IV. Penetración									
Penetración		Velocidad de ensayo	Tiempo de carga	Carga Estándar	Molde Nro. Carga	1 Corrección			
in	mm	mm/min	min	kgf/cm ²	Dial(div)	kgf	kgf	%	
0	0	1.27	0.0		-	0.0			
0.025	0.64	1.27	0.5		41	183.8			
0.05	1.27	1.27	1.0		64	282.1			
0.075	1.91	1.27	1.5		90	392.7			
0.1	2.54	1.27	2.0	70.31	118	510.8	548.8	39.8	
0.125	3.18	1.27	2.5		151	650.5			
0.15	3.81	1.27	3.0		190	814.7			
0.175	4.45	1.27	3.5		212	905.4			
0.2	5.08	1.27	4.0	105.46	245	1046.8	1072.2	51.8	
0.25	6.35	1.27	5.0		307	1308.4			
0.3	7.62	1.27	6.0		375	1595.0			
0.4	10.16	1.27	8.0		489	2076.5			
0.5	12.7	1.27	10		604	2561.8			

V. Gráfico



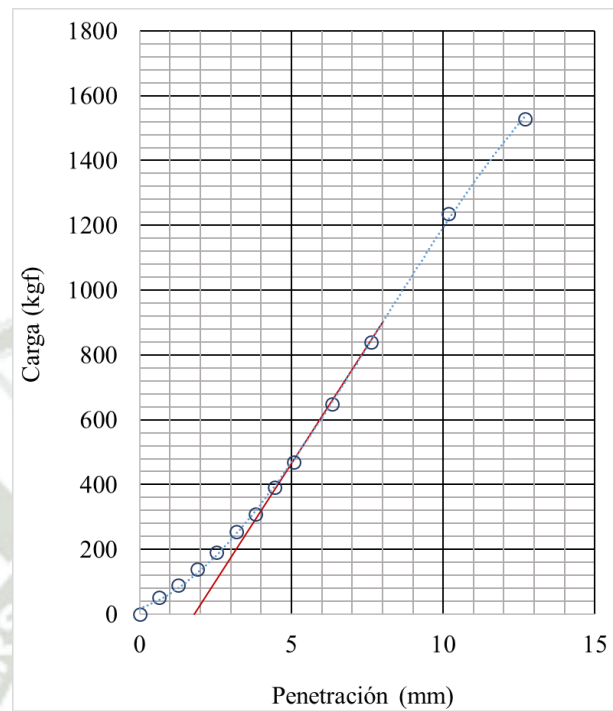
CBR A 0.1"	1%	40
CBR A 0.2"	1%	52

Tabla 113

Determinación de CBR 26g/c muestra n13.

I. Compactación y determinación de la densidad Húmeda								
Muestra							M-13	
Nro. de Capas	1						5	
Nro. de Golpes	1						26	
							No Saturada	Saturada
Volumen del molde:	(1cm ³)						2121	-
Peso del molde	(1g)						4970	-
Peso del suelo compactado + molde	(1g)						9657	-
Peso del suelo compactado	(1g)						4687	-
Densidad húmeda	(0.01g/cm ³)						2.21	-
II. Determinación de la humedad y Densidad Seca								
							No Saturada	Saturada
Peso del recipiente	(0.1g)						145.9	-
Peso del suelo húmedo + recipiente	(0.1g)						662.7	-
Peso del suelo seco + recipiente	(0.1g)						609.6	-
Peso del agua	(0.1g)						53.1	-
Peso del suelo seco	(0.1g)						463.7	-
Contenido de humedad	0.1%						11.5	-
Densidad seca	(0.01g/cm ³)						1.98	-
Peso Unitario Seco	(0.1kN/m ³)						19.45	-
III. Determinación de la Expansión								
NO HAY EXPANSIÓN								
IV. Penetración								
Penetración		Velocidad de ensayo	Tiempo de carga	Carga Estándar	Molde Nro. Carga	1 Corrección		
in	mm	mm/min	min	kgf/cm ²	Dial(div)	kgf	kgf	%
0	0	1.27	0.0		-	0.0		
0.025	0.64	1.27	0.5		9	50.8		
0.05	1.27	1.27	1.0		18	88.8		
0.075	1.91	1.27	1.5		30	139.4		
0.1	2.54	1.27	2.0	70.31	42	191.4	382.6	27.7
0.125	3.18	1.27	2.5		57	254.2		
0.15	3.81	1.27	3.0		70	308.7		
0.175	4.45	1.27	3.5		90	390.6		
0.2	5.08	1.27	4.0	105.46	108	468.6	733.4	35.4
0.25	6.35	1.27	5.0		151	648.0		
0.3	7.62	1.27	6.0		196	839.2		
0.4	10.16	1.27	8.0		290	1236.7		
0.5	12.7	1.27	10		359	1527.9		

V. Gráfico



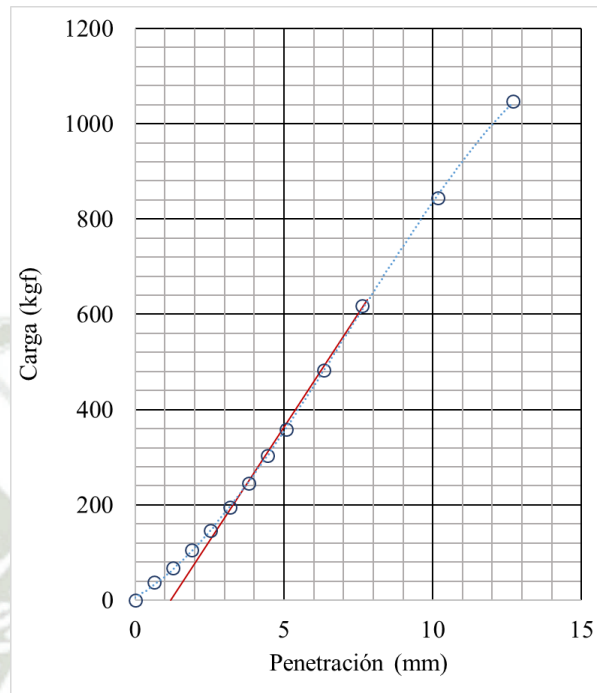
CBR A 0.1"	1%	28
CBR A 0.2"	1%	35

Tabla 114

Determinación de CBR 26g/c muestra n14.

I. Compactación y determinación de la densidad Húmeda									
Muestra								M-14	
Nro. de Capas	1							5	
Nro. de Golpes	1							26	
							No Saturada	Saturada	
Volumen del molde:	(1cm ³)							2121	-
Peso del molde	(1g)							4970	-
Peso del suelo compactado + molde	(1g)							9689	-
Peso del suelo compactado	(1g)							4719	-
Densidad húmeda	(0.01g/cm ³)							2.23	-
II. Determinación de la humedad y Densidad Seca									
							No Saturada	Saturada	
Peso del recipiente	(0.1g)							198.5	-
Peso del suelo húmedo + recipiente	(0.1g)							796.1	-
Peso del suelo seco + recipiente	(0.1g)							732.3	-
Peso del agua	(0.1g)							63.8	-
Peso del suelo seco	(0.1g)							533.9	-
Contenido de humedad	0.1%							12.0	-
Densidad seca	(0.01g/cm ³)							1.99	-
Peso Unitario Seco	(0.1kN/m ³)							19.49	-
III. Determinación de la Expansión									
NO HAY EXPANSIÓN									
IV. Penetración									
Penetración		Velocidad de ensayo	Tiempo de carga	Carga Estándar	Molde Nro. Carga	1 Corrección			
in	mm	mm/min	min	kgf/cm ²	Dial(div)	kgf	kgf	%	
0	0	1.27	0.0		-	0.0			
0.025	0.64	1.27	0.5		6	40.1			
0.05	1.27	1.27	1.0		11	58.4			
0.075	1.91	1.27	1.5		17	85.9			
0.1	2.54	1.27	2.0	70.31	24	113.7	137.3	9.9	
0.125	3.18	1.27	2.5		29	135.2			
0.15	3.81	1.27	3.0		38	172.6			
0.175	4.45	1.27	3.5		41	185.9			
0.2	5.08	1.27	4.0	105.46	55	244.5	251.2	12.1	
0.25	6.35	1.27	5.0		73	320.9			
0.3	7.62	1.27	6.0		98	425.8			
0.4	10.16	1.27	8.0		185	793.6			
0.5	12.7	1.27	10		359	1527.9			

V. Gráfico



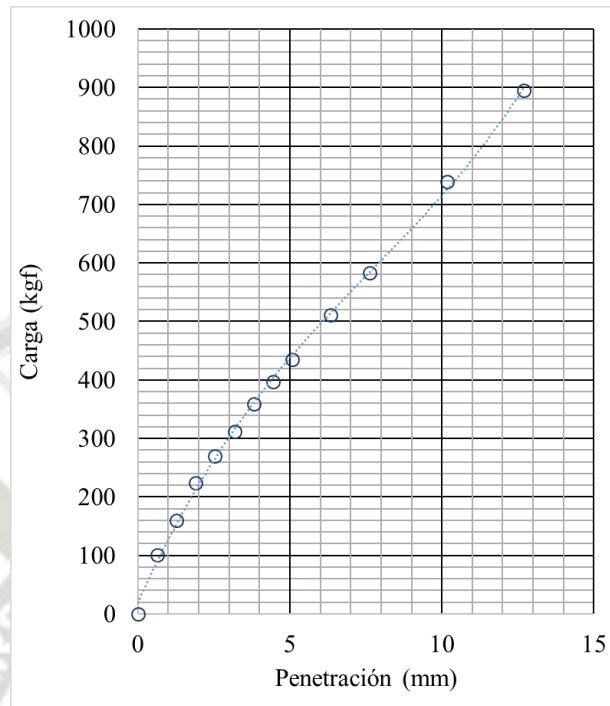
CBR A 0.1"	1%	10
CBR A 0.2"	1%	12

Tabla 115

Determinación de CBR 12g/c muestra n15.

I. Compactación y determinación de la densidad Húmeda								
Muestra							M-15	
Nro. de Capas	1						5	
Nro. de Golpes	1						12	
							No Saturada	Saturada
Volumen del molde:	(1cm ³)						2120	-
Peso del molde	(1g)						4970	-
Peso del suelo compactado + molde	(1g)						9080	-
Peso del suelo compactado	(1g)						4111	-
Densidad húmeda	(0.01g/cm ³)						1.94	-
II. Determinación de la humedad y Densidad Seca								
							No Saturada	Saturada
Peso del recipiente	(0.1g)						128.2	-
Peso del suelo húmedo + recipiente	(0.1g)						689.7	-
Peso del suelo seco + recipiente	(0.1g)						655.1	-
Peso del agua	(0.1g)						34.6	-
Peso del suelo seco	(0.1g)						526.9	-
Contenido de humedad	0.1%						6.6	-
Densidad seca	(0.01g/cm ³)						1.82	-
Peso Unitario Seco	(0.1kN/m ³)						17.85	-
III. Determinación de la Expansión								
NO HAY EXPANSIÓN								
IV. Penetración								
Penetración		Velocidad de ensayo	Tiempo de carga	Carga Estándar	Molde Nro. Carga	1 Corrección		
in	mm	mm/min	min	kgf/cm ²	Dial(div)	kgf	kgf	%
0	0	1.27	0.0		0	0.0		
0.025	0.64	1.27	0.5		21	101.5		
0.05	1.27	1.27	1.0		35	160.5		
0.075	1.91	1.27	1.5		50	223.9		
0.1	2.54	1.27	2.0	70.31	61	270.3	-	19.6
0.125	3.18	1.27	2.5		71	312.5		
0.15	3.81	1.27	3.0		82	358.9		
0.175	4.45	1.27	3.5		91	396.9		
0.2	5.08	1.27	4.0	105.46	100	434.9	-	21.0
0.25	6.35	1.27	5.0		118	510.8		
0.3	7.62	1.27	6.0		135	582.6		
0.4	10.16	1.27	8.0		172	738.7		
0.5	12.7	1.27	10		209	894.9		

V. Gráfico



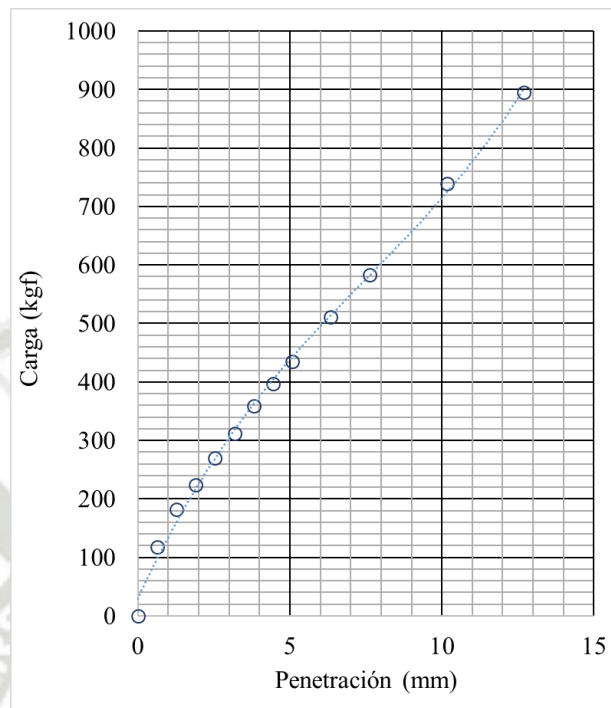
CBR A 0.1"	1%	20
CBR A 0.2"	1%	21

Tabla 116

Determinación de CBR 12g/c muestra n16.

I. Compactación y determinación de la densidad Húmeda									
Muestra								M-16	
Nro. de Capas	1							5	
Nro. de Golpes	1							12	
								No Saturada	Saturada
Volumen del molde:	(1cm ³)							2120	-
Peso del molde	(1g)							4970	-
Peso del suelo compactado + molde	(1g)							9093	-
Peso del suelo compactado	(1g)							4123	-
Densidad húmeda	(0.01g/cm ³)							1.945	-
II. Determinación de la humedad y Densidad Seca									
								No Saturada	Saturada
Peso del recipiente	(0.1g)							125.5	-
Peso del suelo húmedo + recipiente	(0.1g)							657.7	-
Peso del suelo seco + recipiente	(0.1g)							620.2	-
Peso del agua	(0.1g)							37.5	-
Peso del suelo seco	(0.1g)							494.7	-
Contenido de humedad	0.1%							7.6	-
Densidad seca	(0.01g/cm ³)							1.81	-
Peso Unitario Seco	(0.1kN/m ³)							17.73	-
III. Determinación de la Expansión									
NO HAY EXPANSIÓN									
IV. Penetración									
Penetración		Velocidad de ensayo	Tiempo de carga	Carga Estándar	Molde Nro. Carga	1 Corrección			
in	mm	mm/min	min	kgf/cm ²	Dial(div)	kgf	kgf	%	
0	0	1.27	0.0			0.0			
0.025	0.64	1.27	0.5		25	118.3			
0.05	1.27	1.27	1.0		40	181.7			
0.075	1.91	1.27	1.5		50	223.9			
0.1	2.54	1.27	2.0	70.31	61	270.3	-	19.6	
0.125	3.18	1.27	2.5		71	312.5			
0.15	3.81	1.27	3.0		82	358.9			
0.175	4.45	1.27	3.5		91	396.9			
0.2	5.08	1.27	4.0	105.46	100	434.9	-	21.0	
0.25	6.35	1.27	5.0		118	510.8			
0.3	7.62	1.27	6.0		135	582.6			
0.4	10.16	1.27	8.0		172	738.7			
0.5	12.7	1.27	10		209	894.9			

V. Gráfico



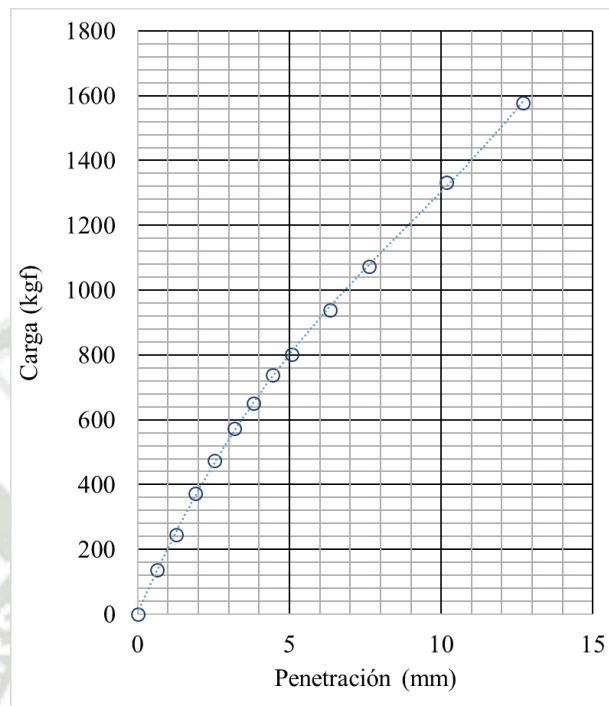
CBR A 0.1"	1%	20
CBR A 0.2"	1%	21

Tabla 117

Determinación de CBR 12g/c muestra n17.

I. Compactación y determinación de la densidad Húmeda									
Muestra								M-17	
Nro. de Capas	1							5	
Nro. de Golpes	1							12	
							No Saturada	Saturada	
Volumen del molde:	(1cm ³)							2121	-
Peso del molde	(1g)							4970	-
Peso del suelo compactado + molde	(1g)							9314	-
Peso del suelo compactado	(1g)							4344	-
Densidad húmeda	(0.01g/cm ³)							2.05	-
II. Determinación de la humedad y Densidad Seca									
							No Saturada	Saturada	
Peso del recipiente	(0.1g)							136.8	-
Peso del suelo húmedo + recipiente	(0.1g)							692.0	-
Peso del suelo seco + recipiente	(0.1g)							647.3	-
Peso del agua	(0.1g)							44.7	-
Peso del suelo seco	(0.1g)							510.5	-
Contenido de humedad	0.1%							8.7	-
Densidad seca	(0.01g/cm ³)							1.88	-
Peso Unitario Seco	(0.1kN/m ³)							18.47	-
III. Determinación de la Expansión									
NO HAY EXPANSIÓN									
IV. Penetración									
Penetración		Velocidad de ensayo	Tiempo de carga	Carga Estándar	Molde Nro. Carga	1 Corrección			
in	mm	mm/min	min	kgf/cm ²	Dial(div)	kgf	kgf	%	
0	0	1.27	0.0		-	0.0			
0.025	0.64	1.27	0.5		29	136.9			
0.05	1.27	1.27	1.0		55	245.0			
0.075	1.91	1.27	1.5		86	373.7			
0.1	2.54	1.27	2.0	70.31	109	473.7	-	34.3	
0.125	3.18	1.27	2.5		133	574.1			
0.15	3.81	1.27	3.0		151	650.9			
0.175	4.45	1.27	3.5		172	738.7			
0.2	5.08	1.27	4.0	105.46	187	802.9	-	38.8	
0.25	6.35	1.27	5.0		219	938.8			
0.3	7.62	1.27	6.0		252	1074.2			
0.4	10.16	1.27	8.0		313	1333.8			
0.5	12.7	1.27	10		371	1578.5			

V. Gráfico



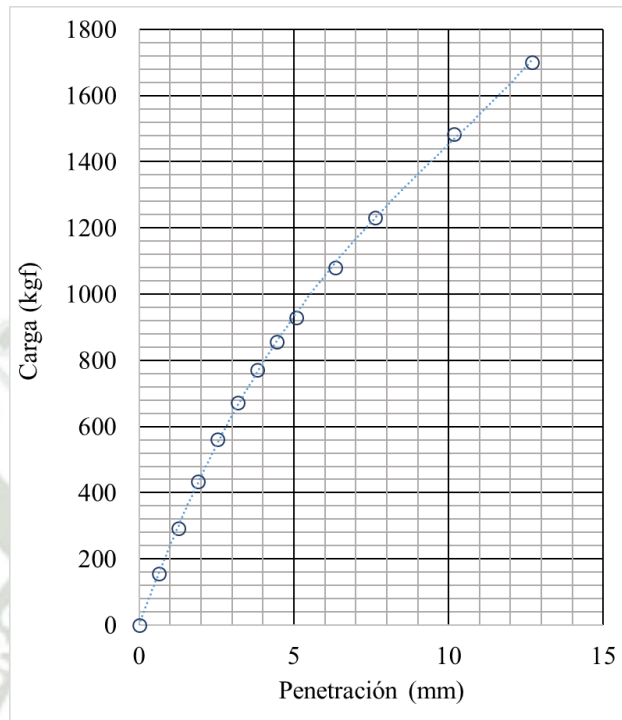
CBR A 0.1"	1%	34
CBR A 0.2"	1%	39

Tabla 118

Determinación de CBR 12g/c muestra n18.

I. Compactación y determinación de la densidad Húmeda								
Muestra							M-18	
Nro. de Capas	1						5	
Nro. de Golpes	1						12	
							No Saturada	Saturada
Volumen del molde:	(1cm ³)						2121	-
Peso del molde	(1g)						4970	-
Peso del suelo compactado + molde	(1g)						9446	-
Peso del suelo compactado	(1g)						4477	-
Densidad húmeda	(0.01g/cm ³)						2.11	-
II. Determinación de la humedad y Densidad Seca								
							No Saturada	Saturada
Peso del recipiente	(0.1g)						148.2	-
Peso del suelo húmedo + recipiente	(0.1g)						666.0	-
Peso del suelo seco + recipiente	(0.1g)						621.1	-
Peso del agua	(0.1g)						44.9	-
Peso del suelo seco	(0.1g)						473.0	-
Contenido de humedad	0.1%						9.5	-
Densidad seca	(0.01g/cm ³)						1.93	-
Peso Unitario Seco	(0.1kN/m ³)						18.91	-
III. Determinación de la Expansión								
NO HAY EXPANSIÓN								
IV. Penetración								
Penetración		Velocidad de ensayo	Tiempo de carga	Carga Estándar	Molde Nro. Carga	1 Corrección		
in	mm	mm/min	min	kgf/cm ²	Dial(div)	kgf	kgf	%
0	0	1.27	0.0		-	0.0		
0.025	0.64	1.27	0.5		34	155.5		
0.05	1.27	1.27	1.0		66	291.4		
0.075	1.91	1.27	1.5		100	434.9		
0.1	2.54	1.27	2.0	70.31	130	561.5	-	40.7
0.125	3.18	1.27	2.5		157	673.3		
0.15	3.81	1.27	3.0		180	772.5		
0.175	4.45	1.27	3.5		200	856.9		
0.2	5.08	1.27	4.0	105.46	217	928.6	-	44.8
0.25	6.35	1.27	5.0		253	1080.6		
0.3	7.62	1.27	6.0		289	1230.4		
0.4	10.16	1.27	8.0		349	1483.6		
0.5	12.7	1.27	10		400	1701.1		

V. Gráfico



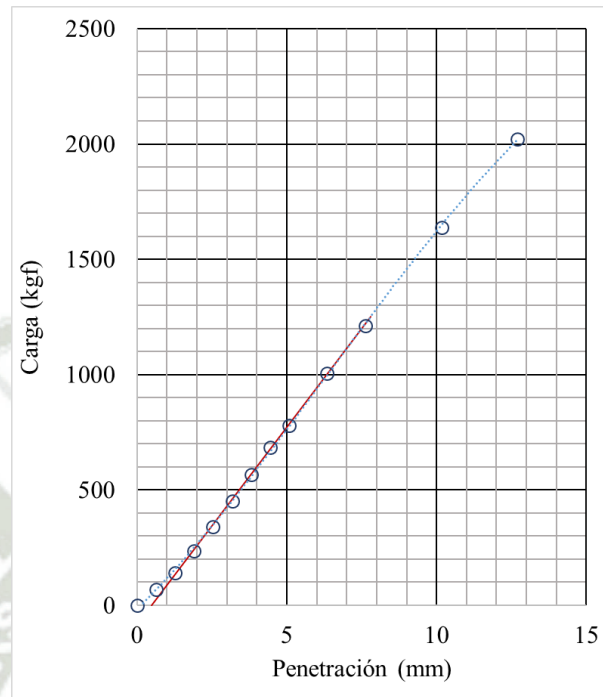
CBR A 0.1"	1%	41
CBR A 0.2"	1%	45

Tabla 119

Determinación de CBR 12g/c muestra n19.

I. Compactación y determinación de la densidad Húmeda								
Muestra							M-19	
Nro. de Capas	1						5	
Nro. de Golpes	1						12	
							No Saturada	Saturada
Volumen del molde:	(1cm ³)						2121	-
Peso del molde	(1g)						4970	-
Peso del suelo compactado + molde	(1g)						9567	-
Peso del suelo compactado	(1g)						4598	-
Densidad húmeda	(0.01g/cm ³)						2.17	-
II. Determinación de la humedad y Densidad Seca								
							No Saturada	Saturada
Peso del recipiente	(0.1g)						127.4	-
Peso del suelo húmedo + recipiente	(0.1g)						668.9	-
Peso del suelo seco + recipiente	(0.1g)						617.2	-
Peso del agua	(0.1g)						51.7	-
Peso del suelo seco	(0.1g)						489.8	-
Contenido de humedad	0.1%						10.6	-
Densidad seca	(0.01g/cm ³)						1.96	-
Peso Unitario Seco	(0.1kN/m ³)						19.23	-
III. Determinación de la Expansión								
NO HAY EXPANSIÓN								
IV. Penetración								
Penetración		Velocidad de ensayo	Tiempo de carga	Carga Estándar	Molde Nro. Carga	1 Corrección		
in	mm	mm/min	min	kgf/cm ²	Dial(div)	kgf	kgf	%
0	0	1.27	0.0		-	0.0		
0.025	0.64	1.27	0.5		13	67.3		
0.05	1.27	1.27	1.0		30	140.3		
0.075	1.91	1.27	1.5		53	235.7		
0.1	2.54	1.27	2.0	70.31	78	341.2	430.5	31.2
0.125	3.18	1.27	2.5		104	451.7		
0.15	3.81	1.27	3.0		131	565.7		
0.175	4.45	1.27	3.5		159	683.9		
0.2	5.08	1.27	4.0	105.46	182	780.9	863.4	41.7
0.25	6.35	1.27	5.0		235	1006.3		
0.3	7.62	1.27	6.0		284	1213.1		
0.4	10.16	1.27	8.0		385	1637.6		
0.5	12.7	1.27	10		476	2021.0		

V. Gráfico



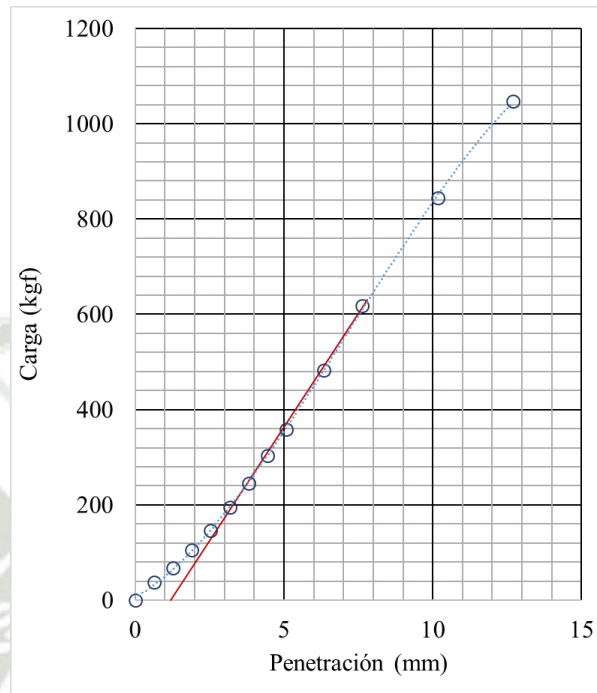
CBR A 0.1"	1%	31
CBR A 0.2"	1%	42

Tabla 120

Determinación de CBR 12g/c muestra n20.

I. Compactación y determinación de la densidad Húmeda								
Muestra							M-20	
Nro. de Capas	1						5	
Nro. de Golpes	1						12	
							No Saturada	Saturada
Volumen del molde:	(1cm ³)						2121	-
Peso del molde	(1g)						4970	-
Peso del suelo compactado + molde	(1g)						9579	-
Peso del suelo compactado	(1g)						4610	-
Densidad húmeda	(0.01g/cm ³)						2.17	-
II. Determinación de la humedad y Densidad Seca								
							No Saturada	Saturada
Peso del recipiente	(0.1g)						115.5	-
Peso del suelo húmedo + recipiente	(0.1g)						648.1	-
Peso del suelo seco + recipiente	(0.1g)						594.4	-
Peso del agua	(0.1g)						53.7	-
Peso del suelo seco	(0.1g)						478.8	-
Contenido de humedad	0.1%						11.2	-
Densidad seca	(0.01g/cm ³)						1.95	-
Peso Unitario Seco	(0.1kN/m ³)						19.17	-
III. Determinación de la Expansión								
NO HAY EXPANSIÓN								
IV. Penetración								
Penetración		Velocidad de ensayo	Tiempo de carga	Carga Estándar	Molde Nro. Carga	1 Corrección		
in	mm	mm/min	min	kgf/cm ²	Dial(div)	kgf	kgf	%
0	0	1.27	0.0		-	0.0		
0.025	0.64	1.27	0.5		6	38.2		
0.05	1.27	1.27	1.0		13	67.7		
0.075	1.91	1.27	1.5		22	104.8		
0.1	2.54	1.27	2.0	70.31	32	146.6	242.2	17.5
0.125	3.18	1.27	2.5		43	194.3		
0.15	3.81	1.27	3.0		55	245.0		
0.175	4.45	1.27	3.5		69	304.0		
0.2	5.08	1.27	4.0	105.46	82	358.9	476.8	23.0
0.25	6.35	1.27	5.0		111	482.1		
0.3	7.62	1.27	6.0		144	618.4		
0.4	10.16	1.27	8.0		197	844.2		
0.5	12.7	1.27	10		245	1046.8		

V. Gráfico



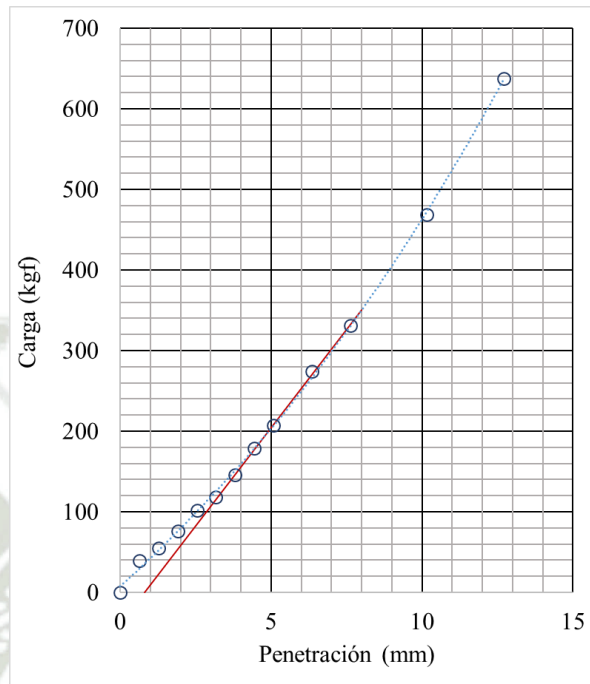
CBR A 0.1"	1%	18
CBR A 0.2"	1%	23

Tabla 121

Determinación de CBR 12g/c muestra n21.

I. Compactación y determinación de la densidad Húmeda									
Muestra								M-21	
Nro. de Capas	1							5	
Nro. de Golpes	1							12	
							No Saturada	Saturada	
Volumen del molde:	(1cm ³)							2121	-
Peso del molde	(1g)							4970	-
Peso del suelo compactado + molde	(1g)							9595	-
Peso del suelo compactado	(1g)							4625	-
Densidad húmeda	(0.01g/cm ³)							2.18	-
II. Determinación de la humedad y Densidad Seca									
							No Saturada	Saturada	
Peso del recipiente	(0.1g)							145.9	-
Peso del suelo húmedo + recipiente	(0.1g)							678.6	-
Peso del suelo seco + recipiente	(0.1g)							620.3	-
Peso del agua	(0.1g)							58.2	-
Peso del suelo seco	(0.1g)							474.4	-
Contenido de humedad	0.1%							12.3	-
Densidad seca	(0.01g/cm ³)							1.94	-
Peso Unitario Seco	(0.1kN/m ³)							19.05	-
III. Determinación de la Expansión									
NO HAY EXPANSIÓN									
IV. Penetración									
Penetración		Velocidad de ensayo	Tiempo de carga	Carga Estándar	Molde Nro. Carga	1 Corrección			
in	mm	mm/min	min	kgf/cm ²	Dial(div)	kgf	kgf	%	
0	0	1.27	0.0		-	0.0			
0.025	0.64	1.27	0.5		6	39.4			
0.05	1.27	1.27	1.0		10	55.0			
0.075	1.91	1.27	1.5		15	76.1			
0.1	2.54	1.27	2.0	70.31	21	101.5	132.1	9.6	
0.125	3.18	1.27	2.5		25	118.3			
0.15	3.81	1.27	3.0		32	145.8			
0.175	4.45	1.27	3.5		39	178.7			
0.2	5.08	1.27	4.0	105.46	46	207.0	243.9	11.8	
0.25	6.35	1.27	5.0		62	274.5			
0.3	7.62	1.27	6.0		75	331.0			
0.4	10.16	1.27	8.0		108	468.6			
0.5	12.7	1.27	10		148	637.4			

V. Gráfico



CBR A 0.1"	1%	10
CBR A 0.2"	1%	12



ANEXO C:

Conteo de vehículos para el diseño de pavimento urbano

Figura 117

Estudio de tránsito día 1.

ESTUDIO DE TRÁFICO

TRAMO DE LA CARRETERA		Via al centro poblado de Canacota											DIA Y FECHA								
UBICACIÓN		Distrito de Chivay, Provincia de Caylloma de Arequipa.											05	11	23						
HORA	SENTIDO	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			BUS		CAMION			SEMI TRAYLER			TRAYLER						
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi	MICRO	2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
	DIAGRA. VEHICULAR																				
00-01	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00-01	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01-02	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01-02	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02-03	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02-03	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03-04	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03-04	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04-05	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04-05	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05-06	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05-06	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06-07	E	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06-07	S	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07-08	E	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07-08	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08-09	E	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08-09	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09-10	E	1	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09-10	S	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-11	E	3	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-11	S	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11-12	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11-12	S	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12-13	E	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12-13	S	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13-14	E	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13-14	S	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14-15	E	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14-15	S	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15-16	E	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15-16	S	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16-17	E	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16-17	S	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17-18	E	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17-18	S	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18-19	E	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18-19	S	2	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19-20	E	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19-20	S	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20-21	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20-21	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21-22	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21-22	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22-23	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22-23	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23-24	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23-24	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PARCIAL:	Entrada	14	7	2	7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Salida	16	8	3	7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ambos	30	15	5	14	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 118

Estudio de tránsito día 2.

ESTUDIO DE TRÁFICO

TRAMO DE LA CARRETERA		Via al centro poblado de Canacota																DÍA Y FECHA		06	11	23
UBICACIÓN		Distrito de Chivay, Provincia de Caylloma de Arequipa.																				
HORA	SENTIDO	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER			TRAYLER						
DIAGRAMA VEHICULAR				PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
00-01	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
00-01	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
01-02	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
01-02	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
02-03	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
02-03	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
03-04	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
03-04	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
04-05	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
04-05	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
05-06	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
05-06	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
06-07	E	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
06-07	S	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
07-08	E	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
07-08	S	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
08-09	E	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
08-09	S	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
09-10	E	1	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
09-10	S	0	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
10-11	E	3	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
10-11	S	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
11-12	E	2	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
11-12	S	2	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
12-13	E	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
12-13	S	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
13-14	E	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
13-14	S	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
14-15	E	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
14-15	S	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
15-16	E	3	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
15-16	S	2	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
16-17	E	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
16-17	S	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
17-18	E	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
17-18	S	2	1	1	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
18-19	E	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
18-19	S	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
19-20	E	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
19-20	S	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
20-21	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
20-21	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
21-22	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
21-22	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
22-23	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
22-23	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
23-24	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
23-24	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
PARCIAL:	Entrada	17	8	4	7	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Salida	15	6	4	8	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Ambos	32	14	8	15	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Figura 119

Estudio de tránsito día 3.

ESTUDIO DE TRÁFICO

TRAMO DE LA CARRETERA		Vía al centro poblado de Canacota											DÍA Y FECHA		07		11		23	
UBICACIÓN		Distrito de Chivay, Provincia de Caylloma de Arequipa.																		
HORA	SENTIDO	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER			
DIAGRAMA VEHICULAR				PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3
00-01	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00-01	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01-02	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01-02	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02-03	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02-03	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03-04	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03-04	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04-05	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04-05	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05-06	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05-06	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06-07	E	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06-07	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07-08	E	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07-08	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08-09	E	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08-09	S	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09-10	E	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09-10	S	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-11	E	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-11	S	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11-12	E	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11-12	S	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12-13	E	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12-13	S	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13-14	E	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13-14	S	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14-15	E	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14-15	S	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15-16	E	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15-16	S	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16-17	E	2	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16-17	S	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17-18	E	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17-18	S	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18-19	E	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18-19	S	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19-20	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19-20	S	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20-21	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20-21	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21-22	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21-22	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22-23	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22-23	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23-24	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23-24	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PARCIAL:	Entrada	15	5	5	4	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Salida	14	4	6	4	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ambos	29	9	11	8	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 120

Estudio de tránsito día 4.

ESTUDIO DE TRÁFICO

TRAMO DE LA CARRETERA		Vía al centro poblado de Canacota														DÍA Y FECHA		08	11	23
UBICACIÓN		Distrito de Chivay, Provincia de Caylloma de Arequipa.																		
HORA	SENTIDO	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER			TRAYLER				
DIAGRAMA VEHICULAR																				
00-01	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00-01	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01-02	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01-02	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02-03	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02-03	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03-04	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03-04	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04-05	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04-05	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05-06	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05-06	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06-07	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06-07	S	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07-08	E	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07-08	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08-09	E	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08-09	S	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09-10	E	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09-10	S	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-11	E	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-11	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11-12	E	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11-12	S	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12-13	E	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12-13	S	2	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13-14	E	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13-14	S	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14-15	E	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14-15	S	1	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15-16	E	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15-16	S	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16-17	E	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16-17	S	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17-18	E	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17-18	S	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18-19	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18-19	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19-20	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19-20	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20-21	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20-21	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21-22	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21-22	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22-23	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22-23	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23-24	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23-24	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PARCIAL:	Entrada	12	5	3	3	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Salida	14	4	3	3	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ambos	26	9	6	6	8	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 121

Estudio de tránsito día 5.

ESTUDIO DE TRÁFICO

TRAMO DE LA CARRETERA		Vía al centro poblado de Canacota											DÍA Y FECHA		09	11	23			
UBICACIÓN		Distrito de Chivay, Provincia de Caylloma de Arequipa.																		
HORA	SENTIDO	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER			TRAYLER				
DIAGRAMA VEHICULAR				PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3
00-01	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01-02	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02-03	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03-04	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04-05	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05-06	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06-07	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07-08	E	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08-09	E	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09-10	E	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-11	E	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11-12	E	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12-13	E	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13-14	E	3	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14-15	E	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15-16	E	1	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	3	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16-17	E	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17-18	E	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18-19	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19-20	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20-21	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21-22	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22-23	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23-24	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PARCIAL:	Entrada	14	6	5	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Salida	15	5	5	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ambos	29	11	10	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 122

Estudio de tránsito día 6.

ESTUDIO DE TRÁFICO

TRAMO DE LA CARRETERA		Vía al centro poblado de Canacota														DÍA Y FECHA		10	11	23
UBICACIÓN		Distrito de Chivay, Provincia de Caylloma de Arequipa.																		
HORA	SENTIDO	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER			TRAYLER				
DIAGRAMA VEHICULAR																>= 3S3 icon"/>				>= 3T3 icon"/>
00-01	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00-01	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01-02	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01-02	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02-03	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02-03	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03-04	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03-04	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04-05	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04-05	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05-06	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05-06	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06-07	E	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06-07	S	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07-08	E	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07-08	S	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08-09	E	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08-09	S	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09-10	E	3	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09-10	S	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-11	E	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-11	S	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11-12	E	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11-12	S	1	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12-13	E	0	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12-13	S	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13-14	E	3	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13-14	S	2	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14-15	E	1	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14-15	S	4	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15-16	E	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15-16	S	2	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16-17	E	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16-17	S	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17-18	E	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17-18	S	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18-19	E	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18-19	S	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19-20	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19-20	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20-21	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20-21	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21-22	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21-22	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22-23	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22-23	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23-24	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23-24	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PARCIAL:	Entrada	15	9	5	3	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Salida	16	8	5	3	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ambos	31	17	10	6	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 123

Estudio de tránsito día 7.

ESTUDIO DE TRÁFICO

TRAMO DE LA CARRETERA		Via al centro poblado de Canacota															DÍA Y FECHA			
UBICACIÓN		Distrito de Chivay, Provincia de Caylloma de Arequipa.															11	11	23	
HORA	SENTIDO	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER			TRAYLER				
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3
	DIAGRAMA VEHICULAR																			
00-01	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01-02	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02-03	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03-04	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04-05	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05-06	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06-07	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07-08	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08-09	E	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09-10	E	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-11	E	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11-12	E	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	1	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12-13	E	2	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	2	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13-14	E	2	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14-15	E	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15-16	E	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16-17	E	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17-18	E	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18-19	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19-20	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20-21	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21-22	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22-23	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23-24	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PARCIAL:	Entrada	15	4	3	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Salida	18	5	5	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ambos	33	9	8	7	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ANEXO D:

Desagregado de metrados para los elementos de la vía



Tabla 122

Metrado detallado, metodología tradicional.

MOVIMIENTO DE TIERRAS

Descripción	Und	Cantidad	Dimensión			Volumen m3	Parcial	Total
			Largo	Ancho	Alto			
01.01								41473.66
01.01.01	m3	1	-	-	-	32970.71	32970.71	
01.01.02	m3	1	-	-	-	8502.95	8502.95	

Descripción	Und	Cantidad	Dimensión			Volumen m3	Factor de esponj.	Parcial	Total
			Largo	Ancho	Alto				
01.02									29361.312
01.02.01	m3	1	-	-	-	32970.71			
01.02.02	m3	1	-	-	-	8502.95			

Descripción	Und	Cantidad	Dimensión			Volumen m3	Factor de esponj.	Parcial	Total
			Largo	Ancho	Alto				
01.03									29361.312
01.03.01	m3	1	-	-	-	32970.71			
01.03.02	m3	1	-	-	-	8502.95			

Descripción	Und	Cantidad	Dimensión			Volumen m3	Parcial	Total
			Largo	Ancho	Alto			
01.04	m2	1	2500	5.3	-	13250	13250	13250

PAVIMENTO

Descripción	Und	Cantidad	Dimensión			Volumen m3	Parcial	Total
			Largo	Ancho	Alto			
02.01	m3	1	2500	5.3	0.25	3312.5	3312.5	3312.5

CARPETA ASFALTICA

Descripción	Und	Cantidad	Dimensión			Volumen m3	Parcial	Total
			Largo	Ancho	Alto			
02.03.01	m3	1	2500	5.3	-	13250	13250	13250

Descripción	Und	Cantidad	Dimensión			Volumen m3	Parcial	Total
			Largo	Ancho	Alto			
02.03.01	m3	1	2500	5.3	0.05	662.5	662.5	662.5

Tabla 123

Metrado detallado, metodología BIM/RAMCODES.

MOVIMIENTO DE TIERRAS

Descripción	Und	Cantidad	Dimensión			Volumen m3	Parcial	Total
			Largo	Ancho	Alto			
01.01	Excavación a nivel de subrasante	m3						40910.5
01.01.01	Corte de terreno natural	m3	1	-	-	-	32115.10	32115.10
01.01.02	Relleno de terreno natural	m3	1	-	-	-	8795.40	8795.40

Descripción	Und	Cantidad	Dimensión			Volumen m3	Factor de esponj.	Parcial	Total
			Largo	Ancho	Alto				
01.02	Carguío de material excedente de la excavación	m3				23319.7	1.2	27983.64	27983.64
01.02.01	Corte de terreno natural	m3	1	-	-	-	32115.10		
01.02.02	Relleno de terreno natural	m3	1	-	-	-	8795.40		

Descripción	Und	Cantidad	Dimensión			Volumen m3	Factor de esponj.	Parcial	Total
			Largo	Ancho	Alto				
01.03	Eliminación de material excedente de la excavación	m3				23319.7	1.2	27983.64	27983.64
01.03.01	Corte de terreno natural	m3	1	-	-	-	32115.10		
01.03.02	Relleno de terreno natural	m3	1	-	-	-	8795.40		

Descripción	Und	Cantidad	Dimensión			Volumen m3	Parcial	Total	
			Largo	Ancho	Alto				
01.04	Perfilado y compactado de la subrasante	m2	1	2500	5.3	-	13250	13250	13250

PAVIMENTO

Descripción	Und	Cantidad	Dimensión			Volumen m3	Parcial	Total	
			Largo	Ancho	Alto				
02.01	Base Granular	m3	1	2500	5.3	0.20	2650	2650	2650

CARPETA ASFALTICA

Descripción	Und	Cantidad	Dimensión			Volumen m3	Parcial	Total	
			Largo	Ancho	Alto				
02.03.01	Imprimación asfáltica	m3	1	2500	5.3	-	13250	13250	13250

Descripción	Und	Cantidad	Dimensión			Volumen m3	Parcial	Total	
			Largo	Ancho	Alto				
02.03.01	Pavimento de concreto asfáltico en caliente	m3	1	2500	5.3	0.05	662.5	662.5	662.5

ANEXO E:

Análisis de Precios Unitarios para la vía de estudio



Tabla 124

Análisis de Precios Unitarios, metodología tradicional.

MOVIMIENTO DE TIERRAS

Partida	01.01	Excavación a nivel de la subrasante					
Rendimiento: m3/día	MO	570	EQ	570	Precio unitario directo	m3	5.04
Descripción del Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad		Precio	Parcial	
<u>Mano de obra</u>							
Capataz	hh	0.20	0.00281		32.2	0.09	
Controlador	hh	0.20	0.00281		19.58	0.05	
Peón	hh	2.00	0.02807		17.67	0.50	
<u>Equipos</u>							
Herramientas manuales	%MO		5%		0.64	0.03	
Tractor sobre orugas	hm	1.00	0.01404		310.8	4.36	
Partida	01.02	Carguío de material excedente procedente de la excavación					
Rendimiento m3/día	MO	840	EQ	840	Precio unitario directo	m3	2.28
Descripción del Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad		Precio	Parcial	
<u>Mano de obra</u>							
Controlador	hh	0.50	0.00476		19.58	0.09	
<u>Equipos</u>							
Cargador Frontal 200-250 HP	hm	1.00	0.00952		229.1	2.18	
Partida	01.03	Eliminación de material procedente de la excavación					
Rendimiento m3/día	MO	195	EQ	195	Precio unitario directo	m3	6.12
Descripción del Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad		Precio	Parcial	
<u>Mano de obra</u>							
Controlador	hh	0.20	0.00821		19.58	0.16	
<u>Equipos</u>							
Herramientas manuales	%MO		5%		0.16	0.01	
Camión Volquete 15m3	hm	1.00	0.04103		145	5.95	
Partida	01.04	Perfilado y compactación de la subrasante*					

Rendimiento	m3/día	MO	2860	EQ	2860	Precio unitario directo	m3	3.65
Descripción del Recurso	Unidad	Cuadrilla		Cantidad		Precio		Parcial
Mano de obra								
Capataz	hh	1.00		0.00280		32.20		0.09
Peón	hh	4.00		0.01119		17.67		0.20
Materiales								
Agua puesta en obra	m3			0.10420		22.79		2.37
Equipos								
Herramientas manuales	%MO			5%		0.29		0.01
Motoniveladora 125HP	hm	1.00		0.00280		200.88		0.56
Rodillo Liso Vibratorio	hm	1.00		0.00280		146.08		0.41

PAVIMENTO FLEXIBLE

Partida	02.01	Base Granular						
Rendimiento	m3/día	MO	371	EQ	371	Precio unitario directo	m3	70.68
Descripción del Recurso	Unidad	Cuadrilla		Cantidad		Precio		Parcial
Mano de obra								
Capataz	hh	1.00		0.0216		32.20		0.69
Controlador	hh	1.00		0.0216		19.58		0.42
Peón	hh	6.00		0.1294		17.67		2.29
Materiales								
Agua puesta en obra	m3			0.1480		22.79		3.37
Material base	m3			1.2500		45.00		56.25
Equipos								
Herramientas manuales	%MO			5%		3.40		0.17
Motoniveladora 125HP	hm	1.00		0.0216		200.88		4.33
Rodillo Liso Vibratorio	hm	1.00		0.0216		146.08		3.15

Partida	02.02.01	Imprimación Asfáltica						
Rendimiento	m3/día	MO	4500	EQ	4500	Precio unitario directo	m3	3.26
Descripción del Recurso	Unidad	Cuadrilla		Cantidad		Precio		Parcial
Mano de obra								
Capataz	hh	1.00		0.0018		32.20		0.06
Controlador	hh	1.00		0.0018		19.58		0.03
Peón	hh	6.00		0.0107		17.67		0.19
Materiales								

Asfalto Liquido MC-30	1		1.5000		1.50	2.25
Equipos						
Herramientas manuales	%MO		5%		0.28	0.01
Compresora Neumática 87HP	hm	1.00	0.0018		115.91	0.21
Mini cargador 70HP	hm	1.00	0.0018		102.81	0.18
Camión Imprimador 210 HP	hm	1.00	0.0018		181.55	0.32

Partida	02.02.02	Pavimento de concreto asfaltico en caliente				
---------	----------	---	--	--	--	--

Rendimiento	m3/día	MO	246	EQ	246	Precio unitario directo	m3	1129.91
Descripción del Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad			Precio	Parcial	
Mano de obra								
Capataz	hh	1.00	0.0325			32.20	1.05	
Operario	hh	1.00	0.0325			24.77	0.81	
Peón	hh	6.00	0.1951			17.67	3.45	
Materiales								
Mezcla Asfáltica en caliente	m3		1.3000			850.00	1105.00	
Equipos								
Herramientas manuales	%MO		5%			5.30	0.27	
Pavimentadora sb llantas HP 10-16	hm	1.00	0.0325			182.06	5.92	
Rodillo Neumático Autopulsado	hm	1.00	0.0325			166.14	5.40	
Rodillo Tándem Vib. Autopulsador 111-130HP	hm	1.00	0.0325			246.71	8.02	

Tabla 125

Análisis de Precios Unitarios, metodología BIM/RAMCODES.

MOVIMIENTO DE TIERRAS

Partida	01.01	Excavación a nivel de la subrasante				
---------	-------	-------------------------------------	--	--	--	--

Rendimiento:	m3/día	MO	570	EQ	570	Precio unitario directo	m3	5.04
Descripción del Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad			Precio	Parcial	
Mano de obra								
Capataz	hh	0.20	0.00281			32.2	0.09	
Controlador	hh	0.20	0.00281			19.58	0.05	
Peón	hh	2.00	0.02807			17.67	0.50	

Equipos						
Herramientas manuales	%MO		5%		0.64	0.03
Tractor sobre orugas	hm	1.00	0.01404		310.8	4.36

Partida	01.02	Carguío de material excedente procedente de la excavación				
---------	-------	---	--	--	--	--

Rendimiento	m3/día	MO	840	EQ	840	Precio unitario directo	m3	2.28
Descripción del Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad		Precio	Parcial		
Mano de obra								
Controlador	hh	0.50	0.00476		19.58	0.09		
Equipos								
Cargador Frontal 200-250 HP	hm	1.00	0.00952		229.1	2.18		

Partida	01.03	Eliminación de material procedente de la excavación				
---------	-------	---	--	--	--	--

Rendimiento	m3/día	MO	195	EQ	195	Precio unitario directo	m3	6.12
Descripción del Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad		Precio	Parcial		
Mano de obra								
Controlador	hh	0.20	0.00821		19.58	0.16		
Equipos								
Herramientas manuales	%MO		5%		0.16	0.01		
Camión Volquete 15m3	hm	1.00	0.04103		145	5.95		

Partida	01.04	Perfilado y compactación de la subrasante*				
---------	-------	--	--	--	--	--

Rendimiento	m3/día	MO	2860	EQ	2860	Precio unitario directo	m3	3.92
Descripción del Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad		Precio	Parcial		
Mano de obra								
Capataz	hh	1.00	0.00280		32.20	0.09		
Peón	hh	4.00	0.01119		17.67	0.20		
Materiales								
Agua puesta en obra	m3		0.10420		22.79	2.37		
Equipos								
Herramientas manuales	%MO		5%		0.29	0.01		
Motoniveladora 125HP	hm	1.00	0.00280		249.24	0.70		
Rodillo Liso Vibratorio	hm	1.00	0.00280		194.044	0.54		

PAVIMENTO FLEXIBLE

Partida	02.01	Base Granular				
---------	-------	---------------	--	--	--	--

Rendimiento	m3/día	MO	371	EQ	371	Precio unitario directo	m3	70.68
Descripción del Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad			Precio	Parcial	
<u>Mano de obra</u>								
Capataz	hh	1.00	0.0216			32.20	0.69	
Controlador	hh	1.00	0.0216			19.58	0.42	
Peón	hh	6.00	0.1294			17.67	2.29	
<u>Materiales</u>								
Agua puesta en obra	m3		0.1480			22.79	3.37	
Material base	m3		1.2500			45.00	56.25	
<u>Equipos</u>								
Herramientas manuales	%MO		5%			3.40	0.17	
Motoniveladora 125HP	hm	1.00	0.0216			200.88	4.33	
Rodillo Liso Vibratorio	hm	1.00	0.0216			146.08	3.15	

Partida	02.02.01	Imprimación Asfáltica				
---------	----------	-----------------------	--	--	--	--

Rendimiento	m3/día	MO	4500	EQ	4500	Precio unitario directo	m3	3.26
Descripción del Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad			Precio	Parcial	
<u>Mano de obra</u>								
Capataz	hh	1.00	0.0018			32.20	0.06	
Controlador	hh	1.00	0.0018			19.58	0.03	
Peón	hh	6.00	0.0107			17.67	0.19	
<u>Materiales</u>								
Asfalto Liquido MC-30	l		1.5000			1.50	2.25	
<u>Equipos</u>								
Herramientas manuales	%MO		5%			0.28	0.01	
Compresora Neumática 87HP	hm	1.00	0.0018			115.91	0.21	
Mini cargador 70HP	hm	1.00	0.0018			102.81	0.18	
Camión Imprimador 210 HP	hm	1.00	0.0018			181.55	0.32	

Partida	02.02.02	Pavimento de concreto asfáltico en caliente				
---------	----------	---	--	--	--	--

Rendimiento	m3/día	MO	246	EQ	246	Precio unitario directo	m3	1129.91
Descripción del Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad			Precio	Parcial	
<u>Mano de obra</u>								
Capataz	hh	1.00	0.0325			32.20	1.05	

Operario	hh	1.00	0.0325	24.77	0.81
Peón	hh	6.00	0.1951	17.67	3.45
Materiales					
Mezcla Asfáltica en caliente	m3		1.3000	850.00	1105.00
Equipos					
Herramientas manuales	%MO		5%	5.30	0.27
Pavimentadora sb llantas HP 10-16	hm	1.00	0.0325	182.06	5.92
Rodillo Neumático Autopropulsado	hm	1.00	0.0325	166.14	5.40
Rodillo Tándem Vib. Autopropulsador 111-130HP	hm	1.00	0.0325	246.71	8.02

* Anteriormente se escogió 96.5% de compactación con la metodología RAMCODES, esto tiene una implicancia económica y el autor proporciona una relación del ahorro económico por día por máquina para un porcentaje de compactación.

Figura 124

Relación económica de la maquinaria por % de compactación.



*año de 250 días. 1 máquina US\$ 1000/día de 8 horas

Nota. De: Sánchez (2009).

De la Figura 105, se observa que para una diferencia de 2.5% de compactación se tiene 170US\$/día/maquina, ya que se tiene una jornada laboral de 8 horas al día y una diferencia de compactación de 1.5% se tendría 12.75US\$/hora/maquina (48.36 s/. /hora/maquina), lo cual en vez de ahorro se aumentaría a la hora maquina ya definida tradicionalmente.

ANEXO F:

Constancia de realización de ensayos





Universidad Católica
de Santa María

(51 54) 382038 <http://www.ucsm.edu.pe> [facebook.com/ucsm.edu.pe](https://www.facebook.com/ucsm.edu.pe)

CONSTANCIA

ID-009500

El que suscribe, **Mgter. Ing. ENRIQUE ALFONSO UGARTE CALDERON**, Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa.

HACE CONSTAR

Que la(s) Señorita(s) Bachiller(es) en Ingeniería Civil:

IORELLA ESTEPHANY MEJIA CCARITA

(DNI - 72224512)

Ha realizado los ensayos en los Laboratorios de Ingeniería Civil, correspondientes a su trabajo de tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con la tesis denominada:

“INFLUENCIA DE LA METODOLOGÍA RAMCODES EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN CARRETERAS URBANO-RURALES BAJO UN ENFOQUE BIM – CASO DE ESTUDIO: CARRETERA CHIVAY – CANACOTA” Los ensayos efectuados en el laboratorio se detallan en el Anexo 1 del presente, se llevaron a cabo entre el 31/07/2023 y el 15/11/2023.

El total resultante según el tarifario 2023 como DERECHO USO LABORATORIO POR TESIS, se categoriza con descuento en la **opción “3”**, de acuerdo a la autorización de la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil se dispone:

USO DE EQUIPOS TESIS		TOTAL A PAGAR POR TESIS S/	COMPROBANTE DE PAGO
TOTAL RESULTANTE S/	OPCION “3” SE COBRA DEL TOTAL RESULTANTE		
2380,00	35%	833,00	B017-00003037

Se expide la presente constancia para los fines convenientes.

Arequipa, 20 de noviembre de 2023.




Mgter. Enrique Alfonso Ugarte Calderón
Director (e) de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil
Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente
Urb. San José s/n Umaccollo, Arequipa - Perú
www.ucsm.edu.pe



ANEXO 1

ITEM	ENSAYO	CANT.	C.U. al 25% S/	PARCIAL S/
ENSAYOS EN AGREGADOS				
1	Abrasión Los Ángeles (L.A.) al Desgaste de los Agregados de Tamaños Mayores a 3/4"	1,00	33,00	33,00
2	Caras Facturadas	1,00	30,00	30,00
3	Durabilidad al Sulfato de Magnesio en Agregado Grueso	2,00	88,00	176,00
4	Partículas Chatas y Alargadas	1,00	20,00	20,00
5	Peso Específico y Absorción de Agregado Grueso	4,00	12,00	48,00
6	Valor Equivalente de Arena en Agregado Fino	1,00	30,00	30,00
ENSAYOS ESTÁNDAR DE SUELOS				
7	Análisis Granulométrico por Tamizado	4,00	15,00	60,00
8	CBR sin Proctor	27,00	65,00	1755,00
9	Gravedad Específica de Sólidos de Suelo Mediante el Picnómetro de Agua	3,00	12,00	36,00
10	Límite Líquido	4,00	9,00	36,00
11	Límite Plástico e Índice de Plasticidad	4,00	9,00	36,00
12	Proctor Modificado	3,00	40,00	120,00
			TOTAL	2380,00

