

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

“Rediseño del pavimento flexible y condición funcional del tramo Puente Huancachupa km 167+000 hasta Vichaycoto km 173+000, Ruta nacional PE-3N, Huánuco-2025”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR: Melgar Solórzano, Vicente Mariano

ASESOR: Suarez Landauro, Reynaldo Favio

HUÁNUCO – PERÚ

2026

U

D

H

**TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:**

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional ()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Transporte**AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** (2020)**CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:****Área:** Ingeniería, Tecnología**Sub área:** Ingeniería civil**Disciplina:** Ingeniería del transporte**DATOS DEL PROGRAMA:****Nombre del Grado/Título a recibir:** Título Profesional de Ingeniero(a) Civil**Código del Programa:** P07**Tipo de Financiamiento:**

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 72882315

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 22498065

Grado/Título: Maestro en gestión pública

Código ORCID: 0000-0002- 4641-3797

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Torres Ponce, Carlos Antonio	Magister en Gestión Publica	22407564	0000-0001-9026-0647
2	Jara Trujillo, Alberto Carlos	Maestro en ingeniería, con mención en gestión ambiental y desarrollo sostenible	41891649	0000-0001-8392-1769
3	Zacarias Ventura, Héctor Raúl	Doctor en Ciencias de la Educación	22515329	0000-0002-7210-5675

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO(A) CIVIL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 11:00 horas del día jueves 09 de julio de 2026, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los Jurados Calificadores integrado por los docentes:

❖ DR. CARLOS ANTONIO TORRES PONCE	PRESIDENTE
❖ MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO	SECRETARIO
❖ DR. HECTOR RAUL ZACARIAS VENTURA	VOCAL

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN N° 1214-2026-D-FI-UDH para evaluar la Tesis intitulada: "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000 HASTA VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUÁNUCO-2025", presentado por el (la) Bachiller. Bach: Vicente Mariano MELGAR SOLORZANO, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) APROBADO por UNANIMIDAD con el calificativo cuantitativo de 15 y cualitativo de BUENO (Art. 47).

Siendo las 12:00 horas del día 09 del mes de julio del año 2026, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.


DR. CARLOS ANTONIO TORRES PONCE
DNI: 22407564
ORCID: 0000-0001-9026-0647
PRESIDENTE


MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO
DNI: 41891649
ORCID: 0000-0001-8392-1769
SECRETARIO (A)


DR. HECTOR RAUL ZACARIAS VENTURA
DNI: 22515329
ORCID: 0000-0002-7210-5675
VOCAL



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: **VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO**, de la investigación titulada **"Rediseño del pavimento flexible y condición funcional del tramo Puente Huancachupa km 167+000 hasta Vichaycoto km 173+000, Ruta nacional PE-3N, Huánuco-2025"**, con asesor(a): **REYNALDO FAVIO SUAREZ LANDAURO**, designado(a) mediante documento: **RESOLUCIÓN N° 1187-2025-D-FI-UDH** del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del **16 %** verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 18 de junio de 2026



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

Nota: La presente constancia tendrá una **vigencia de cuatro (4) meses**, conforme a lo establecido en la **Directiva del Software de Identificación de Similitud y Originalidad**, aprobada mediante **Resolución N° 532-2024-P-CD-UDH**.

Vencido dicho plazo, el solicitante deberá realizar nuevamente el procedimiento correspondiente para la emisión de una nueva constancia.

Válida hasta el 18 de octubre de 2026.

63. VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

3%

2

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

2%

3

repositorio.upt.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

1%

5

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

1%



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

Dedico mi investigación, en primer lugar, a Dios por regalarme un buen estado de salud, como la fuerza y la sabiduría necesaria para poder realizar el presente trabajo, en segundo lugar , a mi familia, conformado por mis padres, quienes me brindaron su apoyo, afecto y soporte para cumplir con la meta trazada y también quiero mencionar mis hermanas por darme el respaldo constante, los consejos y la motivación que fueron indispensables durante toda mi formación universitaria, también quiero dedicárselo a mis profesores por todas sus enseñanzas compartidas, su valores impartidos y su gran aporte para llegar a ser un gran profesional, y de manera muy especial a mi asesor por brindarme su tiempo, guiarme con sus conocimientos y experiencia a realizar mi tesis.

AGRADECIMIENTO

Inicialmente, agradezco a Dios por conducirme por el rumbo correcto hasta hoy en día y acompañarme en cada paso importante de mi vida. También quiero brindar mi agradecimiento a mis padres por sus consejos, su comprensión, su paciencia y por estar presente en todo momento conmigo, fueron vitales para lograr consolidar el presente trabajo, también quiero mencionar a mis hermanas quienes fueron mi soporte todo este tiempo, sin su apoyo no hubiese sido posible. Agradezco también a mi universidad y a todos los docentes que fueron parte de mi formación profesional, por brindarme sus enseñanzas de calidad y otorgar a mi persona las herramientas necesarias para poder ser un gran profesional. Y de manera muy especial y afectiva quiero dar las gracias a mi docente asesor, por regalarme su valioso tiempo, sus conocimientos precisos y su apoyo constante para culminar de manera óptima mi tesis.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN	XVI
ABSTRACT.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XVIII
CAPÍTULO I	20
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	20
1.1. DESCRIPCIÓN EL PROBLEMA.....	20
1.2. FORMUACIÓN DEL PROBLEMA	24
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	24
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	24
1.3. OBJETIVOS	25
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	25
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	25
1.4.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.....	25
1.4.2 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.....	26
1.4.3 JUSTIFICACION METODOLÓGICA	27
1.4.4 JUSTIFICACIÓN SOCIAL	28
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	28
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	29
CAPÍTULO II	31
MARCO TEÓRICO	31
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	31
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	31
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	33
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES.....	36

2.2. BASES TEÓRICAS	38
2.2.1 PAVIMENTOS	38
2.2.2 MÉTODO AASHTO 93	42
2.2.3 CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE.....	56
2.2.4 ESTUDIO DE TRÁFICO	57
2.2.5 ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI).....	58
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES	59
2.4. HIPÓTESIS	62
2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL	62
2.5. VARIABLES.....	62
2.5.1 VARIABLE DEPENDIENTE	62
2.5.2 VARIABLE INDEPENDIENTE	62
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	62
CAPÍTULO III	65
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	65
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	65
3.1.1 ENFOQUE.....	66
3.1.2 NIVEL	66
3.1.3 DISEÑO.....	67
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA	67
3.2.1. POBLACIÓN	67
3.2.2. MUESTRA.....	68
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS ...	72
3.3.1 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	72
3.3.2 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	73
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS	78
3.4.1 PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS	78
3.4.2 PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS	79
3.5. ASPECTOS ÉTICOS.....	80
CAPÍTULO IV.....	81
RESULTADOS.....	81
4.1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO	81

4.1.1 DETERMINACIÓN DE LA CONDICIÓN FUNCIONAL DEL PAVIMENTO	81
4.1.2 DETERMINACIÓN DEL ESTUDIO DE TRÁFICO	100
4.1.3 DETERMINACIÓN DEL ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	113
4.1.4. APLICACIÓN DEL MÉTODO AASHTO 93	181
4.2. ANÁLISIS INFERENCIAL	195
4.2.1. PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS	195
4.2.2. NIVEL DE SIGNIFICANCIA (α)	195
4.2.3. PRUEBA ESTADÍSTICA	196
4.2.4. CÁLCULO DEL P-VALOR	196
4.2.5. TOMA DE DECISIÓN	197
CAPÍTULO V	198
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	198
5.1 ANÁLISIS TÉCNICO - COMPARATIVO (DISCUSIÓN 01)	198
5.2 ANÁLISIS TÉCNICO - COMPARATIVO (DISCUSIÓN 02)	201
5.3 ANÁLISIS TÉCNICO - COMPARATIVO (DISCUSIÓN 03)	203
5.4 ANÁLISIS TÉCNICO - COMPARATIVO (DISCUSIÓN 04)	205
5.5 ANÁLISIS TÉCNICO - COMPARATIVO (DISCUSIÓN 05)	208
5.6 ANÁLISIS TÉCNICO - COMPARATIVO (DISCUSIÓN 06)	211
CONCLUSIONES	214
RECOMENDACIONES	219
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	222
ANEXOS	226

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Periodo de análisis y diseño	43
Tabla 2	Factores para carril de diseño.....	44
Tabla 3	Relación de carga por eje	46
Tabla 4	Niveles de confiabilidad conforme al tipo de vía	49
Tabla 5	Estimaciones de Desviación Estándar Normal	50
Tabla 6	Estimaciones sugeridas para la Desviación estándar	50
Tabla 7	Eficiencia de drenaje.....	52
Tabla 8	Estimaciones sugeridas para el Drenaje.....	52
Tabla 9	Operacionalización de Variables.....	63
Tabla 10	Porcentaje de Área Deteriorada.....	86
Tabla 11	Profundidad de Ahuellamiento	91
Tabla 12	Índice de Regularidad Internacional.....	99
Tabla 13	Índice Medio Diario Anual	104
Tabla 14	Tasa de crecimiento vehicular (TCV)	107
Tabla 15	Cálculo del ESAL proyectado	112
Tabla 16	ESAL de Diseño.....	113
Tabla 17	Contenido de humedad- Calicata 01.....	117
Tabla 18	Contenido de humedad- Calicata 02.....	118
Tabla 19	Contenido de humedad- Calicata 03.....	118
Tabla 20	Contenido de humedad- Calicata 04.....	119
Tabla 21	Contenido de humedad- Calicata 05.....	119
Tabla 22	Contenido de humedad- Calicata 06.....	120
Tabla 23	Análisis Granulométrico - Calicata 01	127
Tabla 24	Coeficiente de uniformidad y Grado de Curvatura - Calicata 01	128
Tabla 25	Análisis Granulométrico – Calicata 02	128
Tabla 26	Coeficiente de uniformidad y Grado de Curvatura- Calicata 02 .	129
Tabla 27	Análisis Granulométrico - Calicata 03	130
Tabla 28	Coeficiente de uniformidad y Grado de Curvatura- Calicata 03 .	131
Tabla 29	Análisis Granulométrico - Calicata 04	131
Tabla 30	Coeficiente de uniformidad y Grado de Curvatura- Calicata 04 .	132
Tabla 31	Análisis Granulométrico - Calicata 05	133

Tabla 32	Coeficiente de uniformidad y Grado de Curvatura- Calicata 05 .	134
Tabla 33	Análisis Granulométrico - Calicata 06	134
Tabla 34	Coeficiente de uniformidad y Grado de Curvatura- Calicata 06 .	135
Tabla 35	Ensayo Proctor Modificado- Calicata 01	157
Tabla 36	Ensayo CBR- Calicata 01	159
Tabla 37	Resultados del Ensayo CBR- Calicata 01.....	160
Tabla 38	Ensayo Proctor Modificado- Calicata 02	161
Tabla 39	Ensayo CBR- Calicata 02	163
Tabla 40	Resultados del Ensayo CBR- Calicata 02.....	164
Tabla 41	Ensayo Proctor Modificado- Calicata 03	165
Tabla 42	Ensayo CBR- Calicata 03	167
Tabla 43	Resultados del Ensayo CBR- Calicata 03.....	168
Tabla 44	Ensayo Proctor Modificado- Calicata 04	169
Tabla 45	Ensayo CBR- Calicata 04	171
Tabla 46	Resultados del Ensayo CBR- Calicata 04.....	172
Tabla 47	Ensayo Proctor Modificado- Calicata 05	173
Tabla 48	Ensayo CBR- Calicata 05	175
Tabla 49	Resultados del Ensayo CBR- Calicata 05.....	176
Tabla 50	Ensayo Proctor Modificado- Calicata 06	177
Tabla 51	Ensayo CBR - Calicata 06	179
Tabla 52	Resultados del Ensayo CBR- Calicata 06.....	180
Tabla 53	Parámetros de diseño del Método AASHTO 93.....	181
Tabla 54	Módulo de resiliencia de las capas del pavimento	183
Tabla 55	Números estructurales	189
Tabla 56	Coeficientes de Drenaje.....	191
Tabla 57	Espesores Estructurales	194
Tabla 58	Prueba T student	196

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Configuración del pavimento flexible	41
Figura 2 Índice de serviciabilidad del pavimento.....	42
Figura 3 Formato de registro vehicular	43
Figura 4 Configuración de ejes vehiculares	45
Figura 5 Equipos adaptados para obtener el número de golpes.....	48
Figura 6 Capas del Pavimento Flexible	54
Figura 7 Gráfico para encontrar el coeficiente estructural “a1”	55
Figura 8 Gráfico para encontrar el coeficiente estructural “a2”	55
Figura 9 Gráfico para encontrar el coeficiente estructural “a3”	56
Figura 10 Formato de conteo vehicular	73
Figura 11 Formato para ensayo de granulometría.....	74
Figura 12 Formato para ensayo de contenido de humedad	75
Figura 13 Formato para ensayo CBR	76
Figura 14 Formato para Índice de Regularidad Internacional (IRI)	77
Figura 15 Identificación de fallas del pavimento flexible en el tramo km 167+000 – km 169+000	82
Figura 16 Identificación de fallas del pavimento flexible en el tramo km 169+000 – km 171+000	83
Figura 17 Identificación de fallas del pavimento flexible en el tramo km 171+000 – km 173+000	83
Figura 18 Medición del área deteriorada del pavimento flexible en el tramo km 167+000 – km 169+000	84
Figura 19 Medición del área deteriorada del pavimento flexible en el tramo km 169+000 – km 171+000	84
Figura 20 Medición del área deteriorada del pavimento flexible en el tramo km 171+000 – km 173+000	85
Figura 21 Identificación del ahuellamiento del pavimento flexible en el tramo km 167+000 – km 169+000	88
Figura 22 Identificación del ahuellamiento del pavimento flexible en el tramo km 169+000 – km 171+000	88

Figura 23 Identificación del ahuellamiento del pavimento flexible en el tramo km 171+000 – km 173+000	89
Figura 24 Medición de la profundidad de ahuellamiento en el tramo km 167+000 – km 169+000	89
Figura 25 Medición de la profundidad de ahuellamiento en el tramo km 169+000 – km 171+000	90
Figura 26 Medición de la profundidad de ahuellamiento en el tramo km 171+000 – km 173+000	90
Figura 27 Calibración - Verificación de la separación entre apoyos en el rugosímetro Merlín	93
Figura 28 Ajuste del apoyo posterior del rugosímetro Merlín para control de altura	94
Figura 29 Verificación de la altura del apoyo delantero del rugosímetro Merlín	94
Figura 30 Ajuste del indicador del rugosímetro Merlín en la posición de referencia	95
Figura 31 Evaluación de la regularidad (IRI) en el carril izquierdo del tramo km 171+000 – km 173+000	95
Figura 32 Evaluación de la regularidad (IRI) en el carril derecho del tramo km 171+000 – km 173+000	96
Figura 33 Evaluación de la regularidad (IRI) en el carril izquierdo del tramo 169+000 a 171+000	96
Figura 34 Evaluación de la regularidad (IRI) en el carril derecho del tramo km 169+000 – km 171+000	97
Figura 35 Evaluación de la regularidad (IRI) en el carril izquierdo del tramo 167+000 a 169+000	97
Figura 36 Evaluación de la regularidad (IRI) en el carril derecho del tramo km 167+000 – km 169+000	98
Figura 37 Aforo vehicular en el Punto 01 ubicado en el tramo km 167+000 – km 169+000	101
Figura 38 Aforo vehicular en el Punto 02 ubicado en el tramo km 169+000 – km 171+000	102

Figura 39 Aforo vehicular en el Punto 01 ubicado en el tramo km 171+000 – km 173+000	102
Figura 40 Factor de corrección de acuerdo al peaje más cercano - Ambo	103
Figura 41 Índice Medio Diario Anual correspondiente al año 2022	106
Figura 42 Ejes equivalentes de vehículos ligeros para cálculo del ESAL .	108
Figura 43 Ejes equivalentes de vehículos pesados para cálculo del ESAL-01	109
Figura 44 Ejes equivalentes de vehículos pesados para cálculo del ESAL-02	110
Figura 45 Tasa anual de crecimiento de vehículos en la región de Huánuco	111
Figura 46 Fraccionamiento manual del material para la obtención de una muestra representativa	115
Figura 47 Determinación del peso de la muestra húmeda mediante balanza electrónica	115
Figura 48 Ingreso de la muestra húmeda en horno eléctrico para secado a 105 °C	116
Figura 49 Determinación de del peso seco de la muestra en balanza electrónica	116
Figura 50 Fraccionamiento manual del material para la obtención de una muestra representativa	122
Figura 51 Pesaje de muestra para ensayo de granulometría	122
Figura 52 Verificación del Pesaje de la muestra para ensayo de granulometría	123
Figura 53 Colocación de la muestra en el juego de tamices para análisis granulométrico	123
Figura 54 Retiro secuencial de tamices y transferencia del material retenido a recipientes.....	124
Figura 55 Disposición de las fracciones retenidas en recipientes correspondientes a cada tamiz	124
Figura 56 Determinación del peso de cada fracción retenida en la balanza electrónica	125

Figura 57 Representación gráfica de la curva granulométrica del material proveniente de la Muestra 02	127
Figura 58 Representación gráfica de la curva granulométrica del material proveniente de la Muestra 02.	129
Figura 59 Representación gráfica de la curva granulométrica del material proveniente de la Muestra 03	130
Figura 60 Representación gráfica de la curva granulométrica del material proveniente de la Muestra 04	132
Figura 61 Representación gráfica de la curva granulométrica del material proveniente de la Muestra 05.	133
Figura 62 Representación gráfica de la curva granulométrica del material proveniente de la Muestra 06.	135
Figura 63 Fraccionamiento manual del material para la obtención de una muestra representativa	139
Figura 64 Tamizado de la muestra por malla de 3/4" para preparación del ensayo Proctor modificado	140
Figura 65 Obtención de 6000 gr de muestra tamizada para ensayo Proctor modificado	140
Figura 66 Transferencia de la muestra pesada a cápsula de ensayo.....	141
Figura 67 Adición controlada de agua a la muestra según contenido de humedad inicial	141
Figura 68 Homogeneización de la muestra con agua adicionada según humedad inicial	142
Figura 69 Colocación de la muestra húmeda en el molde Proctor.....	142
Figura 70 Compactación de la muestra en molde Proctor mediante pisón en capas sucesivas.....	143
Figura 71 Compactación de la capa final en el molde Proctor con pisón...	143
Figura 72 Muestra completamente compactada en molde Proctor	144
Figura 73 Retiro de la extensión del molde y enrasado de la superficie de la muestra.....	144
Figura 74 Determinación del peso de la muestra compactada con el molde Proctor	145

Figura 75 Extracción de muestra del centro del molde Proctor para ensayo de Contenido de Humedad	145
Figura 76 Colocación de la muestra extraída del centro del molde Proctor en una capsula.....	146
Figura 77 Determinación del peso de la muestra extraída del centro del molde Proctor	146
Figura 78 Secado de la muestra extraída del centro del molde Proctor ...	147
Figura 79 Procedimiento de secado de muestra representativa para ensayo CBR	147
Figura 80 Tamizado de la muestra seca con malla de 3/4" previo al ensayo CBR	148
Figura 81 Determinación de masa de la muestra representativa para el ensayo CBR	148
Figura 82 Incorporación dosificada de agua a la muestra para el ensayo CBR	149
Figura 83 Mezclado homogéneo de la muestra con agua para acondicionamiento previo al ensayo	149
Figura 84 Obtención de muestra homogénea e integrada para ensayo CBR	150
Figura 85 Colocación de papel filtro en la base del molde para ensayo CBR	150
Figura 86 Colocación del suelo en el molde CBR mediante compactación por capas	151
Figura 87 Compactación del espécimen en molde CBR mediante pisón a 12 golpes	151
Figura 88 Compactación del espécimen en molde CBR mediante pisón a 26 golpes	152
Figura 89 Compactación del espécimen en molde CBR mediante pisón a 56 golpes	152
Figura 90 Retiro de la extensión superior del molde CBR y nivelación de la superficie	153
Figura 91 Determinación del peso del conjunto molde–muestra compactada (12 golpes) para ensayo CBR.....	153

Figura 92 Determinación del peso del conjunto molde–muestra compactada (26 golpes) para ensayo CBR.....	154
Figura 93 Determinación del peso del conjunto molde–muestra compactada (56 golpes) para ensayo CBR.....	154
Figura 94 Colocación del espécimen en la prensa CBR para ensayo de penetración en condición no sumergida	155
Figura 95 Inmersión de especímenes CBR compactados en pozo de saturación	155
Figura 96 Colocación del espécimen en la prensa CBR para ensayo de penetración en condición sumergida	156
Figura 97 Representación gráfica de la Relación Humedad-Densidad de la Calicata-01.....	158
Figura 98 Representación gráfica de Carga-Penetración de Ensayo CBR - Calicata 01.....	160
Figura 99 Representación gráfica de la Relación Humedad-Densidad de la Calicata-02.....	162
Figura 100 Representación gráfica de Carga-Penetración de Ensayo CBR - Calicata 02.....	164
Figura 101 Representación gráfica de la Relación Humedad-Densidad de la Calicata-03.....	166
Figura 102 Representación gráfica de Carga-Penetración de Ensayo CBR - Calicata 03.....	168
Figura 103 Representación gráfica de la Relación Humedad-Densidad de la Calicata-04.....	170
Figura 104 Representación gráfica de Carga-Penetración de Ensayo CBR - Calicata 04.....	172
Figura 105 Representación gráfica de la Relación Humedad-Densidad de la Calicata-05.....	174
Figura 106 Representación gráfica de Carga-Penetración de Ensayo CBR - Calicata 05.....	176
Figura 107 Representación gráfica de la Relación Humedad-Densidad de la Calicata-06.....	178

Figura 108 Representación gráfica de Carga-Penetración de Ensayo CBR - Calicata 06	180
Figura 109 Cálculo del Módulo de Resiliencia en Excel	183
Figura 110 Cálculo del Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi)	185
Figura 111 Cálculo del Índice de Serviciabilidad Final (Pt)	186
Figura 112 Cálculo del Diferencial de Serviciabilidad(Δ PSI)	186
Figura 113 Cálculo del Nivel de Confiabilidad(R).....	187
Figura 114 Cálculo de la Desviación Estándar Normal (ZR).....	187
Figura 115 Recomendación respecto al valor de Desviación Estándar Combinada (So).....	188
Figura 116 Cálculo de los Números Estructurales en Excel	188
Figura 117 Valores recomendados para el coeficiente de drenaje	190
Figura 118 Cálculo de los Coeficientes estructurales en Mathcad Prime .	193
Figura 119 Cálculo de los Espesores Estructurales en Mathcad Prime.....	194

RESUMEN

El objetivo central de la presente investigación es evaluar la condición funcional del pavimento flexible mediante el Índice de Regularidad Internacional (IRI) y proponer un rediseño estructural para el tramo Puente Huancachupa – Vichaycoto de la Ruta Nacional PE-3N, Huánuco, 2025. Se desarrolló un estudio de nivel aplicativo, con enfoque cuantitativo. De acuerdo a la intervención del investigador, la investigación fue observacional; según el control de la variable, prospectivo–retrospectivo; de acuerdo con la cantidad de mediciones, transversal; y por la cantidad de variables analíticas, analítico. El diseño fue no experimental. La población se encontró integrada por la vía asfaltada del tramo en estudio y la muestra por seis puntos específicos comprendidos entre los km 168+000 y 173+000, identificados aparte de efectuar un muestreo no probabilístico. Se utilizaron técnicas de observación directa, ensayos de laboratorio, conteo vehicular manual y revisión documental, utilizando instrumentos propios del análisis funcional, mecánico y de tránsito. El análisis inferencial aplicado fue de tipo técnico. Los resultados mostraron un Índice de Regularidad Internacional (IRI) promedio de 6.08 m/km, evidenciando una condición funcional deficiente; los valores de CBR al 95% de la DMS oscilaron entre 25.93% y 32.58%. Asimismo, el IMDA alcanzó 10 948 veh/día y la estimación de ESAL fue de 59 338 599 EE. El rediseño estructural se llevó a cabo por intermedio del método AASHTO 93 determinó espesores de 17 cm para la carpeta asfáltica, 24 cm para la base granular y 10 cm para la subbase, cumpliendo con las exigencias estructurales establecidas. En conclusión, se determinó que el tramo Puente Huancachupa km 167+000 – Vichaycoto km 173+000 presenta una condición funcional deficiente, evaluada mediante el Índice de Regularidad Internacional (IRI), lo cual evidencia la necesidad de un rediseño estructural del pavimento flexible en función de la demanda de tránsito y la capacidad de soporte del suelo; en ese sentido, se valida la hipótesis alternativa y se descarta la hipótesis nula.

Palabras Clave. Pavimento flexible, Condición funcional, Índice de Regularidad Internacional, Rediseño estructural, ESAL, CBR, AASHTO 93.

ABSTRACT

The main objective of this research is to evaluate the functional condition of the flexible pavement using the International Roughness Index (IRI) and to propose a structural redesign for the Puente Huancachupa – Vichaycoto section of National Route PE-3N, Huánuco, 2025. An applied-level study with a quantitative approach was conducted. Based on the researcher's intervention, the research was observational; based on variable control, prospective-retrospective; based on the number of measurements, cross-sectional; and based on the number of analytical variables, analytical. The design was non-experimental. The population consisted of the paved section of the road under study, and the sample comprised six specific points between km 168+000 and km 173+000, identified through non-probability sampling. Techniques used included direct observation, laboratory tests, manual vehicle counts, and document review, employing instruments specific to functional, mechanical, and traffic analysis. The inferential analysis applied was of a technical nature. The results showed an average International Roughness Index (IRI) of 6.08 m/km, indicating a poor functional condition; the CBR values at 95% of the maximum dry density ranged between 25.93% and 32.58%. Furthermore, the Average Daily Traffic (ADT) reached 10,948 vehicles/day, and the estimated ESAs 59,338,599 equivalent vehicles. The structural redesign was carried out using the AASHTO 93 method, which determined thicknesses of 17 cm for the asphalt layer, 24 cm for the granular base, and 10 cm for the subbase, meeting the established structural requirements. In conclusion, it was determined that the section Puente Huancachupa km 167+000 – Vichaycoto km 173+000 presents a deficient functional condition, evaluated by the International Roughness Index (IRI), which shows the need for a structural redesign of the flexible pavement based on traffic demand and soil support capacity; in this sense, the alternative hypothesis is validated and the null hypothesis is discarded.

Keywords. Flexible pavement, Functional condition, International Roughness Index, Structural redesign, ESAL, CBR, AASHTO 93.

INTRODUCCIÓN

El tramo comprendido entre el Puente Huancachupa y Vichaycoto de la Ruta Nacional PE-3N presenta un deterioro funcional y estructural significativo en su pavimento flexible, evidenciado por fisuras en bloque, baches, ahuellamientos y pérdida de textura superficial. El diagnóstico preliminar realizado en campo confirma que la vía ha disminuido su nivel de servicio, reportándose una condición funcional identificada como “mala” según los criterios de la FHWA, y una condición estructural “deficiente” conforme a la metodología PCI. Asimismo, se verificó que los espesores estructurales existentes se encuentran por debajo de los criterios de diseño especificados en el Manual de Carreteras del MTC, lo cual favorece al deterioro acelerado del pavimento y a la disminución de la capacidad de soporte frente al tránsito actual. Estas evidencias técnicas sustentan la exigencia de una acción inmediata que permita restituir la funcionalidad de la vía y garantizar su desempeño en condiciones operativas adecuadas.

En este contexto, el objetivo central de la presente investigación es evaluar la condición funcional del pavimento flexible mediante el Índice de Regularidad Internacional (IRI) y proponer un rediseño estructural para el tramo Puente Huancachupa – Vichaycoto de la Ruta Nacional PE-3N, Huánuco, 2025. Para ello, se evalúa la condición funcional a través de identificar de forma precisa el Índice de Regularidad Internacional (IRI), se identifica también la capacidad de soporte de la subrasante, se calcula el volumen de tránsito y las cargas equivalentes de diseño, y finalmente se determinan los espesores estructurales del pavimento utilizando metodologías vigentes como la Guía AASHTO 1993 y el Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC. El estudio se ajusta al tipo observacional, debido a que no se manipulan los componentes del pavimento, sino que se analizan en su condición existente. Presenta un carácter prospectivo–retrospectivo, pues integra mediciones y ensayos obtenidos en campo con información técnica proveniente de normas y documentos especializados. Asimismo, se clasifica como transversal, dado que la medición de las variables se lleva a cabo en un único momento, y

analítica, por estudiar la vinculación entre el rediseño estructural del pavimento y la mejora de su condición funcional. El enfoque es cuantitativo, sustentado en el uso de datos numéricos, cálculos técnicos y procedimientos estructurados, mientras que el nivel de investigación es aplicativo, al orientarse a la solución de un problema real mediante la puesta en práctica de conocimientos técnicos y normativos.

El estudio analiza el deterioro funcional y estructural del pavimento flexible en el tramo Puente Huancachupa – Vichaycoto de la Ruta Nacional PE-3N, desarrollando un diagnóstico integral mediante la identificación de las características propiamente del suelo, la evaluación del tráfico, la evaluación de fallas superficiales y la determinación de la condición funcional. Sobre esta base, se aplica el método AASHTO 93 para el rediseño estructural, estableciendo los espesores necesarios para mejorar la capacidad portante y el desempeño del pavimento. La investigación se sustenta en una metodología descriptiva y aplicada, con recopilación de datos tanto en campo como laboratorio, y se estructura en la formulación del problema, revisión teórica, metodología, presentación de resultados y contrastación de hipótesis. Finalmente, se comparan las condiciones actuales con las condiciones permisibles para una vía pavimentada, demostrando que es necesario realizar una propuesta de rediseño estructural del pavimento flexible del tramo Puente Huancachupa – Vichaycoto de la Ruta Nacional PE-3N. La presente investigación influye en la consolidación del sistema de conservación de la Infraestructura de transporte vial en la región Huánuco, al ofrecer una propuesta de rediseño estructural fundamentada en criterios técnicos y en el estado real del pavimento. Asimismo, constituye un aporte metodológico, el cual es posible implementar en posteriores evaluaciones y propuestas de rehabilitación en otros tramos de la Ruta Nacional PE-3N que presentan problemáticas semejantes.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN EL PROBLEMA

El tramo comprendido entre el Puente Huancachupa (km 167+000) y Vichaycoto (km 173+000) de la Ruta Nacional PE-3N presenta un deterioro funcional y estructural significativo en su pavimento flexible, evidenciado por fisuras en bloque, baches, ahuellamientos y pérdida de textura superficial. El diagnóstico preliminar realizado en campo permite cuantificar el nivel de servicio actual que ofrece la vía a los conductores, registrándose un Índice Internacional de Rugosidad (IRI) promedio de 5.4 m/km, que categoriza al tramo en una situación “mala” (FHWA, $IRI > 3.5$ m/km), y un Índice de Condición de Pavimento (PCI) de 48/100, ponderación que lo posiciona en un nivel “deficiente” según ASTM D6433. Asimismo, mediante la inspección preliminar se verificaron los espesores estructurales actuales que presenta la vía, la capa asfáltica se vio afectada por el aumento del tráfico, el intemperismo, la erosión de agregados, la inestabilidad superficial que genera la caída de fragmentos del terreno en zonas de baches y fisuras abiertas. las cuales por (carpeta asfáltica = 8 cm, base granular = 15 cm y subbase = 18 cm), inferiores a los lineamientos de diseño fijados en el *Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos* (MTC, 2013). El registro de fallas registradas in situ mostró que aproximadamente el 32 % de la superficie presenta baches y el 27 % deformaciones longitudinales por ahuellamiento, indicadores que reflejan un proceso avanzado de fatiga estructural. Estos resultados confirman que la vía ha perdido su nivel de servicio, lo que coincide con lo referido por el Manual de Carreteras del MTC (Vol. 3, Diseño de Pavimentos) y la Guía AASHTO 1993, donde se enfatiza que la evaluación cuantitativa del estado actual es fundamental para justificar la necesidad de intervención y sustentar técnicamente el rediseño estructural. Este tipo de fallas no solo reduce la condición funcional de la vía, también elevan los gastos de conservación vehicular y la duración de viajes, impactando directamente en la conexión regional y en el crecimiento socioeconómico de las poblaciones beneficiarias (MTC, 2018; PIARC, 2019). Conforme lo

Menciona el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, la pérdida de capacidad estructural en un pavimento flexible está asociada a deficiencias en el diseño inicial, la sobrecarga de demanda vehicular y la falta de mantenimientos o rehabilitaciones periódicas (MTC, 2013). En este contexto, el análisis y rediseño del pavimento resulta indispensable para asegurar un nivel de servicio idóneo y prolongar el periodo de servicio del pavimento (AASHTO, 2012).

En el ámbito nacional, el desgaste de los pavimentos flexibles constituye una de las principales deficiencias de la infraestructura vial en el Perú, estrechamente vinculado al incremento constante del tráfico pesado, a la carencia de mantenimientos periódicos, a las condiciones geográficas desfavorables como las considerables precipitaciones y variaciones de temperatura, como incompatibilidades en el diseño estructural del pavimento, especialmente críticas en regiones de selva y sierra. En la Red Vial Nacional pavimentada, solo el 2,53 % de los tramos se encuentran en mal estado (Perú, MTC, 2016), mientras que el 3,8 % está en estado regular (Perú, MTC, 2016). Asimismo, la red no pavimentada revela que el 53,8 % se encuentra en mal estado (Perú, MTC, 2016); en regiones críticas como Huánuco, el 79 % de la red vial nacional no pavimentada está deteriorada (Perú, MTC, 2016). Además, de los más de 180 000 km del Sistema Nacional de Caminos (Sinac), solo el 17,6 % está pavimentado (Perú, MTC, 2025), con solo el 16,5 % de la red departamental y el 10,5 % de la red vecinal pavimentadas (Perú, MTC, 2025). La escasa ejecución presupuestal agrava el problema: en los gobiernos regionales apenas se ejecutó el 2,9 % del presupuesto asignado a mantenimiento vial (Perú, MTC, 2025), y en los gobiernos locales solo el 12,8 % (Perú, MTC, 2025). En este contexto, las carreteras nacionales como la PE-3N sufren fallas visibles como grietas, baches, deformaciones y pérdida de textura, lo cual deteriora significativamente la condición funcional del tramo. Esto impacta negativamente la conectividad, aumenta los costos operativos vehiculares y acrecienta riesgos viales, erosionando tanto la seguridad como el desarrollo socioeconómico de las zonas que sirven. Enfrentar este problema a través del rediseño estructural basado en la carga actual,

propiedades del suelo y condiciones climáticas es esencial para garantizar vías funcionales, seguras y sostenibles.

En el ámbito regional, diversos tramos de la infraestructura vial presentan un deterioro continuo del pavimento flexible en la Ruta Nacional PE-3N, debido a factores climáticos, geográficos (terrenos inestables), sobrecarga vehicular y deficiencias en los diseños estructurales especialmente por no contemplar un periodo de diseño adecuado sumados a la falta de rehabilitaciones rutinarias y la limitada capacidad técnica de la autoridad encargada (MTC-Huánuco). En esta región, el 26,41 % de las carreteras departamentales presentan una situación actual mala, mientras el 72,59 % están en una situación intermedia (Huánuco, PVDP-MTC, 2022). En un tramo analizado cerca del aeropuerto de Huánuco (Unidad Muestra U5, 400 m²), el índice PCI fue de 12, lo que evidencia un nivel muy pobre del pavimento, presentando fallas severas como grietas longitudinales y transversales (50,6 %), parches (36,48 %), baches (severidad media), desniveles y ahuellamiento (Trujillo Álvarez, 2022). Estas deficiencias afectan de manera directa la conexión entre sectores rurales y urbanos, limitan la oportunidad de poder contar con servicios importantes como salud, educación y comercio, y elevan los costos logísticos, el tiempo de viaje y los riesgos de accidentes.

El deterioro del pavimento flexible en la Ruta Nacional PE-3N responde a la interacción de diversos factores que aceleran el desgaste de la estructura. Primeramente, los factores climáticos del departamento, caracterizados por lluvias intensas y variaciones térmicas, provocan la pérdida de soporte de la subrasante y el surgimiento de fisuras, baches y desprendimientos (MTC, 2013; PIARC, 2019). En segundo lugar, la compleja geografía de Huánuco, con suelos de baja capacidad portante y pendientes pronunciadas, incrementa la susceptibilidad a asentamientos diferenciales y erosión (MTC, 2018). Asimismo, la sobrecarga vehicular constituye un factor crítico, ya que el tránsito pesado supera con frecuencia la capacidad de diseño de los pavimentos, generando deformaciones plásticas y ahuellamientos prematuros (AASHTO, 2012; Mora & Díaz, 2021). Otro factor determinante son los

diseños estructurales inadecuados, en los que no se consideró un periodo de diseño acorde con los criterios reales de tránsito y suelo, lo cual reduce drásticamente el periodo de servicio de la vía (MTC, 2013). Finalmente, la falta de mantenimientos periódicos agrava la situación, permitiendo que pequeñas fallas se propaguen hasta comprometer la funcionalidad del tramo (World Bank, 2017).

Si el deterioro del pavimento flexible en el tramo Puente Huancachupa – Vichaycoto de la Ruta Nacional PE-3N no es abordado oportunamente, las consecuencias serán significativas y progresivas. A corto plazo, se incrementa la incomodidad en la transitabilidad, la amenaza de incidentes de tránsito y los gastos de conservación de las unidades de transporte, a causa del mayor empleo de combustible y desgaste de los vehículos (MTC, 2013; PIARC, 2019). A mediano plazo, la disminución de la velocidad de desplazamiento y el aumento de los tiempos de viaje limitan la conectividad entre zonas rurales y urbanas, suben el precio de la movilización de insumos agrícolas y elevan los precios de bienes básicos, afectando directamente la economía familiar y regional (World Bank, 2017; Mora & Díaz, 2021). A largo plazo, la persistencia de la problemática puede llevar al colapso estructural del pavimento, obligando a realizar intervenciones correctivas de alto costo, que resultan hasta cuatro veces más onerosas que un mantenimiento preventivo oportuno (World Bank, 2017). Además, el deterioro de las vías limita la apertura de servicios esenciales como salud y educación, perpetuando la desigualdad social y reduciendo la competitividad regional en mercados nacionales e internacionales (MTC, 2018; AASHTO, 2012). En este contexto, no atender el problema compromete no solo la seguridad vial y la actividad comercial local, sino también el desarrollo sostenible de la región de Huánuco.

En consecuencia, frente al desgaste del pavimento flexible en el tramo Puente Huancachupa – Vichaycoto de la Ruta Nacional PE-3N, diversas alternativas de solución han sido identificadas. Una de las más relevantes es la implementación de programas de rehabilitación de vías deterioradas. En la circunstancia particular de la región de Huánuco, donde confluyen factores climáticos, geográficos y de tráfico, la alternativa más adecuada consiste en

un rediseño estructural del pavimento flexible, considerando la demanda vehicular que existe actualmente, los parámetros del suelo y las particularidades ambientales del lugar, empleando metodologías reconocidas como el *Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos* (MTC, 2013) y la Guía AASHTO 93 (AASHTO, 2012). Esta propuesta no solo permitirá restituir la condición funcional de la vía, sino que servirá como fuente técnica para próximos estudios en tramos con características similares, aportando a una administración vial más sustentable y eficiente.

1.2. FORMUACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la condición funcional del pavimento flexible, medida a través del Índice de Regularidad Internacional (IRI), y qué rediseño estructural se requiere para el tramo Puente Huancachupa km 167+000 – Vichaycoto km 173+000 de la Ruta Nacional PE-3N, Huánuco, 2025?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

PROBLEMA ESPECÍFICO 1. ¿Cuál será la condición funcional actual, medida mediante el Índice de Regularidad Internacional (IRI), del pavimento flexible en el tramo Puente Huancachupa km 167+000 – Vichaycoto km 173+000 de la Ruta Nacional PE-3N, Huánuco, 2025?

PROBLEMA ESPECÍFICO 2. ¿Cuál será la capacidad de soporte de la subrasante para el rediseño estructural del pavimento flexible del tramo Puente Huancachupa km 167+000 – Vichaycoto km 173+000, Ruta Nacional PE-3N, Huánuco, 2025?

PROBLEMA ESPECÍFICO 3. ¿Cuál será el volumen de tráfico y ESAL para el rediseño estructural del pavimento flexible del tramo Puente Huancachupa km 167+000 – Vichaycoto km 173+000, Ruta Nacional PE-3N, Huánuco, 2025?

PROBLEMA ESPECÍFICO 4. ¿Cuáles serán los espesores estructurales para el rediseño estructural del pavimento flexible del tramo Puente Huancachupa km 167+000 – Vichaycoto km 173+000 de la Ruta Nacional PE-3N, Huánuco, 2025?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la condición funcional del pavimento flexible mediante el Índice de Regularidad Internacional (IRI) y proponer un rediseño estructural para el tramo Puente Huancachupa km 167+000 – Vichaycoto km 173+000 de la Ruta Nacional PE-3N, Huánuco, 2025.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

OBJETIVO ESPECÍFICO 1. Evaluar la condición funcional actual, mediante el Índice de Regularidad Internacional (IRI), del tramo Puente Huancachupa km 167+000 – Vichaycoto km 173+000 de la Ruta Nacional PE-3N, Huánuco, 2025.

OBJETIVO ESPECÍFICO 2. Identificar la capacidad de soporte de la subrasante para el rediseño estructural del pavimento flexible en el tramo Puente Huancachupa km 167+000 – Vichaycoto km 173+000, Ruta Nacional PE-3N, Huánuco, 2025.

OBJETIVO ESPECÍFICO 3. Calcular el volumen de tráfico y ESAL para el rediseño estructural del pavimento flexible en el tramo Puente Huancachupa km 167+000 – Vichaycoto km 173+000, Ruta Nacional PE-3N, Huánuco, 2025.

OBJETIVO ESPECÍFICO 4. Determinar los espesores estructurales para el rediseño estructural del pavimento flexible en el tramo Puente Huancachupa km 167+000 hasta Vichaycoto km 173+000 de la Ruta Nacional PE-3N, Huánuco, 2025.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

El presente trabajo se desarrolla en función a los lineamientos de investigación de la universidad relacionadas con la infraestructura vial, desarrollo regional y sostenibilidad, ya que busca optimizar el diseño estructural de pavimentos flexibles empleando la metodología AASHTO

93 en un tramo específico de la Ruta Nacional PE-3N, en Huánuco. Esta investigación responde a una necesidad académica y técnica de adaptar modelos internacionales de diseño a realidades locales, donde los factores geotécnicos, climáticos y de tránsito difieren de los parámetros estándar considerados en los manuales de diseño. En términos de vacíos de conocimiento, no existen suficientes estudios que documenten la aplicación y validación del método AASHTO 93 en carreteras de la sierra central del Perú, caracterizadas por suelos heterogéneos, pendientes pronunciadas y variabilidad climática. Por ello, este trabajo busca llenar dicho vacío, generando datos técnicos confiables que puedan servir como referencia para estudios futuros en proyectos similares. Asimismo, la investigación contribuirá a profundizar las teorías de diseño de pavimentos flexibles, al evaluar la interacción entre la resistencia de carga de la subrasante, volumen de tránsito real y espesores de capas estructurales bajo condiciones regionales específicas. De esta manera, se contribuirá al aporte de alternativas viales más funcionales, consolidando la guía AASHTO 93 como herramienta adaptable a las particularidades del contexto peruano y fortaleciendo las bases teóricas de la ingeniería vial aplicada.

1.4.2 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

Los datos recopilados del actual trabajo cuentan con implicaciones directas en el rediseño de pavimentos flexibles dentro de la red vial nacional, ya que permitirán contar con parámetros técnicos precisos sobre la resistencia de carga de la subrasante, el volumen de tránsito proyectado y los espesores estructurales óptimos para el segmento de vía en revisión. Aquellos elementos informativos constituyen un sustento sólido para la planificación de intervenciones viales, el diseño de proyectos futuros y el ajuste de presupuestos públicos dirigidos al mantenimiento y rehabilitación de carreteras en contextos similares. Los principales beneficiarios serán, en primer lugar, los usuarios viales (conductores, transportistas y pasajeros), quienes dispondrán de una carretera en un mejor estado de seguridad y transitabilidad,

disminuyendo los tiempos de viajes, gastos de funcionamiento vehicular y peligro de accidentes. En segundo lugar, se beneficiará la población de la región Huánuco, al facilitarse la accesibilidad a servicios fundamentales, así como el desplazamiento de insumos en dirección a los centros de abastecimiento locales y regionales, de esa manera se impulsará la economía local. Finalmente, las autoridades competentes como el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y las administraciones regionales también se verán beneficiadas, al disponer de un estudio que puede servir como modelo técnico replicable en otros tramos viales con características geográficas y climáticas similares, ayudando al fortalecimiento de la red vial regional.

1.4.3 JUSTIFICACION METODOLÓGICA

La presente investigación se sustenta en un procedimiento metodológico sistemático y estructurado, basado en los criterios técnicos de la metodología AASHTO 1993, los cuales fueron adaptados a las condiciones locales del tramo Puente Huancachupa km 167+000 hasta Vichaycoto km 173+000, Ruta Nacional PE-3N, en la ciudad de Huánuco. El proceso metodológico incluye una secuencia ordenada de actividades: la evaluación de la resistencia a la carga de la subrasante mediante ensayos geotécnicos, la estimación del volumen de tránsito actual y proyectado a través de aforos vehiculares y, finalmente, el rediseño estructural del pavimento flexible considerando parámetros obtenidos directamente en el campo. Este enfoque no solo apoya la validez de los resultados, sino que también constituye un modelo metodológico replicable que puede servir como guía para futuros estudiantes e investigadores de la carrera de ingeniería civil. Además, la investigación aporta instrumentos técnicos como protocolos de recolección de datos geotécnicos y de tránsito, así como la adaptación de la metodología AASHTO 1993 al contexto regional, lo cual puede ser utilizado como ejemplo en estudios posteriores. De esta manera, el trabajo no se limita a la solución de un caso puntual, sino que ofrece un referente metodológico aplicable a proyectos de rediseño y rehabilitación

de pavimentos en distintos escenarios de la red vial nacional, contribuyendo al progreso de una infraestructura más eficiente y funcional.

1.4.4 JUSTIFICACIÓN SOCIAL

La influencia o efecto social de este trabajo se centra en la mejora de la funcionalidad y seguridad vial a lo largo de la sección del Puente Huancachupa km 167+000 hasta Vichaycoto km 173+000, Ruta Nacional PE-3N, en la región Huánuco. El rediseño del pavimento flexible permitirá que la población local disponga de una carretera en mejores condiciones de uso, reduciendo el acontecimiento de siniestros viales, las duraciones de traslado y los gastos de transporte, lo que genera, un aporte positivo para los usuarios y comunidades aledañas. Además, la investigación contribuye a la mejora de las condiciones comunitarias, ya que un tramo vial en óptimo estado facilita la accesibilidad a prestaciones esenciales, entre las cuales se encuentran: salud, educación y actividad económica, bajo este enfoque se reducen las brechas sociales en zonas rurales y promoviendo una mayor integración territorial. El mejoramiento de la infraestructura también impulsa la movilización de productos, favoreciendo el nivel competitivo de los comerciantes y fortaleciendo la economía regional. De este modo, el trabajo no únicamente contribuye con alternativas técnicas a un problema de infraestructura, a la vez se constituye en una herramienta que contribuye al avance de temas sociales relevantes, como la imparcialidad en el alcance de posibilidades, la disminución de la pobreza y el incremento del bienestar integral de la comunidad, consolidando así el valor social del presente trabajo en el crecimiento de la región de Huánuco.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Una de las restricciones presentes en la ejecución del trabajo se relaciona con la población de análisis, ya que los resultados obtenidos corresponden únicamente al tramo Puente Huancachupa km 167+000 hasta

Vichaycoto km 173+000 de la Ruta Nacional PE-3N, en la región Huánuco. Por ello, las conclusiones y propuestas de rediseño estructural del pavimento flexible no pueden generalizarse de manera automática a otros tramos viales sin considerar previamente sus condiciones particulares de tránsito, suelo y clima. Se propone que los resultados sean utilizados como referencia técnica comparativa y que estudios futuros realicen evaluaciones adicionales en otros tramos con características similares, lo que permitirá validar y ampliar la aplicabilidad del modelo metodológico empleado.

Asimismo, se identifican limitaciones de carácter financiero, debido a que los recursos económicos disponibles condicionaron el número de ensayos geotécnicos y aforos vehiculares que pudieron ejecutarse en el tramo estudiado. No obstante, se optimizará el presupuesto priorizando los ensayos más representativos y aplicando metodologías reconocidas internacionalmente (AASHTO 93), lo que asegura la credibilidad y solidez de los hallazgos.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación es viable en términos de población, dado que el estudio contempla una muestra representativa de unidades de análisis obtenidas a partir de ensayos de subrasante, aforos vehiculares y evaluación de espesores de las capas estructurales en el tramo Puente Huancachupa km 167+000 hasta Vichaycoto km 173+000 de la Ruta Nacional PE-3N. Se aplicarán técnicas de muestreo y pruebas de laboratorio específicas que respaldan la validez de los resultados, de acuerdo con los requerimientos técnicos de la metodología AASHTO 93, esto contribuye a la factibilidad porque asegura que la información técnica recopilada será suficiente y representativa para sustentar las conclusiones del estudio. En cuanto al costo, el proyecto será autofinanciado por el tesista, cubriendo los gastos en revisiones que se realizarán en campo, ensayos de laboratorio y procesamiento de datos. Este aspecto garantiza que los recursos económicos disponibles no sean una dificultad que comprometa el desarrollo del estudio. Respecto al tiempo, la investigación cumple con los lineamientos establecidos por el Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco,

ya que el desarrollo del trabajo, desde la elaboración y preparación del proyecto, para posteriormente efectuar la presentación respectiva y sustentación final, se ha planificado para ejecutarse en un periodo no mayor a dos años, esta planificación ordenada permite administrar adecuadamente los plazos, evitando retrasos y asegurando la culminación del trabajo dentro del periodo académico definido.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Delgado Saboya (2023) en su investigación denominada “Diseño de una Estructura de Pavimento Flexible Mediante el Método AASHTO-93, del Tramo KM 76+450 al KM 77+000 de Vía Las Vegas-Chorreras Localidad de Sumapaz”. La investigación tuvo como objetivo primordial la utilización de materiales reciclados, específicamente fresado o material bituminoso reutilizado estabilizado, a modo de opción en la construcción de las respectivas capas del pavimento. La investigación se ubica en el contexto de un enfoque descriptivo y un diseño no experimental. Los resultados permitieron establecer una estructura óptima para una vía rural conformada por una capa de 0.15 m de fresado estabilizado y dos capas de base granular de 0.10 m cada una. Además, se determinó que el suelo del sector presentaba un CBR mínimo de 4.0, cumpliendo con los requisitos para lograr el número estructural necesario según la metodología empleada. Esto evidenció la funcionalidad del diseño frente a las condiciones reales de volumen de circulación en el sector.

El trabajo llegó a la conclusión que los materiales bituminosos reciclados y rejuvenecidos mantienen sus propiedades mecánicas y pueden emplearse como capa de circulación en carreteras de baja intensidad vehicular. Asimismo, se destaca que las mezclas asfálticas en frío representan una alternativa eficiente para regiones con distancias significativas a los centros de producción, debido a su capacidad de conservar sus características por períodos prolongados, lo que favorece su uso en vías terciarias y proyectos viales rurales.

Prada Usme (2021) en su investigación denominada “Diseño de un Pavimento Flexible Mediante el Método AASHTO y RACIONAL,

implementado en la variante del municipio de Armero” donde el primordial objetivo fue plantear dos estrategias de desarrollo de diseños de pavimento flexible a partir de dos distintas metodologías las cuales son las siguientes: AASHTO 93 Y RACIONAL empleados para mejorar la vía de la entidad municipal de Armero Guayabar, se detalla el procedimiento y luego se efectuará una determinada comparativa entre cada metodología empleada, para posteriormente efectuar el diseño correspondiente de la vía en análisis. El tipo de investigación establecido en la tesis fue descriptiva, con un enfoque de carácter cuantitativo y diseño no experimental, luego de realizar lo establecido en la tesis, se pudieron conseguir los siguientes resultados: se verificó que los espesores del pavimento varían ampliamente al emplear ambos métodos, esto se da en consecuencia a que el método RACIONAL emplea esfuerzos admisibles por cada estrato, mismos que están estrictamente relacionados al número de ejes equivalente del estrato inferior(subrasante), por otro lado la metodología AASHTO 93 adopta que el conjunto de capas que conforman la estructura del pavimento debe resistir elevados flujos vehiculares y estas estimaciones están en función ciertos factores cambiantes como son. la confiabilidad, factor de distribución del carril y evacuación pluvial que se pueda registrar.

El autor concluye, tras la evaluación, que empleando la metodología RACIONAL, se pueden llegar a estimar el dimensión vertical de los estratos que conforman el pavimento y las estimaciones correspondientes tomando en consideración los esfuerzos y deformaciones que pueda tener el pavimento, una conclusión adicional fue que este método no toma en cuenta los aspectos climáticos, por otro lado la metodología AASHTO 93, depende estrictamente de los números estructurales, del cual se tiene que iniciar para lograr conseguir eficazmente la dimensión vertical de cada unas de los estratos del pavimento.

Mora Murcia (2022) en su investigación denominada “Diseño de la estructura de un pavimento flexible mediante el método AASHTO-93 para un tramo de la vía 7509GV19 en el Departamento del Guaviare,

entre el cruce de la Vía Nacional 7506 hasta el cruce de la vereda Guacamayas conocida como la trocha ganadera del Guaviare”, donde el objetivo a alcanzar fue la de ejecutar propuestas de diseños para el pavimento flexible de carreteras que tienen conectividad terrestre con diferentes departamento de la región, lo que va generar un gran impacto en el tema económico-social. Se realizó el diseño del pavimento para la realización de un segmento de la carretera 7509GV19, el cual corresponde a las progresivas KM 0+000 - KM 8+800 de la entidad municipal de San José de Guaviare por medio de la implementación de la metodología AASHTO 93, así mismo se identificó el CBR para diseñar las dimensiones verticales el pavimento, de igual manera se efectuó un análisis de precios para la ejecución de la red vial y de manera técnicas se realizan propuestas de elementos de infraestructura que benefician la funcionalidad de la vía en estudio. El tipo de investigación es del tipo descriptiva, con un enfoque mixto y diseño no experimental, seguidamente de efectuar los procedimientos se lograron las posteriores estimaciones: la superficie de rodadura de 9,3 cm, base de 10.5 cm y subbase de 20.3 cm.

Finalmente, el autor concluye que en la presente tesis se evidenciaron distintos tipos y análisis de diseño para el corredor vial en estudio, sin embargo, se dio mayor importancia a lo que nos indica la metodología AASHTO 93. por el hecho de que se ajusta a criterios técnicos que benefician de manera directa a la población de Guaviare. Además, se determinó que el paquete estructural calculado atiende las demandas vehiculares, conforme a factores geotécnicos y condiciones térmicas.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Choque Pilco y Limache Mamani (2023) en su investigación denominada “Propuesta de diseño del pavimento flexible para mejorar la transitabilidad vehicular en el PROMUVI Señor de los Milagros Sector 6, Distrito Gregorio Albarracín, Tacna-2023”, cuyo propósito central fue establecer una alternativa de diseño de pavimento flexible orientada a

optimizar el flujo de tránsito vehicular en el Promuvi Señor de los Milagros-Sector 6, se desarrolló un estudio de tipo descriptivo, con enfoque cuantitativo y diseño no experimental. Seguidamente al concluir la tesis se obtuvieron posteriores resultados, respecto a la demanda vehicular se consiguió un Imda de 392 veh/día, de la misma manera y a efecto de ese resultado se obtuvo el ESAL con un valor aproximado de 179780.30, respecto al análisis geotécnico realizado, el cual se efectuó por intermedio de la prueba proctor modificado y CBR, se alcanzaron porcentajes de 28.5% y del 31.1% y referente al diseño estructural de la vía se alcanzaron los siguientes valores: superficies de rodadura(5cm) y base(20cm), se prescindió de tener una subbase.

Finalmente, los autores de la investigación llegaron a concluir lo siguiente, los espesores calculados se efectuaron en función al estudio geotécnico y la demanda vehicular proyectada, en ese sentido el planteamiento es coherente con las solicitudes, se concluye que el diseño es óptimo para las vías de estudio, los cuales a partir de ejecutar el diseño tendrán un nivel de servicio alto.

Chávez Reyes y Ruiz Rafael (2023) en su investigación denominada "Diseño de la estructura del pavimento flexible, para la construcción de pistas en la calle real del C.P. Santa Rosa, distrito de Pueblo Nuevo - Chepén - La Libertad", donde el fundamental objetivo fue establecer el diseño del pavimento para la vía pública Real C.P Santa Rosa, los autores implementaron un procedimiento aplicativo, con un enfoque mixto y diseño no experimental, donde para la muestra se tomaron 4 tramos de la vía pública, Para el diseño a realizar se tomaron todas las consideraciones y directrices de la metodología AASHTO 93. Seguidamente de la ejecución se lograron conseguir los siguientes resultados: En referencia al estudio geotécnico, se encontró una estimación de Máxima Densidad Seca de 1.749 gr/cm³, y respecto al CBR de diseño se obtuvo un valor de 12.50%, referente a la evaluación de flujos vehiculares se calculó un IMDA de 500 veh/día y ESAL de diseño de 1132826.34. Referente al paquete estructural determinado, se

determinaron los siguientes espesores (capa asfáltica=5 pulg, base=10 pulg, subbase=15 pulg).

Finalmente según los autores del actual trabajo, llegaron a concluir que después de haber realizado la investigación, que en referencia al estudio de suelo se encontró un suelo con una capacidad de subrasante media, referente al análisis de tráfico, se obtuvieron valores altos, los cuales sirvieron para determinar la demanda vehicular, en función a las estimaciones mencionadas, se efectuó el diseño estructural de la vía, concluyendo que se espera que el pavimento debe resistir el tránsito esperado a lo largo de todo su periodo de servicio proyectado sin fallas estructurales importantes.

Dionicio Ortega (2022) en su investigación denominada “Diseño de pavimento flexible mediante la Metodología AASHTO 93 para el mejoramiento de serviciabilidad de carretera vecinal en el departamento de Puno”, en el cual el fundamental objetivo fue llevar a cabo el diseño de pavimento, haciendo uso del método AASHTO 93 con la intención de optimizar la vía local en estudio. Con respecto a la metodología planteada fue un tipo de investigación aplicada, donde se emplearon herramientas de recopilación de datos, guías y ensayos en laboratorios. La población estuvo conformada por todas las carreteras asfaltadas de la región de Puno y la muestra fue la vía local Llave-Santa Rosa del distrito de Collao. Los resultados obtenidos muestran los siguientes: respecto a la solicitud de tránsito vehicular se estimó una tasa de incremento de tránsito por año del 5%, referente al análisis geotécnico del terreno se consiguieron resultados de CBR máximo de 6% en DMS, en función a estos resultados calculados mediante ensayos y aforos vehiculares se calcularon los espesores estructurales donde se obtuvieron: (capa asfáltica=7.62cm, base= 20 cm, subbase=20cm).

Para finalizar, los autores señalan que la metodología AASHTO 93, se fundamenta en la obtención del módulo de resiliencia, el cual está de acuerdo con el CBR hallado en el análisis geotécnico del terreno, como también está relacionado al peso del tránsito de la carretera y a las

características estructurales y funcionales de los materiales usar como soporte de la estructura del pavimento flexible.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Serrano Choquecota y Villanueva Elías (2022) en su investigación denominada “Diseño de pavimento asfáltico para mejorar la transitabilidad vehicular de la avenida Juan Velasco Alvarado, distrito de Pillco Marca, Huánuco, 2022” donde el fundamental objetivo del desarrollo de la tesis fue efectuar el diseño del pavimento de la Avenida Juan Velasco Alvarado. Se adoptó un tipo de investigación aplicada y enfoque cuantitativo, con la finalidad de realizar el diseño lo más real posible y esto pueda beneficiar a los usuarios que transitan a diario por mencionada vía. Como actividad inicial se efectuó el análisis de flujo vehicular de la carretera asfaltada, de esta manera se alcanzó el IMD, continuamente a este cálculo se determinó el ESAL de diseño, el cual resultó 206,000.00 EE con un intervalo de periodo de servicio de 20 años. Respecto al estudio geotécnico se alcanzaron estimaciones de CBR al 95% de DMS, entre 6% a 10% en concordancia con el ensayo Proctor Modificado. En función a los estudios previos se pueden calcular los espesores estructurales mediante la aplicación del método AAHSTO, en consecuencia, se obtuvieron los siguientes valores 5 cm de superficie asfáltica, 25 cm de base y 30 cm de subbase.

Concluyendo con la investigación, los autores en mención determinaron que es indispensable alcanzar las magnitudes de ESAL y CBR de diseño, para posteriormente estimar los espesores del pavimento flexible, en las más adecuadas circunstancias factibles cercanas a un contexto real. De este modo se infiere que el diseño del pavimento propuesto permitirá mejorar de forma destacada el desempeño y funcionamiento de la carretera, y también la implementación del nuevo diseño optimizará el nivel de servicio, reduciendo las irregularidades superficiales y garantizando una superficie de rodadura más uniforme.

Poma Meza (2023) en su investigación denominada “Planteamiento de diseño para la reconstrucción de tramos de pavimento flexible reutilizando el pavimento deteriorado en la av. Perú, Amarilis – Huánuco – 2023” donde el primordial objetivo del trabajo fue formular y sugerir un diseño de pavimento flexible de una vía aprovechando nuevamente el pavimento demolido con la intención de fortalecer el estado de circulación de la carretera. Con referencia al enfoque fue de carácter cuantitativo, nivel aplicativo y diseño no experimental. Los resultados evidenciaron que al realizar la revisión de flujo vehicular se consiguió un IMDA de 659 veh/día y ESAL de 345 000.00, respecto al ensayo geotécnico se obtuvieron valores del CBR AL 95% de 9.00% a 12.35% y los criterios de reutilización de pavimento demolido se lograron las siguientes dimensiones verticales del conjunto de capas que conforman la estructura del pavimento (superficie de rodadura=6 cm, base=15 cm, subbase=18 cm para todo el tramo analizado).

Finalmente, el autor llega a concluir que la reutilización del pavimento demolido para un diseño renovado del pavimento puede brindar las siguientes ventajas: gestión ambiental sostenible, disminución de residuos, optimización de recursos y presupuesto, aparte de mejorar el nivel de servicio del pavimento.

Trinidad Cárdenas (2023) en su investigación denominada “Diseño de infraestructura vial para el mejoramiento de transitabilidad del tramo II de la carretera Oyón – Ambo, 2023”, donde el primordial objetivo del estudio fue realizar un diseño de pavimento para una carretera que optimice de forma operativa el desempeño del flujo vehicular en la ruta Oyón-Ambo. En el contexto actual la superficie de rodadura del pavimento evidencia fallas de niveles críticos, con secciones que presentan un bajo nivel de servicio y otras secciones las cuales no se encuentran pavimentadas. En el presente estudio se aplicó un enfoque cuantitativo y un diseño no experimental. Los resultados precisaron que respecto al estudio geotécnico se obtuvo un terreno con plasticidad reducida, presentando un CBR al 95% de su DMS entre 20.2% a 25.8%. El estudio de tráfico vehicular evidencio un IMDA de 208 veh/día,

presentando un 81.55% de transporte liviano, 1.94% de ómnibus y un 16.58%, seguidamente se realizó la implementación del procedimiento AASHTO 93, de esta forma poder hallar las dimensiones verticales de cada capa del pavimento, donde se obtuvo la disposición estructural descrita (capa asfáltica=10 cm, base=15 cm, subbase=15cm), teniendo en cuenta un intervalo de servicio de de 20 años.

Finalmente, el autor del presente trabajo de investigación determinó que el diseño de pavimentos a través del procedimiento AASHTO 93, depende de varios factores, siendo los principales el estudio de tráfico y suelo en las secciones más debilitadas donde se está proponiendo el presente diseño. Los espesores calculados mejorarán la transitabilidad vehicular porque aumentan la resistencia frente a cargas del pavimento, distribuyen mejor los esfuerzos generados por el tránsito y reducen deformaciones y fisuras. Esto permite conservar una capa de asfalto de mayor regularidad y confiable, asegurando un desplazamiento más cómodo y continuo para los usuarios.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1 PAVIMENTOS

El pavimento es una estructura formada por varios estratos que se encuentra una adyacente de la otra, que se construyen tomando en consideración diversos tipos de métodos, normas y recomendaciones técnicas para trabajar con los materiales indicados, los cuales serán probados en diversos procedimientos constructivos con la finalidad de obtener una superficie sostenible que se caracterice por tener rigidez y durabilidad Con el fin de contar con la resistencia de soporte frente a la demanda de circulación automotriz. (Manual de Carreteras, 2018)

Según lo que indica la normativa AASHTO, al analizarse desde un enfoque que esté netamente relacionado con temas de ingeniería, el pavimento viene a ser elemento importante para la circulación de vehículos y las capas inferiores a ellas tiene la principal función de contribuir conjuntamente con la capa de asfalto a resistir los esfuerzos

que provienen del transporte que circula sobre ella durante un intervalo de servicio.

2.2.1.1 IMPORTANCIA DEL PAVIMENTO

Se considera un elemento esencial en la infraestructura de carreteras, debido a que permite garantizar el traslado eficiente de individuos y recursos, en razón de que aporta una capa de asfalto homogénea, confiable y duradera. Su trascendencia se basa en que asegura la movilidad eficiente, reduce los gastos operativos y mantenimiento de unidades de servicio de transporte, mejora la seguridad en las carreteras, prolonga la duración operativa de las redes de circulación vial y favorece a la integración social y económica al facilitar la conectividad entre ciudades. (AASHTO, 1993)

2.2.1.1.1 CAPACIDAD

Los pavimentos generalmente pueden ser construidos tanto para todo tipo de carreteras, las cuales unen ciudades, como también en vías de circulación vehicular residencial. La capacidad del pavimento dependerá de la cantidad de carriles con la que cuente la vía. (Cipriano, 2022)

2.2.1.1.2 SEGURIDAD

En consecuencia, del alto índice de incidentes que ocurren en la red vial, la seguridad se ha consolidado como un aspecto determinante y esencial en el estudio y planeación. Los pavimentos poseen características que brindan seguridad en las vías, las cuales son, la rugosidad, la solidez y la demarcación de carriles. (Cipriano, 2022)

2.2.1.1.3 FUNCIONALIDAD

Un pavimento debe caracterizarse por ser funcional, esto indica que el pavimento carece de fallas estructurales como también de fallas superficiales, debido a que se necesita que la circulación de los vehículos sea lo más fluida posible. (Cipriano, 2022)

2.2.1.2 COMPONENTES ESTRUCTURALES DEL PAVIMENTO

2.2.1.2.1 SUBRASANTE

Se distingue por presentar una capa con más profundidad y con mayor espesor de toda la configuración de estratos del pavimento, y tiene interacción inmediata con el terreno natural de fundación. Es importante que esté compactado adecuadamente para brindar sostenibilidad a la estructura conformada por el pavimento. (Pérez, 2023)

2.2.1.2.2 SUBBASE

Es la capa que está situada en la zona intermedia de la configuración estructural del pavimento, por lo general se coloca entre dos capas, una es la base y la otra es la subrasante. Tiene como objetivo principal brindar soporte a su capa superior, la cual es la base y también se encarga de distribuir los esfuerzos proporcionados por el movimiento automotor. La subbase está integrada por materiales finos, arcilla y arena. (Pérez, 2023)

2.2.1.2.3 BASE

Está formada por exactamente los mismos materiales que componen la subbase y está localizada en la parte inferior inmediata de la capa de asfalto con el objetivo de ofrecer soporte frente a las solicitudes que propaga el tráfico vehicular directamente a los estratos del pavimento, lo recomendable es que tenga un espesor considerable para poder transmitir las presiones a la capa inferior. (Pérez, 2023)

2.2.1.2.4 SUPERFICIE DE RODADURA

Por lo general, está formado por un conjunto de agregados pétreos, al cual se le incorpora el asfalto que cuenta con la función principal desempeñar el papel de sustancia vinculante. El objetivo primordial de la superficie de rodadura es transmitir las solicitudes del flujo vehicular de forma directa a la capa inferior, la cual es la base, como

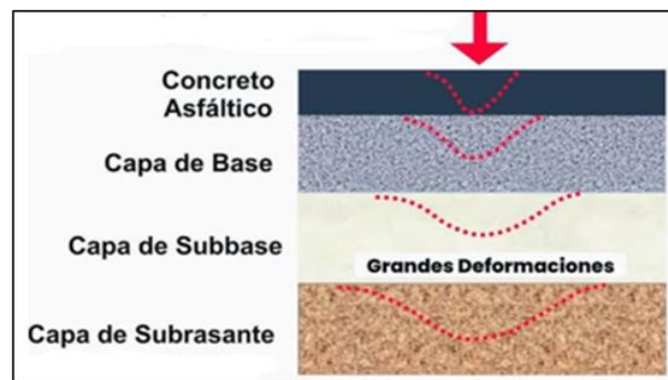
también tiene como función brindar una superficie lisa para que la circulación vehicular sea fluida. (Pérez, 2023)

2.2.1.3 PAVIMENTO FLEXIBLE

Se define como toda estructura que está compuesta por una capa de asfalto, por agregados finos y gruesos, como también por un material bituminoso obtenido del petróleo. El pavimento flexible está integrado por base, subbase y la subrasante, por lo tanto, la capa que menos carga resistirá es la que se encuentra en la parte inferior de la estructura. El periodo de servicio de este tipo de pavimento es de entre 8 y 20 años. (Gutiérrez, 2021)

Figura 1

Configuración del pavimento flexible



Nota: El Inge (2024)

2.2.1.4 ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD DEL PAVIMENTO (PSI)

Se considera como una magnitud cuantitativa que refleja el nivel de servicio funcional que un pavimento ofrece a los usuarios, basado en su comodidad de rodadura, rugosidad, deformaciones y deterioros superficiales como baches y grietas que presenta la vía pavimentada en la actualidad. (AASHTO 93, 1993)

La serviciabilidad es una medida del confort y seguridad que percibe el usuario al transitar sobre un camino pavimentado, y se expresa cuantitativamente mediante el PSI, cuyo valor varía típicamente entre 0 (inservible) y 5 (excelente condición). (Huang, 2004)

Figura 2

Índice de serviciabilidad del pavimento

Índice de Serviciabilidad	Calificación
0 - 1	Muy Mala
1 - 2	Mala
2 - 3	Regular
3 - 4	Buena
4 - 5	Muy Buena

Nota: AASHTO 93 (1993)

2.2.2 MÉTODO AASHTO 93

El presente mecanismo se usa con el fin de realizar el diseño de caminos pavimentados, usa una formulación mediante la cual se consigue la variable nombrada número estructural (SN), el mismo que es primordial para calcular los espesores estructurales. Como se mencionó previamente, la fórmula se encuentra vinculada directamente a factores como el flujo vehicular, niveles de servicio y confiabilidad, entre otros factores. (García, 2015)

2.2.2.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

El procedimiento AASHTO 93, utiliza diversos parámetros, los cuales están asociados a ensayos y evaluaciones de campo. La primera variable a investigar y calcular será el tiempo de diseño para la carretera en revisión, el que está relacionado directamente de la categoría de la vía que se pretende construir, para ello se empleará la tabla 01. (Morales, 2012)

Tabla 1*Periodo de análisis y diseño*

Tipo de carretera	Periodos (años)	
	Análisis	Diseño
Urbana con altos volúmenes de tránsito	25-50	30-50
Interurbana con altos volúmenes de tránsito	15-50	20-50
Pavimentada con bajo volúmenes de tránsito	10-25	15-25
Afirmada con bajos volúmenes de tránsito	10-20	10-20

Nota: Guía AASHTO 93 (1993)

2.2.2.1.1 CÁLCULO DEL ÍNDICE MEDIO DIARIO ANUAL (IMDA)

Paso 01. Se desarrollará la medición del flujo vehicular los 7 días de la semana, en un intervalo de tiempo de 24 horas, de los cuales se anotarán los valores de manera física en las fichas de aforo vehicular, el cual se evidencia en la figura 03.

Figura 3*Formato de registro vehicular*

ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR																					
TRAMO DE LA CARRETERA										ESTACION											
SENTIDO										DIA											
UBICACION										FECHA											
HORA	MOTOS	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	PANEL	RURAL COMM.	MICRO	2 E	3 E	2 E	3 E	4 E	25/252	253	35/352	353	2T2	2T3	3T2	3T3	TOTAL
0-1																					
1-2																					
2-3																					
3-4																					
4-5																					
5-6																					
6-7																					
7-8																					
8-9																					
9-10																					
10-11																					
11-12																					
12-13																					
13-14																					
14-15																					
15-16																					
16-17																					
17-18																					
18-19																					
19-20																					
20-21																					
21-22																					
22-23																					
23-24																					
TOTALES																					

Nota: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018)

Paso 02. Se efectuará un modelo de compendio del aforo vehicular realizado, con la finalidad de calcular el IMD por día y semana, para posteriormente calcular el productor

con el factor de corrección estacional y recalcular el IMD corregido.

2.2.2.1.2 CÁLCULO ESAL DE DISEÑO

El ESAL se determinará para un intervalo de diseño sugerido por el encargado del expediente técnico, con un lapso de vida útil conservador, de tal manera que se garantice el diseño de la configuración del pavimento, finalmente se emplearán las condiciones de carga y condiciones de incremento por año de vehículos. (AASHTO, 1993)

Paso 01. En la tabla 2, se deberá precisar la cantidad de calzadas, sentidos y carriles por sentido de la vía en estudio y posterior ejecución, con el propósito de conseguir el factor direccional y carril, el mismo que al definir el producto nos dará el factor promedio por carril de vía.

Tabla 2

Factores para carril de diseño

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor direccional (Fb)	Factor Carril (Fc)	FdxFc
1 calzada (para IMDa total de la calzada)	1 sentido	1	1	1	1
	1 sentido	2	1	0.8	0.8
	1 sentido	3	1	0.6	0.6
	1 sentido	4	1	0.5	0.5
	2 sentidos	1	0.5	1	0.5
	2 sentidos	2	0.5	0.8	0.4
2 calzada con separador central (para IMDa total de calzada)	2 sentidos	1	0.5	1	0.5
	2 sentidos	2	0.5	0.8	0.4
	2 sentidos	3	0.5	0.6	0.3
	2 sentidos	4	0.5	0.5	0.25

Nota: Guía AASHTO 93 (1993)

Paso 02. Se reconoce el lugar del estudio técnico para definir la tasa por año de aumento vehicular y estimamos un periodo de diseño en conformidad con la categoría del camino pavimentado, con la intención de diferenciar el factor de aumento vehicular, para ellos se empleará la siguiente fórmula:

$$FC = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

Donde:

n: Cantidad de años del período de diseño

r: Tasa anual de aumento vehicular

Paso 03. Seguidamente, se debe conseguir el factor de carga efectuando los determinados procesos numéricos con la medida estandarizada de eje equivalente, empleando a modo de guía las estimaciones visualizadas en la figura 04, tomando en consideración las diversas disposiciones de ejes vehiculares pesados, las cuales se puede evidenciar en la tabla 03 para cada modelo de estructura de vía.

Figura 4

Configuración de ejes vehiculares

Conjunto de Eje (s)	Nomenclatura	N° de Neumáticos	Grafico
EJE SIMPLE (Con Rueda Simple)	1RS	02	
EJE SIMPLE (Con Rueda Doble)	1RD	04	
EJE TANDEM (1 Eje Rueda Simple + 1 Eje Rueda Doble)	1RS + 1RD	06	
EJE TANDEM (2 Ejes Rueda Doble)	2RD	08	
EJE TRIDEM (1 Rueda Simple + 2 Ejes Rueda Doble)	1RS + 2RD	10	
EJE TRIDEM (3 Ejes Rueda Doble)	3RD	12	

Nota: Manual de Carreteras (2018)

Seguidamente, se presenta la siguiente tabla, donde se puede verificar la interacción de cargas con los ejes equivalentes vehiculares.

Tabla 3

Relación de carga por eje

Tipo de eje	Eje Equivalente EE 8.2 tn
Eje Simple de Ruedas simples EES1	$EES1 = [P/6,6]^{4.0}$
Eje Simple de Ruedas dobles EES2	$EES2 = [P/8,2]^{4.0}$
Eje Tándem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) EETA1	$EETA1 = [P/14,8]^{4.0}$
Eje Tándem (2 ejes ruedas dobles) EETA2	$EETA2 = [P/15,1]^{4.0}$
Eje Tándem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) EETR1	$EETR1 = [P/20,7]^{3.9}$
Eje Trídem (3 ejes ruedas dobles) EETR2	$EETR2 = [P/6,6]^{3.9}$
P = peso real por eje en toneladas	

Nota: Manual de Carreteras (2018)

Paso 04. Juntando la totalidad de los datos, continuamos efectuando la operación matemática para obtener el ESAL en función a la siguiente expresión:

$$ESAL = \left(\sum_{i=1}^m p_i \times F_i \times p \right) \times (IMDi) \times (FC) \times (Fd)$$

Donde:

p_i : Tasa de la totalidad de la totalidad de iteraciones

F_i : Relación de equivalencia de carga por eje

$IMDi$: Índice medio diario.

FC : Coeficiente de incremento para un intervalo de diseño

Fd : Coeficiente direccional.

Fc : Coeficiente de distribución por carril.

2.2.2.1.3 CÁLCULO DEL CBR DE DISEÑO

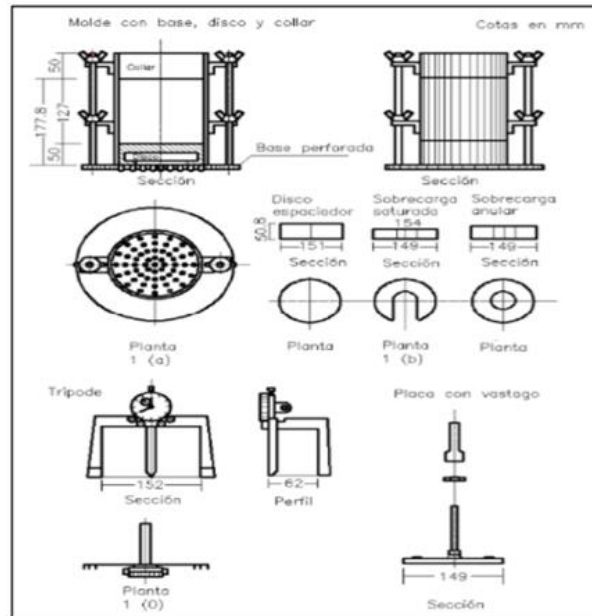
Las estimaciones del CBR son fundamentales para identificar la capacidad de carga de la subrasante y de los agregados que se emplearán para los demás estratos del camino pavimentado. En propuestas viales donde se puedan calcular desde 7 en adelante valores de CBR, los cuales correspondan a un determinado punto del tramo en estudio, el CBR de diseño se calculará de acuerdo con el valor más desfavorable de todos los puntos evaluados. (Padilla, 2019)

En las zonas donde se registre un CBR inferior a 6 para una categoría de suelo típico o de pronto con rasgos uniformes, la estimación de CBR de un plan vial se establecerá atendiendo estas directrices: si las estimaciones son semejantes, se adoptará la suma dividida entre la cantidad de puntos; si presentan diferencias, se tomará la menor estimación hallada crítico más bajo o en todo caso se podrán separar en subgrupos con CBR similar y calcular la media de cada grupo. Además, la distancia entre calicatas no deberá ser menor a 100 metros. (Padilla, 2019)

Los instrumentos y equipamiento principales requeridos en favor de la obtención de datos y la determinación del CBR se detallan en el instructivo de ensayos de agregados, siendo un elemento el cual ilustra en la Figura 5.

Figura 5

Equipos adaptados para obtener el número de golpes



Nota: Instructivo de Ensayo de Materiales (2016)

A partir de la curva se determinan los datos de penetración de fuerza de 2.55 mm y 5.09mm, determinando los datos relacionados de carga/tensión en pendiente estándar y calculando el producto por 100, seguidamente se obtendrán los datos calculados 6.8 Mpa y 10.4 Mpa. El apoyo estándar para suelo normal es de 2.55 mm, sin embargo, mientras que la penetración es mayor a 5.09 mm, se deberá volver a realizar el ensayo. Si el ensayo de control proporciona datos parecidos, se debe emplear una tasa de penetración de 5.09mm. (Padilla, 2019)

2.2.2.1.4 MÓDULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (MR)

Es el criterio que tiene como objetivo mostrar el comportamiento y características geotécnicas, los cuales se usarán en la configuración del pavimento, tomando en consideración la magnitud del CBR hallado. (Gómez y Rodríguez, 2015)

Para estimar el módulo de resiliencia se recomienda utilizar la relación matemática que se evidencia seguidamente:

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

2.2.2.1.5 NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)

Se considera como coeficiente expresado en porcentaje, el cual se otorga conforme la clase de vía, el cual se pretende estudiar, la tabla 04 evidencia los valores que se deben asumir, el objetivo es realizar el diseño con los criterios y normas en concordancia con el tiempo de vida, siguiendo exigentes parámetros ecológicos y climáticos a las cuales están expuestos. (Lisandro, 2016)

Tabla 4

Niveles de confiabilidad conforme al tipo de vía

<i>Clasificación funcional</i>	<i>Nivel de confiabilidad urbana (%)</i>	<i>Nivel de confiabilidad rural (%)</i>
<i>Arteriales y vías rápidas</i>	85-99.9	80-99.9
<i>Arteriales principales</i>	80-99	75-95
<i>Colectoras</i>	80-95	75-95
<i>Locales</i>	50-80	50-80

Nota: Guía AASHTO 93 (1993)

2.2.2.1.6 DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (ZR)

Esta variable está estrictamente vinculada con el grado de confiabilidad, esto se puede evidenciar en la tabla 5.

Tabla 5*Estimaciones de Desviación Estándar Normal*

Confiabilidad (R%)	Valor de ZR
50	0
60	-0.253
70	-0.524
80	-0.841
90	-1.282
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.09
99.99	-3.75

Nota: Guía AASHTO 93 (1993)**2.2.2.1.7 DESVIACIÓN ESTANDÁR (SO)**

Se establece como el fallo de diseño de la modificación de las características de los agregados empleados, por ejemplo, la modificación de las características de la subrasante, modificación de la predicción de flujo vehicular y las modificaciones respecto a condiciones del diseño realizado, en consecuencia, se tomarán en cuenta los parámetros prácticos definidos por el método AASHTO 93. (Menéndez, 2015)

En concordancia con la categoría del pavimento, teniendo presente una evolución actual de la vía, esto se puede evidenciar en la tabla 6.

Tabla 6*Estimaciones sugeridas para la Desviación estándar*

Condición	Pavimento Rígido	Pavimento Flexible
En construcción nueva	0.35	0.40
En sobrecapas	0.45	0.50

Nota: Guía AASHTO 93 (1993)

2.2.2.1.8 NIVEL DE SERVICIABILIDAD (ΔPSI)

Está estrictamente vinculada con el confort y seguridad que pretenden ofrecer a los conductores que transitan por la carretera. Los factores de rendimiento preliminar(P_o) y definitivo(P_t), son indicadores que aportan a hallar la falta de serviciabilidad de una determinada vía y tienen que examinar en el intervalo de 0 a 5. Estos factores muestran el valor conceptual, en consecuencia, el valor cero, evidencia el valor más crítico. (Ibáñez, 2022)

Es factible calcular los indicadores a través de la relación matemática siguiente:

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

Donde:

ΔPSI : Variación en relación de los indicadores de servicio inicial y final.

P_o : Índice de servicio inicial (4,5 en pavimentos rígidos y 4,2 en flexibles).

P_t : Índice de servicio final (sugirió 2,5 y 3,0 para vías principales)

2.2.2.1.9 CÁLCULO DE COEFICIENTES DE DRENAJE (m_i)

La guía AASHTO 93 toma en consideración la valoración del coeficiente de drenaje de acuerdo con dos aspectos: el nivel de drenaje del tipo de pavimento, el cual se define como el intervalo de tiempo que demora el líquido en apartarse del pavimento, otro aspecto importante es hallar el porcentaje de periodo en que tarda en purificar el líquido en contextos donde llueva.

Respecto a la eficiencia del drenaje a utilizar se emplea la tabla 7.

Tabla 7*Eficiencia de drenaje*

Calidad de drenaje	Tiempo que tarda el agua en ser evacuada
Excelente	2 horas
Bueno	2 día
Regular	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	El agua no drena

Nota: Guía AASHTO 93 (1993)

Para las estimaciones sugeridas respecto a la calidad de la evacuación de agua pluvial se emplea la tabla 8.

Tabla 8*Estimaciones sugeridas para el Drenaje*

Calidad de drenaje	Porcentaje de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad, próximos a la saturación			
	Menos del 1%	1% a 5%	5% a 25%	Más del 25%
Excelente	1,40 – 1,35	1,35 – 1,30	1,30 – – 1,20	1,20
Bueno	1,35 – 1,25	1,25 – 1,15	1,15 – – 1,00	1,00
Regular	1,25 – 1,15	1,15 – 1,05	1,00 – – 0,80	0,80
Malo	1,15 – 1,05	1,05 – 0,80	0,80 – – 0,60	0,60
Muy malo	1,05 – 0,95	0,95 – 0,75	0,75 – – 0,40	0,40

Nota: Guía AASHTO 93 (1993)

2.2.2.1.10 CÁLCULO DE NÚMEROS ESTRUCTURALES (SN)

La guía AASHTO 93 indica que el diseño del paquete estructural del pavimento es más conveniente para vías con un desplazamiento automotor mayor a 8.2 Ton. Se tomará en consideración la siguiente relación matemática con el fin de ejecutar la estimación pertinente:

$$\begin{aligned} \log W_{18} = Z_R \times S_0 + 9.36 \times \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \left(\frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}\right)} \\ + 2.32 \times \log Mr - 8.07 \end{aligned}$$

Donde:

W18 = Cantidad de repeticiones de ejes equivalentes de 18 kip

SN = Número estructural.

ΔPSI = Variación entre los índices de servicio inicial y final.

Mr = Módulo de resiliencia (libras/pg2).

So = Desviación estándar

ZR = Desviación estándar Normal

2.2.2.1.11 CÁLCULO DE ESPERORES ESTRUCTURALES (Di)

Seguidamente de calcular el número estructural, se podrá establecer las dimensiones estructurales del camino pavimentado, los cuales conformarán el paquete estructural diseñado.

Se usará la siguiente ecuación:

$$SN = a1 \times D1 + a2 \times m2 \times D2 + a3 \times m3 \times D3$$

Donde:

a1: Coeficiente estructural la superficie asfáltica

a2: Coeficiente estructural de la base

a3: Coeficiente estructural de la subbase

m2, m3: Coeficiente de drenaje de la base y subbase

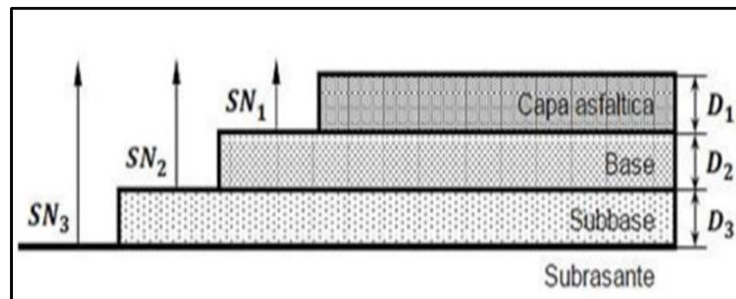
D1: Dimensión de la superficie asfáltica

D2: Dimensión de la base

D3: Dimensión de la subbase

Figura 6

Capas del Pavimento Flexible

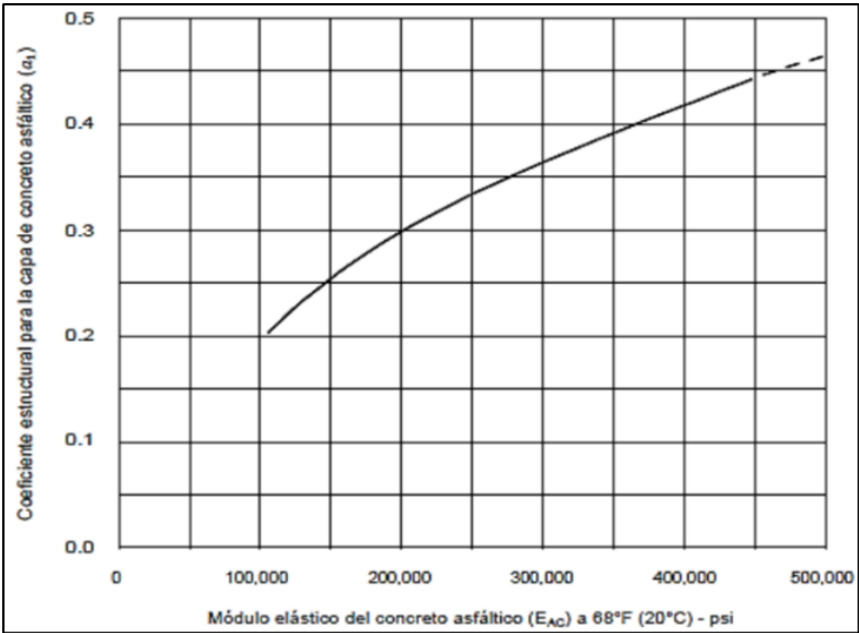


Nota: Guía AASHTO 93 (1993)

Posteriormente, se calcularán los factores de cada estrato (a_1), (a_2), (a_3) por medio de los gráficos de la Figura 7, Figura 8 y Figura 9 que facilita el instructivo AASHTO 93, de modo que recurrimos al Módulo de Elasticidad y la estimación del CBR de laboratorio obtenido.

Figura 7

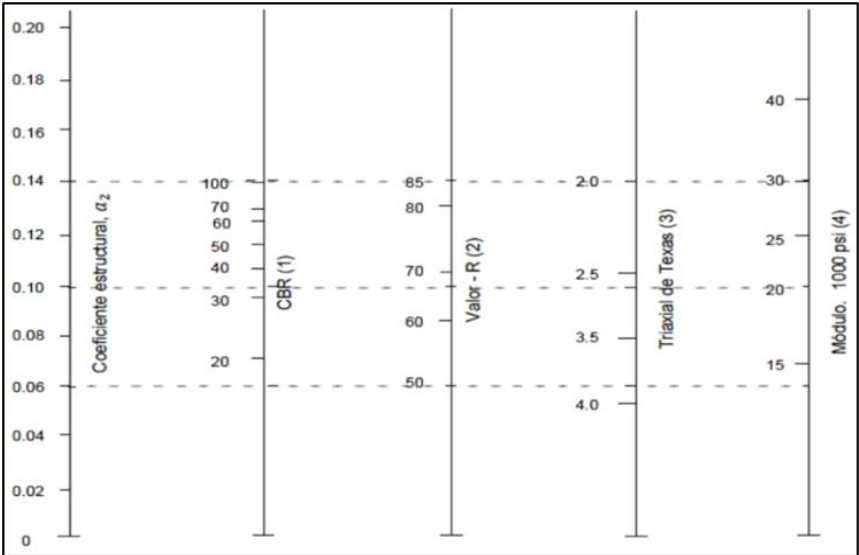
Gráfico para encontrar el coeficiente estructural “a1”



Nota: Guía AASHTO 93 (1993)

Figura 8

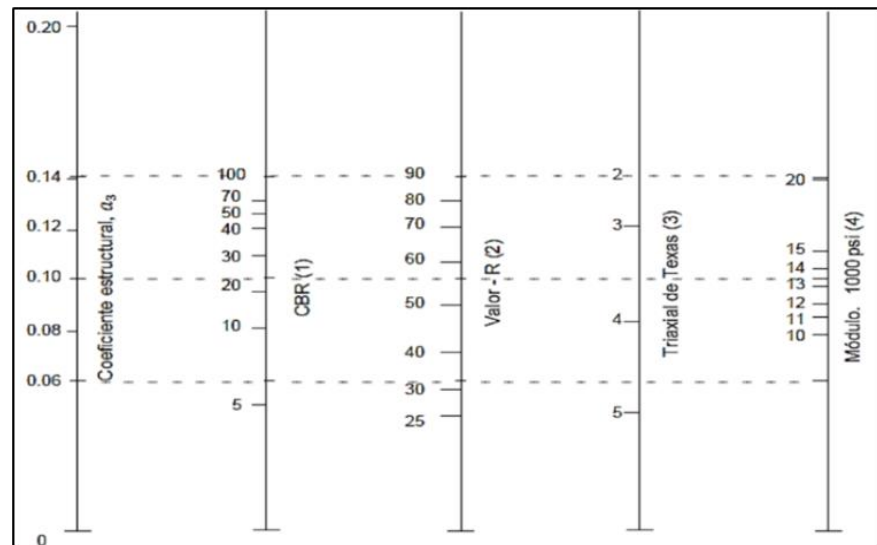
Gráfico para encontrar el coeficiente estructural “a2”



Nota: Guía AASHTO 93 (1993)

Figura 9

Gráfico para encontrar el coeficiente estructural “a3”



Nota: Guía AASHTO 93 (1993)

2.2.3 CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE

Se define como la resistencia del suelo, en torno al que se ejecuta una vía pavimentada o infraestructura vial, con la finalidad de soportar las tensiones desarrolladas por el flujo vehicular y repartir apropiadamente sin desplazarse de manera excesiva o en el peor de los casos, fallar. (Gómez, 2014)

2.2.3.1 FACTORES QUE DETERMINAN LA CAPACIDAD DE SOPORTE

- Tipo de suelo (granular, arcilloso, limoso, etc.)
- Contenido de humedad
- Densidad del suelo
- Compactación
- Evidencia de suelos expansivos
- Características climáticas

2.2.3.2 MÉTODOS PARA ESTIMAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE

2.2.3.2.1 CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO)

- Se muestra en expresiones de %, en cuanto sea superior, será más apropiado la resistencia
- Estimaciones características: 25%: buena resistencia, 5%-25%: resistencia media, <5%: resistencia mala

2.2.3.2.2 VRS (Valor relativo de soporte)

- Es un procedimiento parecido al CBR, empleado en varios países de Sudamérica.
- Es un procedimiento que nos facilita definir con precisión la capacidad de soporte.

2.2.3.2.3 ENSAYOS DE LABORATORIO

- Se deberá ejecutar inicialmente el ensayo proctor modificado para poder conocer exactamente la densidad máxima seca de la muestra en estudio.
- Posteriormente se deberá realizar el ensayo CBR, tomando en consideración las medidas recomendadas, con la finalidad de calcular el CBR al 95% de su DMS.

2.2.3.3 MÉTODOS PARA OPTIMIZAR LA CAPACIDAD DE SUBRASANTE

- Compactar de manera correcta
- Consolidación con cal, cemento u otro tipo de material
- Uso de subbase y base granulares
- Implementar un drenaje eficaz

2.2.4 ESTUDIO DE TRÁFICO

Se considera una evaluación técnica que presenta como propósito evaluar e interpretar valores vinculados con el flujo vehicular en el lugar o vía de estudio, teniendo la finalidad de optimizar el nivel de servicio y seguridad de la carretera pavimentada y de esa manera programar infraestructuras viales funcionales. (Manual de Seguridad Vial, 2017)

2.2.4.1 OBJETIVOS DEL ESTUDIO DE TRÁFICO

- Analizar el nivel de servicio de las carreteras.
- Determinar dificultades de congestión saturación vehicular

- Planificar la solicitud futura de flujo vehicular
- Recomendar posibles estrategias técnicas (optimización de semáforos, añadir más carriles por dirección, etc.).
- Elaborar un proyecto de intersección a desnivel, señalizaciones, estaciones, entre otros.

2.2.4.2 METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE TRÁFICO

- Se efectuará la acumulación de registros en campo, mediante las observaciones y posteriores apuntes, por intermedio de encuestas, entre otros.
- Se procederá a la examinación de datos en un determinado programa de simulación como son (VISSIM, SYNCHRO, etc.)
- Estimación de aumento de flujo vehicular, a través de estudio de crecimiento vehicular.
- Estudios frecuentes para la optimización vial.

2.2.5 ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI)

Se toma en cuenta un criterio que mide la irregularidad de forma longitudinal de la sección asfáltica del camino pavimentado, la unidad que se manejará será en metros sobre kilómetros. El presente indicador muestra el confort y tiene vínculo directo con la condición funcional de la vía. (Sayers, Gillespie & Queiroz, 1986)

2.2.5.1 IMPORTANCIA DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL

El IRI está delimitado como una de las variables más fiables a nivel mundial para analizar la condición funcional de las vías pavimentadas, dado que evidencia la opinión de los conductores en referencia al servicio que ofrece una determinada vía, aparte de estar relacionado con el desgaste de los vehículos y los presupuestos elevados de intervención. Basado en lo que menciona el instructivo AASHTO 93, el IRI es un parámetro esencial en los proyectos de mejora de vías pavimentadas como también su diseño.

2.2.5.2 CLASIFICACION DE VALORES DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL

La Federal Highway Administration (FHWA, 2006) toma en consideración niveles de condición funcional, tomando en consideración las estimaciones de los valores de IRI:

- **Muy bueno:** < 1.5 m/km
- **Bueno:** 1.5 – 2.5 m/km
- **Regular:** 2.5 – 3.5 m/km
- **Malo:** > 3.5 m/km

2.2.5.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL INDICE DE REGULARIDAD

- Porcentaje del área deteriorada del camino pavimentado en examinación, es crucial para definir el IRI.
- Profundidades de ahuellamientos que se encuentran en la vía, anotando los más críticos.

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

- **Pavimento:** Se conceptualiza como una capa de superficie artificial, donde existen dos tipos: flexible y rígida, está formada por diversos tipos de elementos que tienen el objetivo de generar capacidad de soporte a la vía frente a cargas de tránsito vehicular. (Ceballos, 2019)
- **Subrasante:** Es un componente fundamental que pertenece al paquete estructural de la pavimentación, está localizada en la parte inferior de la subbase, adyacente a ella, dispone de un rol de suma importancia, la cual consta en repartir los esfuerzos distribuidos generadas por el tránsito en la capa asfáltica, de forma uniforme sobre el suelo. (González y Ruiz, 2018)
- **Subbase:** Se establece como un estrato que está integrado por una serie de agregados, que se sitúan encima de la subrasante y por debajo de la base del camino pavimentado. Su tarea prioritaria es servir como apoyo a la estructura y distribuir uniformemente a la subrasante el peso del tráfico automotor. (Cárdenas, 2016)

- **Base:** Es la capa que está posicionada en la zona superior de la subbase y en la parte inferior de la superficie de rodadura y está compuesta por una serie de materiales entre finos y gruesos. Tiene el objetivo principal de brindar resistencia a la estructura del pavimento, debe diseñarse correctamente, ya que el espesor de este estrato deberá ser suficiente para resistir de manera óptima los pesos de tránsito vehicular. (Santo y Diaz, 2014)
- **Superficie de rodadura:** Es la parte de una vía por donde transitan los carros, se encuentra posicionada en la zona superior de la estructura del camino pavimentado y puede estar compuesto de un material asfáltico bituminoso o de concreto simple. (Gonzales, 2014)
- **Erosión:** Se denomina el deterioro y desgaste del estrato superior del camino pavimentado, propiciado por la intemperie al que se encuentra sometido el pavimento. (Goudie, 2013)
- **Intemperismo:** Se define como la modificación de rocas, los cuales sufren alteraciones debido al factor climático, como el aire o la temperatura del ambiente, lo que ocasionan son la desintegración de materia o descomposición química. (Press y Siever, 2001)
- **Transitabilidad:** Se delimita como la capacidad que tiene una carretera para admitir el tránsito automotor brindado las garantías correspondientes, de eficiencia y seguridad. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)
- **Serviciabilidad:** Se delimita igual que la apreciación del estado real de cómo está hallada situacionalmente la capa asfáltica de un fijado pavimento, que evidencia un usuario. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).
- **Asfalto:** Se caracteriza como un material asfáltico, el cual está compuesto por betunes de fuente natural, los cuales son extraídos por intermedio de la purificación de petróleo. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).
- **Evaluación de tráfico vehicular:** Se define como la investigación que tiene como objetivo medir la cifra de unidades de transporte que se desplazan por una ruta señalada, se denomina al presente estudio

como importante para calcular los factores de configuración de la vía pavimentada. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

- **Guía AASHTO 93:** Se implementa para el diseño de vías pavimentadas, donde se usa el mencionado número estructural, el cual es importante para definir cuáles son las dimensiones de que corresponda al estrato del pavimento (superficie de rodadura, base y subbase). (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).
- **Índice de serviciabilidad:** Corresponde a la variable numérica que determina la condición funcional del pavimento, el cual está directamente relacionado a su capacidad de otorgar una capa de rodadura, con un confort importante y sobre todo una vía segura para los conductores. (AASHTO 93, 1993)
- **Capacidad de soporte de subrasante:** Es la facultad con la que cuenta el terreno natural, para sostener esfuerzos que influyen encima de ella, usualmente demandas de flujo vehicular. (Bermúdez, 2008)
- **Diseño de pavimentos:** Se define como el procedimiento de programación, predimensionamiento y determinación de materiales que serán con la cuales se efectuará el proceso de construcción del pavimento, teniendo como intención primordial la de resistir las cargas del flujo vehicular en el transcurso de su vida útil. (Bermúdez, 2008)
- **Mejoramiento vial:** Se precisa como un conjunto de tareas encaminadas a potenciar el confort de una determinada carretera, con la finalidad de que el índice de servicio sea alto y de esa forma otorgar un servicio notable a los usuarios. (Domínguez, 2018)
- **Índice de regularidad internacional (IRI):** Se considera un medidor que cuantifica la irregularidad longitudinal de la vía pavimentada y muestra el confort y nivel de servicio de una determinada carretera. (Sayers, Gillespie y Queiroz 1986)
- **Deterioro de pavimento:** Se conceptualiza como una serie progresiva de deterioros físicos del pavimento, a causa de varios factores como son: alto flujo vehicular, clima y falta de mantenimientos periódicos, influyendo de manera negativa en la facultad de otorgar un traslado seguro para los usuarios. (Haas, Hudson y Zaniewski 1994)

- **Profundidad de ahuellamiento:** Se define como la deformación continua que se origina en la capa asfáltica, a consecuencia de la reiteración de cargas ocasionadas por la demanda vehicular y de la falta de capacidad de la estructura diseñada para soportar mencionadas cargas, lo que ocasiona un hundimiento longitudinal que perjudica directamente a la serviciabilidad de la vía.

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL

HIPÓTESIS ALTERNATIVA: El tramo Puente Huancachupa km 167+000 – Vichaycoto km 173+000 presenta una condición funcional deficiente, evaluada mediante el Índice de Regularidad Internacional (IRI), por lo que se requiere un rediseño estructural del pavimento flexible.

HIPÓTESIS NULA: El tramo Puente Huancachupa km 167+000 – Vichaycoto km 173+000 no presenta una condición funcional deficiente, evaluada mediante el Índice de Regularidad Internacional (IRI), por lo que no se requiere un rediseño estructural del pavimento flexible.

2.5. VARIABLES

2.5.1 VARIABLE DEPENDIENTE

Rediseño Estructural de Pavimento Flexible

2.5.2 VARIABLE INDEPENDIENTE

Condición Funcional

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Se especificará en la siguiente tabla:

Tabla 9

Operacionalización de Variables

Variable	Definición Conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Valores	Tipo de variable	Medición		Instrumento de medición
							Escala	Especificaciones	
Rediseño de Pavimento Flexible	Es el proceso técnico mediante el cual se evalúa y modifica la estructura de un pavimento flexible existente para adaptarla a nuevas condiciones de operación y tránsito, con el fin de garantizar su adecuada capacidad estructural y prolongar su vida útil. (Huang, 2004)	El Rediseño de pavimento flexible será evaluado mediante estudio de suelos, estudio de tráfico y el Método AASHTO 93.	Estudio de mecánica de suelos	Granulometría	6>Cu>4 (muy uniforme), Cu>6 (muy bien graduado) y 1≤Cc≤3.	Variable Numérico - Cuantitativa-Razón	%	ASTMC-136 /MTC E202 ASTM D 1140/MTC E 204	Juego de tamices y tamizadora, balanza, horno.
				Contenido de Humedad	w<5% (baja), 5–15% (media), >15% (alta)	Variable Numérico - Cuantitativa-Razón	%	ASTM C-232/MTC E-215	Cápsulas, balanza de precisión, horno;
				CBR	<3 (muy mala), 3–5 (mala), 5–10 (regular), 10–20 (buena), >20 (muy buena)	Variable Numérico - Cuantitativa-Razón	%	ASTM D1883 – Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR)	Molde Proctor, Martillo de compactación para Proctor Modificado, Moldes CBR
			Estudio de trafico	Índice Medio Diario Anual (IMDA)	<400 (muy bajo), 400–2 000 (bajo), 2 000–7 000 (medio), 7 000–15 000 (alto), >15 000 (muy alto)	Variable Numérico - Cuantitativa-Razón	Veh/día	Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018. (Capítulo 3: Tránsito)	Aforos vehiculares
				Tasa de crecimiento vehicular (TCV)	2-3% (bajo) 3-5% (medio) 5-7% (alto)	Variable Numérico - Cuantitativa-Razón	%	Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018. (Capítulo 3: Tránsito)	Hoja de cálculo vehicular
				Carga equivalente por eje único (ESAL)	0.5–2.0 millones (bajo), 2–5 millones	Variable Numérico - Cuantitativa-Razón	EE	Manual de Carreteras – Suelos, Geotecnia y Pavimentos. Parte	Hoja de cálculo vehicular

			(medio), 5–10 millones (alto), >10 millones (muy alto)		3: Pavimentos flexibles				
Método AASHTO 93			Módulo de resiliencia	Subrasante 100–200 MPa; subbase 150–300 MPa; base 250–450 MPa	Variable Numérico - Cuantitativa-Razón	Mpa	AASHTO 93	Manual AASHTO 93	
			Coeficientes de drenaje	m < 0.90 Deficiente 0.90<m<1.10 Regular	Numérico - Razón	adimensional	AASHTO 93	Ábacos ASHSTO 93	
			Números estructurales	2.5–6.0	Variable Numérico - Cuantitativa-Razón	adimensional	AASHTO 93	Ábacos ASHSTO 93	
			Espesores estructurales	Carpeta asfáltica 5–20 cm; Base granular 10–30 cm; Subbase 10–35 cm	Variable Numérico - Cuantitativa-Razón	cm	AASHTO 93	Ábacos ASHSTO 93	
			Índice de regularidad internacional (IRI)	0–2 (muy bueno), 2–4 (bueno), 4–6 (regular), 6–8 (malo), >8 (muy malo)	Variable Numérico - Cuantitativa-Razón	m/km	Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – MTC (2013)	Regla de 3 metros + cuñas, Equipo Merlín	
Independiente	La condición funcional del pavimento se refiere a la capacidad del pavimento para proporcionar una superficie segura, cómoda y eficiente para el tránsito vehicular, sin considerar su capacidad estructural. (PIARC, 2019)	Mejora de la condición funcional del pavimento será medida mediante el Índice de serviciabilidad (PSI)	Índice de serviciabilidad del pavimento (PSI)	Porcentaje de área deteriorada	0–5 (muy bueno), 5–10 (bueno), 10–25 (regular), 25–40 (malo), >40 (muy malo)	Variable Numérico - Cuantitativa-Razón	%	Manual de Carreteras: Mantenimiento Periódico – MTC (2018)	Cinta métrica, plantilla de registro
				Profundidad de ahuellamiento	<10 (leve), 10–15 (moderado), 15-20 (Alto), >20 (Severo).	Variable Numérico - Cuantitativa-Razón	mm	Manual de Carreteras: Mantenimiento Periódico – MTC (2018)	Regleta/Regla transversal

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

a) Según la intervención del investigador

La investigación se clasifica como observacional, debido a que no se realiza manipulación de variables ni intervención directa sobre el tramo vial en estudio. El trabajo se centra en la recolección de datos en campo, tales como la capacidad de soporte de la subrasante (CBR), el volumen de tránsito y la condición funcional del pavimento mediante el Índice de Regularidad Internacional (IRI), con la finalidad de caracterizar su estado actual, a partir de la información obtenida, se desarrollan procedimientos de análisis y cálculo utilizando metodologías técnicas como AASHTO 93 y normativas del MTC, orientadas a la formulación de una propuesta de rediseño estructural.

b) Según el control de la variable de estudio

La investigación se clasifica como prospectiva, debido a que los datos principales fueron recolectados directamente en campo durante el desarrollo del estudio, tales como los ensayos de CBR, el aforo de tránsito y la medición del IRI. Asimismo, se complementa con información secundaria de carácter normativo, como las especificaciones del MTC y el método AASHTO 93.

c) Según la cantidad de mediciones sobre la variable de estudio

La investigación se clasifica como de tipo transversal, debido a que la recolección de datos se realizó en un único periodo de tiempo, sin efectuar seguimiento longitudinal ni mediciones posteriores a una intervención. En este sentido, las variables como la condición funcional del pavimento (IRI), la capacidad de soporte (CBR) y el volumen de tránsito (IMDA) fueron evaluadas en su estado actual, permitiendo describir y caracterizar la situación del tramo en el momento del estudio, sin establecer evolución temporal ni relaciones causales.

d) Según la cantidad de variables analíticas

La investigación presenta un enfoque descriptivo–aplicativo, ya que no se busca establecer relaciones de dependencia o causalidad entre variables. En ese sentido, las variables consideradas, como la condición funcional del pavimento (IRI), la capacidad de soporte (CBR) y la demanda de tránsito (IMDA/ESAL), son analizadas de manera independiente con fines de caracterización y cálculo, sirviendo como base para la formulación de una propuesta de rediseño estructural del pavimento flexible.

3.1.1 ENFOQUE

La investigación presenta un enfoque cuantitativo, debido a que se basa en la recolección y análisis de datos numéricos obtenidos mediante mediciones de campo, tales como el Índice de Regularidad Internacional (IRI), la capacidad de soporte de la subrasante (CBR) y el volumen de tránsito (IMDA/ESAL). Estos datos son procesados mediante procedimientos técnicos y cálculos estructurales, empleando metodologías como AASHTO 93 y normativas del MTC, con la finalidad de evaluar la condición funcional del pavimento y formular una propuesta de rediseño estructural.

El enfoque cuantitativo se apoya en el acopio de datos cuantificables y en el análisis estadístico de los mismos, con el propósito de verificar hipótesis o contestar las consultas de investigación, a través de procedimientos estructurados y controlados. (Hernández, 2014)

3.1.2 NIVEL

La investigación se ubica en un nivel aplicativo, debido a que tiene como finalidad utilizar los conocimientos técnicos y los datos obtenidos en campo y laboratorio como el IRI, el CBR y el volumen de tránsito para formular una propuesta de rediseño estructural del pavimento flexible. Este enfoque se orienta a la solución de un problema real, mediante la aplicación de metodologías de diseño como AASHTO 93 y las normativas vigentes del MTC, sin pretender establecer relaciones causales, sino generar una alternativa técnica sustentada que permita mejorar la condición funcional del tramo en estudio.

La investigación aplicada se distingue por su énfasis en emplear el conocimiento teórico para dar solución a casos o situaciones prácticas. Su propósito es aplicar lo que se sabe para intervenir, transformar o mejorar una situación concreta. (Hernández, 2014)

3.1.3 DISEÑO

El diseño de la investigación es no experimental, puesto que de ninguna forma se alteran intencionalmente las variables de estudio, en cambio se observan y analizan su estado actual.

El diseño no experimental se define como una investigación en la se analizarán fenómenos que por lo general se originan en contextos reales, sin afectar las variables definidas en la investigación. (Hernández, 2014)

El diseño de la investigación clasifica como causal o explicativa, ya que busca determinar cómo una variable (independiente: rediseño del pavimento flexible) influye o afecta a otra (dependiente: condición funcional)

$$M1 \quad O_1X \rightarrow Y$$

$$M2 \quad O_2X \rightarrow Y$$

M1 y M2: tiene correspondencia con las muestras a comparar

O1 y O2: tiene correspondencia con el registro de ocurrencias de las muestras

X: es la variable exógena (factores relacionados)

Y: es el fenómeno estudiado

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

La población será la vía asfaltada del tramo Puente Huancachupa km 167+000 hasta Vichaycoto km 173+000, de la Ruta Nacional PE-3N, situada en la ciudad de Huánuco.

La población es la acumulación de todos los componentes que disponen de un rasgo habitual observable y que son motivo de estudio en una investigación estadística, conocerla es importante para definir nuestra muestra a evaluar. (Hernández, 2014)

Los criterios de inclusión se muestran seguidamente:

- Tramos pertenecientes a la Ruta Nacional PE-3N, específicamente entre el km 167+000 y el km 173+000.
- Sectores viales con pavimento flexible existente, independientemente de su estado actual de deterioro.
- Subrasantes accesibles para la ejecución de ensayos geotécnicos (CBR, humedad, granulometría, etc.).
- Vía con flujo vehicular mixto (liviano y pesado), sujeto a medición mediante aforos de tránsito.
- Tramo con importancia funcional en la conectividad regional, validado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

Los criterios de exclusión son los siguientes.

- Sectores del tramo con intervenciones recientes de mantenimiento o rehabilitación (bacheo, recapeo u obras parciales), ya que no reflejarán de manera real el deterioro estructural original del pavimento.
- Zonas del tramo con acceso restringido o condiciones de seguridad inadecuadas que impidan la obtención de especímenes de suelos o el desarrollo correcto de aforos vehiculares, pues podrían afectar la representatividad de los datos.
- Segmentos con condiciones topográficas o geotécnicas atípicas (deslizamientos, derrumbes o suelos no representativos de la mayoría del tramo), ya que introducirán resultados no comparables dentro del análisis del pavimento.

3.2.2. MUESTRA

3.2.2.1 TAMAÑO DE MUESTRA

En el presente trabajo de investigación la muestra estará conformada por seis puntos en específico: el km 168+000, km 169+000, km 170+00, km 171+000, km 172+000 km y km 173+000 de la Ruta Nacional PE-3N, ubicada en la ciudad de Huánuco donde se realizarán las calicatas para hallar los datos de suelo y posteriormente efectuar los ensayos de laboratorio. El aforo vehicular se realizará en un 3 puntos específico con mayor congestión durante los 7 días de la semana para alcanzar datos más precisos y certeros. Para verificar la condición funcional del pavimento flexible se realizan inspecciones en campo cada 400 m. Entonces:

Población para condición funcional (cada de 400 m):

$$N=6\ 000\text{m} / 400\text{m}=15$$

- Se consideró la segmentación del tramo en unidades de 400 m, obteniéndose un total de 15 segmentos. Este criterio se adopta en base a prácticas recomendadas en la evaluación de pavimentos, como las indicadas en manuales del MTC y metodologías de inspección vial, donde se sugiere dividir el tramo en longitudes cortas (100 m a 400 m) para lograr una evaluación más detallada y representativa de la condición superficial (IRI, deterioros y ahuellamiento).
- Si bien esta segmentación permite un análisis más preciso del estado del pavimento, se reconoce que pueden existir variaciones puntuales dentro de cada segmento que no sean completamente captadas; no obstante, el criterio adoptado se considera adecuado para fines de evaluación funcional del tramo.

N= 15 (Cada segmento es una unidad donde se puede medir IRI, % área deteriorada y ahuellamiento.)

Población para calicatas / puntos geotécnicos (cada 1 km):

Se ejecutarán 6 calicatas (una cada 1 km).

- La cantidad y distribución de las calicatas se definieron considerando criterios técnicos establecidos en la normativa vigente del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), particularmente en el Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Dichas guías recomiendan que, para estudios de caracterización de subrasante en carreteras, los puntos de exploración geotécnica (calicatas o sondeos) se dispongan con espaciamientos que generalmente oscilan entre 500 m y 1 km, dependiendo de la homogeneidad del terreno y la longitud del tramo.
- La ubicación de las seis (06) calicatas fue definida siguiendo un criterio de distribución longitudinal uniforme a lo largo del tramo en estudio, comprendido entre el km 168+000 y el km 173+000 de la Ruta Nacional PE-3N. Se adoptó un espaciamiento aproximado de 1 km entre puntos de exploración (km 168+000, 169+000, 170+000, 171+000, 172+000 y 173+000), para la localización de los puntos se consideró criterios técnicos complementarios, tales como: Representatividad de las condiciones del terreno a lo largo del eje vial, variaciones visibles en la superficie del pavimento (zonas con mayor deterioro o cambios de comportamiento estructural) y condiciones de accesibilidad y seguridad para la ejecución de las calicatas.
- El muestreo empleado es de tipo no probabilístico, por lo que, si bien las seis (06) calicatas distribuidas a lo largo del tramo permiten una caracterización general de la subrasante, no garantizan la representación total de la variabilidad geotécnica existente. En ese sentido, podrían presentarse particularidades del terreno no captadas entre los puntos evaluados; no obstante, el espaciamiento adoptado se considera técnicamente adecuado para fines de evaluación y diseño estructural del pavimento
- N= 6 (Cada punto es una unidad donde se realizará las calicatas para ejecutar el estudio de mecánica de suelos.)

Población para aforo vehicular (punto específico):

Se efectuará 1 aforo en los puntos más crítico y con mayor congestión por 7 días, el marco muestral espacial es 3 estación ($N=3$); la “población” de vehículos es desconocida / aproximada (marco indefinido).

Si eventualmente suscita el caso de que el tamaño de la población es inferior o en todo caso igual a 300, no se aplica fórmula de cálculo muestral; en su lugar, se debe trabajar con la totalidad de las unidades de estudio.

3.2.2.2 MUESTREO

El tipo de muestreo es no probabilístico considerando que la decisión de toma de puntos de la muestra responde a criterios técnicos y de conveniencia, no siendo necesario que la totalidad de los componentes tengan una similar de probabilidad en caso resulten escogidos. Se empleó como técnica, el muestreo por expertos (muestreo intencional) para la selección de puntos de calicata y estaciones de aforo. Los puntos fueron seleccionados por criterio técnico, priorizando zonas con evidencia de deterioro, proximidad a la estructura del puente, cambios geométricos y variaciones de tráfico. Cada punto fue registrado con coordenadas GPS, fotografía con escala y una ficha de campo que documenta el motivo de selección. Adicionalmente se incluyeron puntos de verificación aleatoria para evaluar sesgos de selección.

3.2.2.3 DISEÑO DE MUESTREO

El diseño de muestreo define el procedimiento asumido con el fin de seleccionar una muestra significativa de la población de revisión, asegurando que los datos hallados cuenten con validez y sean consistentes.

a. Unidad de análisis o de observación

Está integrada por cada punto de evaluación del pavimento flexible (calicata o estación de aforo/fotografía) seleccionado en el tramo de estudio. Cada punto constituye un elemento individual de observación que aporta información respecto de la condición

funcional del pavimento. La unidad de análisis está constituida por cada punto de análisis del pavimento flexible, definido como una calicata o estación de aforo/fotografía, en el tramo Puente Huancachupa (km 167+000) – Vichaycoto (km 173+000).

b. Unidad de muestreo

Corresponde a cada subtramo del pavimento flexible dentro de la sección en evaluación, de quienes cuales se seleccionan los puntos de calicata y aforo mediante muestreo por expertos.

c. Marco muestral

Se encuentra constituido a partir del plano y la descripción técnica del tramo vial, expresado en progresivas kilométricas (desde el km 167+000 hasta el km 173+000), complementado con la inspección visual preliminar que identifica zonas homogéneas y sectores críticos. A partir de este marco se determinan los puntos de evaluación (muestra).

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para el desarrollo de esta investigación, se emplearon técnicas e instrumentos de recolección de datos de tipo cuantitativo y técnico, orientados a obtener datos exactos sobre las particularidades geotécnicas del camino pavimentado en evaluación.

3.3.1 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Observación directa

Permite registrar el estado actual de la vía, características del entorno, drenaje, tránsito, y visibilidad. Esta técnica apoya el diagnóstico inicial de la transitabilidad.

Ensayos

Se aplican técnicas de muestreo de suelos (calicatas) y extracción de muestras alteradas e inalteradas, con el fin de caracterizar la subrasante.

Conteo vehicular manual:

Permite obtener datos de la circulación de vehículos efectivo (volumen, clasificación y carga vehicular) que serán de vital importancia para ejecutar el cálculo de los Imda y el ESAL de diseño.

Revisión documental:

Análisis de planos, antecedentes técnicos, normativa (AASHTO 93, MTC Perú), y estudios similares para respaldar el diseño estructural.

3.3.2 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.2.1 FICHA DE CONTEO VEHICULAR

Se emplea el siguiente formato para realizar el conteo vehicular en la vía inspeccionada

Figura 10

Formato de conteo vehicular

ESTUDIO DE TRAFICO																					
TESIS: "Diseño de Pavimento Flexible para el mejoramiento de la transitabilidad vehicular en el tramo Puente Huancachupa-Vichaycoto 6 km, Huánuco-2025"																					
TRAMO DE LA CARRETERA:										HORA INICIO:											
SENTIDO:										HORA FINAL:											
FECHA:										AFORADOR:											
DIA DE AFORO:										OBSERVACIONES:											
	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETA			MICRO	BUS			CAMION			SEMI TRAILER				TRAILER				TOTAL
			PICK UP	PANEL	RURAL COMB		2E	3E	4E	2E	3E	4E	251	252	253	351	352	451	251	252	
0:00 - 1:00																					
1:00 - 2:00																					
2:00 - 3:00																					
3:00 - 4:00																					
4:00 - 5:00																					
5:00 - 6:00																					
6:00 - 7:00																					
7:00 - 8:00																					
8:00 - 9:00																					
9:00 - 10:00																					
10:00 - 11:00																					
11:00 - 12:00																					
12:00 - 13:00																					
13:00 - 14:00																					
14:00 - 15:00																					
15:00 - 16:00																					
16:00 - 17:00																					
17:00 - 18:00																					
18:00 - 19:00																					
19:00 - 20:00																					
20:00 - 21:00																					
21:00 - 22:00																					
22:00 - 23:00																					
23:00 - 24:00																					
TOTAL																					

- **Nombre del instrumento:** Ficha de conteo manual de tránsito vehicular.
- **Autor del instrumento:** Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC)
- **Objetivo del instrumento:** Recolectar información cuantitativa de la circulación de vehículos, los cuales tan clasificados por tipo de vehículo, en horarios determinados, para analizar la transitabilidad e

instaurar un diseño de pavimento flexible en el tramo Puente Huancachupa - Vichaycoto (6 km).

- **Estructura:** Cuenta con 15 ítems según las categorías de vehículos. Los ítems están clasificados en automóvil: Livianos (Auto, Station Wagon, Pickup, Camioneta, Panel, Furgón), Transporte público: (Microbús), Carga (camiones 2E, 3E, 4E.), Tractocamiones (2S1, 3S2, 3S3, HDS, 2B1, 3B2).
- **Momento de aplicación:** Durante el estudio de tráfico en campo, en días representativos (laborables o fines de semana según el caso), dentro de una jornada continua de observación, dividida por bloques horarios (de 6:00 a.m. a 6:00 p.m.).
- **Tiempo de aplicación:** Aproximadamente 12 horas continuas por día de observación, con registros divididos en intervalos de 1 hora. La duración total del estudio puede variar según el número de días de observación programados.

3.3.2.2 FICHA PARA ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

Se emplea el siguiente formato para realizar el ensayo de granulometría en laboratorio.

Figura 11

Formato para ensayo de granulometría

UNIVERSIDAD DE HUANUCO E.A.P INGENIERIA CIVIL						
ENSAYO DE GRANULOMETRIA ASTM D422						
TESIS: "Diseño de Pavimento Flexible para el mejoramiento de la transitabilidad vehicular en el tramo Puente Huancachupa-Vichaycoto 6 km, Huánuco-2025"						
LABORATORIO:						
FECHA:						
TESISTA: Melgar Solorzano, Vicente Mariano						
MATERIAL:						
TAMIZ #	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (W_{RETENIDO})	% PARCIAL RETENIDO	% ACUMULADO RETENIDO	% ACUMULADO QUE PASA	ESPECIFICACION
3 in	76.200					
2 in	50.800					
1-1/2 in	38.100					
1 in	25.400					
3/4 in	19.000					
3/8 in	9.500					
#4	4.750					
#10	2.000					
#20	0.840					
#40	0.425					
#60	0.250					
#100	0.150					
#140	0.106					
#200	0.075					
-	FONDO					
	Σ					

- **Nombre del instrumento:** Ensayo de Granulometría ASTM D422.
- **Autor del instrumento:** Vicente Mariano Melgar Solorzano
- **Objetivo del instrumento:** Precisar la disposición del diámetro de fragmentos del agregado mediante el análisis granulométrico, para categorizar el tipo de material y verificar su aptitud en el diseño de pavimentos.
- **Estructura:** Cuenta con 14 ítems (14 tamices estándar + 1 fondo), cuentan también con columnas principales donde se indica: Abertura del tamiz (en mm), Peso retenido, % Parcial retenido, % Acumulado retenido, % Acumulado que pasa.
- **Momento de aplicación:** Se aplica en la fase de caracterización de suelos, posterior al muestreo de campo y previo a la configuración del pavimento. Específicamente, en la evaluación de laboratorio de muestras representativas del tramo vial en estudio.
- **Tiempo de aplicación:** Por unidad de estudio (una muestra de suelo) es de aproximadamente 2 a 3 horas, incluyendo: Secado de muestra, preparación y pesada, el tamizado mecánico o manual y estimación de porcentajes y elaboración de curva granulométrica

3.3.2.3 FICHA PARA EL ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Se emplea el siguiente formato para realizar el ensayo de contenido de humedad.

Figura 12

Formato para ensayo de contenido de humedad

 UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO E.A.P INGENIERIA CIVIL 			
ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D2216			
<i>TESIS: "Diseño de Pavimento Flexible para el mejoramiento de la transitabilidad vehicular en el tramo Puente Huancachupa-Vichaycoto 6 km, Huánuco-2025"</i>			
LABORATORIO:			
FECHA:			
TESISTA: Melgar Solorzano, Vicente Mariano			
MATERIAL:			
MUESTRA	MUESTRA 01		
RECIPIENTE	1	2	3
Peso de recipiente			
Peso de recipiente + muestra seca			
Peso de recipiente + muestra seca			
Peso de agua			
Peso seco			
W(contenido de humedad) %			
W(contenido de humedad promedio) %			

- **Nombre del instrumento:** Ensayo de Contenido de Humedad ASTM D221.
- **Autor del instrumento:** Vicente Mariano Melgar Solorzano
- **Objetivo del instrumento:** Calcular proporción de agua en condición del terreno natural en una muestra, con la finalidad de emplear ese dato cuando se efectúe la evaluación de los parámetros físicos fundamentales del suelo y lograr de forma eficaz la configuración estructural del pavimento.
- **Estructura:** 3 ítems principales por muestra: Peso del recipiente, peso del recipiente + muestra seca, peso del recipiente + muestra húmeda
- **Momento de aplicación:** Se aplica durante la fase experimental de caracterización del suelo, en el laboratorio, posterior al muestreo en campo.
- **Tiempo de aplicación:** El tiempo estimado por unidad de estudio (una muestra) es de 24 a 48 horas, considerando el secado en horno (generalmente a 105-110°C por 24 horas) y el tiempo de pesaje.

3.3.2.4 FICHA PARA EL ENSAYO CBR

Se emplea el siguiente formato para realizar el ensayo CBR.

Figura 13

Formato para ensayo CBR

UNIVERSIDAD DE HUANUCO E.A.P INGENIERIA CIVIL		ENSAYO CBR ASTM D1883											
TESIS: "Diseño de Pavimento Flexible para el mejoramiento de la transitabilidad vehicular en el tramo Puente Huancachupa-Vichaycoto 6 km, Huánuco-2025" LABORATORIO: FECHA: TESISTA: Melgar Solorzano, Vicente Mariano MATERIAL:													
CALCULO DE LA RELACION DE SOPORTE CALIFORNIA													
Molde N°													
Numero de capas													
Numero de golpes													
Condicion de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	
Peso suelo + molde (gr)													
Peso molde (gr)													
Peso suelo compactado (gr)													
Volumen de molde (cm3)													
Densidad humeda (gr/cm3)													
Densidad seca (gr/cm3)													
CONTENIDO DE HUMEDAD													
Peso de tara (gr)													
Tara + suelo humedo (gr)													
Tara + suelo seco (gr)													
Peso de agua (gr)													
Peso de suelo seco (gr)													
Humedad (gr)													
EXPANSION													
Fecha	Hora	Tiempo Hr	Dial	Expansion mm	Expansion %	Dial	Expansion mm	Expansion %	Dial	Expansion mm	Expansion %	Dial	Expansion mm
PENETRACION													
Penetracion (pulg)	Carga Standar (kg/cm2)	Molde N°01				Molde N°02				Molde N°03			
		Carga	Correccion	Carga	Correccion	Carga	Correccion	Carga	Correccion	Carga	Correccion	Carga	Correccion
		kg	kg/cm2	kg/cm2	CBR%	kg	kg/cm2	kg/cm2	CBR%	kg	kg/cm2	kg/cm2	CBR%
0.025													
0.050													
0.075													
0.100													
0.150													
0.200													
0.300													
0.400													
0.500													

- **Nombre del instrumento:** Ensayo CBR ASTM D1883
- **Autor del instrumento:** Vicente Mariano Melgar Solorzano
- **Objetivo del instrumento:** Calcular la estimación del Índice de Soporte California (CBR) de una muestra de suelo, tanto en condiciones saturadas como no saturadas, para examinar su resistencia a la carga.
- **Estructura:** El instrumento está estructurado en 4 ítems principales. Estimación de la Relación de Soporte California, contenido de Humedad, expansión y penetración.
- **Momento de aplicación:** Se aplica durante la fase experimental de caracterización del suelo, en el laboratorio, posterior al muestreo en campo.
- **Tiempo de aplicación:** El tiempo estimado por unidad de estudio (una muestra) es de 24 a 48 horas, considerando el secado en horno (generalmente a 105-110°C por 24 horas) y el tiempo de pesaje.

3.3.2.5 FICHA PARA EL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI)

Se emplea el siguiente formato para evaluar el Índice de Regularidad Internacional (IRI).

Figura 14

Formato para Índice de Regularidad Internacional (IRI)

UNIVERSIDAD DE HUANUCO FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL						
Índice de Regularidad Internacional (IRI)						
Proyecto:						
Tramo:						
Fecha:						
Proyecto:		Hora inicio:		Hora fin:		
Responsable:						
Observaciones:						
Evaluación del IRI - Equipo Merlin						
Ensayo	Sector		Longitud (m)	IRI Carril Derecho	IRI Carril Izquierdo	IRI Promedio (m/km)
	Km Inicio	Km final				
UM-01						
UM-02						
UM-03						
UM-04						
UM-05						
UM-06						
UM-07						
UM-08						
UM-09						
UM-10						
UM-11						
UM-12						
UM-13						
CANTIDAD						
SUMATORIA TOTAL						
PROMEDIO						
VALOR MINIMO						
VALOR MAXIMO						
DESVIACION ESTANDAR						
VARIANZA						
COEF. DE VARIACION (%)						

propi

- **Nombre del instrumento:** Ficha de recolección de datos del Índice de Regularidad Internacional (IRI) – Equipo Merlin.
- **Autor del instrumento:** Vicente Mariano Melgar Solorzano
- **Objetivo del instrumento:** Registrar los datos de IRI obtenidos en campo para examinar la condición funcional del pavimento flexible en el tramo Puente Huancachupa – Vichaycoto, Ruta Nacional PE-3N, Huánuco, 2025.
- **Estructura:** La ficha contiene secciones para la identificación del proyecto (tramo, fecha, responsable), además de una tabla donde se registran: Número de ensayo, Sector evaluado (km de partida y finalización), Longitud de la sección (m), IRI carril derecho e izquierdo, IRI promedio (m/km), Datos estadísticos finales (cantidad, promedio, valores mínimo y máximo, desviación estándar, varianza y coeficiente de variación).
- **Momento de aplicación:** Durante la fase de trabajo de campo, específicamente en la etapa de examinación de la condición funcional de la vía pavimentada.
- **Tiempo de aplicación:** Dependerá de la longitud del tramo; en promedio, se estima entre 10 a 15 minutos por segmento de 100 m utilizando el equipo Merlín.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

Posteriormente a la recolección de datos, se procederá a realizar el análisis e interpretación de resultados, por medio de técnicas e instrumentos que se muestran enseguida:

3.4.1 PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

Los datos registrados en campo posteriormente de haber realizado las calicatas y llevarlas a examinar en laboratorio, como también realizar los aforos vehiculares, estos fueron sometidos previamente a un control de datos, verificando la consistencia y confiabilidad de los registros. Posteriormente, se realizó la codificación de los datos con base en las variables establecidas en la investigación, lo que permitió su adecuada

organización y clasificación. Una vez codificados, los datos fueron procesados por medio de técnicas estadísticas descriptivas, lo que facilitó su análisis e interpretación. Finalmente, la exposición de los datos se efectuará haciendo uso de tablas y gráficos, elaborados con el software Microsoft Excel, lo que facilitó una visualización comprensible de los resultados, garantizando la objetividad y la trazabilidad de la información procesada.

3.4.2 PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

3.4.2.1 ANÁLISIS DESCRIPTIVO

El análisis de los datos logrados a partir de las calicatas y aforos se pondrá en práctica mediante estadística descriptiva, empleando medidas de tendencia central (media, mediana y moda) y medidas de dispersión (rango, varianza y desviación estándar), con la intención de resumir y describir la respuesta de las variables estudiadas. Los resultados se mostrarán valiéndose de tablas y gráficos comparativos que facilitarán su análisis.

3.4.2.1 ANÁLISIS INFERENCIAL

El análisis inferencial de los datos se llevará a cabo siguiendo los pasos del ritual de la significancia estadística, el cual comprende la formulación de hipótesis nula e hipótesis alterna, la selección del nivel de significancia ($\alpha = 0,05$), la designación de la prueba estadística adecuada en base a la naturaleza de las variables, el cálculo del estadístico de prueba y la obtención del valor p . Con base en este valor, se procederá a la determinación de aceptar o rechazar la hipótesis nula, garantizando la validez de las conclusiones.

Como punto de partida, se aplicará un análisis estadístico descriptivo, empleando medidas de tendencia central, medidas de dispersión y distribución de frecuencias, con el fin de caracterizar las variables obtenidas en campo, tales como el Índice de Regularidad Internacional (IRI).

Seguidamente, se efectuará un análisis estadístico inferencial siguiendo el ritual de la significancia estadística, aquello mediante lo cual nos permitirá contrastar la hipótesis nula y la hipótesis alterna planteadas. Para ello, se aplicarán pruebas como la t de Student para muestras independientes, teniendo la intención de precisar si existen contrastes significativos entre subtramos en cuanto a la condición funcional. El procesamiento de datos y la ejecución de estas pruebas estadísticas se llevarán a cabo valiéndose del software SPSS Statistics 25 y Microsoft Excel 2021, lo que respalda la validez y confiabilidad de los resultados generados.

3.5. ASPECTOS ÉTICOS

El presente estudio es de carácter retrospectivo y se basa en la recopilación y evaluación de información proveniente de base informativa existente, como es el caso de planos, registros de evaluación técnica, registros de tránsito y datos obtenidos en campo mediante observación no intrusiva (calicatas y aforos vehiculares). En tal sentido, no se involucra directamente a seres humanos ni se manipula información sensible de carácter personal. Se respetó en todo momento la confidencialidad y la integridad de las fuentes consultadas, empleando los datos prioritariamente con intereses formativos y de estudio. Asimismo, se garantizó la objetividad, transparencia y veracidad en el análisis de la información, cumpliendo con los principios de responsabilidad ética en la investigación científica.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO

4.1.1 DETERMINACIÓN DE LA CONDICIÓN FUNCIONAL DEL PAVIMENTO

A) PORCENTAJE DE ÁREA DETERIORADA

Para la determinación del porcentaje de área deteriorada del pavimento se estableció un muestreo sistemático a lo largo del tramo evaluado, realizando inspecciones cada 400 metros desde el km 167+000 hasta el km 173+000 con el fin de obtener una representación estadísticamente consistente del estado superficial. En cada punto de muestreo se delimitó un área de evaluación definida (unidad de muestreo), dentro de la cual se identificaron fallas estructurales, las cuales afectan a la capacidad del pavimento (grietas, ahuellamiento, baches) y también fallas funcionales, las cuales afectan a la superficie del pavimento (desprendimiento, fisuras, exudación). El área deteriorada se obtuvo mediante la suma de las superficies afectadas dentro de cada unidad, empleando mediciones directas en campo y posteriormente se expresó como porcentaje respecto al área total evaluada en ese punto.

a) Norma Técnica

- ✓ Manual de Carreteras: Mantenimiento Periódico-MTC (2018)

b) Instrumentos de medición

- ✓ Cinta Métrica 50m

c) Materiales

- ✓ Conos de seguridad PVC
- ✓ Formatos Excel

d) Procedimiento

Para el estudio se definieron unidades de análisis correspondientes a tramos homogéneos de 400 m de longitud, seleccionados en función de sus características geométricas y condiciones aparentes de servicio.

En cada tramo, se efectuó una inspección visual sistemática con el propósito de identificar, clasificar y registrar las distintas manifestaciones de deterioro presentes en la superficie del pavimento, tales como fisuración, baches, desprendimientos y deformaciones. Posteriormente, se procedió a la cuantificación de dichas fallas, mediante mediciones directas en campo, determinando el área afectada para cada tipo de deterioro.

Finalmente, con la información recopilada, se calculó el porcentaje de área deteriorada por tramo, relacionando el área total afectada con el área total evaluada, lo cual permitió establecer un indicador representativo de la condición superficial del pavimento en cada segmento analizado.

Figura 15

Identificación de fallas del pavimento flexible en el tramo km 167+000 – km 169+000



Nota: Inspección realizada en el tramo de estudio en el km 167+000 – km 169+000 mediante reconocimiento sistemático de la superficie de rodadura en el año 2025.

Figura 16

Identificación de fallas del pavimento flexible en el tramo km 169+000 – km 171+000



Nota: Inspección realizada en el tramo de estudio en el km 169+000 – km 171+000 mediante reconocimiento sistemático de la superficie de rodadura en el año 2025.

Figura 17

Identificación de fallas del pavimento flexible en el tramo km 171+000 – km 173+000



Nota: Inspección realizada en el tramo de estudio en el km 171+000 – km 173+000 mediante reconocimiento sistemático de la superficie de rodadura en el año 2025.

Figura 18

Medición del área deteriorada del pavimento flexible en el tramo km 167+000 – km



Nota: Medición del área deteriorada del pavimento flexible en el km 167+000 – km 169+000 mediante mediciones directas en campo de la superficie de rodadura en el año 2025.

Figura 19

Medición del área deteriorada del pavimento flexible en el tramo km 169+000 – km



Nota: Medición del área deteriorada del pavimento flexible en el km 169+000 – km 171+000 mediante mediciones directas en campo de la superficie de rodadura en el año 2025.

Figura 20

Medición del área deteriorada del pavimento flexible en el tramo km 171+000 – km 173+000



Nota: Medición del área deteriorada del pavimento flexible en el km 171+000 – km 173+000 mediante mediciones directas en campo de la superficie de rodadura en el año 2025.

e) Fórmulas empleadas

$$\%AD = \frac{Ad}{At} \times 100$$

%AD: Porcentaje de área deteriorada

Ad: Área deteriorada total del tramo (m2)

At: Área total evaluada del tramo (m2)

f) Resultados

Los resultados se evidencian en la tabla que se muestra a continuación:

Tabla 10*Porcentaje de Área Deteriorada*

Ensayo	Km inicio	Km final	Longitud (m)	Ancho de vía (m)	Área (m ²)	Área deteriorada(m ²)	Porcentaje de Área deteriorada (%)
UM-01	167+000	167+400	400	6.8	2720	554	20.37
UM-02	167+400	167+800	400	6.8	2720	775	28.49
UM-03	167+800	168+200	400	6.8	2720	988	36.32
UM-04	168+200	168+600	400	6.8	2720	1674	61.54
UM-05	168+600	169+000	400	6.8	2720	1033	37.98
UM-06	169+000	169+400	400	6.8	2720	557	20.48
UM-07	169+400	169+800	400	6.8	2720	560	20.59
UM-08	169+800	170+200	400	6.8	2720	785	28.86
UM-09	170+200	170+600	400	6.8	2720	465	17.10
UM-10	170+600	171+000	400	6.8	2720	498	18.31
UM-11	171+000	171+400	400	6.8	2720	374	13.75
UM-12	171+400	171+800	400	6.8	2720	625	22.98
UM-13	171+800	172+200	400	6.8	2720	580	21.32
UM-14	172+200	172+600	400	6.8	2720	445	16.36
UM-15	172+600	173+000	400	6.8	2720	528	19.41
TOTAL					40800	10441	25.60

El análisis de los tramos evaluados muestra un **25.60% de área deteriorada**, valor que se encuentra en un rango **malo**. Este porcentaje señala que el pavimento muestra un nivel de deterioro significativo y exige intervenciones de rehabilitación, especialmente en los tramos donde los daños superan ampliamente el promedio. Además, dentro del pavimento evaluado, el tramo con mayor nivel de deterioro es el **UM-04**, que alcanza un **61.54%**, evidenciando un daño severo.

B) PROFUNDIDAD DE AHUELLAMIENTO

Para la obtención de la profundidad de ahuellamiento en el pavimento flexible se realizó un procedimiento de medición sistemático cada 400 metros desde el km 167+000 hasta el km 173+000, contemplando los dos carriles con el fin de captar la variabilidad real del deterioro inducido por el tránsito. En cada tramo de evaluación se empleó una regla metálica rígida apoyada transversalmente sobre la superficie del carril para medir la máxima depresión existente en la huella de rodadura respecto a la superficie no deformada. Esta medición se efectuó en ambos carriles en el punto de mayor deformación identificada visualmente, registrando el valor máximo de ahuellamiento por

carril. Posteriormente se determinó el mayor ahuellamiento por cada tramo de evaluación.

a) Norma Técnica

- ✓ Manual de Carreteras: Mantenimiento Periódico-MTC (2018)

b) Instrumentos de medición

- ✓ Regla de 20 cm

c) Materiales

- ✓ Conos de seguridad PVC
- ✓ Tubo recto metálico 82.5x38mm
- ✓ Formatos Excel

d) Procedimiento

La determinación de la profundidad de ahuellamiento se realizó a partir de una inspección visual detallada del pavimento flexible, con el fin de detectar y delimitar la presencia de deformaciones longitudinales en la superficie de rodadura. Para ello, se consideraron tramos de análisis de 400 m de longitud, los cuales fueron recorridos de manera sistemática en ambos sentidos de la vía, garantizando una evaluación integral de las condiciones del pavimento.

Una vez ubicadas las zonas con ahuellamiento, se procedió a efectuar mediciones directas en campo, utilizando instrumentos de medición apropiados, colocados transversalmente a la huella para determinar la diferencia de nivel entre la zona deprimida y la superficie adyacente no afectada. En cada tramo evaluado, se registró el valor máximo de profundidad de ahuellamiento, por considerarse representativo de la condición más crítica del pavimento en dicho segmento.

La información obtenida permitió caracterizar el nivel de deformación permanente presente en la vía, constituyendo un indicador relevante para la evaluación funcional del pavimento y la toma de decisiones en materia de mantenimiento o rehabilitación.

Figura 21

Identificación del ahuellamiento del pavimento flexible en el tramo km 167+000 – km



Nota: Identificación de la falla por ahuellamiento en el tramo de estudio en el km 167+000 – km 169+000 mediante inspección visual sistemática de la superficie de rodadura en el año 2025.

Figura 22

Identificación del ahuellamiento del pavimento flexible en el tramo km 169+000 – km



Nota: Identificación de la falla por ahuellamiento en el tramo de estudio en el km 169+000 – km 171+000 mediante inspección visual sistemática de la superficie de rodadura en el año 2025.

Figura 23

Identificación del ahuellamiento del pavimento flexible en el tramo km 171+000 – km 173+000



Nota: Identificación de la falla por ahuellamiento en el tramo de estudio en el km 171+000 – km 173+000 mediante inspección visual sistemática de la superficie de rodadura en el año 2025

Figura 24

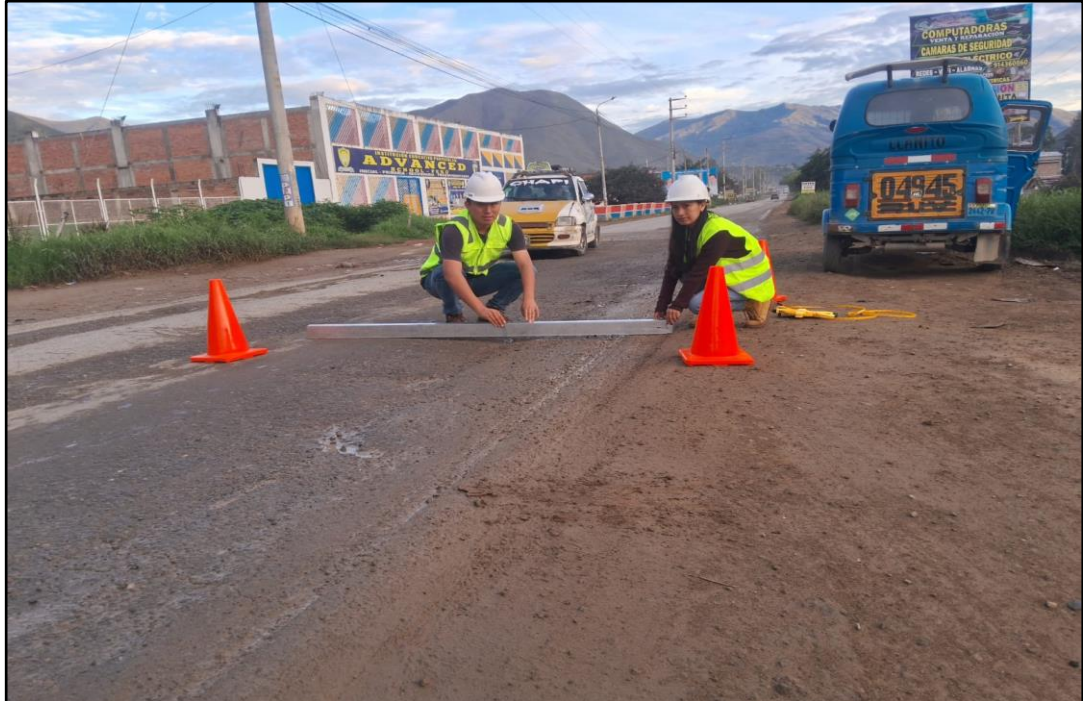
Medición de la profundidad de ahuellamiento en el tramo km 167+000 – km 169+000



Nota: Medición de la profundidad de ahuellamiento en el tramo km 167+000 – km 169+000 mediante mediciones directas en campo de la superficie de rodadura en el año 2025.

Figura 25

Medición de la profundidad de ahuellamiento en el tramo km 169+000 – km 171+000



Nota: Medición de la profundidad de ahuellamiento en el tramo km 169+000 – km 171+000 mediante mediciones directas en campo de la superficie de rodadura en el año 2025.

Figura 26

Medición de la profundidad de ahuellamiento en el tramo km 171+000 – km 173+000



Nota: Medición de la profundidad de ahuellamiento en el tramo km 171+000 – km 173+000 mediante mediciones directas en campo de la superficie de rodadura en el año 2025.

e) Fórmulas empleadas

$$PAH = \frac{AHi + AHd}{2}$$

PAH: Profundidad de Ahuellamiento promedio(mm)

AHi: Profundidad de Ahuellamiento del carril izquierdo(mm)

AHd: Área total evaluada del tramo del carril derecho (mm)

f) Resultados

Los resultados se evidencian en la tabla que se muestra a continuación:

Tabla 11

Profundidad de Ahuellamiento

Ensayo	Km inicio	Km final	Longitud (m)	Ahuellamiento carril derecho (mm)	Ahuellamiento carril izquierdo (mm)	Profundidad de ahuellamiento (mm)
AH-01	167+000	167+400	400	8	10	10
AH-02	167+400	167+800	400	11	13	13
AH-03	167+800	168+200	400	12	12	12
AH-04	168+200	168+600	400	18	13	18
AH-05	168+600	169+000	400	12	11	12
AH-06	169+000	169+400	400	17	9	17
AH-07	169+400	169+800	400	8	8	8
AH-08	169+800	170+200	400	10	12	12
AH-09	170+200	170+600	400	9	8	9
AH-10	170+600	171+000	400	11	12	12
AH-11	171+000	171+400	400	15	11	15
AH-12	171+400	171+800	400	8	10	10
AH-13	171+800	172+200	400	12	17	17
AH-14	172+200	172+600	400	14	10	14
AH-15	172+600	173+000	400	10	11	11

El ahuellamiento máximo de **18 mm**, identificado en el tramo AH-04 (Km 168+200 – 168+600), evidencia un nivel de deformación plástica avanzada en el pavimento. Este valor supera el umbral típico de servicio recomendado en pavimentos flexibles, que generalmente se considera crítico a partir de 15–20mm, debido a que comienza a incidir en la seguridad y la comodidad del usuario.

C) ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI)

La evaluación del pavimento flexible se realizó con el equipo MERLIN desde el km 167+000 hasta el km 173+000, efectuando revisiones cada 400 metros, en ambos carriles de circulación. En cada punto se registraron los valores del IRI para el carril derecho e izquierdo, obteniéndose posteriormente su promedio.

a) Norma Técnica

- ✓ Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos-MTC (2013)

b) Instrumentos de medición

- ✓ Rugosímetro de Merlín

c) Materiales

- ✓ Conos de seguridad PVC
- ✓ Formatos Excel
- ✓ Cinta Métrica 50m
- ✓ Wincha Metálica 5 m
- ✓ Tablero de soporte
- ✓ Conos de seguridad

d) Procedimiento

La evaluación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) se llevó a cabo mediante mediciones in situ utilizando el rugosímetro de MERLIN, equipo que permite estimar la regularidad superficial del pavimento a partir de la caracterización de su perfil longitudinal. Para tal efecto, se establecieron unidades de análisis correspondientes a tramos homogéneos de 400 m de longitud, seleccionados a lo largo del tramo en estudio.

En cada uno de estos segmentos, se realizaron mediciones independientes en el carril izquierdo y carril derecho, siguiendo las huellas de rodadura, con el propósito de obtener una representación más precisa de las condiciones de servicio de la vía. El procedimiento consistió en la toma sistemática de lecturas a intervalos definidos, cuyos resultados fueron

posteriormente procesados de acuerdo con la metodología propia del equipo, permitiendo determinar el valor de IRI para cada carril evaluado.

Finalmente, para cada tramo analizado, se calculó el IRI promedio, obtenido a partir de la media aritmética de los valores registrados en ambos carriles. Este indicador permitió caracterizar el nivel de rugosidad del pavimento, constituyéndose en un parámetro fundamental para evaluar la calidad de la superficie de rodadura y el desempeño funcional de la vía.

Figura 27

Calibración - Verificación de la separación entre apoyos en el rugosímetro Merlín



Nota: Se observa la comprobación de la distancia entre los dos puntos de apoyo del rugosímetro Merlín, ajustándola a 90 cm, con el fin de asegurar la correcta calibración del equipo y garantizar la confiabilidad en las mediciones de rugosidad superficial, 2025.

Figura 28

Ajuste del apoyo posterior del rugosímetro Merlín para control de altura



Nota: Se observa la verificación de la altura del apoyo posterior del rugosímetro Merlín, asegurando una separación de 10 cm respecto a la superficie, con el fin de garantizar la correcta configuración del equipo y la precisión en las mediciones de rugosidad, 2025.

Figura 29

Verificación de la altura del apoyo delantero del rugosímetro Merlín



Nota: Se observa la calibración del apoyo frontal del rugosímetro Merlín, comprobando que mantenga una separación de 10 cm respecto a la superficie, a fin de asegurar la adecuada configuración del equipo y la precisión en la evaluación de la rugosidad, 2025.

Figura 30

Ajuste del indicador del rugosímetro Merlin en la posición de referencia



Nota: Se observa la calibración del marcador del rugosímetro Merlin, verificando que la lectura se ubique en el valor central (25), con el propósito de asegurar la correcta referencia inicial del equipo y la confiabilidad de las mediciones de rugosidad superficial, 2025.

Figura 31

Evaluación de la regularidad (IRI) en el carril izquierdo del tramo km 171+000 – km 173+000



Nota: Se observa la ejecución del ensayo de Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el carril izquierdo del tramo km 171+000 – km 173+000, empleando el rugosímetro Merlin, 2025.

Figura 32

Evaluación de la regularidad (IRI) en el carril derecho del tramo km 171+000 – km 173+000



Nota: Se observa la ejecución del ensayo de Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el carril derecho del tramo km 171+000 – km 173+000 con el objetivo de cuantificar la irregularidad superficial del pavimento y verificar su condición funcional., 2025.

Figura 33

Evaluación de la regularidad (IRI) en el carril izquierdo del tramo 169+000 a 171+000



Nota: Se observa la ejecución del ensayo de Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el carril izquierdo del tramo km 169+000 – km 171+000, empleando el rugosímetro Merlín, 2025.

Figura 34

Evaluación de la regularidad (IRI) en el carril derecho del tramo km 169+000 – km 171+000



Nota: Se observa la ejecución del ensayo de Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el carril derecho del tramo km 169+000 – km 171+000 con el objetivo de cuantificar la irregularidad superficial del pavimento y verificar su condición funcional., 2025.

Figura 35

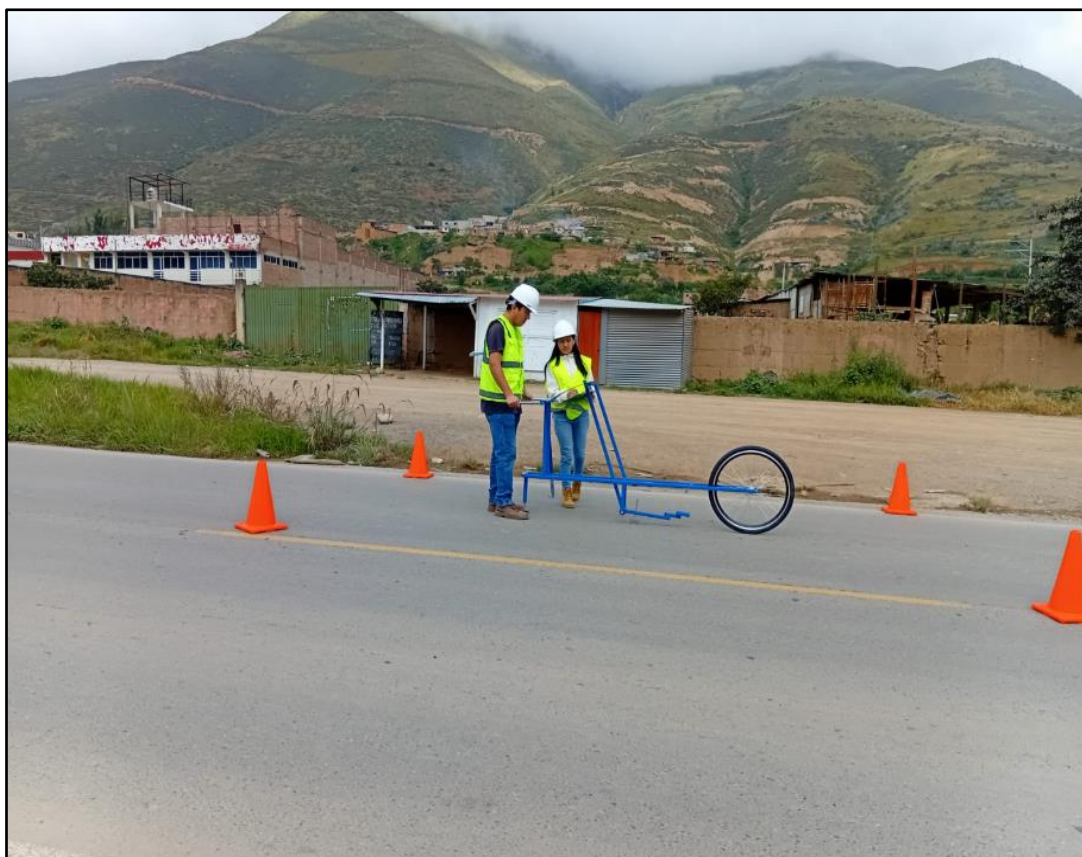
Evaluación de la regularidad (IRI) en el carril izquierdo del tramo 167+000 a 169+000



Nota: Se observa la ejecución del ensayo de Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el carril izquierdo del tramo km 167+000 – km 169+000, empleando el rugosímetro Merlin, 2025.

Figura 36

Evaluación de la regularidad (IRI) en el carril derecho del tramo km 167+000 – km 169+000



Nota: Se observa la ejecución del ensayo de Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el carril derecho del tramo km 167+000 – km 169+000 con el objetivo de cuantificar la irregularidad superficial del pavimento y verificar su condición funcional., 2025.

e) Fórmulas empleadas

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D \quad \dots\dots\dots(1)$$

IRI: Índice de Rugosidad Internacional (m/km)

D: Ancho de distribución de desviaciones de perfil(mm)

$$IRI_{prom} = \frac{IRI_{IZQ} + IRI_{DER}}{2} \quad \dots\dots\dots(2)$$

IRI(prom): Índice de Rugosidad Internacional promedio(m/km)

IRI(izq): Índice de Rugosidad Internacional carril izquierdo (m/km)

IRI(der): Índice de Rugosidad Internacional carril derecho (m/km)

f) Resultados

Los resultados se evidencian en la tabla que se muestra a continuación:

Tabla 12

Índice de Regularidad Internacional

Ensayo	Km inicio	Km final	Longitud (m)	IRI Carril Derecho (m/km)	IRI Carril Izquierdo (m/km)	IRI Promedio (m/km)
UM-01	167+000	167+400	400	5.60	5.90	5.75
UM-02	167+400	167+800	400	6.25	6.60	6.43
UM-03	167+800	168+200	400	6.70	7.10	6.90
UM-04	168+200	168+600	400	8.90	9.20	9.05
UM-05	168+600	169+000	400	6.80	7.20	7.00
UM-06	169+000	169+400	400	5.60	5.92	5.76
UM-07	169+400	169+800	400	5.62	5.95	5.79
UM-08	169+800	170+200	400	6.30	6.65	6.48
UM-09	170+200	170+600	400	5.10	5.40	5.25
UM-10	170+600	171+000	400	5.20	5.50	5.35
UM-11	171+000	171+400	400	4.80	5.10	4.95
UM-12	171+400	171+800	400	6.00	6.30	6.15
UM-13	171+800	172+200	400	5.20	5.50	5.35
UM-14	172+200	172+600	400	5.25	5.55	5.40
UM-15	172+600	173+000	400	5.50	5.80	5.65
Cantidad				15	15	15
Sumatoria Total				88.82	93.67	91.245
Promedio (m/km)				5.92	6.24	6.08
Valor mínimo (m/km)				5.5	5.8	5.65
Valor máximo (m/km)				5.62	7.2	5.79
Desviación estándar				0.98	1.04	1.00
Varianza				0.96	1.09	1.00
Coef. de variación (%)				16.55%	16.73%	16.43%

El promedio general del IRI promedio obtenido en el tramo abarcado del km 167+000 hasta el km 173+000 fue de **6.08 m/km**, valor vinculado a un nivel de servicio **malo**, según los rangos de clasificación del estado superficial del pavimento flexible.

4.1.2 DETERMINACIÓN DEL ESTUDIO DE TRÁFICO

A) CÁLCULO DEL IMDA (ÍNDICE MEDIO DIARIO ANUAL)

Se llevó a cabo el conteo vehicular continuo durante un periodo de siete días consecutivos, con la finalidad de obtener una caracterización representativa del tránsito en el tramo de estudio. El registro se efectuó de manera sistemática, controlando el flujo tanto en el sentido de acceso como de retorno, lo que permitió analizar la variación direccional del tránsito.

Asimismo, se realizó la clasificación vehicular, diferenciando entre vehículos livianos y pesados, con el propósito de evaluar la composición del tráfico y su incidencia en el desempeño de la vía. La información recopilada constituye una base confiable para el análisis de demanda vehicular y su posterior aplicación en estudios de diseño y evaluación del pavimento.

a) Norma Técnica

- ✓ Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018

b) Instrumentos de medición

- ✓ El aforo vehicular se realizó mediante conteo manual y empleando planillas de registro.

c) Materiales

- ✓ Lapiceros
- ✓ Tablero de apoyo
- ✓ Formatos Excel de conteo vehicular

d) Procedimiento

En una primera etapa, se definieron tres puntos de control distribuidos a lo largo del tramo de estudio, seleccionados en función de su adecuada visibilidad, accesibilidad y representatividad del flujo vehicular. El aforo fue realizado por el personal técnico conformado por dos personas, quienes se desplazaron a cada punto en los diferentes días de la semana, asegurando uniformidad en los criterios de registro y minimizando variaciones en la toma de datos.

Posteriormente, se ejecutó el conteo vehicular en ambos sentidos de circulación, registrando de manera continua el paso de unidades durante el periodo de evaluación. El procedimiento incluyó la clasificación del tránsito,

diferenciando entre vehículos livianos y pesados, mediante anotaciones sistemáticas en formatos previamente establecidos y organizados por intervalos de tiempo.

Finalmente, los datos obtenidos en campo fueron recopilados organizados y verificados de manera sistemática. A partir de esta información, se determinó el volumen de tránsito clasificado por sentido de circulación y por tipo de vehículo en cada estación de control, permitiendo caracterizar de manera precisa la demanda vehicular del tramo en estudio. Esta base de datos confiable constituye un insumo fundamental para el análisis del comportamiento del flujo de tránsito, así como para la posterior estimación del Índice Medio Diario Anual (IMDA), parámetro clave en la planificación, diseño y evaluación de la infraestructura vial.

Figura 37

Aforo vehicular en el Punto 01 ubicado en el tramo km 167+000 – km 169+000



Nota: Registro del aforo vehicular en el Punto 01, ubicado en el tramo km 167+000 – km 169+000, donde se realizó el conteo y clasificación de vehículos en el año 2025

Figura 38

Aforo vehicular en el Punto 02 ubicado en el tramo km 169+000 – km 171+000



Nota: Registro del aforo vehicular en el Punto 02, ubicado en el tramo km 169+000 – km 171+000, donde se realizó el conteo y clasificación de vehículos en el año 2025.

Figura 39

Aforo vehicular en el Punto 01 ubicado en el tramo km 171+000 – km 173+000



Nota: Registro del aforo vehicular en el Punto 01, ubicado en el tramo km 167+000 – km 169+000, donde se realizó el conteo y clasificación de vehículos en el año 2025

Figura 40

Factor de corrección de acuerdo al peaje más cercano - Ambo

FACTOR DE CORRECCION DEL PEAJE: AMBO	
Factor de Correccion VEHICULOS LIGEROS	0.9693
Factor de Correccion VEHICULOS PESADOS	0.9453

Nota: Factor de corrección basado en el peaje de Ambo, empleado para ajustar los volúmenes vehiculares y estimar el IMDA, considerando la variación del tránsito en el año 2025.

e) Formulas empleadas

$$IMDS = \frac{\sum_{i=1}^7 V_i}{7} \dots\dots\dots(1)$$

IMDS: Índice Medio Diario Semanal (veh/día)

Vi: Volumen vehicular diario(veh/día)

$$IMDA = IMDS \times FC \dots\dots\dots(2)$$

IMDA: Índice Medio Diario Anual (veh/día)

IMDS: Índice Medio Diario Semanal (veh/día)

FC: Factor de Corrección Estacional

$$IMDA_{total} = IMDA_{livianos} + IMDA_{pesados} \dots\dots\dots(3)$$

IMDA(total): Índice Medio Diario Anual Total (veh/día)

IMDA(livianos): Índice Medio Diario Semanal de vehículos livianos (veh/día)

IMDA(pesados):Índice Medio Diario Semana de vehículos pesados (veh/día)

f) Resultados

Los resultados se evidencian en la tabla que se muestra a continuación:

Tabla 13

Índice Medio Diario Anual

Tipo de vehículo	Tráfico vehicular en ambos sentidos por día							Total semana	IMDs	FC	IMDa
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábados	Domingos				
Autos	5383	4587	4915	4681	4634	3558	3370	31129	4447	0.9693	4310
Satation Wagon	693	591	633	603	597	458	434	4010	573	0.9693	555
Camioneta Pick Up	1152	982	1052	1002	992	762	721	6663	952	0.9693	923
Camioneta Panel	679	578	620	590	584	448	425	3924	561	0.9693	543
Combi Rural	1772	1510	1618	1541	1526	1171	1110	10248	1464	0.9693	1419
Micro	1328	1132	1213	1155	1143	878	832	7681	1097	0.9453	1037
Ómnibus 2E	97	82	88	84	83	64	60	559	80	0.9453	75
Ómnibus 3E	122	104	111	106	105	81	76	705	101	0.9453	95
Ómnibus 4E	29	25	26	25	25	19	18	166	24	0.9453	22
Camión 2E	706	602	645	614	608	467	442	4083	583	0.9453	551
Camión 3E	539	460	492	469	464	356	338	3119	446	0.9453	421
Camión 4E	130	111	119	113	112	86	81	751	107	0.9453	101
Semi trayler 2S1	9	9	8	8	8	6	6	55	8	0.9453	7
Semi trayler 2S2	26	26	24	23	23	17	17	157	22	0.9453	21
Semi trayler 2S3	15	15	14	13	13	10	9	89	13	0.9453	12
Semi trayler 3S1	12	12	11	10	10	8	7	68	10	0.9453	9
Semi trayler 3S2	47	47	43	41	41	31	30	280	40	0.9453	38
Semi trayler >=3S3	941	883	859	818	810	622	589	5522	789	0.9453	746
Trayler 2T2	5	4	4	4	4	3	3	27	4	0.9453	4
Trayler 2T3	16	14	15	14	14	11	10	93	13	0.9453	13
Trayler 3T2	17	15	16	15	15	11	11	100	14	0.9453	13
Trayler >= 3T3	38	32	35	33	33	25	24	219	31	0.9453	30
TOTAL	13756	11821	12560	11962	11842	9091	8613	79645	11378		10948

El Índice Medio Diario Anual (IMDA) obtenido para el tramo en estudio es de **10948 veh/día**, valor que refleja el promedio anual del tránsito diario **alto** considerando las variaciones estacionales y mensuales del flujo vehicular.

B) CÁLCULO DEL TCV (TASA DE CRECIMIENTO VEHICULAR)

Para estimar la tasa de crecimiento vehicular anual, se recabaron los valores del Índice Medio Diario Anual (IMDA) correspondientes a los años

2022 y 2025. Con estos datos se aplicó la fórmula de crecimiento compuesto, que hace viable determinar el incremento promedio anual del tránsito en el transcurso del periodo analizado.

a) Norma Técnica

- ✓ Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018

b) Instrumentos de medición

- ✓ Registro estadístico de tránsito

c) Materiales

- ✓ Reportes históricos de IMDA
- ✓ Software de procesamiento de datos (Excel)

d) Procedimiento

Para el cálculo de la tasa de crecimiento vehicular, se partió del IMDA correspondiente al año 2025, previamente determinado en el presente estudio a partir de los aforos realizados en campo. Posteriormente, se llevó a cabo una recopilación y revisión de información histórica de tránsito, obteniendo el valor de IMDA de un periodo anterior mediante fuentes documentales confiables, tales como reportes técnicos y registros oficiales, con el propósito de establecer una base comparativa consistente.

Una vez definidos ambos valores (IMDA actual e IMDA histórico), se procedió a la estimación de la tasa de crecimiento vehicular, empleando relaciones matemáticas que permiten cuantificar la variación porcentual del tránsito a lo largo del tiempo. Este análisis considera la diferencia relativa entre los volúmenes vehiculares de ambos periodos, permitiendo identificar la tendencia de incremento o disminución del flujo vehicular.

Para el procesamiento de la información, se utilizó el software Microsoft Excel, en el cual se estructuraron los datos en tablas organizadas, facilitando la aplicación de fórmulas y la verificación de resultados. Asimismo, se realizaron controles de consistencia para asegurar la confiabilidad de los valores obtenidos.

Finalmente, el resultado permitió caracterizar la dinámica de crecimiento del tránsito vehicular, constituyéndose en un parámetro clave para la

proyección de la demanda futura, así como para el análisis del desempeño estructural y funcional del pavimento flexible, aportando criterios técnicos para la toma de decisiones en materia de diseño, mantenimiento y rehabilitación vial.

Figura 41

Índice Medio Diario Anual correspondiente al año 2022

TRAFICO VEHICULAR – AMBO-HUANUCO Clasificación E-5 (Veh/día)				
Tipo de Vehículos	FC	IMDs	IMDa	Distrib. %
Autos	1.0953318	2412	2627	28.89
S. Wagon	1.0953318	3259	3550	39.18
Pick Up	1.0953318	940	1038	11.38
Panel	1.0953318	129	140	1.54
C. Rural	1.0953318	417	428	4.99
Micro	1.0953318	286	313	3.43
Omnibus 2E	1.11165018	17	19	0.22
Omnibus 3E	1.11165018	3	0	0.04
Omnibus 4E	1.11165018	0	0	0.00
Camion 2E	1.11165018	835	927	9.99
Camión 3E	1.11165018	198	220	2.37
Camión 3E	1.11165018	53	59	0.63
Traylers	1.11165018	5	6	0.09
Traylers 4E	1.11165018	2	1	0.02
TOTAL		8357	9137	100.00

Nota: Valor del Índice Medio Diario Anual (IMDA) correspondiente al año 2022, obtenido a partir de registros históricos de tránsito utilizado para la estimación de la tasa de crecimiento vehicular.

e) Fórmulas empleadas

$$Re = \frac{IMDAa}{IMDAp} \dots\dots\dots(1)$$

Re: Relación del Índice Diario Medio Anual

IMDAa: Índice Diario Medio Anual actual (veh/día)

IMDAp: Índice Diario Medio Anual pasado (veh/día)

$$TCV = \left[\left(\frac{IMDAa}{IMDAp} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

TCV: Tasa de crecimiento vehicular (%)

IMDAa: Índice Diario Medio Anual actual (veh/día)

IMDAp: Índice Diario Medio Anua pasado (veh/día)

n: años transcurridos

f) Resultados

Los resultados se evidencian en la tabla que se muestra a continuación:

Tabla 14

Tasa de crecimiento vehicular (TCV)

Año	IMDA (veh/día)	Relación de IMDA	Años transcurridos (n)	Tasa de crecimiento vehicular (TCV)
2022	9137	1.20	3	6.20%
2025	10 948			

Este resultado indica que, durante el periodo analizado, el volumen de tránsito en el tramo evaluado presentó un incremento promedio anual de aproximadamente **6.20%**, reflejando una **alta** tasa de crecimiento vehicular.

C) CÁLCULO DEL ESAL (CARGA EQUIVALENTE POR EJE ÚNICO)

Para calcular el ESAL proyectado, se consideró un periodo de 5 años, por lo general es la duración temporal de la elaboración del proyecto con término en la ejecución del mismo.

Con este procedimiento se estimó el incremento del tránsito y, en base a ello, se determinaron las cargas equivalentes acumuladas (ESAL) que actuarán sobre la vía durante esos cinco años. Este valor será utilizado posteriormente para el cálculo del ESAL de diseño.

a) Norma Técnica

- ✓ Manual de Carreteras: Suelos, Geotecnia y Pavimentos. Parte 3 Pavimentos Flexibles

b) Instrumentos de medición

- ✓ Factores de equivalencia de carga
- ✓ Registro de tránsito vehicular

c) Materiales

- ✓ Software de procesamiento de datos (Excel)

d) Procedimiento

Se parte del IMDA actual, obtenido del aforo vehicular, el cual representa el volumen promedio diario de tránsito en el año base del estudio. Se desagrega el tránsito en vehículos livianos y pesados, considerando únicamente estos últimos para el cálculo del ESAL, debido a su incidencia en el deterioro estructural del pavimento. Se calcula la proporción de vehículos pesados respecto al tránsito total, lo que permite estimar el volumen diario de vehículos que generan daño estructural. A cada tipo de vehículo pesado se le asigna un factor de equivalencia de carga (ESAL), el cual representa el daño equivalente en términos de ejes estándar de 8.2 toneladas. Estos factores se obtienen de normativas o tablas técnicas. Posteriormente, se multiplica el número de vehículos pesados por sus respectivos factores de equivalencia, obteniendo el número de ejes equivalentes diarios. Se proyecta el tránsito a lo largo del periodo de diseño, utilizando la tasa de crecimiento vehicular previamente calculada. Se determina el número total de ejes equivalentes acumulados durante el periodo de diseño, considerando el crecimiento del tránsito y los días del año. Se incorporan factores como: Factor direccional (FD) y Factor de distribución por carril (FC).

Finalmente, se obtiene el ESAL de diseño, que representa la carga total acumulada que soportará el pavimento durante su vida útil, siendo un parámetro fundamental para el dimensionamiento estructural.

Figura 42

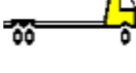
Ejes equivalentes de vehículos ligeros para cálculo del ESAL

TIPO DE VEHICULO			TIPO DE EJE	NUMERO DE LLANTAS	CARGA EJE (Tn)	EJE EQUIVALENTE PAVIMENTO
VEHICULOS LIGEROS		Autos	SIMPLE	2	1	0.000527
			SIMPLE	2	1	0.000527
		S. Wagon	SIMPLE	2	1	0.000527
			SIMPLE	2	1	0.000527
		Pick Up	SIMPLE	2	1	0.000527
			SIMPLE	2	1	0.000527
		Panel	SIMPLE	2	1	0.000527
			SIMPLE	2	1	0.000527
		Combi Rural	SIMPLE	2	1	0.000527
			SIMPLE	2	1	0.000527

Nota: Ejes equivalentes asignados a vehículos ligeros para el cálculo del ESAL, basados en factores de equivalencia de carga.

Figura 43

Ejes equivalentes de vehículos pesados para cálculo del ESAL-01

TIPO DE VEHICULO			TIPO DE EJE	NUMERO DE LLANTAS	CARGA EJE (Tn)	EJE EQUIVALENTE PAVIMENTO
VEHICULOS PESADOS		Micros	SIMPLE	2	1	0.000527
			SIMPLE	2	1	0.000527
		BUS 2E	SIMPLE	2	7	1.265367
			SIMPLE	4	11	3.238287
		BUS 3E	SIMPLE	2	7	1.265367
			TANDEM	6	16	1.365945
		BUS 4E	TANDEM	4	14	2.196447
			TANDEM	6	16	1.365945
		CAMION 2E	SIMPLE	2	7	1.265367
			SIMPLE	4	11	3.238287
		CAMION 3E	SIMPLE	2	7	1.265367
			TANDEM	8	18	2.019213
		CAMION 4E	SIMPLE	2	7	1.265367
			TRIDEM	10	23	1.508184
		SEMY TRAYLER 2S1	SIMPLE	2	7	1.265367
			SIMPLE	4	11	3.238287
			SIMPLE	4	11	3.238287

Nota: Ejes equivalentes asignados a vehículos pesados para el cálculo del ESAL, basados en factores de equivalencia de carga.

Figura 44

Ejes equivalentes de vehículos pesados para cálculo del ESAL-02

TIPO DE VEHICULO			TIPO DE EJE	NUMERO DE LLANTAS	CARGA EJE (Tn)	EJE EQUIVALENTE PAVIMENTO
VEHICULOS PESADOS		SEMY TRAYLER 2S2	SIMPLE	2	7	1.265367
			SIMPLE	4	11	3.238287
			TANDEM	8	18	2.019213
		SEMY TRAYLER 2S3	SIMPLE	2	7	1.265367
			SIMPLE	4	11	3.238287
			TRIDEM	12	25	1.706026
		SEMY TRAYLER 3S1	SIMPLE	2	7	1.265367
			TANDEM	8	18	2.019213
			SIMPLE	4	11	3.238287
		SEMY TRAYLER 3S2	SIMPLE	2	7	1.265367
			TANDEM	8	18	2.019213
			TANDEM	8	18	2.019213
		SEMY TRAYLER >=3S3	SIMPLE	2	7	1.265367
			TANDEM	8	18	2.019213
			TRIDEM	12	25	1.706026
		TRAYLER 2T2	SIMPLE	2	7	1.265367
			SIMPLE	2	7	1.265367
			SIMPLE	2	7	1.265367
			SIMPLE	2	7	1.265367
		TRAYLER 2T3	SIMPLE	2	7	1.265367
			SIMPLE	4	11	3.238287
			SIMPLE	4	11	3.238287
			TANDEM	8	18	2.019213
		TRAYLER 3T2	SIMPLE	2	7	1.265367
			TANDEM	8	18	2.019213
			SIMPLE	4	11	3.238287
			SIMPLE	4	11	3.238287
		TRAYLER >=3T3	SIMPLE	2	7	1.265367
			TANDEM	8	18	2.019213
			SIMPLE	4	11	3.238287
			TANDEM	8	18	2.019213

Nota: Ejes equivalentes asignados a vehículos pesados para el cálculo del ESAL, basados en factores de equivalencia de carga.

Figura 45

Tasa anual de crecimiento de vehículos en la región de Huánuco

TASA ANUAL DE CRECIMINETO DE VEHICULOS - REGION HUANUCO	
TASA ANUAL DE CRECIMINETO DE VEHICULOS LIVIANOS	r= 0.91%
TASA ANUAL DE CRECIMINETO DE VEHICULOS PESADOS	r= 3.85%

Nota: Tasa anual de crecimiento vehicular en la región de Huánuco, obtenida de información histórica de tránsito. Utilizada para la proyección del IMDA.

e) Fórmulas empleadas

$$IMDA_{proy} = IMDA_{actual} \times (1 + r)^{(n-1)} \dots\dots\dots(1)$$

IMDA_{proy}: Índice Diario Medio Anual proyectado(veh/día)

IMDA_{actual}: Índice Diario Medio Anual actual (veh/día)

r: Tasa de crecimiento anual de vehiculos (%)

n: Número de años de proyección

$$ESAL = \sum EE \times IMDA_{proy} \dots\dots\dots(2)$$

ESAL: Número de Ejes Simples Equivalentes de 8.2 toneladas

EE:Ejes equivalente por tipo de vehículo

IMDA_{proy}: Índice Diario Medio Anual proyectado(veh/día)

$$FCA = \frac{(1+r)^n - 1}{r} \dots\dots\dots(3)$$

FCA: Factor de crecimiento acumulado

r: Tasa de crecimiento anual (%)

n: Tiempo de vial útil

$$ESAL(DISEÑO) = \sum ESAL \times Fd \times Fc \times FCA \times 365 \dots\dots\dots(4)$$

ESAL(DISEÑO): Número de Ejes Simples Equivalentes de 8.2 toneladas de diseño

ESAL: Número de Ejes Simples Equivalentes de 8.2 toneladas

Fd: Factor direccional

Fc: Factor de distribución por carril

FCA: Factor de crecimiento acumulado

f) Resultados

Los resultados se evidencian a continuación:

Tabla 15

Cálculo del ESAL proyectado

Tipo de vehículo	Tasa de crecimiento anual de vehículos	IMDA 2030	Σ EE 8.2 Ton (P. Flexible)	ESAL
Autos	0.91%	4470	0.0010540	4.711
Satation Wagon	0.91%	576	0.0010540	0.607
Camioneta Pick Up	0.91%	957	0.0010540	1.009
Camioneta Panel	0.91%	564	0.0010540	0.594
Combi Rural	0.91%	1471	0.0010540	1.551
Micro	3.85%	1206	0.0010540	1.271
Ómnibus 2E	3.85%	88	4.5036540	396.151
Ómnibus 3E	3.85%	111	2.6313120	292.213
Ómnibus 4E	3.85%	26	3.5623920	94.007
Camión 2E	3.85%	641	4.5036540	2886.947
Camión 3E	3.85%	490	3.2845800	1610.720
Camión 4E	3.85%	118	2.7735510	326.306
Semi trayler 2S1	3.85%	9	7.7419410	68.100
Semi trayler 2S2	3.85%	24	6.5228670	157.785
Semi trayler 2S3	3.85%	13	6.2096800	81.932
Semi trayler 3S1	3.85%	11	6.5228670	71.721
Semi trayler 3S2	3.85%	43	5.3037930	227.435
Semi trayler >=3S3	3.85%	854	4.9906060	4263.631
Trayler 2T2	3.85%	4	5.0614680	22.261
Trayler 2T3	3.85%	14	9.7611540	139.524
Trayler 3T2	3.85%	15	9.7611540	150.257
Trayler >= 3T3	3.85%	34	8.5420800	291.159
TOTAL				11090

El ESAL de diseño se calcula a partir del ESAL proyectado, considerando el tiempo de servicio del pavimento, el número de calzadas, sentidos de circulación y carriles. También se aplican los factores direccionales y de distribución para obtener la carga equivalente que actuará en el carril de diseño en el transcurso total del tiempo de servicio, el factor direccional es 0.50 ya que la vía es bidireccional (2 sentidos) y el factor carril será de 1.00 ya que la vía cuenta con un carril por sentido.

Este valor representa el total de cargas equivalentes acumuladas que se usarán en el dimensionamiento del pavimento flexible.

Tabla 16

ESAL de Diseño

ESAL DE DISEÑO		
TCV (vehículos pesados)	-	3.85%
TCV (vehículos livianos)	-	
Tiempo de vida útil de pavimento (años)	n	20
FCA (Factor de crecimiento acumulado veh. Pesados)	Fca	29.32
Numero de calzadas, sentidos y carriles por sentido	-	1 calzada /2 sentidos/1 carril por sentido
Factor direccional x Factor carril (FdxFc)	FdxFc	0.50
ESAL proyectado	ESAL	11090
Numero de repeticiones de ejes equivalentes (ESAL diseño)	ESALdiseño	59338599

El cálculo realizado permitió obtener un ESAL de diseño de **59 338 599 EE**, valor que simboliza la cifra global de cargas equivalentes de un eje simple de 8.2 toneladas que intervendrá sobre el carril de diseño durante su periodo de servicio del pavimento. Este resultado evidencia un grado de tránsito pesado **muy alto**, ello refleja que la vía estará sometida a una intensa demanda de cargas a lo largo de su periodo de servicio.

4.1.3 DETERMINACIÓN DEL ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS

A) CONTENIDO DE HUMEDAD

De acuerdo con lo establecido en la norma NTP 339.127 – MTC E 108, para determinar el contenido de humedad de las 6 muestras obtenidas de las 6 calicatas, primero se seleccionó una fracción representativa de cada muestra y se procedió a efectuar el ensayo.

a) Norma Técnica

- ✓ NTP 339.127 – MTC E 108

b) Instrumentos de medición

- ✓ Balanza electrónica calibrada
- ✓ Horno de secado

c) Materiales

- ✓ Software de procesamiento de datos (Excel)
- ✓ Formatos Excel impresos
- ✓ Espátula
- ✓ Recipientes metálicos o capsulas

d) Procedimiento

El ensayo de contenido de humedad se desarrolló a partir del cuarteo del material proveniente de cada calicata, con el objetivo de obtener una porción representativa del suelo, considerando un total de seis (06) muestras correspondientes a los puntos de exploración. De cada muestra se extrajo una cantidad adecuada, la cual fue colocada en recipientes metálicos previamente identificados y pesados (tara), procediéndose a registrar el peso en estado natural (húmedo) mediante una balanza de precisión, donde se pesará aproximadamente 500 gr de la muestra obtenida en campo. Posteriormente, las muestras fueron sometidas a un proceso de secado en horno, manteniéndose a una temperatura controlada entre 105 °C y 110 °C durante un periodo aproximado de 24 horas, hasta alcanzar una condición de masa constante. Una vez concluido este proceso, las muestras fueron retiradas del horno y se determinó el peso en estado seco, registrando cuidadosamente cada valor obtenido. Finalmente, con la información recopilada, se efectuó el tratamiento y procesamiento de datos, calculando el contenido de humedad de cada muestra a partir de la relación entre la masa de agua evaporada y la masa seca del suelo, organizando los resultados en tablas para su posterior análisis e interpretación dentro del estudio.

Figura 46

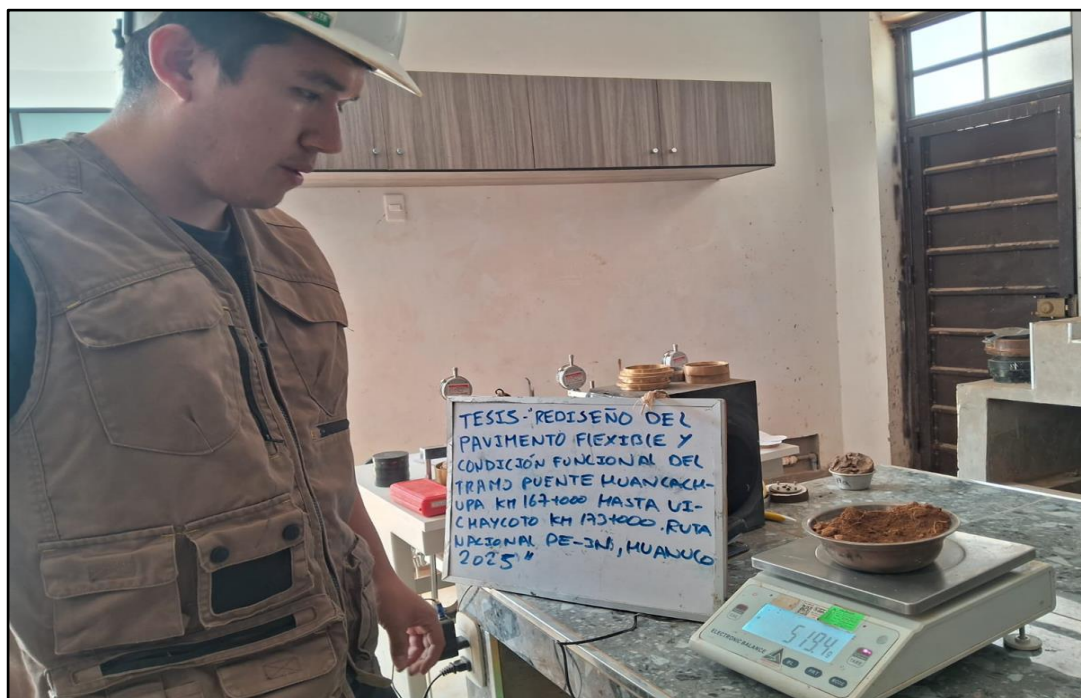
Fraccionamiento manual del material para la obtención de una muestra representativa



Nota: El material se reduce mediante cuarteo para obtener una muestra representativa, manteniendo sus propiedades originales, en el año 2025.

Figura 47

Determinación del peso de la muestra húmeda mediante balanza electrónica



Nota: Se registra el peso de la muestra en condición húmeda utilizando una balanza electrónica calibrada, se pesa aproximadamente 500 gr por cada muestra, en el año 2025.

Figura 48

Ingreso de la muestra húmeda en horno eléctrico para secado a 105 °C



Nota: La muestra se coloca en el horno a temperatura controlada de 105 °C para eliminar la humedad, asegurando condiciones adecuadas para la determinación de su masa seca., en el año 2025.

Figura 49

Determinación de del peso seco de la muestra en balanza electrónica



Nota: Se mide el peso de la muestra tras el secado en horno, permitiendo calcular el contenido de humedad mediante la diferencia entre masa húmeda y seca, en el año 2025.

e) Fórmulas empleadas

$$W = \frac{W_{AGUA}}{W_{SECO}} \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

W: Contenido de Humedad(%)

W_{AGUA}: Peso del agua (g)

W_{SECO}: Peso de la muestra seca (g)

$$W = \frac{(W_{HUMEDO}-W_{SECO})}{W_{SECO}} \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

W: Contenido de Humedad(%)

W_{HUMEDO}: Peso de la muestra húmeda (g)

W_{SECO}: Peso de la muestra seca (g)

f) Resultados

Los resultados se evidencian a continuación:

f.1) Contenido de Humedad - Calicata 01

La tabla mostrada en seguida evidencia los valores obtenidos a partir de desarrollar la prueba de contenido de humedad a la muestra 01.

Tabla 17

Contenido de humedad- Calicata 01

MUESTRA 01	UNIDAD	C-01
Peso de la muestra húmeda + tara	gr	523.40
Peso de la muestra seca + tara	gr	485.69
Peso de la tara	gr	52.40
Peso de la muestra seca	gr	433.29
Peso del agua	gr	37.71
W (porcentaje de humedad)	%	8.70

Un contenido de humedad de **8.70%** en la muestra 01 pone en manifiesto que el suelo expone un contenido de **humedad medio**, típica de un material relativamente seco, estable y sin saturación.

f.2) Contenido de Humedad - Calicata 02

La tabla mostrada en seguida evidencia los valores obtenidos a partir de desarrollar la prueba de contenido de humedad a la muestra 02.

Tabla 18

Contenido de humedad- Calicata 02

MUESTRA 02	UNIDAD	C-02
Peso de la muestra húmeda + tara	gr	515.50
Peso de la muestra seca + tara	gr	482.97
Peso de la tara	gr	52.40
Peso de la muestra seca	gr	430.57
Peso del agua	gr	32.53
W (porcentaje de humedad)	%	7.56

El contenido de humedad de la muestra 02, correspondiente a **7.56%**, pone en manifiesto que el suelo expone una **humedad media**, con una cantidad baja de agua en sus poros. Este nivel de humedad es típico de materiales que no han estado expuestos recientemente a infiltraciones o a un nivel freático cercano.

f.3) Contenido de Humedad - Calicata 03

La tabla mostrada en seguida evidencia los valores obtenidos a partir de desarrollar la prueba de contenido de humedad a la muestra 03.

Tabla 19

Contenido de humedad- Calicata 03

MUESTRA 03	UNIDAD	C-03
Peso de la muestra húmeda + tara	gr	544.85
Peso de la muestra seca + tara	gr	492.95
Peso de la tara	gr	52.40
Peso de la muestra seca	gr	440.55
Peso del agua	gr	51.90
W (porcentaje de humedad)	%	11.78

El contenido de humedad de la muestra 03, equivalente a **11.78%**, pone en manifiesto que el suelo expone una **humedad media**, superior a la de un suelo seco, pero todavía lejos de niveles de saturación. Este valor señala que el material conserva una proporción apreciable de agua en sus poros

f.4) Contenido de Humedad - Calicata 04

La tabla mostrada en seguida evidencia los valores obtenidos a partir de desarrollar la prueba de contenido de humedad a la muestra 04.

Tabla 20

Contenido de humedad- Calicata 04

MUESTRA 04	UNIDAD	C-04
Peso de la muestra húmeda + tara	gr	528.60
Peso de la muestra seca + tara	gr	486.82
Peso de la tara	gr	52.40
Peso de la muestra seca	gr	434.42
Peso del agua	gr	41.78
W (porcentaje de humedad)	%	9.62

El contenido de humedad de la muestra 04, equivalente a **9.62%**, pone en evidencia que el suelo expone una **humedad media**, típica de un material que no está completamente seco, pero tampoco cercano a la saturación.

f.5) Contenido de Humedad - Calicata 05

La tabla mostrada en seguida evidencia los valores obtenidos a partir de desarrollar la prueba de contenido de humedad a la muestra 05.

Tabla 21

Contenido de humedad- Calicata 05

MUESTRA 05	UNIDAD	C-05
Peso de la muestra húmeda + tara	gr	512.30
Peso de la muestra seca + tara	gr	480.12
Peso de la tara	gr	52.40
Peso de la muestra seca	gr	427.72
Peso del agua	gr	32.18
W (porcentaje de humedad)	%	7.52

El contenido de humedad de la muestra 05, equivalente a **7.52%**, indica que el suelo expone una **humedad media** y evidencia que el suelo se encuentra en un estado relativamente seco, con poca cantidad de agua retenida en sus poros.

f.6) Contenido de Humedad - Calicata 06

La tabla mostrada en seguida evidencia los valores obtenidos a partir de desarrollar la prueba de contenido de humedad a la muestra 06.

Tabla 22

Contenido de humedad- Calicata 06

MUESTRA 06	UNIDAD	C-06
Peso de la muestra húmeda + tara	gr	519.85
Peso de la muestra seca + tara	gr	483.15
Peso de la tara	gr	52.40
Peso de la muestra seca	gr	430.75
Peso del agua	gr	36.70
W (porcentaje de humedad)	%	8.52

El contenido de humedad de la muestra 06, equivalente a **8.52%**, evidencia que el suelo expone una **humedad media**, propia de un material que no está completamente seco pero que tampoco retiene una cantidad significativa de agua.

B) ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

De acuerdo con lo establecido en la norma NTP 339.128 – MTC E 107, se desarrolló el análisis granulométrico por tamizado a las muestras obtenidas de seis (06) calicatas, con miras de establecer la disposición de tamaños de partículas y precisar los coeficientes de uniformidad (Cu) y coeficiente de curvatura (Cc). Este procedimiento permitió recabar los datos indispensables para analizar la composición granulométrica de cada muestra y analizar sus características físicas representativas del material del terreno.

a) Norma Técnica

- ✓ NTP 339.128 – MTC E 107

b) Instrumentos de medición

- ✓ Balanza electrónica calibrada
- ✓ Juego de tamices normalizados
- ✓ Horno de secado

c) Materiales

- ✓ Software de procesamiento de datos (Excel)
- ✓ Formatos Excel impresos

- ✓ Espátula
- ✓ Recipientes metálicos o capsulas

d) Procedimiento

El ensayo se inició con la preparación de la muestra, la cual fue previamente cuarteada para obtener una fracción representativa del material. Posteriormente, se pesa 2000 gr de la muestra para realizar el ensayo, luego dicha muestra fue colocada en el horno de secado, manteniéndose a una temperatura entre 105 °C y 110 °C hasta alcanzar una condición de masa constante, con el fin de eliminar la humedad presente.

Una vez seca, la muestra fue retirada del horno y se procedió a determinar su peso total inicial mediante una balanza electrónica de precisión, registrando este valor como referencia para el análisis. Seguidamente, el material fue sometido al proceso de tamizado, utilizando un juego de tamices normalizados dispuestos en orden decreciente de abertura, desde el de mayor tamaño en la parte superior hasta el más fino en la parte inferior.

El conjunto de tamices con la muestra fue agitado de manera controlada, permitiendo la separación de las partículas según su tamaño. Finalizado el proceso, se procedió a pesar el material retenido en cada tamiz, registrando cuidadosamente los valores obtenidos para cada fracción.

Finalmente, con los datos registrados, se realizó el procesamiento de resultados, determinando el porcentaje retenido y el porcentaje que pasa por cada tamiz, lo que permitió establecer la distribución granulométrica del suelo y su posterior representación mediante la curva granulométrica, donde se podrá evidenciar el coeficiente de uniformidad (Cu) y coeficiente de curvatura (Cc).

Figura 50

Fraccionamiento manual del material para la obtención de una muestra representativa



Nota: El material se reduce mediante cuarteo para obtener una muestra representativa, manteniendo sus propiedades originales para ensayo de granulometría, en el año 2025.

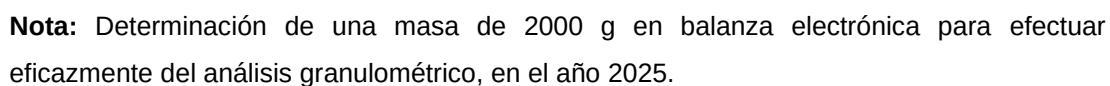
Figura 51

Pesaje de muestra para ensayo de granulometría



Nota: Se determina una masa aproximada de 2000 g en balanza electrónica para asegurar una cantidad adecuada y representativa antes del análisis granulométrico, en el año 2025.

Verificación del Pesaje de la muestra para ensayo de granulometría



Colocación de la muestra en el juego de tamices para análisis

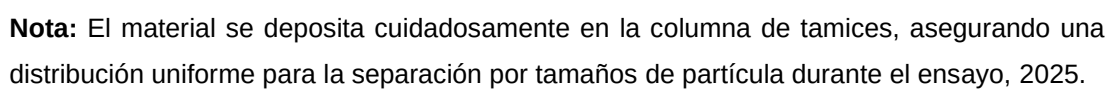


Figura 54

Retiro secuencial de tamices y transferencia del material retenido a recipientes



Nota: Se extrae cada tamiz de forma ordenada y se recoge el material retenido en cápsulas individuales, garantizando la identificación y cuantificación precisa del peso, en el año 2025.

Figura 55

Disposición de las fracciones retenidas en recipientes correspondientes a cada tamiz



Nota: Se presentan las muestras clasificadas en recipientes individuales según el tamiz de retención, facilitando el registro y análisis de la distribución granulométrica, en el año 2025.

Figura 56

Determinación del peso de cada fracción retenida en la balanza electrónica



cuantificar las fracciones y elaborar la distribución granulométrica con precisión, en el año 2025

e) Fórmulas empleadas

$$Ri = \frac{W_i}{W_t} \times 100 \quad \dots\dots\dots(1)$$

Ri: Porcentaje Retenido parcial (%)

Wi: Peso retenido en cada tamiz (g)

Wt: Peso total de la muestra (g)

$$\%Racum = \sum \%Ri \quad \dots\dots\dots(2)$$

Racum: Porcentaje Retenido acumulado (%)

Ri: Porcentaje Retenido parcial (%)

$$\%P = 100 - \%Racum \quad \dots\dots\dots(3)$$

P: Porcentaje que pasa (%)

Racum: Porcentaje Retenido acumulado (%)

$$W_{total} = \sum W_i \dots\dots\dots(4)$$

Wtotal: Peso total retenido del material (gr)

Wi: Peso retenido en cada tamiz (g)

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \dots\dots\dots(5)$$

Cu: Coeficiente de uniformidad

D60: Diámetro correspondiente al 60% que pasa (mm)

D10: Diámetro efectivo correspondiente al 10% que pasa (mm)

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} \dots\dots\dots(6)$$

Cu: Coeficiente de curvatura

D60: Diámetro correspondiente al 60% que pasa (mm)

D30: Diámetro correspondiente al 30% que pasa (mm)

D10: Diámetro efectivo correspondiente al 10% que pasa (mm)

f) Resultados

Los resultados se evidencian a continuación:

f.1) Análisis Granulométrico - Calicata 01

En la siguiente tabla se indican los resultados logrados del ensayo.

Tabla 23

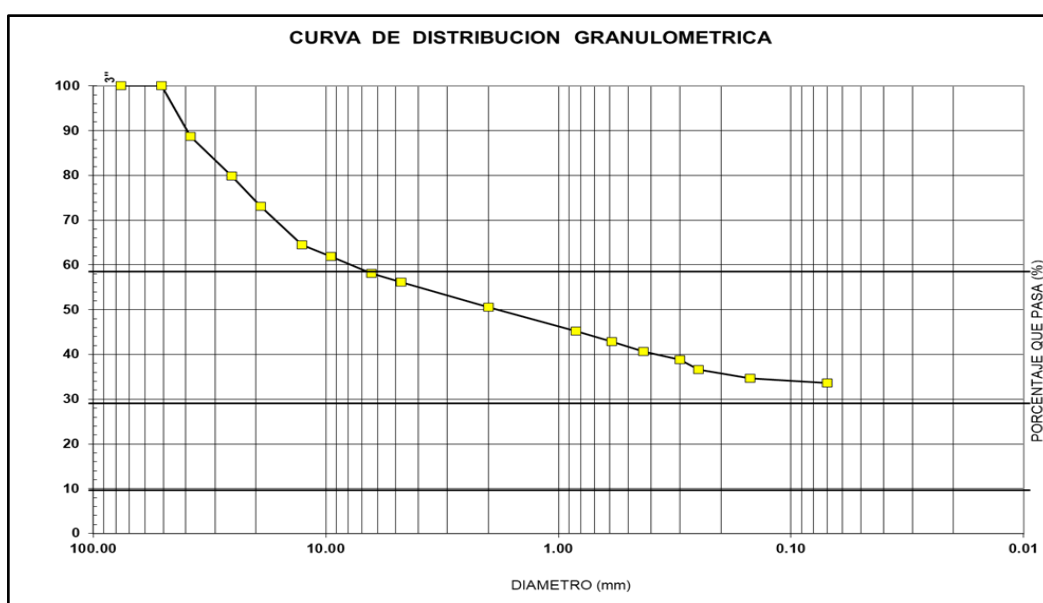
Análisis Granulométrico - Calicata 01

MUESTRA 01					
TAMIZ N°	Tamiz (mm)	Peso retenido (gr)	Retenido (%)	Retenido Acum. (%)	Pasa (%)
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	166.40	11.32	11.32	88.68
1"	25.40	129.70	8.82	20.14	79.86
3/4"	19.05	99.80	6.79	26.93	73.07
1/2"	12.70	126.30	8.59	35.52	64.48
3/8"	9.53	38.00	2.59	38.11	61.89
1/4"	6.35	55.70	3.79	41.90	58.10
No. 4	4.76	27.90	1.90	43.80	56.20
No. 10	2.00	83.60	5.69	49.48	50.52
No. 20	0.84	77.30	5.26	54.74	45.26
No. 30	0.59	34.30	2.33	57.07	42.93
No. 40	0.43	34.00	2.31	59.39	40.61
No. 50	0.30	26.80	1.82	61.21	38.79
No. 60	0.25	31.30	2.13	63.34	36.66
No. 100	0.15	28.70	1.95	65.29	34.71
No. 200	0.07	16.00	1.09	66.38	33.62
CAZOLETA	0.00	494.20	33.62	100.00	0.00
TOTAL		1470.00			

El peso total retenido obtenido en el análisis granulométrico fue de **1470 gr**, valor que representa la masa total de la muestra seca analizada posterior al proceso de tamizado.

Figura 57

Representación gráfica de la curva granulométrica del material proveniente de la Muestra 02



El cuadro mostrado a continuación muestra los valores obtenidos:

Tabla 24

Coefficiente de uniformidad y Grado de Curvatura - Calicata 01

MUESTRA 01	
Pasa Tamiz N°04:	56.20%
Pasa Tamiz N°200:	33.62%
D60(diámetro efectivo):	7.94mm
D30(diámetro efectivo):	0.07mm
D10(diámetro efectivo):	0.02mm
Coef. De uniformidad (Cu):	360.74
Grado de curvatura (Cc):	0.02

El coeficiente de uniformidad (Cu) obtenido fue **360.74**, valor que indica una amplia dispersión en el tamaño de las partículas, es decir, el material está compuesto por granos de diversos tamaños, por lo que se considera un suelo bien graduado o con buena distribución granulométrica. Por otro lado, el coeficiente de curvatura (Cc) resultó **0.02**, valor muy inferior al rango recomendado ($1 \leq Cc \leq 3$).

f.2) Análisis Granulométrico - Calicata 02

En la siguiente tabla se indican los resultados logrados del ensayo.

Tabla 25

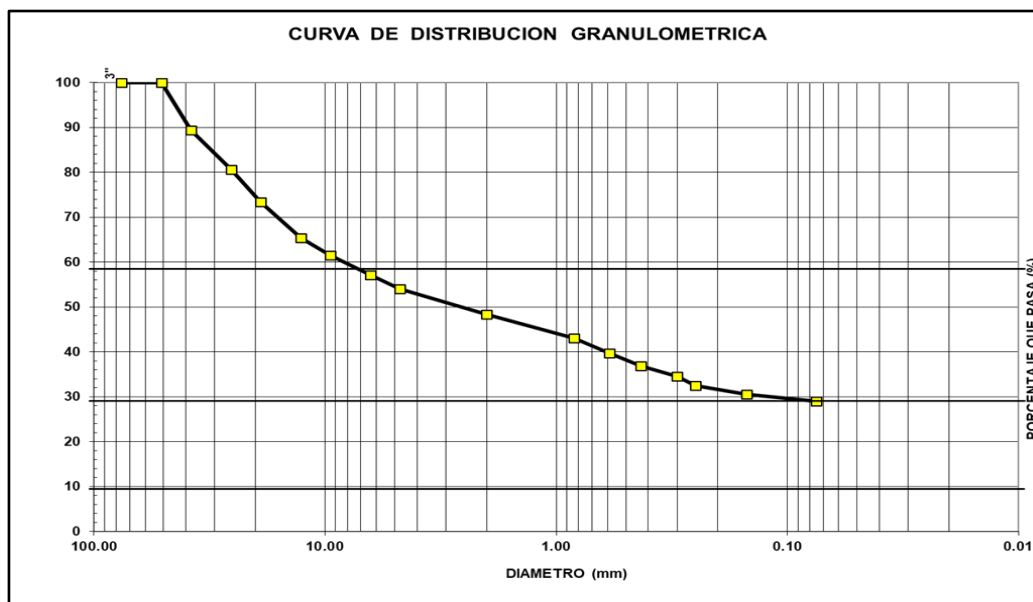
Análisis Granulométrico – Calicata 02

MUESTRA 02					
TAMIZ N°	Tamiz (mm)	Peso retenido (gr)	Retenido (%)	Retenido Acum. (%)	Pasa (%)
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	142.60	10.60	10.60	89.40
1"	25.40	118.50	8.81	19.41	80.59
3/4"	19.05	96.70	7.19	26.60	73.40
1/2"	12.70	107.30	7.98	34.58	65.42
3/8"	9.53	51.80	3.85	38.43	61.57
1/4"	6.35	59.60	4.44	42.87	57.13
No. 4	4.76	41.20	3.07	45.94	54.06
No. 10	2.00	76.40	5.67	51.61	48.39
No. 20	0.84	70.80	5.26	56.87	43.13
No. 30	0.59	46.50	3.45	60.32	39.68
No. 40	0.43	37.90	2.82	63.14	36.86
No. 50	0.30	30.60	2.27	65.41	34.59
No. 60	0.25	28.20	2.09	67.50	32.50
No. 100	0.15	25.90	1.93	69.43	30.57
No. 200	0.07	21.70	1.61	71.04	28.96
CAZOLETA	0.00	475.30	35.45	100.00	0.00
TOTAL		1349.20			

El peso total retenido obtenido en el análisis granulométrico fue de **1349.20 gr**, valor que representa la masa total de la muestra seca analizada posterior al proceso de tamizado.

Figura 58

Representación gráfica de la curva granulométrica del material proveniente de la Muestra 02.



El cuadro mostrado a continuación muestra los valores obtenidos del ensayo:

Tabla 26

Coefficiente de uniformidad y Grado de Curvatura- Calicata 02

MUESTRA 02	
Pasa Tamiz N°04:	54.06%
Pasa Tamiz N°200:	28.96%
D60(diámetro efectivo):	7.52 mm
D30(diámetro efectivo):	0.08 mm
D10(diámetro efectivo):	0.02mm
Coef. De uniformidad (Cu):	376.81
Grado de curvatura (Cc):	0.03

El coeficiente de uniformidad **Cu = 376.81** indica que el material presenta una amplia variación en los tamaños de partículas, mostrando una mezcla de fracciones gruesas y finas. Sin embargo, el grado de curvatura **Cc = 0.03**, al ser muy bajo respecto al rango ideal ($1 \leq Cc \leq 3$), sugiere que el suelo no posee una gradación continua ni bien distribuida.

f.3) Análisis Granulométrico - Calicata 03

En la siguiente tabla se indican los resultados logrados del ensayo.

Tabla 27

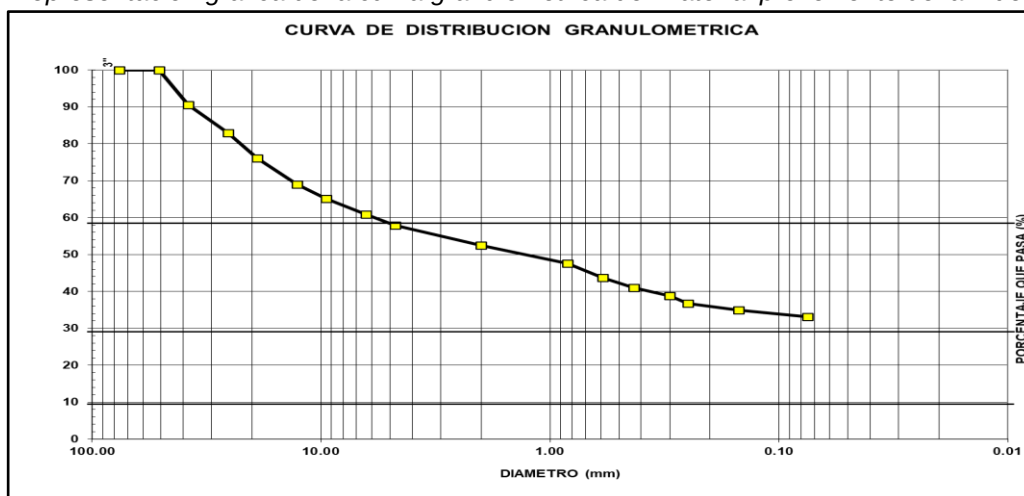
Análisis Granulométrico - Calicata 03

MUESTRA 03					
TAMIZ N°	Tamiz (mm)	Peso retenido (gr)	Retenido (%)	Retenido Acum. (%)	Pasa (%)
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	122.40	9.45	9.45	90.55
1"	25.40	98.70	7.62	17.07	82.93
3/4"	19.05	88.30	6.82	23.89	76.11
1/2"	12.70	92.50	7.15	31.04	68.96
3/8"	9.53	50.10	3.87	34.91	65.09
1/4"	6.35	54.60	4.21	39.12	60.88
No. 4	4.76	39.40	3.03	42.15	57.85
No. 10	2.00	69.80	5.38	47.53	52.47
No. 20	0.84	63.50	4.89	52.42	47.58
No. 30	0.59	50.20	3.87	56.29	43.71
No. 40	0.43	35.90	2.77	59.06	40.94
No. 50	0.30	28.10	2.17	61.23	38.77
No. 60	0.25	25.40	1.96	63.19	36.81
No. 100	0.15	24.60	1.90	65.09	34.91
No. 200	0.07	23.50	1.82	66.91	33.09
CAZOLETA	0.00	422.00	33.09	100.00	0.00
TOTAL		1270.00			

El peso total retenido obtenido en el análisis granulométrico fue de **1270 gr**, valor que representa la masa total de la muestra seca analizada posterior al proceso de tamizado.

Figura 59

Representación gráfica de la curva granulométrica del material proveniente de la Muestra 03



El cuadro mostrado a continuación muestra los valores obtenidos:

Tabla 28

Coefficiente de uniformidad y Grado de Curvatura- Calicata 03

MUESTRA 03	
Pasa Tamiz N°04:	57.85%
Pasa Tamiz N°200:	33.09%
D60(diámetro efectivo):	5.60 mm
D30(diámetro efectivo):	0.41 mm
D10(diámetro efectivo):	0.02 mm
Coef. De uniformidad (Cu):	280.00
Grado de curvatura (Cc):	1.54

El coeficiente de uniformidad **Cu = 280.00** refleja que el suelo presenta una distribución moderadamente uniforme de tamaños de partículas, con una gradación aceptable. El grado de curvatura **Cc = 1.54** se encuentra dentro del rango ideal ($1 \leq Cc \leq 3$), lo que evidencia que el material dispone de una curva granulométrica bien graduada, con buena proporción de partículas finas.

f.4) Análisis Granulométrico - Calicata 04

En la siguiente tabla se indican los resultados logrados del ensayo.

Tabla 29

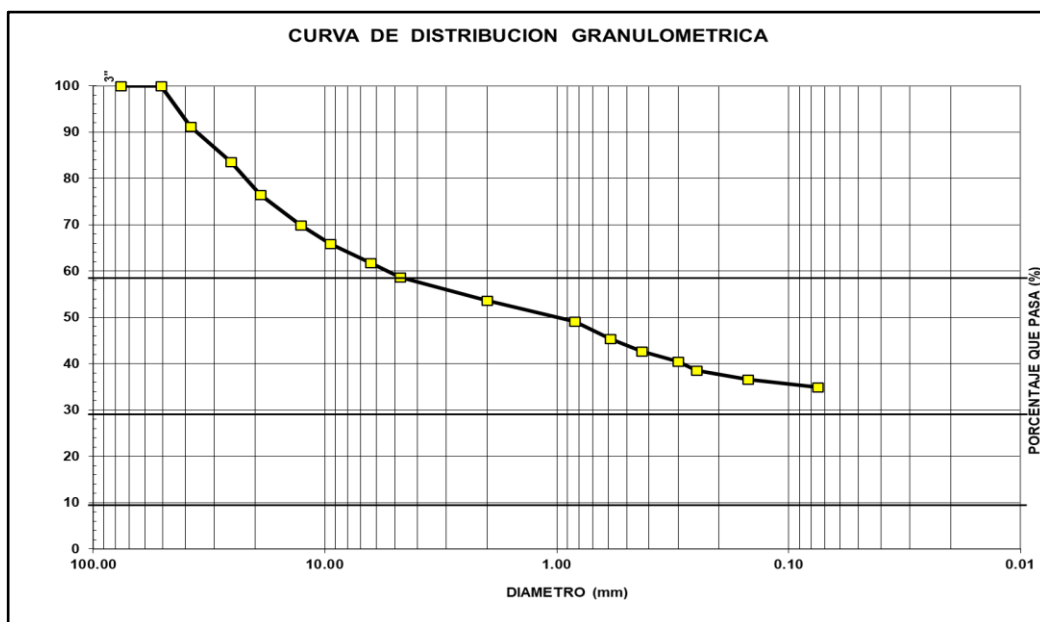
Análisis Granulométrico - Calicata 04

MUESTRA 04					
TAMIZ N°	Tamiz (mm)	Peso retenido (gr)	Retenido (%)	Retenido Acum. (%)	Pasa (%)
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	118.60	8.80	8.80	91.20
1"	25.40	102.30	7.59	16.39	83.61
3/4"	19.05	88.40	7.11	23.50	76.50
1/2"	12.70	89.40	6.63	30.13	69.87
3/8"	9.53	52.70	3.91	34.04	65.96
1/4"	6.35	56.90	4.22	38.26	61.74
No. 4	4.76	41.50	3.08	41.34	58.66
No. 10	2.00	67.30	5.00	46.34	53.66
No. 20	0.84	61.20	4.55	50.89	49.11
No. 30	0.59	49.60	3.69	54.58	45.42
No. 40	0.43	36.70	2.73	57.31	42.69
No. 50	0.30	29.30	2.18	59.49	40.51
No. 60	0.25	26.80	2.00	61.49	38.51
No. 100	0.15	25.10	1.86	63.35	36.65
No. 200	0.07	22.80	1.69	65.04	34.96
CAZOLETA		438.50	34.96	100.00	0.00
TOTAL		1255.70			

El peso total retenido obtenido en el análisis granulométrico fue de **1255.70 gr**, valor que representa la masa total de la muestra seca analizada posterior al proceso de tamizado.

Figura 60

Representación gráfica de la curva granulométrica del material proveniente de la Muestra 04



El cuadro mostrado a continuación muestra los valores obtenidos:

Tabla 30

Coefficiente de uniformidad y Grado de Curvatura- Calicata 04

MUESTRA 04	
Pasa Tamiz N°04:	58.66%
Pasa Tamiz N°200:	34.96%
D60(diámetro efectivo):	5.09 mm
D30(diámetro efectivo):	0.47 mm
D10(diámetro efectivo):	0.02 mm
Coef. De uniformidad (Cu):	254.32
Grado de curvatura (Cc):	2.15

El **Cu = 254.32** indica que el material evidencia una amplia variación de tamaños de partículas, siendo un suelo con gradación amplia. El **Cc = 2.15**, al estar dentro del rango adecuado ($1 \leq Cc \leq 3$), muestra que la curva es continua y bien graduada, con buena proporción de tamaños intermedios.

f.5) Análisis Granulométrico - Calicata 05

En la siguiente tabla se indican los resultados logrados del ensayo.

Tabla 31

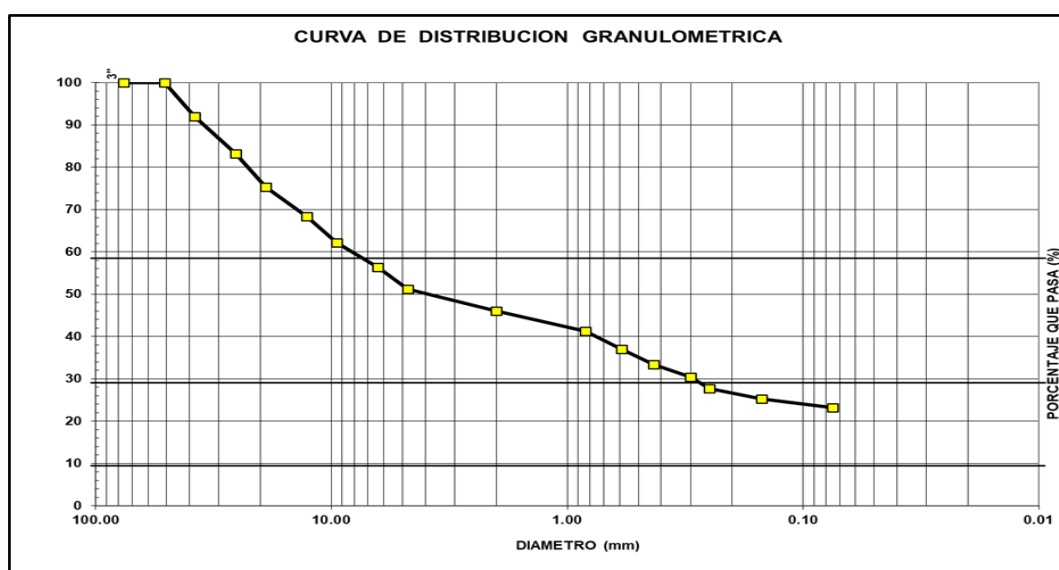
Análisis Granulométrico - Calicata 05

MUESTRA 05					
TAMIZ N°	Tamiz (mm)	Peso retenido (gr)	Retenido (%)	Retenido Acum. (%)	Pasa (%)
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	112.40	8.01	8.01	91.99
1"	25.40	123.60	8.81	16.82	83.18
3/4"	19.05	109.50	7.80	24.62	75.38
1/2"	12.70	98.10	6.99	31.61	68.39
3/8"	9.53	87.40	6.23	37.84	62.16
1/4"	6.35	81.20	5.79	43.63	56.37
No. 4	4.76	73.40	5.23	48.86	51.14
No. 10	2.00	71.70	5.10	53.96	46.04
No. 20	0.84	66.90	4.76	58.72	41.28
No. 30	0.59	60.30	4.29	63.01	36.99
No. 40	0.43	49.70	3.54	66.55	33.45
No. 50	0.30	42.60	3.04	69.59	30.41
No. 60	0.25	37.90	2.70	72.29	27.71
No. 100	0.15	34.20	2.44	74.73	25.27
No. 200	0.07	29.50	2.11	76.84	23.16
CAZOLETA	0.00	477.80	23.16	100.00	0.00
TOTAL		1995.00			

El peso total retenido obtenido en el análisis granulométrico fue de **1955.00 gr**, valor que representa la masa total de la muestra seca analizada posterior al proceso de tamizado.

Figura 61

Representación gráfica de la curva granulométrica del material proveniente de la Muestra 05.



El cuadro mostrado a continuación muestra los valores obtenidos:

Tabla 32

Coefficiente de uniformidad y Grado de Curvatura- Calicata 05

MUESTRA 05	
Pasa Tamiz N°04:	51.14%
Pasa Tamiz N°200:	23.16%
D60(diámetro efectivo):	6.45 mm
D30(diámetro efectivo):	1.68 mm
D10(diámetro efectivo):	0.02 mm
Coef. De uniformidad (Cu):	322.50
Grado de curvatura (Cc):	3.48

El coeficiente de uniformidad **Cu = 322.50** indica que el material presenta una amplia dispersión de tamaños de partículas, lo que refleja un suelo muy bien graduado y con excelente distribución granulométrica. Por su parte, el coeficiente de curvatura fue de **CC = 3.48**.

f.6) Análisis Granulométrico - Calicata 06

En la siguiente tabla se indican los resultados logrados del ensayo.

Tabla 33

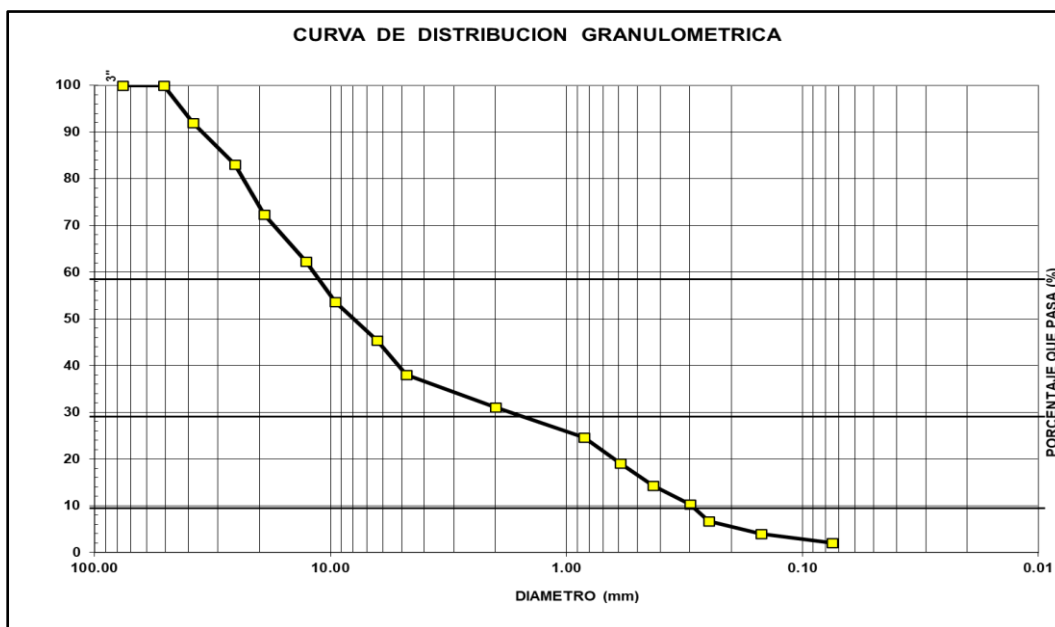
Análisis Granulométrico - Calicata 06

MUESTRA 06					
TAMIZ N°	Tamiz (mm)	Peso retenido (gr)	Retenido (%)	Retenido Acum. (%)	Pasa (%)
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	120.20	6.10	6.10	93.90
1"	25.40	135.30	6.87	12.96	87.04
3/4"	19.05	160.20	8.13	21.09	78.91
1/2"	12.70	150.60	7.64	28.74	71.26
3/8"	9.53	130.50	6.62	35.36	64.64
1/4"	6.35	125.60	6.37	41.73	58.27
No. 4	4.76	110.10	5.59	47.32	52.68
No. 10	2.00	105.80	5.37	52.69	47.31
No. 20	0.84	95.20	4.83	57.52	42.48
No. 30	0.59	85.70	4.35	61.87	38.13
No. 40	0.43	70.20	3.56	65.43	34.57
No. 50	0.30	60.50	3.07	68.50	31.50
No. 60	0.25	55.10	2.80	71.29	28.71
No. 100	0.15	40.20	2.04	73.33	26.67
No. 200	0.08	30.70	1.56	74.89	25.11
CAZOLETA	0.00	494.80	25.11	100.00	0.00
TOTAL		1970.70			

El peso total retenido obtenido en el análisis granulométrico fue de **1970.70 gr**, valor que representa la masa total de la muestra seca analizada posterior al proceso de tamizado.

Figura 62

Representación gráfica de la curva granulométrica del material proveniente de la Muestra 06.



El cuadro mostrado a continuación muestra los valores obtenidos del ensayo:

Tabla 34

Coefficiente de uniformidad y Grado de Curvatura- Calicata 06

MUESTRA 06	
Pasa Tamiz N°04:	52.68%
Pasa Tamiz N°200:	25.11%
D60(diámetro efectivo):	7.02 mm
D30(diámetro efectivo):	1.70 mm
D10(diámetro efectivo):	0.02 mm
Coef. De uniformidad (Cu):	175.51
Grado de curvatura (Cc):	4.56

El coeficiente de uniformidad **Cu = 175.50** indica que el material es muy bien gradado, con amplia variedad de tamaños que favorecen una excelente compactación y buen desempeño estructural. El coeficiente de curvatura **Cc = 4.56** muestra que existe una ligera concentración de partículas en el rango intermedio, pero sin afectar la continuidad de la curva.

C) CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE (CBR)

Se realizaron los ensayos necesarios para establecer la capacidad de soporte de la subrasante, iniciando con el Ensayo Proctor Modificado (NTP 339.141 – MTC E-115/ASTM D-1557), a través del que se compactó el suelo en el laboratorio con una energía estandarizada para conseguir la humedad óptima y la densidad seca máxima, condiciones indispensables que permiten conocer el comportamiento del material sujeto a condiciones controladas de compactación. Posteriormente, con estos valores, se ejecutó el Ensayo CBR (NTP 339.145 – MTC E-132 / ASTM D1883-73), donde las muestras compactadas fueron sometidas a la penetración de un pistón para estimar cuánto puede resistir del suelo frente a esfuerzos transmitidos desde la capa de rodadura, obteniendo así la capacidad de soporte de la subrasante, necesario para ejecutar la configuración de pavimentos. Todo este proceso se realizó utilizando muestras extraídas de seis calicatas, representativas de la subrasante del tramo evaluado.

a) Norma Técnica

- ✓ Proctor Modificado NTP 339.141 – MTC E-115 / ASTM D-1557
- ✓ CBR NTP 339.145 – MTC E-132 / ASTM D1883-73

b) Instrumentos de medición

- ✓ Balanza electrónica calibrada
- ✓ Juego de tamices normalizados
- ✓ Horno de secado
- ✓ Diales
- ✓ Prensa CBR manual

c) Materiales

- ✓ Software de procesamiento de datos (Excel)
- ✓ Formatos Excel impresos
- ✓ Espátula
- ✓ Recipientes metálicos o capsulas
- ✓ Vaso graduado para medir agua
- ✓ Pistón de compactación
- ✓ Pistón de Penetración
- ✓ Molde Proctor

- ✓ Molde de Compactación CBR de 6"
- ✓ Martillo de compactación para CBR
- ✓ Disco o pesas de sobrecarga
- ✓ Enrasador
- ✓ Placa de metal perforada
- ✓ Trípode con deformímetro dial

d) Procedimiento

El ensayo Proctor Modificado se inició con la preparación de la muestra de suelo, la cual fue previamente secada al aire y desmenuzada para eliminar grumos sin alterar su estructura natural. A continuación, se tomó una cantidad representativa del material y se determinó su peso inicial mediante una balanza electrónica de precisión.

Posteriormente, se procedió a la adición controlada de agua, utilizando un vaso graduado, con el fin de incrementar progresivamente el contenido de humedad. La mezcla se homogeneizó cuidadosamente hasta lograr una distribución uniforme del agua en toda la muestra.

Una vez acondicionada, la muestra fue colocada en el molde Proctor, el cual cuenta con base y collar. El material se introdujo en cinco capas aproximadamente iguales, compactando cada una mediante la aplicación de 25 golpes con el pisón de compactación, asegurando una distribución uniforme de la energía de compactación.

Finalizada la compactación de la última capa, se retiró el collar y se procedió al enrasado de la superficie utilizando un enrasador, eliminando el exceso de material para dejar el suelo al nivel del molde. Luego, se determinó el peso del molde con el suelo compactado, registrando este valor con la balanza.

Seguidamente, se extrajo una muestra representativa del material compactado para determinar su contenido de humedad, la cual fue llevada al horno de secado a 105 °C – 110 °C hasta alcanzar peso constante.

Este procedimiento se repitió varias veces, incrementando gradualmente el contenido de agua, con el propósito de obtener diferentes valores de

densidad seca. Finalmente, con los datos obtenidos, se realizó el procesamiento de resultados, calculando la densidad seca para cada contenido de humedad y elaborando la curva de compactación, a partir de la cual se determinó la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo del suelo.

Se continuo con el ensayo CBR, donde se inició con la preparación de la muestra de suelo, la cual fue previamente secada en el horno a una temperatura de 60°, luego tamizada utilizando el tamiz de 3/4", con el fin de eliminar partículas de mayor tamaño y obtener un material adecuado para el ensayo, se necesitó 5500 g de muestra para cada molde de CBR. Posteriormente, se determinó el peso inicial mediante una balanza electrónica calibrada y se procedió a la adición controlada de agua empleando un vaso graduado, mezclando el material hasta lograr una humedad uniforme.

A continuación, la muestra fue colocada en el molde de compactación CBR de 6", previamente armado con su base y placa perforada. La muestra se introdujo en capas, compactando cada una mediante el uso del martillo de compactación, aplicando la energía establecida. Finalizada la compactación, se realizó el enrasado de la superficie con un enrasador, retirando el exceso de material para nivelar el molde. Una vez preparado el espécimen, se procedió a sumergirlo en agua durante el tiempo establecido para simular condiciones de saturación

Seguidamente, se colocaron las pesas de sobrecarga sobre la muestra compactada, simulando las condiciones de confinamiento del suelo en campo. Luego, el conjunto fue llevado a la prensa CBR manual, donde se instaló el pistón de penetración en contacto con la superficie del suelo. Se colocaron los diales o deformímetros, montados sobre el trípode, para registrar la penetración del pistón.

El ensayo consistió en aplicar una carga progresiva y controlada, registrando simultáneamente la carga aplicada y la penetración correspondiente del pistón a intervalos definidos. Durante este proceso, se obtuvieron lecturas continuas que permitieron construir la relación carga–penetración del material.

Finalizado el ensayo, la totalidad de los datos obtenidos en campo y laboratorio fueron sistematizados y ordenados en matrices de cálculo en hojas electrónicas (Excel), lo que permitió efectuar un procesamiento riguroso y secuencial de la información. En esta etapa se realizó la depuración de datos, verificación de consistencia y corrección de posibles desviaciones, para posteriormente establecer la relación entre las cargas aplicadas y las penetraciones registradas durante el ensayo. A partir de dichos valores, se procedió a determinar el Índice de Soporte California (CBR), comparando los esfuerzos obtenidos con los valores patrón establecidos por la normativa vigente.

Este procedimiento permitió obtener resultados representativos y confiables del comportamiento mecánico del suelo evaluado, los cuales constituyen un parámetro fundamental para estimar su capacidad portante. En consecuencia, los valores de CBR determinados sirven como base técnica para el diseño estructural de pavimentos, facilitando la selección adecuada de espesores de las capas que conforman la estructura vial, en función de las condiciones de carga y servicio previstas.

Figura 63

Fraccionamiento manual del material para la obtención de una muestra representativa



Nota: El material se reduce mediante cuarteo para obtener una muestra representativa, manteniendo sus propiedades originales, en el año 2025.

Figura 64

Tamizado de la muestra por malla de 3/4" para preparación del ensayo Proctor modificado



Nota: El material se hace pasar por el tamiz de 3/4" y se recolecta en bandeja, eliminando partículas sobredimensionadas y asegurando una muestra apta para el ensayo, en el año 2025.

Figura 65

Obtención de 6000 gr de muestra tamizada para ensayo Proctor modificado



Nota: Se determina una masa de 6000 gr del material que pasó el tamiz de 3/4", garantizando una cantidad adecuada y uniforme para la ejecución del ensayo Proctor, en el año 2025.

Figura 66

Transferencia de la muestra pesada a cápsula de ensayo



Nota: El material previamente pesado se traslada a una cápsula limpia, evitando pérdidas, para su adecuada manipulación en las siguientes etapas del ensayo Proctor, en el año 2025.

Figura 67

Adición controlada de agua a la muestra según contenido de humedad inicial



Nota: Se incorpora un porcentaje de agua calculado en función de la humedad previamente determinada, con el fin de ajustar la condición del material para el ensayo Proctor, 2025.

Figura 68

Homogeneización de la muestra con agua adicionada según humedad inicial



Nota: Se mezcla el material con el contenido de agua previamente calculado, asegurando una distribución uniforme de la humedad para condiciones adecuadas en el ensayo Proctor, 2025.

Figura 69

Colocación de la muestra húmeda en el molde Proctor



Nota: El material uniformizado con el contenido de humedad requerido se introduce en el molde, en capas controladas, como parte del procedimiento de compactación del ensayo Proctor, 2025.

Figura 70

Compactación de la muestra en molde Proctor mediante pisón en capas sucesivas



Nota: El material se compacta en cinco capas, aplicando 56 golpes por capa con el pisón, asegurando la energía de compactación requerida para el ensayo Proctor modificado, 2025.

Figura 71

Compactación de la capa final en el molde Proctor con pisón



Nota: Se aplica la serie de 56 golpes a la última capa, completando la energía de compactación especificada para el ensayo y asegurando la densificación adecuada del material, en el año 2025.

Figura 72

Muestra completamente compactada en molde Proctor



Nota: Se evidencia la finalización del proceso de compactación, alcanzando la densificación del material conforme al procedimiento del ensayo Proctor modificado, en el año 2025.

Figura 73

Retiro de la extensión del molde y enrasado de la superficie de la muestra



Nota: Se retira la corona superior del molde y se procede al enrasado, obteniendo una superficie nivelada para asegurar la exactitud en la determinación de la densidad, en el año 2025

Figura 74

Determinación del peso de la muestra compactada con el molde Proctor



Nota: Se registra el peso del molde Proctor con la muestra compactada en balanza, dato necesario para el cálculo de la densidad húmeda del material, en el año 2025

Figura 75

Extracción de muestra del centro del molde Proctor para ensayo de Contenido de Humedad



Nota: Extracción de la porción central para asegurar una humedad uniforme y evitar errores por secado ambiental en las caras exteriores del molde, en el año 2025

Figura 76

Colocación de la muestra extraída del centro del molde Proctor en una capsula



Nota: Se observa la transferencia de la porción representativa del núcleo del espécimen a una cápsula de pesaje, en el año 2025

Figura 77

Determinación del peso de la muestra extraída del centro del molde Proctor



Nota: Registro del peso de la muestra húmeda extraída del centro del molde Proctor, utilizando una balanza electrónica para garantizar la precisión del cálculo, en el año 2025.

Figura 78

Secado de la muestra extraída del centro del molde Proctor



Nota: Proceso de secado de la fracción de suelo extraída del centro del molde Proctor durante un periodo mínimo de 24 horas para conocer el peso seco de la muestra, en el año 2025.

Figura 79

Procedimiento de secado de muestra representativa para ensayo CBR



Nota: La imagen muestra el proceso de eliminación de humedad de la muestra por 24 horas en el horno eléctrico a 105°, para su posterior evaluación en el ensayo CBR, en el año 2025.

Figura 80

Tamizado de la muestra seca con malla de 3/4" previo al ensayo CBR



Nota: Se observa el paso del material previamente secado a través del tamiz de $\frac{3}{4}$ operación realizada para excluir partículas de mayor tamaño para el ensayo CBR, en el año 2025.

Figura 81

Determinación de masa de la muestra representativa para el ensayo CBR



Nota: Se observa el pesaje de aproximadamente 5000 g de material, operación realizada para obtener la cantidad requerida de muestra representativa empleada para ensayo CBR, 2025.

Figura 82

Incorporación dosificada de agua a la muestra para el ensayo CBR



Nota: Se aprecia la humidificación del suelo mediante un medidor de agua, procedimiento efectuado para ajustar el contenido de humedad para el ensayo CBR, en el año 2025.

Figura 83

Mezclado homogéneo de la muestra con agua para acondicionamiento previo al ensayo



Nota: Se observa la integración manual del material con el agua añadida, realizada hasta lograr una distribución uniforme de la humedad en toda la muestra para el ensayo CBR, en el año 2025.

Figura 84

Obtención de muestra homogénea e integrada para ensayo CBR



Nota: Se observa cómo debe quedar el mezclado homogéneo entre las partículas de la muestra y el agua dosificada en función al contenido de humedad obtenido, en el año 2025.

Figura 85

Colocación de papel filtro en la base del molde para ensayo CBR



Nota: Se aprecia la instalación de un papel filtro en la parte inferior del molde CBR, elemento utilizado para evitar la pérdida de material fino y permitir el adecuado drenaje, en el año 2025.

Figura 86

Colocación del suelo en el molde CBR mediante compactación por capas



Nota: Se observa la introducción del material en el molde CBR en cinco capas sucesivas, procedimiento realizado para asegurar una distribución uniforme, en el año 2025.

Figura 87

Compactación del espécimen en molde CBR mediante pisón a 12 golpes



Nota: Se observa la aplicación de 12 golpes de pisón por cada una de las cinco capas de la muestra, procedimiento ejecutado para impartir la energía de compactación establecida y lograr una densificación uniforme del material dentro del molde CBR., en el año 2025.

Figura 88

Compactación del espécimen en molde CBR mediante pisón a 26 golpes



Nota: Se observa la aplicación de 26 golpes de pisón por cada una de las cinco capas de la muestra, procedimiento ejecutado para impartir la energía de compactación establecida y lograr una densificación uniforme del material dentro del molde CBR., en el año 2025.

Figura 89

Compactación del espécimen en molde CBR mediante pisón a 56 golpes



Nota: Se observa la aplicación de 56 golpes de pisón por cada una de las cinco capas de la muestra, procedimiento ejecutado para impartir la energía de compactación establecida y lograr una densificación uniforme del material dentro del molde CBR., en el año 2025.

Figura 90

Retiro de la extensión superior del molde CBR y nivelación de la superficie



Nota: Se observa la remoción de la corona del molde CBR, seguida del enrasado de la muestra, operación realizada para obtener una superficie a nivel con el borde del molde CBR, 2025.

Figura 91

Determinación del peso del conjunto molde–muestra compactada (12 golpes) para ensayo CBR



Nota: Se aprecia el pesaje del molde CBR con el material previamente compactado bajo una energía de 12 golpes, procedimiento efectuado para obtener la masa total del espécimen, 2025.

Figura 92

Determinación del peso del conjunto molde–muestra compactada (26 golpes) para ensayo



Nota: Se aprecia el pesaje del molde CBR con el material previamente compactado bajo una energía de 26 golpes, procedimiento efectuado para obtener la masa total del espécimen, 2025.

Figura 93

Determinación del peso del conjunto molde–muestra compactada (56 golpes) para ensayo



Nota: Se aprecia el pesaje del molde CBR con el material previamente compactado bajo una energía de 56 golpes, procedimiento efectuado para obtener la masa total del espécimen, 2025.

Figura 94

Colocación del espécimen en la prensa CBR para ensayo de penetración en condición no sumergida



Nota: Se aprecia la instalación del molde CBR en la máquina de carga, correspondiente a una muestra sin inmersión previa, con el fin de evaluar la resistencia del suelo frente a la penetración bajo condiciones no saturadas, para los Moldes CBR a 12,26 y 56 golpes, en el año 2025.

Figura 95

Inmersión de especímenes CBR compactados en pozo de saturación



Nota: Se colocará los moldes CBR, preparados con 12, 26 y 56 golpes, dentro de un pozo con agua para su completa inmersión, procedimiento realizado con el fin de saturar las muestras y evaluar su comportamiento en condición sumergida, en el año 2025.

Figura 96

Colocación del espécimen en la prensa CBR para ensayo de penetración en condición sumergida



Nota: Se aprecia la instalación del molde CBR en la máquina de carga, correspondiente a una muestra con inmersión previa, con el fin de evaluar la resistencia del suelo frente a la penetración bajo condiciones saturadas, para los Moldes CBR a 12,26 y 56 golpes, en el año 2025.

e) Fórmulas empleadas

$$w = \frac{W_h - W_s}{W_s} \dots\dots\dots(1)$$

w: Contenido de humedad

Wh: Peso húmedo (g)

Ws: peso seco (g)

$$W = W_{molde} + suelo - W_{molde} \dots\dots\dots(2)$$

W:: Peso del suelo compactado (g)

Wmolde+suelo: Peso del molde y suelo (g)

Wmolde: Peso del molde (g)

$$Y_h = \frac{W}{V} \dots\dots\dots(3)$$

Yh: Densidad húmeda (g/cm3)

W:: Peso del suelo compactado (g)

V: Volumen del molde (cm3)

$$Yd = \frac{Y_h}{1+w} \dots\dots\dots(4)$$

Yd: Densidad seca (g/cm3)

Yh: Densidad húmeda (g/cm3)

w: Contenido de humedad

$$CBR = \frac{P}{P_s} \times 100 \dots\dots\dots(4)$$

CBR: Capacidad de Soporte de la Subrasante (%)

P: Carga medida en el ensayo (libras)

Ps: Carga estándar (lb/pulg2)

f) Resultados

Los resultados se evidencian a continuación:

f.1) Capacidad de Soporte de la Subrasante (CBR) - Calicata 01

Primero se obtuvieron los resultados el Ensayo Proctor Modificado, , los cuales se pueden evidenciar en la siguiente tabla:

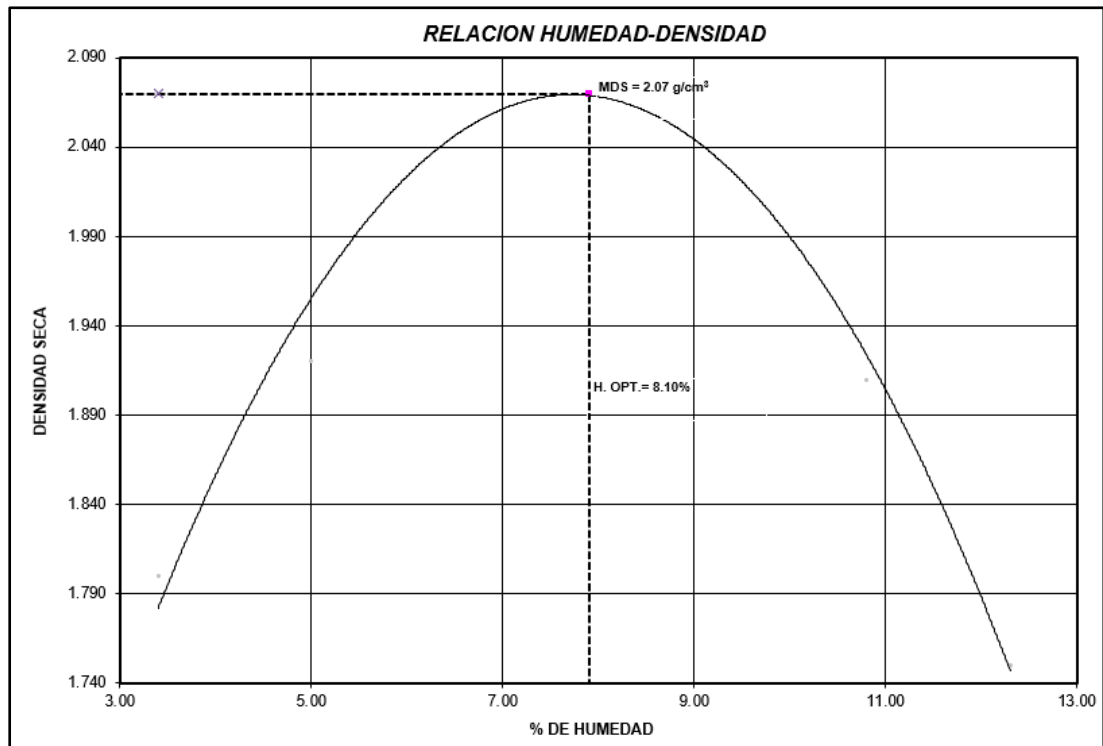
Tabla 35

Ensayo Proctor Modificado- Calicata 01

PESO ESPECIFICO HUMEDO						
ENSAYO	Nº	01	02	03	04	05
Peso de la muestra húmeda + molde	gr	10605	10950	11308	11166	10837
Peso del molde	gr	6680	6680	6680	6680	6680
Peso de la muestra húmeda	gr	3925	4270	4628	4486	4157
Volumen del molde	cm3	2112	2112	2112	2112	2112
Densidad Húmeda	g/cm3	1.86	2.02	2.19	2.12	1.97
CONTENIDO DE HUMEDAD						
TARA	Nº	01	02	03	04	05
Peso muestra húmeda + tara	gr	435.10	433.90	436.10	438.40	442.00
Peso muestra seca + tara	gr	422.40	415.90	410.80	400.60	399.30
Peso de la tara	gr	54.00	52.60	51.50	50.70	51.90
Peso del agua	gr	12.70	18.00	25.30	37.80	42.70
Peso de la muestra seca	gr	368.40	363.30	359.30	349.90	347.40
Contenido de humedad	%	3.40	5.00	7.00	10.80	12.30
PESO ESPECIFICO SECO						
Densidad máxima seca	g/cm3	1.80	1.92	2.05	1.91	1.75

Figura 97

Representación gráfica de la Relación Humedad-Densidad de la Calicata-01



La densidad seca óptima según la figura 21 es **2.07 g/cm³** indica que el suelo alcanza una compactación elevada cuando se aplica la energía del Proctor Modificado, lo que refleja un material granular y de buena capacidad portante. La humedad óptima de **8.10%**, es el contenido de agua requerido para facilitar el procedimiento de compactación de las partículas.

Posteriormente, se obtuvieron los resultados correspondientes al ensayo CBR para la calicata 01, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

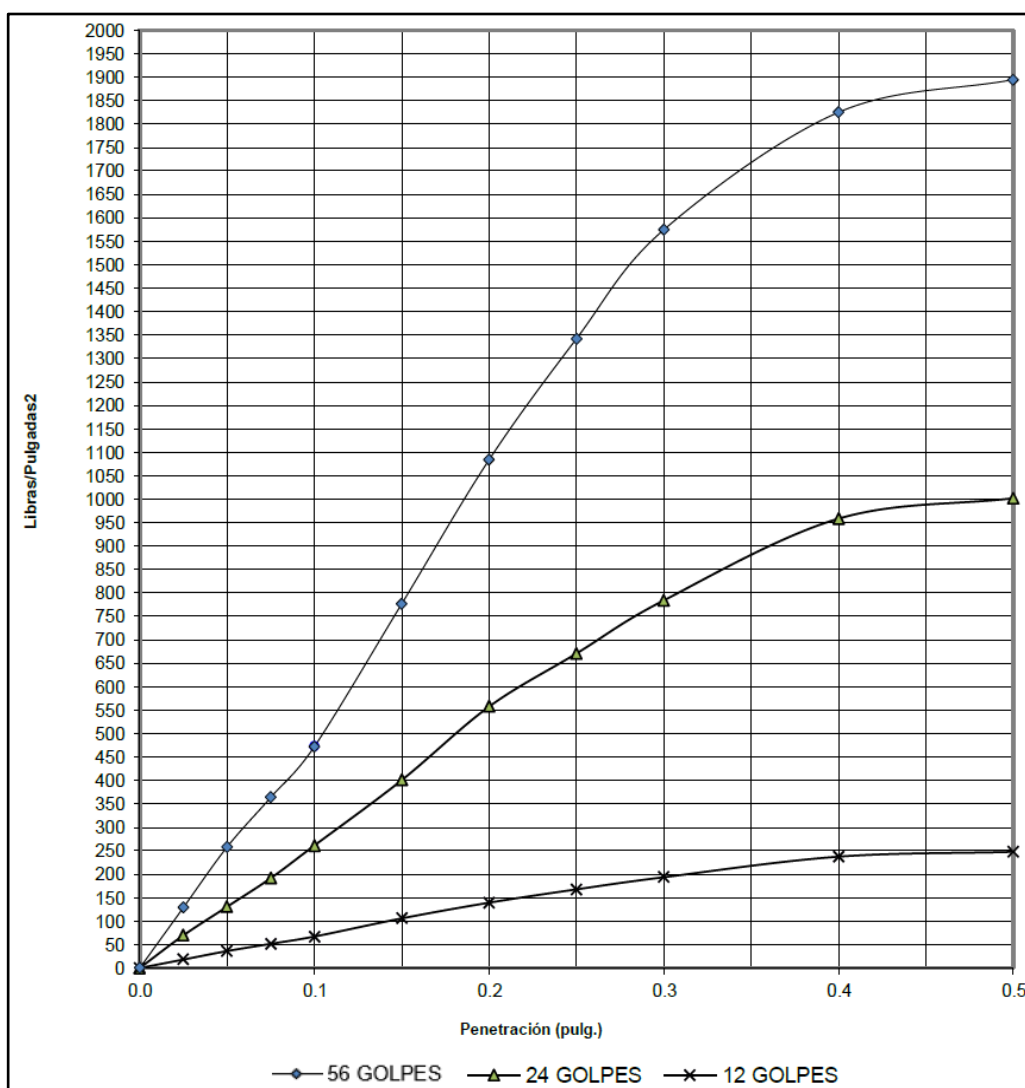
Tabla 36
Ensayo CBR- Calicata 01

ENSAYO CBR									
MUESTRA		01		02		03			
Nº DE GOLPES		56		26		12			
CONDICION		SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO		
Peso del molde + suelo húmedo	gr	11736.00	12029.00	11541.00	11830.00	11379.00	11663.00		
Peso del molde	gr	7030.80	7030.80	7030.80	7030.80	7067.00	7067.00		
Peso del suelo húmedo	gr	4705.20	4998.20	4510.20	4799.20	4312.00	4596.00		
Volumen del molde	cm3	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90		
Densidad húmeda	gr/cm ³	2.24	2.38	2.14	2.28	2.05	2.19		
Humedad	%	8.10		8.90		9.80			
Densidad seca	gr/cm ³	2.07		1.97		1.87			
IDENTIFICACION DE TARA		1	2	3	4	5	6		
Peso de tara + suelo húmedo	gr	445.80	481.50	453.90	490.20	460.70	483.70		
Peso de tara + suelo seco	gr	416.40	441.40	421.00	437.80	424.40	432.90		
Peso de tara	gr	53.20	68.50	53.70	68.50	54.30	68.50		
Peso del agua	cm3	29.40	40.10	32.90	52.30	36.30	50.90		
Peso de lo sólidos	gr/cm ³	363.20	372.90	367.30	369.30	370.10	364.40		
Humedad	cm3	8.10	10.80	8.90	14.20	9.80	14.00		
PENETRACION EN PULGADAS	56 GOLPES				26 GOLPES			12 GOLPES	
	LECTURA	CONVERSION		LECTURA	CONVERSION		LECTURA	CONVERSION	
	DIAL (kg)	libras	Lb/pulg. 2	DIAL (kg)	libras	Lb/pulg.2	DIAL (kg)	libras	Lb/pulg. 2
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	175.60	378.20	129.07	94.80	209.10	69.69	24.60	54.20	18.06
0.050	351.30	774.40	258.12	177.80	392.00	130.68	49.20	108.50	36.16
0.075	495.30	1091.90	363.95	260.80	575.00	191.66	70.20	154.90	51.62
0.100	642.80	1417.10	472.35	355.70	784.10	261.37	91.30	210.40	67.12
0.150	1057.30	2330.90	776.96	545.40	1202.30	400.76	144.00	317.50	105.84
0.200	1475.30	3252.30	1084.11	758.70	1672.70	557.56	189.70	418.20	139.40
0.250	1826.50	4026.80	1342.25	912.80	2012.40	670.81	228.30	503.40	167.79
0.300	2142.60	4723.70	1574.57	1066.90	2352.10	784.04	263.40	580.70	193.58
0.400	2483.30	5474.80	1824.93	1304.00	2874.90	958.30	323.20	712.40	237.48
0.500	2578.20	5683.90	1894.64	1363.30	3005.60	1001.85	337.20	743.40	247.80

A continuación, se muestra la ilustración gráfica del ensayo.

Figura 98

Representación gráfica de Carga-Penetración de Ensayo CBR - Calicata 01



A continuación, se evidencian los resultados hallados de CBR para la muestra 01.

Tabla 37

Resultados del Ensayo CBR- Calicata 01

RESULTADOS	56 GOLPES	26 GOLPES	12 GOLPES
DENSIDAD SECA	2.07 gr/cm3	1.97 gr/cm3	1.87 gr/cm3
CBR A 0.10"	47.24%	26.14%	6.71%
CBR A 0.20"	72.27%	37.17%	9.29%
CBR AL 95% DMS:	26.14%	CBR AL 100% DMS:	47.24%

Para el diseño del pavimento se empleará el CBR al 95% de la Densidad Máxima Seca, cuyo valor obtenido es **26.14%**. Este resultado nos da a entender que la subrasante registra **una muy buena capacidad de soporte**, ubicándose dentro del rango de suelos granulares firmes capaces de soportar adecuadamente las demandas vehiculares.

f.2) Capacidad de Soporte de la Subrasante (CBR) - Calicata 02

Primero se obtuvieron los resultados el Ensayo Proctor Modificado, , los cuales se pueden evidenciar en la siguiente tabla:

Tabla 38

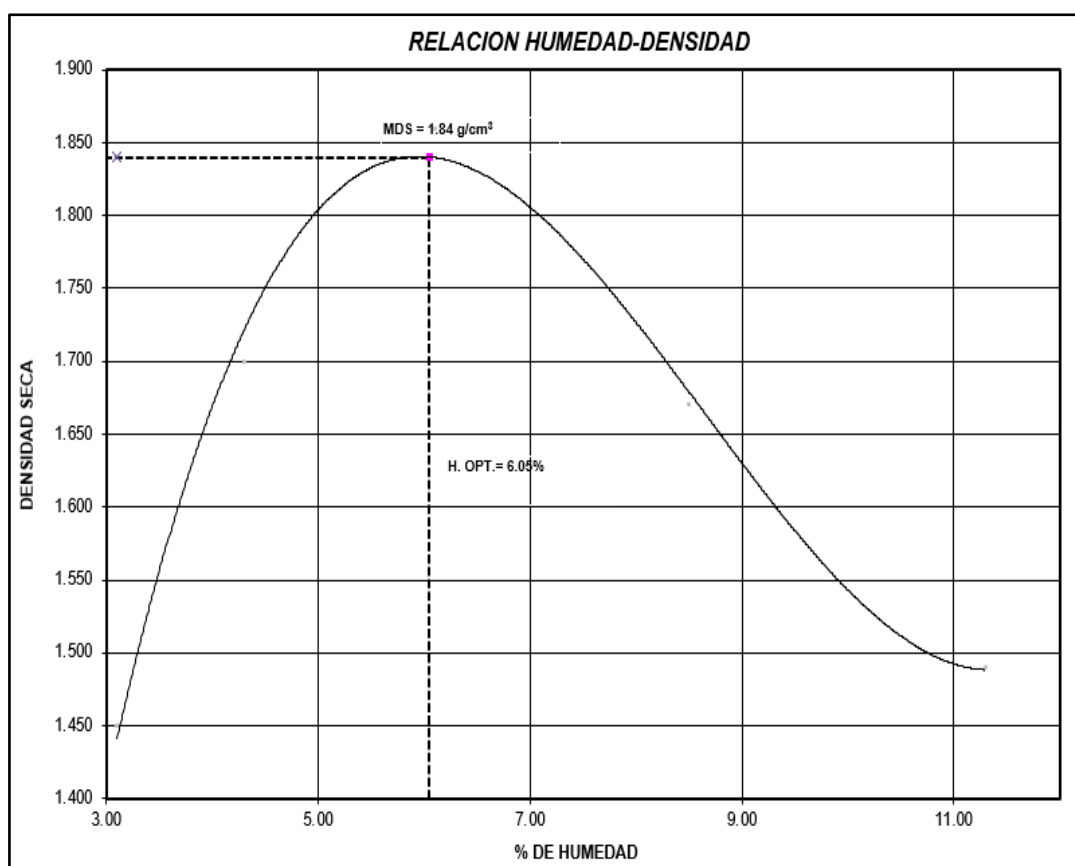
Ensayo Proctor Modificado- Calicata 02

PESO ESPECIFICO HUMEDO						
ENSAYO	N.º	01	02	03	04	05
Peso de la muestra húmeda + molde	gr	9837	10425	10758	10507	10182
Peso del molde	gr	6680	6680	6680	6680	6680
Peso de la muestra húmeda	gr	3157	3745	4078	3827	3502
Volumen del molde	cm3	2112	2112	2112	2112	2112
Densidad Húmeda	g/cm3	1.50	1.77	1.93	1.81	1.66
CONTENIDO DE HUMEDAD						
TARA	N.º	01	02	03	04	05
Peso muestra húmeda + tara	gr	419.60	418.40	420.50	422.20	426.30
Peso muestra seca + tara	gr	406.90	400.20	395.30	385.80	383.60
Peso de la tara	gr	54.00	52.60	51.50	50.70	51.90
Peso del agua	gr	9.90	14.20	21.50	34.00	38.90
Peso de la muestra seca	gr	337.10	331.90	327.70	318.50	316.20
Contenido de humedad	%	3.10	4.30	6.10	8.50	11.30
PESO ESPECIFICO SECO						
Densidad máxima seca	g/cm3	1.45	1.7	1.82	1.67	1.49

En la siguiente figura se muestra la relación Humedad-Densidad del ensayo.

Figura 99

Representación gráfica de la Relación Humedad-Densidad de la Calicata-02



La densidad seca óptima según la figura 23 es **1.84 g/cm³** indica que el suelo alcanza su máxima compactación cuando se somete a la energía del Proctor Estándar, obteniendo una estructura más densa y con menor presencia de vacíos. La humedad óptima de **6.05%** representa el contenido de agua requerido para facilitar la compactación de partículas.

Posteriormente, se obtuvieron los resultados correspondientes al ensayo CBR para la calicata 02, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

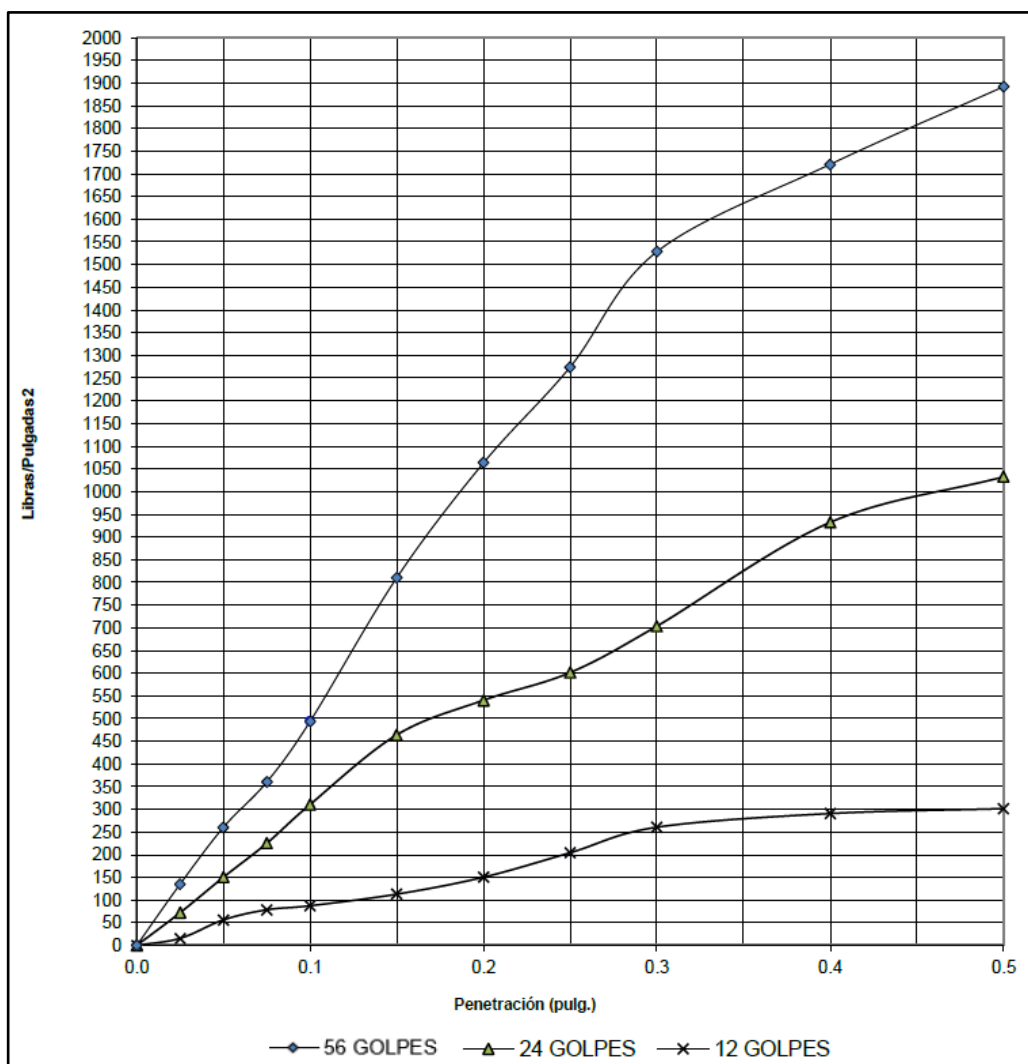
Tabla 39
Ensayo CBR- Calicata 02

ENSAYO CBR									
MUESTRA		01		02		03			
N.º DE GOLPES		56		26		12			
CONDICION		SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO		
Peso del molde + suelo húmedo	gr	11694.44	11987.44	11499.44	11788.44	11337.44	11621.55		
Peso del molde	gr	7030.80	7030.80	7030.80	7030.80	7065.00	7065.00		
Peso del suelo húmedo	gr	4673.53	4966.53	4478.53	4767.53	4280.33	4364.20		
Volumen del molde	cm3	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90		
Densidad húmeda	gr/cm3	2.09	2.23	1.99	2.13	1.90	2.04		
Humedad	%	7.50		8.60		9.50			
Densidad seca	gr/cm3	1.84		1.74		1.64			
IDENTIFICACION DE TARA		1	2	3	4	5	6		
Peso de tara + suelo húmedo	gr	432.59	468.29	440.69	476.99	447.49	471.34		
Peso de tara + suelo seco	gr	408.06	433.06	412.66	429.46	416.06	423.56		
Peso de tara	gr	53.20	68.50	53.70	68.50	54.30	68.50		
Peso del agua	cm3	30.80	41.50	34.30	53.70	37.70	52.60		
Peso de lo solidos	gr/cm3	359.70	369.40	363.80	365.80	366.60	357.20		
Humedad	cm3	8.10	10.80	8.90	14.20	9.80	14.00		
PENETRACION EN PULGADAS	56 GOLPES			26 GOLPES			12 GOLPES		
	LECTURA	CONVERSION		LECTURA	CONVERSION		LECTURA	CONVERSION	
		DIAL (kg)	libras Lb/pulg. 2		DIAL (kg)	libras Lb/pulg.2		DIAL (kg)	libras Lb/pulg. 2
	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.025	231.60	434.30	185.12	151.20	265.70	126.10	30.90	78.70 30.45
	0.050	407.30	830.60	314.36	234.60	448.70	187.23	42.30	122.00 56.34
	0.075	551.30	1148.30	420.51	317.40	631.30	247.92	69.60	182.20 75.90
	0.100	699.80	1473.10	493.70	412.00	840.10	317.68	94.40	236.80 87.30
	0.150	1113.30	2387.40	833.23	601.70	1258.50	457.97	125.10	303.70 107.82
	0.200	1531.30	3308.50	1140.46	815.30	1729.10	613.20	156.70	374.10 145.17
0.250	1882.50	4083.00	1398.53	969.50	2068.90	727.23	184.90	436.30 199.15	
0.300	2198.60	4780.80	1630.49	1123.40	2408.20	840.32	215.60	504.20 255.32	
0.400	2539.30	5531.70	1881.25	1360.70	2931.30	1014.12	272.30	629.40 285.43	
0.500	2634.20	5683.10	1950.96	1419.80	3061.40	1058.40	328.60	753.50 296.23	

A continuación, se muestra la ilustración gráfica del ensayo.

Figura 100

Representación gráfica de Carga-Penetración de Ensayo CBR - Calicata 02



A continuación, se evidencian los resultados hallados de CBR para la muestra 02.

Tabla 40

Resultados del Ensayo CBR- Calicata 02

RESULTADOS	56 GOLPES	26 GOLPES	12 GOLPES
DENSIDAD SECA	1.84 gr/cm3	1.74 gr/cm3	1.64 gr/cm3
CBR A 0.10"	49.37%	31.05%	8.73%
CBR A 0.20"	70.88%	36.01%	10.01%
CBR AL 95% DMS:	31.05%	CBR AL 100% DMS:	49.37%

Para el diseño del pavimento se empleará el CBR al 95% de la Densidad Máxima Seca, cuyo valor obtenido es **31.05%**. Este resultado da a entender que la subrasante registra **una muy buena capacidad de soporte**, ubicándose dentro del rango de suelos granulares firmes capaces de soportar adecuadamente las demandas vehiculares.

f.3) Capacidad de Soporte de la Subrasante (CBR) - Calicata 03

Primero se obtuvieron los resultados el Ensayo Proctor Modificado, los cuales se pueden evidenciar en la siguiente tabla:

Tabla 41

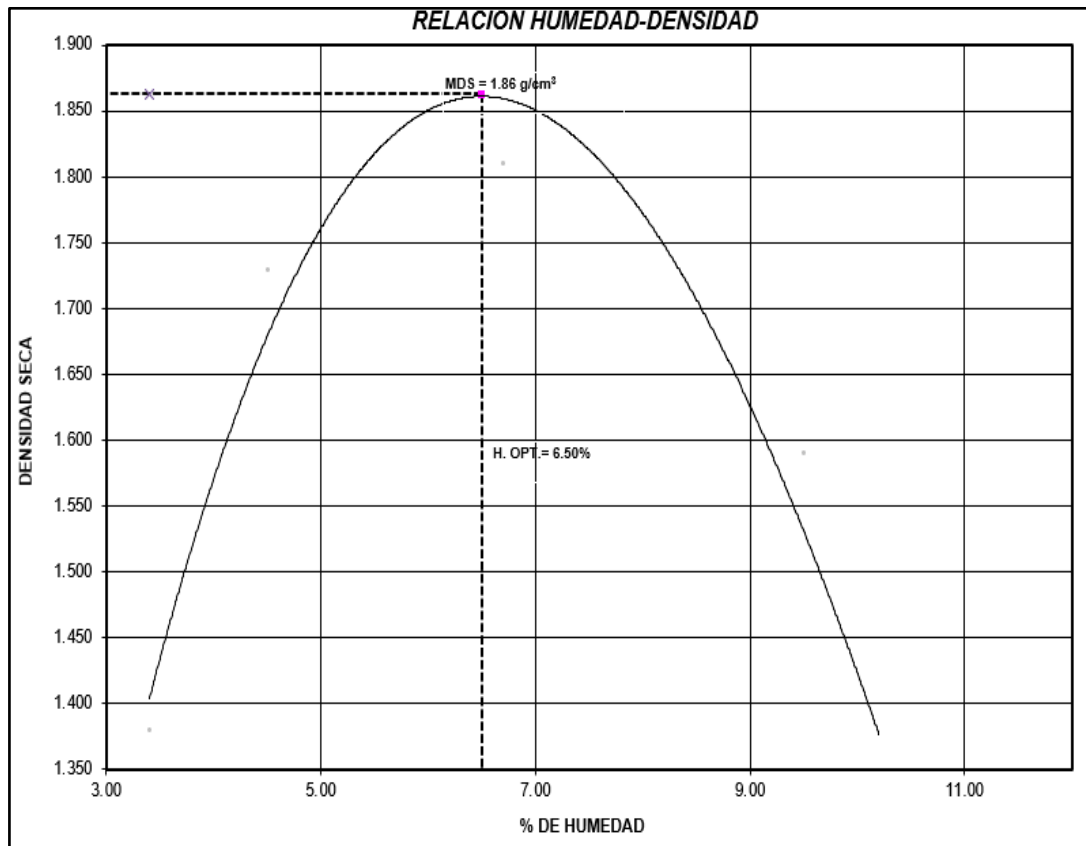
Ensayo Proctor Modificado- Calicata 03

PESO ESPECIFICO HUMEDO						
ENSAYO	Nº	01	02	03	04	05
Peso de la muestra húmeda + molde	gr	4070	5660	6450	5780	4800
Peso del molde	gr	6680	6680	6680	6680	6680
Peso de la muestra húmeda	gr	2390	3980	4770	4100	3120
Volumen del molde	cm3	2112	2112	2112	2112	2112
Densidad Húmeda	g/cm3	1.45	1.81	1.93	1.73	1.48
CONTENIDO DE HUMEDAD						
TARA	Nº	01	02	03	04	05
Peso muestra húmeda + tara	gr	491.98	490.78	492.98	495.28	498.84
Peso muestra seca + tara	gr	479.28	472.78	467.68	457.48	456.18
Peso de la tara	gr	54.00	52.00	51.00	50.00	52.00
Peso del agua	gr	12.28	16.58	23.88	36.38	41.28
Peso de la muestra seca	gr	423.71	418.61	414.61	405.21	402.71
Contenido de humedad	%	3.40	4.50	6.70	9.50	10.20
PESO ESPECIFICO SECO						
Densidad máxima seca	g/cm3	1.38	1.73	1.81	1.59	1.34

En la siguiente figura se muestra la relación Humedad-Densidad del ensayo.

Figura 101

Representación gráfica de la Relación Humedad-Densidad de la Calicata-03



La densidad seca óptima según la figura 25 es **1.86 g/cm³** indica que el suelo alcanza su máxima compactación bajo la energía del Proctor Estándar, logrando una estructura más densa y estable, con una notable reducción de vacíos internos. Por su parte, la humedad óptima de **6.50%**, corresponde al contenido de agua requerido para facilitar la compactación de las partículas.

Posteriormente, se obtuvieron los resultados correspondientes al ensayo CBR para la calicata 03, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

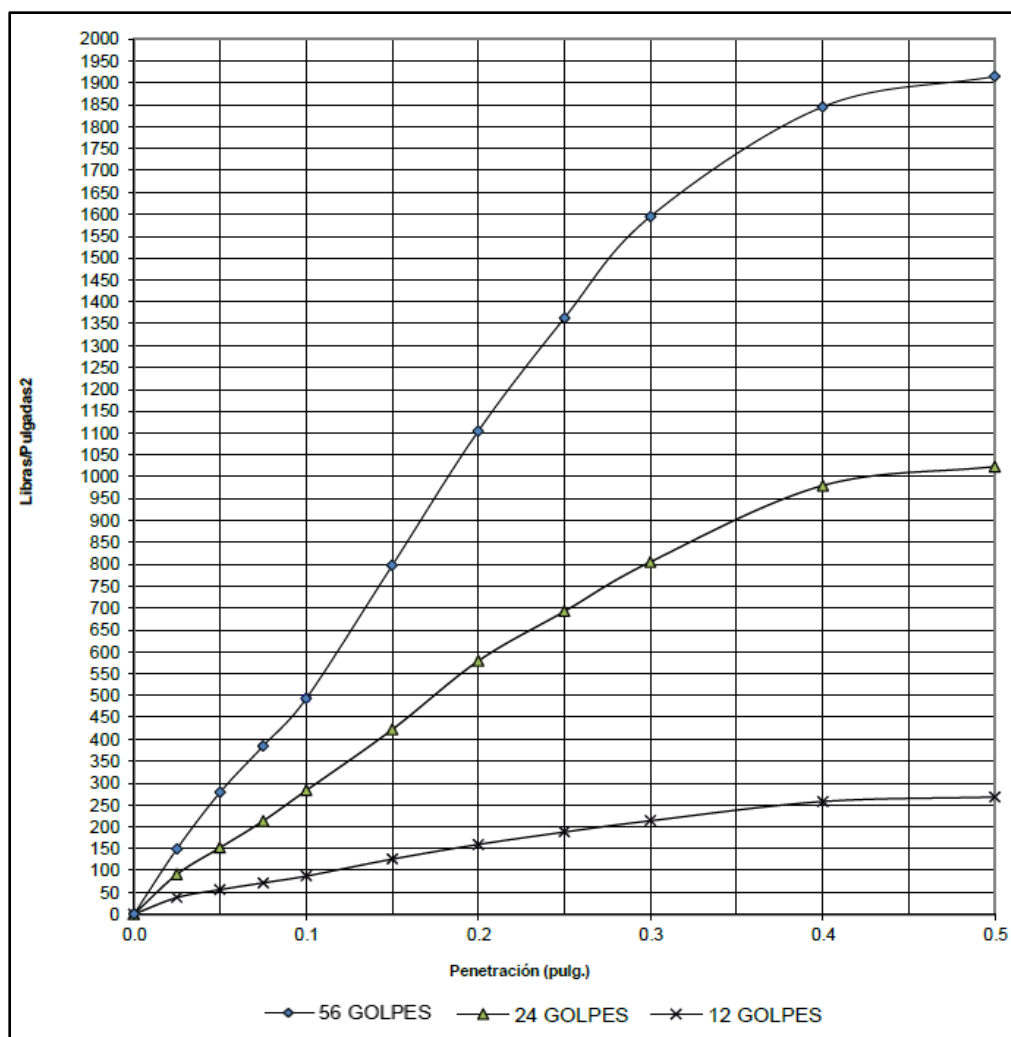
Tabla 42
Ensayo CBR- Calicata 03

ENSAYO CBR									
MUESTRA		01		02		03			
N.º DE GOLPES		56		26		12			
CONDICION		SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO		
Peso del molde + suelo húmedo	gr	11950.00	12280.00	11090.00	11720.00	11380.00	11960.00		
Peso del molde	gr	7030.80	7030.80	7030.80	7030.80	7030.80	7030.80		
Peso del suelo húmedo	gr	4919.20	5250.20	4059.20	4689.20	4349.20	4929.20		
Volumen del molde	cm3	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90		
Densidad húmeda	gr/cm ³	2.34	2.50	1.93	2.23	2.07	2.35		
Humedad	%	7.10		6.70		6.90			
Densidad seca	gr/cm ³	1.86		1.76		1.66			
IDENTIFICACION DE TARA		1	2	3	4	5	6		
Peso de tara + suelo húmedo	gr	462.50	494.20	473.80	517.30	487.10	505.40		
Peso de tara + suelo seco	gr	436.90	460.40	446.10	472.50	453.80	462.20		
Peso de tara	gr	55.10	66.40	57.30	60.80	56.20	67.10		
Peso del agua	cm3	25.60	33.80	27.70	44.80	33.30	43.20		
Peso de lo solidos	gr/cm ³	381.80	394.00	388.80	411.70	397.60	395.10		
Humedad	cm3	6.70	8.58	7.12	10.88	8.38	10.93		
PENETRACION EN PULGADAS	56 GOLPES				26 GOLPES			12 GOLPES	
	LECTURA	CONVERSION		LECTURA	CONVERSION		LECTURA	CONVERSION	
	DIAL (kg)	libras	Lb/pulg. 2	DIAL (kg)	libras	Lb/pulg.2	DIAL (kg)	libras	Lb/pulg. .2
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	185.90	388.50	149.41	117.80	232.10	91.04	32.00	67.60	28.06
0.050	361.60	784.70	278.46	200.80	415.00	152.03	62.60	121.90	56.16
0.075	505.60	1102.24	384.29	283.80	598.00	213.01	83.60	168.30	71.62
0.100	653.10	1427.40	492.69	378.70	807.10	282.72	104.70	223.80	87.12
0.150	1067.60	2341.20	797.30	568.40	1225.30	422.11	157.40	330.90	125.84
0.200	1485.50	3262.60	1104.45	781.70	1695.70	578.91	203.10	431.60	159.40
0.250	1836.20	4037.10	1362.59	935.80	2035.40	692.16	241.70	516.80	187.79
0.300	2152.70	4734.00	1594.91	1089.90	2375.10	805.39	276.80	594.10	213.58
0.400	2493.10	5485.10	1845.27	1327.00	2897.90	979.65	336.60	725.80	257.48
0.500	2588.20	5694.20	1914.98	1386.30	3028.60	1023.20	350.60	756.80	267.80

A continuación, se muestra la ilustración gráfica del ensayo.

Figura 102

Representación gráfica de Carga-Penetración de Ensayo CBR - Calicata 03



A continuación, se evidencian los resultados hallados de CBR para la muestra 03.

Tabla 43

Resultados del Ensayo CBR- Calicata 03

RESULTADOS	56 GOLPES	26 GOLPES	12 GOLPES
DENSIDAD SECA	1.86 gr/cm3	1.76 gr/cm3	1.66 gr/cm3
CBR A 0.10"	49.27%	28.27%	8.71%
CBR A 0.20"	73.63%	38.59%	10.63%
CBR AL 95% DMS:	28.27%	CBR AL 100% DMS:	49.27%

Para el diseño del pavimento se empleará el CBR al 95% de la Densidad Máxima Seca, cuyo valor obtenido es **28.27%**. Este resultado da a entender que la subrasante registra **una muy buena capacidad de soporte**, ubicándose dentro del rango de suelos granulares firmes capaces de soportar adecuadamente las demandas vehiculares.

f.4) Capacidad de Soporte de la Subrasante (CBR) - Calicata 04

Primero se obtuvieron los resultados el Ensayo Proctor Modificado, los cuales se pueden evidenciar en la siguiente tabla:

Tabla 44

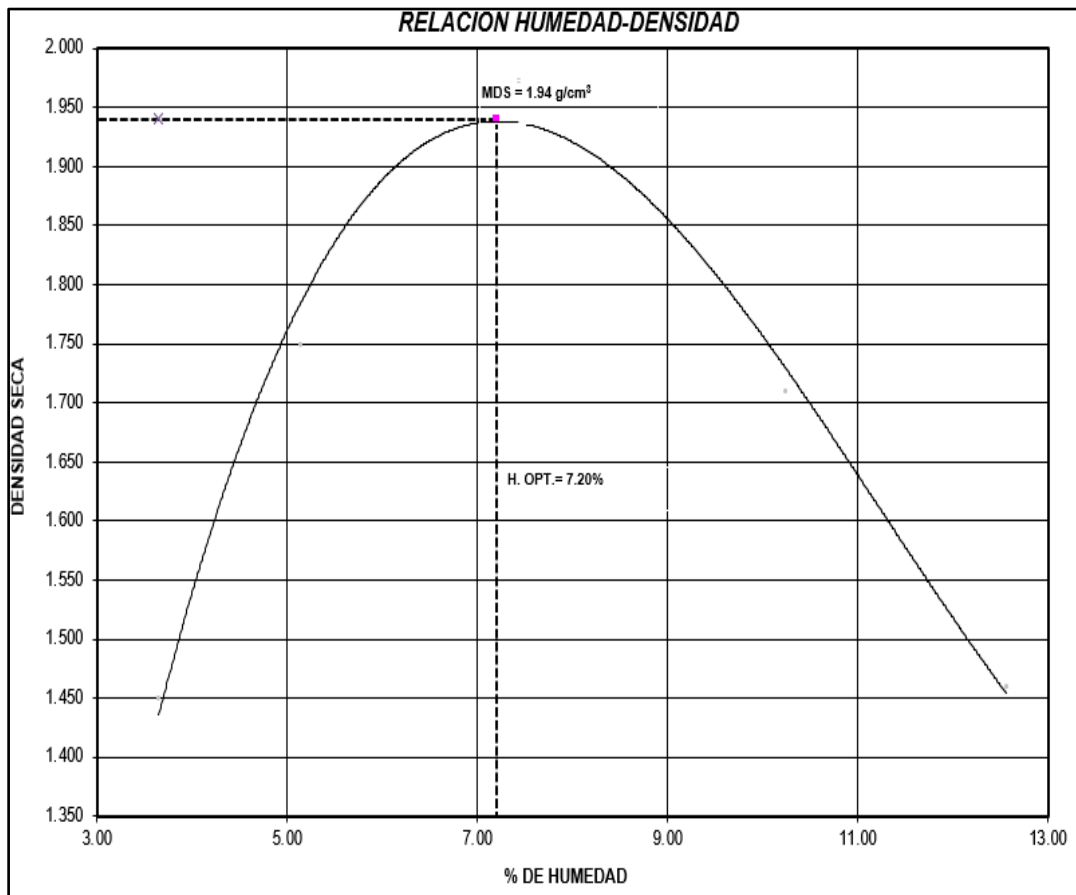
Ensayo Proctor Modificado- Calicata 04

PESO ESPECIFICO HUMEDO						
ENSAYO	Nº	01	02	03	04	05
Peso de la muestra húmeda + molde	gr	9854	10566	11036	10661	10151
Peso del molde	gr	6680	6680	6680	6680	6680
Peso de la muestra húmeda	gr	3174	3886	4356	3981	3471
Volumen del molde	cm3	2112	2112	2112	2112	2112
Densidad Húmeda	g/cm3	1.50	1.84	2.06	1.88	1.64
CONTENIDO DE HUMEDAD						
TARA	Nº	01	02	03	04	05
Peso muestra húmeda + tara	gr	469.22	468.02	470.22	472.52	476.12
Peso muestra seca + tara	gr	456.52	450.02	444.92	434.72	433.42
Peso de la tara	gr	54.00	52.00	60.00	50.00	52.00
Peso del agua	gr	13.97	18.27	25.57	38.07	42.97
Peso de la muestra seca	gr	402.52	397.42	393.42	384.02	381.52
Contenido de humedad	%	3.65	5.14	7.43	10.23	12.56
PESO ESPECIFICO SECO						
Densidad máxima seca	g/cm3	1.45	1.75	1.92	1.71	1.46

En la siguiente figura se muestra la relación Humedad-Densidad del ensayo.

Figura 103

Representación gráfica de la Relación Humedad-Densidad de la Calicata-04



La densidad seca óptima según la figura 27 es **1.94 g/cm³** indica que el suelo alcanza una compactación eficiente, logrando una estructura más densa y con menos vacíos. Asimismo, la humedad óptima de **7.20%**, es el contenido de agua requerido para facilitar la compactación de las partículas.

Posteriormente, se obtuvieron los resultados correspondientes al ensayo CBR para la calicata 04, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

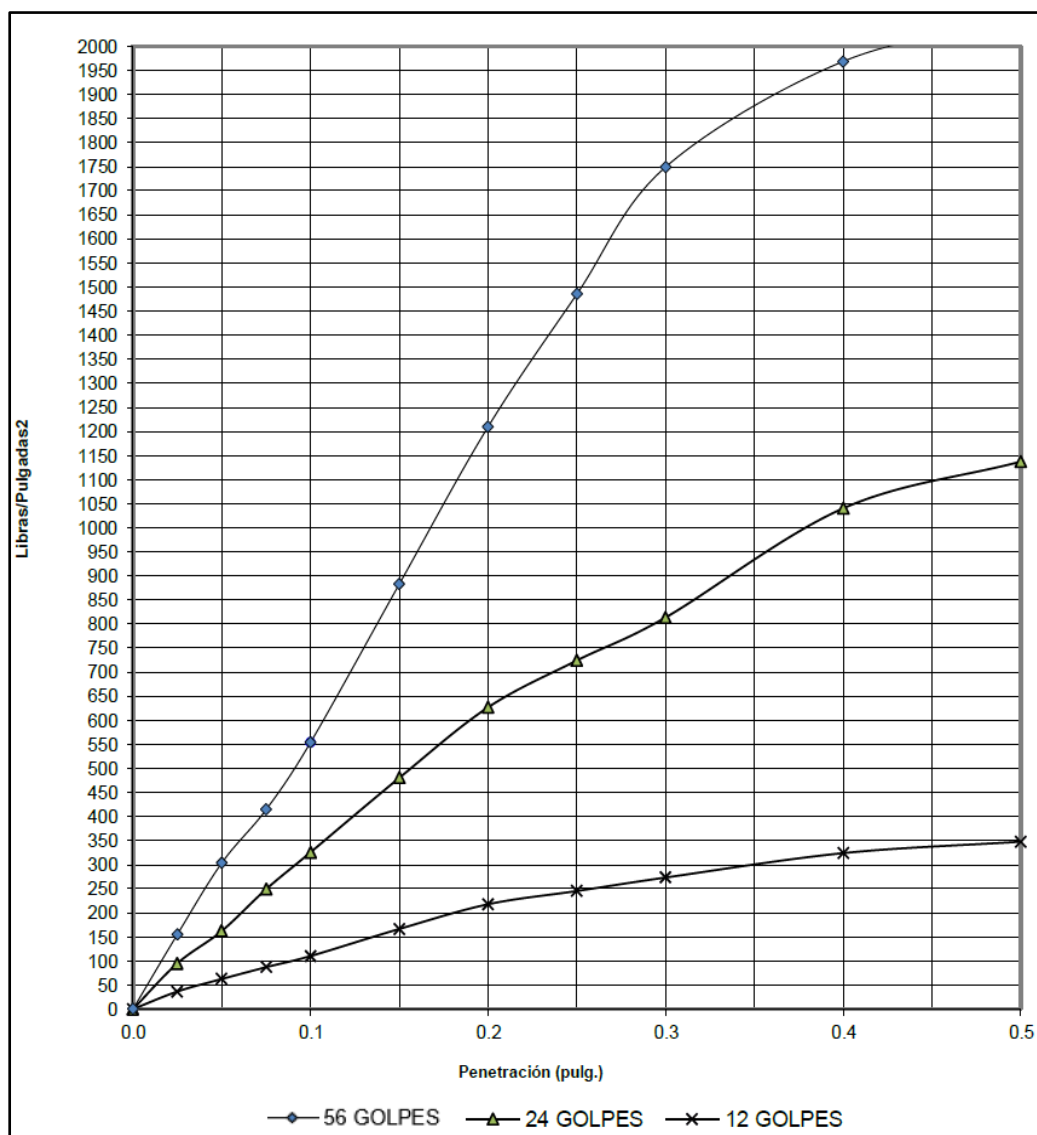
Tabla 45
Ensayo CBR- Calicata 04

ENSAYO CBR									
MUESTRA		01		02		03			
N.º DE GOLPES		56		26		12			
CONDICION		SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO		
Peso del molde + suelo húmedo	gr	11980.00	11720.00	12350.00	12090.00	11840.00	11650.00		
Peso del molde	gr	7030.80	7030.80	7030.80	7030.80	7030.80	7030.80		
Peso del suelo húmedo	gr	4950.00	4689.20	5319.20	5059.20	4809.20	4619.20		
Volumen del molde	cm3	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90		
Densidad húmeda	gr/cm ³	2.35	2.23	2.53	2.41	2.29	2.20		
Humedad	%	7.20		7.25		7.15			
Densidad seca	gr/cm ³	1.94		1.86		1.82			
IDENTIFICACION DE TARA		1	2	3	4	5	6		
Peso de tara + suelo húmedo	gr	472.10	502.30	485.90	529.40	498.00	515.20		
Peso de tara + suelo seco	gr	443.00	463.50	451.10	471.80	456.00	447.20		
Peso de tara	gr	55.10	46.80	57.00	50.80	56.20	67.10		
Peso del agua	cm3	29.10	38.80	34.80	57.60	42.00	68.00		
Peso de lo solidos	gr/cm ³	388.90	417.50	400.10	414.20	436.00	379.10		
Humedad	cm3	7.48	9.30	8.70	13.91	8.08	17.94		
PENETRACION EN PULGADAS	56 GOLPES				26 GOLPES			12 GOLPES	
	LECTURA	CONVERSION		LECTURA	CONVERSION		LECTURA	CONVERSION	
	DIAL (kg)	libras	Lb/pulg. ²	DIAL (kg)	libras	Lb/pulg. ²	DIAL (kg)	libras	Lb/pulg. ²
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	195.20	425.15	155.20	120.40	262.15	94.98	46.30	100.73	36.50
0.050	380.60	829.80	303.60	205.70	447.95	162.30	79.20	172.45	62.50
0.075	520.30	1134.64	414.40	315.20	686.98	249.00	110.40	240.36	87.10
0.100	698.40	1521.92	554.00	412.50	898.25	325.80	139.80	304.13	110.25
0.150	1110.50	2421.15	882.90	607.80	1323.96	480.40	210.60	458.30	166.45
0.200	1522.30	3318.22	1209.60	792.10	1726.45	626.80	275.30	599.18	217.75
0.250	1870.40	4077.00	1485.10	915.30	1996.30	724.20	310.60	675.48	245.30
0.300	2220.70	4840.92	1749.20	1025.40	2238.90	813.50	345.40	751.75	273.30
0.400	2498.10	5447.19	1968.40	1312.50	2864.25	1040.10	410.20	892.49	324.00
0.500	2610.20	5681.40	2053.70	1435.60	3133.63	1137.20	439.80	956.45	347.80

A continuación, se muestra la ilustración gráfica del ensayo.

Figura 104

Representación gráfica de Carga-Penetración de Ensayo CBR - Calicata 04



A continuación, se evidencian los resultados hallados de CBR para la muestra 04.

Tabla 46

Resultados del Ensayo CBR- Calicata 04

RESULTADOS	56 GOLPES	26 GOLPES	12 GOLPES
DENSIDAD SECA	1.94 gr/cm3	1.86 gr/cm3	1.82 gr/cm3
CBR A 0.10"	55.40%	32.58%	11.03%
CBR A 0.20"	80.64%	41.79%	14.52%
CBR AL 95% DMS:	32.58%	CBR AL 100% DMS:	55.40%

Para el diseño del pavimento se empleará el CBR al 95% de la Densidad Máxima Seca, cuyo valor obtenido es **32.58%**. Este resultado da a entender que la subrasante registra **una muy buena capacidad de soporte**, ubicándose dentro del rango de suelos granulares firmes capaces de soportar adecuadamente las demandas vehiculares.

f.5) Capacidad de Soporte de la Subrasante (CBR) - Calicata 05

Primero se obtuvieron los resultados el Ensayo Proctor Modificado, los cuales se pueden evidenciar en la siguiente tabla:

Tabla 47

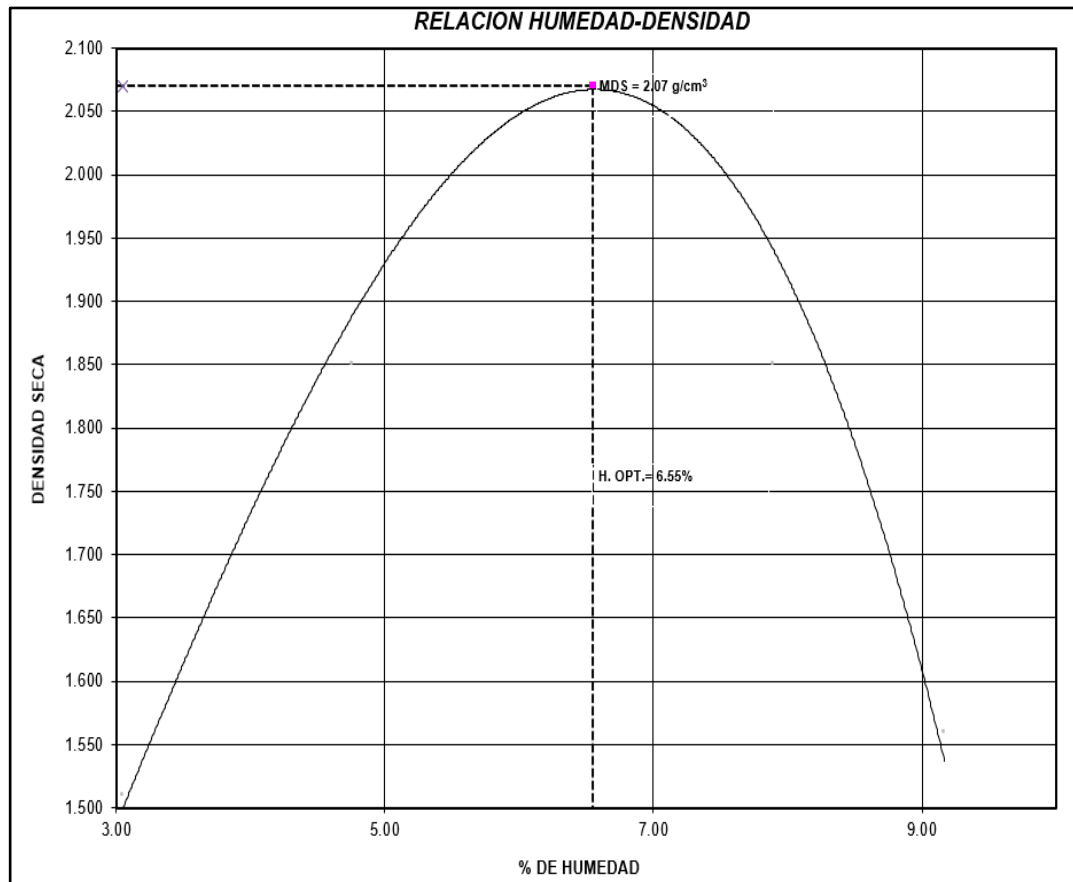
Ensayo Proctor Modificado- Calicata 05

PESO ESPECIFICO HUMEDO						
ENSAYO	Nº	1	2	3	4	5
Peso de la muestra húmeda + molde	gr	9720	10840	11220	10490	9980
Peso del molde	gr	6680	6680	6680	6680	6680
Peso de la muestra húmeda	gr	3040	4160	4540	3810	3300
Volumen del molde	cm3	2112	2112	2112	2112	2112
Densidad Húmeda	g/cm3	1.44	1.97	2.15	1.80	1.59
CONTENIDO DE HUMEDAD						
TARA	Nº	01	02	03	04	05
Peso muestra húmeda + tara	gr	419.43	418.23	420.43	422.73	426.33
Peso muestra seca + tara	gr	406.73	400.23	395.13	384.93	383.63
Peso de la tara	gr	55.00	51.00	61.00	52.00	50.00
Peso del agua	gr	9.14	14.44	21.74	34.24	39.14
Peso de la muestra seca	gr	352.73	3905.00	4719.00	4028.00	3110.00
Contenido de humedad	%	3.05	4.76	6.82	7.89	9.17
PESO ESPECIFICO SECO						
Densidad máxima seca	g/cm3	1.51	1.85	2.05	1.85	1.56

En la siguiente figura se muestra la relación Humedad-Densidad del ensayo.

Figura 105

Representación gráfica de la Relación Humedad-Densidad de la Calicata-05



La densidad seca óptima según la figura 29 es **2.07 g/cm³**, lo que indica que el suelo alcanza una compactación muy alta bajo la humedad óptima, logrando una estructura más densa y con menos vacíos. Asimismo, la humedad óptima de **6.55%**, es el contenido de agua requerido para facilitar la compactación de las partículas.

Posteriormente, se obtuvieron los resultados correspondientes al ensayo CBR para la calicata 04, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

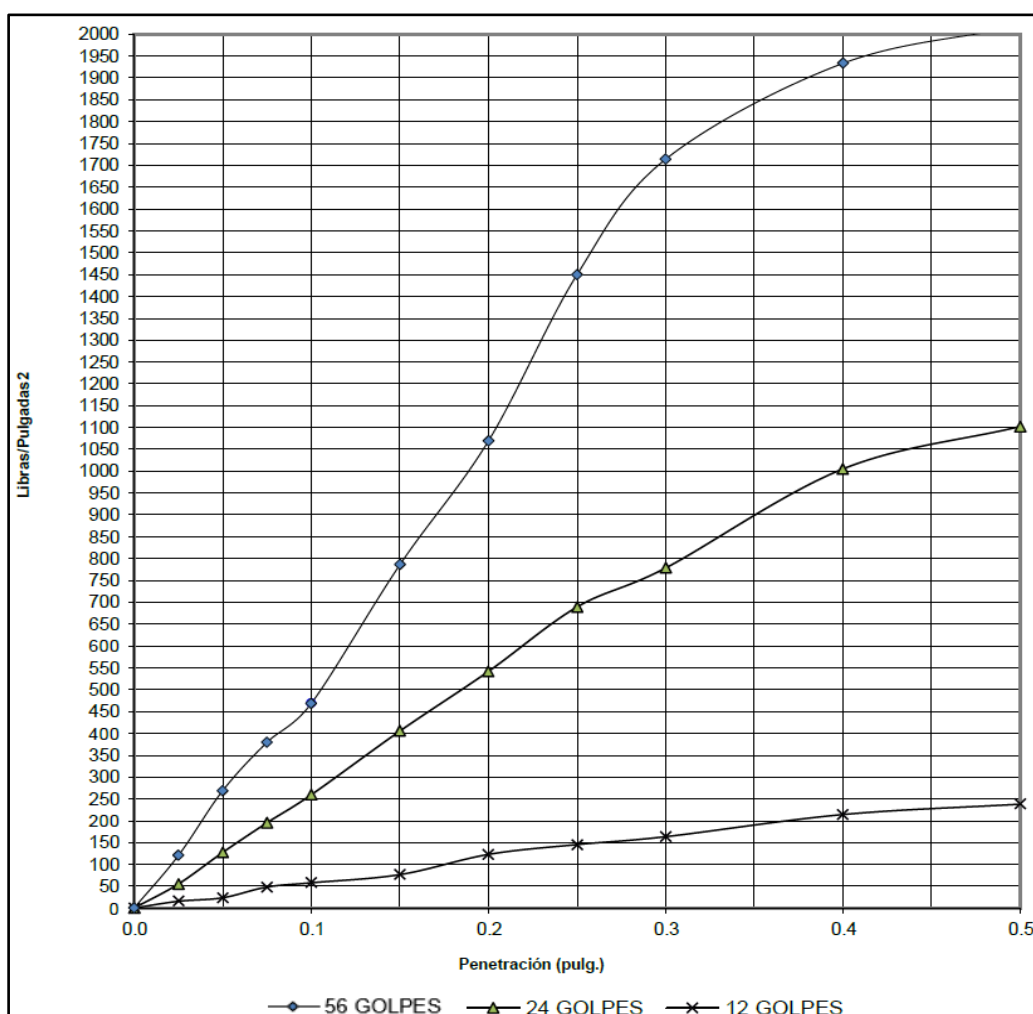
Tabla 48
Ensayo CBR- Calicata 05

ENSAYO CBR									
MUESTRA		01		02		03			
N.º DE GOLPES		56		26		12			
CONDICION		SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO		
Peso del molde + suelo húmedo	gr	11860.00	11940.00	12280.00	12010.00	11720.00	11580.00		
Peso del molde	gr	7030.00	7030.00	7030.00	7030.00	7030.00	7030.00		
Peso del suelo húmedo	gr	4830.00	4910.00	5250.00	4980.00	4690.00	4550.00		
Volumen del molde	cm3	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90		
Densidad húmeda	gr/cm ³	2.28	2.24	2.39	2.28	2.23	2.19		
Humedad	%	7.50		6.80		7.10			
Densidad seca	gr/cm ³	2.09		1.98		1.89			
IDENTIFICACION DE TARA		1	2	3	4	5	6		
Peso de tara + suelo húmedo	gr	482.30	508.60	494.10	526.20	497.80	532.10		
Peso de tara + suelo seco	gr	447.10	476.80	468.20	492.50	466.30	480.12		
Peso de tara	gr	37.10	31.00	29.20	35.70	30.90	35.70		
Peso del agua	cm3	35.20	31.80	25.90	33.70	31.50	34.60		
Peso de lo solidos	gr/cm ³	410.00	445.80	439.00	456.80	435.40	416.34		
Humedad	cm3	7.46	6.64	5.90	7.38	7.23	8.25		
PENETRACION EN PULGADAS	56 GOLPES				26 GOLPES			12 GOLPES	
	LECTURA	CONVERSION		LECTURA	CONVERSION		LECTURA	CONVERSION	
	DIAL (kg)	libras	Lb/pulg. ²	DIAL (kg)	libras	Lb/pulg. ²	DIAL (kg)	libras	Lb/pulg. ²
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	160.20	390.15	120.20	85.40	227.15	54.98	11.30	65.73	15.50
0.050	345.60	794.80	268.60	170.70	412.95	127.30	44.20	137.45	23.50
0.075	485.30	1099.64	379.40	280.20	651.98	195.20	75.40	205.36	48.10
0.100	663.40	1486.92	468.40	377.50	863.25	259.30	104.80	269.13	57.80
0.150	1075.50	2386.15	785.90	572.80	1288.96	405.12	175.60	423.30	76.45
0.200	1487.30	3283.22	1069.60	757.10	1691.45	541.80	240.30	564.18	122.75
0.250	1835.40	4042.00	1450.10	880.30	1961.30	689.20	275.60	640.48	145.30
0.300	2185.40	4805.92	1714.20	990.40	2203.90	778.50	310.40	716.75	163.30
0.400	2463.10	5412.19	1933.40	1277.50	2829.25	1005.10	375.20	857.49	214.00
0.500	2575.00	5646.40	2018.70	1400.60	3098.63	1102.20	404.80	921.45	237.80

A continuación, se muestra la ilustración gráfica del ensayo.

Figura 106

Representación gráfica de Carga-Penetración de Ensayo CBR - Calicata 05



A continuación, se evidencian los resultados hallados de CBR para la muestra 05.

Tabla 49

Resultados del Ensayo CBR- Calicata 05

RESULTADOS	56 GOLPES	26 GOLPES	12 GOLPES
DENSIDAD SECA	2.09 gr/cm3	1.98 gr/cm3	1.89 gr/cm3
CBR A 0.10"	46.84%	25.93%	5.78%
CBR A 0.20"	71.31%	36.12%	8.18%
CBR AL 95% DMS:	25.93%	CBR AL 100% DMS:	46.84%

Para el diseño del pavimento se empleará el CBR al 95% de la Densidad Máxima Seca, cuyo valor obtenido es **25.93%**. Este resultado da a entender que la subrasante registra **una muy buena capacidad de soporte**, ubicándose dentro del rango de suelos granulares firmes capaces de soportar adecuadamente las demandas vehiculares.

f.6) Capacidad de Soporte de la Subrasante (CBR) - Calicata 06

Primero se obtuvieron los resultados el Ensayo Proctor Modificado, los cuales se pueden evidenciar en la siguiente tabla:

Tabla 50

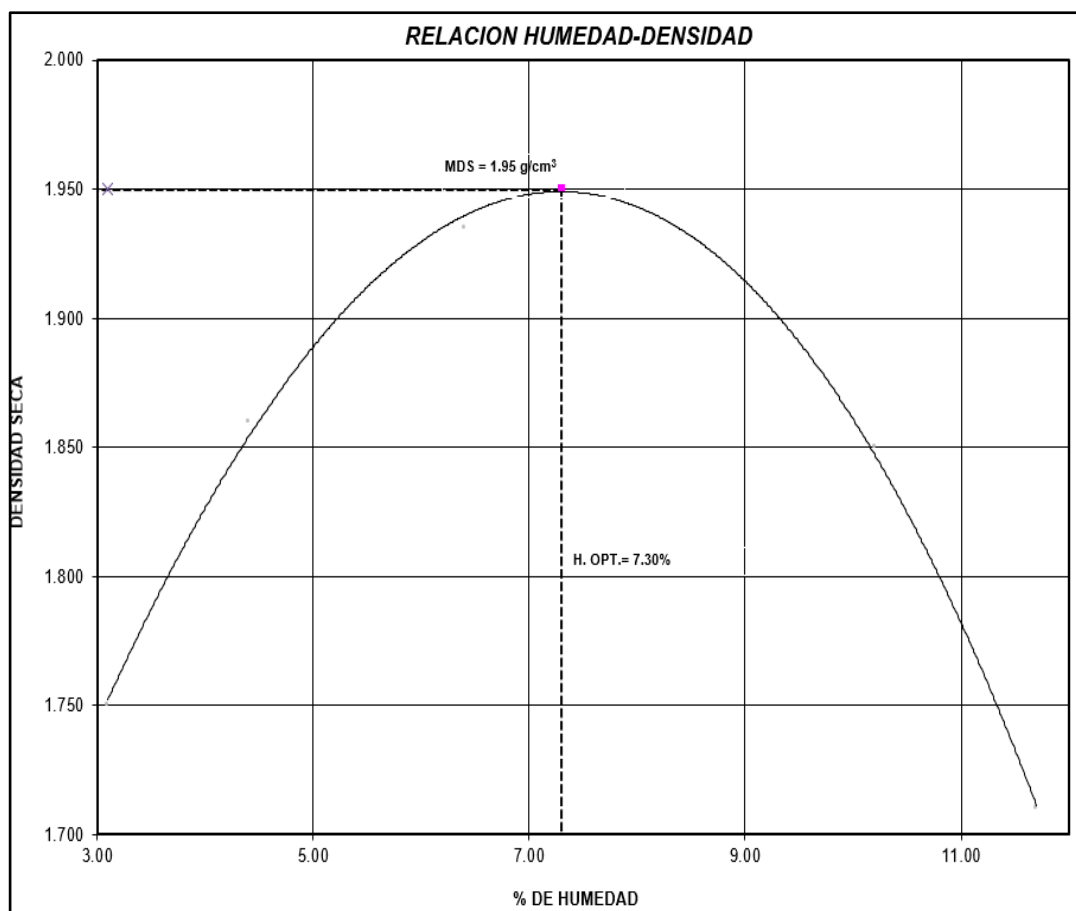
Ensayo Proctor Modificado- Calicata 06

PESO ESPECIFICO HUMEDO						
ENSAYO	Nº	1	2	3	4	5
Peso de la muestra húmeda + molde	gr	10557	10937	11295	11153	10824
Peso del molde	gr	6680	6680	6680	6680	6680
Peso de la muestra húmeda	gr	3911	4256	4614	4472	4143
Volumen del molde	cm3	2112	2112	2112	2112	2112
Densidad Húmeda	g/cm3	1.85	2.02	2.18	2.12	1.96
CONTENIDO DE HUMEDAD						
TARA	Nº	01	02	03	04	05
Peso muestra húmeda + tara	gr	410.10	408.90	411.10	413.40	417.00
Peso muestra seca + tara	gr	397.40	390.90	385.80	375.60	374.30
Peso de la tara	gr	54.00	52.60	51.50	50.70	51.90
Peso del agua	gr	12.70	18.00	25.30	37.80	42.70
Peso de la muestra seca	gr	355.95	350.85	346.85	337.45	334.95
Contenido de humedad	%	3.10	4.40	6.40	10.20	11.70
PESO ESPECIFICO SECO						
Densidad máxima seca	g/cm3	1.75	1.86	1.93	1.85	1.71

En la siguiente figura se muestra la relación Humedad-Densidad del ensayo.

Figura 107

Representación gráfica de la Relación Humedad-Densidad de la Calicata-06



La densidad seca óptima según la figura 30 es **1.95 g/cm³**, lo que indica que el suelo alcanza una compactación alta bajo la humedad óptima, logrando una estructura más densa y con menos vacíos. Asimismo, la humedad óptima de **7.30%**, es el contenido de agua requerido para facilitar la compactación de las partículas.

Posteriormente, se obtuvieron los resultados correspondientes al ensayo CBR para la calicata 04, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

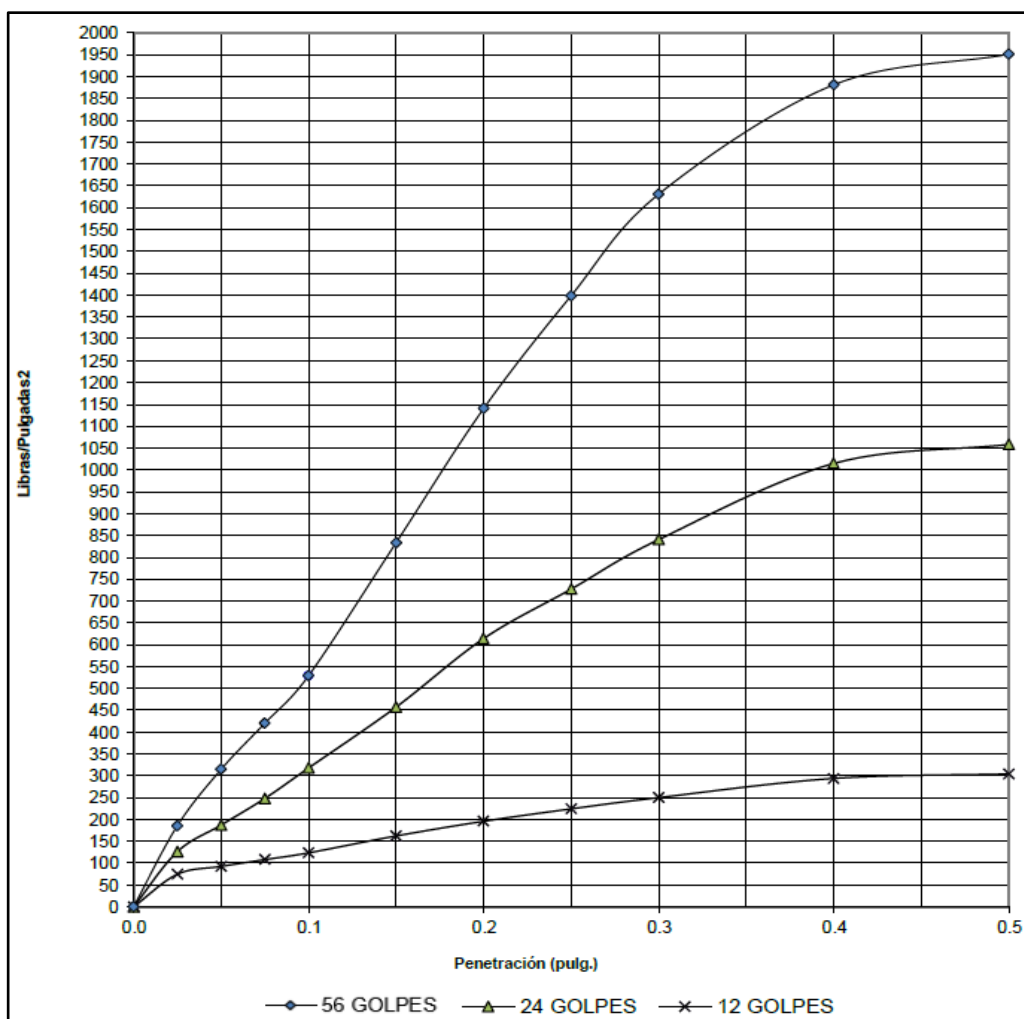
Tabla 51
Ensayo CBR - Calicata 06

ENSAYO CBR									
MUESTRA		01		02		03			
N.º DE GOLPES		56		26		12			
CONDICION		SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO		
Peso del molde + suelo húmedo	gr	11694.44	11987.44	11499.44	11788.44	11337.44	11621.55		
Peso del molde	gr	7030.80	7030.80	7030.80	7030.80	7067.00	7067.00		
Peso del suelo húmedo	gr	4673.53	4966.53	4478.53	4767.53	4280.33	4364.20		
Volumen del molde	cm3	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90		
Densidad húmeda	gr/cm ³	2.09	2.23	1.99	2.13	1.90	2.04		
Humedad	%	7.50		8.60		9.50			
Densidad seca	gr/cm ³	1.95		1.85		1.75			
IDENTIFICACION DE TARA		1	2	3	4	5	6		
Peso de tara + suelo húmedo	gr	432.59	468.29	440.69	476.99	447.49	471.34		
Peso de tara + suelo seco	gr	408.06	433.06	412.66	429.46	416.06	423.56		
Peso de tara	gr	53.20	68.50	53.70	68.50	54.30	68.50		
Peso del agua	cm3	30.80	41.50	34.30	53.70	37.70	52.60		
Peso de lo solidos	gr/cm ³	359.70	369.40	363.80	365.80	366.60	357.20		
Humedad	cm3	8.10	10.80	8.90	14.20	9.80	14.00		
PENETRACION EN PULGADAS	56 GOLPES				26 GOLPES			12 GOLPES	
	LECTURA	CONVERSION		LECTURA	CONVERSION		LECTURA	CONVERSION	
	DIAL (kg)	libras	Lb/pulg. 2	DIAL (kg)	libras	Lb/pulg.2	DIAL (kg)	libras	Lb/pulg. 2
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	232.00	434.70	185.39	151.50	265.20	126.01	81.50	110.70	74.38
0.050	407.70	830.90	314.44	234.50	448.10	187.00	106.10	165.00	92.48
0.075	551.70	1148.40	420.27	317.50	631.10	247.98	127.10	211.40	107.94
0.100	699.20	1473.60	528.67	412.40	840.20	317.69	148.20	266.90	123.44
0.150	1113.70	2387.40	833.28	602.10	1258.40	457.08	200.90	374.00	162.16
0.200	1531.70	3308.80	1140.43	815.40	1728.80	613.88	246.60	474.70	195.72
0.250	1882.90	4083.30	1398.57	969.50	2068.50	727.13	285.20	559.90	224.11
0.300	2199.00	4780.20	1630.89	1123.60	2408.20	840.36	320.30	637.20	249.90
0.400	2539.70	5531.30	1881.25	1360.70	2931.00	1014.62	380.10	768.90	293.80
0.500	2634.60	5740.40	1950.96	1420.00	3061.70	1058.17	394.10	799.90	304.12

A continuación, se muestra la ilustración gráfica del ensayo.

Figura 108

Representación gráfica de Carga-Penetración de Ensayo CBR - Calicata 06



A continuación, se evidencian los resultados hallados de CBR para la muestra 06

Tabla 52

Resultados del Ensayo CBR- Calicata 06

RESULTADOS	56 GOLPES	26 GOLPES	12 GOLPES
DENSIDAD SECA	1.95 gr/cm3	1.85 gr/cm3	1.75 gr/cm3
CBR A 0.10"	52.87%	31.77%	12.34%
CBR A 0.20"	76.03%	40.93%	13.05%
CBR AL 95% DMS:	31.77%	CBR AL 100% DMS:	52.87%

Para el diseño del pavimento se empleará el CBR al 95% de la Densidad Máxima Seca, cuyo valor obtenido es **31.77%**. Este resultado no da entender que la subrasante registra **una muy buena capacidad de soporte**, ubicándose dentro del rango de suelos granulares firmes capaces de soportar adecuadamente las demandas vehiculares.

4.1.4. APLICACIÓN DEL MÉTODO AASHTO 93

Se realizará el diseño del pavimento flexible haciendo uso de la guía AASHTO 1993, tomando en cuenta los parámetros de diseño presentados en la Tabla 53, tales como el nivel de confiabilidad, la desviación estándar normal (ZR), las cargas equivalentes de tránsito (ESAL) y las propiedades de los materiales. Estos valores permitirán definir la estructura del pavimento acorde con las particularidades y requerimientos de la vía proyectada, en el procedimiento serán justificados cada parámetro de diseño.

Tabla 53

Parámetros de diseño del Método AASHTO 93

PARAMETROS DE DISEÑO	
Periodo de diseño en años (t):	20
Número de Ejes Equivalentes (ESAL)	59,338,599
Índice de servicialidad inicial (pi):	4.2
Índice de servicialidad final (pt):	3
Diferencia de Serviabilidad (Δ PSI):	1.2
Índice de confianza (R%):	0.95
Desviación estándar normal (ZR):	-1.645
Error de combinación estándar (So):	0.45
Capacidad de soporte de la subrasante (CBR)	25.93%

A) CÁLCULO DEL MÓDULO DE RESILIENCIA (Mr)

El análisis del módulo de resiliencia de los materiales empleados para la conformación del paquete estructural del pavimento se efectuó siguiendo las recomendaciones de la guía AAHSTO 93.

a) Norma Técnica

- ✓ Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – MTC 2014. Pavimentos Flexibles.

b) Instrumentos de medición

- ✓ Fórmulas empíricas

c) Materiales

- ✓ Software de procesamiento de datos (Excel)
- ✓ Manual AASHTO 93

d) Fórmulas empleadas

$$Mr_{subrasante} = 2555 \times CBR^{0.64} \dots\dots\dots(1)$$

Mrsubrasante: Modulo de resiliencia de la subrasante (psi)

CBR: Capacidad de soporte de la subrasante (%)

$$Mr_{subbase} = 1.5 \times Mr_{subrasante} \dots\dots\dots(2)$$

Mrsubbase: Modulo de resiliencia de la subbase (psi)

Mrsubrasante: Modulo de resiliencia de la subrasante (psi)

$$Mr_{base} = 1.5 \times Mr_{subbase} \dots\dots\dots(3)$$

Mrbase: Modulo de resiliencia de la base (psi)

Mrsubbase: Modulo de resiliencia de la subbase (psi)

e) Procedimiento

El cálculo del módulo de resiliencia de la subrasante se realizó utilizando la fórmula recomendada en la Guía AASHTO 1993 para suelos finos, expresada como $MR_{subrasante} = 2555 \cdot (CBR)^{0.64}$, la cual permite obtener el módulo recuperable del material a partir de su CBR. Cabe resaltar que el CBR de diseño será el más crítico de las 06 muestras obtenidas, entonces será de 25.93% al 95% de su DMS. A partir de este valor inicial, los módulos de resiliencia de las capas superiores se establecieron siguiendo las relaciones propuestas por AASHTO 93, donde el MR de la subbase se define como 1.5 veces el MR de la subrasante), debido a que la subbase presenta mejores propiedades mecánicas. Del mismo modo, el MR de la base granular se obtiene como 1.5 veces el MR de la subbase reflejando el incremento progresivo de rigidez conforme se aproxima a la superficie del pavimento.

Para la capa asfáltica, el método AASHTO 93 establece el uso de un módulo resiliente típico para mezclas asfálticas convencionales, generalmente dentro del intervalo de 350,000 a 450,000 psi, aceptándose un valor representativo dentro de dicho rango, para el caso de la presente investigación se asumirá el valor más alto. Este procedimiento garantiza que los parámetros estructurales empleados se ajusten a los criterios de la guía AASHTO 1993.

Figura 109

Cálculo del Módulo de Resiliencia en Excel

1. CALCULO DEL MODULO DE RESILIENCIA			
a) C.B.R. de la Sub Rasante (%):		25.93 %	
b) Modulo de Resiliencia (Subrasante):		20,522.23 psi	141.50 Mpa
	Mrsubrasante=2555 CBR ^{0.64}	20,522.23 psi	
c) Modulo de Resiliencia (Subbase):		30,783.34 psi	212.24 Mpa
	Mrsubbase=1.5 Mrsubrasant	30,783.34 psi	
d) Modulo de Resiliencia (Base):		46,175.01 psi	318.37 Mpa
	Mrbase=1.5 Mrsubbase	46,175.01 psi	
d) Modulo de Resiliencia (Capa asfáltica):		450,000.00 psi	3102.64 Mpa

Nota: El módulo de resiliencia fue estimado en Microsoft Excel mediante la aplicación de fórmulas empíricas basadas en parámetros como el CBR y la guía AAHSTO 93.

f) Resultados

Los resultados se evidencian a continuación:

Tabla 54

Módulo de resiliencia de las capas del pavimento

MODULO DE RESILIENCIA		
	Mpa	Psi
Subrasante	141.50	20522.23
Subbase	212.24	30783.34
Base	318.37	46175.01
Capa asfáltica	3102.64	450000.00

El módulo de resiliencia de la **subrasante (141.50 Mpa)** indica un suelo de capacidad portante media, mientras que la **subbase (212.24 Mpa)** y la **base granular (318.37 Mpa)** reflejan incrementos consistentes con los factores estructurales aplicados, evidenciando una mejora progresiva del comportamiento elástico recuperable en capas superiores. La **capa asfáltica (3102.64 Mpa)** se encuentra dentro del rango típico para mezclas asfálticas convencionales, garantizando una adecuada distribución de esfuerzos. En conjunto, los valores obtenidos son técnicamente coherentes y apropiados para un diseño conforme al método AASHTO 93.

B) CÁLCULO DE NÚMEROS ESTRUCTURALES (SN)

La evaluación de los Números Estructurales sirve para definir la capacidad estructural del pavimento, a mayor Número Estructural (SN), mayor es la resistencia y espesor requerido del pavimento.

a) Norma Técnica

- ✓ Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – MTC 2014. Pavimentos Flexibles.

b) Instrumentos de medición

- ✓ Fórmulas empíricas

c) Materiales

- ✓ Software de procesamiento de datos (Excel)
- ✓ Manual AAHSTO 93

d) Fórmulas empleadas

$$\text{Log}W_{18} = Z_R \times S_0 + 9.36 \times \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \left(\frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}\right)} + 2.32 \times \text{Log}Mr - 8.07$$

Donde:

W18 = Cantidad de repeticiones de ejes equivalentes de 18 kip

SN = Número estructural.

ΔPSI = Variación entre los índices de servicio inicial y final.

Mr = Módulo de resiliencia (libras/pg2).

So = Desviación estándar

ZR= Desviación estándar Normal

e) Procedimiento

En el presente diseño se aplicó la ecuación general del método AASHTO 93 para relacionar el tránsito proyectado “W18”, los parámetros de confiabilidad (ZR, So) y el módulo resiliente de la subrasante (MR) con el Número Estructural, empleando la expresión: $\log_{10}(W18) = ZR \cdot So + 9.36 \cdot \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \log_{10}(\Delta PSI) + (4.2 - 1.5) / (0.40 + 1094 / (SN + 1)^{5.19}) + 2.32 \cdot \log_{10}(MR) - 8.07$. Una vez ingresados los valores de diseño, se realizaron iteraciones sucesivas para obtener el SN requerido mediante el Microsoft Excel, ya que es un proceso más exacto y debido a que la ecuación no permite un despeje algebraico directo. Finalmente, con el SN obtenido se procedió a calcular los números estructurales de la subrasante, subbase y base, garantizando que cada se adecúe con la capacidad estructural solicitada por el método AASHTO 93.

Figura 110

Cálculo del Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi)

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (Pi)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP0	75,00	150,000	3.80
	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: Se evidencia el cálculo del Índice de Serviciabilidad Inicial en función al ESAL previamente calculado, resultado 59,338,599, en conclusión, el Pi será 4.20.

Figura 111

Cálculo del Índice de Serviabilidad Final (Pt)

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL (Pt)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T _{P0}	75,000	150,000	2.00
	T _{P1}	150,001	300,000	2.00
	T _{P2}	300,001	500,000	2.00
	T _{P3}	500,001	750,000	2.00
	T _{P4}	750 001	1,000,000	2.00
Resto de Caminos	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	2.50
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	2.50
	T _{P7}	3,000,001	5,000,000	2.50
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	2.50
	T _{P9}	7,500,001	10'000,000	2.50
	T _{P10}	10'000,001	12'500,000	2.50
	T _{P11}	12'500,001	15'000,000	2.50
	T _{P12}	15'000,001	20'000,000	3.00
	T _{P13}	20'000,001	25'000,000	3.00
	T _{P14}	25'000,001	30'000,000	3.00
	T _{P15}	>30'000,000		3.00

Nota: Se evidencia el cálculo del Índice de Serviabilidad Final en función al ESAL previamente calculado, resultado 59,338,599, en conclusión, el Pt será 3.00.

Figura 112

Cálculo del Diferencial de Serviabilidad(Δ PSI)

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DIFERENCIAL DE SERVICIABILIDAD (Δ PSI)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T _{P0}	75,001	1500,000	1.80
	T _{P1}	150,001	300,000	1.80
	T _{P2}	300,001	500,000	1.80
	T _{P3}	500,001	750,000	1.80
	T _{P4}	750 001	1,000,000	1.80
Resto de Caminos	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	1.50
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	1.50
	T _{P7}	3,000,001	5,000,000	1.50
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	1.50
	T _{P9}	7,500,001	10'000,000	1.50
	T _{P10}	10'000,001	12'500,000	1.50
	T _{P11}	12'500,001	15'000,000	1.50
	T _{P12}	15'000,001	20'000,000	1.20
	T _{P13}	20'000,001	25'000,000	1.20
	T _{P14}	25'000,001	30'000,000	1.20
	T _{P15}	>30'000,000		1.20

Nota: Se evidencia el cálculo del Diferencial de Serviabilidad, en función al nivel de tráfico.

Figura 113*Cálculo del Nivel de Confiabilidad(R)*

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T _{P0}	75,000	150,000	65%
	T _{P1}	150,001	300,000	70%
	T _{P2}	300,001	500,000	75%
	T _{P3}	500,001	750,000	80%
	T _{P4}	750 001	1,000,000	80%
Resto de Caminos	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	85%
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	85%
	T _{P7}	3,000,001	5,000,000	85%
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	90%
	T _{P9}	7,500,001	10'000,000	90%
	T _{P10}	10'000,001	12'500,000	90%
	T _{P11}	12'500,001	15'000,000	90%
	T _{P12}	15'000,001	20'000,000	95%
	T _{P13}	20'000,001	25'000,000	95%
	T _{P14}	25'000,001	30'000,000	95%
	T _{P15}	>30'000,000		95%

Nota: Se evidencia el cálculo del Nivel de Confiabilidad, en función al nivel de tráfico (ESAL)

Figura 114*Cálculo de la Desviación Estándar Normal (Z_R)*

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Z _R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T _{P0}	75,000	150,000	-0.385
	T _{P1}	150,001	300,000	-0.524
	T _{P2}	300,001	500,000	-0.674
	T _{P3}	500,001	750,000	-0.842
	T _{P4}	750 001	1,000,000	-0.842
Resto de Caminos	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	-1.036
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	-1.036
	T _{P7}	3,000,001	5,000,000	-1.036
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	-1.282
	T _{P9}	7,500,001	10'000,000	-1.282
	T _{P10}	10'000,001	12'500,000	-1.282
	T _{P11}	12'500,001	15'000,000	-1.282
	T _{P12}	15'000,001	20'000,000	-1.645
	T _{P13}	20'000,001	25'000,000	-1.645
	T _{P14}	25'000,001	30'000,000	-1.645
	T _{P15}	>30'000,000		-1.645

Nota: Se evidencia el cálculo de la Desviación Estándar Normal, en función al nivel de tráfico (ESAL)

Figura 115

Recomendación respecto al valor de Desviación Estándar Combinada (So)



PERÚ

Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Viceministerio de Transportes

Dirección General de Caminos y Ferrocarriles

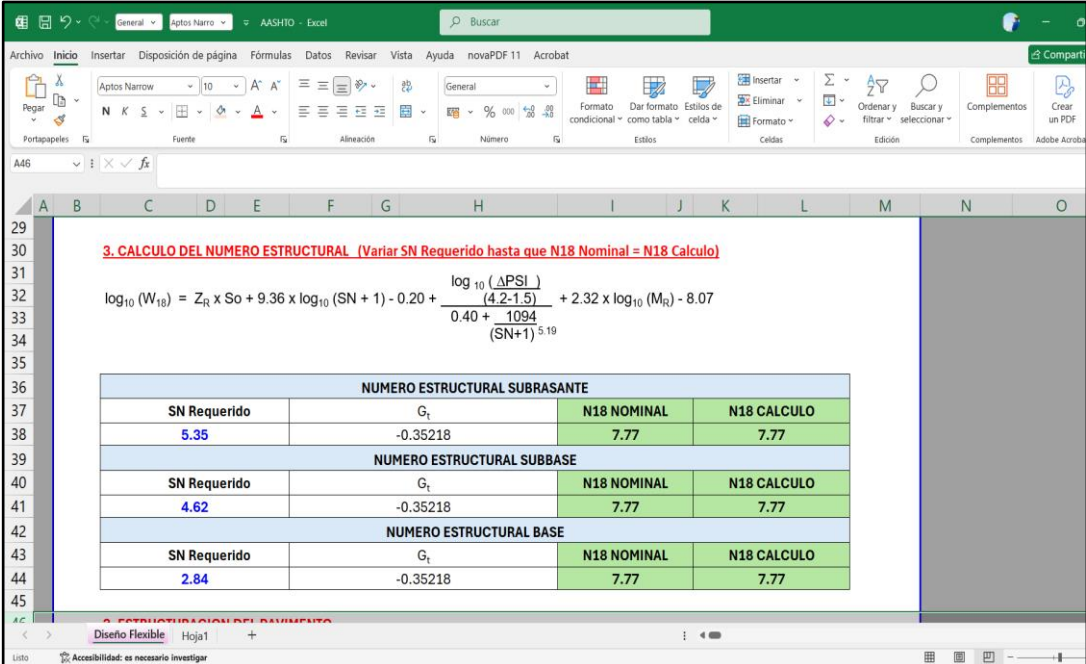
e) Desviación Estándar Combinada (So)

La Desviación Estándar Combinada (So), es un valor que toma en cuenta la variabilidad esperada de la predicción del tránsito y de los otros factores que afectan el comportamiento del pavimento; como por ejemplo, construcción, medio ambiente, incertidumbre del modelo. La Guía AASHTO recomienda adoptar para los pavimentos flexibles, valores de So comprendidos entre 0.40 y 0.50, en el presente Manual se adopta para los diseños recomendados el valor de 0.45.

Nota: Se evidencia la recomendación del Manual de Carreteras, Capítulo Pavimentos Flexibles, donde indica que para el diseño de pavimentos flexibles el valor de 0.45 (ESAL)

Figura 116

Cálculo de los Números Estructurales en Excel



3. CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL (Variar SN Requerido hasta que N18 Nominal = N18 Calculo)

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5})}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

NUMERO ESTRUCTURAL SUBRASANTE			
SN Requerido	G _t	N18 NOMINAL	N18 CALCULO
5.35	-0.35218	7.77	7.77
NUMERO ESTRUCTURAL SUBBASE			
SN Requerido	G _t	N18 NOMINAL	N18 CALCULO
4.62	-0.35218	7.77	7.77
NUMERO ESTRUCTURAL BASE			
SN Requerido	G _t	N18 NOMINAL	N18 CALCULO
2.84	-0.35218	7.77	7.77

Nota: Los números estructurales fueron determinados en Microsoft Excel mediante la aplicación de las ecuaciones del método AASHTO 93, considerando los parámetros de diseño del pavimento.

f) Resultados

Los resultados se evidencian a continuación:

Tabla 55*Números estructurales*

Numero Estructurales	
Base (SN1)	2.84
Subbase (SN2)	4.62
Subrasante (SN3)	5.35

Los resultados obtenidos muestran una progresión coherente de los Números Estructurales (SN) conforme al método AASHTO 93. El valor **SN1 = 2.84** indica la capacidad estructural acumulada requerida hasta la base, lo que refleja que esta capa debe aportar la mayor rigidez dentro del paquete granular. El valor **SN2 = 4.62** corresponde a la capacidad estructural necesaria hasta la subbase, evidenciando que esta capa complementa significativamente la resistencia total del pavimento. Finalmente, **SN3 = 5.35** representa el número estructural total solicitado, que es la capacidad mínima que requiere toda la estructura para soportar el tránsito proyectado.

C) CÁLCULO DE COEFICIENTES DE DRENAJE (m)

El análisis de los coeficientes de drenaje sirve para ajustar la capacidad estructural de las capas granulares (base y subbase) en función de la calidad del drenaje y el tiempo de exposición a la humedad.

a) Norma Técnica

- ✓ Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – MTC 2014. Pavimentos Flexibles.

b) Instrumentos de medición

- ✓ Tabla de valores recomendados

c) Materiales

- ✓ Manual AASHTO 93

d) Fórmulas empleadas

Ninguna

e) Procedimiento

Continuando el procedimiento, los coeficientes de drenaje (m_i) para la base y la subbase se determinaron siguiendo el enfoque del AASHTO 93, que

establece que estos valores dependen de la eficiencia del drenaje y del tiempo en que las capas se sostienen saturadas. Sin embargo, para este diseño se adoptaron directamente los valores estándar recomendados por AASHTO 93, los cuales se seleccionan a partir de sus tablas oficiales en función de condiciones típicas de drenaje consideradas aceptables para pavimentos flexibles. El rango de 5% a 25% del tiempo en condición cercana a la saturación se adopta considerando que el tramo en estudio presenta precipitaciones estacionales moderadas, propias de la ciudad de Huánuco, donde las lluvias se concentran en determinados periodos del año. Durante estas temporadas, es posible la infiltración de agua hacia las capas granulares, generando condiciones temporales de humedad elevada. Sin embargo, debido a las características geométricas de la vía y la capacidad de evacuación superficial, el agua no permanece de manera prolongada dentro de la estructura del pavimento, permitiendo su disipación en un tiempo razonable. Por ello, se considera que la estructura no está permanentemente saturada, sino que presenta exposición ocasional a la humedad, lo cual corresponde a un drenaje de condición regular, asociado a un coeficiente de drenaje igual a 1.00.

Figura 117

Valores recomendados para el coeficiente de drenaje

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

Nota: Valores referenciales del coeficiente de drenaje para base y subbase no tratadas, utilizados para ajustar su aporte estructural según condiciones de humedad, conforme a AASHTO 1993.

f) Resultados

Los resultados se evidencian a continuación:

Tabla 56*Coeficientes de Drenaje*

Coeficientes de Drenaje	
Base (m2)	1.00
Subbase (m3)	1.00

Los coeficientes de drenaje son **m=1.00** tanto para la base como para la subbase, lo que implica que, conforme al método AASHTO 93, estas capas se consideran **condiciones de drenaje normales**. Un valor de 1.00 indica que la calidad del drenaje y el lapso de tiempo que está sometido a la humedad corresponden a un comportamiento hidráulico aceptable, por lo que no se reduce ni incrementa la contribución estructural de dichas capas.

D) CÁLCULO DE ESPESORES ESTRUCTURALES (D)

El cálculo de los espesores estructurales se determina con el propósito de respaldar técnicamente que el pavimento resista las solicitaciones del tránsito a lo largo de su vida de servicio. Su función será transmitir y disipar las cargas hacia las capas inferiores, evitando daños en la subrasante. Su determinación se realiza siguiendo criterios técnicos del manual AASHTO 93.

a) Norma Técnica

- ✓ Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – MTC 2014. Pavimentos Flexibles.

b) Instrumentos de medición

- ✓ Fórmulas empíricas

c) Materiales

- ✓ Manual AAHSTO 93
- ✓ Software de procesamiento de datos (Mathcad Prime)

d) Fórmulas empleadas

$$a1 = 0.278 \times \text{Log}(MRs) - 1.122 \dots\dots\dots(1)$$

a1: Coeficiente estructural de capa asfáltica

MRs: Modulo de resiliencia de capa asfáltica (psi)

$$a2 = 0.249 \times \text{Log}(MRbase) - 0.977 \dots\dots\dots(2)$$

a2: Coeficiente estructural de la base granular

MRbase: Modulo de resiliencia de la base granular(psi)

$$a3 = 0.227 \times \text{Log}(MR_{sub}) - 0.839 \dots\dots\dots(3)$$

a3: Coeficiente estructural de la subbase

MRsub: Modulo de resiliencia de la subbase (psi)

$$D1 = \frac{SN1}{a1} \dots\dots\dots(4)$$

D1: Espesor estructural de la capa asfáltica (pulg)

SN1: Numero estructural requerido para la capa asfáltica

a1: Coeficiente estructural de capa asfáltica

$$D2 = \frac{SN2 - a1 \times D1}{a2 \times m2} \dots\dots\dots(5)$$

D2: Espesor estructural de la base granular (pulg)

SN2: Numero estructural requerido para la base granular

a2: Coeficiente estructural de la base granular

m2: Coeficiente de drenaje para la base granular

$$D3 = \frac{SN3 - a1 \times D1 - a2 \times m2 \times D2}{a3 \times m3} \dots\dots\dots(6)$$

D3: Espesor estructural de la subbase (pulg)

SN3: Numero estructural requerido para la subbase

a3: Coeficiente estructural de la subbase

m3: Coeficiente de drenaje para la subbase

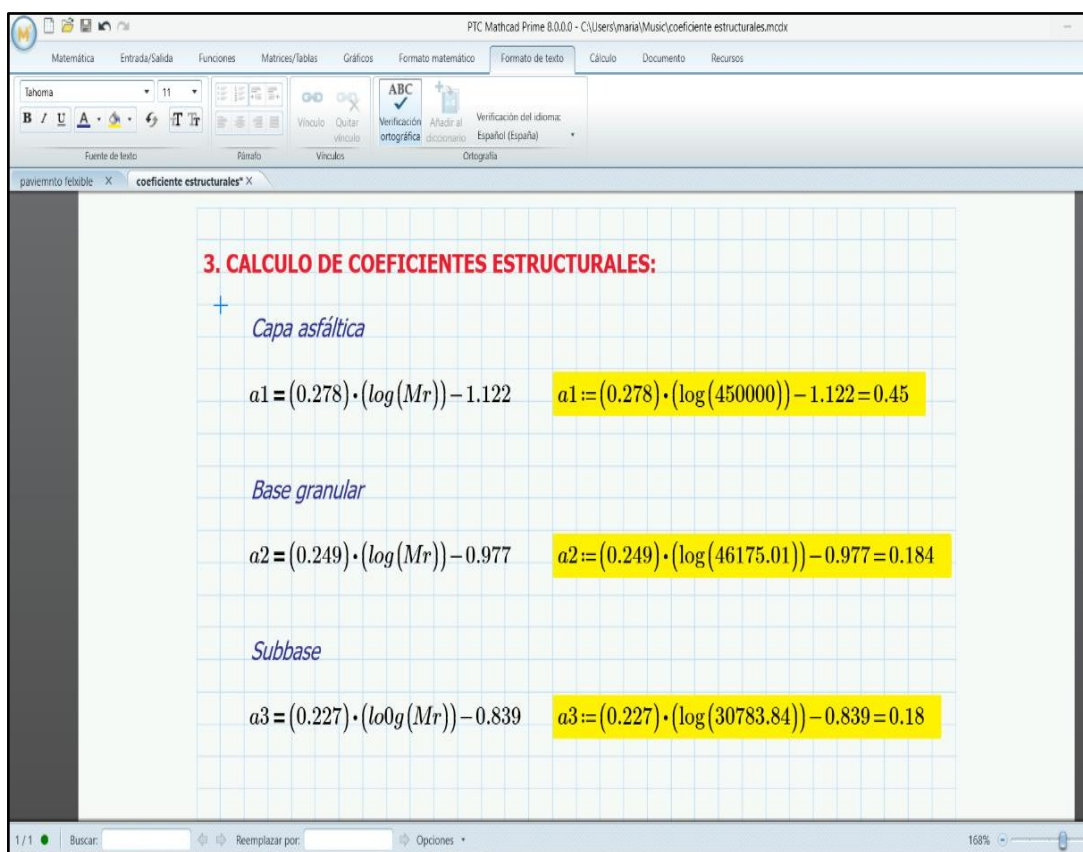
e) Procedimiento

El cálculo de los espesores estructurales (D) de cada capa del pavimento se efectúa aplicando la ecuación de aporte estructural establecida por el AASHTO 93, expresada como $SN = a1 \cdot D1 + a2 \cdot m2 \cdot D2 + a3 \cdot m3 \cdot D3$. Una vez obtenido previamente el Número Estructural requerido (SN), coeficiente de drenaje(mi) y los coeficientes estructurales(ai) mediante las ecuaciones y tablas que nos brinda el diseño del AASHTO 93, el procedimiento consiste en despejar los espesores de cada capa en base a su aporte estructural, asignando primero el espesor de la capa asfáltica y luego calculando los espesores necesarios de la base y subbase para que la suma acumulada

alcance el SN total requerido. Este proceso asegura que cada capa aporte la rigidez necesaria de acuerdo con sus propiedades mecánicas, garantizando que el pavimento se ajuste a la capacidad estructural demandada por la guía AASHTO 93.

Figura 118

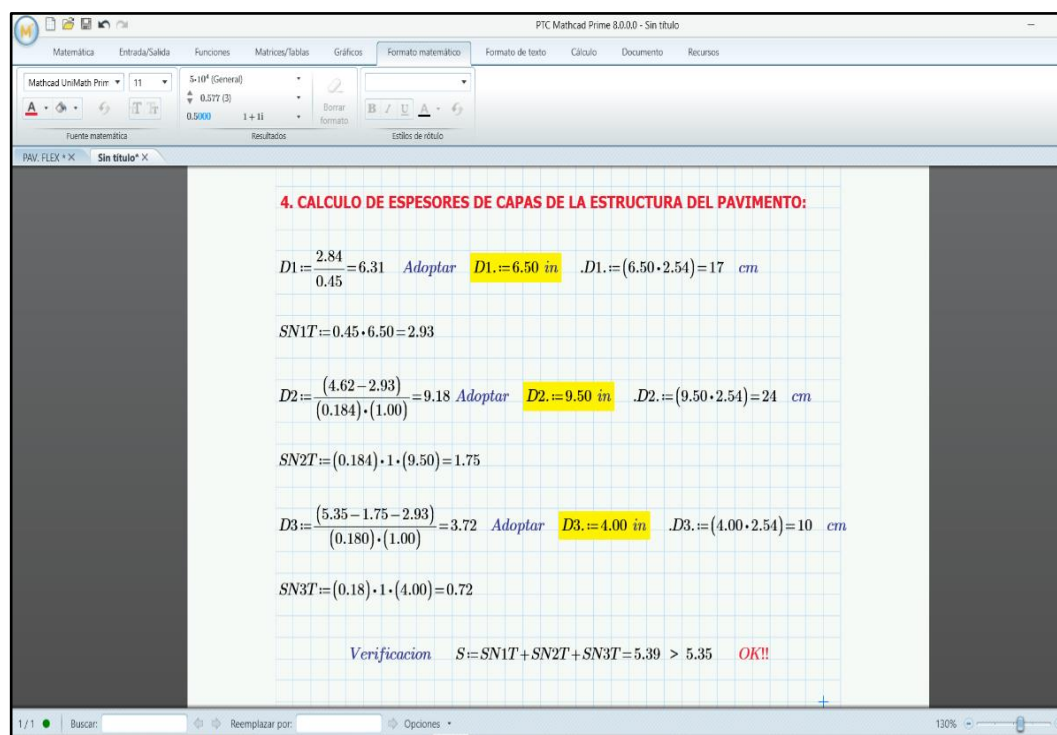
Cálculo de los Coeficientes estructurales en Mathcad Prime



Nota: Los coeficientes estructurales de las capas se obtuvieron en Mathcad Prime aplicando las relaciones del método AASHTO 93.

Figura 119

Cálculo de los Espesores Estructurales en Mathcad Prime



Nota: Los espesores de las capas se obtuvieron en Mathcad Prime aplicando las relaciones del método AASHTO 93.

f) Resultados

Los resultados se evidencian a continuación:

Tabla 57

Espesores Estructurales

Espesores Estructurales					
Capa	Numero estructural (S _{Ni})	Coeficiente Estructural(a _i)	Coeficiente de Drenaje(m _i)	D _i	
				in	cm
Carpeta Asfáltica	2.84	0.450	-	6.50	17.00
Base	4.62	0.184	1.00	9.50	24.00
Subbasse	5.35	0.180	1.00	4.00	10.00

La sección de pavimento diseñada presenta espesores que se ajustan a las solicitaciones estructurales previstas por el método AASHTO 93. En primer lugar, la **carpeta asfáltica**, con un espesor de **17.00 cm**, actúa como la capa resistente principal, encargada de soportar de forma directa las demandas de

tránsito y garantizar la durabilidad superficial del pavimento. Debajo de ella se ubica la **base granular**, cuyo espesor de **24.00 cm** le permite aportar rigidez y distribuir de forma óptima los esfuerzos en dirección a las capas inferiores, constituyendo el soporte estructural más significativo del sistema. Finalmente, la **subbase**, con un espesor de **10.00 cm**, complementa la capacidad estructural al mejorar el soporte global y favorecer una correcta transferencia de cargas sobre la subrasante.

4.2. ANÁLISIS INFERENCIAL

El análisis inferencial tuvo como finalidad evaluar la condición funcional del tramo de estudio mediante la comparación del Índice de Regularidad Internacional (IRI) medido en campo con un valor permisible de 3.0 m/km. Para ello, se aplicó la prueba t de Student para muestras relacionadas, con el objetivo de determinar si el IRI promedio del tramo supera significativamente el valor permisible establecido para una condición funcional aceptable, permitiendo sustentar técnicamente la necesidad de intervención.

4.2.1. PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS

HIPOTESIS ALTERNATIVA: El tramo Puente Huancachupa km 167+000 – Vichaycoto km 173+000 presenta una condición funcional deficiente, evaluada mediante el Índice de Regularidad Internacional (IRI), por lo que se requiere un rediseño estructural del pavimento flexible.

HIPOTESIS NULA: El tramo Puente Huancachupa km 167+000 – Vichaycoto km 173+000 no presenta una condición funcional deficiente, evaluada mediante el Índice de Regularidad Internacional (IRI), por lo que no se requiere un rediseño estructural del pavimento flexible.

4.2.2. NIVEL DE SIGNIFICANCIA (α)

Para la contrastación de hipótesis se decidió usar un nivel de significancia de:

$$\alpha = 0.05 \text{ (5\%)}$$

Este valor es el más utilizado en investigaciones de ingeniería civil y transporte, y representa una probabilidad máxima del 5 % de cometer un error al rechazar la hipótesis nula cuando ésta es verdadera.

4.2.3. PRUEBA ESTADÍSTICA

Se utilizó la prueba t de Student para muestras relacionadas con la finalidad de comparar los valores del Índice de Regularidad Internacional (IRI) obtenidos en campo con un valor permisible constante de 3.0 m/km, adoptado como criterio de condición funcional aceptable. Para ello, se estructuraron pares de datos entre el IRI medido y el valor de referencia, permitiendo evaluar si la diferencia promedio es estadísticamente significativa.

La aplicación de esta prueba se justifica debido a que el IRI constituye una variable cuantitativa continua y el tamaño de muestra es reducido ($n = 15$), siendo este método apropiado para contrastar medias respecto a valores normativos en estudios de evaluación funcional de pavimentos.

4.2.4. CÁLCULO DEL P-VALOR

Se realizó la prueba t student mediante el software SPSS, donde se compararon las medias y se obtuvo un p-valor.

Tabla 58

Prueba T student

Diferencias emparejadas									
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	IRI ACTUAL - IRI PERMISIBLE	308,40	102,124	,263688	251,845	364,955	11,696	14	,000

El valor de significancia obtenido en la prueba t de Student (Sig. = 0.000, es decir, $p < 0.001$) indica que la probabilidad de que las diferencias observadas entre el Índice de Regularidad Internacional (IRI)

medido y el valor permisible de referencia se deban al azar es prácticamente nula y menor al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$). En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, evidenciando que existe una diferencia estadísticamente significativa entre el IRI promedio del tramo evaluado y el valor permisible adoptado de 3.0 m/km. Este resultado permite concluir que la condición funcional del pavimento es deficiente desde el punto de vista estadístico, al superar significativamente el valor máximo admisible establecido para una condición aceptable. En función de ello, se sustenta técnicamente la necesidad de un rediseño estructural del pavimento flexible, como medida orientada a mejorar la condición funcional del tramo en estudio.

4.2.5. TOMA DE DECISIÓN

De acuerdo con los resultados logrados en la prueba t de Student para muestras relacionadas, se obtuvo un valor de significancia bilateral Sig. (p-valor) = 0.000, el cual es menor que el nivel de significancia establecido $\alpha = 0.05$. En virtud de lo anterior, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_a), concluyendo que el tramo Puente Huancachupa km 167+000 – Vichaycoto km 173+000 presenta una condición funcional deficiente, evaluada mediante el Índice de Regularidad Internacional (IRI), por lo que se requiere un rediseño estructural del pavimento flexible.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS TÉCNICO - COMPARATIVO (DISCUSIÓN 01)

TESIS 01: “Diseño de infraestructura vial para el mejoramiento de transitabilidad del tramo II de la carretera Oyón – Ambo, 2023” (Trinidad Cárdenas, Flor Mariela)

Los hallazgos correspondientes de ambas tesis permiten conectar directamente los efectos del CBR de la subrasante y del tránsito vehicular con el diseño estructural del pavimento. La actual investigación presenta valores de CBR más elevados (25.93%–32.58%) frente a los 20.2%–25.8% de la Tesis 01. Asimismo, el IMDA en la presente investigación es (1048 veh/día) es más del triple del obtenido en la Tesis 01 (308 veh/día). Esta diferencia significativa se refleja en los espesores finales del pavimento flexible, dimensionados basándose en el instructivo AASHTO 93.

Estos resultados sugieren que el incremento del CBR genera mayor capacidad portante del suelo, reduciendo la necesidad de espesores considerables en la subbase; sin embargo, el aumento sustancial del tránsito en la presente investigación obliga a reforzar la capa de rodadura y la base para soportar mayores cargas acumuladas. Mientras que en la Tesis 01 se obtienen espesores de 10–15–15 cm (sector 1) y 9–15–20 cm (sectores 2 a 4) para la capa asfáltica, base y subbase respectivamente, mientras que, la presente investigación presenta capas de 17–24–10 cm para la capa asfáltica, base y subbase respectivamente, evidenciando una estructura más robusta en las capas superiores.

Los resultados se interpretan coincidiendo con los fundamentos técnicos del diseño de pavimentos flexibles. Los mayores resultados de CBR de la presente investigación justifican una disminución notoria del espesor de la subbase (10 cm), en comparación con los 20 cm requeridos en uno de los sectores de la Tesis 01. Esto es coherente con la teoría de transferencia de esfuerzos verticales hacia la subrasante, que indica que suelos con mayor

resistencia reducen la dependencia de capas granulares profundas. No obstante, contrariamente a lo que se esperaría si solo se analizará el CBR, los espesores de rodadura y base de la presente investigación aumentan considerablemente. Este comportamiento responde al efecto del IMDA sobre el número acumulado de ejes equivalentes (ESAL). En ese sentido, el tránsito más intenso incrementa el daño por fatiga y deformación constante, lo que exige capas superiores más gruesas para contener esfuerzos repetidos. Estos resultados sugieren que en escenarios con alto tránsito, la resistencia del suelo deja de ser el único factor dominante del diseño.

Entre los aportes novedosos, destaca la comparación de dos realidades contrastantes bajo un mismo esquema metodológico, lo que permite distinguir claramente cómo el diseño responde a variables geotécnicas y de tránsito en regiones con topografía escarpada y condiciones deterioradas preexistentes.

Pese a la coherencia interna de los resultados, existen aspectos no resueltos que deben mencionarse. En ambos estudios no se incorpora un análisis detallado de la influencia del drenaje superficial y subterráneo, factor crítico en zonas de relieve accidentado como en la Tesis 01. Tampoco se evalúa la variabilidad estacional de humedad en la subrasante, lo que podría modificar significativamente la capacidad portante real y, por ende, los espesores estructurales.

Desde la perspectiva teórica, los resultados coinciden con las directrices establecidos del diseño, reafirmando la relación inversa entre CBR y espesor de subbase, así como la relación directa entre IMDA y espesores de capas superiores. Los hallazgos contribuyen a fortalecer la comprensión del equilibrio estructural en pavimentos flexibles en zonas andinas, donde existe alta variabilidad geotécnica y condiciones de deterioro irregular.

En cuanto a sus aplicaciones prácticas, los resultados permiten orientar decisiones de diseño en vías departamentales o nacionales con condiciones similares. La Tesis 1 muestra que para tránsitos moderados y suelos de capacidad media, estructuras de 40–45 cm son suficientes. En cambio, la presente investigación evidencia que para tránsitos superiores a 1000 veh/día,

la estructura debe reforzarse en capas superiores, llegando a medir 51 cm la estructura del pavimento, optimizando el uso de la subbase. Esto es especialmente útil para proyectos en zonas de alto tránsito y con carga pesada, donde se necesita que el pavimento flexible soporte altas demandas vehiculares.

La interpretación de los resultados se realiza dentro de límites estrictamente lógicos y técnicamente fundamentados. En la comparación de ambas tesis se observan patrones consistentes: Conforme aumenta el CBR, menor necesidad de subbase, A mayor IMDA, mayor espesor de rodadura y base, en suelos de baja plasticidad, los espesores se mantienen dentro de rangos estándar de diseño AASHTO. Estos resultados sugieren que la metodología AASHTO 93 continúa siendo altamente aplicable en contextos con alta variabilidad geotécnica y geomorfológica, y que los espesores finales reflejan adecuadamente la interacción entre tránsito y capacidad estructural del suelo. El aporte distintivo de ambas investigaciones se encuentra en el contraste técnico entre dos sistemas estructurales diseñados bajo condiciones reales, con comportamientos geotécnicos y de tránsito claramente diferenciados. La continuidad metodológica permite visualizar cómo se comporta el diseño frente a CBR moderados y tránsitos bajos (Tesis 01), y frente a CBR altos y tránsitos elevados como se muestra en la actual investigación. La contextualización se alinea coincidiendo con evidencias de investigaciones recientes en ingeniería vial, confirmando que el diseño de pavimento flexible es sensible a variaciones moderadas del CBR, pero altamente dependiente del tránsito cuando se superan los 800–1000 veh/día.

En conclusión, la comparación de ambas tesis demuestra que los espesores diseñados con la guía AASHTO 93 mantienen coherencia técnica frente a las propiedades del suelo y las exigencias del tráfico. Aunque existen limitaciones relacionadas con la ausencia de estudios complementarios, los resultados aportan información relevante para el diseño de pavimentos en regiones que presentan condiciones semejantes y abren oportunidades para estudios futuros basados con las mismas características de análisis.

5.2 ANÁLISIS TÉCNICO - COMPARATIVO (DISCUSIÓN 02)

TESIS 02: “Diseño de pavimento asfáltico para mejorar la transitabilidad vehicular de la avenida Juan Velasco Alvarado, distrito de Pillco Marca, Huánuco, 2022” (Serrano Choquecota y Villanueva Elias)

La comparación de los resultados registrados en la Tesis 02 y en la presente investigación permite establecer una vinculación lineal entre las condiciones de la examinación de las propiedades geotécnicas del terreno, la magnitud del tráfico proyectado y los espesores estructurales determinados mediante la metodología AASHTO 93. En ambos casos se evidencia que el funcionamiento del pavimento flexible se relaciona fundamentalmente con la capacidad portante del terreno y de las demandas vehiculares futuras, lo cual coincide con los lineamientos teóricos establecidos por AASHTO para el diseño empírico de pavimentos flexibles. En este sentido, la revisión conjunta de los hallazgos permite obtener ideas generales relacionadas con el desempeño estructural esperado y con la racionalidad técnica de los espesores propuestos en ambas investigaciones.

En comparación con la Tesis 02, donde se hallaron cifras de CBR bajos, comprendidos entre 6.54% y 11.98%, los resultados de la presente investigación revelan una capacidad portante significativamente superior, con CBR entre 25.93% y 32.58% al 95% de la densidad seca máxima. Esta diferencia resulta determinante, dado que la guía AASHTO 93 es particularmente sensible a las particularidades que puede presentar el suelo de la subrasante. Así, a pesar de que el tránsito proyectado en la actual investigación es mayor (IMDA de 1048 veh/día, frente a los 569 veh/día de la Tesis 02), los espesores estructurales resultaron menores: 17 cm de capa asfáltica, 24 cm de base y 10 cm de subbase, a diferencia de la Tesis 02 propone 5 cm de carpeta asfáltica, 25 cm de base y 30 cm de subbase. Contrariamente a lo esperado por la lógica tradicional del diseño, un mayor tránsito normalmente conlleva un incremento de espesores; sin embargo, en este caso la mayor capacidad portante del suelo compensa y supera la demanda estructural adicional, evidenciando la relevancia de la subrasante como elemento decisivo del diseño.

Estos resultados coinciden con los principios desarrollados por AASHTO, los cuales señalan que pavimentos apoyados sobre suelos de alta resistencia pueden alcanzar un desempeño adecuado con estructuras menos robustas. Asimismo, estudios recientes sobre pavimentos flexibles calibrados para condiciones en zona sierra refuerzan esta tendencia, indicando que valores de CBR superiores al 20% permiten optimizar la subbase sin comprometer el periodo de servicio del pavimento. Por consiguiente, los datos obtenidos en la actual investigación no se limitan a confirmar la teoría existente, sino además contextualizan con evidencias locales, lo cual constituye un aporte metodológico y técnico relevante.

Sin embargo, también se identifican ciertas limitaciones. La Tesis 02 no profundiza en los efectos estacionales sobre el CBR ni en su variabilidad frente a cambios de humedad, mientras que la presente investigación, aunque evidencia valores altos, tampoco evalúa la respuesta del suelo ante condiciones de saturación, lo que indica una limitación técnica debido a la incidencia que tiene la humedad sobre la capacidad portante. Asimismo, ambos estudios se rigen estrictamente al enfoque empírico del método AASHTO 93, sin incorporar análisis mecanicistas que permitan estimar deformaciones, deflexiones u otros parámetros estructurales relevantes. Esta ausencia abre posibilidades para futuras investigaciones orientadas hacia modelos híbridos empírico-mecanicistas que puedan mejorar la precisión del diseño.

En cuanto a las implicaciones teóricas, los resultados reafirman lo establecido en el método AASHTO 93 para contextos urbanos y rurales del país, y destacan la importancia de la caracterización del suelo como etapa crítica del diseño. Estos hallazgos también demuestran que la optimización del espesor no depende únicamente del tránsito, sino del equilibrio entre todas las capas estructurales, siendo la subrasante el componente con mayor incidencia. Las aplicaciones prácticas de este análisis se reflejan en la posibilidad de reducir costos, simplificar procesos constructivos y mejorar la eficiencia estructural mediante una adecuada evaluación inicial del suelo.

Las características más novedosas de la presente investigación radican en la obtención de valores de CBR superiores al 30%, lo cual no es común en suelos en la zona sierra. Esto permitió reducir la subbase a 10 cm, en comparación con los 30 cm obtenidos en la Tesis 02, mostrando un patrón claro: a mayor CBR, menor espesor requerido, incluso frente a incrementos significativos del tránsito. Estos patrones no representan repeticiones de datos, sino tendencias estructurales que reflejan la alta sensibilidad del diseño AASHTO a la calidad del terreno.

Finalmente, estos resultados sugieren que futuros estudios podrían evaluar el desempeño real de los pavimentos construidos bajo estas condiciones, incorporando análisis de deterioro, mediciones de deflectometría, proyecciones de vida útil y estimaciones de costos del ciclo de vida. De este modo, se contribuiría a fortalecer la base científica y técnica para el diseño de pavimentos en contextos peruanos, consolidando un enfoque estructural más eficiente y adaptado a la realidad del país y con proyecciones futuras.

5.3 ANÁLISIS TÉCNICO - COMPARATIVO (DISCUSIÓN 03)

TESIS 03: “Propuesta de diseño del pavimento flexible para mejorar la transitabilidad vehicular en el PROMUVI Señor de los Milagros Sector 6, Distrito Gregorio Albarracín, Tacna-2023” (Choque Pilco y Limache Mamani)

El contraste de los resultados que se consiguieron en la Tesis 03 y en la presente investigación permite establecer conexiones significativas que explican cómo las condiciones geotécnicas que presenta el suelo y la magnitud del tránsito proyectado repercuten directamente en la configuración final del pavimento flexible bajo la guía AASHTO 93. En ambos estudios, que comparten un enfoque descriptivo y un diseño no experimental, se observa un comportamiento coherente con los postulados teóricos que sustentan el método, lo cual posibilita extraer conclusiones sólidas respecto al desempeño esperado de las estructuras propuestas.

En comparación con la Tesis 03, donde el IMDA proyectado alcanzó 392 veh/día y el ESAL acumulado fue de 179 780.30 EE, la presente investigación

reporta una demanda vehicular considerablemente superior, con un IMDA de 1048 veh/día y un ESAL de 59 338 599 EE. Esta diferencia es sustancial, ya que evidencia un escenario donde el pavimento estará sometido a cargas repetitivas mucho más intensas y, por lo tanto, requiere un diseño cuya robustez estructural garantice su durabilidad a largo plazo. Coincidiendo con los fundamentos establecidos por AASHTO, el incremento del tránsito y de las cargas equivalentes exige mayores espesores y una distribución más rigurosa de las capas del pavimento. No obstante, los resultados geotécnicos permiten interpretar el diseño estructural desde una perspectiva más integral. En la Tesis 03 se obtuvieron densidades máximas entre 1.995 y 2.080 gr/cm³, con contenidos óptimos de humedad relativamente bajos, y valores de CBR que alcanzaron 28.5% y 31.1%, lo que sugiere un suelo con buena capacidad portante. La presente investigación muestra densidades entre 1.84 y 2.07 gr/cm³, con humedades óptimas ligeramente superiores en algunos puntos, y valores de CBR entre 25.93% y 32.58%, los cuales también representan una subrasante de alta capacidad estructural. Esta similitud en el rango de CBR es fundamental, pues demuestra que, pese al notable incremento de carga en la presente investigación, el suelo posee características mecánicas suficientes para sostener una la estructura del pavimento flexible.

A diferencia de lo que se observa en la práctica tradicional, no siempre un incremento significativo del tránsito implica un aumento proporcional de los espesores del pavimento. Debido a las altas estimaciones de CBR, la estructura del pavimento puede diseñarse de manera más eficiente, redistribuyendo sus espesores sin perjudicar su desempeño futuro. Esto explica por qué la Tesis 03 propone una estructura compuesta únicamente por 5 cm de carpeta asfáltica y 20 cm de base, sin considerar subbase; mientras que la presente investigación, enfrentando un tránsito exponencialmente mayor, determina la necesidad de 17 cm de carpeta, 24 cm de base y 10 cm de subbase, configurando un diseño más robusto y acorde con las demandas proyectadas. Estos resultados sugieren que la interacción entre el tránsito y el CBR es más compleja de lo que la teoría convencional aparenta, ya que ambos condicionan el desempeño estructural de manera conjunta. Coincidiendo con estudios recientes que evalúan pavimentos en zona sierra,

se confirma que los suelos con CBR altos permiten optimizaciones significativas sin que ello comprometa la vida útil del pavimento, siempre que la demanda vehicular no exceda límites críticos. En el escenario del estudio actual realizado demuestra que, incluso con un tránsito extremadamente alto, es posible plantear una estructura eficiente si la subrasante posee características adecuadas.

En términos de limitaciones, se observa que ambos estudios se sustentan íntegramente en el diseño empírico del método AASHTO 93, sin incorporar herramientas mecanicistas o análisis estructurales avanzados. Tampoco se consideran variaciones estacionales de humedad ni evaluaciones de saturación prolongada del suelo, aspectos que afectan directamente al CBR. En ese sentido, futuras investigaciones deberían incluir análisis complementarios. Desde una perspectiva teórica, los resultados reafirman la importancia del CBR como indicador clave para el diseño estructural del pavimento, a la vez que fortalecen la aplicación del método AASHTO 93 en condiciones reales.

Finalmente, la comparación entre ambas tesis evidencia patrones consistentes: Cuando el tránsito es bajo y el CBR es alto, la subbase se puede prescindir, cuando el tránsito es elevado y el CBR sigue siendo alto, la estructura requiere refuerzo, pero no necesariamente incrementos desproporcionados y cuando ambos factores interactúan adecuadamente, se logra un diseño equilibrado y técnicamente justificado. Estas observaciones aportan evidencia técnica que servirán para definir acciones en futuros obras viales, reforzando la necesidad de integrar criterios geotécnicos y de tránsito dentro de una visión coherente y contextualizada del diseño de pavimentos flexibles.

5.4 ANÁLISIS TÉCNICO - COMPARATIVO (DISCUSIÓN 04)

TESIS 04: “Diseño de pavimento flexible mediante la Metodología AASHTO 93 para el mejoramiento de serviciabilidad de carretera vecinal en el departamento de Puno” (Dionicio Ortega)

La comparación entre los resultados conseguidos por la Tesis 04 y los alcanzados en la presente tesis permite establecer relaciones técnicas significativas respecto al diseño estructural de pavimentos flexibles bajo el guía AASHTO 93. En términos globales, se aprecia que ambos estudios siguen un mismo marco metodológico, pero responden a contextos geotécnicos y volúmenes de tránsito claramente diferenciados. Esta variación en las condiciones de entrada del diseño ha generado soluciones estructurales también distintas, lo cual permite identificar contrastes de mejora para futuras investigaciones.

En comparación con la Tesis 04 que obtuvo un IMDA de 180 veh/día y un ESAL de diseño de 1 130 000 EE, la presente investigación evidencia una demanda vehicular considerablemente mayor, alcanzando un IMDA proyectado de 1 048 veh/día y un ESAL de diseño de 59 338 599 EE. Estos resultados sugieren que el corredor analizado en esta investigación se encuentra sometido a cargas repetidas de magnitud sustancialmente superior, hecho que repercute directamente en la magnitud de los espesores estructurales requeridos. Coincidiendo con los fundamentos del método AASHTO 93, el incremento exponencial de los ESAL conlleva una mayor exigencia estructural, lo cual se refleja en la necesidad de espesores más robustos que garanticen la durabilidad del pavimento frente a un tránsito pesado.

Respecto a la capacidad de soporte, la Tesis 04 determinó valores de CBR del 4% al 6%, lo que evidencia la presencia de suelos de baja calidad geotécnica, siendo necesario emplear capas granulares de mayor espesor para compensar su baja contribución estructural. Contrariamente a este comportamiento, en la presente tesis los valores de CBR obtenidos fueron significativamente superiores, fluctuando entre 25.93% y 32.58%, lo que confirma la presencia de materiales con un mejor desempeño mecánico y mayor resistencia bajo condiciones de compactación óptimas. Estos resultados sugieren que la investigación actual cuenta con un entorno geotécnico favorable, permitiendo plantear secciones estructurales más equilibradas y técnicamente eficientes.

Al analizar los espesores de diseño, la Tesis 04 concluyó que la solución estructural óptima estaba constituida por una carpeta asfáltica de 8.00 cm, base granular de 20 cm y sub base granular de 20 cm, alcanzando un espesor total de 48 cm. En comparación con esta sección, la presente investigación propone una estructura compuesta por 17 cm para la capa de rodadura, 24 cm de base y 10 cm de subbase, logrando un espesor total de 51 cm. Este incremento se justifica plenamente por la elevada demanda de carga expresada en los ESAL, que supera ampliamente a la Tesis 04. Sin embargo, se evidencia un patrón interesante: aun cuando el espesor total es mayor, la subbase se reduce a la mitad debido a la alta calidad del suelo natural, lo cual coincide con estudios r sobre optimización de secciones estructurales en pavimentos flexibles, donde se resalta que el diseño debe priorizar los niveles de carga y la calidad del suelo de fundación antes que aplicar espesores estandarizados sin justificación técnica.

Desde la perspectiva técnica, los resultados de ambas tesis coinciden con los avances actuales en ingeniería vial: el método AASHTO 93 sigue estando en función a tres factores críticos (tránsito, confiabilidad y soporte del suelo), cualquier cambio significativo en estas variables produce variaciones importantes en los espesores estructurales. Estos resultados sugieren que, más allá de los valores absolutos obtenidos, ambos estudios validan la capacidad predictiva del método y refuerzan su aplicabilidad en zonas altoandinas como Puno, donde las condiciones climáticas y geotécnicas presentan particularidades que deben ser tomadas en cuenta en la etapa de diseño estructural del pavimento flexible.

No obstante, también emergen ciertas limitaciones en las investigaciones, se evidencia como limitación la ausencia de estudios complementarios de deflexiones, módulos resilientes o comportamiento estructural bajo heladas, fenómenos característicos de la región de Puno. Estas limitaciones abren la posibilidad de explorar metodologías más avanzadas como AASHTO Pavement ME que permitan capturar de forma más certera las condiciones reales de degradación de los pavimentos flexibles.

En cuanto a las aplicaciones prácticas, los resultados de la actual investigación tienen implicancias directas en el manejo de la infraestructura vial, dado que hacen posible justificar técnicamente la necesidad de secciones más robustas en vías con demanda creciente, optimizando la asignación de recursos públicos. Coincidiendo con las tendencias actuales del MTC, la importancia de utilizar materiales con mejores propiedades mecánicas y controlar estrictamente la compactación se convierte en un elemento clave para asegurar el desempeño funcional y estructural del pavimento en un periodo prolongado.

Por último, es relevante destacar que la novedad principal del presente estudio consiste en poner de manifiesto, por medio de datos cuantitativos, que una mejora en la condición del suelo de fundación puede compensar parcialmente la elevada demanda de carga, permitiendo el desarrollo de diseños más eficientes y técnicamente justificados. Estos resultados sugieren que en estudios que se realicen posteriormente deben centrarse en analizar el efecto de la estabilización de suelos, uso de geosintéticos y modelación avanzada para lograr secciones de pavimento más resilientes en regiones altoandinas.

5.5 ANÁLISIS TÉCNICO - COMPARATIVO (DISCUSIÓN 05)

TESIS 05: “Diseño de una Estructura de Pavimento Flexible Mediante el Método AASHTO-93, del Tramo KM 76+450 al KM 77+000 de Vía Las Vegas-Chorreras Localidad de Sumapaz” (Delgado Saboya)

El análisis comparativo entre la Tesis 05 y la presente investigación permite identificar relaciones técnicas relevantes acerca del comportamiento del método AASHTO 93 frente a variaciones sustanciales en el nivel de tránsito y en la capacidad de soporte de los suelos. Ambos estudios fueron desarrollados bajo un enfoque cuantitativo y con diseño no experimental; en consecuencia, los fundamentos metodológicos son similares y permite contrastar directamente los resultados conseguidos.

Al contrastar con la Tesis 05 que registró un IMDA de solo 46 veh/día y un ESAL de diseño de 148 032 EE, la presente investigación evidencia un

tránsito proyectado mucho más elevado, alcanzando un IMDA de 1 048 veh/día y un ESAL de 59 338 599 EE. Esta diferencia representa un crecimiento del tránsito superior, lo cual tiene implicancias directas sobre la magnitud de los espesores estructurales requeridos. Estos resultados sugieren que el pavimento analizado en esta investigación está afectado por esfuerzos repetidos considerablemente mayores, lo que justifica un diseño más robusto y técnicamente exigente. Coincidiendo con los principios del método AASHTO 93, existe una relación exponencial entre el incremento de la carga equivalente y el aumento de la estructura del pavimento; por ello, no resulta sorprendente que el espesor total de la presente investigación sea mayor.

Con respecto a la capacidad de soporte, la Tesis 05 reportó valores de CBR entre 4 % y 5.8 %, lo cual indica suelos de bajo desempeño mecánico que requieren fuertes compensaciones estructurales mediante capas granulares. Contrariamente a esta condición, la presente investigación obtuvo CBR significativamente mayores, entre 25.93 % y 32.58 %, reflejando un suelo de mejor calidad y mayor capacidad portante. Estos resultados sugieren que la variabilidad geotécnica representa un factor clave en la definición final de la estructura del pavimento. Si bien la actual investigación demanda mayores espesores debido al tránsito extremadamente alto, la alta calidad del suelo permite optimizar la estructura reduciendo la subbase a solo 10 cm, en contraste con la necesidad de compensar con espesores mayores en suelos débiles.

El diseño estructural de la Tesis 05 concluyó con una carpeta asfáltica de 15 cm, una base granular de 10 cm y una subbase granular de 10 cm, concretando un espesor total de 35 cm. En comparación con esta sección, la presente investigación propone espesores de 17 cm, 24 cm y 10 cm para la capa de rodadura, base y subbase respectivamente, logrando un espesor total de 51 cm. Esta diferencia de 16 cm es coherente con la demanda de carga, pues los ESAL en el presente estudio superan ampliamente los calculados por la Tesis 05. Coincidiendo con estudios recientes en gestión de infraestructura vial, las vías con alto tránsito pesado requieren un incremento sustancial de

los espesores de base para controlar deformaciones plásticas y reducir las tensiones en la subrasante.

Asimismo, se observa que, en ambos estudios, el método AASHTO 93 responde a dos variables importantes (CBR y ESAL de diseño), aun cuando la distribución de espesores no es homogénea. En el caso de la Tesis 05, el bajo tránsito permitió un diseño con base y subbase delgados, pero con una carpeta relativamente gruesa para evitar deterioros tempranos por fatiga. Contrariamente, en la presente investigación, la enorme magnitud de los ESAL obliga a reforzar la base, siendo esta capa la responsable de absorber tensiones y disipar esfuerzos repetidos en suelos de alta calidad.

Desde la perspectiva científica, ambos estudios coinciden con los avances actuales en ingeniería vial, los cuales señalan que los pavimentos sometidos a tránsito medio y alto requieren diseños basados en análisis mecanicistas que permitan capturar el comportamiento real de las capas bajo cargas cíclicas. La presente investigación aporta evidencia cuantitativa importante al demostrar cómo un cambio extremo en los ESAL puede modificar radicalmente la estructura del pavimento, incluso cuando el suelo presenta condiciones altamente favorables. Este hecho constituye un aporte relevante, pues demuestra la necesidad de evaluar con precisión el tránsito proyectado para asegurar que la estructura planificada actual tenga un desempeño funcional conveniente a lo largo del desarrollo de su periodo de servicio.

Sin embargo, hay aspectos limitantes en ambas investigaciones, radica en que no se procedió a efectuar un análisis completo de las particularidades de drenaje superficial y subsuperficial del corredor vial, a pesar de que el drenaje se considera un factor significativo en el periodo de servicio del pavimento flexible según AASHTO 93. Esto podría ser un caso a resolver en futuras investigaciones.

Como conclusión final, los resultados alcanzados demuestran que tanto el estado del suelo como la intensidad del tránsito son factores decisivos en la configuración del diseño estructural. La novedad principal de la presente investigación radica en evidenciar cómo un pavimento puede requerir una

estructura más robusta incluso cuando el suelo presenta excelentes condiciones geotécnicas, debido únicamente a la magnitud del tránsito. Estos resultados sugieren que futuras investigaciones deben priorizar modelos mecanicistas más avanzados y estudios de campo que validen el comportamiento real de las estructuras propuestas.

5.6 ANÁLISIS TÉCNICO - COMPARATIVO (DISCUSIÓN 06)

TESIS 06: “Diseño de la estructura de un pavimento flexible mediante el método AASHTO-93 para un tramo de la vía 7506GV14 en el Departamento del Guaviare, entre el cruce de la Vía Nacional 7506 hasta el cruce de la vereda Guacamayas conocida como la trocha ganadera del Guaviare” (Mora Murcia)

La comparación entre los resultados de la Tesis 06 desarrollada en Bogotá, Colombia, y la presente investigación realizada en Huánuco, Perú, contribuye a determinar una conexión integral entre las condiciones geotécnicas, parámetros de tránsito y decisiones de diseño estructural de pavimentos flexibles empleando el método AASHTO 93. En comparación con los valores obtenidos en Bogotá, los resultados del actual estudio muestran una marcada diferencia tanto en las características del tránsito como en la capacidad de soporte del suelo, lo que incide de forma directa en el dimensionamiento final del pavimento. Esta conexión entre variables permite concluir que las condiciones locales en especial el IMDA, el ESAL proyectado y el CBR constituyen los elementos decisivos para la definición estructural.

Desde un enfoque analítico, se observa que mientras la Tesis 06 reporta un IMDA de apenas 236 veh/día y un ESAL de 438 453 EE, la presente investigación registra un IMDA significativamente mayor (1048 veh/día) y un ESAL de diseño superior (59 338 599 EE). Contrariamente a lo que se esperaría si el suelo tuviera bajo desempeño, este incremento notable en la carga acumulada no se traduce en un espesor extremadamente mayor en el diseño, debido a que el presente estudio evidencia valores de CBR entre 25.93% y 32.58%, muy superiores a los del estudio colombiano, cuyos CBR estuvieron entre 4% y 6.5%, lo cual refleja materiales de baja resistencia. Coincidiendo con los fundamentos teóricos del AASHTO 93, un mayor CBR

permite reducir necesidades de soporte estructural adicional, compensando así la elevada carga de tránsito proyectada.

En términos de diseño estructural, la Tesis 06 propone un pavimento de 47 cm (10 cm de carpeta asfáltica, 17 cm de base y 20 cm de subbase), mientras que la presente investigación plantea 51 cm (17 cm capa de rodadura, 24 cm de base y 10 cm de subbase). La particularidad está en que principalmente en la mayor demanda de cargas que enfrenta el diseño de la presente investigación y en la exigencia de garantizar un desempeño adecuado frente a un tráfico pesado a largo plazo. En comparación con la Tesis 06, el incremento de 14% en el espesor total del pavimento de la presente investigación corresponde a una respuesta lógica y técnicamente consistente con la magnitud del ESAL proyectado. Estos resultados sugieren que el diseño peruano busca mejorar la durabilidad estructural mediante un mayor aporte de material granular y una capa asfáltica superior, mientras que el menor espesor en la tesis 06 es coherente con el tráfico liviano y el bajo soporte del suelo, aun cuando las condiciones podrían requerir estabilización o espesores mayores para compensar el bajo CBR.

En relación con el avance metodológico y científico, ambos estudios se alinean con el método tradicional del diseño empírico del AASHTO 93, cuyo enfoque prioriza parámetros como CBR, confiabilidad y pérdidas estructurales acumuladas, se confirma que el CBR continúa siendo el indicador más empleado para caracterizar la subrasante, pese a que metodologías contemporáneas proponen el módulo resiliente (MR) como una alternativa más representativa. Respecto a las limitaciones de ambos estudios, la Tesis 06 presenta como limitante principal la ausencia de un análisis de drenaje profundo y superficial, situación crítica en Bogotá, donde predominan climas húmedos y suelos susceptibles a saturación. Esta carencia puede subestimar el deterioro real del pavimento en presencia de humedades elevadas. Tomando como referencia la actual investigación, una limitante identificada es la deficiencia de diagnósticos del comportamiento estacional del suelo, particularmente en zonas interandinas como Huánuco, donde las variaciones de humedad pueden modificar la capacidad de soporte y afectar el

funcionamiento del pavimento, lo cual constituyen aspectos no resueltos que pueden ser visto en posteriores investigaciones realizadas por otros autores.

La implementación práctica de los resultados de la presente investigación, como el diseño estructural planteado que no solo responde al tráfico pesado proyectado, sino que también genera un marco referencial aplicable a futuras intervenciones viales en zonas similares de Huánuco, proporcionando una base metodológica replicable. En comparación con la Tesis 06, las estimaciones de la presente investigación muestran un diseño más seguro y contextualizado a circunstancias de tránsito pesado, constituyendo un aporte práctico para la planificación vial regional. Teóricamente, ambos estudios reafirman la relación directa entre capacidad portante del suelo, cargas acumuladas y espesores finales, concordando con los principios fundamentales de la ingeniería de pavimentos.

Finalmente, los elementos más relevantes de la actual investigación se vinculan con la evaluación exhaustiva del tráfico y la identificación de valores elevados de CBR como se encontraron en la actual investigación internacional con estudios como la Tesis 06 evidencia casos recurrentes: donde suelos con bajo CBR tienden a requerir diseños más conservadores a pesar del menor tráfico, mientras que suelos con mejor soporte logran optimizar la estructura frente a cargas intensivas.

CONCLUSIONES

CONCLUSION 01: La investigación permitió determinar de manera objetiva la influencia del rediseño del pavimento flexible en la condición funcional del tramo Puente Huancachupa km 167+000 – Vichaycoto km 173+000 de la Ruta Nacional PE-3N, determinándose que el estado actual presenta un deterioro funcional significativo, evidenciado por un Índice de Regularidad Internacional (IRI) promedio de 6.08 m/km, valor que clasifica la superficie como deficiente al superar el valor permisible establecido. Este resultado confirma la necesidad de una intervención estructural, debido a la pérdida de confort y al impacto en la transitabilidad del tramo. En función de este diagnóstico, se desarrolló el rediseño estructural del pavimento flexible mediante el método AASHTO 93, obteniéndose una estructura conformada por una carpeta asfáltica de 17 cm, base granular de 24 cm y subbase de 10 cm, la cual cumple con los requerimientos técnicos establecidos en función del tránsito proyectado, las características de la subrasante y los criterios normativos de diseño. La estructura propuesta proporciona las condiciones necesarias para mejorar el desempeño del pavimento, al incrementar su capacidad estructural, optimizar la distribución de esfuerzos y reducir las deformaciones asociadas al deterioro funcional. En ese sentido, se concluye que el rediseño planteado constituye una solución técnica adecuada para mejorar la condición funcional del tramo, recomendándose su implementación y posterior verificación mediante evaluaciones en etapa de servicio.

CONCLUSION 02: La evaluación de la condición funcional del tramo Puente Huancachupa km 167+000 – Vichaycoto km 173+000 permitió determinar que el pavimento evidencia un nivel de servicio deficiente, evidenciado por un **Índice de Regularidad Internacional (IRI) promedio de 6.08 m/km**, valor que, según los criterios internacionales y nacionales de clasificación, corresponde a un estado malo. Este hallazgo revela una disminución considerable significativa de la comodidad y seguridad en el movimiento vehicular, indicando el registro de irregularidades severas en la superficie del pavimento. Complementariamente, el ahuellamiento máximo

registrado de 16 mm confirma la existencia de deformaciones plásticas relevantes en la vía, mientras que el 25.60% de área deteriorada refleja un deterioro avanzado en la estructura superficial, sugiriendo el accionamiento combinado de cargas repetidas, deficiencias de soporte y posibles limitaciones en el mantenimiento preventivo. Desde una perspectiva teórica y práctica, estos resultados reafirman la utilidad del IRI como indicador integral de desempeño funcional, pero también evidencian la necesidad de articular los análisis funcionales con evaluaciones estructurales más profundas para comprender plenamente el origen de las fallas observadas. Si bien la evaluación realizada permitió caracterizar con claridad el estado actual del tramo, una limitación inherente es que el estudio se desarrolló en una única temporada, por lo que futuras investigaciones podrían incorporar variabilidad estacional y mediciones continuas para fortalecer la consistencia longitudinal de los hallazgos. En conjunto, la conclusión obtenida no solo responde al objetivo planteado, sino que proyecta la exigencia inmediata de acciones de mantenimiento y rehabilitación de la vía, resaltando la importancia de mejorar la gestión del pavimento para garantizar niveles adecuados de transitabilidad en la Ruta Nacional PE-3N.

CONCLUSION 03: La evaluación de la capacidad de soporte de la subrasante en el tramo Puente Huancachupa km 167+000 – Vichaycoto km 173+000 permitió determinar que el material deja en evidencia un comportamiento mecánico favorable para su incorporación en el rediseño del pavimento flexible, evidenciado por valores de **CBR al 95% de la DMS comprendidos entre 25.93% y 32.58%**, los cuales reflejan una subrasante de resistencia media a alta, capaz de absorber esfuerzos repetitivos inducidos por el tránsito pesado de una vía nacional. Esta resistencia se correlaciona adecuadamente con las densidades secas máximas derivadas del Proctor Modificado (1.84 a 2.07 g/cm³), que confirman la presencia de suelos competentes, con una estructura granular relativamente densa y buen potencial de compactación, condiciones esenciales para garantizar la transmisión eficiente de esfuerzos verticales en sistemas de pavimento flexible. Este desempeño se encuentra respaldado por la caracterización granulométrica, donde los coeficientes de uniformidad (Cu) entre 175.50 y

376— indican la presencia de suelos bien graduados, mientras que los coeficientes de curvatura (C_c) entre 0.02 y 5.42 evidencian heterogeneidad estructural que podría ocasionar variaciones puntuales en el módulo de reacción. Asimismo, los contenidos de humedad natural registrados de 6.87% a 11.78% se encontraron dentro de rangos compatibles con condiciones geotécnicas estables, evitando estados de saturación que puedan afectar la rigidez y confirmando la representatividad de los ensayos realizados. En conjunto, estos resultados no solo permiten cumplir de manera rigurosa con el objetivo de identificar la capacidad de soporte de la subrasante, sino que aportan un fundamento técnico confiable para ajustar las estrategias de diseño estructural conforme a las demandas del flujo vehicular estimado. Del mismo modo, la investigación evidencia que la subrasante posee un comportamiento mecánico acorde a los estándares de diseño en vías de jerarquía nacional, lo que constituye un aporte práctico relevante al proceso de rediseño. No obstante, la heterogeneidad granulométrica identificada plantea la necesidad de considerar posibles variaciones en la rigidez dentro del modelamiento estructural o, en investigaciones futuras, incorporar ensayos de módulo resiliente o caracterización tridimensional mediante métodos geofísicos para mejorar la representatividad espacial del comportamiento de la subrasante. En síntesis, las evaluaciones desarrolladas permiten concluir que la subrasante del tramo evaluado posee condiciones adecuadas para garantizar un desempeño estructural eficiente del pavimento flexible rediseñado, contribuyendo tanto al sustento teórico como a la toma de decisiones técnicas orientadas a incrementar el periodo de servicio y la eficiencia de la red vial.

CONCLUSION 04: El cálculo del volumen de tráfico y del ESAL de diseño permitió hallar con precisión la demanda vehicular que actuará sobre el tramo Puente Huancachupa km 167+000 – Vichaycoto km 173+000 de la Ruta Nacional PE-3N. **El IMDA obtenido de 10 948 veh/día**, junto con una **tasa de crecimiento vehicular de 6.20%**, evidencia un corredor vial con dinámica progresiva de incremento vehicular, propia de rutas de articulación regional con función económica. La estimación del fue de **ESAL de 59 338 599 EE** confirma que el pavimento existente está sometido a una demanda

acumulada altamente significativa, equivalente al paso de millones de cargas de eje simple de 8.2 toneladas durante su periodo de servicio, lo que respalda plenamente la exigencia de un rediseño estructural. Estos resultados no solo cumplen el objetivo planteado, sino que aportan un insumo técnico fundamental para dimensionar adecuadamente la nueva estructura del pavimento, garantizando su rendimiento ante un tránsito creciente y pesado. Asimismo, los valores calculados permiten comprender la magnitud real del deterioro progresivo y constituyen una base sólida para decisiones que optimicen la vida útil del pavimento, reducir de forma considerable el gasto económico de mantenimientos y mejorar la funcionalidad del pavimento. En conclusión, estos resultados confirman que el tramo en estudio está sometido a un nivel de sollicitación que excede la capacidad estructural actualmente disponible, justificando plenamente la exigencia de un rediseño del pavimento. Asimismo, la cuantificación de las cargas equivalentes constituye un dato técnico importante para definir espesores estructurales más eficientes frente a la demanda vehicular calculada, garantizando que la nueva estructura del pavimento flexible responda adecuadamente al incremento progresivo del tráfico.

CONCLUSION 05: Los espesores estructurales para el rediseño estructural del pavimento flexible en el tramo Puente Huancachupa km 167+000 – Vichaycoto km 173+000 de la Ruta Nacional PE-3N se realizaron mediante el método AASHTO 93, donde los espesores obtenidos fueron de **17.00 cm para la carpeta asfáltica, 24.00 cm para la base granular y 10.00 cm para la subbase**, evidencian una configuración equilibrada y técnicamente justificada, donde cada capa cumple un rol determinante dentro del desempeño global del pavimento. La carpeta asfáltica aporta resistencia superficial y capacidad para disipar los esfuerzos producidos debido al tránsito pesado; la base granular constituye el elemento portante principal al asegurar la adecuada dispersión de esfuerzos; y la subbase optimiza la interacción con la subrasante, fortaleciendo la durabilidad estructural a largo plazo. Asimismo, la interpretación integrada de estos espesores permite afirmar que el diseño contribuye significativamente a mejorar la confiabilidad del pavimento frente a la demanda vehicular futura, reduciendo la probabilidad de fallas comunes y

optimizando las intervenciones de mantenimiento. Desde una perspectiva teórica y práctica, los resultados no solo validan la aplicabilidad del método AASHTO en condiciones geotécnicas climáticas propias de la región de Huánuco, sino que también refuerzan la importancia de un análisis estructural integral para garantizar soluciones sostenibles y técnicamente eficientes. Sin embargo, es necesario reconocer que los espesores propuestos dependen de variables asociadas a la variabilidad del tránsito, los cambios en la humedad de la subrasante; por ello, futuras investigaciones podrían incorporar modelos mecanicistas-empíricos que permitan evaluar con mayor precisión la respuesta estructural del pavimento ante diferentes escenarios operativos. En conclusión, los resultados hallados confirman que el objetivo planteado fue plenamente alcanzado, ofreciendo una propuesta de rediseño estructural enfocado a la optimización del sistema de transporte vial.

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIÓN 01: Para las entidades viales (MTC y Provias Nacional), Se recomienda que el Ministerio de Transportes y Comunicaciones y Provias Nacional implementen un programa permanente de monitoreo funcional del pavimento, centrado especialmente en el seguimiento del Índice de Regularidad Internacional (IRI) de la Ruta Nacional PE-3N. Este programa debe incluir: Mediciones semestrales o anuales del IRI con equipos de gran precisión (perfilómetros láser), registro y análisis histórico de la evolución del IRI para detectar tendencias de deterioro y la consolidación de los resultados conseguidos en el Sistema de Gestión de Pavimentos (SGP) a fin de priorizar intervenciones preventivas. Esta recomendación es viable porque utiliza mecanismos de monitoreo ya existentes en la gestión vial peruana y fortalece el enfoque de mantenimiento preventivo frente al correctivo.

RECOMENDACIÓN 02: Para ingenieros proyectistas se recomienda incorporar metodologías mecanicistas-empíricas para diseños más precisos y adaptados al contexto real, se propone que los profesionales responsables del diseño de pavimentos incorporen progresivamente modelos mecanicistas-empíricos (MEPDG) como complemento al método AASHTO 93 utilizado en este estudio, al utilizar ambos métodos se podrá: Analizar de manera más precisa la deformación permanente y las tensiones internas generadas por el tránsito pesado, evaluar escenarios de variabilidad del contenido de humedad y su impacto en el módulo resiliente de la subrasante, ajustar los espesores estructurales de manera optimizada ante el crecimiento progresivo del tráfico y simular el comportamiento del pavimento frente a diferentes condiciones climáticas. Esta recomendación es realista, pues en el Perú ya se viene promoviendo el uso de metodologías mecanicistas en proyectos de gran magnitud, ya que permite elevar el nivel de confiabilidad del diseño estructural en vías nacionales.

RECOMENDACIÓN 03: Para el proceso constructivo, se recomienda establecer controles rigurosos y continuos de calidad de los materiales a lo largo del proyecto, se recomienda que durante la ejecución del rediseño del pavimento se apliquen protocolos estrictos de control de calidad sobre los

materiales empleados en la subrasante, subbase, base granular y carpeta asfáltica. Esto implica: Realizar ensayos continuos de CBR, densidad seca máxima y humedad óptima para asegurar uniformidad, gestionar permanentemente la granulometría, especialmente debido a la heterogeneidad detectada en los coeficientes Cu y Cc, verificar la compactación capa por capa para evitar pérdidas de capacidad estructural e implementar un sistema de reportes diarios y auditorías internas durante la construcción. Estos controles son fundamentales para garantizar que los espesores propuestos alcancen su eficiencia estructural real y no se produzcan fallas prematuras por materiales deficientes. Además, se trata de procedimientos habituales y completamente viables en proyectos viales nacionales.

RECOMENDACIÓN 04: Para la gestión del transporte vehicular, se recomienda mitigar el impacto del tránsito pesado mediante control de cargas y planificación vial, dado que el tramo presenta un IMDA y carga vehicular proyectada muy alta, se recomienda que las autoridades responsables gestionen medidas que reduzcan el efecto del flujo vehicular pesado sobre la nueva estructura. Entre estas medidas se propone: Fortalecer los mecanismos de gestión de pesos por eje mediante estaciones de pesaje fijas y móviles, establecer horarios diferenciados para la circulación de vehículos pesados en tramos críticos, evaluar a corto o mediano plazo la necesidad de ampliación de carriles o zonas de sobrepaso y promover rutas alternas para vehículos de carga extrema durante temporadas de mayor tránsito o condiciones climáticas adversas. Estas acciones permitirán aumentar el periodo de servicio del pavimento rediseñado y minimizar notablemente los riesgos de deterioro acelerado. Son plenamente viables dentro de las competencias de las autoridades viales en el Perú.

RECOMENDACIÓN 05: Para futuras investigaciones, se recomienda incorporar técnicas avanzadas de evaluación estructural del pavimento ya sea el mismo tramo o sobre vías similares como son: Los ensayos de deflectometría FWD para conseguir parámetros precisos del módulo estructural del pavimento, ensayos de módulo resiliente de la subrasante para determinar su desempeño real bajo cargas repetitivas, exploración mediante

georradar (GPR) para identificar variaciones en espesores y detectar vacíos o zonas debilitadas y monitoreo estacional del comportamiento de la humedad, especialmente en zonas andinas. Estas investigaciones permitirán complementar y mejorar los resultados alcanzados en la actual investigación, mejorar los modelos de predicción y análisis del deterioro del pavimento y fortalecer los futuros rediseños en vías nacionales. Además, contribuyen con la generación de información técnica de suma importancia para el contexto peruano, donde la variabilidad geotécnica es un factor determinante en el diseño de pavimentos flexibles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (1993). AASHTO guide for design of pavement structures. American Association of State Highway and Transportation Officials.
<https://www.transportation.org/>
- Asocem. (2016). Pavimentos de concreto: Estado de arte de los pavimentos en el Perú. Asocem.
<https://www.asocem.org.pe/productos-b/pavimentos-de-concreto-estado-de-arte-de-los-pavimentos-en-el-peru>
- Beraun, D. (2024). *Consecuencias del asfalto en mal estado*. CHM.
<https://chm.es/consecuencias-del-asfalto-en-mal-estado/>
- Bermúdez, H. (2008). Pavimentos: Diseño, construcción y mantenimiento. Editorial Técnica de Infraestructura, Bogotá, Colombia. ISBN 978-958-682-754-7
- Cárdenas, F. T. (2024). Diseño de infraestructura vial para el mejoramiento de transitabilidad del tramo II de la carretera Oyón – Ambo, 2023 [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH.
<https://repositorio.udh.edu.pe/handle/20.500.14257/5117>
- Cárdenas, A., & López, J. (2016). Diseño y construcción de pavimentos viales (4ª ed.). Editorial Ingeniería.
- Ceballos, F., & Martínez, J. (2019). Tecnología y diseño de pavimentos urbanos y rurales (2ª ed.). Editorial Constructora.
- Chávez Reyes, J. J. G., & Ruiz, D. (2021). Diseño de la estructura del pavimento flexible, para la construcción de pistas en la calle Real del C.P. Santa Rosa, distrito de Pueblo Nuevo – Chepén – La Libertad [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte.
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/28936>

- Choque Pilco, J. L., & Limache Mamani, J. (2023). *Propuesta de diseño del pavimento flexible para mejorar la transitabilidad vehicular en el PROMUVI Señor de los Milagros Sector 6, Distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna-2023* [Trabajo de grado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unjbg.edu.pe/items/83d5fef7-cb9f-4ca4-85ee-8c0eb06e25d5>
- Gómez, I. (2017). Estudio de la capacidad de soporte de la subrasante. <https://es.scribd.com/document/376745243/Estudio-de-La-Capacidad-de-Soporte-de-La-Subrasante>
- Gómez, J., & Rodríguez, M. (2015). Diseño y análisis de pavimentos (2ª ed.). McGraw-Hill Education.
- Delgado, J. (2023). Diseño de una estructura de pavimento flexible en la vía Las Vegas–Chorreras, localidad 20 de Bogotá [Trabajo de grado, Universidad Piloto de Colombia]. Repositorio institucional. <https://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/12738/Proyecto%20de%20grado%20Ingeniero%20Javier%20Delgado..pdf?sequence=1>
- Hernández R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (6ª ed.). McGraw-Hill Education.
- Huang Y. H. (2004). Pavement Analysis and Design (2nd ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall. ISBN: 9780131424739
- Goudie A. (2013). The human impact on the natural environment (7ª ed.). Wiley-Blackwell.
- González M., & Ruiz, L. (2018). Fundamentos del diseño de pavimentos (5ª ed.). Editorial Civiltec.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). Manual de carreteras: Diseño geométrico DG-2018.

https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual.de.Carreteras.DG-2018.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016, mayo). Manual de ensayo de materiales (CP 12-025). Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, Ministerio de Transportes y Comunicaciones. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. (2014). Manual de carreteras: Mantenimiento o conservación vial (MC-08-14). https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/mtc%20normas/arch_pdf/man_8%20sggp-2014.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016, 31 de mayo). Manual de dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras (MC-09-16)

https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_9%20MCV-2014_2016.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. (2014). Manual de carreteras: Sección suelos y pavimentos (MC-05-14). https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/mtc%20normas/arch_pdf/man_7%20sggp-2014.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2017). Manual de seguridad vial https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual_de_Seguridad_Vial_2017.pdf

Mora Murcia, L. (2022). Diseño de la estructura de pavimento flexible mediante el método AASHTO-93 para un tramo de la vía 7506GV14 en el departamento del Guaviare [Trabajo de grado, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio institucional. <https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/4f3db887-a917-404c-974e-6bdb272f5ba8/content>

<https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/5989>

Pérez, F. (2023). ¿Qué es un pavimento flexible y cuándo conviene usarlo? Blog VISE.

Poma Meza, Q. A. (2024). Planteamiento de diseño para la reconstrucción de tramos de pavimento flexible reutilizando el pavimento deteriorado en la Av. Perú, Amarilis – Huánuco – 2023 [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <https://repositorio.udh.edu.pe/20.500.14257/5024>

Press, F., & Siever, R. (2001). Understanding Earth (3rd ed.). W.H. Freeman and Company.

PROVIAS Descentralizado. (2018). Estudio de tráfico [Expediente técnico CI-28-2018-MTC21-LPN]. https://proviasdes.gob.pe/arch_ProcSelecc/Archivos/CI-28-2018-MTC21-LPN/2.2.%20ESTUDIO%20DE%20TRAFICO.pdf

Ríos Colque, J. M. (2014). Ensayo de CBR. Universidad Tecnológica del Perú. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-tecnologica-del-peru/mecanica-de-suelos/ensayo-de-cbr/41937048>

Serrano Choquecota, O. E., & Villanueva Elías, J. P. (2022, junio 18). *Diseño de pavimento asfáltico para mejorar la transitabilidad vehicular de la avenida Juan Velasco Alvarado, distrito de Pillco Marca, Huánuco, 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio institucional.

<https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/2388>

CÓMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Melgar Solórzano, V. M. (2026). *“Rediseño de pavimento flexible y la condición funcional del tramo Puente Huancachupa km 167+000 hasta Vichaycoto km 173+000, Ruta Nacional PE-3N, Huánuco-2025”*. [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 01

RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UDH

Facultad de
Ingeniería

RESOLUCIÓN n.º 2292-2025-D-FI-UDH Huánuco, 23 de octubre de 2025

Visto:

El Oficio n.º 1324-2025-CA-PAIC-FI-UDH, presentado por el Coordinador Académico del Programa de Ingeniería Civil que contiene el dictamen aprobatorio de los Jurados revisores sobre el Plan de Tesis titulado: "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000 HASTA VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUÁNUCO-2025", presentado por Vicente Mariano MELGAR SOLORZANO en calidad de tesista.

CONSIDERANDO:

- Que, mediante Resolución n.º 006-2001-R-AU-UDH, de fecha 24 de julio de 2001, se creó la Facultad de Ingeniería;
- Que, mediante Resolución de Consejo Directivo n.º 076-2019-SUNEDU/CD, de fecha 05 de junio de 2019, la Universidad de Huánuco obtuvo la licencia para ofrecer el servicio educativo superior universitario;
- Que, mediante Resolución n.º 1187-2025-D-FI-UDH, de fecha 16 de junio de 2025, se designó a Mg. Reynaldo Favio SUAREZ LANDAURO, docente adscrito al Ingeniería Civil, como Asesor de tesis de Vicente Mariano MELGAR SOLORZANO;
- Que, según el Oficio n.º 0113-2025-CA-PAIC-FI-UDH, el Coordinador Académico informa que los Jurados revisores, conformados por: Mg. Carlos Antonio TORRES PONCE (Presidente), Mg. Ericka Selene GARCIA ECHEVARRIA (Secretario), Dr. Hector Raul ZACARIAS VENTURA (Vocal), han declarado APROBADO el Plan de Tesis para su ejecución;
- Que, en virtud de las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a informar en la próxima sesión del Consejo de Facultad;

SE RESUELVE:

Artículo 1º. Aprobar el Plan de Tesis titulado: "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000 HASTA VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUÁNUCO-2025", presentado por Vicente Mariano MELGAR SOLORZANO, como requisito para optar el título profesional de Ingeniero(a) Civil en la Universidad de Huánuco.

Artículo 2º. Establecer un plazo máximo de 12 meses para la ejecución del Plan de Tesis, contado a partir de la fecha de emisión de la presente Resolución. En caso de incumplimiento, el interesado podrá solicitar una única ampliación de hasta seis meses.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE.



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Mg. Maximiliano Cruz Huacachino
DECANO DE FACULTAD DE INGENIERIA



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERIA

Ing. Ethel Johana Manzano Lozano
SECRETARIO DOCENTE



Documento:
RESOLUCIÓN n.º 2292-2025-D-FI-UDH
URL de Verificación:
<https://copiloto.udh.edu.pe/titulacionback/api/resolucion/ver-aprobacion-tesis/68f80483c9a64a33950f0b52>

ANEXO 02

RESOLUCIÓN DE NOMBRAMIENTO DE ASESOR



UDH

Facultad de
Ingeniería

RESOLUCIÓN n.º 1187-2025-D-FI-UDH

Huánuco, 16 de junio de 2025

Visto:

El Oficio n.º 0715-2025-CA-PAIC-FI-UDH, presentado por el Coordinador del Programa Académico de Ingeniería Civil y el expediente n.º 547141-0000003095 mediante el cual Vicente Mariano MELGAR SOLORZANO solicita la designación de un Asesor de tesis.

CONSIDERANDO:

- Que, conforme a lo dispuesto en la Ley Universitaria n.º 30220, Capítulo V, Artículo 45, inciso 45.2, corresponde atender dicha solicitud;
- Que, según el expediente n.º 547141-0000003095, Vicente Mariano MELGAR SOLORZANO propone a Mg. Reynaldo Favio SUAREZ LANDAURO como asesor de tesis para el desarrollo de su trabajo de investigación;
- Que, de acuerdo con los Artículos 27 y 28 del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, la solicitud cumple con los requisitos establecidos;
- Que, en virtud de las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería, y con cargo a informar en la próxima sesión del Consejo de Facultad;

SE RESUELVE:

Artículo 1º. Designar a Mg. Reynaldo Favio SUAREZ LANDAURO, docente del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, como Asesor de tesis de Vicente Mariano MELGAR SOLORZANO.

Artículo 2º. Establecer un plazo máximo de seis meses para presentar la solicitud de revisión del Plan de Tesis. En caso de vencimiento del plazo, el interesado deberá gestionar una nueva solicitud conforme a los costos vigentes.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE.



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

[Firma]
Mg. Maximiliano Cruz Huacachino
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA

[Firma]
Ing. Ethel Inés Muñoz Lozano
SECRETARIO DOCENTE



Documento:
RESOLUCIÓN n.º 1187-2025-D-FI-UDH
URL de Verificación:
<https://copiloto.udh.edu.pe/titulacionback/api/view-resolution/684b5c6656b3bd9b407e052>

ANEXO 03

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA		
				DIMENSIONES	INDICADORES	Ámbito
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Independiente			Transitabilidad vehicular
¿Cuál es la condición funcional del pavimento flexible, medida a través del Índice de Regularidad Internacional (IRI), y qué rediseño estructural se requiere para el tramo Puente Huancachupa km 167+000 – Vichaycoto km 173+000 de la Ruta Nacional PE-3N, Huánuco, 2025?	Evaluar la condición funcional del pavimento flexible mediante el Índice de Regularidad Internacional (IRI) y proponer un rediseño estructural para el tramo Puente Huancachupa km 167+000 – Vichaycoto km 173+000 de la Ruta Nacional PE-3N, Huánuco, 2025.	El tramo Puente Huancachupa km 167+000 – Vichaycoto km 173+000 presenta una condición funcional deficiente, evaluada mediante el Índice de Regularidad Internacional (IRI), por lo que se requiere un rediseño estructural del pavimento flexible.	Rediseño Estructural de Pavimento Flexible	Estudio de mecánica de suelos	Granulometría	Población Tramo de Puente Huancachupa-Vichaycoto 6 km
					Contenido de Humedad	Muestra Seis puntos específicos: el km 168+000, km 169+000, km 170+000, km 171+000, km 172+000, km 173+000
					CBR	Nivel Aplicada
				Estudio de tráfico	Índice Medio Diario Anual (IMDA)	Tipo Función del propósito: Aplicada Nivel de profundidad: Descriptivo y explicativo
					Carga equivalente por eje único (ESAL)	
				Método AASHTO 93	Módulo de resiliencia coeficientes de drenaje	Naturaleza de los datos y la información: Cuantitativa

				Números estructurales	Por los medios para obtener los datos: Datos mixtos, de campo y experimentales
				Espesores estructurales	Por la mayor o menor manipulación de variables: No experimental
Problemas específicos	Objetivos específicos	Dependiente			Según el tipo de inferencia: Deductivo Estadística Inferencial
¿Cuál será la condición funcional actual, medida mediante el Índice de Regularidad Internacional (IRI), del pavimento flexible en el tramo Puente Huancachupa km 167+000 – Vichaycoto km 173+000 de la Ruta Nacional PE- 3N, Huánuco, 2025?	Evaluar la condición funcional actual, mediante el Índice de Regularidad Internacional (IRI), del tramo Puente Huancachupa km 167+000 – Vichaycoto km 173+000 de la Ruta Nacional PE- 3N, Huánuco, 2025.	Condición Funcional	Índice de serviciabilidad del pavimento (PSI)	Índice de regularidad internacional (IRI)	Según el periodo de tiempo en que se realizara: Transversal
				Porcentaje de área deteriorada	De acuerdo con el tiempo en que se efectúen: Sincrónica
¿Cuál será la capacidad de soporte de la subrasante para el rediseño estructural del pavimento flexible del tramo Puente Huancachupa km	Identificar la capacidad de soporte de la subrasante para el rediseño estructural del pavimento flexible en el tramo Puente			Profundidad de ahuellamiento	Método: Teórico (lógico, hipotético deductivo) Técnicas: Observación Instrumentos: Validez de procedimiento, confiabilidad Especificaciones (Normas)

167+000 – Vichaycoto km 173+000, Ruta Nacional PE-3N, Huánuco, 2025?	Huancachupa km 167+000 – Vichaycoto km 173+000, Ruta Nacional PE-3N, Huánuco, 2025
¿Cuál será el volumen de tráfico y ESAL para el rediseño estructural del pavimento flexible del tramo Puente Huancachupa km 167+000 – Vichaycoto km 173+000, Ruta Nacional PE-3N, Huánuco, 2025?	Calcular el volumen de tráfico y ESAL para el rediseño estructural del pavimento flexible en el tramo Puente Huancachupa km 167+000 – Vichaycoto km 173+000, Ruta Nacional PE-3N, Huánuco, 2025.
¿Cuáles serán los espesores estructurales para el rediseño estructural del pavimento flexible del tramo Puente Huancachupa km 167+000 – Vichaycoto km 173+000 de la Ruta Nacional PE- 3N, Huánuco, 2025?	Determinar los espesores estructurales para el rediseño estructural del pavimento flexible en el tramo Puente Huancachupa km 167+000 hasta Vichaycoto km 173+000 de la Ruta Nacional PE- 3N, Huánuco, 2025.

Plan de tabulación

Tabulación simple y compleja

Análisis de datos estadísticos

Análisis Estadístico Descriptivo

ANEXO 04

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS



PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITANTE : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS FÍSICOS DE LOS SUELOS						
PUNTO	GRANULOMETRÍA			HUM.	CLASIFICACIÓN	
	GRAVAS	ARENAS	FINOS		SUCS	AASHTO
C-01 MUESTRA 01	43.80 %	22.58%	33.62	8.70%	GM Grava limosa con arena	A-2-4 Grava y Arena Limosa o Arcillosa
C-02 MUESTRA 02	45.01%	18.35%	36.64%	7.56%	GM Grava limosa con arena	A-4 Suelos limosos
C-03 MUESTRA 03	41.34%	26.45%	32.21%	11.78%	GM Grava limosa con arena	A-2-4 Grava y Arena Limosa
C-04 MUESTRA 04	43.58%	23.75%	32.67%	9.62%	GC Grava limosa arcillosa	A-2-6 Grava y Arena Arcillosa
C-05 MUESTRA 05	48.34%	20.47%	31.19%	7.52%	GC Grava limosa con arena	A-2-4 Grava y arena limosa o arcillosa
C-06 MUESTRA 06	43.89%	22.14%	33.97%	8.52%	GC Grava limosa con arena	A-2-4 Grava y arena limosa o arcillosa



GEO ESTRUCTURAS S.S.C.

Naun Salvador Salazar
 TÉCNICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO


Owen H. Salazar
 INGENIERO CIVIL
 CIP N° 162400

 - Urb. Marabamba N° Parc. 35 CPMen. Marabamba, (cerca al Penal de Potracancha)
 - Car. Central N° 3033 CPMen Vilcar Cayhuayna (Frente al Colegio J. Velasco Alvarado)
Pillico Marca - Huánuco.

 geo.estructuras2020@gmail.com
 +51 982 008 201

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000- VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITANTE : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MECÁNICOS						
PUNTO	SUCS	AASHTO	PROCTOR		CBR	
			DMS	H. O.	AL 0.10"	AL 0.20"
C-01 MUESTRA 01	GM Grava limosa con arena	A-4-2 Grava y Arena Limosa o Arcillosa	2.07 gr/cm ³	8.10%	47.24%	73.63%
C-02 MUESTRA 02	GM Grava limosa con arena	A-4 Suelos limosos	1.84 gr/cm ³	6.05%	49.37%	70.88%
C-03 MUESTRA 03	GM Grava limosa con arena	A-2-4 Grava y Arena Limosa	1.86 gr/cm ³	6.50%	49.27%	73.63%
C-04 MUESTRA 04	GC Grava limosa arcillosa	A-2-6 Grava y Arena Arcillosa	1.94 gr/cm ³	7.20%	55.40%	80.64%
C-05 MUESTRA 05	GC Grava limosa con arena	A-2-4 Grava y arena limosa o arcillosa	2.07 gr/cm ³	6.55%	46.84%	71.31%
C-06 MUESTRA 06	GC Grava limosa con arena	A-2-4 Grava y arena limosa o arcillosa	1.95 gr/cm ³	7.30%	52.87%	76.03%



Naun Salvador Salazar
 TECNICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO



Owen H. Salazar Salazar
 INGENIERO CIVIL
 CIP N° 162400

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000 - VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.

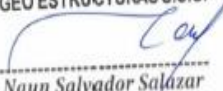
SONDEO : C-01 MUESTRA 01

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

CONTENIDO DE HUMEDAD: NTP 339.127 - MTC E 108

MUESTRA	UNIDAD	C-01 MUESTRA 01
Peso de la muestra húmeda + tara	gr.	523.40
Peso de la muestra seca + tara	gr.	485.69
Peso de la tara	gr.	52.40
Peso de la muestra seca	gr	433.29
Peso del agua	gr	37.71
Humedad	%	8.70



GEO ESTRUCTURAS S.S.C.

Naun Salvador Salazar
TECNICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO




Owen H. Salvador Salazar
INGENIERO CIVIL
CIP N° 162400

 - Urb. Marabamba N° Parc. 35 CPMen. Marabamba, (cerca al Penal de Potracancha).
- Car. Central N° 3033 CPMen Vilcar Cayhuayna (Frente al Colegio J. Velazco Alvarado)
Pilco Marca - Huánuco.

 geo.estructuras2020@gmail.com
 +51 982 008 201

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.

CALICATA : C-01-MUESTRA 01

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO: NTP 339.128 - MTC E 107

TAMIZ Nº	Tamiz (mm)	Peso Retenido (gr)	Retenido (%)	Retenido acum. (%)	Pasa (%)
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	166.40	11.32	11.32	88.68
1"	25.40	129.70	8.82	20.14	79.86
3/4"	19.05	99.80	6.79	26.93	73.07
1/2"	12.70	126.30	8.59	35.52	64.48
3/8"	9.53	38.00	2.59	38.11	61.89
No 10	1.75	6.35	0.37	41.90	58.10
No 4	4.75	27.90	1.90	43.80	56.20
No 10	2.00	83.60	5.89	49.69	50.31
No 20	0.84	77.30	5.26	54.95	45.05
No 30	0.59	34.30	2.33	57.07	42.93
No 40	0.43	34.00	2.31	59.39	40.61
No 50	0.30	26.80	1.82	61.21	38.79
No 60	0.25	31.30	2.13	63.34	36.66
No 100	0.15	28.70	1.95	65.29	34.71
No 200	0.07	16.00	1.09	66.38	33.62
BAZOLETA	0.00	494.20	33.62	100.00	0.00
TOTAL		1470.00			

Peso de la Muestra Húmeda	1719.50 gr
Peso de la Muestra Seca	1591.80 gr
Peso de la Muestra Seca Lavada	1097.40 gr
Peso de la Tara	121.80 gr

LIMITES DE ATTERBERG	GRANULOMETRIA
Límite líquido LL	30.34% Cantidad de Grava
Límite plástico LP	25.43% Cantidad de Arena
Ind. de Plasticidad IP	4.91% Cantidad de Limo-Arilla
Material granular equivalente a:	
66.38%	

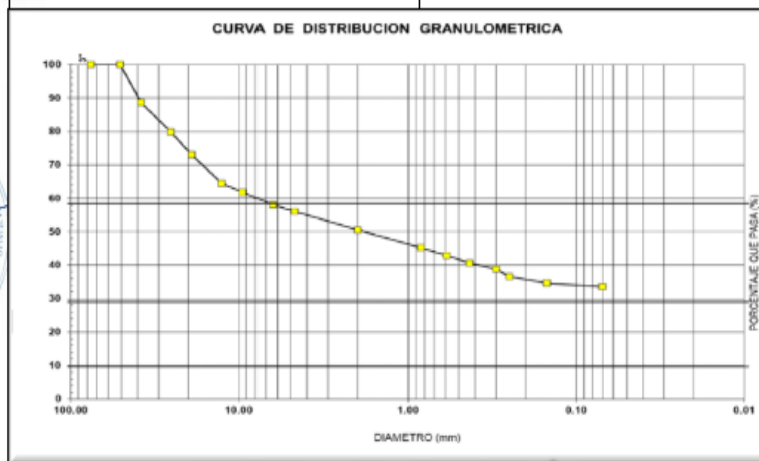
Pasa tamiz Nº 4 :	56.20 %
Pasa tamiz Nº 20:	33.62 %
D60(diámetro efectivo):	7.94 mm
D30(diámetro efectivo):	0.07 mm
D10 (diámetro efectivo):	0.02 mm
Coef. de uniformidad (Cu):	360.74
Grado de curvatura (Cc):	0.02

OBSERVACIONES:

Humedad Natural: 8.70%

Owen H. Salvador Salazar
INGENIERO CIVIL
CIP Nº 162400

GEO ESTRUCTURAS S.S.C.
Naun Salvador Salazar
TECNICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO



PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000- VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.

MUESTRA : C-01 MUESTRA 01

MÉTODO : C

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

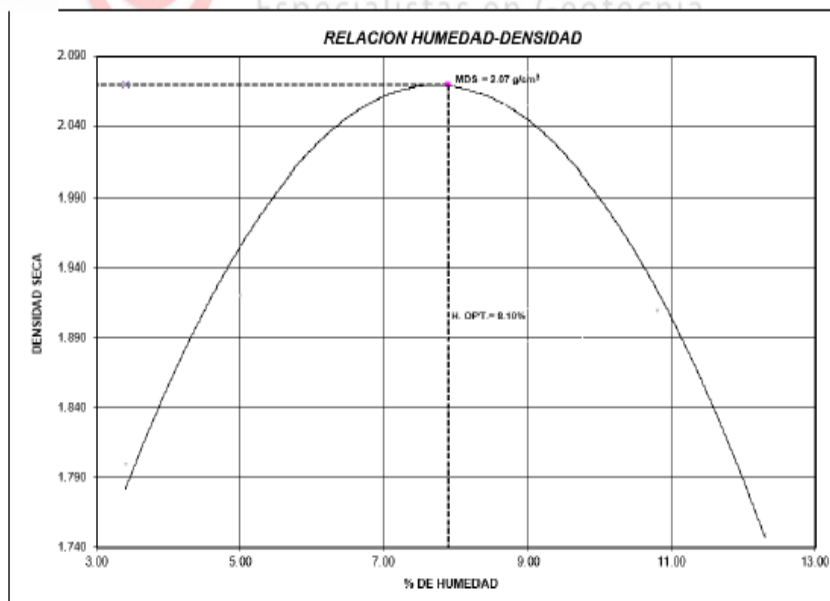
ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO: NTP 339.141 - MTC E 115

PESO ESPECIFICO HUMEDO						
ENSAYO	N°	01	02	03	04	05
Peso de muestra húmeda + molde	gr.	10805	10950	11308	11188	10837
Peso del molde	gr.	6680	6680	6680	6680	6680
Peso de la muestra húmeda	gr.	3925	4270	4628	4488	4157
Volumen del molde	cm ³	2112	2112	2112	2112	2112
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.86	2.02	2.19	2.12	1.97
CONTENIDO DE HUMEDAD						
TARA	N°	01	02	03	04	05
Peso muestra húmeda + tara	gr.	435.10	433.90	436.10	438.40	442.00
Peso muestra seca + tara	gr.	422.40	415.90	410.80	400.60	399.30
Peso de la tara	gr.	54.00	52.60	51.50	50.70	51.90
Peso del agua	gr.	12.70	18.00	25.30	37.80	42.70
Peso de la muestra seca	gr.	368.40	363.30	359.30	349.90	347.40
Contenido de humedad	%	3.40	5.00	7.00	10.80	12.30
PESO ESPECIFICO SECO						
Densidad máxima seca	gr/cm ³	1.80	1.92	2.05	1.91	1.75

Owen H. Salvador Salazar
INGENIERO CIVIL
CIP N° 16241

GEO ESTRUCTURAS S

Naun Salvador Salazar
TECNICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO



DENSIDAD ÓPTIMA SECA : 2.07 gr/cm³
HUMEDAD ÓPTIMA : 8.10 %

- Urb. Marabamba N° Parc. 35 CPMen. Marabamba, (cerca al Penal de Potracancha)
 - Car. Central N° 3033 CPMen Vilcar Cayhuayna (Frente al Colegio J. Velazco Alvarado)
 Píllco Marca - Huánuco.

geo.estructuras2020@gmail.com
 +51 982 008 201

**GEO ESTRUCTURAS**

Especialistas en Geotecnia

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000- VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.

SONDEO : C-01 MUESTRA 01

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

ENSAYO DE CBR: NTP 339.145 - MTC E 132 - ASTM D 1883-73

MUESTRA N° DE GOLPES CONDICIÓN		01 56		02 26		03 12	
		SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO
Peso del molde + suelo húmedo	gr.	11736.00	12029.00	11541.00	11830.00	11379.00	11663.00
Peso del molde	gr.	7030.80	7030.80	7030.80	7030.80	7067.00	7067.00
Peso del suelo húmedo	gr.	4705.20	4998.20	4510.20	4799.20	4312.00	4596.00
Volumen del molde	cm ³ .	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90
Densidad húmeda	gr/cc	2.24	2.38	2.14	2.28	2.05	2.19
Humedad	%	8.10		8.90		9.80	
Densidad seca	gr/cc	2.07		1.97		1.87	
IDENTIFICACIÓN DE TARA		1	2	3	4	5	6
Peso tara + suelo húmedo	gr.	445.8	481.5	453.9	490.2	460.7	483.7
Peso tara + suelo seco	gr.	416.4	441.4	421.0	437.8	424.4	432.9
Peso de la tara	gr.	53.2	68.5	53.7	68.5	54.3	68.5
Peso del agua	gr.	29.4	40.1	32.9	52.3	36.3	50.9
Peso de los sólidos	gr.	363.2	372.9	367.3	369.3	370.1	364.4
Humedad	%	8.10	10.80	8.90	14.20	9.80	14.00

MUESTRA TIEMPO	56 GOLPES		26 GOLPES		12 GOLPES	
	LECT. PULG.	EXPANSIÓN	LECT. PULG.	EXPANSIÓN	LECT. PULG.	EXPANSIÓN

NO EXPANSIVO

PENETRACIÓN EN PULGADAS	56 GOLPES			26 GOLPES			12 GOLPES		
	LECTURA DIAL (kg)	CONVERSIÓN		LECTURA DIAL (kg)	CONVERSIÓN		LECTURA DIAL (kg)	CONVERSIÓN	
		Libras	Lb/Pulg.2.		Libras	Lb/Pulg.2.		Libras	Lb/Pulg.2.
0.000	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00
0.025	175.6	387.2	129.07	94.8	209.1	69.69	24.6	54.2	18.06
0.050	351.3	774.4	258.12	177.8	392.0	130.68	49.2	108.5	36.16
0.075	495.3	1091.9	363.95	260.8	575.0	191.66	70.2	154.9	51.62
0.100	642.8	1417.1	472.35	355.7	784.1	261.37	91.3	201.4	67.12
0.150	1057.3	2330.9	776.96	545.4	1202.3	400.76	144.0	317.5	105.84
0.200	1475.2	3252.3	1084.11	758.7	1672.7	557.56	189.7	418.2	139.40
0.250	1826.5	4026.8	1342.25	912.8	2012.4	670.81	228.3	503.4	167.79
0.300	2142.6	4723.7	1574.57	1066.9	2352.1	784.04	263.4	580.7	193.58
0.400	2483.3	5474.8	1824.93	1304.0	2874.9	958.30	323.2	712.4	237.48
0.500	2578.2	5683.9	1894.64	1363.3	3005.6	1001.85	337.2	743.4	247.80

**GEO ESTRUCTURAS S.S.C.**

Naun Salvador Salazar
TECNICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO



Owen H. Salazar Salazar
INGENIERO CIVIL
CIP N° 162400

- Urb. Marabamba N° Parc. 35 CPMen. Marabamba, (cerca al Penal de Potracancha)
 - Car. Central N° 3033 CPMen Vilcar Cayhuayna (Frente al Colegio J. Velazco Alvarado)
 Píllco Marca - Huánuco.

geo.estructuras2020@gmail.com

+51 982 008 201



GEO ESTRUCTURAS

Especialistas en Geotecnia

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

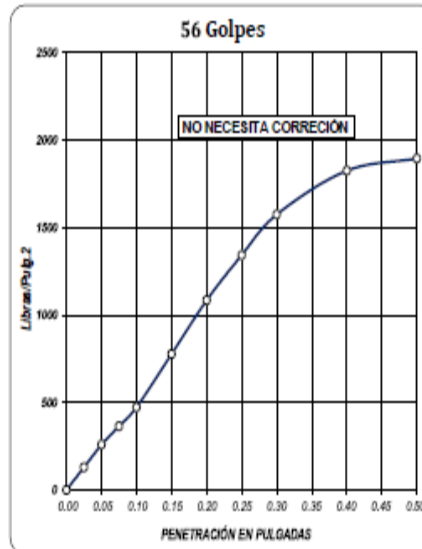
UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORIZANO.

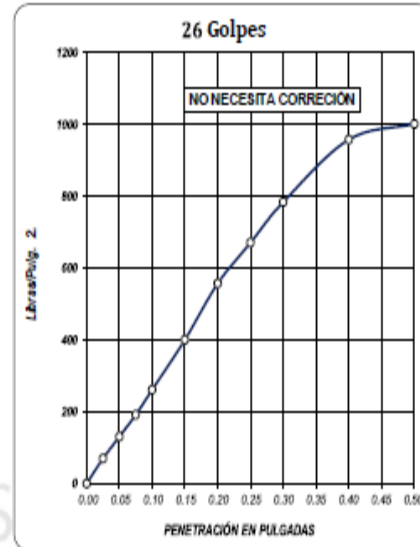
SONDEO : C-01 MUESTRA 01

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

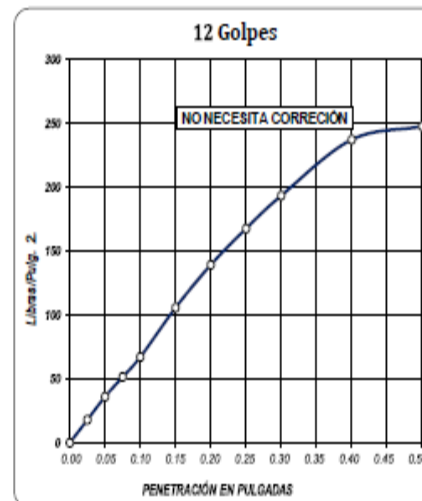
ENSAYO DE CBR: NTP 339.145 - MTC E 132 - ASTM D 1883-73



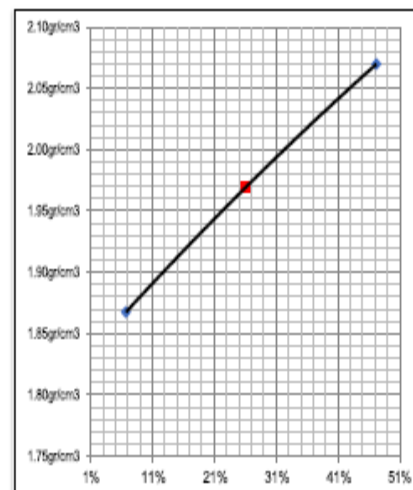
Densidad Seca = 2.07 gr/cm³
CBR a 0.10" = 47.24%
CBR a 0.20" = 72.27%



Densidad Seca = 1.97 gr/cm³
CBR a 0.10" = 28.14%
CBR a 0.20" = 37.17%



Densidad Seca = 1.87 gr/cm³
CBR a 0.10" = 6.71%
CBR a 0.20" = 9.29%



RESULTADOS	CBR A 0.1"	Densidad Seca
56 GOLPES	47.24%	2.07 gr/cm ³
26 GOLPES	28.14%	1.97 gr/cm ³
12 GOLPES	6.71%	1.87 gr/cm ³



Owen H. Salvador Salazar
INGENIERO CIVIL
CIP N° 162400

GEO ESTRUCTURAS S.S.C.

Naun Salvador Salazar
TECNICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO



- Urb. Marabamba N° Parc. 35 CPMen. Marabamba

- Car. Central N° 3033 CPMen Vilcar Cayhuayna (Frente al Colegio J. Velasco Alvarado)

Pilco Marca - Huánuco.



1020@gmail.com



GEO ESTRUCTURAS
Especialistas en Geotecnia

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000- VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

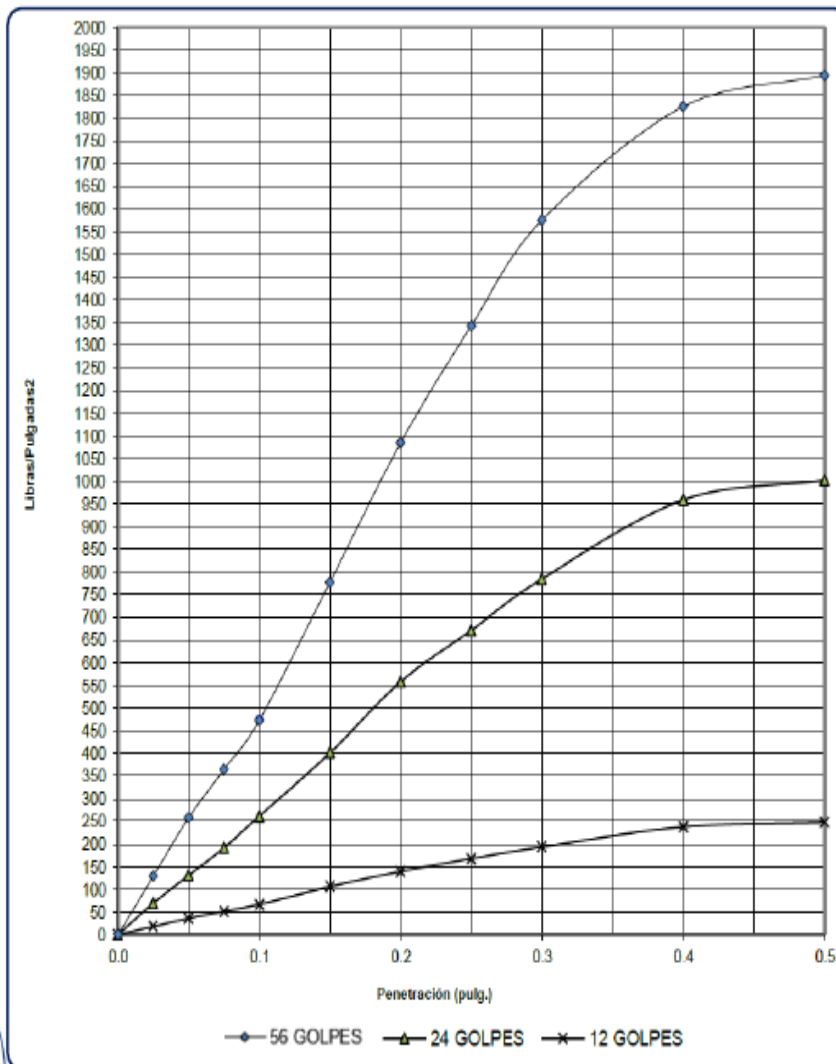
UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.

SONDEO : C-01 MUESTRA 01

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

ENSAYO DE CBR: NTP 339.145 - MTC E 132 - ASTM D 1883-73



RESULTADOS	56 GOLFES	24 GOLFES	12 GOLFES
Densidad Seca	2.07gr/cm3	1.97gr/cm3	1.87gr/cm3
CBR a 0.10"	47.24%	26.14%	6.71%
CBR a 0.20"	72.27%	37.17%	9.29%

CBR AL 95% DMS : 26.14%

CBR AL 100% DMS : 47.24%

Owen H. Salazar
Naun Salvador Salazar
TECNICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO



Owen H. Salazar
INGENIERO CIVIL
CIP N° 162400

geotecnia@geotecnia.com

+51 982 008 201

Urb. Marabamba N° Parc. 35 L° Men. Marabamba, (cerca al Penal de Potracancha)
Car. Central N° 3033 CPMen Vilcar Cayhuayma (Frente al Colegio J. Velasco Alvarado)
Pillco Marca - Huánuco.

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.

SONDEO : C-02 MUESTRA 02

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

CONTENIDO DE HUMEDAD: NTP 339.127 - MTC E 108

MUESTRA	UNIDAD	C-02 MUESTRA 02
Peso de la muestra húmeda + tara	gr.	515.50
Peso de la muestra seca + tara	gr.	482.97
Peso de la tara	gr.	52.40
Peso de la muestra seca	gr	430.57
Peso del agua	gr	32.53
Humedad	%	7.56



GEO ESTRUCTURAS S.S.C.

Naun Salvador Salazar
TECNICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO



Owen H. Salazar Salazar
INGENIERO CIVIL
CIP N° 162400

- Urb. Marabamba N° Parc. 35 CPMen. Marabamba, (cerca al Penal de Potracancha)
- Car. Central N° 3033 CPMen Vilcar Cayhuayna (Frente al Colegio J. Velazco Alvarado)
Pillco Marca - Huánuco.

geo.estructuras2020@gmail.com
 +51 982 008 201



GEO ESTRUCTURAS

Especialistas en Geotecnia

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.

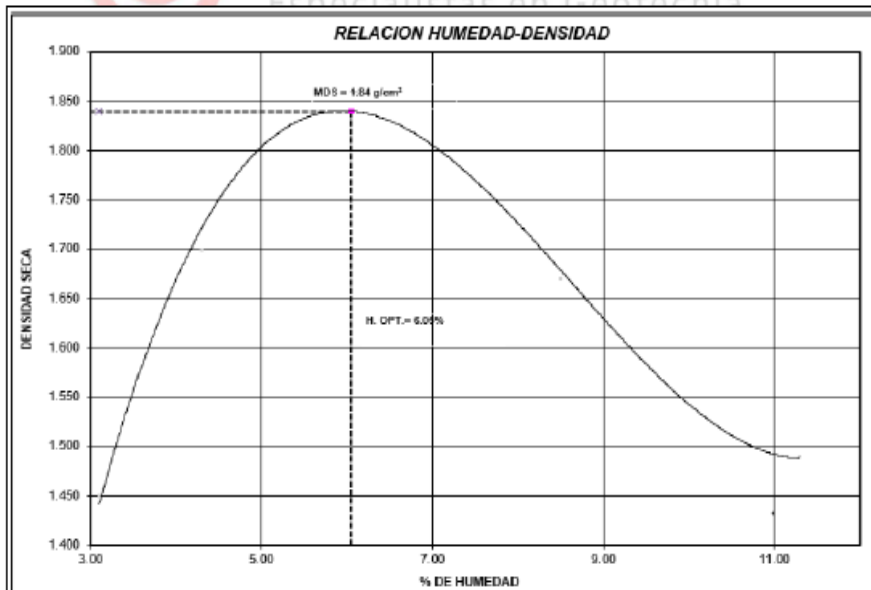
MUESTRA : C-02 MUESTRA 02

MÉTODO : C

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO: NTP 339.141 - MTC E 115

PESO ESPECÍFICO HUMEDO						
ENSAYO	N°	01	02	03	04	05
Peso de muestra húmeda + molde	gr.	9837	10425	10758	10507	10182
Peso del molde	gr.	6680	6680	6680	6680	6680
Peso de la muestra húmeda	gr.	3157	3745	4078	3827	3502
Volumen del molde	cm ³	2112	2112	2112	2112	2112
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.50	1.77	1.93	1.81	1.66
CONTENIDO DE HUMEDAD						
TARA	N°	01	02	03	04	05
Peso muestra húmeda + tara	gr.	419.80	418.40	420.50	422.20	426.30
Peso muestra seca + tara	gr.	406.90	400.20	395.30	385.80	383.60
Peso de la tara	gr.	54.00	52.80	51.50	50.70	51.90
Peso del agua	gr.	9.90	14.20	21.50	34.00	38.90
Peso de la muestra seca	gr.	337.10	331.90	327.70	318.50	316.20
Contenido de humedad	%	3.10	4.30	6.10	8.50	11.30
PESO ESPECÍFICO SECO						
Densidad máxima seca	gr/cm ³	1.45	1.70	1.82	1.67	1.49



DENSIDAD ÓPTIMA SECA : 1.84 gr/cm³

HUMEDAD ÓPTIMA : 6.05 %

9 - Urb. Marabamba N° Parc. 35 CPMen. Marabamba, (cerca al Penal de Potracancha)
- Car. Central N° 3033 CPMen Vilcar Cayhuayna (Frente al Colegio J. Velasco Alvarado)
Pillco Marca - Huánuco.

geo.estructuras2020@gmail.com
+51 982 008 201



GEO ESTRUCTURAS

Especialistas en Geotecnia

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.

SONDEO : C-02 MUESTRA 02

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

ENSAYO DE CBR: NTP 339.145 - MTC E 132 - ASTM D 1883-73

MUESTRA		01		02		03	
N° DE GOLPES		56		26		12	
CONDICIÓN		SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO
Peso del molde + suelo húmedo	gr.	11694.44	11987.44	11499.44	11788.44	11337.44	11621.55
Peso del molde	gr.	7030.80	7030.80	7030.80	7030.80	7065.00	7065.00
Peso del suelo húmedo	gr.	4673.53	4966.53	4478.53	4767.53	4280.33	4364.20
Volumen del molde	cm ³ .	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90
Densidad húmeda	gr/cc	2.09	2.23	1.99	2.13	1.90	2.04
Humedad	%	7.50		8.60		9.50	
Densidad seca	gr/cc	1.84		1.74		1.64	
IDENTIFICACION DE TARA		1	2	3	4	5	6
Peso tara + suelo húmedo	gr.	432.59	468.29	440.69	476.99	447.49	471.34
Peso tara + suelo seco	gr.	408.06	433.06	412.66	429.46	416.06	423.56
Peso de la tara	gr.	53.20	68.50	53.70	68.50	54.30	68.50
Peso del agua	gr.	30.80	41.50	34.30	53.70	37.70	52.60
Peso de los sólidos	gr.	359.70	369.40	363.80	365.80	366.60	357.20
Humedad	%	8.10	10.80	8.90	14.20	9.80	14.00

MUESTRA	56 GOLPES		26 GOLPES		12 GOLPES	
TIEMPO	LECT. PULG.	EXPANSIÓN	LECT. PULG.	EXPANSIÓN	LECT. PULG.	EXPANSIÓN

NO EXPANSIVO

PENETRACIÓN EN PULGADAS	56 GOLPES			26 GOLPES			12 GOLPES		
	CONVERSIÓN			CONVERSIÓN			CONVERSIÓN		
	LECTURA DIAL (kg)	Libras	Lb/Pulg.2.	LECTURA DIAL (kg)	Libras	Lb/Pulg.2.	LECTURA DIAL (kg)	Libras	Lb/Pulg.2.
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	231.60	434.30	185.12	151.20	265.70	126.10	30.90	78.70	30.45
0.050	407.30	830.60	314.36	234.60	448.70	187.23	42.30	122.00	56.34
0.075	551.30	1148.30	420.51	317.40	631.30	247.92	69.60	182.20	75.90
0.100	699.80	1473.10	493.70	412.00	840.10	317.68	94.40	236.80	87.30
0.150	1113.30	2387.40	833.23	601.70	1258.50	457.97	125.10	303.70	107.82
0.200	1531.30	3308.50	1140.46	815.30	1729.10	613.20	156.70	374.10	145.17
0.250	1882.50	4083.00	1396.53	969.50	2068.90	727.23	184.90	436.30	199.15
0.300	2198.60	4780.80	1630.49	1123.40	2408.20	840.32	215.60	504.20	255.32
0.400	2539.30	5531.70	1881.25	1360.70	2931.30	1014.12	272.30	629.40	285.43
0.600	2834.20	5683.10	2061.40	1561.40	3061.40	1058.40	328.60	753.50	296.23



Naun Salvador Salazar
TECNICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO



Owen H. Salazar Salazar
INGENIERO CIVIL
CIP N° 162400

• Urb. Marabamba N° Parc. 35 CPMen. Marabamba, (cerca al Penal de Potracancha)
• Car. Central N° 3033 CPMen Vilar Cayhuayna (Frente al Colegio J. Velasco Alvarado)
Pillco Marca - Huánuco.

geo.estructuras2020@gmail.com

+51 982 008 201



GEO ESTRUCTURAS

Especialistas en Geotecnia

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000- VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

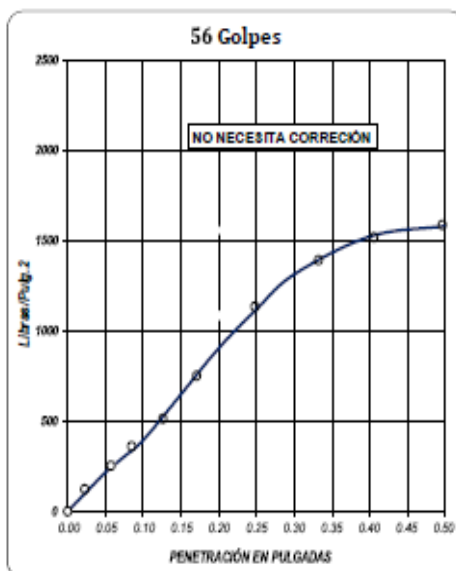
UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.

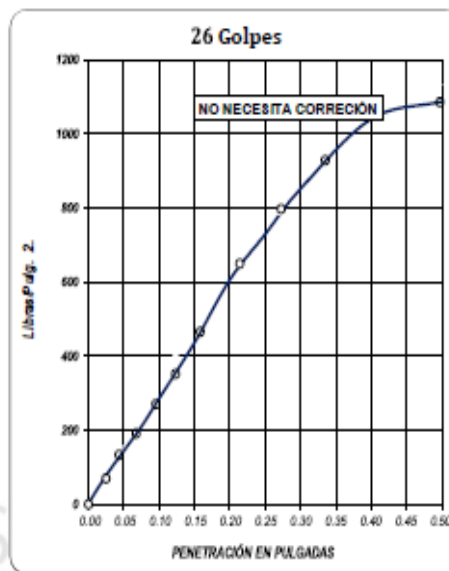
SONDEO : C-02 MUESTRA 02

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

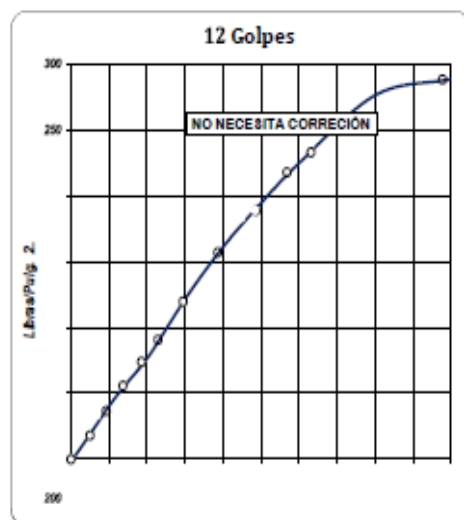
ENSAYO DE CBR: NTP 339.145 - MTC E 132 - ASTM D 1883-73



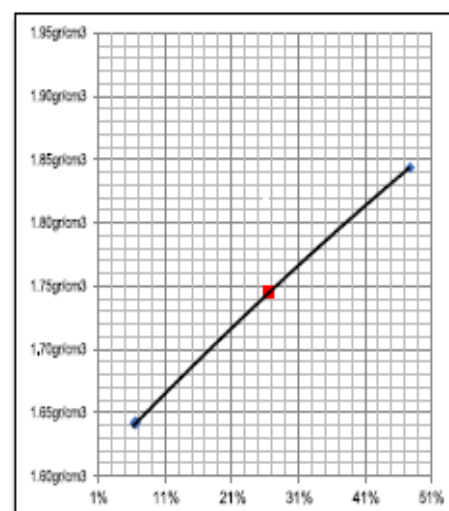
Densidad Seca = 1.84 gr/cm³
CBR a 0.10" = 49.37%
CBR a 0.20" = 70.88%



Densidad Seca = 1.74 gr/cm³
CBR a 0.10" = 31.05%
CBR a 0.20" = 36.01%



Densidad Seca = 1.64 gr/cm³
CBR a 0.10" = 8.73%
CBR a 0.20" = 10.04%



RESULTADOS	CBR A 0.1"	Densidad Seca
56 GOLPES	49.37%	1.84 gr/cm ³
26 GOLPES	31.05%	1.74 gr/cm ³
12 GOLPES	8.73%	1.64 gr/cm ³



Owen H. Salazar Salazar
INGENIERO CIVIL
CIP N° 162400



- Urb. Marabamba N° Par. 35 CPMen, Marabamba, (cerca al Penal de Potracancha)
- Car. Central N° 3033 CPMen Vilcar Cayhuayna (Frente al Colegio J. Velasco Alvarado)
Pílico Marca - Huánuco.



estructuras2020@gmail.com

982 008 201



GEO ESTRUCTURAS

Especialistas en Geotecnia

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

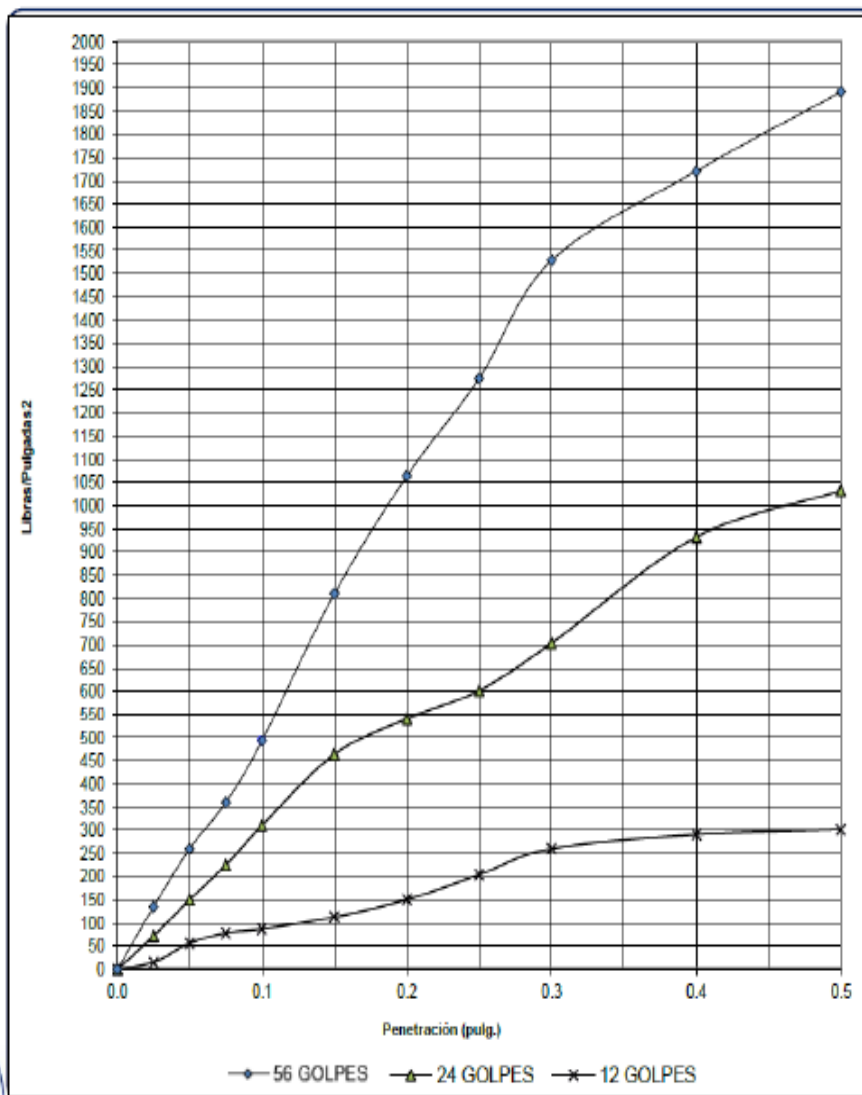
UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.

SONDEO : C-02 MUESTRA 02

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

ENSAYO DE CBR: NTP 339.145 - MTC E 132 - ASTM D 1883-73



RESULTADOS	56 GOLPES	24 GOLPES	12 GOLPES
Densidad Seca	1.84 gr/cm³	1.74 gr/cm³	1.84 gr/cm³
CBR a 0.10"	49.37%	31.05%	8.73%
CBR a 0.20"	70.88%	38.01%	10.01%

CBR AL 95% DMS : 31.05%

CBR AL 100% DMS : 49.37%

Naun Salvador Salazar
TECNICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Owen H. Salazar Salazar
INGENIERO CIVIL
CIP N° 162400

Urb. Marabamba N° P'arc. 35 CPMen, Marabamba, (cerca al Penal de Potracancha)
Car. Central N° 3033 CPMen Vilcar Cayhuayna (Frente al Colegio J. Velasco Alvarado)
Pillco Marca - Huánuco.

+51 982 008 201

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORIZANO.

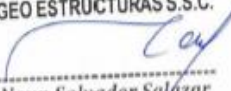
SONDEO : C-03 MUESTRA 03

FECHA : NOVIMBREDDEL 2025.

CONTENIDO DE HUMEDAD: NTP 339.127 - MTC E 108

MUESTRA	UNIDAD	C-03 MUESTRA 03
Peso de la muestra húmeda + tara	gr.	544.85
Peso de la muestra seca + tara	gr.	492.95
Peso de la tara	gr.	52.40
Peso de la muestra seca	gr	440.55
Peso del agua	gr	51.90
Humedad	%	11.78



GEO ESTRUCTURAS S.S.C.

Naun Salvador Salazar
 TÉCNICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO


Owen H. Salvador Salazar
 INGENIERO CIVIL
 CIP N° 162400

 - Urb. Marabamba N° Parc. 35 CPMen, Marabamba, (cerca al Penal de Potracancha)
 - Car. Central N° 3033 CPMen Vilcar Cayhuayna (Frente al Colegio J. Velazco Alvarado)
Pillico Marca - Huánuco.

 geo.estructuras2020@gmail.com
 +51 982 008 201

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.

CALICATA : C-03-MUESTRA 03

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO: NTP 339.128 - MTC E 107



Owen H. Salvador Salazar
INGENIERO CIVIL
CIP N° 162400

GEO ESTRUCTURAS S.S.C.

Naun Salvador Salazar
TECNICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO



TAMIZ Nº	Tamiz (mm)	Peso Retenido (gr)	Retenido (%)	Retenido acum. (%)	Pasa (%)
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	122.40	9.45	9.45	90.55
1"	25.40	98.70	7.62	17.07	82.93
3/4"	19.05	88.30	6.82	23.89	76.11
1/2"	12.70	92.50	7.15	31.04	68.96
3/8"	9.53	50.10	3.87	34.91	65.09
1/4"	6.35	54.60	4.21	39.12	60.88
No 4	4.75	39.40	3.03	42.15	57.85
No 10	2.00	69.80	5.38	47.53	52.47
No 20	0.84	63.50	4.89	52.42	47.58
No 30	0.60	50.20	3.87	56.29	43.71
No 40	0.43	35.90	2.77	59.06	40.94
No 50	0.30	28.10	2.17	61.23	38.77
No 60	0.25	25.40	1.98	63.19	36.81
No 100	0.15	24.80	1.90	65.09	34.91
No 200	0.07	23.50	1.82	66.91	33.09
PAZOLETA	0.00	422.00	33.09	100.00	0.00
TOTAL		1340.20			

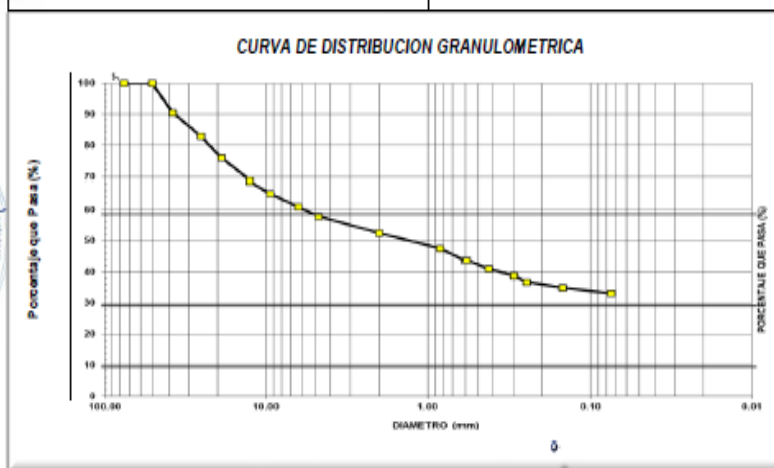
Peso de la Muestra Húmeda	1882.40 gr
Peso de la Muestra Seca	1543.30 gr
Peso de la Muestra Seca Lavada	1023.40 gr
Peso de la Tara	112.70 gr

LÍMITES DE ATTERBERG		GRANULOMETRÍA	
Limite líquido LL	34.65%	Cantidad de Grava	41.34%
Limite plástico LP	29.28%	Cantidad de Arena	26.45%
Ind. de Plasticidad IP	5.03%	Cantidad de Limo-Arillo	32.21%
		Material granular equivalente a:	67.79%

Pasa tamiz Nº 4 :	57.85 %
Pasa tamiz Nº 200:	33.09 %
D60(diámetro efectivo):	5.80 mm
D30(diámetro efectivo):	0.41 mm
D10 (diámetro efectivo):	0.02 mm
Coef. de uniformidad (Cu):	280.00
Grado de curvatura (Cc):	1.54

OBSERVACIONES:

Humedad Natural: 11.78%



Urb. Marabamba N° Parc. 35 CPMen. Marabamba, (cerca al Penal de Potracancha)
Car. Central N° 3033 CPMen Vilcar Cayhuayna (Frente al Colegio J. Velazco Alvarado)
Pillco Marca - Huánuco.

geo.estructuras2020@gmail.com
+51 982 008 201



GEO ESTRUCTURAS

Especialistas en Geotecnia

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.

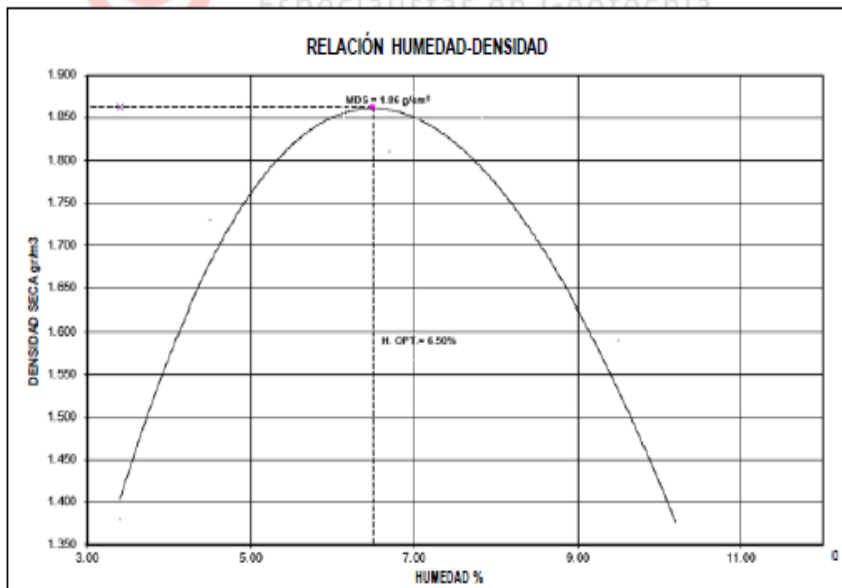
MUESTRA : C-03 MUESTRA 03

MÉTODO : C

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO: NTP 339.141 - MTC E 115

PESO ESPECÍFICO HÚMEDO						
ENSAYO	Nº	01	02	03	04	05
Peso de muestra húmeda + molde	gr.	4070	5660	6450	5780	4800
Peso del molde	gr.	6680	6680	6680	6680	6680
Peso de la muestra húmeda	gr.	2390	3980	4770	4100	3120
Volumen del molde	cm ³	2112	2112	2112	2112	2112
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.45	1.81	1.93	1.73	1.48
CONTENIDO DE HUMEDAD						
TARA	Nº	01	02	03	04	05
Peso muestra húmeda + tara	gr.	491.98	490.78	492.98	495.28	498.84
Peso muestra seca + tara	gr.	479.28	472.78	467.68	457.48	456.18
Peso de la tara	gr.	54.00	52.00	51.00	50.00	52.00
Peso del agua	gr.	12.28	16.58	23.88	36.38	41.28
Peso de la muestra seca	gr.	423.71	418.61	414.61	405.21	402.71
Contenido de humedad	%	3.40	4.50	6.70	9.50	10.20
PESO ESPECÍFICO SECO						
Densidad máxima seca	gr/cm ³	1.38	1.73	1.81	1.59	1.34



DENSIDAD ÓPTIMA SECA : 1.86 gr/cm³
HUMEDAD ÓPTIMA : 6.50 %

• Urb. Marabamba N° Parc. 35 CPMen. Marabamba, (cerca al Penal de Potracancha)
• Car. Central N° 3033 CPMen Vilcar Cayhuayna (Frente al Colegio J. Velasco Alvarado)
Pillco Marca - Huánuco.

geo.estructuras2020@gmail.com
+51 982 008 201



GEO ESTRUCTURAS

Especialistas en Geotecnia

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.

SONDEO : C-03 MUESTRA 03

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

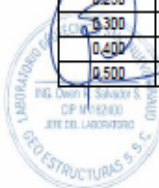
ENSAYO DE CBR: NTP 339.145 - MTC E 132 - ASTM D 1883-73

MUESTRA		01		02		03	
N° DE GOLPES		56		26		12	
CONDICIÓN		SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO
Peso del molde + suelo húmedo	gr.	11950.00	12280.00	11090.00	11720.00	11380.00	11960.00
Peso del molde	gr.	7030.80	7030.80	7030.80	7030.80	7030.80	7030.80
Peso del suelo húmedo	gr.	4919.20	5250.20	4059.20	4689.20	4349.20	4929.20
Volumen del molde	cm ³ .	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90
Densidad húmeda	gr/cc	2.34	2.50	1.93	2.23	2.07	2.35
Humedad	%	7.10		6.70		6.90	
Densidad seca	gr/cc	1.86		1.76		1.66	
IDENTIFICACIÓN DE TARA		1	2	3	4	5	6
Peso tara + suelo húmedo	gr.	462.50	494.20	473.80	517.30	487.10	505.40
Peso tara + suelo seco	gr.	436.90	460.40	446.10	472.50	453.80	462.20
Peso de la tara	gr.	55.10	66.40	57.30	60.80	56.20	67.10
Peso del agua	gr.	25.60	33.80	27.70	44.80	33.30	43.20
Peso de los sólidos	gr.	381.80	394.00	388.80	411.70	397.60	395.10
Humedad	%	6.70	8.58	7.12	10.88	8.38	10.93

MUESTRA	56 GOLPES			26 GOLPES			12 GOLPES		
	LECT.	PULG.	EXPANSIÓN	LECT.	PULG.	EXPANSIÓN	LECT.	PULG.	EXPANSIÓN

NO EXPANSIVO

PENETRACIÓN EN PULGADAS	56 GOLPES			26 GOLPES			12 GOLPES		
	CONVERSIÓN			CONVERSIÓN			CONVERSIÓN		
	LECTURA DIAL (kg)	Libras	Lb/Pulg.2.	LECTURA DIAL (kg)	Libras	Lb/Pulg.2.	LECTURA DIAL (kg)	Libras	Lb/Pulg.2.
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	185.90	388.50	149.41	117.80	232.10	91.04	32.00	67.60	28.06
0.050	361.60	784.70	278.46	200.80	415.00	152.03	62.60	121.90	56.16
0.075	505.60	1102.24	384.29	283.80	598.00	213.01	83.60	168.30	71.62
0.100	653.10	1427.40	492.69	378.70	807.10	282.72	104.70	223.80	87.12
0.150	1067.60	2341.20	797.30	568.40	1225.30	422.11	157.40	330.90	125.84
0.200	1485.50	3262.60	1104.45	781.70	1695.70	578.91	203.10	431.60	169.40
0.250	1836.20	4037.10	1362.59	935.80	2035.40	692.16	241.70	516.80	187.79
0.300	2152.70	4734.00	1594.91	1089.90	2375.10	805.39	276.80	594.10	213.58
0.400	2493.10	5485.10	1914.98	1386.30	2897.90	979.65	336.60	725.80	257.48
0.500	2588.20	5694.20	1914.98	1386.30	2897.90	979.65	336.60	725.80	257.48



Naun Salvador Salazar
TECNICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO



Owen H. Salvador Salazar
INGENIERO CIVIL
CIP N° 162400

• Urb. Marabamba N° Parc. 35 CPMen, Marabamba, (cerca al Penal de Potracancha)
• Car. Central N° 3033 CPMen Vilcar Cayhuayna (Frente al Colegio J. Velasco Alvarado)
Píllco Marca - Huánuco.

geo.estructuras2020@gmail.com
+51 982 008 201



GEO ESTRUCTURAS

Especialistas en Geotecnia

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000 - VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

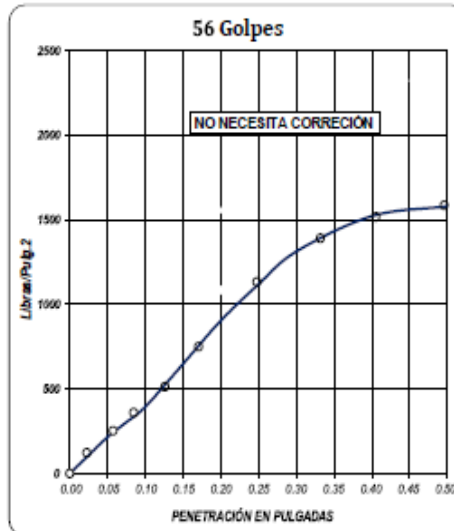
UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLÓRZANO.

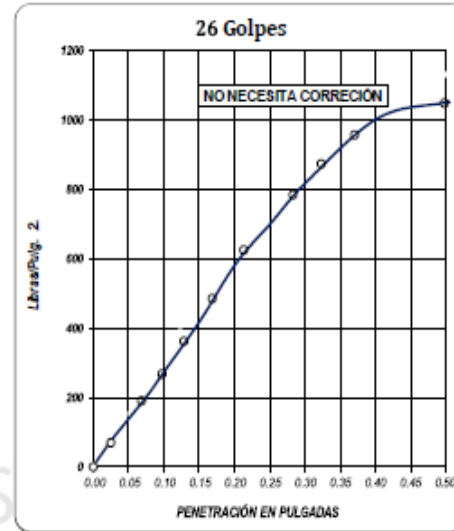
SONDEO : C-03 MUESTRA 03

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

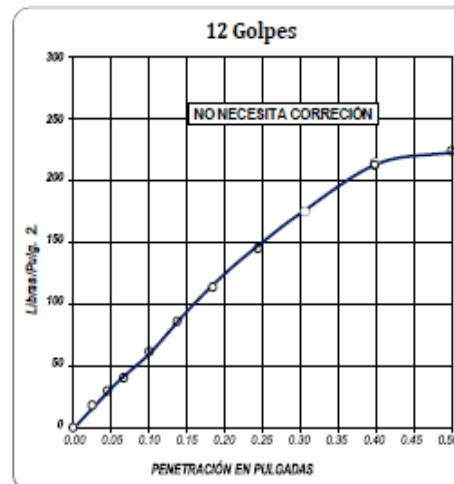
ENSAYO DE CBR: NTP 339.145 - MTC E 132 - ASTM D 1883-73



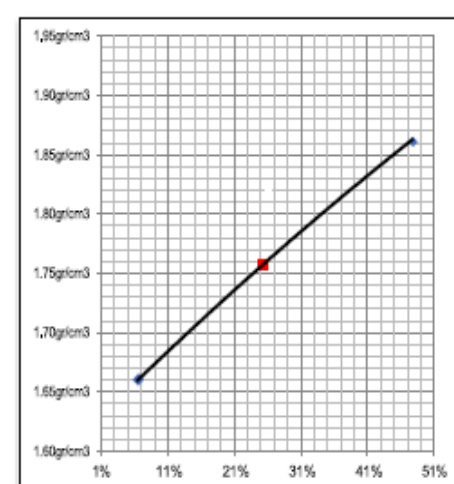
Densidad Seca = 1.86 gr/cm³
CBR a 0.10" = 49.27%
CBR a 0.20" = 73.63%



Densidad Seca = 1.76 gr/cm³
CBR a 0.10" = 28.27%
CBR a 0.20" = 38.59%



Densidad Seca = 1.66 gr/cm³
CBR a 0.10" = 8.71%
CBR a 0.20" = 10.83%



RESULTADOS	CBR A 0.1"	Densidad Seca
56 GOLPES	49.84%	1.86 gr/cm ³
26 GOLPES	25.93%	1.76 gr/cm ³
12 GOLPES	5.78%	1.66 gr/cm ³



Owen H. Salvador Salazar
INGENIERO CIVIL
CIP N° 162400

GEO ESTRUCTURAS S.S.C.
Naun Salvador Salazar
TECNICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Urb. Marabamba N° Parc. 35 CPMen. Marabamba, (cerca al Penal de Potracancha)
Car. Central N° 3033 CPMen Vilcar Cayhuayna (Frente al Colegio J. Velasco Alvarado)
Pillco Marca - Huánuco.



estructuras2020@gmail.com

982 008 201



GEO ESTRUCTURAS

Especialistas en Geotecnia

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

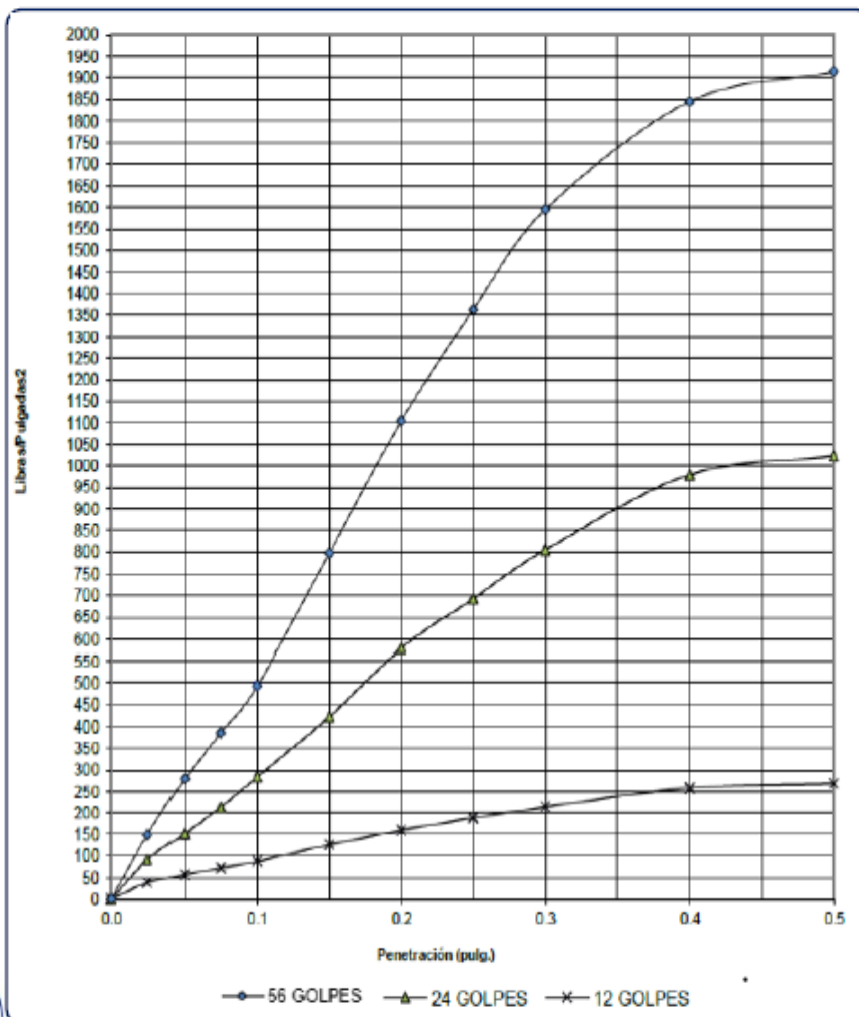
UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.

SONDEO : C-03 MUESTRA 03

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

ENSAYO DE CBR: NTP 339.145 - MTC E 132 - ASTM D 1883-73



RESULTADOS	56 GOLFES	24 GOLFES	12 GOLFES
Densidad Seca	1.86 gr/cm³	1.76 gr/cm³	1.66 gr/cm³
CBR a 0.10"	49.27%	28.27%	8.71%
CBR a 0.25"	73.63%	38.49%	10.63%

CBR AL 95% DMS : 26.27%

CBR AL 100% DMS : 49.27%

Naun Salvador Salazar

TECNICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO



INGENIERO CIVIL

CIP N° 162400

Urb. Marabamba N° Parc. 35 CP Men. Marabamba, (cerca al Penal de Potranca)

Car. Central N° 3033 CP Men. Vilar Cayhuayna (Frente al Colegio J. Velasco Alvarado)

Pillico Marca - Huánuco.

g.estructuras2020@gmail.com

+51 982 008 201



GEO ESTRUCTURAS
Especialistas en Geotecnia

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.

SONDEO : C-04 MUESTRA 04

FECHA : NOVIMBREDDEL 2025.

CONTENIDO DE HUMEDAD: NTP 339.127 - MTC E 108

MUESTRA	UNIDAD	C-04 MUESTRA 04
Peso de la muestra húmeda + tara	gr.	528.60
Peso de la muestra seca + tara	gr.	486.82
Peso de la tara	gr.	52.40
Peso de la muestra seca	gr	434.42
Peso del agua	gr	41.78
Humedad	%	9.62



GEO ESTRUCTURAS S.S.C.

Naun Salvador Salazar
TECNICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO



Owen H. Salvador Salazar
INGENIERO CIVIL
CP N° 162400



- Urb. Marabamba N° Parc. 35 CPMen. Marabamba, (cerca al Penal de Potracancha)
- Car. Central N° 3033 CPMen Vilcar Cayhuayna (Frente al Colegio J. Velazco Alvarado)
Píllco Marca - Huánuco.



geo.estructuras2020@gmail.com



+51 962 008 201

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.

CALICATA : C-04-MUESTRA 04

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO: NTP 339.128 - MTC E 107

TAMIZ Nº	Tamiz (mm)	Peso Retenido (gr)	Retenido (%)	Retenido acum. (%)	Pasa (%)
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	118.60	8.80	8.80	91.20
1"	25.40	102.30	7.59	16.39	83.61
3/4"	19.05	88.40	7.11	23.50	76.50
1/2"	12.70	89.40	6.63	30.13	69.87
3/8"	9.50	52.70	3.91	34.04	65.96
No 10	1.75	56.90	4.22	38.26	61.74
No 20	0.84	41.50	3.08	41.34	58.66
No 30	0.60	67.30	5.00	46.34	53.66
No 40	0.43	61.20	4.55	50.89	49.11
No 50	0.30	49.60	3.69	54.58	45.42
No 60	0.25	36.70	2.73	57.31	42.69
No 80	0.18	29.30	2.18	59.49	40.51
No 100	0.15	26.80	2.00	61.49	38.51
No 200	0.075	25.10	1.88	63.35	36.65
No 425	0.075	22.80	1.69	65.04	34.96
TOTAL		1256.70			

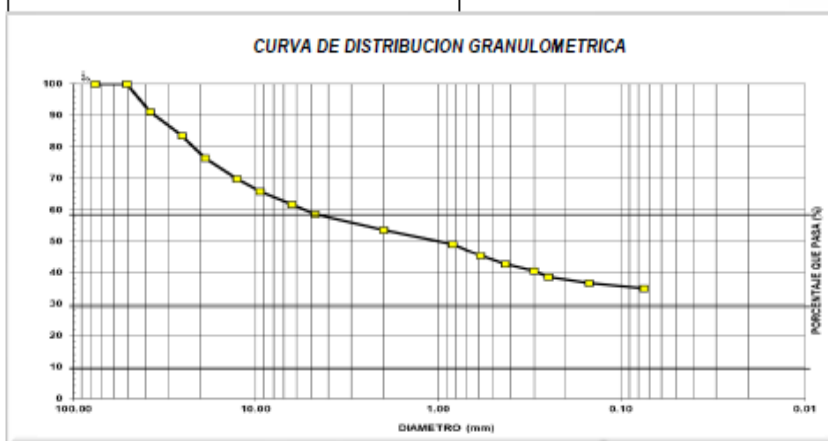
Peso de la Muestra Humeda	1712.50 gr
Peso de la Muestra Seca	1489.60 gr
Peso de la Muestra Seca Lavada	1089.20 gr
Peso de la Tara	124.20 gr

LÍMITES DE ATTERBERG		GRANULOMETRIA	
Límite líquido LL	34.65%	Cantidad de Grava	43.58%
Límite plástico LP	29.28%	Cantidad de Arena	23.75%
Ind. de Plasticidad IP	5.03%	Cantidad de Limo-Arilla	32.67%
		Material granular equivalente a:	67.33%

Pasa tamiz Nº 4 :	58.66 %
Pasa tamiz Nº 200:	34.96 %
D60(diámetro efectivo):	5.09 mm
D30(diámetro efectivo):	0.47 mm
D10 (diámetro efectivo):	0.02 mm
Coef. de uniformidad (Cu):	254.32
Grado de curvatura (Cc):	2.15

OBSERVACIONES:

Humedad Natural: 9.62%



PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.

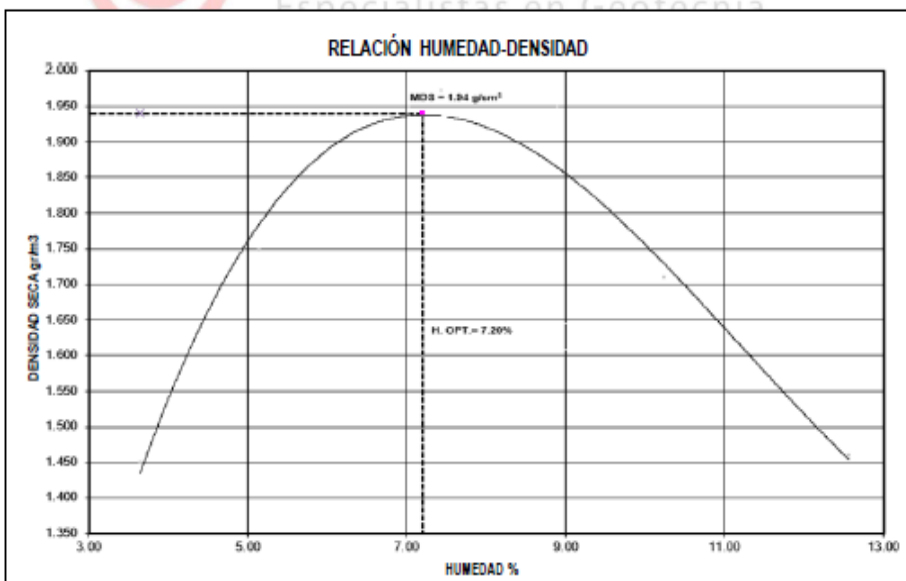
MUESTRA : C-04 MUESTRA 04

MÉTODO : C

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO: NTP 339.141 - MTC E 115

PESO ESPECÍFICO HÚMEDO						
ENSAYO	N°	01	02	03	04	05
Peso de muestra húmeda + molde	gr.	9854	10566	11036	10661	10151
Peso del molde	gr.	6680	6680	6680	6680	6680
Peso de la muestra húmeda	gr.	3174	3886	4356	3981	3471
Volumen del molde	cm ³	2112	2112	2112	2112	2112
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.50	1.84	2.06	1.88	1.64
CONTENIDO DE HUMEDAD						
TARA	N°	01	02	03	04	05
Peso muestra húmeda + tara	gr.	469.22	468.02	470.22	472.52	476.12
Peso muestra seca + tara	gr.	456.52	450.02	444.92	434.72	433.42
Peso de la tara	gr.	54.00	52.00	60.00	50.00	52.00
Peso del agua	gr.	13.97	18.27	25.57	38.07	42.97
Peso de la muestra seca	gr.	402.52	397.42	393.42	384.02	381.52
Contenido de humedad	%	3.65	5.14	7.43	10.23	12.56
PESO ESPECÍFICO SECO						
Densidad máxima seca	gr/cm ³	1.45	1.75	1.92	1.71	1.46



DENSIDAD ÓPTIMA SECA : 1.94 gr/cm³
HUMEDAD ÓPTIMA : 7.20 %

📍 Urb. Marabamba N° Parc. 35 CPMen. Marabamba, (cerca al Penal de Potracancha)
- Car. Central N° 3033 CPMen Vilcar Cayh uayna (Frente al Colegio J. Velasco Alvarado)
Píllico Marca - Huánuco.

✉ geo.estructuras2020@gmail.com
☎ +51 982 008 201

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.

SONDEO : C-04 MUESTRA 04

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

ENSAYO DE CBR: NTP 339.145 - MTC E 132 - ASTM D 1883-73

MUESTRA Nº DE GOLPES CONDICIÓN		01 56		02 26		03 12	
		SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO
Peso del molde + suelo húmedo	gr.	11980.00	11720.00	12350.00	12090.00	11840.00	11650.00
Peso del molde	gr.	7030.80	7030.80	7030.80	7030.80	7030.80	7030.80
Peso del suelo húmedo	gr.	4950.00	4689.20	5319.20	5059.20	4809.20	4619.20
Volumen del molde	cm ³	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90
Densidad húmeda	gr/cc	2.35	2.23	2.53	2.41	2.29	2.20
Humedad	%	7.20		7.25		7.15	
Densidad seca	gr/cc	1.98		1.86		1.82	
IDENTIFICACIÓN DE TARA		1	2	3	4	5	6
Peso tara + suelo húmedo	gr.	472.10	502.30	485.90	529.40	498.00	515.20
Peso tara + suelo seco	gr.	443.00	463.50	451.10	471.80	456.00	447.20
Peso de la tara	gr.	55.10	46.80	57.00	50.80	56.20	67.10
Peso del agua	gr.	29.10	38.80	34.80	57.60	42.00	68.00
Peso de los sólidos	gr.	388.90	417.50	400.10	414.20	436.00	379.10
Humedad	%	7.48	9.30	8.70	13.91	8.08	17.94

MUESTRA	56 GOLPES		26 GOLPES		12 GOLPES	
	LECT. PULG.	EXPANSIÓN	LECT. PULG.	EXPANSIÓN	LECT. PULG.	EXPANSIÓN

NO EXPANSIVO

PENETRACIÓN EN PULGADAS	56 GOLPES			26 GOLPES			12 GOLPES		
	LECTURA DIAL (kg)	CONVERSIÓN		LECTURA DIAL (kg)	CONVERSIÓN		LECTURA DIAL (kg)	CONVERSIÓN	
		Libras	Lb/Pulg.2		Libras	Lb/Pulg.2		Libras	Lb/Pulg.2
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	195.20	425.15	155.20	120.40	262.15	94.98	46.30	100.73	36.50
0.050	380.60	829.80	303.60	205.70	447.95	162.30	79.20	172.45	62.50
0.075	520.30	1134.64	414.40	315.20	686.98	249.00	110.40	240.36	87.10
0.100	698.40	1521.92	554.00	412.50	898.25	325.80	139.80	304.13	110.25
0.150	1110.50	2421.15	882.90	607.80	1323.96	480.40	210.60	458.30	166.45
0.200	1522.30	3318.22	1209.60	792.10	1726.45	626.80	275.30	599.18	217.75
0.250	1870.40	4077.00	1485.10	915.30	1996.30	724.20	310.60	675.48	245.30
0.300	2220.70	4840.92	1749.20	1025.40	2238.90	813.50	345.40	751.75	273.30
0.400	2498.10	5447.19	1968.40	1312.50	2864.25	1040.10	410.20	892.49	324.00
0.500	2640.20	5681.40	2053.70	1435.60	3133.63	1137.20	439.80	956.45	347.80



GEO ESTRUCTURAS S.S.C.
 Naun Salvador Salazar
 TÉCNICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO

INGENIERO CIVIL
 CIP N° 162400

 - Urb. Marabamba N° Parc. 35 CPMen. Marabamba, (cerca al Penal de Potracancha)
 - Car. Central N° 3033 CPMen Vilcar Cayhuayna (Frente al Colegio J. Velasco Alvarado)
 Píleo Marca - Huánuco.

 geo.estructuras2020@gmail.com
 +51 982 008 201



GEO ESTRUCTURAS

Especialistas en Geotecnia

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCHUPA KM 167+000- VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

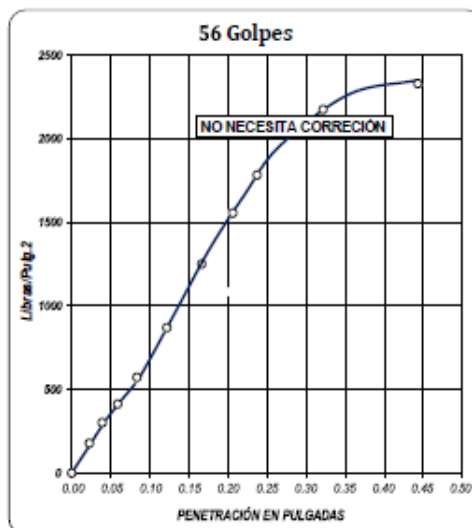
UBICACIÓN : PUENTE HUANCHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.

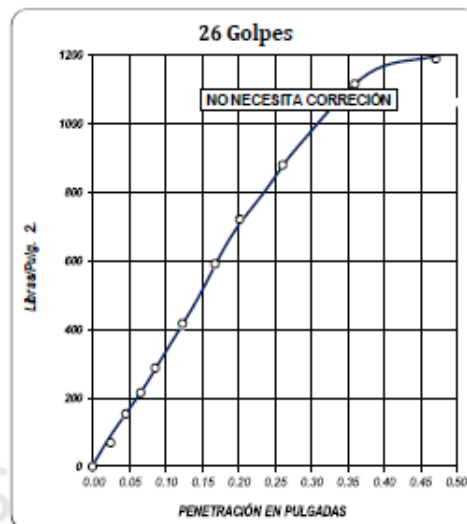
SONDEO : C-04 MUESTRA 04

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

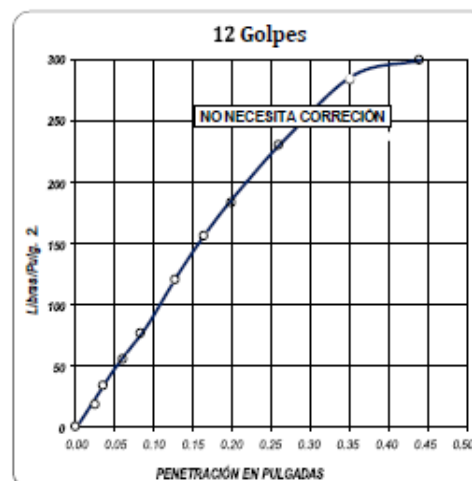
ENSAYO DE CBR: NTP 339.145 - MTC E 132 - ASTM D 1883-73



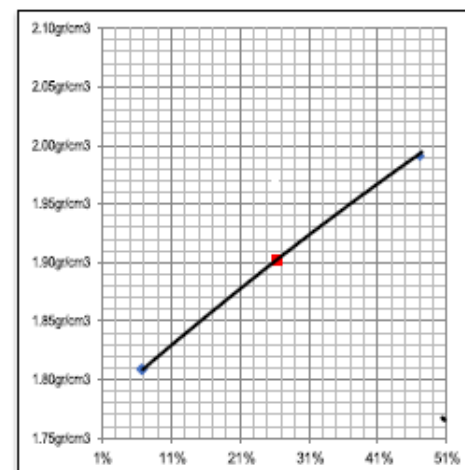
Densidad Seca = 1.98 gr/cm³
CBR a 0.10" = 55.40%
CBR a 0.20" = 80.64%



Densidad Seca = 1.86 gr/cm³
CBR a 0.10" = 32.58%
CBR a 0.20" = 41.79%



Densidad Seca = 1.82 gr/cm³
CBR a 0.10" = 11.03%
CBR a 0.20" = 14.52%



RESULTADOS	CBR A 0.1"	Densidad Seca
56 GOLPES	55.40%	1.98 gr/cm ³
26 GOLPES	32.58%	1.86 gr/cm ³
12 GOLPES	11.03%	1.82 gr/cm ³



Owen H. Salvador Salazar
INGENIERO CIVIL
CIP N° 162400

Naun Salvador Salazar
TECNICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Urb. Marabamba N° Parc. 35 CPMen. Marabamba, (cerca al Penal de Potracancha)
Car. Central N° 3033 CPMen Vilcar Cayhuayna (Frente al Colegio J. Velazco Alvarae
Pillico Marca - Huánuco.

geo.estructuras2020@gmail.com

+51 982 008 201



GEO ESTRUCTURAS
Especialistas en Geotecnia

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000- VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

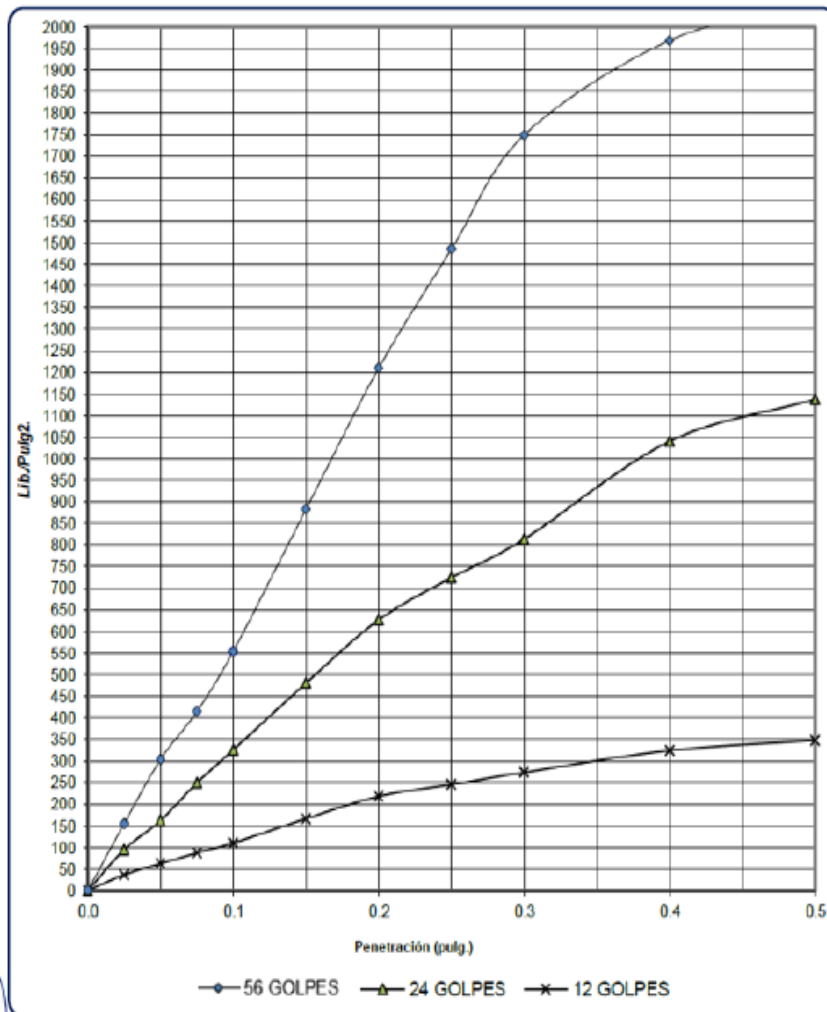
UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORIZANO.

SONDEO : C-04 MUESTRA 04

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

ENSAYO DE CBR: NTP 339.145 - MTC E 132 - ASTM D 1883-73



RESULTADOS	56 GOLFES	24 GOLFES	12 GOLFES
Densidad Seca	1.98 gr/cm3	1.86 gr/cm3	1.82 gr/cm3
CBR a 0.10"	55.40%	32.58 %	11.03 %
CBR a 0.2"	80.64%	41.79 %	14.52%

CBR AL 95% DMS: 32.58% CBR AL 100% DMS: 55.40%

Naun Salvador Salazar Naun Salvador Salazar
TECNICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO INGENIERO CIVIL
CIP N° 162400 CIP N° 162400

9 - Urb. Marabamba N° Parc. 35 LPI Men. Marabamba, (cerca al Penal de Potracancha)
- Car. Central N° 3033 CP Men Vilcar Cayhuayna (Frente al Colegio J. Velazco Alvarado)
Pillco Marca - Huánuco.

geo.estructuras2020@gmail.com
+51 982 008 201



GEO ESTRUCTURAS

Especialistas en Geotecnia

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000 - VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.

SONDEO : C-05 MUESTRA 05

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

CONTENIDO DE HUMEDAD: NTP 339.127 - MTC E 108

MUESTRA	UNIDAD	C-05 MUESTRA 05
Peso de la muestra húmeda + tara	gr.	512.30
Peso de la muestra seca + tara	gr.	480.12
Peso de la tara	gr.	52.40
Peso de la muestra seca	gr	427.72
Peso del agua	gr	32.18
Humedad	%	7.52



GEO ESTRUCTURAS S.S.C.

Naun Salvador Salazar
Naun Salvador Salazar
TECNICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO



- Urb. Marabamba N° Parc. 35 CPMen. Marabamba, (cerca al Penal de Potracancha)
- Car. Central N° 3033 CPMen Vilcar Cayhuayna (Frente al Colegio J. Velazco Alvarado)
Pillco Marca - Huánuco.



geo.estructuras2020@gmail.com



+51 962 008 201

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.

CALICATA : C-05-MUESTRA 05

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO: NTP 339.128 - MTC E 107

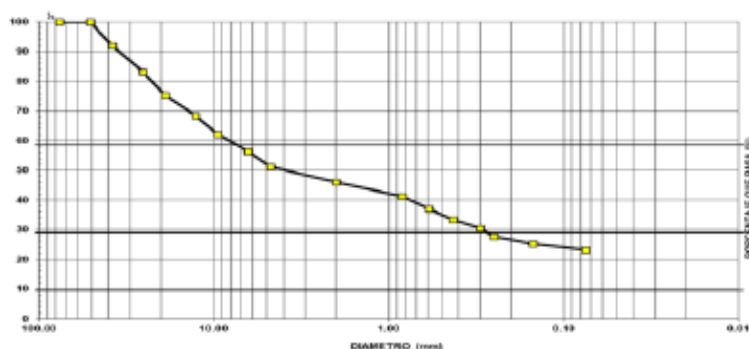
TAMIZ	Tamiz	Peso Retenido	Retenido	Retenido	Pasa		
Nº	(mm)	(gr)	(%)	acum. (%)	(%)		
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso de la Muestra Húmeda	1516.30 gr
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso de la Muestra Seca	1451.50 gr
1 1/2"	38.10	112.40	8.01	8.01	91.99	Peso de la Muestra Seca Lavada	1104.90 gr
1"	25.40	123.60	8.81	16.82	83.18	Peso de la Tara	116.40 gr
3/4"	19.05	109.50	7.80	24.62	75.38		
1/2"	12.70	98.10	6.99	31.61	68.39		
		87.40	6.23	37.84	62.16		
		81.20	5.79	43.63	56.37		
		73.40	5.23	48.86	51.14		
No 10	2.00	71.70	5.10	53.96	46.04		
No 20	0.84	66.90	4.76	58.72	41.28		
No 30	0.59	60.30	4.29	63.01	36.99		
No 40	0.43	49.70	3.54	66.55	33.45		
No 60	0.25	42.60	3.04	69.59	30.41		
No 100	0.15	34.20	2.44	74.73	25.27		
No 200	0.07	29.50	2.11	76.84	23.16		
		0.00	0.00	100.00	0.00		
TOTAL		1995.70					

LÍMITES DE ATTERBERG		GRANULOMETRÍA	
Límite líquido LL	36.12%	Cantidad de Grava	48.34%
Límite plástico LP	27.49%	Cantidad de Arena	20.47%
Ind. de Plasticidad IP	6.04%	Cantidad de Limo-Arilla	31.19%
		Material granular equivalente a:	
		68.81%	

Pasa tamiz Nº 4 :	51.14 %
Pasa tamiz Nº 20:	23.16 %
D ₆₀ (diámetro efectivo):	6.45 mm
D ₃₀ (diámetro efectivo):	1.68 mm
D ₁₀ (diámetro efectivo):	0.02 mm
Coef. de uniformidad (Cu):	322.50
Grado de curvatura (Cc):	3.48

OBSERVACIONES:
Humedad Natural: 7.52%

CURVA DE DISTRIBUCION GRANULOMETRICA



PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000- VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-SN, HUANUCO, 2025."

UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-SN, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.

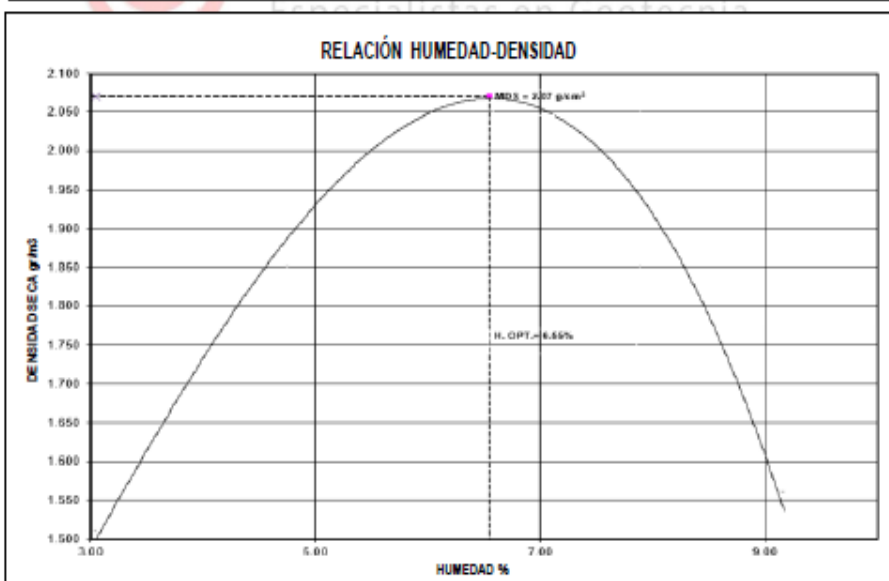
MUESTRA : C-05 MUESTRA 05

MÉTODO : C

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO: NTP 339.141 - MTC E 115

PESO ESPECÍFICO HUMEDO						
ENSAYO	Nº	01	02	03	04	05
Peso de muestra húmeda + molde	gr.	9720	10840	11220	10490	9980
Peso del molde	gr.	6680	6680	6680	6680	6680
Peso de la muestra húmeda	gr.	3040	4160	4540	3810	3300
Volumen del molde	cm ³	2112	2112	2112	2112	2112
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.44	1.97	2.15	1.80	1.59
CONTENIDO DE HUMEDAD						
TARA	Nº	01	02	03	04	05
Peso muestra húmeda + tara	gr.	419.43	418.23	420.43	422.73	426.33
Peso muestra seca + tara	gr.	406.73	400.23	395.13	384.93	383.83
Peso de la tara	gr.	55.00	51.00	61.00	52.00	50.00
Peso del agua	gr.	9.14	14.44	21.74	34.24	39.14
Peso de la muestra seca	gr.	352.73	3905.00	4719.00	4028.00	3110.00
Contenido de humedad	%	3.05	4.76	6.82	7.89	9.17
PESO ESPECÍFICO SECO						
Densidad máxima seca	gr/cm ³	1.51	1.85	2.05	1.85	1.56



DENSIDAD OPTIMA SECA : 2.07 gr/cm³
HUMEDAD OPTIMA : 6.55 %

9 - Urb. Marabamba N° Parc. 35 CPMen. Marabamba, (cerca al Penal de Potrancacha)
- Car. Central N° 3033 CPMen Vilcar Cayhuayna (Frente al Colegio J. Velazco Alvarado)
Pílico Marca - Huánuco.

geo.estructuras.2020@gmail.com
+51 982 008 201



GEO ESTRUCTURAS

Especialistas en Geotecnia

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000- VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.

SONDEO : C-05 MUESTRA 05

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

ENSAYO DE CBR: NTP 339.145 - MTC E 132 - ASTM D 1883-73

MUESTRA		01		02		03	
N° DE GOLPES		56		26		12	
CONDICIÓN		SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO
Peso del molde + suelo húmedo	gr.	11860.00	11940.00	12280.00	12010.00	11720.00	11580.00
Peso del molde	gr.	7030.00	7030.00	7030.00	7030.00	7030.00	7030.00
Peso del suelo húmedo	gr.	4830.00	4910.00	5250.00	4980.00	4690.00	4550.00
Volumen del molde	cm ³ .	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90
Densidad húmeda	gr/cc	2.28	2.24	2.39	2.28	2.23	2.19
Humedad	%	7.50		6.80		7.10	
Densidad seca	gr/cc	2.09		1.98		1.89	
IDENTIFICACIÓN DE TARA		1	2	3	4	5	6
Peso tara + suelo húmedo	gr.	482.30	508.60	494.10	526.20	497.80	532.10
Peso tara + suelo seco	gr.	447.10	476.80	468.20	492.50	466.30	480.12
Peso de la tara	gr.	37.10	31.00	29.20	35.70	30.90	35.70
Peso del agua	gr.	35.20	31.80	25.90	33.70	31.50	34.60
Peso de los sólidos	gr.	410.00	445.80	439.00	456.80	435.40	416.34
Humedad	%	7.46	6.64	5.90	7.38	7.23	8.25

MUESTRA		56 GOLPES		26 GOLPES		12 GOLPES	
TIEMPO		LECT.	PULG.	EXPANSIÓN	LECT.	PULG.	EXPANSIÓN

NO EXPANSIVO

PENETRACIÓN EN PULGADAS	56 GOLPES			26 GOLPES			12 GOLPES		
	LECTURA		CONVERSIÓN	LECTURA		CONVERSIÓN	LECTURA		CONVERSIÓN
	DIAL (kg)	Libras		DIAL (kg)	Libras		DIAL (kg)	Libras	
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	160.20	390.15	120.20	85.40	227.15	54.98	11.30	65.73	15.50
0.050	345.60	794.80	268.60	170.70	412.95	127.30	44.20	137.45	23.50
0.075	485.30	1099.64	379.40	280.20	651.98	195.20	75.40	205.36	48.10
0.100	663.40	1486.92	468.40	377.50	863.25	259.30	104.80	269.13	57.80
0.150	1075.50	2386.15	785.90	572.80	1288.96	405.12	175.60	423.30	76.45
0.200	1487.30	3283.22	1069.60	757.10	1691.45	541.80	240.30	564.18	122.75
0.250	1835.40	4042.00	1450.10	880.30	1961.30	689.20	275.60	640.48	145.30
0.300	2185.40	4805.92	1714.20	990.40	2203.90	778.50	310.40	716.75	163.30
0.400	2488.10	5412.19	1933.40	1277.50	2829.25	1005.10	375.20	857.49	214.00
0.500	2575.00	5646.40	2018.70	1400.60	3098.63	1102.20	404.60	921.45	237.80



GEO ESTRUCTURAS S.S.C.

Naun Salvador Salazar
TECNICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO

INGENIERO CIVIL
CIP N° 162400

Urb. Marabamba N° Parc. 35 CPMen. Marabamba, (cerca al Penal de Potracancha)
Car. Central N° 3033 CPMen Vilcar Cayhuayna (Frente al Colegio J. Velazco Alvarado)
Píllco Marca - Huánuco.

geo.estructuras2020@gmail.com
+51 982 008 201



GEO ESTRUCTURAS

Especialistas en Geotecnia

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000- VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

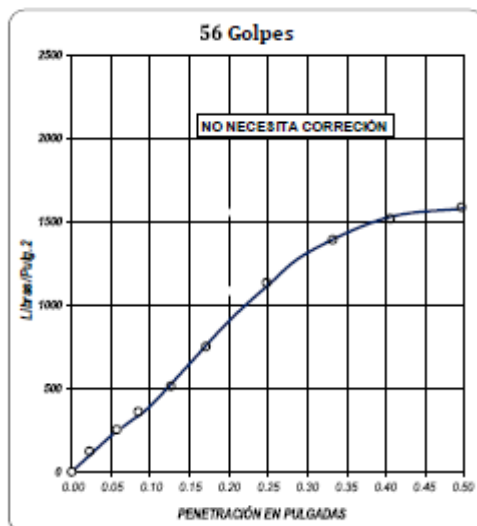
UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.

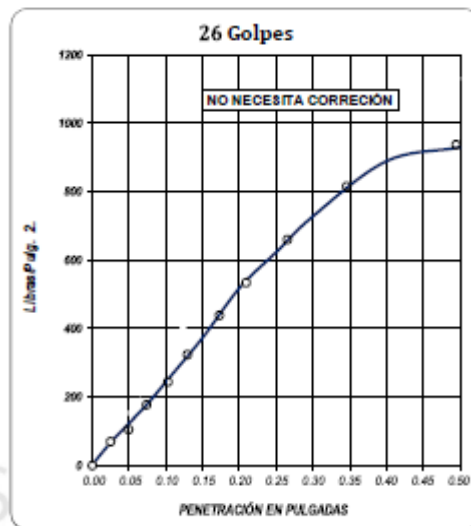
SONDEO : C-05 MUESTRA 05

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

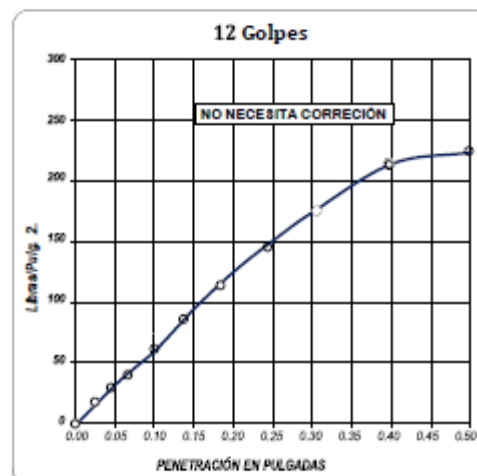
ENSAYO DE CBR: NTP 339.145 - MTC E 132 - ASTM D 1883-73



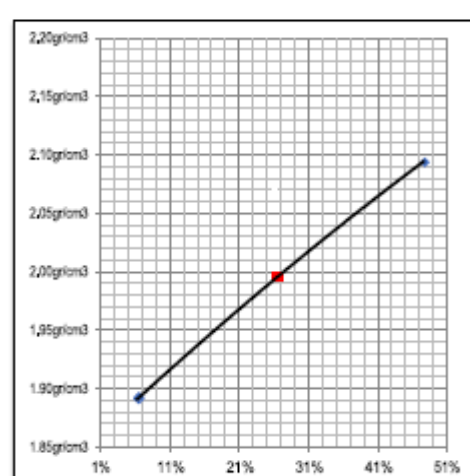
Densidad Seca = 2.09 gr/cm³
CBR a 0.10" = 46.84%
CBR a 0.20" = 71.31%



Densidad Seca = 1.98 gr/cm³
CBR a 0.10" = 25.93%
CBR a 0.20" = 36.12%



Densidad Seca = 1.89 gr/cm³
CBR a 0.10" = 5.78%
CBR a 0.20" = 9.48%



RESULTADOS	CBR A 0.1"	Densidad Seca
56 GOLPES	46.84%	2.09 gr/cm ³
26 GOLPES	25.93%	1.98 gr/cm ³
12 GOLPES	5.78%	1.89 gr/cm ³



Owen H. Salvador Salazar
INGENIERO CIVIL
CIP N° 162400



Urb. Marabamba N° Parc. 35 CPMen, Marabamba, (cerca al Penal de Potracancha)
Car. Central N° 3033 CPMen Vilcar Cayhuayna (Frente al Colegio J. Velasco Alvarado)
Pillco Marca - Huánuco.



estructuras2020@gmail.com

982 008 201



GEO ESTRUCTURAS

Especialistas en Geotecnia

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000- VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

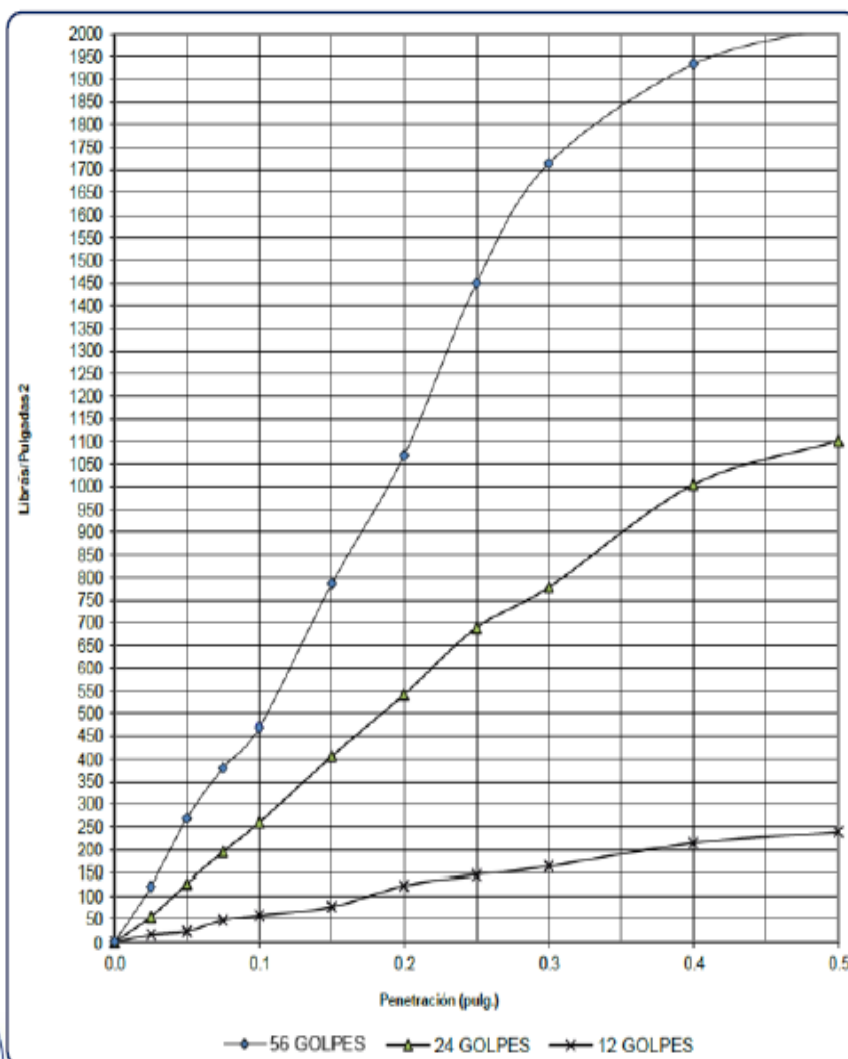
UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.

SONDEO : C-95 MUESTRA 05

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

ENSAYO DE CBR: NTP 339.145 • MTC E 132 • ASTM D 1883-73



RESULTADOS	56 GOLPES	24 GOLPES	12 GOLPES
Densidad Seca	2.09 gr/cm³	1.98 gr/cm³	1.89 gr/cm³
CBR a 0.10"	48.84%	25.93 %	5.78 %
CBR a 0.20"	71.31%	38.12%	8.18%

CBR AL 95% DMS : 32.58%	CBR AL 100% DMS : 55.40%
-------------------------	--------------------------

Naun Salvador Salazar
TECNICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO

INGENIERO CIVIL
CIP N° 162400

Urb. Marabamba N° Parc. 35 CPMen. Marabamba, (cerca al Penal de Potracancha)
Car. Central N° 3033 CPMen Vilar Cayhuayna (Frente al Colegio J. Velasco Alvarado)
Pílico Marca - Huánuco.

geo.estructuras2020@gmail.com
+51 962 008 201

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORIZANO.

SONDEO : C-06 MUESTRA 06

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

CONTENIDO DE HUMEDAD: NTP 339.127 - MTC E 108

MUESTRA	UNIDAD	C-06 MUESTRA 06
Peso de la muestra húmeda + tara	gr.	519.85
Peso de la muestra seca + tara	gr.	483.15
Peso de la tara	gr.	52.40
Peso de la muestra seca	gr	430.75
Peso del agua	gr	36.70
Humedad	%	8.52



GEO ESTRUCTURAS S.S.C.

Naun Salvador Salazar
TECNICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO


 **Owen H. Salvador Salazar**
INGENIERO CIVIL
CIP N° 162400

 - Urb. Marabamba N° Parc. 35 CPMen. Marabamba, (cerca al Penal de Potracancha)
- Car. Central N° 3033 CPMen Vilcar Cayhuayna (Frente al Colegio J. Velazco Alvarado)
Pilco Marca - Huánuco.

 geo.estructuras2020@gmail.com
 +51 982 008 201

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000- VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.

CALICATA : C-06-MUESTRA 06

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO: NTP 339.128 - MTC E 107

TAMIZ N°	Tamiz (mm)	Peso Retenido (gr)	Retenido (%)	Retenido acum. (%)	Pasa (%)
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	120.20	6.10	6.10	93.90
1"	25.40	135.30	8.87	12.96	87.04
3/4"	19.05	160.20	8.13	21.09	78.91
1/2"	12.70	150.60	7.64	28.74	71.26
3/8"	9.50	130.60	6.62	35.36	64.64
Nº 4	4.75	125.60	6.37	41.73	58.27
No 10	2.00	105.80	5.37	52.59	47.31
No 20	0.84	95.20	4.83	57.52	42.48
No 30	0.59	85.70	4.35	61.87	38.13
No 40	0.43	70.20	3.56	66.43	34.57
No 60	0.25	60.50	3.07	68.50	31.50
No 80	0.18	55.10	2.80	71.29	28.71
No 100	0.15	40.20	2.04	73.33	26.67
No 200	0.075	30.70	1.56	74.89	25.11
TOTAL		1995.70	25.11	100.00	0.00

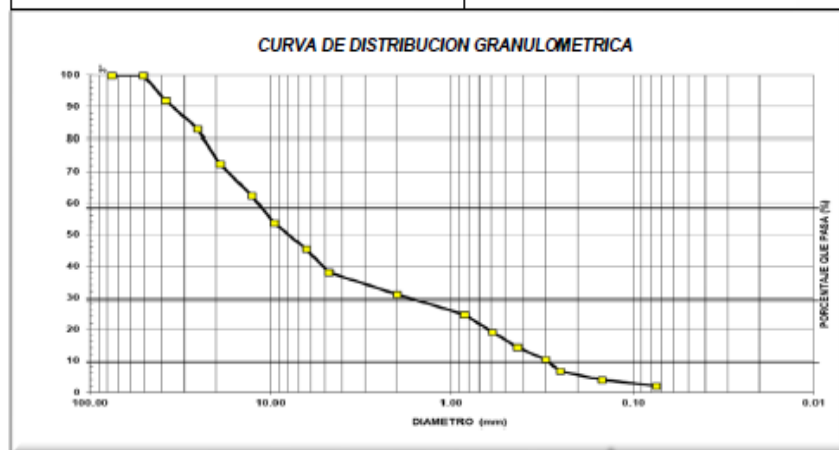
Peso de la Muestra Humeda	2154.40 gr
Peso de la Muestra Seca	1951.70 gr
Peso de la Muestra Seca Lavada	124.80 gr
Peso de la Tara	128.30 gr

LÍMITES DE ATTERBERG		GRANULOMETRÍA	
Límite líquido LL	34.67%	Cantidad de Grava	43.89%
Límite plástico LP	26.31%	Cantidad de Arena	22.14%
Ind. de Plasticidad IP	8.04%	Cantidad de Limo-Arilla	33.97%
Material granular equivalente a: 66.03%			

Pasa tamiz Nº 4 :	52.68 %
Pasa tamiz Nº 200:	25.11 %
D60(diámetro efectivo):	7.02 mm
D30(diámetro efectivo):	1.70 mm
D10 (diámetro efectivo):	0.02 mm
Coef. de uniformidad (Cu):	175.51
Grado de curvatura (Cc):	4.56

OBSERVACIONES:

Humedad Natural: 8.52%





GEO ESTRUCTURAS

Especialistas en Geotecnia

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.

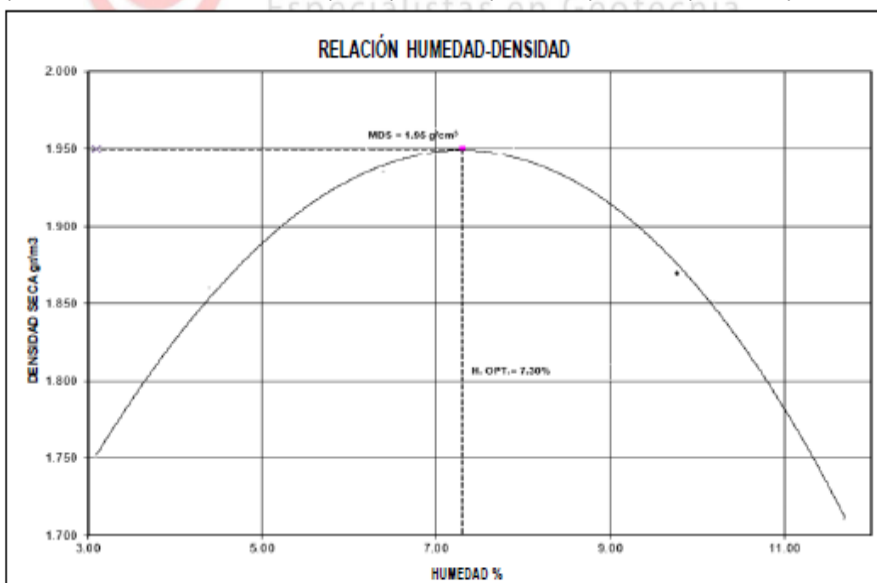
MUESTRA : C-06 MUESTRA 06

MÉTODO : C

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO: NTP 339.141 - MTC E 115

PESO ESPECÍFICO HUMEDO						
ENSAYO	Nº	01	02	03	04	05
Peso de muestra húmeda + molde	gr.	10557	10937	11295	11153	10824
Peso del molde	gr.	6680	6680	6680	6680	6680
Peso de la muestra húmeda	gr.	3911	4256	4614	4472	4143
Volumen del molde	cm ³	2112	2112	2112	2112	2112
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.85	2.02	2.18	2.12	1.96
CONTENIDO DE HUMEDAD						
TARA	Nº	01	02	03	04	05
Peso muestra húmeda + tara	gr.	410.10	408.90	411.10	413.40	417.00
Peso muestra seca + tara	gr.	397.40	390.90	385.80	375.60	374.30
Peso de la tara	gr.	54.00	52.60	51.50	50.70	51.90
Peso del agua	gr.	12.70	18.00	25.30	37.80	42.70
Peso de la muestra seca	gr.	355.95	350.85	346.85	337.45	334.95
Contenido de humedad	%	3.10	4.40	6.40	10.20	11.70
PESO ESPECÍFICO SECO						
Densidad máxima seca	gr/cm ³	1.75	1.86	1.93	1.85	1.71



DENSIDAD ÓPTIMA SECA : 1.95 gr/cm³
HUMEDAD ÓPTIMA : 7.30 %



- Urb. Marabamba N° Parc. 35 CPMen. Marabamba, (cerca al Penal de Potracancha)

- Car. Central N° 3033 CPMen Vilcar Cayhuayna (Frente al Colegio J. Velazco Alvarado)

Pilco Marca - Huánuco.



geo.estructuras2020@gmail.com



+51 982 008 201



GEO ESTRUCTURAS

Especialistas en Geotecnia

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000- VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.

SONDEO : C-06 MUESTRA 06

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

ENSAYO DE CBR: NTP 339.145 - MTC E 132 - ASTM D 1883-73

MUESTRA Nº DE GOLPES CONDICIÓN		01 56		02 26		03 12	
		SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO
Peso del molde + suelo húmedo	gr.	11694.44	11987.44	11499.44	11788.44	11337.44	11621.55
Peso del molde	gr.	7030.80	7030.80	7030.80	7030.80	7067.00	7067.00
Peso del suelo húmedo	gr.	4673.53	4956.53	4478.53	4767.53	4280.33	4364.20
Volumen del molde	cm ³ .	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90	2102.90
Densidad húmeda	gr/cc	2.09	2.23	1.99	2.13	1.90	2.04
Humedad	%	7.50		8.60		9.50	
Densidad seca	gr/cc	1.95		1.85		1.75	
IDENTIFICACIÓN DE TARA		1	2	3	4	5	6
Peso tara + suelo húmedo	gr.	432.59	468.29	440.69	476.99	447.49	474.34
Peso tara + suelo seco	gr.	408.06	433.06	412.66	429.46	418.06	423.56
Peso de la tara	gr.	53.20	68.50	53.70	68.50	54.30	68.50
Peso del agua	gr.	30.80	41.50	34.30	53.70	37.90	52.80
Peso de los sólidos	gr.	359.70	369.40	363.80	365.80	365.80	365.80
Humedad	%	8.10	10.80	8.90	14.20	9.80	14.00

MUESTRA TIEMPO	56 GOLPES		26 GOLPES		12 GOLPES	
	LECT. PULG.	EXPANSIÓN	LECT. PULG.	EXPANSIÓN	LECT. PULG.	EXPANSIÓN

NO EXPANSIVO

PENETRACIÓN EN PULGADAS	56 GOLPES			26 GOLPES			12 GOLPES		
	LECTURA DIAL (kg)	CONVERSIÓN		LECTURA DIAL (kg)	CONVERSIÓN		LECTURA DIAL (kg)	CONVERSIÓN	
		Libras	Lb/Pulg.2.		Libras	Lb/Pulg.2.		Libras	Lb/Pulg.2.
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	232.00	434.70	185.39	151.50	265.20	126.01	81.50	110.70	74.38
0.050	407.70	830.90	314.44	234.50	448.10	187.00	106.10	165.00	92.48
0.075	551.70	1148.40	420.27	317.50	631.10	247.98	127.10	211.40	107.94
0.100	699.20	1473.60	528.67	412.40	840.20	317.69	148.20	266.90	123.44
0.150	1113.70	2387.40	833.28	602.10	1258.40	457.08	200.90	374.00	162.16
0.200	1531.70	3308.80	1140.43	815.40	1728.80	613.88	245.50	474.70	195.72
0.250	1882.90	4083.30	1398.57	969.50	2068.50	727.13	289.90	559.90	224.11
0.300	2199.00	4780.20	1630.89	1123.60	2408.20	840.26	320.80	637.20	249.90
0.400	2539.70	5531.30	1881.25	1360.70	2931.00	1014.62	380.10	768.90	293.80
0.500	2634.60	5740.40	1950.96	1420.00	3061.70	1058.17	394.10	799.90	304.12



Urb. Marabamba N° Parc. 35 CPMen, Marabamba, (cerca al Penal de Potracancha)
- Car. Central N° 3033 CPMen Vilcar Cayhuayna (Frente al Colegio J. Velasco Alvarado)
Pillco Marca - Huánuco.

geo.estructuras2020@gmail.com
+51 962 008 201



GEO ESTRUCTURAS

Especialistas en Geotecnia

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

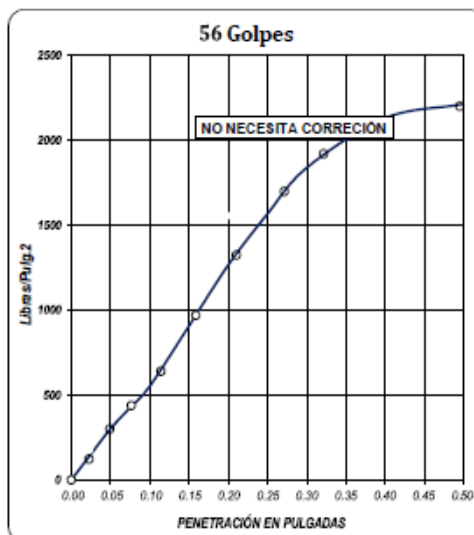
UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.

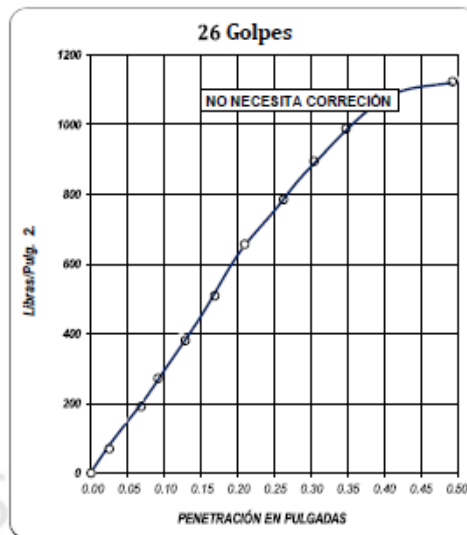
SONDEO : C-06 MUESTRA 06

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

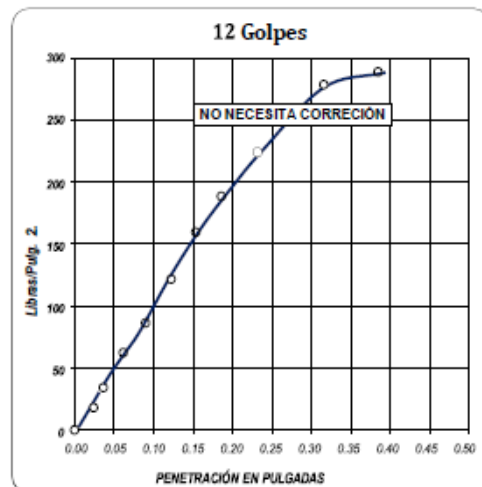
ENSAYO DE CBR: NTP 339.145 - MTC E 132 - ASTM D 1883-73



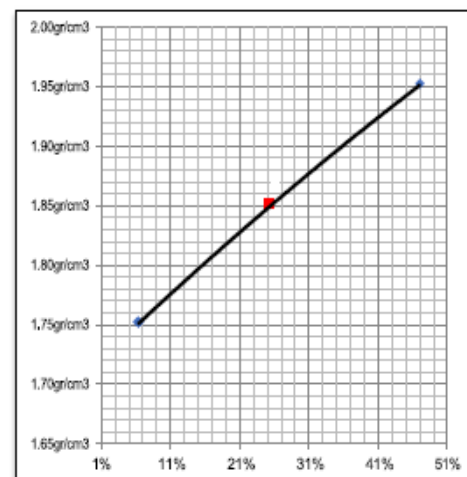
Densidad Seca = 1.95 gr/cm³
CBR a 0.10" = 52.87%
CBR a 0.20" = 76.03%



Densidad Seca = 1.85 gr/cm³
CBR a 0.10" = 31.77%
CBR a 0.20" = 40.93%



Densidad Seca = 1.75 gr/cm³
CBR a 0.10" = 12.34%
CBR a 0.20" = 13.05%



RESULTADOS	CBR A 0.1"	Densidad Seca
56 GOLPES	52.87%	1.95 gr/cm ³
26 GOLPES	31.77%	1.85 gr/cm ³
12 GOLPES	12.34%	1.75 gr/cm ³



Owen H. Salvador Salazar
INGENIERO CIVIL
CIP N° 162400



- Urb. Marabamba N° Parc. 35 CPMen. Marabamba, (cerca al Penal de Potracancha)
- Car. Central N° 3033 CPMen Vilcar Cayhuayna (Frente al Colegio J. Velazco Alvarado)
Pillco Marca - Huánuco.

GEO ESTRUCTURAS S.S.C.
Naun Salvador Salazar
TECNICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO



estructuras2020@gmail.com

982 008 201



GEO ESTRUCTURAS

Especialistas en Geotecnia

PROYECTO : "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO, 2025."

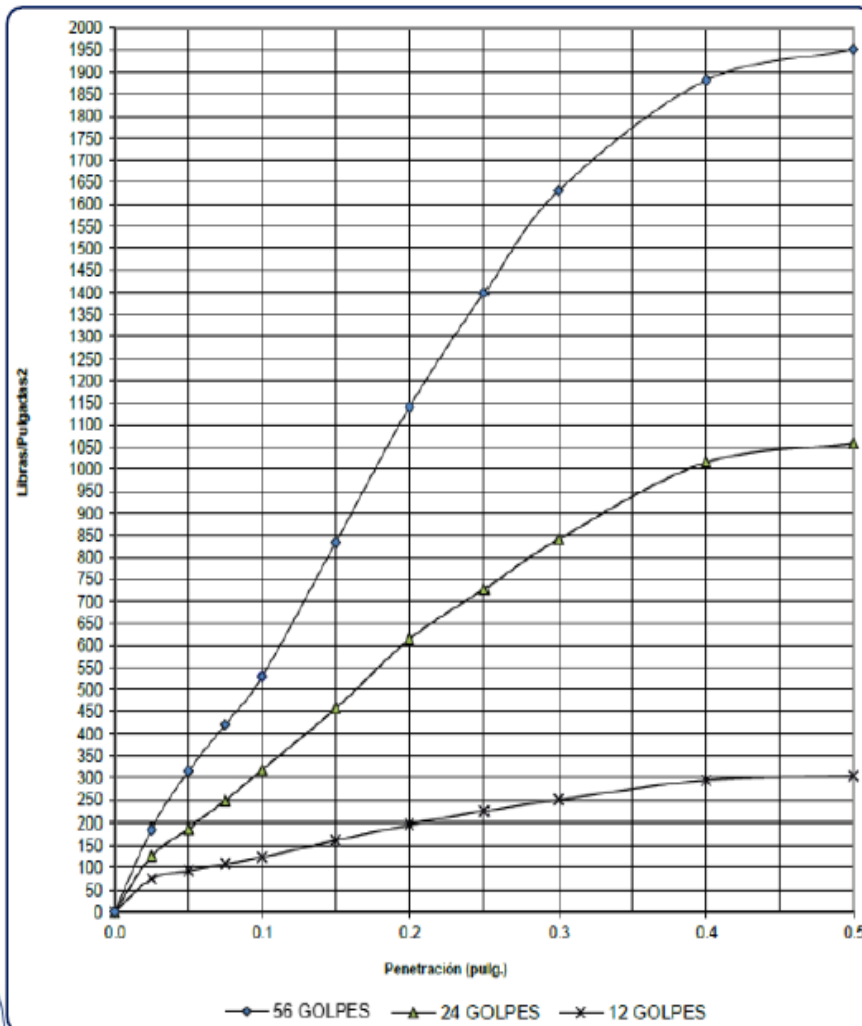
UBICACIÓN : PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000-VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUANUCO.

SOLICITA : VICENTE MARIANO MELGAR SOLORZANO.

SONDEO : C-06 MUESTRA 06

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2025.

ENSAYO DE CBR: NTP 339.145 - MTC E 132 - ASTM D 1883-73



RESULTADOS	56 GOLFES	24 GOLFES	12 GOLFES
Densidad Seca	1.95 gr/cm³	1.85 gr/cm³	1.75 gr/cm³
CBR a 0.10"	52.87%	31.77 %	12.34 %
CBR a 0.20"	76.03%	40.93%	13.05%

CBR AL 95% DMS	31.77%	CBR AL 100% DMS	52.87%
----------------	--------	-----------------	--------

Naun Salvador Salazar

TECNICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO

INGENIERO CIVIL

CIP N° 162400

Urb. Marabamba N° Parc. 35 CPMen. Marabamba, (cerca al Penal de Potracancha)
Car. Central N° 3033 CPMen Vilcar Cayhuayna (Frente al Colegio J. Velazco Alvarado)
Pílico Marca - Huánuco.

geo.estructuras2020@gmail.com
+51 982 008 201

ANEXO 05

AFORO VEHICULAR

ESTUDIO DE TRAFICO																							
TESIS: "Rediseño del pavimento flexible y condición funcional del tramo Puente Huancachupa km 167+000 hasta Vichaycoto km 173+000, Ruta nacional PE-3N, Huánuco-2025"																							
TRAMO DE LA CARRETERA: Puente Huancachupa km 167+000 hasta Vichaycoto km 173+000										HORA INICIO: 00:00													
SENTIDO : N  S 										HORA FINAL: 24:00													
FECHA : 17-11-2025										TESISTA: Vicente Mariano Melgar Solorzano													
DIA DE AFORO : Lunes										OBSERVACIONES: -													
HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS			CAMION			SEMI TRAYLER					TRAYLER				TOTAL	
																							
LUNES																							
0:00-1:00	40	6	7	5	0	0	3	5	1	5	5	3	0	0	1	0	2	16	0	1	0	1	101
1:00-2:00	47	3	10	8	0	0	6	7	8	6	6	2	1	0	1	0	2	18	0	1	1	0	129
2:00-3:00	60	6	15	10	0	0	8	5	2	9	8	3	1	0	2	0	1	22	0	1	0	1	155
3:00-4:00	85	9	17	13	0	0	5	8	2	13	15	6	0	1	0	1	2	24	0	1	0	1	204
4:00-5:00	109	16	26	22	14	0	6	10	1	17	14	5	2	0	1	0	3	30	0	1	0	3	282
5:00-6:00	247	32	36	28	24	0	7	24	1	33	29	6	0	2	0	1	3	29	0	1	0	2	506
6:00-7:00	385	74	63	54	124	112	6	22	0	28	44	7	2	0	2	0	3	40	1	0	0	1	968
7:00-8:00	432	55	82	75	140	72	2	5	2	52	45	2	0	2	0	0	2	37	0	1	1	1	1010
8:00-9:00	307	54	56	61	125	101	6	3	0	63	21	3	0	1	0	1	3	33	0	0	1	2	844
9:00-10:00	265	43	77	51	112	113	5	1	0	52	30	7	0	3	0	0	2	41	0	0	0	0	800
10:00-11_00	297	41	79	39	121	87	2	1	0	63	45	8	0	6	0	3	2	68	0	1	0	2	867
11:00-12:00	246	43	66	54	123	89	2	0	0	36	48	5	0	0	0	0	1	53	0	0	2	1	768
12:00-13:00	290	35	72	36	102	92	1	1	0	46	37	9	0	2	0	0	3	55	1	1	0	3	788
13:00-14:00	351	40	62	29	139	107	2	1	0	51	20	10	0	0	0	0	0	46	0	0	0	2	860
14:00-15:00	337	41	87	24	116	99	5	0	0	48	37	3	1	1	0	0	1	43	0	0	0	0	844
15:00-16:00	262	38	71	21	124	79	1	0	0	45	23	7	0	1	1	0	0	70	0	0	1	3	749
16:00-17:00	288	29	75	26	120	84	3	0	0	49	31	6	0	0	1	0	3	72	0	0	0	2	790
17:00-18:00	366	33	82	26	118	97	8	1	0	41	25	7	0	0	1	1	5	64	1	0	2	1	881
18:00-19:00	378	40	64	41	115	70	2	2	0	18	15	6	0	2	1	0	1	22	0	1	2	0	783
19:00-20:00	178	17	33	17	61	55	0	0	0	7	7	1	0	0	1	0	1	44	0	0	2	1	427
20:00-21:00	144	14	28	14	47	45	1	6	1	6	5	3	0	1	0	0	1	36	0	1	2	2	357
21:00-22:00	117	10	17	13	40	26	6	9	3	5	9	6	0	1	1	1	0	33	0	1	0	2	302
22:00-23:00	100	8	16	7	6	0	5	8	2	8	13	7	1	0	0	1	1	24	0	2	0	1	210
23:00-24:00	52	6	9	6	0	0	5	2	3	6	10	7	0	1	0	1	0	20	1	0	1	1	131
TOTAL	5383	693	1152	679	1772	1328	97	122	29	706	539	130	9	26	15	12	47	941	5	16	17	38	

ESTUDIO DE TRAFICO																							
TESIS: "Rediseño del pavimento flexible y condición funcional del tramo Puente Huancachupa km 167+000 hasta Vichaycoto km 173+000, Ruta nacional PE-3N, Huánuco-2025"																							
TRAMO DE LA CARRETERA: Puente Huancachupa km 167+000 hasta Vichaycoto km 173+000						HORA INICIO: 00:00						HORA FINAL: 24:00						TESISTA: Vicente Mariano Melgar Solorzano					
SENTIDO : N ← S →																							
FECHA : 18-11-2025																							
DIA DE AFORO : Martes												OBSERVACIONES: -											
HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS			CAMION			SEMI TRAYLER						TRAYLER				TOTAL
			PICK UP	PANEL	RURAL COMBI		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2S1	2S2	2S3	3S1	
																							
MARTES																							
0:00-1:00	34	5	6	4	0	0	3	4	1	4	4	3	0	0	1	0	2	14	0	1	0	1	86
1:00-2:00	40	3	9	7	0	0	5	6	7	5	5	2	1	0	1	0	2	16	0	1	1	0	110
2:00-3:00	51	5	13	9	0	0	7	4	2	8	7	3	1	0	2	0	1	19	0	1	0	1	132
3:00-4:00	73	8	15	11	0	0	4	7	2	11	13	5	0	1	0	1	2	21	0	1	0	1	173
4:00-5:00	93	14	23	19	12	0	5	9	1	15	12	4	2	0	1	0	3	25	0	1	0	3	240
5:00-6:00	211	27	30	24	21	0	6	21	1	28	25	5	0	2	0	1	3	25	0	1	0	2	431
6:00-7:00	328	63	54	46	106	95	5	19	0	24	37	6	2	0	2	0	3	34	1	0	0	1	825
7:00-8:00	368	47	70	64	120	62	2	4	2	44	38	2	0	2	0	0	2	31	0	1	1	1	860
8:00-9:00	262	46	48	52	107	86	5	3	0	54	18	3	0	1	0	1	3	28	0	0	1	2	719
9:00-10:00	225	36	66	43	95	96	4	1	0	44	25	6	0	3	0	0	2	35	0	0	0	0	682
10:00-11_00	253	35	68	33	103	74	2	1	0	54	38	7	0	5	0	3	2	58	0	1	0	2	739
11:00-12:00	210	36	56	46	105	75	2	0	0	30	41	4	0	0	0	0	1	45	0	0	2	1	655
12:00-13:00	247	29	62	30	87	78	1	1	0	39	31	8	0	2	0	0	3	47	1	1	0	3	671
13:00-14:00	299	34	53	25	119	91	2	1	0	43	17	9	0	0	0	0	0	39	0	0	0	2	733
14:00-15:00	287	35	74	21	99	84	4	0	0	41	31	3	1	1	0	0	1	36	0	0	0	0	719
15:00-16:00	223	32	61	18	106	68	1	0	0	38	20	6	0	1	1	0	0	60	0	0	1	3	638
16:00-17:00	245	25	64	23	102	72	3	0	0	42	26	5	0	0	1	0	3	62	0	0	0	2	673
17:00-18:00	312	28	70	23	101	82	7	1	0	35	22	6	0	0	1	1	4	55	1	0	2	1	751
18:00-19:00	322	34	55	35	98	60	2	2	0	16	13	5	0	2	1	0	1	19	0	1	2	0	667
19:00-20:00	152	15	28	15	52	47	0	0	0	6	6	1	0	0	1	0	1	37	0	0	2	1	364
20:00-21:00	123	12	24	12	40	38	1	5	1	5	4	3	0	1	0	0	1	30	0	1	2	2	304
21:00-22:00	100	9	15	11	34	23	5	8	3	4	8	5	0	1	1	1	0	28	0	1	0	2	258
22:00-23:00	85	7	14	6	5	0	4	7	2	7	11	6	1	0	0	1	1	21	0	2	0	1	179
23:00-24:00	44	5	8	5	0	0	4	2	3	5	9	6	0	1	0	1	0	17	1	0	1	1	112
TOTAL	4587	591	982	578	1510	1132	82	104	25	602	460	111	8	23	13	10	40	883	4	14	15	32	

ESTUDIO DE TRAFICO																							
TESIS: "Rediseño del pavimento flexible y condición funcional del tramo Puente Huancachupa km 167+000 hasta Vichaycoto km 173+000, Ruta nacional PE-3N, Huánuco-2025"																							
TRAMO DE LA CARRETERA: Puente Huancachupa km 167+000 hasta Vichaycoto km 173+000												HORA INICIO: 00:00											
SENTIDO : N  S 												HORA FINAL: 24:00											
FECHA : 19-11-2025												TESISTA: Vicente Mariano Melgar Solorzano											
DIA DE AFORO : Miercoles												OBSERVACIONES: -											
HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS			CAMION			SEMI TRAYLER						TRAYLER				TOTAL
	PICK UP	PANEL	RURAL COMBI	2E	3E		4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2S1	2S2	2S3	3S1			
																							
MIERCOLES																							
0:00-1:00	37	5	6	4	0	0	3	4	1	4	4	3	0	0	1	0	2	15	0	1	0	1	92
1:00-2:00	43	3	9	7	0	0	5	6	7	5	5	2	1	0	1	0	2	17	0	1	1	0	118
2:00-3:00	55	5	14	9	0	0	7	4	2	8	7	3	1	0	2	0	1	20	0	1	0	1	142
3:00-4:00	78	8	16	12	0	0	4	7	2	12	14	5	0	1	0	1	2	22	0	1	0	1	186
4:00-5:00	100	15	24	20	13	0	5	9	1	16	13	4	2	0	1	0	3	27	0	1	0	3	257
5:00-6:00	226	29	33	25	22	0	6	22	1	30	26	5	0	2	0	1	3	26	0	1	0	2	462
6:00-7:00	352	67	58	49	113	102	5	20	0	25	40	6	2	0	2	0	3	37	1	0	0	1	884
7:00-8:00	395	50	75	68	128	66	2	4	2	47	41	2	0	2	0	0	2	34	0	1	1	1	922
8:00-9:00	280	49	51	56	114	92	5	3	0	58	19	3	0	1	0	1	3	30	0	0	1	2	771
9:00-10:00	242	39	70	46	102	103	4	1	0	47	27	6	0	3	0	0	2	38	0	0	0	0	731
10:00-11_00	271	38	72	36	110	80	2	1	0	58	41	7	0	5	0	3	2	62	0	1	0	2	792
11:00-12:00	225	39	60	49	112	81	2	0	0	33	44	4	0	0	0	0	1	48	0	0	2	1	701
12:00-13:00	265	32	66	33	93	84	1	1	0	42	34	8	0	2	0	0	3	50	1	1	0	3	719
13:00-14:00	320	37	57	26	127	98	2	1	0	46	18	9	0	0	0	0	0	42	0	0	0	2	785
14:00-15:00	308	38	80	22	106	90	4	0	0	44	34	3	1	1	0	0	1	39	0	0	0	0	771
15:00-16:00	239	35	65	19	113	72	1	0	0	41	21	6	0	1	1	0	0	64	0	0	1	3	684
16:00-17:00	263	26	68	24	109	77	3	0	0	45	28	5	0	0	1	0	3	66	0	0	0	2	721
17:00-18:00	334	30	75	24	108	88	7	1	0	38	23	6	0	0	1	1	4	59	1	0	2	1	804
18:00-19:00	345	37	59	38	105	64	2	2	0	17	14	5	0	2	1	0	1	20	0	1	2	0	715
19:00-20:00	163	16	30	16	56	50	0	0	0	6	6	1	0	0	1	0	1	40	0	0	2	1	390
20:00-21:00	131	13	25	13	43	41	1	5	1	5	4	3	0	1	0	0	1	33	0	1	2	2	326
21:00-22:00	107	9	16	12	37	24	5	8	3	4	8	5	0	1	1	1	0	30	0	1	0	2	276
22:00-23:00	91	7	15	6	5	0	4	7	2	7	12	6	1	0	0	1	1	22	0	2	0	1	192
23:00-24:00	47	5	8	5	0	0	4	2	3	5	9	6	0	1	0	1	0	18	1	0	1	1	120
TOTAL	4915	633	1052	620	1618	1213	88	111	26	645	492	119	8	24	14	11	43	859	4	15	16	35	

ESTUDIO DE TRAFICO																							
TESIS: "Rediseño del pavimento flexible y condición funcional del tramo Puente Huancachupa km 167+000 hasta Vichaycoto km 173+000, Ruta nacional PE-3N, Huánuco-2025"																							
TRAMO DE LA CARRETERA: Puente Huancachupa km 167+000 hasta Vichaycoto km 173+000												HORA INICIO: 00:00											
SENTIDO : N  S 												HORA FINAL: 24:00											
FECHA : 19-11-2025												TESISTA: Vicente Mariano Melgar Solorzano											
DIA DE AFORO : Miercoles												OBSERVACIONES: -											
HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS			CAMION			SEMI TRAYLER						TRAYLER				TOTAL
			PICK UP 	PANEL 	RURAL COMBI 		2E 	3E 	4E 	2E 	3E 	4E 	281 	282 	283 	381 	382 	>=383 	281 	282 	283 	381 	
JUEVES																							
0:00-1:00	35	5	6	4			3	4	1	4	4	3			1		2	14		1		1	88
1:00-2:00	41	3	9	7			5	6	7	5	5	2	1		1		2	16		1	1		112
2:00-3:00	52	5	13	9			7	4	2	8	7	3	1		2		1	19		1		1	135
3:00-4:00	74	8	15	11			4	7	2	11	13	5		1		1	2	21		1		1	177
4:00-5:00	95	14	23	19	12		5	9	1	15	12	4	2		1		3	26		1		3	245
5:00-6:00	215	28	31	24	21		6	21	1	29	25	5		2		1	3	25		1		2	440
6:00-7:00	335	64	55	47	108	97	5	19		24	38	6	2		2		3	35	1			1	842
7:00-8:00	376	48	71	65	122	63	2	4	2	45	39	2		2			2	32		1	1	1	878
8:00-9:00	267	47	49	53	109	88	5	3		55	18	3		1		1	3	29			1	2	734
9:00-10:00	230	37	67	44	97	98	4	1		45	26	6		3			2	36					696
10:00-11_00	258	36	69	34	105	76	2	1		55	39	7		5		3	2	59		1		2	754
11:00-12:00	214	37	57	47	107	77	2			31	42	4					1	46			2	1	668
12:00-13:00	252	30	63	31	89	80	1	1		40	32	8		2			3	48	1	1		3	685
13:00-14:00	305	35	54	25	121	93	2	1		44	17	9						40				2	748
14:00-15:00	293	36	76	21	101	86	4			42	32	3	1	1			1	37					734
15:00-16:00	228	33	62	18	108	69	1			39	20	6		1	1			61			1	3	651
16:00-17:00	250	25	65	23	104	73	3			43	27	5			1		3	63				2	687
17:00-18:00	318	29	71	23	103	84	7	1		36	22	6			1	1	4	56	1		2	1	766
18:00-19:00	329	35	56	36	100	61	2	2		16	13	5		2	1		1	19		1	2		681
19:00-20:00	155	15	29	15	53	48				6	6	1			1		1	38			2	1	371
20:00-21:00	125	12	24	12	41	39	1	5	1	5	4	3		1			1	31		1	2	2	310
21:00-22:00	102	9	15	11	35	23	5	8	3	4	8	5		1	1	1		29		1		2	263
22:00-23:00	87	7	14	6	5		4	7	2	7	11	6	1			1	1	21		2		1	183
23:00-24:00	45	5	8	5			4	2	3	5	9	6		1		1		17	1		1	1	114
TOTAL	4681	603	1002	590	1541	1155	84	106	25	614	469	113	8	23	13	10	41	818	4	14	15	33	

ESTUDIO DE TRAFICO																							
TESIS: "Rediseño del pavimento flexible y condición funcional del tramo Puente Huancachupa km 167+000 hasta Vichaycoto km 173+000, Ruta nacional PE-3N, Huánuco-2025"																							
TRAMO DE LA CARRETERA: Puente Huancachupa km 167+000 hasta Vichaycoto km 173+000						HORA INICIO: 00:00						HORA FINAL: 24:00						TESISTA: Vicente Mariano Melgar Solorzano					
SENTIDO : N  S 																		OBSERVACIONES: -					
FECHA : 19-11-2025																							
DIA DE AFORO : Miercoles																							
HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS			CAMION			SEMI TRAYLER					TRAYLER				TOTAL	
			PICK UP 	PANEL 	RURAL COMBI 		2E 	3E 	4E 	2E 	3E 	4E 	2S1 	2S2 	2S3 	3S1 	3S2 	>=3S3 	2T1 	2T2 	2T3 		3T1 
VIERNES																							
0:00-1:00	35	5	6	4	0	0	3	4	1	4	4	3	0	0	1	0	2	14	0	1	0	1	87
1:00-2:00	41	3	9	7	0	0	5	6	7	5	5	2	1	0	1	0	2	16	0	1	1	0	111
2:00-3:00	51	5	13	9	0	0	7	4	2	8	7	3	1	0	2	0	1	19	0	1	0	1	134
3:00-4:00	73	8	15	11	0	0	4	7	2	11	13	5	0	1	0	1	2	21	0	1	0	1	175
4:00-5:00	94	14	23	19	12	0	5	9	1	15	12	4	2	0	1	0	3	26	0	1	0	3	243
5:00-6:00	213	28	31	24	21	0	6	21	1	29	25	5	0	2	0	1	3	25	0	1	0	2	436
6:00-7:00	332	63	54	47	107	96	5	19	0	24	38	6	2	0	2	0	3	35	1	0	0	1	834
7:00-8:00	372	48	70	64	121	62	2	4	2	45	39	2	0	2	0	0	2	32	0	1	1	1	869
8:00-9:00	264	47	49	52	108	87	5	3	0	54	18	3	0	1	0	1	3	29	0	0	1	2	727
9:00-10:00	228	37	66	44	96	97	4	1	0	45	26	6	0	3	0	0	2	36	0	0	0	0	689
10:00-11_00	255	36	68	34	104	75	2	1	0	54	39	7	0	5	0	3	2	58	0	1	0	2	746
11:00-12:00	212	37	56	47	106	76	2	0	0	31	42	4	0	0	0	0	1	46	0	0	2	1	661
12:00-13:00	249	30	62	31	88	79	1	1	0	40	32	8	0	2	0	0	3	48	1	1	0	3	678
13:00-14:00	302	35	53	25	120	92	2	1	0	44	17	9	0	0	0	0	0	40	0	0	0	2	741
14:00-15:00	290	36	75	21	100	85	4	0	0	42	32	3	1	1	0	0	1	37	0	0	0	0	727
15:00-16:00	226	33	61	18	107	68	1	0	0	39	20	6	0	1	1	0	0	60	0	0	1	3	644
16:00-17:00	248	25	64	23	103	72	3	0	0	43	27	5	0	0	1	0	3	62	0	0	0	2	680
17:00-18:00	315	29	70	23	102	83	7	1	0	36	22	6	0	0	1	1	4	55	1	0	2	1	758
18:00-19:00	326	35	55	36	99	60	2	2	0	16	13	5	0	2	1	0	1	19	0	1	2	0	674
19:00-20:00	153	15	29	15	52	48	0	0	0	6	6	1	0	0	1	0	1	38	0	0	2	1	367
20:00-21:00	124	12	24	12	41	39	1	5	1	5	4	3	0	1	0	0	1	31	0	1	2	2	307
21:00-22:00	101	9	15	11	35	23	5	8	3	4	8	5	0	1	1	1	0	29	0	1	0	2	260
22:00-23:00	86	7	14	6	5	0	4	7	2	7	11	6	1	0	0	1	1	21	0	2	0	1	181
23:00-24:00	45	5	8	5	0	0	4	2	3	5	9	6	0	1	0	1	0	17	1	0	1	1	113
TOTAL	4634	597	992	584	1526	1143	83	105	25	608	464	112	8	23	13	10	41	810	4	14	15	33	

ESTUDIO DE TRAFICO																							
TESIS: "Rediseño del pavimento flexible y condición funcional del tramo Puente Huancachupa km 167+000 hasta Vichaycoto km 173+000, Ruta nacional PE-3N, Huánuco-2025"																							
TRAMO DE LA CARRETERA: Puente Huancachupa km 167+000 hasta Vichaycoto km 173+000												HORA INICIO: 00:00											
SENTIDO : N  S 												HORA FINAL: 24:00											
FECHA : 19-11-2025												TESISTA: Vicente Mariano Melgar Solorzano											
DIA DE AFORO : Miercoles												OBSERVACIONES: -											
HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS			CAMION			SEMI TRAYLER					TRAYLER				TOTAL	
			PICK UP	PANEL	RURAL COMBI		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2S1	2S2	2S3		3S1
																							
SABADO																							
0:00-1:00	27	4	5	3	0	0	2	3	1	3	3	2	0	0	1	0	2	11	0	1	0	1	67
1:00-2:00	31	2	7	5	0	0	4	5	5	4	4	2	1	0	1	0	2	12	0	1	1	0	85
2:00-3:00	40	4	10	7	0	0	5	3	2	6	5	2	1	0	2	0	1	14	0	1	0	1	103
3:00-4:00	56	6	11	8	0	0	3	5	2	8	10	4	0	1	0	1	2	16	0	1	0	1	135
4:00-5:00	72	11	17	14	9	0	4	7	1	11	9	3	2	0	1	0	2	20	0	1	0	2	186
5:00-6:00	163	21	24	18	16	0	5	16	1	22	19	4	0	2	0	1	2	19	0	1	0	2	334
6:00-7:00	255	49	42	36	82	74	4	14	0	18	29	5	2	0	2	0	2	27	1	0	0	1	640
7:00-8:00	286	36	54	49	93	48	2	3	2	34	30	2	0	2	0	0	2	24	0	1	1	1	667
8:00-9:00	203	36	37	40	83	67	4	2	0	42	14	2	0	1	0	1	2	22	0	0	1	2	558
9:00-10:00	175	28	51	33	74	74	3	1	0	34	20	5	0	2	0	0	2	27	0	0	0	0	529
10:00-11_00	196	27	52	26	80	58	2	1	0	42	30	5	0	4	0	2	2	45	0	1	0	2	573
11:00-12:00	163	28	43	36	81	59	2	0	0	24	32	3	0	0	0	0	1	35	0	0	2	1	508
12:00-13:00	192	23	48	24	68	61	1	1	0	30	24	6	0	2	0	0	2	36	1	1	0	2	521
13:00-14:00	232	27	41	19	92	71	2	1	0	33	13	7	0	0	0	0	0	30	0	0	0	2	568
14:00-15:00	223	27	58	16	77	65	3	0	0	32	24	2	1	1	0	0	1	28	0	0	0	0	558
15:00-16:00	173	25	47	14	82	52	1	0	0	30	15	5	0	1	1	0	0	46	0	0	1	2	495
16:00-17:00	190	19	49	17	79	55	2	0	0	33	21	4	0	0	1	0	2	48	0	0	0	2	522
17:00-18:00	242	22	54	17	78	64	5	1	0	27	17	5	0	0	1	1	3	43	1	0	2	1	582
18:00-19:00	250	27	43	27	76	46	2	2	0	12	10	4	0	2	1	0	1	14	0	1	2	0	518
19:00-20:00	118	11	22	11	40	36	0	0	0	5	5	1	0	0	1	0	1	29	0	0	2	1	282
20:00-21:00	95	9	18	9	31	30	1	4	1	4	3	2	0	1	0	0	1	24	0	1	2	2	236
21:00-22:00	78	7	11	8	27	17	4	6	2	3	6	4	0	1	1	1	0	22	0	1	0	2	200
22:00-23:00	66	5	11	5	4	0	3	5	2	5	8	5	1	0	0	1	1	16	0	2	0	1	139
23:00-24:00	34	4	6	4	0	0	3	2	2	4	7	5	0	1	0	1	0	13	1	0	1	1	87
TOTAL	3558	458	762	448	1171	878	64	81	19	467	356	86	6	17	10	8	31	622	3	11	11	25	

ESTUDIO DE TRAFICO																								
TESIS: "Rediseño del pavimento flexible y condición funcional del tramo Puente Huancachupa km 167+000 hasta Vichaycoto km 173+000, Ruta nacional PE-3N, Huánuco-2025"																								
TRAMO DE LA CARRETERA: Puente Huancachupa km 167+000 hasta Vichaycoto km 173+000										HORA INICIO: 00:00														
SENTIDO : N  S 										HORA FINAL: 24:00														
FECHA : 19-11-2025										TESISTA: Vicente Mariano Melgar Solorzano														
DIA DE AFORO : Miercoles										OBSERVACIONES: -														
HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS			CAMION			SEMI TRAYLER						TRAYLER				TOTAL	
			PICK UP 	PANEL 	RURAL COMBI 																			
DOMINGO																								
0:00-1:00	25	4	4	3	0	0	2	3	1	3	3	2	0	0	1	0	1	10	0	1	0	1	63	
1:00-2:00	30	2	6	5	0	0	4	4	5	4	4	1	1	0	1	0	1	12	0	1	1	0	81	
2:00-3:00	37	4	9	6	0	0	5	3	1	6	5	2	1	0	1	0	1	14	0	1	0	1	97	
3:00-4:00	53	6	11	8	0	0	3	5	1	8	9	4	0	1	0	1	1	15	0	1	0	1	127	
4:00-5:00	68	10	17	14	9	0	4	6	1	11	9	3	1	0	1	0	2	19	0	1	0	2	176	
5:00-6:00	155	20	22	17	15	0	4	15	1	21	18	4	0	1	0	1	2	18	0	1	0	1	317	
6:00-7:00	241	46	40	34	78	70	4	14	0	17	27	4	1	0	1	0	2	25	1	0	0	1	606	
7:00-8:00	271	35	51	47	88	45	1	3	1	32	28	1	0	1	0	0	1	23	0	1	1	1	632	
8:00-9:00	192	34	35	38	78	63	4	2	0	40	13	2	0	1	0	1	2	21	0	0	1	1	528	
9:00-10:00	166	27	48	32	70	71	3	1	0	32	19	4	0	2	0	0	1	26	0	0	0	0	501	
10:00-11_00	186	26	50	24	76	55	1	1	0	40	28	5	0	4	0	2	1	42	0	1	0	1	543	
11:00-12:00	154	27	41	34	77	55	1	0	0	22	30	3	0	0	0	0	1	33	0	0	1	1	481	
12:00-13:00	181	22	45	22	64	58	1	1	0	29	23	6	0	1	0	0	2	35	1	1	0	2	493	
13:00-14:00	220	25	39	18	87	67	1	1	0	32	12	6	0	0	0	0	0	29	0	0	0	1	539	
14:00-15:00	211	26	55	15	73	62	3	0	0	30	23	2	1	1	0	0	1	27	0	0	0	0	528	
15:00-16:00	164	24	45	13	78	50	1	0	0	28	14	4	0	1	1	0	0	44	0	0	1	2	469	
16:00-17:00	180	18	47	17	75	53	2	0	0	31	19	4	0	0	1	0	2	45	0	0	0	1	495	
17:00-18:00	229	21	51	17	74	60	5	1	0	26	16	4	0	0	1	1	3	40	1	0	1	1	552	
18:00-19:00	237	25	40	26	72	44	1	1	0	12	9	4	0	1	1	0	1	14	0	1	1	0	490	
19:00-20:00	112	11	21	11	38	35	0	0	0	4	4	1	0	0	1	0	1	27	0	0	1	1	267	
20:00-21:00	90	9	17	9	30	28	1	4	1	4	3	2	0	1	0	0	1	22	0	1	1	1	223	
21:00-22:00	73	6	11	8	25	17	4	6	2	3	6	4	0	1	1	1	0	21	0	1	0	1	189	
22:00-23:00	63	5	10	4	4	0	3	5	1	5	8	4	1	0	0	1	1	15	0	1	0	1	132	
23:00-24:00	32	4	6	4	0	0	3	1	2	4	6	4	0	1	0	1	0	12	1	0	1	1	82	
TOTAL	3370	434	721	425	1110	832	60	76	18	442	338	81	6	17	9	7	30	589	3	10	11	24		

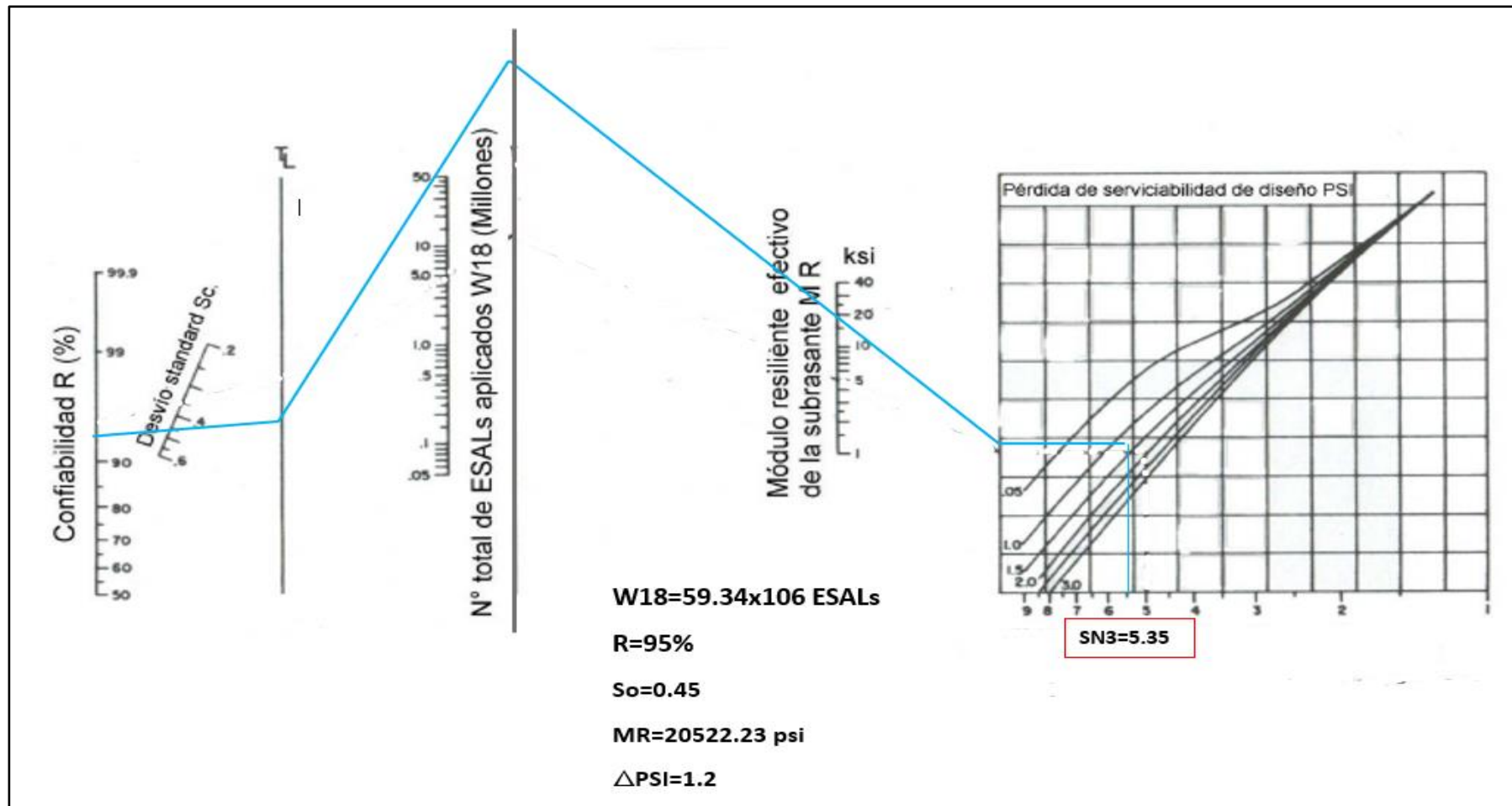
ANEXO 06

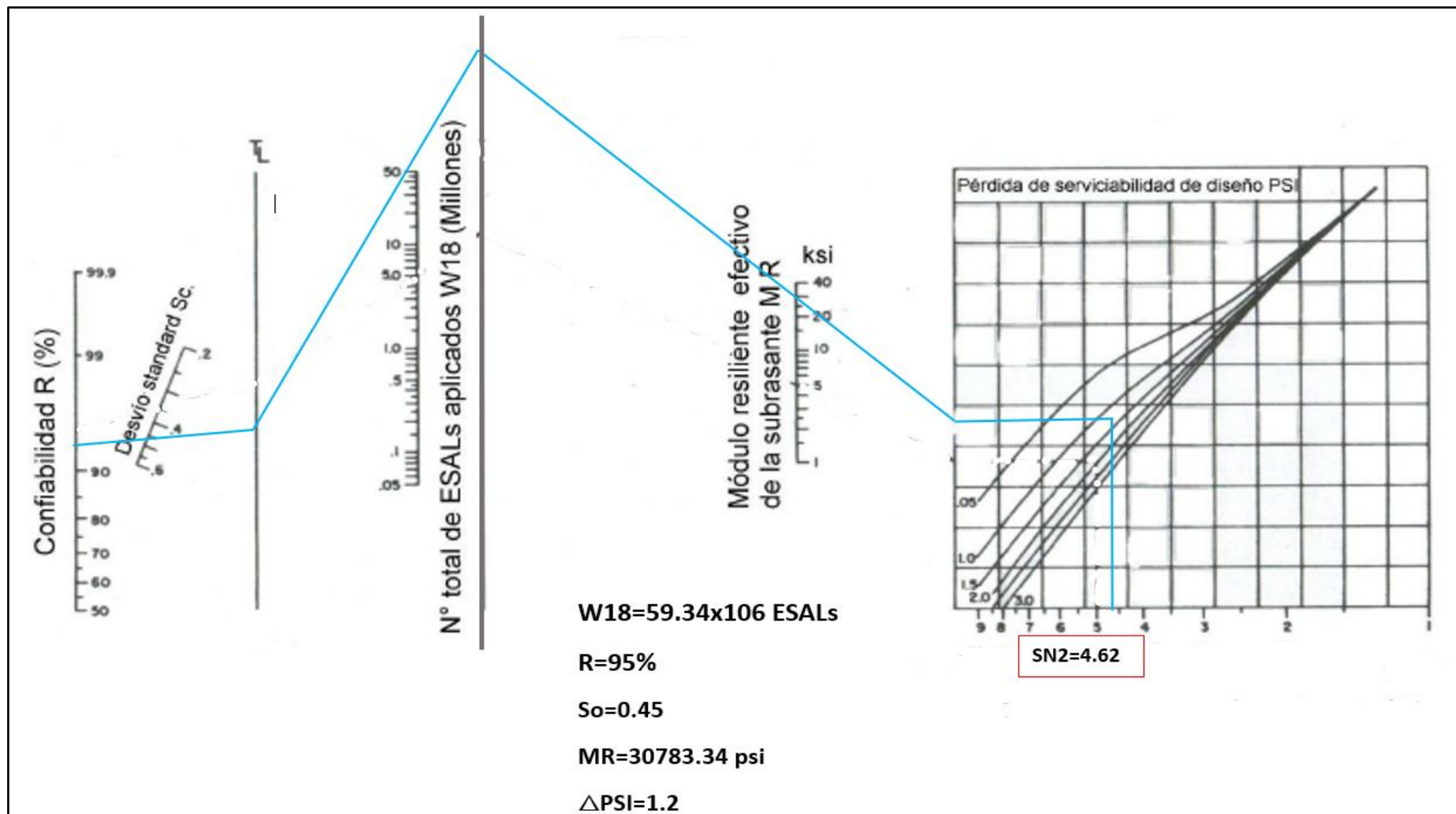
ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI)

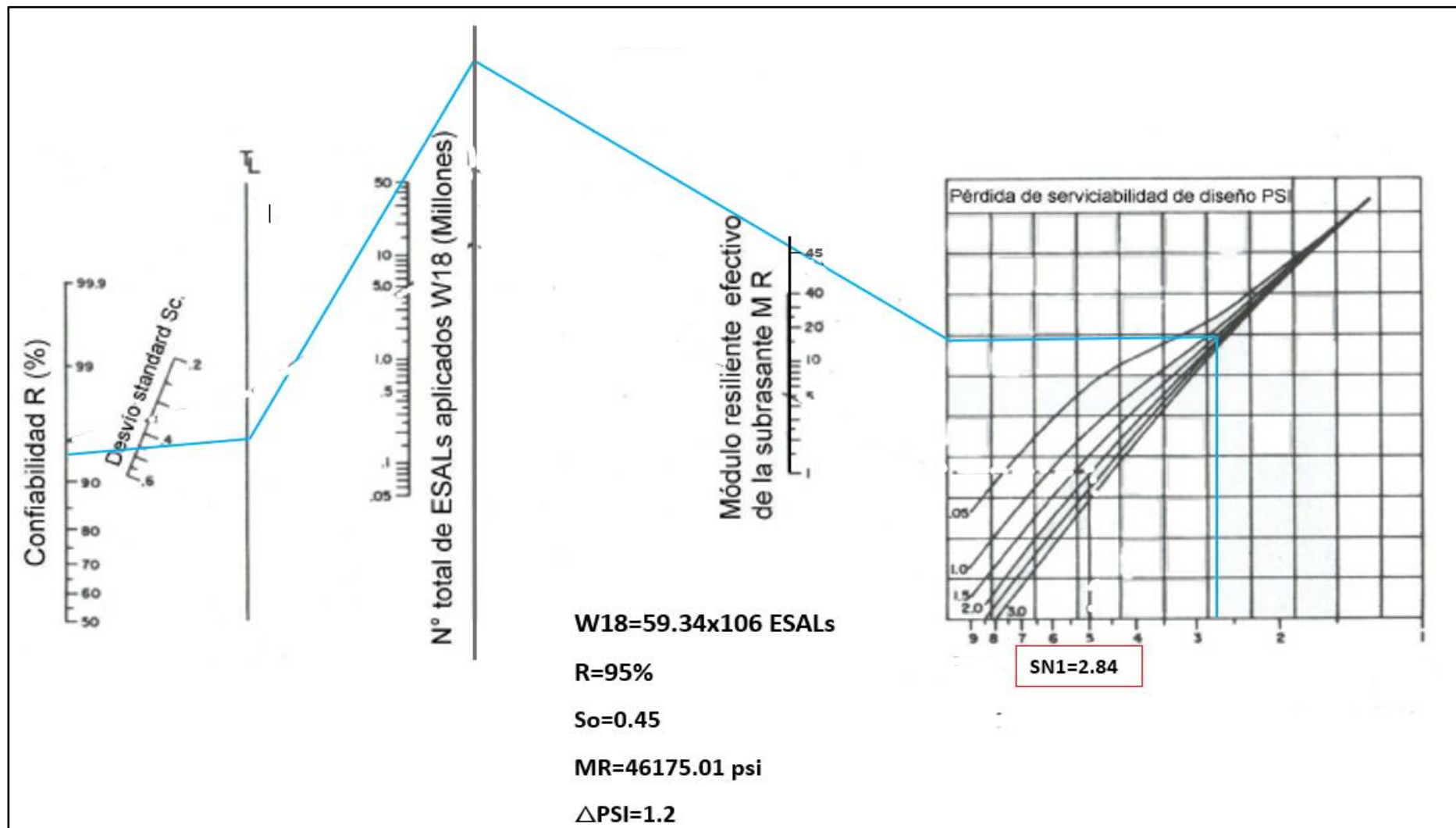
UNIVERSIDAD DE HUANUCO						
FACULTAD DE INGENIERIA						
PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERIA CIVIL						
 						
Índice de Regularidad Internacional (IRI)						
Proyecto: "Rediseño del pavimento flexible y condición funcional del tramo Puente Huancachupa km 167+000 hasta Vichaycoto km 173+000, Ruta nacional PE-3N, Huánuco-2025"						
Tramo: Puente Huancachupa km 167+000 hasta Vichaycoto km 173+000						
Fecha: 30/11/25						
Equipo: Rugosímetro de Merlin		Hora inicio: 06:00		Hora fin: 10:00		
Responsable : Vicente Mariano Melgar Solorzano						
Observaciones: --						
Evaluacion del IRI - Equipo Merlin						
Ensayo	Sector		Longitud (m)	IRI Carril Derecho	IRI Carril Izquierdo	IRI Promedio (m/km)
	Km Inicio	Km final				
UM-01	167+000	167+400	400	5.60	5.90	5.75
UM-02	167+400	167+800	400	6.25	6.60	6.43
UM-03	167+800	168+200	400	6.70	7.10	6.90
UM-04	168+200	168+600	400	8.90	9.20	9.05
UM-05	168+600	169+000	400	6.80	7.20	7.00
UM-06	169+000	169+400	400	5.60	5.92	5.76
UM-07	169+400	169+800	400	5.62	5.95	5.79
UM-08	169+800	170+200	400	6.30	6.65	6.48
UM-09	170+200	170+600	400	5.10	5.40	5.25
UM-10	170+600	171+000	400	5.20	5.50	5.35
UM-11	171+000	171+400	400	4.80	5.10	4.95
UM-12	171+400	171+800	400	6.00	6.30	6.15
UM-13	171+800	172+200	400	5.20	5.50	5.35
UM-14	172+200	172+600	400	5.25	5.55	5.40
UM-15	172+600	173+000	400	5.50	5.80	5.65
CANTIDAD				15	15	15
SUMATORIA TOTAL				88.82	93.67	91.245
PROMEDIO (M/KM)				5.92	6.24	6.08
VALOR MINIMO (M/KM)				5.5	5.8	5.65
VALOR MAXIMO (M/KM)				5.62	7.2	5.79
DESVIACION ESTANDAR				0.98	1.04	1
VARIANZA				0.96	1.09	1
COEF. DE VARIACION (%)				16.55%	16.73%	16.43%

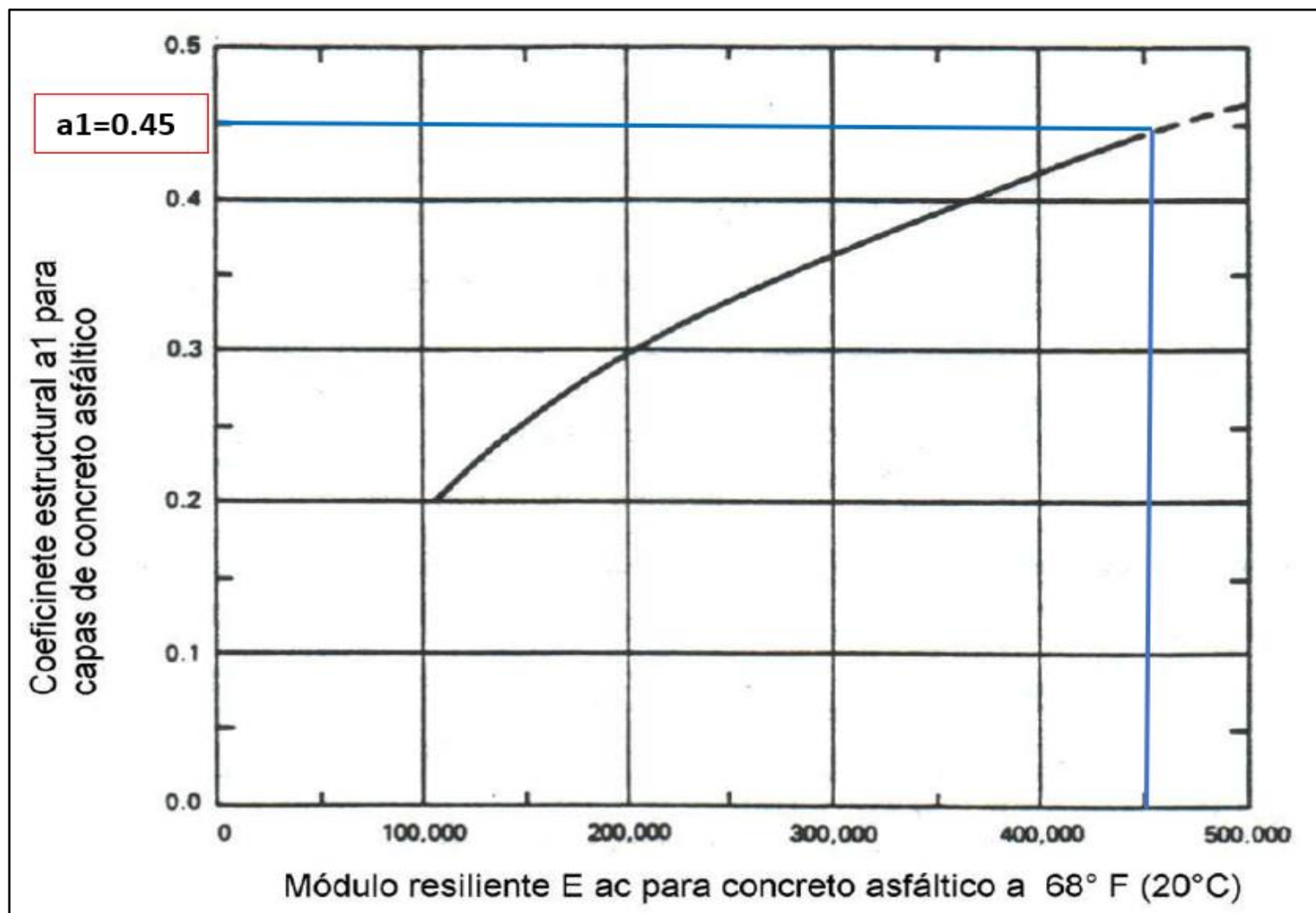
ANEXO 07

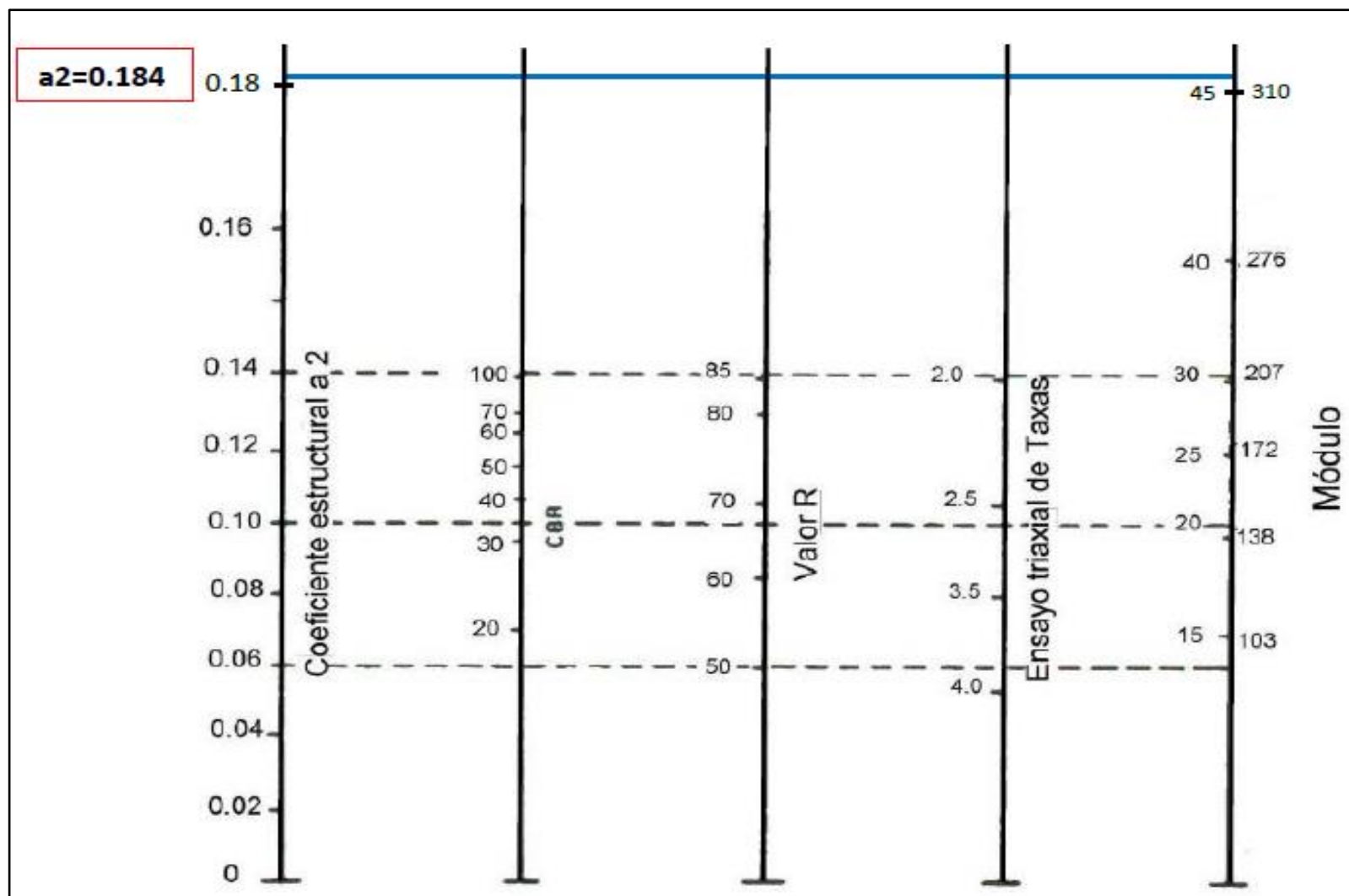
ÁBACOS AAHSTO – PAVIMENTO FLEXIBLE

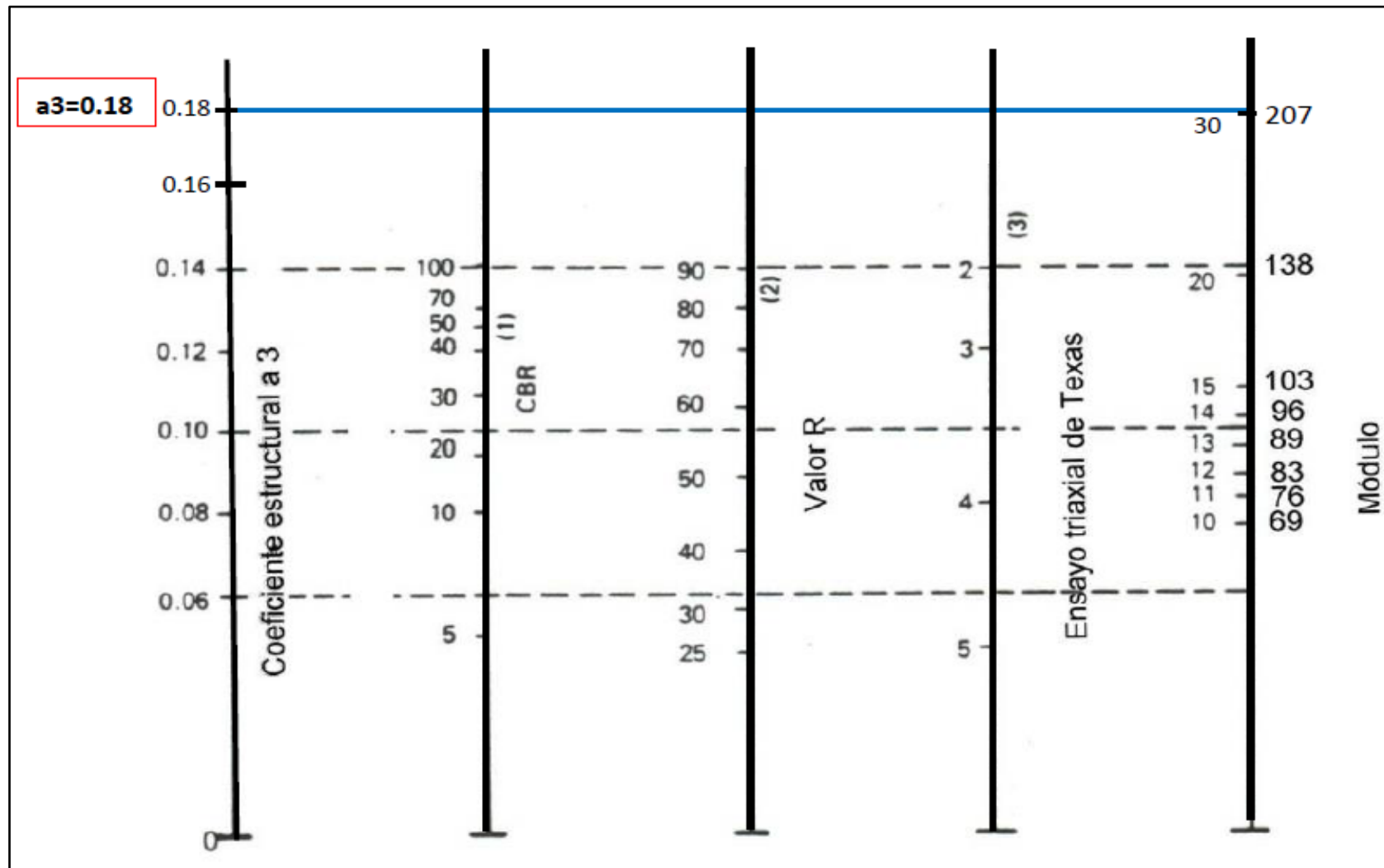






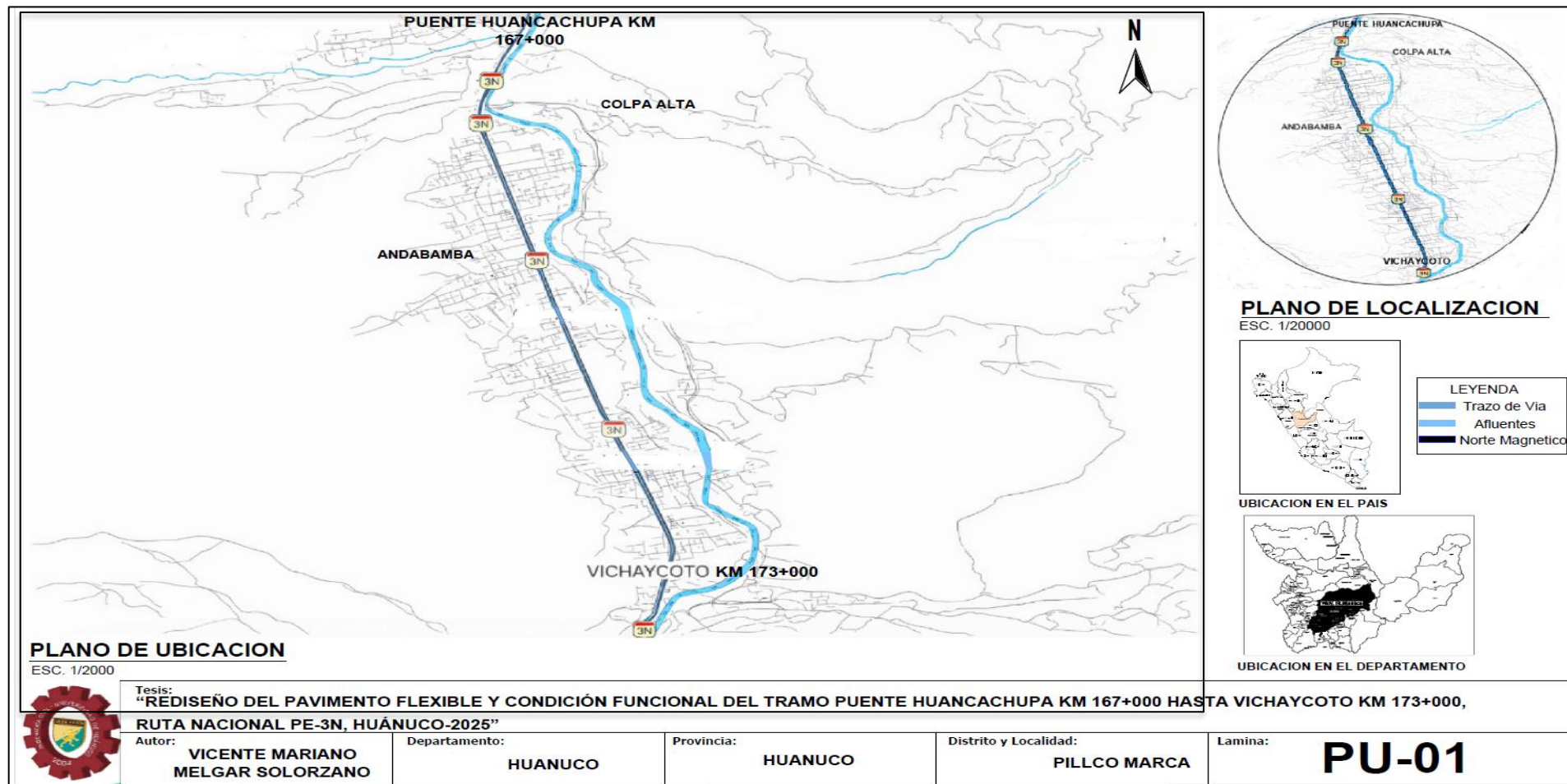






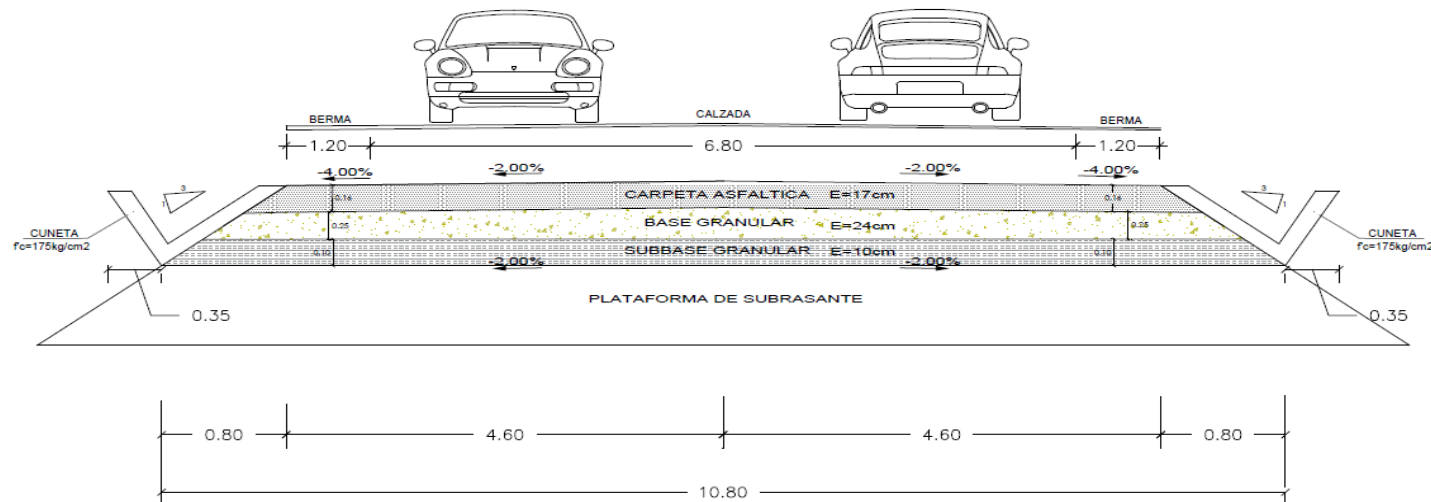
ANEXO 08

PLANO DE UBICACIÓN



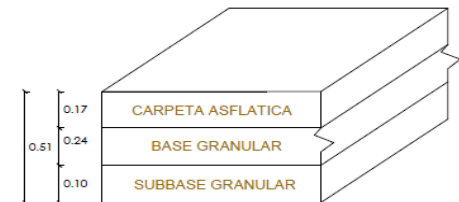
ANEXO 09

DETALLE DE PAVIMENTO FLEXIBLE



SECCIÓN TÍPICA

ESC. 1/50



ESPESORES ESTRUCTURALES
ESC : 1/25



Tesis: "REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000 HASTA VICHAYCOTO KM 173+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUÁNUCO-2025"

Autor: VICENTE MARIANO
MELGAR SOLORIZANO

Departamento: HUANUCO

Provincia: HUANUCO

Distrito y Localidad: PILLCO MARCA

Lamina:

DET-01

ANEXO 10

FOTOGRAFÍAS DEL PROCESO EJECUCIÓN



Registro visual de la medición del ancho de vía en el tramo evaluado mediante trabajo de campo.



Registro visual de la Inspección en campo del sector de pavimento con presencia de deterioro superficial para evaluación de la condición funcional.



Registro visual de la medición de la profundidad de ahuellamiento, como parte de los trabajos para conocer el estado actual de la vía.



Figura 123. Registro visual de la medición del Índice de Regularidad Internacional, mediante el Equipo Merlin previamente calibrado, como parte de los trabajos para conocer el estado actual de la vía.



Registro visual del aforo vehicular, como parte de las actividades de estudio de tráfico.



Registro visual de la calicata C-01, ubicada en el Km 168+000 de la Ruta Nacional PE-3N como parte de los trabajos iniciales del estudio de suelos.



Registro visual de la calicata C-02, ubicada en el Km 169+000 de la Ruta Nacional PE-3N como parte de los trabajos iniciales del estudio de suelos.



Registro visual de la calicata C-03, ubicada en el Km 170+000 de la Ruta Nacional PE-3N como parte de los trabajos iniciales del estudio de suelos.



Registro visual de la calicata C-04, ubicada en el Km 171+000 de la Ruta Nacional PE-3N como parte de los trabajos iniciales del estudio de suelos.



Registro visual de la calicata C-05, ubicada en el Km 172+000 de la Ruta Nacional PE-3N como parte de los trabajos iniciales del estudio de suelos.



Registro visual de la calicata C-06, ubicada en el Km 173+000 de la Ruta Nacional PE-3N como parte de los trabajos iniciales del estudio de suelos.



Figura 131. Registro visual del ensayo de Contenido de Humedad, como parte de los trabajos de estudio de Suelos en el laboratorio Geo Estructuras.





Registro visual del ensayo CBR, como parte de los trabajos de estudio de Suelos en el laboratorio Geo Estructuras.

ANEXO 11

CERTIFICADO DE CALIDAD – EQUIPO MERLIN



CERTIFICADO DE CALIDAD Y GARANTIA
Certificate of quality and warranty

N° PYS/104

EQUIPO
Equipment

RUGOSIMETRO MERLIN

MARCA
Brand

PYS EQUIPOS EIRL

MODELO
Model

PYS231

SERIE
Serial

104

CLIENTE
Customer

MELGAR SOLORZANO VICENTE MARIANO

FECHA
Date

2025/11/08

NORMA DE REFERENCIA
Reference standart

INV E 790-07

Todos nuestros productos están diseñados y construidos con un estricto control de calidad en cuanto a materiales, mecanizados e instrumentos de medición por tanto nos hacemos responsables de un posible daño por mano de obra o cualquier otro aspecto relacionado con la calidad y buen uso de nuestros equipos.

Calle 4, Mz.F1 Lt.05 Urb. Virgen del Rosario - Lima 31
 945 183 033 / 945 181 317 / 970 055 989
 apoza@pys.pe / metrologia@pys.pe / ventas@pys.pe
 www.pys.pe



GARANTIA LIMITADA

1. EXCLUSIONES

La siguiente garantía no cubre daños derivados por mal uso, negligencia, abuso o uso inapropiado o diferente para el cual fue construido el aparato.
En los instrumentos de medición electrónicos cuentan con una garantía expedida en la fábrica de los mismos y no se podrán garantizar más allá de los límites de las mismas.

2. PERIODO DE VALIDEZ

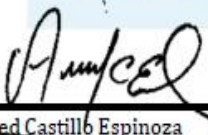
El periodo de validez de la garantía es de un (1) año a partir de la fecha de entrega del equipo.

3. DAÑOS

Con excepción de cuanto viene previsto en la garantía la empresa PYS EQUIPOS EIRL no deberá considerarse responsable por de alguien eventual daño indirecto o accesorio asociado a la utilización del producto, ni de alguna petición o reivindicación en virtud de la presente garantía.

4. ADVERTENCIA

Se recomienda realizar todo procedimiento de instalación, uso y mantenimiento del equipo siguiendo las instrucciones del departamento técnico de nuestra empresa y por ningún motivo sobrepasar los límites de capacidad del aparato (presión, fuerza, etc.)


Amed Castillo Espinoza
Metrólogo



VISTO BUENO	
CUMPLE	NO CUMPLE
✓	

ANEXO 12

CERTIFICADO DE CONFORMIDAD DE ENSAYO DE SUELOS



GEO ESTRUCTURAS

Especialistas en Geotecnia

CERTIFICADO N°: 0056-2025

FECHA: 26 de noviembre del 2025

CERTIFICADO DE CONFORMIDAD DE ENSAYOS

Por medio del presente, el laboratorio GEO ESTRUCTURAS certifica que los ensayos realizados a las muestras provenientes del proyecto:

"REDISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y CONDICIÓN FUNCIONAL DEL TRAMO PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000, RUTA NACIONAL PE-3N, HUÁNUCO, 2025"

UBICACIÓN: PUENTE HUANCACHUPA KM 167+000 - VICHAYCOTO KM 173+000,
SOLICITANTE: VICENTE MARIANO MELGAR SOLORIZANO

ALCANCE DEL CERTIFICADO:

- Los ensayos se realizaron en las instalaciones del laboratorio.
- Se utilizaron equipos debidamente calibrados y en condiciones operativas adecuadas.
- El personal técnico responsable cuenta con la capacitación y experiencia necesaria.
- Se ejecutaron conforme a las normas técnicas vigentes y se validaron los instrumentos de recolección de datos del solicitante.
- Se realizaron los siguientes ensayos:
 - Contenido de Humedad: NTP 339.127 – MTC E 108
 - Análisis Granulométrico: NTP 339.128 – MTC E 107
 - Ensayo de Proctor Modificado: NTP 339.141 – MTC E 115
 - Ensayo de CBR: NTP 339.145 – MTC E 132 – ASTM D 1883-73

OBSERVACIONES:

Este certificado se emite a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.



Owen H. Salvador Salazar
INGENIERO CIVIL
CIP N° 162400

Owen H. Salvador Salazar
Jefe del Laboratorio



- Urb. Marabamba N° Parc. 35 CPMen, Marabamba, (cerca al Penal de Potracancha)
- Car. Central N° 3033 CPMen Vilcar Cayhuayna (Frente al Colegio J. Velazco Alvarado)
Pílica Marca - Huánuco.



geo.estructuras2020@gmail.com



+51 982 008 201