



**UTMACH**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO DEL TRAMO DE  
CARRETERA COMPRENDIDO ENTRE LA INTERSECCIÓN DE LA VÍA  
BARBONES - TENDALES HASTA LA COMUNA DE BAJO ALTO**

**CASTILLO INFANTE WINSTON FABRICIO  
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA  
2022**



**UTMACH**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO DEL  
TRAMO DE CARRETERA COMPRENDIDO ENTRE LA  
INTERSECCIÓN DE LA VIA BARBONES - TENDALES HASTA  
LA COMUNA DE BAJO ALTO**

**CASTILLO INFANTE WINSTON FABRICIO  
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA  
2022**



**UTMACH**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROYECTOS TÉCNICOS**

**ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO DEL  
TRAMO DE CARRETERA COMPRENDIDO ENTRE LA  
INTERSECCIÓN DE LA VIA BARBONES - TENDALES HASTA  
LA COMUNA DE BAJO ALTO**

**CASTILLO INFANTE WINSTON FABRICIO  
INGENIERO CIVIL**

**SANCHEZ MENDIETA CARLOS EUGENIO**

**MACHALA  
2022**

# ANALISIS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO DEL TRAMO DE CARRETERA COMPRENDIDO ENTRE LA INTERSECCIÓN DE LA VIA BARBONES – TENDALES HASTA LA COMUNA DE BAJO ALTO

## INFORME DE ORIGINALIDAD

2%

INDICE DE SIMILITUD

2%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1

[www.pcidrone.com](http://www.pcidrone.com)

Fuente de Internet

<1 %

2

[Submitted to ucr](#)

Trabajo del estudiante

<1 %

3

[repositorio.usm.cl](http://repositorio.usm.cl)

Fuente de Internet

<1 %

4

Alberto Duchi. "Las TIC en tres instituciones educativas de Quito", FapUNIFESP (SciELO), 2018

Publicación

<1 %

5

[Submitted to Universidad Militar Nueva Granada](#)

Trabajo del estudiante

<1 %

6

[gk.city](http://gk.city)

Fuente de Internet

<1 %

7

Norma Cristina Solarte Vanegas. "Efecto en el módulo dinámico de la mezcla asfáltica"

<1 %

modificada con añadido de residuos  
triturados de la industria cerámica",  
Universitat Politecnica de Valencia, 2022

Publicación

---

8	<a href="#">doku.pub</a> Fuente de Internet	<1 %
9	<a href="#">gestionturecuador.weebly.com</a> Fuente de Internet	<1 %
10	<a href="#">repositorio.uteq.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
11	<a href="#">www.obraspublicas.gob.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
12	<a href="#">www.researchgate.net</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="#">cedi.ucr.ac.cr</a> Fuente de Internet	<1 %

---

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 40 words

Excluir bibliografía

Activo

## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, CASTILLO INFANTE WINSTON FABRICIO, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado ANALISIS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO DEL TRAMO DE CARRETERA COMPRENDIDO ENTRE LA INTERSECCIÓN DE LA VIA BARBONES - TENDALES HASTA LA COMUNA DE BAJO ALTO, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



---

CASTILLO INFANTE WINSTON FABRICIO

0705593267

UNIVERSITAS  
MAGISTRO-  
RUM  
ET SCHOLAR-  
IUM

## **PENSAMIENTO**

“La educación es el gran motor del desarrollo personal. Es a través de la educación que la hija de un campesino puede convertirse en médico, que el hijo de un minero puede convertirse en jefe de la mina, que el hijo de un peón puede convertirse en ingeniero, que un niño de los trabajadores agrícolas puede llegar a ser el presidente de una gran nación”

- NELSON MANDELA -

## **DEDICATORIA**

A Dios y a la Virgen, por la bendición de darme salud y vida, por guiarme y protegerme durante toda mi vida y permitirme finalizar mis estudios. A mi padre Víctor Bolívar Castillo Zapata y a mi madre María Elva Infante Sánchez, por el amor y cariño que siempre me han dado, deseándome lo mejor en cada paso que he dado en este camino arduo y difícil de la vida, por el apoyo incondicional en los momentos más difíciles de mi vida.

A mi hermano Víctor Ronaldo Castillo Infante y a mis hermanas Joyce Tamara Castillo Quimi y Viviana Del Rosio Castillo Quimi, por darme el inconmensurable amor, consejos y ayudarme en los momentos que más los necesitaba. A Génesis Mariana Barreto Zapata por ayudarme, guiarme y cuidarme durante toda mi vida universitaria, brindándome todo su amor y cariño en todo momento, animándome para seguir adelante a pesar de las adversidades que se presentaban en el camino.

A mi tierna y dulce abuelita Luz Aurora Sánchez Balcázar por brindarme su apoyo incondicional y sus consejos de madre en todo momento. A mis abuelos, tíos, primos y amigos que con su compañía me daban fuerza y valor para no decaer ante los problemas que se presentaron a lo largo de esta travesía y que me impulsaron a seguir adelante.

A mis maestros y compañeros de estudio, que en el andar de la vida nos fuimos encontrando y forjando una amistad, a todas las personas mencionadas desde el fondo de mi corazón, esta tesis de grado es dedicada para ustedes porque cada uno ha motivado mis sueños y esperanzas en lograr mi objetivo, finalizar mi estudio universitario.



## **AGRADECIMIENTO.**

Al centenario colegio Nueve De Octubre en la ciudad de Machala, por haberme permitido ser estudiante de este prestigioso plantel, y a sus profesores por la paciencia y entrega de sus conocimientos en el área de la física y matemática que fueron esenciales en mi carrera universitaria.

A la Universidad Técnica de Machala, alma mater de la provincia de El Oro por haberme abierto las puertas de su claustro científico y estudiar en este excelente programa de pregrado. A sus docentes que me fueron brindando sus conocimientos en estos cinco años de estudio y por su apoyo para seguir en la búsqueda de nuevos conocimientos con el objetivo de ser mejor para la sociedad y para la provincia de El Oro.

Al Sr. Ing. Carlos Eugenio Sánchez Mendieta M.SC. tutor de este trabajo de titulación, por su capacidad, paciencia y adecuada orientación en el desarrollo de esta investigación.

## ÍNDICE GENERAL.

<b>PENSAMIENTO.....</b>	<b>4</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>5</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE GENERAL.....</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>13</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>15</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>17</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>19</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>21</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>23</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>23</b>
<b>1.1. Tema de investigación.....</b>	<b>23</b>
<b>1.2. Línea base del proyecto .....</b>	<b>23</b>
1.2.1. Situaciones turísticas y sociales.....	23
1.2.2. Educación y salud.....	24
1.2.3. Sistema de alcantarillado, abastecimiento de agua potable y gas.....	24
1.2.4. Ordenamiento territorial Cantón El Guabo.....	25
1.2.5. Hidrografía.....	26
1.2.6. Topografía.....	27
1.2.7. Uso del suelo.....	27
1.2.8. Geología.....	28
1.2.9. Amenaza sísmica.....	29
1.2.10. Fallas geológicas.....	30
1.2.11. Riesgos hidrológicos.....	31
<b>1.3. Descripción de la situación problemática.....</b>	<b>32</b>
1.3.1. Descripción del problema.....	32
1.3.2. Árbol de problemas (causas y efectos).....	33
<b>1.4. Formulación del problema.....</b>	<b>33</b>
1.4.1. Problema.....	34
1.4.2. Problemas secundarios.....	34
<b>1.5. Delimitación del objeto de estudio.....</b>	<b>34</b>
1.5.1. De contenido .....	34
1.5.2. Espacial.....	34

1.5.3. Temporal. ....	34
<b>1.6. Justificación.....</b>	<b>35</b>
<b>1.7. Objetivos.....</b>	<b>36</b>
1.7.1. Objetivo general. ....	36
1.7.2. Objetivos específicos. ....	36
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>37</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>37</b>
<b>2.1. Antecedentes contextuales.....</b>	<b>37</b>
2.1.1. Macro. ....	37
2.1.2. Meso. ....	38
2.1.3. Micro. ....	39
<b>2.2. Antecedentes históricos. ....</b>	<b>40</b>
<b>2.3. Antecedentes Conceptuales.....</b>	<b>41</b>
2.3.1. Carreteras. ....	41
2.3.2. Pavimentos. ....	41
2.3.3. Clasificación de los pavimentos.....	42
2.3.4. Pavimentos flexibles. ....	42
2.3.5. Elementos que integran un pavimento flexible. ....	43
2.3.5.1. Subrasante.....	43
2.3.5.2. Subbase granular. ....	44
2.3.5.3. Base granular. ....	44
2.3.5.4. Carpeta asfáltica. ....	44
2.3.6. Deterioro de los pavimentos flexibles.....	45
2.3.7. Tipos de deterioros en pavimentos flexibles.....	45
2.3.7.1 Grietas.....	46
2.3.7.2 Deformaciones superficiales. ....	47
2.3.7.3 Desprendimientos.....	47
2.3.7.4 Otro tipo de fallas. ....	48
2.3.8. Metodologías de evaluación funcional y estructural del pavimento.....	48
2.3.8.1. Formas de evaluación. ....	48
2.3.8.2. Factores agresivos. ....	48
2.3.9. California Bearing Ratio (CBR).....	49
2.3.10. Clasificación de suelos.....	50
2.3.10.1. Sistema de clasificación AASHTO.....	51
2.3.10.2. Granulometría.....	51

2.3.11 Normas MOP- Características de los materiales granulares.....	52
2.3.11.1. Bases granulares.....	53
2.3.11.2. Subbases granulares.....	55
2.3.12. Índice de condición del pavimento (PCI).....	56
2.3.13. Unidades de muestreo PCI.....	57
2.3.14. Identificación de fallas del índice de condición del pavimento.....	59
2.3.15. Rehabilitación y mantenimiento de pavimentos flexibles.....	60
2.3.15.1 Clasificación de actividades de mantenimiento.....	60
<b>2.4. Antecedentes referenciales.....</b>	<b>63</b>
2.4.1. Propuesta metodológica.....	65
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>66</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>66</b>
<b>3.1. Modalidad básica de la investigación.....</b>	<b>66</b>
<b>3.2. Tipo de investigación.....</b>	<b>66</b>
3.2.1. Investigación Documental.....	66
3.2.2. Investigación de campo.....	66
3.2.3. Investigación experimental.....	67
<b>3.3. Objeto de estudio.....</b>	<b>67</b>
3.3.1. Ubicación del objeto de estudio.....	67
<b>3.4. Descripción de la población y muestra.....</b>	<b>69</b>
3.4.1. Población.....	69
3.4.2. Tamaño de muestra.....	71
<b>3.5. Métodos teóricos con los materiales utilizados.....</b>	<b>74</b>
3.5.1. Método PCI.....	74
3.5.1.1. Metodología.....	75
3.5.1.2. Determinación del PCI.....	76
3.5.2. Estudio de la subrasante.....	82
3.5.2.1. Metodología.....	82
3.5.3. Diseño de pavimentos flexibles.....	83
3.5.3.1 Parámetros de diseño.....	84
3.5.4. Materiales y equipos utilizados.....	92
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>93</b>
<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>93</b>
<b>4.1. Análisis de la aplicación del índice de condición del pavimento (PCI) carretera Barbones – Tendales hasta la comuna de Bajo Alto.....</b>	<b>93</b>

4.1.1. Ubicación geográfica. ....	93
4.1.2. Dimensiones de la vía. ....	94
4.1.3. Número de unidades de muestra. ....	94
4.1.4. Procedimiento para la estimación del PCI .....	95
4.1.4. Resultados obtenidos.....	99
4.1.4.1. Fallas existentes.....	100
4.1.4.2. Clasificación del PCI.....	102
4.1.4.3. Clasificación del estado de la vía de acuerdo al PCI promedio del estudio de la carretera Barbones – Tendales hasta la comuna de Bajo Alto.....	103
<b>4.2. California Bearing Ratio (CBR).....</b>	<b>104</b>
<b>4.3. Clasificación de suelos método AASHTO.....</b>	<b>106</b>
4.3.1. Muestra M1. ....	106
4.3.1.1. Profundidad 0.5 m .....	106
4.3.1.1. Profundidad 1 m .....	107
4.3.2. Muestra M2. ....	108
4.3.2.1. Profundidad 0.5 m .....	108
4.3.2.2. Profundidad 1 m .....	108
<b>4.4. Análisis granulométrico del material encontrado en campo. ....</b>	<b>109</b>
4.4.1. Muestra M1. ....	109
4.4.1.1. Profundidad 0.5 m .....	109
4.4.1.2. Profundidad 1 m .....	111
4.4.2. Muestra M2. ....	112
4.4.2.1. Profundidad 0.5 m .....	112
<b>4.5. Diseño de pavimentos flexible empleando el método AASHTO -93 .....</b>	<b>114</b>
4.5.1. Ejes equivalentes.....	114
4.5.2. Estudio de la subrasante.....	114
4.5.3. Nivel de confiabilidad y desviación estándar.....	114
4.5.4. Serviciabilidad.....	115
4.5.5. Error combinado.....	115
4.5.6. Temperatura, velocidad de circulación, calidad de drenaje. ....	116
4.5.7. Módulo resiliente de la subrasante.....	116
4.5.8. Módulo resiliente y el coeficiente estructural de la base y la subbase.....	116
4.5.9. Módulo resiliente de la mezcla asfáltica y el coeficiente estructural.....	118
4.5.10. Cálculo del coeficiente de drenaje. ....	118
4.5.11. Cálculo del número estructural requerido por la carpeta asfáltica .....	119

4.5.12. Cálculo del espesor de la capa asfáltica .....	119
4.5.13. Cálculo del número estructural requerido por la base granular .....	119
4.5.14. Cálculo del espesor de la base granular. ....	120
4.5.15. Cálculo del número estructural requerido por la base granular .....	120
4.5.16. Cálculo del espesor de la subbase granular.....	120
4.5.17. Verificación.....	121
4.5.18. Ajuste de espesores. ....	121
<b>4.6. Rehabilitación y mantenimiento de la carretera.....</b>	<b>123</b>
<b>4.7. Actividades de rehabilitación vial. ....</b>	<b>123</b>
4.7.1. Reconstrucción.....	123
<b>4.8. Actividades de mantenimiento vial. ....</b>	<b>125</b>
4.8.1. Mantenimiento preventivo. ....	125
4.8.1.1. Limpieza de escombros y vegetación.....	125
4.9.2. Mantenimiento periódico. ....	125
4.9.2.1. Bacheo asfáltico superficial.....	125
4.9.2.2. Bacheo asfáltico profundo. ....	126
4.9.2.3. Sello de grietas. ....	126
<b>4.9. Análisis general. ....</b>	<b>127</b>
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>129</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>129</b>
<b>5.1. Conclusiones. ....</b>	<b>129</b>
<b>5.2. Recomendaciones. ....</b>	<b>130</b>
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>131</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>131</b>
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>136</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>136</b>
<b>5.1. Anexo 1: Ensayo de Proctor modificado - M1. ....</b>	<b>136</b>
<b>5.2. Anexo 2: Ensayo de CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) -M1.....</b>	<b>137</b>
<b>5.3. Anexo 3: Ensayo de Proctor modificado – M2.....</b>	<b>140</b>
<b>5.4. Anexo 4: Ensayo de CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) -M2.....</b>	<b>141</b>
<b>5.5. Anexo 5: Granulometría M1 -Base granular – 0.5m.....</b>	<b>144</b>
<b>5.6. Anexo 6: Granulometría M1 – Subbase granular– 1m.....</b>	<b>150</b>
<b>5.7. Anexo 7: Granulometría M1 – Subbase granular– 0.5m.....</b>	<b>153</b>
<b>5.8. Anexo 8: Limite liquido M1 -0.5 m .....</b>	<b>156</b>
<b>5.9. Anexo 9: Limite liquido M1 -1 m .....</b>	<b>157</b>

<b>5.10. Anexo 10: Limite liquido M2 -0.5 m .....</b>	<b>158</b>
<b>5.11. Anexo 11: Limite liquido M2 -1 m .....</b>	<b>159</b>
<b>5.12. Anexo 12: Clasificación de suelos – M1-0.5m.....</b>	<b>160</b>
<b>5.13. Anexo 13: Clasificación de suelos – M1-1m.....</b>	<b>161</b>
<b>5.14. Anexo 14: Clasificación de suelos – M2-0.5m.....</b>	<b>162</b>
<b>5.15. Anexo 15: Clasificación de suelos – M2-1m.....</b>	<b>163</b>
<b>5.16. Anexo 16: Evaluación PCI. ....</b>	<b>163</b>
<b>5.17. Anexo 17: Graficas utilizadas para la determinación de los valores del PCI. ....</b>	<b>182</b>
<b>5.18. Anexo 18: Fallas registradas.....</b>	<b>186</b>
<b>5.19. Anexo 19: Resultados de la evaluación PCI. ....</b>	<b>188</b>
<b>5.20. Anexo 20: Cálculo de precipitación. - INAMHI - ESTACIÓN M0185 – PAGUA.....</b>	<b>189</b>
<b>5.21. Anexo 21: Diseño de pavimento flexible.....</b>	<b>191</b>
<b>5.22. Anexo 22: Abacos para encontrar coeficientes estructurales.....</b>	<b>194</b>
<b>5.23. Anexo 23: Recolección de datos en campo. ....</b>	<b>196</b>
<b>5.24. Anexo 24: Recolección de muestras. ....</b>	<b>198</b>
<b>5.25. Anexo 25: Análisis de muestras en laboratorio. ....</b>	<b>202</b>
<b>5.26. Anexo 26: Ubicación de la vía de estudio.....</b>	<b>204</b>
<b>5.27 Anexo 27: Formulario .....</b>	<b>205</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura: 1 Plan de ordenamiento territorial cantón El Guabo .....	25
Figura: 2 Mapa de Subcuencas Hidrográficas del Cantón El Guabo .....	26
Figura: 3 Mapa de pendientes parroquia Tendales. ....	27
Figura: 4 Producción agropecuaria - Tendales .....	28
Figura: 5 Zonas sísmicas – ECUADOR .....	29
Figura: 6 Movimientos en Masa del Cantón El Guabo .....	30
Figura: 7 Susceptibilidad a inundaciones - Tendales.....	31
Figura: 8 árbol de problemas (causa efecto).....	33
Figura: 9 Estructura del pavimento flexible. ....	43
Figura: 10 Tipos de deterioros en pavimentos flexibles .....	46
Figura: 11 Factores agresivos. ....	49
Figura: 12 Sistema de clasificación de suelos. ....	51
Figura: 13 Clasificación de las Bases y Subbases .....	52
Figura: 14 Actividades de mantenimiento .....	60
Figura: 15 Propuesta metodológica para la evaluación superficial y estructural de la vía de acceso a la comuna de bajo alto .....	65
Figura: 16 Ubicación del proyecto.....	68
Figura: 17 Ejes estratégicos .....	70
Figura: 18 Muestras representativas en toda la vía.....	74
Figura: 19 Muestras representativas .....	74
Figura: 20 Procedimientos para el cálculo del PCI.....	76
Figura: 21 Inventario de fallas .....	78
Figura: 22 Curvas para estimar valores deducido falla piel de cocodrilo.....	79
Figura: 23 Orden de los valores deducidos calculados.....	80
Figura: 24 Cálculo de TDV Y q.....	81
Figura: 25 Gráfica para la estimación de valores deducidos corregidos. ....	81
Figura: 26 Procedimientos para el estudio de la Subrasante .....	83
Figura: 27 Monograma para calcular Mr para bases granulares.....	88
Figura: 28 Monograma para calcular Mr para subbases granulares .....	89
Figura: 29 Módulo dinámico de la carpeta asfáltica.....	90
Figura: 30 Tramo de estudio .....	93
Figura: 31 Muestras representativas .....	94



Figura: 32 Curvas para estimar valores deducido falla piel de cocodrilo.....	96
Figura: 33 Gráfica para la estimación de valores deducidos corregidos. ....	98
Figura: 34 Cantidades de fallas registradas en las unidades de muestreo en estudio de la carretera Barbones - Tendales hasta la comuna de bajo Alto .....	101
Figura: 35 Fallas encontradas en las 18 unidades de muestreo. en estudio de la carretera Barbones - Tendales hasta la comuna de bajo Alto .....	102
Figura: 36 Resultados del PCI de la sección de las Unidades de muestras en estudio de la carretera Barbones - Tendales hasta la comuna de bajo Alto .....	102
Figura: 37 Obtención de muestra de suelo para realizar ensayos – M2 .....	104
Figura: 38 Obtención de muestra de suelo para realizar ensayos – M1 .....	104
Figura: 39 Sistema de clasificación de suelos. ....	107
Figura: 40 Paquete estructural pavimento flexible. ....	109
Figura: 41 Resultados obtenidos de la granulometría M1-0.5 m.....	110
Figura: 42 Base Clase 1 - Tipo B.....	111
Figura: 43 Resultados obtenidos de la granulometría M1-1 m.....	111
Figura: 44 Subbase clase 3.....	112
Figura: 45 Resultados obtenidos de la granulometría M2-0.5 m.....	113
Figura: 46 Subbase clase 3.....	114
Figura: 47 Monograma para calcular Mr para bases granulares.....	116
Figura: 48 Monograma para calcular Mr para subbases granulares .....	117
Figura: 49 Esquema estructural con espesores calculados. ....	121
Figura: 50 Esquema estructural con espesores ajustados. ....	122
Figura: 51 Pavimento deteriorado.....	124

## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1 Ubicación de los centros de salud de la parroquia Tendales. ....	24
Tabla 2 Cuencas hidrográficas del cantón El Guabo .....	26
Tabla 3 Litología de la Parroquia Tendales .....	29
Tabla 4 Categorías de la Subrasante .....	50
Tabla 5 Límites granulométricos para bases clase 1.....	53
Tabla 6 Límites granulométricos para bases clase 2.....	53
Tabla 7 Límites granulométricos para bases clase 3.....	54
Tabla 8 Límites granulométricos para bases clase 4.....	54
Tabla 9 Límites granulométricos para subbases clase 1 .....	55
Tabla 10 Límites granulométricos para subbases clase 2 .....	55
Tabla 11 Límites granulométricos para subbases clase 3 .....	56
Tabla 12 Clasificación del PCI .....	57
Tabla 13 Tipos de fallas PCI.....	59
Tabla 14 Ejes estratégicos.....	69
Tabla 15 Longitudes de unidades de muestreo asfálticas .....	71
Tabla 16 características de la carretera de estudio.....	71
Tabla 17 Datos para calcular número min. unidades de muestreo .....	72
Tabla 18 Datos generales .....	73
Tabla 19 Intervalo de las unidades de muestreo. ....	73
Tabla 20 Nivel de confiabilidad AASHTO-93 .....	85
Tabla 21 Error combinado .....	85
Tabla 22 Índice de serviciabilidad final.....	86
Tabla 23 Coeficientes de drenaje.....	87
Tabla 24 Espesores mínimos. ....	91
Tabla 25 Materiales y equipos utilizados .....	92
Tabla 26 Datos generales .....	94
Tabla 27 Inventario de fallas existentes Tramo N°10.....	95
Tabla 28 Ordenamiento fallas registradas en el Tramo N°10.....	95
Tabla 29 Densidades y valores deducidos para el Tramo N°10 .....	97
Tabla 30 Cálculo del valor deducido total .....	97
Tabla 31 Valores deducidos y valores deducidos corregidos .....	98
Tabla 32 Rangos de calificación del PCI.....	99

Tabla 33 Cantidades de fallas registradas en todas las unidades de muestreo en estudio de la carretera Barbones - Tendales hasta la comuna de bajo Alto .....	100
Tabla 34 Resultados consolidados de las 18 Unidades de muestras en estudio de la carretera Barbones - Tendales hasta la comuna de bajo Alto .....	103
Tabla 35 Tramos que se realizaron calicatas. ....	104
Tabla 36 Resultados obtenidos del ensayo CBR no saturado y CBR saturado. ....	105
Tabla 37 Resultados de CBR evaluación estructural FWD .....	106
Tabla 38 Datos obtenidos en laboratorio - M1-0.5m.....	106
Tabla 39 Datos obtenidos en laboratorio - M1-1m.....	107
Tabla 40 Datos obtenidos en laboratorio - M2-0.5 m.....	108
Tabla 41 Datos obtenidos en laboratorio - M2-1 m.....	108
Tabla 42 Nivel de confiabilidad AASHTO-93 .....	114
Tabla 43 Índice de serviciabilidad final.....	115
Tabla 44 Error combinado .....	115
Tabla 45 Coeficientes de drenaje.....	116
Tabla 46 Datos adicionales para el diseño.....	116
Tabla 47 Coeficientes estructurales de la base y subbase.....	118
Tabla 48 Espesores mínimos. ....	121
Tabla 49 Espesores ajustados. ....	122
Tabla 50 Espesores calculados y espesores ajustados. ....	122

## RESUMEN

No hay duda, que las infraestructuras viales son una poderosa herramienta para poder mejorar la calidad de vida de las personas, debido a que es el pilar fundamental y estratégico para el desarrollo social y económico de una población que quiere expandirse a través del comercio. Durante siglos las carreteras han sido el desarrollo de las sociedades actuales, pues se conoce que la antigua civilización egipcia fue una de las primeras en construir carreteras para poder comunicarse con las metrópolis y poder realizar el intercambio de bienes, productos y alimentos. En la actualidad, nuestro país no cuenta con la suficiente liquidez ni personal calificado que permita realizar actividades de mantenimiento preventivo o correctivo para conservar la integridad del sistema vial, tanto superficial como estructural. Por esta razón surge el interés de realizar una evaluación superficial y estructural de la carretera de acceso a la comuna de Bajo Alto, para conocer el estado actual de la vía y realizar una propuesta de intervención para lograr recuperar la integridad de la vía.

La vía conduce desde la intersección de la vía Barbones – Tendales hasta la comuna de Bajo Alto, con aproximadamente 6.05 kilómetros de longitud y pavimento asfáltico como capa de rodadura. En base a los resultados obtenidos se encontró 8 tipos de fallas del total de diecinueve fallas que establece el método PCI en donde la falla piel de cocodrilo tiene un gran dominio sobre las demás, puesto que del 100% de fallas registradas en las dieciocho unidades de muestra, el 50% de las fallas pertenecen al tipo piel de cocodrilo, entre los otros tipos de fallas que se encontraron fueron; exudaciones, agrietamiento en bloque, abultamiento y hundimientos, grieta de borde, grietas longitudinales y/o transversales, parcheo y huecos, además el índice del PCI de la vía fue de 47 por lo que se considera que el estado de la vía es regular.

Del estudio realizado a la subrasante se obtuvo que el CBR para el tramo M2 donde el pavimento ha fallado fue de 4.15% mientras que para el tramo M1 donde el pavimento presentó las mejores condiciones (Excelente) presentó un CBR de 2.63%. Por otra, de la clasificación de suelos que se realizó se obtuvo la extrañeza que para la muestra M1 el material granular se encontraba hasta 1 m de profundidad, mientras que para la muestra M2 el material solo se encontraba hasta 0.5 m. Se llegó a la conclusión que el estado del pavimento es un problema estructural más no superficial, debido a que las capas de la estructura del pavimento presentan inconsistencias según lo que especifica la norma

MOP, puesto que en el tramo M1 a pesar de tener 1 metro de material granular, la capa de la base al estudiar su granulometría no cumplía con los límites impuestos en la norma, por otra parte en la M2 necesita una capa adicional de material granular (base) para poder resistir las cargas vehicular. Por esta razón la opción más viable que se identificó para ser aplicada en la vía de estudio fue una reconstrucción del paquete estructural.

**Palabras clave.**

Evaluación Superficial. Evaluación Estructural. Índice de Condición del Pavimento (PCI). Pavimentos flexibles. Rehabilitación vial. Mantenimiento vial.

## ABSTRACT

There is no doubt that road infrastructures are a powerful tool to improve the quality of life of people, because it is the fundamental and strategic pillar for the social and economic development of a population that wants to expand through trade. For centuries roads have been the development of current societies, as it is known that the ancient Egyptian civilization was one of the first to build roads to be able to communicate with the metropolis and to be able to exchange goods, products and food. Currently, our country does not have sufficient liquidity or qualified personnel to carry out preventive or corrective maintenance activities to preserve the integrity of the road system, both superficial and structural. For this reason, the interest arises to carry out a superficial and structural evaluation of the access road to the Bajo Alto commune, to know the current state of the road and make an intervention proposal to recover the integrity of the road.

The road leads from the intersection of the Barbones - Tendales road to the commune of Bajo Alto, with approximately 6.05 kilometers in length and asphalt pavement as a surface layer. Based on the results obtained, 8 types of failures were found out of the total of nineteen failures established by the PCI method, where the crocodile skin failure has a great dominance over the others, since 100% of the failures registered in the eighteen units of sample, 50% of the failures belong to the crocodile skin type, among the other types of failures that were found were; exudations, block cracking, bulging and subsidence, edge crack, longitudinal and/or transverse cracks, patching and holes, in addition, the road's PCI index was 47, which is why it is considered that the state of the road is regular.

From the study carried out on the subgrade, it was obtained that the CBR for the M2 section where the pavement has (Failed) was 4.15% while for the M1 section where the pavement presented the best conditions (Excellent) it presented a CBR of 2.63%. On the other hand, from the soil classification that was carried out, the strangeness was obtained that for sample M1 the granular material was found up to 1 m deep, while for sample M2 the material was only found up to 0.5 m. It was concluded that the state of the pavement is a more non-superficial structural problem, because the layers of the pavement structure present inconsistencies according to what the MOP standard specifies, since in section M1 despite having 1 meter of granular material, the base layer, when studying its granulometry, did not comply with the limits imposed in the standard, on the other hand,

in the M2 it needs an additional layer of granular material (base) to be able to resist vehicular loads. For this reason, the most viable option that was identified to be applied in the study pathway was a reconstruction of the structural package.

**Key Word.**

Superficial Evaluation. Structural Evaluation. Pavement Condition Index (PCI). Flexible pavements. Road rehabilitation. Road maintenance.

## INTRODUCCIÓN.

### **Importancia del tema.**

Las vías de comunicación en el mundo y de manera específica en nuestro país, son la base del desarrollo económico, social y cultural, razón por la cual el mantenimiento periódico de estos sistemas viales es indispensable para garantizar un transporte seguro y fiable. La evaluación del estado del pavimento es parte indispensable de los sistemas de gestión del pavimento, este tipo de evaluación se encarga de reconocer y tomar registro de las características que presenta la superficie y del estado estructural del pavimento. En la actualidad existen diferentes métodos que permiten describir el estado del pavimento tales como, el (PSI), este método se sustenta en determinar el índice de serviciabilidad del pavimento, de igual forma, está el denominado (PCI) que se basa en determinar la clase de severidad y los tipos de falla que presenta la capa de rodadura, este método cuenta con diecinueve tipos de fallas para ser analizadas, por otra parte también se puede utilizar el método (IRI) el cual es utilizado para diagnosticar el índice de rugosidad que presenta el pavimento.(Jéssica et al., 2020)

### **Actualidad de la problemática.**

Todo pavimento con el transcurso de los años se va ir deteriorando, esto se debe a que existen factores climáticos y antrópicos que causan que el deterioro del pavimento se dé antes del tiempo deseado. La humedad puede atenuar la capacidad de soporte de los materiales que conforman el paquete estructural en especial la subrasante, lo cual generan daños adhesivos, cohesivos y pérdida de interbloqueo de las partículas para luego desplazarlas generando la falla del pavimento. La subrasante es el suelo que va a soportar las cargas vehiculares, si la subrasante es débil para resistir las cargas, el pavimento se flexionara, por otra parte, las cargas de tráfico pueden generar diferentes problemas tales como la fatiga y las grietas longitudinales. No obtener la compactación adecuada, trabajar con materiales de mala calidad y no colocar el espesor exacto de la capa de rodadura, acortan la vida útil del pavimento generando diferentes tipos de fallas de diferentes grados de severidad. (Moreno et al., 2017)



## **Estructura del trabajo.**

El capítulo I se fundamenta en la descripción del problema, las causas y los efectos que se están originando con él, además se realiza la delimitación del objeto de estudio en donde describe el lugar de investigación, también se realiza la justificación que permite fundamentar y complementar las preguntas científicas que se realizaron previamente y al final del capítulo se detalla el objetivo general y los específicos por el cual se está realizado esta investigación.

En el capítulo II se establecen los fundamentos teóricos investigados, definiciones y trabajos de diferentes autores tanto nacionales como internaciones y se hace una descripción del trabajo que se realizó y los resultados que obtuvieron de las investigaciones realizadas, de igual manera se hace una breve referencia a los antecedentes contextuales macro, meso y micro del problema de estudio.

En el capítulo III se establece el tipo de investigación que se está realizando y se delimita el objeto de estudio, de igual modo se realiza la estimación de la cantidad de muestras que se deben analizar para la evaluación del PCI y por medio de organizadores gráficos se detallan los procedimientos que se van aplicar para obtener información más relevante y necesaria de la vía de estudio.

El capítulo IV hace referencia a los Estudios de Ingeniería utilizados para definición de alternativas técnicas de solución, analizando, interpretando y emitiendo criterios técnicos para cada uno de los resultados obtenidos en campo y laboratorio, paralelamente se identifica la alternativa de solución más viable para la vía de estudio en función de los resultados obtenidos y previamente analizados.

El capítulo V, se enuncian las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron de todo el trabajo de investigación, las mismas que están en función a la teoría investigada y a los resultados que se obtuvieron a lo largo de este arduo trabajo de titulación.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

#### 1.1. Tema de investigación.

Análisis de la estructura del pavimento del tramo de carretera comprendido entre la intersección de la vía barbones – tendales hasta la comuna de bajo alto.

#### 1.2. Línea base del proyecto

##### 1.2.1. Situaciones turísticas y sociales.

La comuna de Bajo Alto cuenta con características propias para ser considerado como una potencia turística de gran escala en el Ecuador, la potencialidad turística de Bajo Alto está enfocada especialmente en el sector turístico y que en los últimos años se ha reflejado un desarrollo exponencial bastante interesante, en especial los fines de semana y en días festivos, ya que son los días que más frecuentan turistas de diferentes partes del país en especial del austro ecuatoriano. Bajo Alto pertenece a la parroquia rural de Tendales y cuenta con una variedad de atractivos naturales y artificiales, en el que su belleza paisajística y su encanto natural se lo debe en gran parte a la playa, siendo esta la única playa de la provincia de El Oro que se puede llegar a través vía terrestre, además, posee una playa artificial, una playa virgen y unas letras corpóreas retroiluminadas ubicadas en el muro de escollera con el nombre del sector que realzan la belleza del mismo, de igual manera, en el sector existen dos playas naturales en donde una de ellas goza una peculiaridad de no tener olas, muchos moradores la han renombrado con el seudónimo *(la laguna)*

La comuna de Bajo Alto dispone de un malecón y diferentes bares de comida que ofrecen todo tipo de gastronomía marítima la misma que se produce dentro del sector, es importante mencionar que la mayor parte de la población local vive de la pesca artesanal y del trabajo generado por la industria camaronera del sector. El avistamiento de aves endémicas, realizar recorridos por las reservas del manglar de la zona y observar el proceso de recolección de cangrejos y moluscos, son algunas de las actividades complementarias que se pueden realizar en Bajo Alto, debido a los atractivos mencionados anteriormente la economía del sector ha venido incrementándose durante

los últimos años lo cual ha generado que surjan nuevas plazas de trabajo y consigo un crecimiento social y económico.

### 1.2.2. Educación y salud.

Bajo Alto tiene a disposición de la comunidad una escuela de educación básica llamada “Escuela de educación básica Jambelí” fundada el 8 de junio de 1993 y estando entre las escuelas más antiguas del cantón El Guabo, con 89 años de vida institucional. La escuela Jambelí ofrece a la comunidad una educación desde el Primer grado hasta Décimo grado de educación básica. En la parroquia Tendales, existen tres subcentros de salud, en el que brindan servicios de consulta externa y emergencias, trabajando con médicos rurales en horario de 8 horas diarias por lo que la atención no es permanente y los insumos y medicamentos son insuficientes. Los subcentros y los puestos de salud ubicados.

En la cabecera parroquial y en los recintos mencionados, necesitan en su mayoría: ampliación del área de construcción, dotación de nuevos consultorios, instalación de agua potable y alcantarillado, dotación de equipos médicos, entrega de medicinas y aumento del personal médico. A continuación, se muestra la ubicación de los centros de salud activos en la parroquia Tendales. En la tabla que se presenta continuación, se detalla la distribución de los centros de salud y la población existen en la parroquia de Tendales. (Eco. Mairita Chalan, 2015)

Tabla 1 Ubicación de los centros de salud de la parroquia Tendales.

N°	UNIDAD OPERATIVA	TIPOLOGÍA	CANTÓN	PARROQUIA	POBLACIÓN	DISTANCIA A LA JEFATURA DEL ÁREA		TIPO DE VÍA
						Km	Hora (min)	
1	Tendales	Sub Centro de Salud Rural	El Guabo	Tendales	5137	18	25	1°. Orden
2	Bajo Alto	Puesto de salud	El Guabo	Tendales		19	25	2°. Orden
3	La Puntilla	Puesto de Slud	El Guabo	Tendales		25	25	2°. Orden

Fuente: 1 Plan de desarrollo de ordenamiento territorial - Parroquia tendales

### 1.2.3. Sistema de alcantarillado, abastecimiento de agua potable y gas.

Es de menester mencionar que, Bajo Alto, si cuenta con un sistema de recolección de aguas servidas, sin embargo, debido a la falta de planificación para un prudente

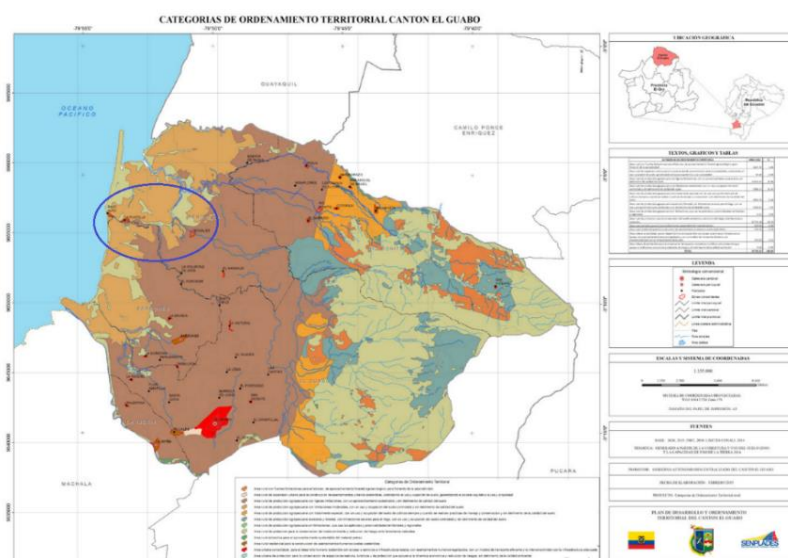
mantenimiento, el sistema de recolección no se encuentra en funcionamiento es por ello que los moradores del sector arrojan los desechos directamente a los esteros cercanos y estos esteros desembocan directamente al mar. La ciudadela “El Palmar” ubicada en la comuna de Bajo Alto, cuenta de un sistema de alcantarillado, en donde todos estos desechos se recolectan y son tratados en pozos sépticos, no obstante, tampoco existe un plan de mantenimiento de estos pozos y al no existir un adecuado mantenimiento la vida útil de los pozos sépticos y del sistema de alcantarillado se acorta.

Uno de los problemas que se presenta a diario a los pobladores del sector, es la escasez de agua, en general Bajo Alto cuenta con cuatro barrios principales; Bajo Alto viejo, Las Palmeras, Bajo Alto nuevo y el Palmar en donde cada barrio tiene un horario y día específico para recolectar agua y almacenarla, por último uno de los sistemas más importantes con el que cuenta la zona de estudio, es el sistema de gas entubado, el mismo que proveniente de la empresa PETROECUADOR y suministra de gas a todas las casas del sector.

#### 1.2.4. Ordenamiento territorial Cantón El Guabo.

A continuación, se presenta el ordenamiento territorial del cantón El Guabo. En el mapa de la siguiente figura se puede visualizar las diferentes parroquias, sectores y comunas que forman parte del ordenamiento territorial del cantón El Guabo en la provincia de el Oro, además, se ha encerrado en un círculo de color azul la zona de estudio del proyecto y la ubicación de la parroquia Tendales.(G.A.D EL GUABO, 2015)

Figura: 1 Plan de ordenamiento territorial cantón El Guabo



Fuente: 2 Plan de desarrollo y ordenamiento territorial cantón el guabo

### 1.2.5. Hidrografía.

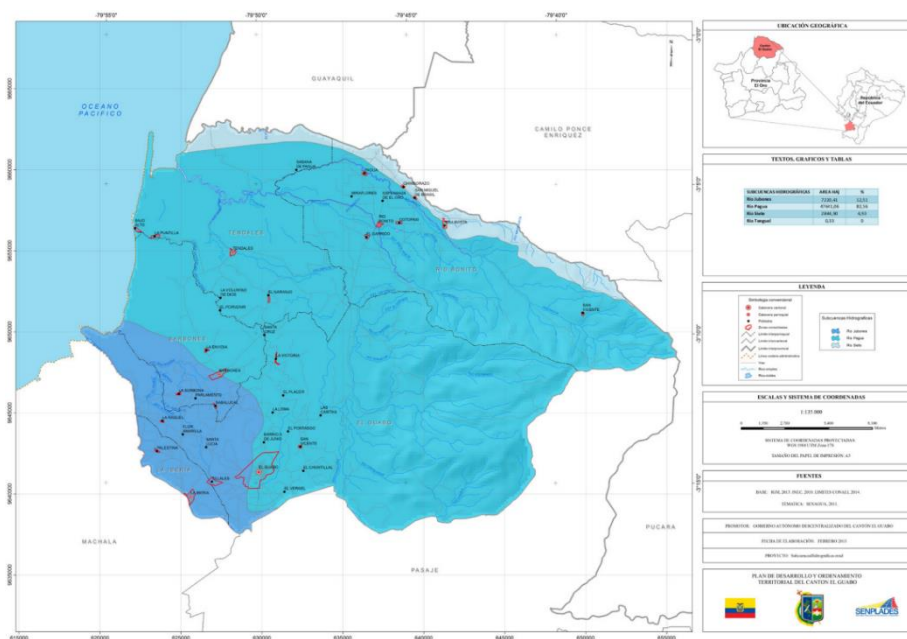
El Cantón El Guabo tiene ríos que se extienden desde el este al oeste y a lo ancho de la franja costanera, donde el más importante el río Jubones. Los ríos; Siete, Pagua, Bonito y Zapote, tienen caudales altos que producen inundaciones en los meses de diciembre a mayo, aunque en la actualidad esto es variable (época de lluvia) y de junio a noviembre (época de estiaje o sequía). Bajo Alto está ubicado en la costa ecuatoriana y ubicada geográficamente en una cordillera costera, al Norte limita con el río Tendales y al oeste con el océano pacifico. La mayor parte de la zona está conformada por bosques de manglar y camaroneras, es importante mencionar que el cantón El Guabo forma parte de cuatro Cuencas Hidrográficas, a continuación, se detalla las cuencas de mayor importancia del cantón El Guabo. (G.A.D EL GUABO, 2015)

Tabla 2 Cuencas hidrográficas del cantón El Guabo

<b>CUENCAS HIDROGRÁFICAS - CANTÓN EL GUABO</b>
Río Tenguel
Río Siete
Río Pagua
Río Jubones

Fuente: 3 Plan de desarrollo y ordenamiento territorial cantón el guabo

Figura: 2 Mapa de Subcuencas Hidrográficas del Cantón El Guabo

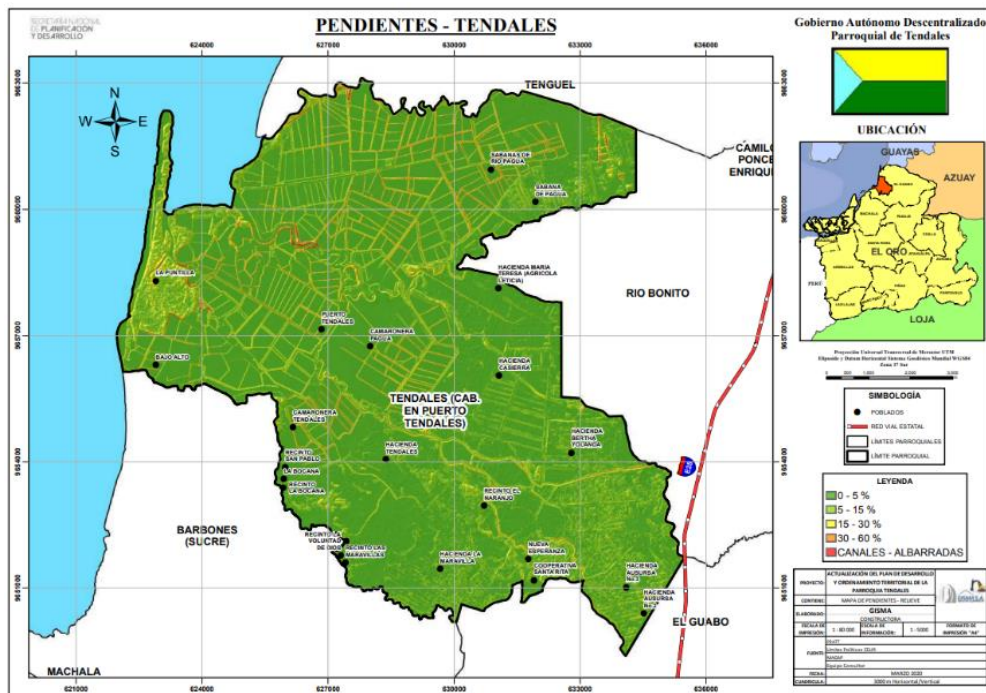


Fuente: 4 Plan de desarrollo y ordenamiento territorial cantón el guabo

### 1.2.6. Topografía.

Las condiciones de relieve son bastante uniformes, la forma fisiográfica del cantón es de una planicie costera situada entre las estribaciones de los Andes desde la cordillera de Mollopongo con elevaciones que van desde 0 has 3.128 m.s.n.m. descendiendo rápidamente para conformar un extenso valle con una ligera pendiente hacia el mar en las costas de Bajo Alto. En la siguiente imagen se muestra un mapa de pendientes de la parroquia Tendales. (G.A.D EL GUABO, 2015)

Figura: 3 Mapa de pendientes parroquia Tendales.



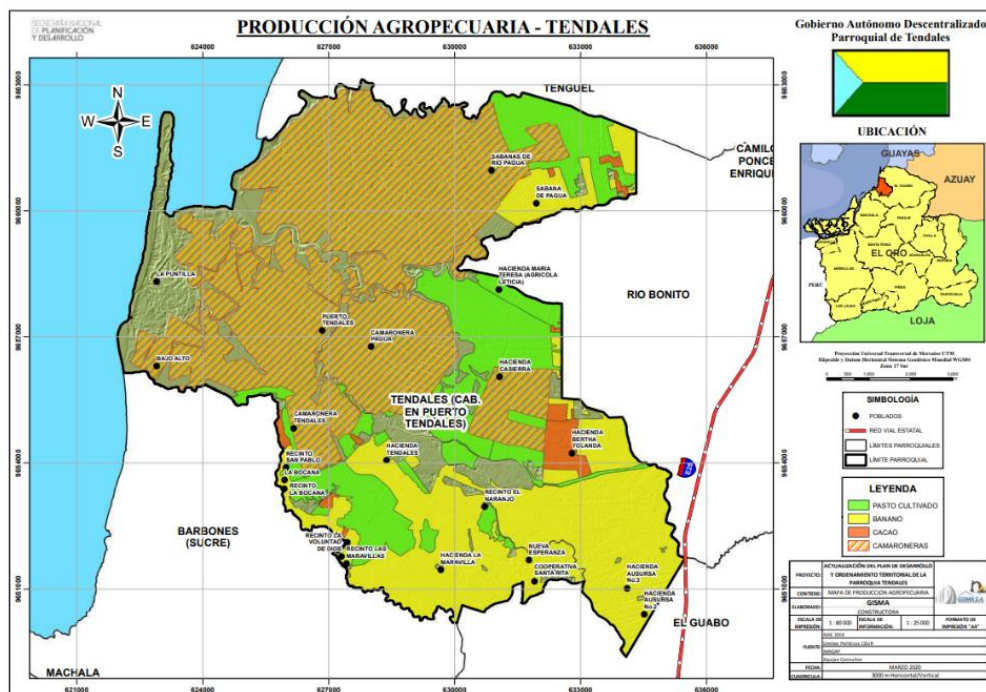
Fuente: 5 Grupo Consultor 2020

### 1.2.7. Uso del suelo.

La producción agropecuaria en la parroquia Tendales se caracteriza por ser cultivos de banano, cacao y camaronera, además, se implementa los cultivos del maíz y pasto con presencia de árboles. En la investigación realizada y publicada en el plan de desarrollo territorial de Tendales, establecen porcentajes de participación del uso del suelo, en donde el 49.69% corresponde a la producción de camarón en cautiverio (camaroneras), quizás el factor más importante que incide que sea un porcentaje bastante alto, tiene que ver con la delimitación que existe en la parroquia Tendales con el mar, por otra parte el 28.87% del uso del suelo corresponde a la producción del banano, el 18.81% a la producción del pasto cultivado, en épocas anteriores predominaba el cultivo de cacao en la parroquia en

lugar de la producción de banano, mientras que en los datos publicados en el año 2015, sitúan a la producción de cacao tan solo con un 2.02% y por último el 0.12% corresponde al pasto cultivado con presencia de árboles, el 0.11% corresponde a la producción del maíz y el 0.02% % corresponde a la producción de los cítricos (limón, naranja, etc. (Eco. Mairita Chalan, 2015). A continuación, se presenta el mapa de la producción agropecuaria de la parroquia tendales y es notorio ver que Bajo Alto se ubica en un sector donde la producción agropecuaria es dominada por el cultivo de camarón, en gran parte la producción de la zona está estrechamente vinculada al sector de la acuicultura teniendo las camaroneras una participación del 49.69% en el sector económico.

Figura: 4 Producción agropecuaria - Tendales



Fuente: 6 Grupo Consultor 2020

### 1.2.8. Geología.

Los diversos tipos de materiales geológicos (rocas y sedimentos), que afloran en la superficie terrestre de la parroquia Tendales, son tierras misceláneas que comprende tierras con elevada erosión, taludes y afloramientos rocosos y que no son consideradas para la agricultura, pero sí para la producción acuícola. A continuación, se presenta la descripción de la litología en el que se puede observar que el suelo de Bajo Alto está formado por arcillas, limos y arenas, con eventuales niveles conglomeráticos y tierras misceláneas (Eco. Mairita Chalan, 2015)

Tabla 3 Litología de la Parroquia Tendales

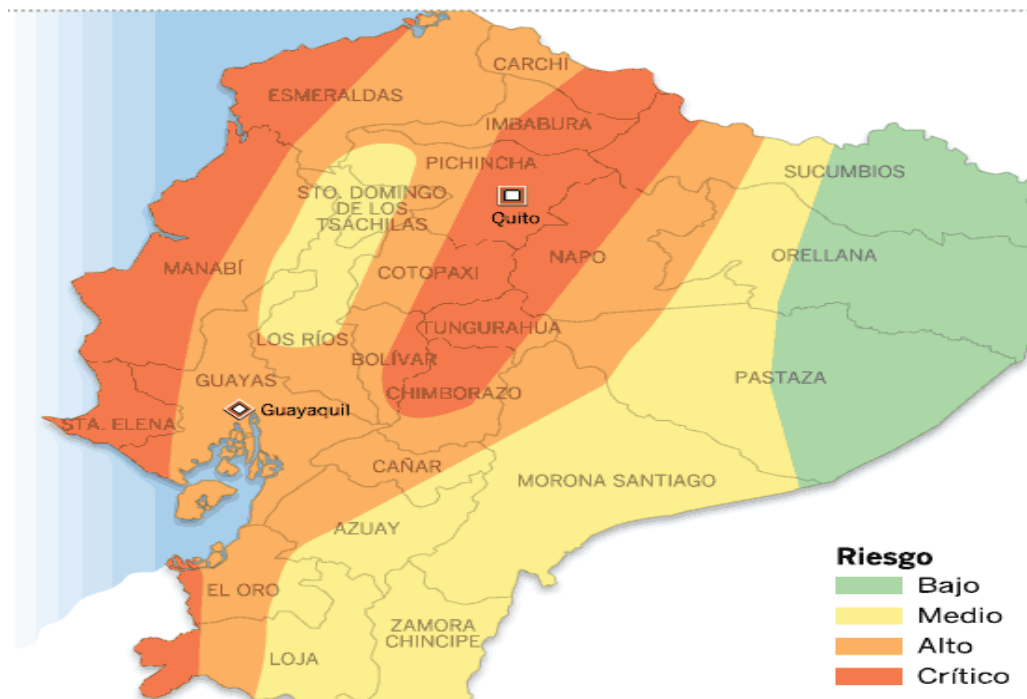
LITOLOGÍA	LONGITUD	ÁREA
Arcilla, limos y arenas, con eventuales niveles conglomeráticos y gran variedad lateral y vertical de facies.	10927.5	84.9
Tierras misceláneas	101677.5	876.4
Arenas, limones, arcillas y conglomerados	64094.7	3964.7
Otros	97393.7	5601.1
Arenas, limones y arcillas	12326.7	98.4

Fuente: 7 Grupo Consultor 2020

### 1.2.9. Amenaza sísmica.

En cuanto a esta temática la información disponible se refiere a zonas sísmicas y zonas susceptibles a movimientos en masa. La superficie total de la parroquia Tendales se ubica en una zona de alta intensidad sísmica, por tal motivo la probabilidad de ocurrencia de eventos sísmicos en la parroquia es alta, esto se puede observar en la siguiente figura, la cual describe las diferentes zonas sísmicas que existen en el Ecuador.

Figura: 5 Zonas sísmicas – ECUADOR



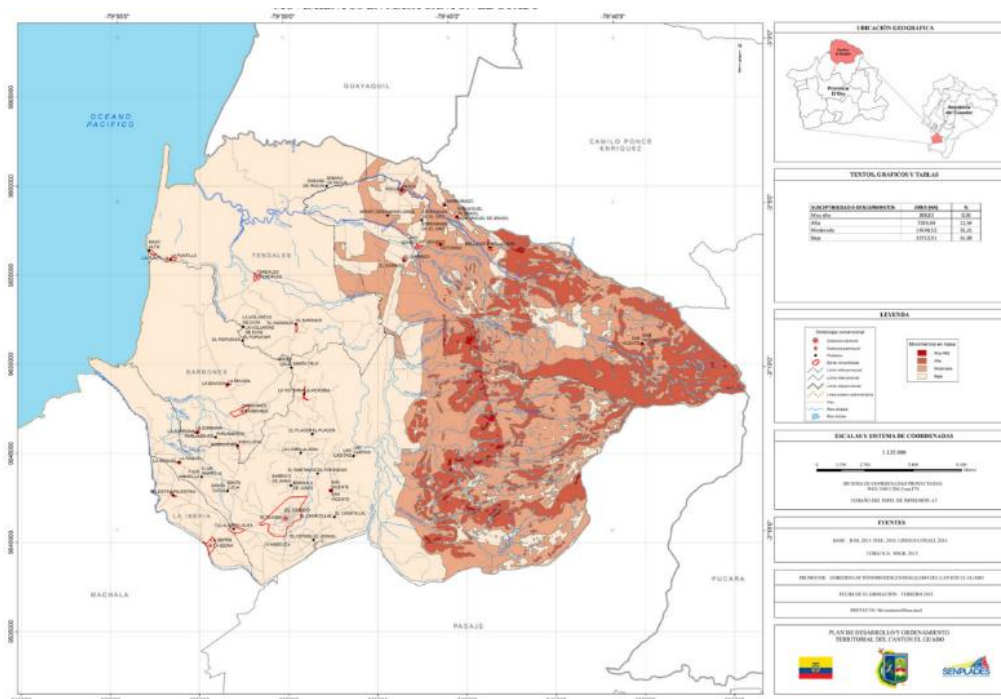
Fuente: 8 Código ecuatoriano de la construcción. (NEC)



### 1.2.10. Fallas geológicas.

En la siguiente imagen se establece la ubicación de las diferentes áreas con susceptibilidad relacionada a los movimientos en masa del Cantón El Guabo, se observa que las zonas con una susceptibilidad baja se ubican al oeste del territorio ocupando el 61,89% de superficie cantonal. Las zonas con susceptibilidad moderada ocupan una superficie aproximada de 14.548,52 hectáreas (25,21 %), distribuida en la parte oriental del cantón y corresponde al inicio del relieve con mayor pendiente. En la parte oriental del territorio, en los límites con los cantones Pasaje, Pucará y Camilo Ponce Enríquez se ubican las áreas con susceptibilidad alta a los movimientos en masa, abarcando una extensión de 7.235,44 hectáreas equivalentes al 12,54% del área total del cantón.(G.A.D EL GUABO, 2015), a la siguiente figura se puede observar el mapa de movimientos de masa, a partir de la información implícita que otorga el mapa de movimientos de masa se puede comentar que Bajo Alto – parroquia Tendales se encuentra ubicado en la parte oeste del mapa del cantón El Guabo, y de acuerdo al mapa la susceptibilidad a un movimiento de masa en la zona de estudio es baja.

Figura: 6 Movimientos en Masa del Cantón El Guabo



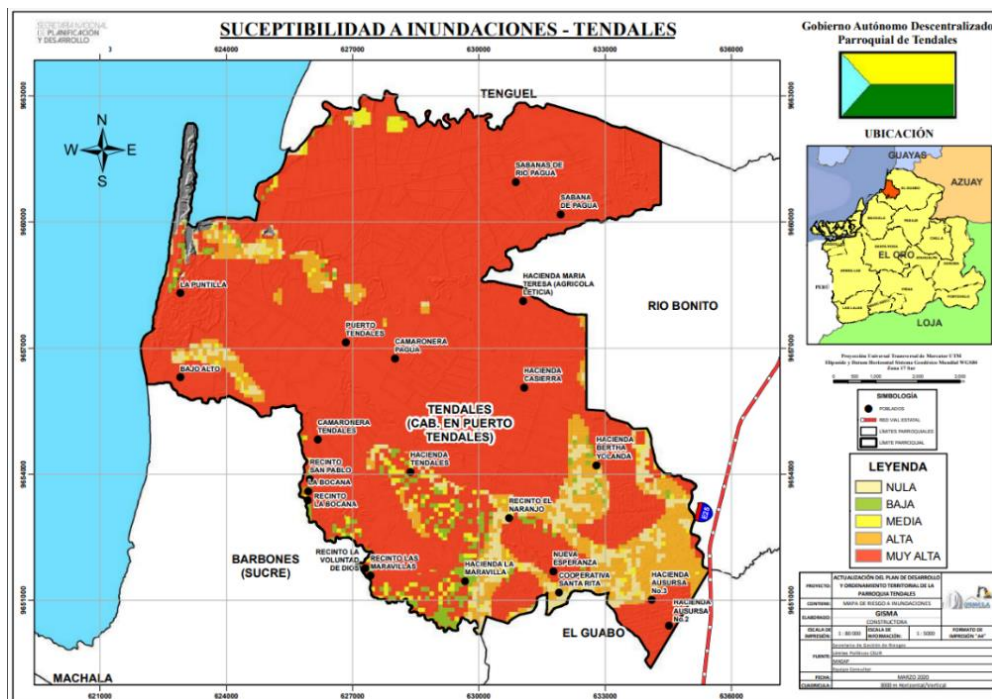
Fuente: 9 Plan de desarrollo y ordenamiento territorial cantón el guabo

### 1.2.11. Riesgos hidrológicos.

La Parroquia de Tendales en el tiempo de invierno sufre de inundaciones ocasionadas por el Río Chaguana y crecientes que provienen del mar, por lo que en la Comuna de Bajo Alto se construyó los muros de escollera, sin embargo, los moradores no han recibido capacitaciones o un plan de prevención correcto sobre las situaciones de riesgo que podría sufrir. Dentro de estas amenazas y riesgos están: la inundación, los movimientos en masa de la localidad, relacionados a la susceptibilidad de erosión, en donde la pendiente que mantiene la parroquia es poco pronunciada, sin embargo, existen áreas topográficas que podrían ocasionar derrumbes o deslaves. (Eco. Mairita Chalan, 2015)

A continuación, se presenta una imagen en la cual se ilustran las zonas más vulnerables a inundaciones, donde es evidente que Bajo Alto se encuentra ubicado en un sector que presenta un índice (muy alto) propenso a inundaciones, además del mapa se puede concluir que la mayor parte de la parroquia Tendales se encuentra en una zona vulnerable a inundaciones.

Figura: 7 Susceptibilidad a inundaciones - Tendales



Fuente: 10 Grupo Consultor 2020

### **1.3. Descripción de la situación problemática.**

#### **1.3.1. Descripción del problema.**

Una infraestructura vial en un buen estado es el pilar fundamental y estratégico para un desarrollo social, económico y el progreso de una región que busca crecer mediante el comercio interior y exterior, debido a que una buena infraestructura vial permite la comunicación entre diferentes pueblos, cantones y ciudades generando diferentes beneficios socioeconómicos. Sin embargo, una carretera en mal estado disminuye la calidad de servicio, además incrementa el costo de transporte y afecta la seguridad vial de los conductores y peatones.(Ríos et al., 2020)

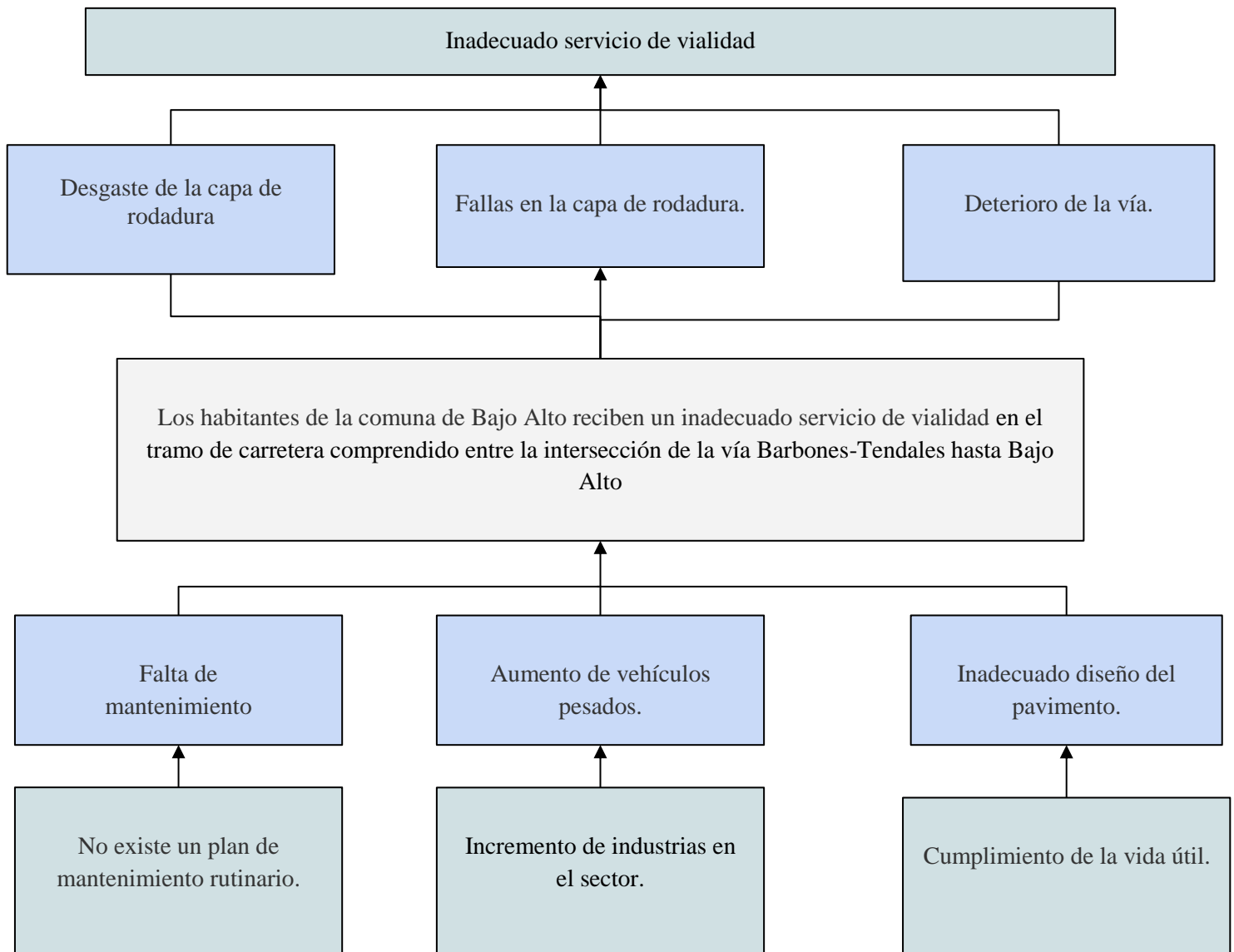
Actualmente, el tramo de carretera comprendido entre la intersección de la vía Barbones-Tendales hasta Bajo Alto, presenta un deterioro en su capa de rodadura evidenciando diferentes tipos de fallas a la largo de sus 6.05 Km de carretera, en donde a diario transitan vehículos livianos (personales y cooperativas de transporte liviano del sector) y pesados (cooperativas de transporte pesado, transporte de las empresas de gas licuado y de la industria acuícola), el Ing. Jorge Vera en su trabajo de maestría “*Metodología para evaluación de pavimentos flexibles de vías rurales, estudio caso vía barbones-tendales , cantón el guabo*” (Vera Jorge, 2022) realizó un conteo de tráfico, en donde los resultados mostraron que para una muestra de distintas tipologías de vehículos tales como: motos, vehículos livianos, buses y camiones, se evidenció que el tráfico se intensifica los fines de semana, este incremento se debe a que el sector cuenta con diferentes atractivos turístico que atraen visitantes de diferentes partes del país.

La Carretera de Bajo Alto no cuenta con las características adecuadas, en vista de que presenta deterioro en la infraestructura vial generando malestar para los oriundos del sector y para los habitantes de las comunidades aledañas que realizan diferentes actividades dentro del sector, como se mencionó anteriormente el desarrollo económico de una población depende en gran medida del estado de sus vías de comunicación, los habitantes locales, conocidos como comuneros, están inconformes con las características actuales que presenta la vía, debido al mal estado de la vía que implica una prolongación del tiempo de viaje y que no les permite una movilización eficiente de vehículos que transportan productos del sector, así mismo , el mal estado de la carretera limita que nuevas plazas de trabajo del mercado local e internacional ingresen al sector. El señor *Néstor Rojas* presidente actual de la directiva que dirige a la comuna de Bajo Alto,

manifestó, que no existe un plan para una adecuada y prudente evaluación estructural y superficial de las condiciones actuales en las que se encuentra la vía y mucho menos un proyecto en el que implique el mantenimiento gradual a largo plazo de la vía y de la señalización, que permita una apropiada intervención para el mejoramiento y conservación de la vía, lo cual conlleva un retroceso para el sector económico, ya que al ser la comuna de Bajo Alto uno de los balnearios más concurridos a nivel nacional por diferentes turistas es elemental contar con una vía de acceso de buena calidad que permita el desarrollo social y económico del sector.

### 1.3.2. Árbol de problemas (causas y efectos).

Figura: 8 árbol de problemas (causa efecto)



Fuente: 11 Autor

#### **1.4.1. Problema.**

¿Los habitantes de la comuna de Bajo Alto reciben un inadecuado servicio de vialidad en el tramo de carretera comprendido entre la intersección de la vía Barbones-Tendales hasta Bajo Alto?

#### **1.4.2. Problemas secundarios.**

- ¿Cuáles son los métodos para un estudio técnico del pavimento que permita un adecuado servicio de vialidad en el tramo de carretera comprendido entre la intersección de la vía Barbones-Tendales hasta Bajo Alto?
- ¿Cuáles son las condiciones de la carretera en el tramo comprendido entre la intersección de la vía Barbones-Tendales hasta Bajo Alto?
- ¿Cuáles son las alternativas de rehabilitación en el tramo de carretera comprendido entre la intersección de la vía Barbones – Tendales hasta Bajo Alto?

### **1.5. Delimitación del objeto de estudio.**

#### **1.5.1. De contenido**

- **Campo:** Ingeniería civil.
- **Área:** Vías terrestres.
- **Aspectos:** Mecánica de suelos, rehabilitación y Mantenimiento vial.

#### **1.5.2. Espacial.**

La presente investigación se realizará en la comuna de Bajo Alto, ubicada en Ecuador en la provincia de El Oro, parroquia Tendales a 30 minutos del centro cantonal El Guabo y a 40 minutos del terminal terrestre de la Ciudad de Machala. La zona de estudio se ubica específicamente en la vía que en la actualidad conecta la parroquia Tendales y Barbones con la comuna ancestral de Bajo Alto en el cantón El Guabo, y que tiene una longitud de 6.05 Km.

#### **1.5.3. Temporal.**

El presente trabajo se desarrollará en dos fases, la primera fase está comprendida entre los meses de mayo del 2022 hasta septiembre del 2022, y la segunda fase comprendida en los meses de noviembre del 2022 hasta marzo del 2023.

## **1.6. Justificación**

Un sistema vial desempeña un rol indispensable en el desarrollo socioeconómico y sostenible de todas las sociedades modernas. Una carretera en un buen estado es la columna vertebral para el crecimiento social y económico de una población, dado que el propósito de una vía de comunicación es permitir la libre y eficiente movilización de vehículos para el transporte de personas, materiales y productos, por lo que son el mejor medio de comunicación debido a que representan el motor de vida social y sobre todo una poderosa herramienta de civilización.(Liu et al., 2022)

El presente trabajo se lo realizó pensando en los pobladores de la comuna de Bajo Alto el mismo que será entregado al Gobierno Autónomo G.A.D El Guabo como una alternativa de solución, para la rehabilitación y mantenimiento del tramo de carretera comprendido entre la intersección de la vía Barbones-Tendales hasta Bajo Alto, debido al estado en que se encuentra la vía. Un proyecto de crecimiento urbano estará siempre vinculado a la construcción de vías o el mantenimiento de ellas para un buen desarrollo y mejoramiento de los procesos de calidad que faciliten un flujo continuo del tráfico.

Las fallas superficiales y estructural de la carpeta asfáltica, están originando contratiempos para los turistas y habitantes del sector, se vuelve una prioridad la necesidad de planificar un estudio de un sistema de mantenimiento vial, que permita dar solución al presente problema, el mal estado del pavimento, la presencia de baches, afectan a la productividad y desarrollo económico, social y cultural del sector. Para el desarrollo turístico es importante que la vía de acceso a la comuna de Bajo Alto llegue a convertirse en una prioridad en el itinerario de los turistas, además de fomentar la motivación del turismo especializado, sino que, favorezca una demanda multi motivacional en líneas de producto y turismo de naturaleza, turismo de deportes y aventura y turismo de sol y playa, así mismo que la zona de estudio se convierta en un gran exportador de productos acuícolas debido a que este último sector tiene una influencia en la zona del 49.69%.

Es por estas razones que un sistema de mantenimiento propone una corrección, reparación y adecuación de la vial con el fin de obtener una solución viable y que mejore las características técnicas existentes de la vía y de esta manera dar un acceso más ágil, rápido y seguro al tráfico vehicular, teniendo en cuenta que la rehabilitación y mantenimiento de la vía se convierte en una necesidad para beneficiar el desarrollo sostenible de la comunidad y pueblos aledaños.

## **1.7. Objetivos.**

### **1.7.1. Objetivo general.**

Proponer una alternativa de rehabilitación vial mediante técnicas de mantenimiento de carreteras que permita un adecuado servicio de vialidad para los usuarios en el tramo comprendido entre la intersección de la vía Barbones-Tendales hasta Bajo Alto.

### **1.7.2. Objetivos específicos.**

- Indagar los métodos para la evaluación de carreteras mediante la revisión bibliográfica que permita un adecuado servicio de vialidad en el tramo comprendido entre la intersección de la vía Barbones-Tendales hasta Bajo Alto.
- Evaluar las condiciones de la carretera mediante métodos técnicos en el tramo comprendido entre la intersección de la vía Barbones-Tendales hasta Bajo Alto.
- Proponer una alternativa de rehabilitación del pavimento en el tramo comprendido entre la intersección de la vía Barbones-Tendales hasta Bajo Alto.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

En vista de que la comuna de Bajo Alto no cuenta con un adecuado sistema vial, es indispensable contar con diferentes percepciones como punto de partida, para que nos permita dar una posible solución a la problemática. Previo al desarrollo del presente documento se ha revisado la biografía y posturas de diferentes autores obtenidas de diferentes fuentes bibliográficas nacionales e internacionales, a continuación, se muestran algunos de los antecedentes investigativos relacionados con el tema de estudio.

#### **2.1. Antecedentes contextuales.**

##### **2.1.1. Macro.**

En la historia de la humanidad las carreteras han sido la columna vertebral del transporte debido a que su construcción implica un desarrollo y crecimiento de una nación, los romanos fueron los primeros en conseguir unas perfectas comunicaciones terrestres, el diseño de las vías romanas mostró un carácter estratégico, puesto que eran utilizadas para comunicar la metrópoli el territorio militar esparcidas en toda Europa. La primera vía pavimentada que construyó el imperio romano fue la vía Appia la más importante de esa época ya que permitía la comunicación de roma con Brindisi el más importante puerto comercial con el Mediterráneo oriental y Oriente Medio.

La infraestructura vial es la base para el funcionamiento de las economías nacionales e internacionales y que otorgan una gama de beneficios sociales y económicos, sin embargo, el principal problema que presentan los países a nivel mundial es que no cuentan con un plan de conservación y mantenimiento de las carreteras y en muchos casos solo se cuenta con un plan para las carreteras de primer orden y no para las carreteras convencionales, este plan es imprescindible para conservar los beneficios que ofrecen las carreteras. El mantenimiento de una red vial es de gran importancia, debido a que permite mantener una carretera en condiciones óptimas, por esta razón, los métodos de evaluación que permiten diagnosticar las diferentes fallas de la capa de rodadura, deben ser eficientes y no deben ampliar mucho tiempo. En la actualidad, se está prefiriendo los índices de evaluación superficial de pavimentos asfálticos, como el índice (PCI), el índice de estructura (SI), el índice de servicio de pavimento (PSI) y por último el índice de



rugosidad (IRI), el objetivo principal de estas metodologías es identificar los problemas que presentan las vías y una vez identificado y analizado los resultados obtenidos en campo, diseñar un plan de mantenimiento y conservación de la capa de rodadura. (Mei et al., 2022)

### **2.1.2. Meso.**

Las diferentes investigaciones realizadas por años, proponen que la gran parte de las metodologías dedicadas a estimar las condiciones del pavimento (índices), se encuentran relacionados unos con otros, debido a que se han generado varios modelos para estimar las condiciones de la capa de rodadura a partir del otro. El método PCI se sustenta en los deterioros superficiales que se pueden observar y en un análisis estadístico debido a que se necesita un número mínimo de muestras para ser analizadas mediante una inspección visual, sin embargo, de la misma manera indica la integridad estructural del pavimento y su operatividad. No obstante, es un método que lleva mucho tiempo debido a que se debe analizar todas las fallas más pronunciadas existentes en la muestra determinada y que puede ser interrumpida por el flujo vehicular y genera inseguridad para las personas que estén en campo haciendo el análisis, este método contempla un inventario con diecinueve fallas y con tres niveles de gravedad los cuales son; bajo, medio y alto. (Elhadidy et al., 2021)

Ecuador presenta limitaciones importantes en su infraestructura de transportes. Aunque en términos de kilómetros de vías pavimentadas, densidad de la red vial nacional, los aspectos de gestión de la infraestructura presentan deficiencias serias. El transporte interno depende fundamentalmente de carreteras tanto para carga como para pasajeros. No hay duda que una de las preocupaciones más importantes de los últimos años es el deterioro de las carreteras del Ecuador según el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, menos del 13% de las vías del país están en muy buen estado. Un 44% está calificado como (bueno). Sin embargo, en poco más del 43% restante se debe (circular con precaución)

El Ing. Galo Salazar Noboa (Noboa Galo, 2008) en su tesis de posgrado expresa que el problema de las carreteras del Ecuador es la generación de un deterioro excesivo de los elementos viales, porque no se implementa un sistema de control, inventario, monitoreo y de provisión de datos para futuros planes y programas de intervención, aplicable a la

realidad física, económica y social de las provincias, cantones y ciudades del país, con graves consecuencias: elevados costos de mantenimiento vial y de operación de vehículos. En las carreteras del país se observa con frecuencia la gran diferencia en costo que implica no intervenir a tiempo en una vía, dejando desarrollar su deterioro y postergando su mantenimiento o rehabilitación. Este fenómeno desencadena en la necesidad de realizar costosas reconstrucciones luego de un prolongado periodo de operación con niveles de servicio muy por debajo de los estándares recomendados para proporcionar al usuario confort y seguridad en sus viajes.

### **2.1.3. Micro.**

La carretera de acceso a la comuna de Bajo Alto de 6.05 km y que conecta a las parroquias rurales de Barbones - Tendales con la comuna de Bajo Alto, se encuentra en mal estado presentando diferentes fallas en la capa de rodadura y que por el momento no se están tomando las medidas necesarias para solucionar el problema que presenta. Bajo Alto al ser un lugar turístico, acoge a diario visitantes provenientes de diferentes partes del Ecuador, en los últimos años Bajo Alto ha presentado un movimiento turístico acelerado debido a que es el único balneario natural en el perfil costero de la provincia de El Oro y permite su fácil acceso por vía terrestre generando un incremento en el flujo vehicular.

Es evidente el excesivo desgaste de los elementos viales, por falta de un sistema de control, intervención, seguimiento y monitoreo de prevención de datos para futuros programas de intervención, a consecuencia de esto, el nivel de serviciabilidad de la vía son muy bajos y esto se debe al deterioro de la capa de rodadura, con respecto a esto para las habitantes, trabajadores y turistas es peligroso transitar puesto que se pueden originar posibles accidentes en el tramo de la vía, los mismos que ya se han suscitado. En lo que se refiere a económica, las condiciones climáticas, hidrológicas y la topográficas hacen que el sector sea rico en actividades agrícolas y entre otras activadas, las mismas se mencionan a continuación; pesca artesanal, recolección de cangrejos y conchas marinas que son desarrolladas principalmente por moradores oriundos del sector, las cuales llevan desarrollándose desde hace más de 30 años y por esta razón las convierte como las actividades más frecuentadas por los pobladores.

La actividad económica más importantes del sector y de la provincia de El Oro, son los cultivos de camarón (camaroneras) realizados por diferentes empresarios

nacionales que exportan y explotan al máximo las características topográficas del sector, como es de saber el sitio se encuentra delimitado con el mar lo que es una ventaja para el sector acuícola, por último, pero no menos importante es la exportación nacional del gas licuado producido en la zona y realizado por la empresa PETROECUADOR, hay que mencionar que la página web *EPETROECUADOR* hace referencia que la planta procesa alrededor de 1.100 barriles equivalentes de Gas Natural por día y se encarga de licuar el gas que proviene del campo Amistad, ubicado en el Golfo de Guayaquil, mediante un proceso criogénico que reduce la temperatura del GNL hasta 160 grados centígrados bajo cero, provocando el cambio de estado gaseoso a líquido.

## **2.2. Antecedentes históricos.**

En el estudio de Jorge Vera publicado en el año 2022, “*Metodología para evaluación de pavimentos flexibles de vías rurales, estudio caso vía barbones-tendales, cantón el guabo*”(Vera Jorge, 2022) .

El objetivo principal de esta investigación es desarrollar una metodología de evaluación de pavimento flexible y determinar cómo esta evaluación influye en la vida útil del pavimento. El autor de esta tesis empieza realizando una evaluación superficial de la vía Barbones-Bajo alto mediante el método Índice de Condición del Pavimento (PCI), luego procedió a evaluar estructuralmente el pavimento por medio de un ensayo no destructivo llamado método por deflectometría, en donde este último método le permite al autor contar con una herramienta para establecer parámetros y conocer el estado actual del pavimento en cualquier momento de su vida de servicio.

Felipe Redrován publicó en el año 2021 un trabajo titulado “*Evaluación vial y alternativas de rehabilitación para la vía Azogues - San Miguel de Porotos – Jatumpamba* (F. Flores, 2021)”

Esta investigación se centra en realizar una evaluación superficial del estado actual de la vía y posterior realizar el diseño de la rehabilitación del pavimento. La investigación inicia su trabajo realizando una evaluación superficial de la capa de rodadura utilizando el método del Índice de Condición del Pavimento (PCI), en donde identificó que las principales fallas presentes en la vía fueron, piel de cocodrilo, baches, parches, hundimientos, peladura por intemperismo y agregado

pulido. De los resultados obtenidos y de los análisis realizados se identificó que la vía tiene un alto grado de deterioro y con base a estos resultados el Felipe Redrovan estableció como propuesta de rehabilitación el reciclado más estabilización con cemento como la alternativa más viable.

Diana Garcés en el año 2017 realizó una investigación denominada “*Evaluación vial y plan de rehabilitación y mantenimiento de la vía Azogues- Cojitambodeleg- La Raya* (DIANA, 2017)”

La autora empieza el documento destacando que la conservación vial es esencial para asegurar un desempeño óptimo y adecuado de una vía. El objetivo de esta investigación es realizar una evaluación del estado actual de la vía utilizando la metodología (PCI), en donde se determinó en base a los resultados que el pavimento se encuentra catalogado como “malo” debido a que el índice de condición del pavimento fue 41. Al finalizar la investigación la autora propone actividades para remediar y/o reparar los distintos daños que fueron encontrados en el pavimento, entre las actividades planteadas se encuentran sobrecapas y reconstrucciones, además planteó un orden para la ejecución de las actividades para la conservación de la vía y una descripción de las especificaciones técnicas y metodologías de trabajo de cada actividad a realizar y en los puntos más críticos que necesiten intervención.

### **2.3. Antecedentes Conceptuales.**

#### **2.3.1. Carreteras.**

Son estructuras de transporte público, que están limitadas por un ancho de franja o denominado como carril, el objetivo de una carretera es permitir la movilidad y desplazamientos de manera continua, según Flores Rangel y Jorge Adrián destacan que las carreteras continúan avanzando a través del corazón del tejido social y económico en los territorios urbanos, indígenas y campesinos, las carreteras se pueden clasificar mediante ; jerarquía dentro de la red vial, por la condición del pavimento , por su tránsito, por el ancho de la vía. (A. Flores, 2015)

#### **2.3.2. Pavimentos.**

Un pavimento es un conjunto de capas que se encuentran superpuestas una tras otra horizontalmente y que se diseñan y construyen de una manera técnica y con materiales aptos para ser utilizados en las diferentes capas y que son compactados, las capas son apoyadas sobre el terreno natural o subrasante, la misma que tiene que resistir de forma adecuada las cargas externas generadas por el tráfico vehicular durante un determinado periodo de tiempo. (De La Cruz Vega et al., 2022)

### **2.3.3. Clasificación de los pavimentos.**

Los pavimentos se clasifican en tres tipos, los cuales son; pavimentos flexibles, este tipo de pavimentos se caracteriza por estar conformado por una capa superficial denominada como capa asfáltica, por otra parte, también existe el pavimento rígido, el cual se caracteriza por estar conformado por una losa de cemento portland y por último también se tiene los pavimentos mixtos, este tipo de pavimentos está conformada con piezas de hormigón prefabricadas comúnmente llamadas adoquines. En el artículo *“Appraising Pavement Surface Distresses And Expected Mitigation Measure On Selected Road Segment”* enfatiza que es una tarea imposible diseñar un tipo de pavimento de tal modo que no se deteriore con el tiempo o el tráfico vehicular, entonces el objetivo del diseño de una carretera es impedir o limitar el deterioro, por otra parte, las fallas de un pavimento pueden ser; fallas estructurales, funcionales o de materiales, no obstante también existen fallas que son la unión de dos o más fallas. (Asele & Lachore, 2021)

Es de menester mencionar que la carretera de estudio que se analizará en este documento está conformada por un pavimento flexible, a razón de esto el presente texto se centrará en analizará únicamente el pavimento flexible.

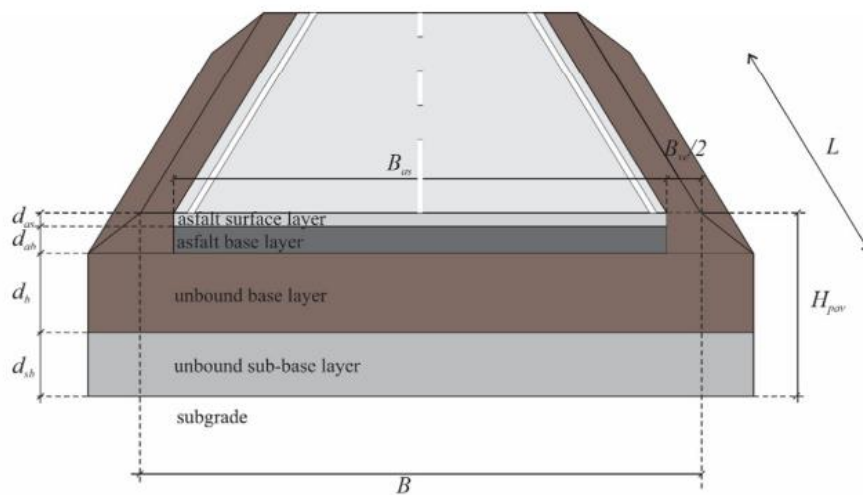
### **2.3.4. Pavimentos flexibles.**

Los pavimentos flexibles son estructuras conformadas por diferentes capas colocadas una sobre otra, en donde los mejores materiales se encuentran en la parte superior de la subrasante, debido a la alta intensidad del tráfico, las presiones generadas por los neumáticos o el aumento de las cargas por ejes. Este tipo de pavimento se compone de asfalto colocado sobre una base granular o subbase y soportadas por el suelo compactado o subrasante. (Belete & Arega, 2019)

La determinación del grosor de las capas del paquete estructural está en función de la calidad de la subrasante o suelo natural, cuando se trata de una subrasante mala esta puede

ser mejorada en cuanto a su calidad. El método de diseño de pavimentos varía en diferentes países del mundo, algunos de los métodos utilizados son puramente empíricos y otros son mecanicistas – empíricos. Se debe tomar en cuenta las consideraciones económicas al momento de seleccionar las combinaciones finales del espesor de la capa y de las propiedades del material, entonces es importante realizar diferentes iteraciones para encontrar una solución que cumpla con los requisitos y minimice costos, A continuación, se detalla cómo está conformado la estructura de un pavimento flexible. (Zambrano & Tejada, 2023)

Figura: 9 Estructura del pavimento flexible.



Fuente: 12 Primož Jelušič, R. Varga and B. Zlender

### 2.3.5. Elementos que integran un pavimento flexible.

Cuando se realizan ensayos de laboratorio a los materiales que constituyen a la bases y subbases granulares de los pavimentos flexibles, suele resultar que carecen de las características exigidas por las normas vigentes, en especial a la composición granulométrica y plasticidad. Las recomendaciones técnicas para el diseño de carreteras, establecen que los materiales granulares deben resistir las tensiones generadas por el tráfico vehicular. A continuación, se realiza una descripción de los diferentes materiales y capas que forman la estructura de un pavimento flexible según lo especificado por el (MTOF-001F-2002).

#### 2.3.5.1. Subrasante.

Es el suelo natural que soporta la estructura del pavimento o mejorado en cuanto a su calidad y depende del espesor de las diferentes capas del pavimento. Se puede formar en áreas de relleno y corte, las mismas que deben ser conformadas y compactadas en secciones transversales previstas en el diseño. La subrasante debe cumplir con requisitos de resistencia, inmunidad e incomprensibilidad a la expansión y contracción por los efectos causados por la humedad. (Zarate, 2019)

#### **2.3.5.2. Subbase granular.**

La subbase está situada por debajo de la base y sobre el terreno natural o subrasante, su función es entregar a la base un cimiento uniforme y posibilitar una plataforma de trabajo para su compactación. Es un material compuesto por suelos naturales o en muchos de los casos combinación con agregados que son obtenidos en el proceso de trituración o de cribado. Las características de calidad que deben poseer estos materiales son, capacidad de soporte mínima de 30% y los fragmentos que pasen el tamiz N°40 deberá tener un índice de plasticidad menos que 6 y un límite máximo de 25, además el coeficiente de los ángulos inferiores al 50%. Existen tres tipos de subbase granular, clase 1, clase 2 y clase 3 que de igual forma deben cumplir con los requisitos vigentes. (Zambrano Meza & Tejeda Piusseaut, 2019)

#### **2.3.5.3. Base granular.**

Es una capa que se encuentra ubicada por debajo de la carpeta asfáltica y por encima de la subbase, su principal función es absorber la mayor parte de los esfuerzos generados por las cargas vehiculares. Está conformada por una combinación de piedras o gravas con arenas o suelo natural, clasificados o triturados parcialmente. Los materiales utilizados para la base granular deben cumplir requisitos para garantizar un buen funcionamiento. La capacidad de soporte deberá cumplir un CBR mayor o igual del 80% la porción que pase el tamiz N°40, deberá tener un índice de plasticidad menor que un 6% y el límite líquido no deberá superar el 25%. Los agregados empleados deberán ser mayor que el 40%. (Zambrano Meza & Tejeda Piusseaut, 2019)

#### **2.3.5.4. Carpeta asfáltica.**

Es una capa bituminosa y que está apoyada sobre dos capas no rígidas, la base y subbase, la capa de rodadura se encuentra expuesta a condiciones climáticas, ambientales, lluvias

y tráfico, sin embargo existe un contenido de agua que es beneficio para la estructura, ya que eleva la resistencia a la deformación permanente, pero un incremento sustancial del contenido de agua, generan saturación en los materiales, además se aumenta la presión de los poros y la disminución de los esfuerzos efectivos, lo que conlleva la pérdida de la rigidez y de la resistencia a las deformaciones. Entonces el objetivo de la carpeta asfáltica es proteger a la estructura del pavimento por medio de la impermeabilización de la superficie, debido a que evita la filtración de agua proveniente de las lluvias u otros factores, puesto que cuando aumenta el contenido de agua en base y subbase incrementa la tasa de pérdida de serviciabilidad del pavimento. (Rondón & Reyes, 2009)

### **2.3.6. Deterioro de los pavimentos flexibles.**

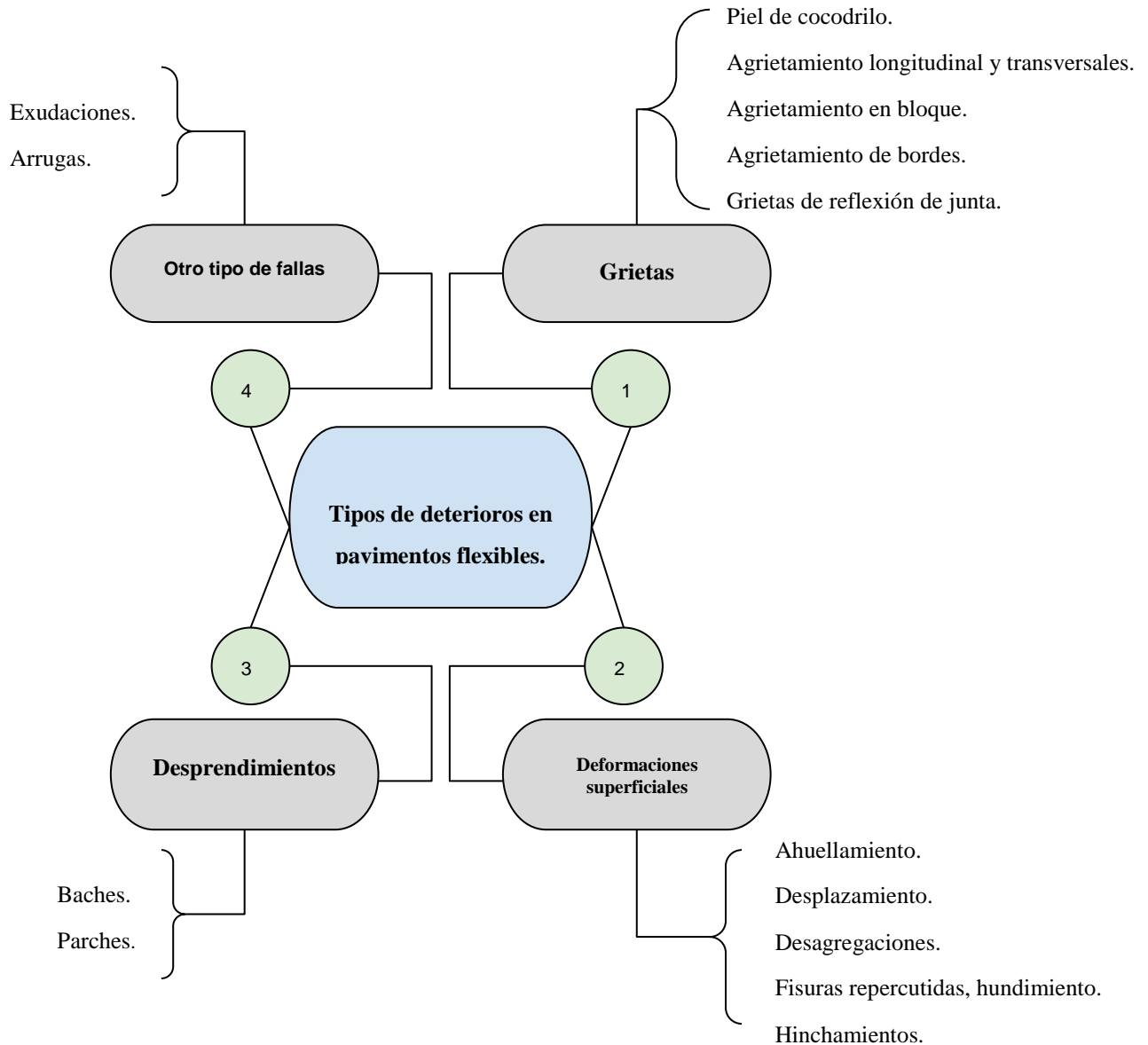
Las diferentes actividades de mantenimientos correctivos que se realizan a las vías de comunicación, son ejecutadas sin un correcto plan de mantenimiento, en pocas palabras de una manera incorrecta, estas prácticas generan un impacto negativo en la carretera, puesto que aumenta la tasa de deterioro del pavimento. Existen otros factores que incrementan la tasa de deterioro de los pavimentos flexibles, en los cuales se pueden mencionar la fatiga mecánica, las condiciones ambientales de la zona tales como; lluvia, sol, humedad entre otros. (Pereira et al., 2019)

### **2.3.7. Tipos de deterioros en pavimentos flexibles.**

Las imperfecciones en los pavimentos flexibles son un problema constante en todo el mundo, el crecimiento del parque automotor, la expansión dentro de una red vial, la falta de mano de obra calificada y un plan adecuado para la conservación y mantenimiento de la red vial ha generado diversas complejidades en los pavimentos (fallas superficiales y estructurales). Un plan de mantenimiento juega un rol importante, debido a que su objetivo principal es mantener la capa de rodadura y sus accesorios en un buen estado y de hecho aumentará la vida útil de los componentes de una red vial hasta su vida de diseño. Por otra parte, si no se realiza un mantenimiento de la capa de rodadura, esta sufrirá diferentes fallas y daños antes de llegar a su vida útil a tal punto que en muchas ocasiones se ven inaccesibles. A continuación, se detallan y clasifican varios defectos en los pavimentos flexibles. (Riyaz Khanday et al., 2021)



Figura: 10 Tipos de deterioros en pavimentos flexibles



Fuente: 13 Autor

### 2.3.7.1 Grietas.

Piel de cocodrilo. – Por lo general son grietas originadas por la falla de fatiga debido a las cargas repetitivas de los vehículos el daño se localiza en la capa de rodadura y las grietas se encuentran interconectadas.

Agrietamiento longitudinal y transversal. – Son grietas que se encuentran paralelas al eje de la capa de rodadura o en la dirección de construcción.

Agrietamiento en bloque. – Son grietas interconectadas que se las puede identificar porque dividen el pavimento en pedazos rectangulares, estos bloques pueden variar sus

dimensiones, este tipo de falla se debe por la contracción del asfalto o los cambios de temperatura.

Agrietamiento de bordes. – Son paralelas a la dirección de construcción, este tipo de falla puede generarse por debilitamiento, debido a las condiciones climáticas o materiales constructivos.

Grietas de reflexión de junta. – Este tipo de falla solo ocurre en pavimentos asfálticos contruidos sobre una losa de concreto de cemento Portland, son originadas por el movimiento de la losa de cemento Portland.

### **2.3.7.2 Deformaciones superficiales.**

Ahuellamiento – Son depresiones en la capa de rodadura bajo las bandas de circulación del tráfico, se suele originar por el movimiento lateral de los materiales debido a las cargas repetitivas del trabajo vehicular.

Desplazamiento – Se refiere al corrimiento longitudinal de la superficie del pavimento, esta falla es producida cuando las cargas vehiculares empujan contra el pavimento produciendo ondas de diferentes grados de severidad.

Desagregaciones. – Por lo general son originadas por insuficiencia de adhesividad entre el árido y el betún, esto se debe al envejecimiento del betún el cual activa las mezclas abiertas por la acción atmosférica sobre los huecos próximos a la superficie.

Fisuras repercutidas, hundimiento. – Estas fallas son originadas debido a las grietas existentes en las capas inferiores o la deformación de las capas granulares debido a los materiales inadecuados o contaminados

Hinchamientos. – Es identificado por un pandeo vertical de la capa de rodadura, este tipo de falla suele estar acompañado de agrietamiento superficial.

### **2.3.7.3 Desprendimientos**

Baches – Son depresiones originadas en la superficie del pavimento, esta falla se produce cuando el tráfico desprende partes de la capa de rodadura, esta desintegración del pavimento suele ocurrir cuando la mezcla de material bituminoso y agregados es pobre.

Parches – Se refiere a una pequeña o gran área del pavimento que fue reemplazada con material nuevo para solucionar el problema.

Pulimiento de agregados – Son fallas que se las identifica cuando el agregado en la capa de rodadura es visible y se vuelve suave al tacto

#### **2.3.7.4 Otro tipo de fallas.**

Exudaciones. – Son manchas de material bituminoso que surgen en la superficie de rodadura, estas fallas son producidas por una desigualdad del contenido de betún en la mezcla.

Arrugas. - Son acanaladuras que se originan en la sección transversal a la dirección del tráfico, en algunos sectores de la carretera pueden existir discontinuidades bajo la capa de rodadura. (Riyaz Khanday et al., 2021)

### **3.3.8. Metodologías de evaluación funcional y estructural del pavimento.**

#### **3.3.8.1. Formas de evaluación.**

El mantenimiento realizado de una manera incorrecta, la filtración de agua en las grietas originadas en las diferentes capas de la estructura y las cargas repetitivas del tráfico sobre la calzada, generan daños constantes en el pavimento, los pavimentos pueden ser evaluados de la siguiente manera;

- Inspección visual.
- Ensayos no destructivos.
- Ensayos destructivos.

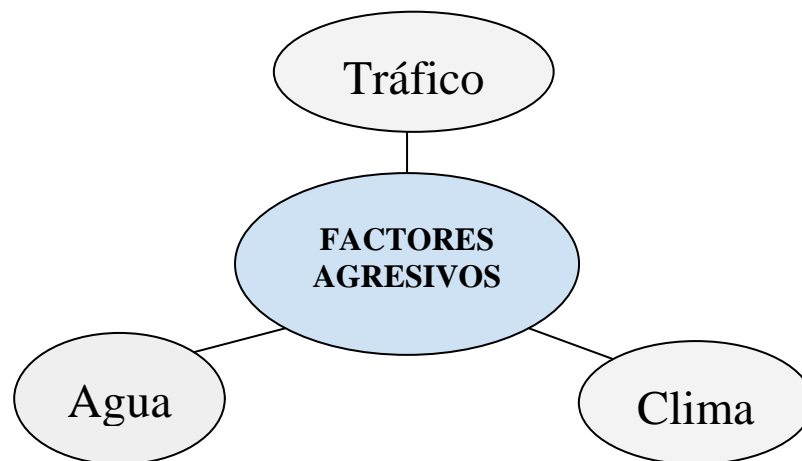
Este trabajo se enfoca esencialmente en la evaluación visual aplicando el método PCI y ensayos destructivos, realizando calicatas en puntos estratégicos, tal y como el área donde se identifique el mayor valor del PCI y el menor, de esta manera se podrá identificar y comparar los resultados.

#### **3.3.8.2. Factores agresivos.**

Todas las obras civiles tienen que enfrentarse al problema del deterioro y este problema se lo ha reconocido a nivel mundial como una amenaza crítica que pone en riesgo la vida útil de la estructura. El pavimento está expuesto a la atmósfera y debido a esto mantiene una constante lucha con el efecto climático, ambiental y las cargas vehiculares. En los

estudios que se han realizado en las últimas décadas, establecen que el deterioro del pavimento está ligado con el clima, el medio ambiente y las cargas que constantemente tiene que soportar. En un pavimento asfáltico la temperatura y la humedad juegan un rol importante en el deterioro de la capa de rodadura y esto se debe a que el pavimento flexible tiene una alta sensibilidad a la temperatura y a la humedad entonces el rendimiento y el servicio son más propensos a presentar algún tipo de falla y deterioro. A continuación, se presenta los factores de mayor incidencia en el desgaste de pavimentos asfálticos.(Si et al., 2014)

Figura: 11 Factores agresivos.



Fuente: 14 Autor

### 2.3.9. California Bearing Ratio (CBR)

Como se hizo mención anteriormente, una estructura de pavimento se encuentra conformada por capas de diferente espesor, calidad y materiales, y que son soportadas por la capa conocida como subrasante. En muchas situaciones se opta por incorporar capas adicionales estabilizadas o se estabilizan las capas granulares con el propósito de aprovechar las propiedades de los componentes de la estructura y reducir el espesor de la carpeta asfáltica. El tipo y las propiedades de la subrasante son indispensables para el futuro desempeño de la estructura, ya que en investigaciones que se han realizado recientemente estiman que la subrasante controla aproximadamente el 80% de las deformaciones del pavimento. (Sandoval & Rivera, 2019)

El ensayo de California Bearing Ratio (CBR) es un indicador del suelo que se utiliza para ponderar la capacidad de resistencia de un determinado suelo como subrasante, subbase

y base, es un tipo de ensayo empírico que lo realiza a partir de una humedad óptima y densidad. En los países desarrollados y en vías de desarrollo es una práctica común diseñar los pavimentos a partir del CBR estimado, Eimar Sandoval y William Rivera comentan en su artículo, que el Asphalt Institute, el U.S. Army Corps of Engineers, la AASHTO 93 y el Mechanistic-empirical pavement design guide: a manual of practice todas estas instituciones de los Estados Unidos, permiten diseñar la estructura del pavimento a partir del CBR. (Sandoval & Rivera, 2019)

La subrasante está categorizada en diferentes grupos, y esto está en función de su CBR estimado generalmente en laboratorio y con muestras obtenidas en situ, a continuación, se muestra una tabla donde se encuentran las categorías que existen y el rango del CBR que debe tener cada subrasante, esta tabla fue obtenida de Manual de carreteras, suelos y pavimentos (Biblioteca Nacional del Perú).

Tabla 4 Categorías de la Subrasante

CATEGORÍAS DE LA SUB-RASANTE		
TIPO	CATEGORÍA	CBR
S0	INADECUADA	CBR < 3%
S1	POBRE	CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S2	REGULAR	CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S3	BENA	CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S4	MUY BUENA	CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S5	EXCELENTE	CBR ≥ 30%

Fuente: 15 Manual de carreteras, suelos y pavimentos (Biblioteca Nacional del Perú).

### 2.3.10. Clasificación de suelos.

Cristian G. y Lucio V. comen que en la actualidad para la clasificación de suelos se aplican dos sistemas conocidos de clasificación, el cual viene dado por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), ambas metodologías comparte algo en común, utilizan las propiedades físicas y mecánicas del suelo para poder clasificarlo, tales como granulometría y límites de Atterbetg, por otra parte también sugieren una nueva forma de clasificar el suelo que se basa en la sensibilidad eléctrica. (Guerrero & Lucio, 2018). Es importante mencionar que en este documento se realiza únicamente la

clasificación AASHTO para los suelos que se encuentran por encima de la capa de la subrasante.

### 2.3.10.1. Sistema de clasificación AASHTO

Braja Das. Comenta que la clasificación AASHTO clasifica al suelo en grupos A-1, A-2, y A-3 y que son materiales granulares, en donde el  $\leq 35\%$  de las partículas pasan el tamiz N°200. Por otra parte, cuando el porcentaje que pasa de las partículas es  $\geq 35\%$  se trata de limos o materiales tipo arcilla, y están clasificados en los grupos A-4, A-5, A-6 y A7. (Das, 2013).

#### Serie ASTM.

- Tamiz #10 – 2 mm
- Tamiz #40 – 0.5 mm
- Tamiz #200 – 0.08mm

Figura: 12 Sistema de clasificación de suelos.

SISTEMA DE CLASIFICACION AASHTO											
Clasificación General	Suelos granulares ( $\leq 35\%$ pasa 0,08 mm)						Suelos finos ( $>35\%$ Bajo 0,08 mm)				
Grupo	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Sub-grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7*				A-7-5** A-7-6**
2 mm	$\leq 50$										
0,5 mm	$\leq 30$	$\leq 50$	$\geq 51$								
0,08 mm	$\leq 15$	$\leq 25$	$\leq 10$	$\leq 35$				$\geq 36$			
WL				$\leq 40$	$\geq 41$	$\leq 40$	$\geq 41$	$\leq 40$	$\geq 41$	$\leq 40$	$\geq 41$
IP	$\leq 6$		NP	$\leq 10$	$\leq 10$	$\geq 11$	$\geq 11$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\geq 11$	$\geq 11$
Descripción	Gravas y Arenas		Arena fina	Gravas y arenas Limosas o Arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
	** A-7-5 : $IP \leq (WL-30)$						A-7-6 : $IP > (WL-30)$				
	$IG = (F - 35)(0,2 + 0,005 (WL - 40)) + 0,01 (F - 15)(IP - 10)$ * Para A-2-6 y A-2-7 : $IG = 0,01 (F - 15)(IP - 10)$ Si el suelo es NP $\rightarrow IG = 0$ ; Si $IG < 0 \rightarrow IG = 0$										

Fuente: 16 AASHTO

### 2.3.10.2. Granulometría.

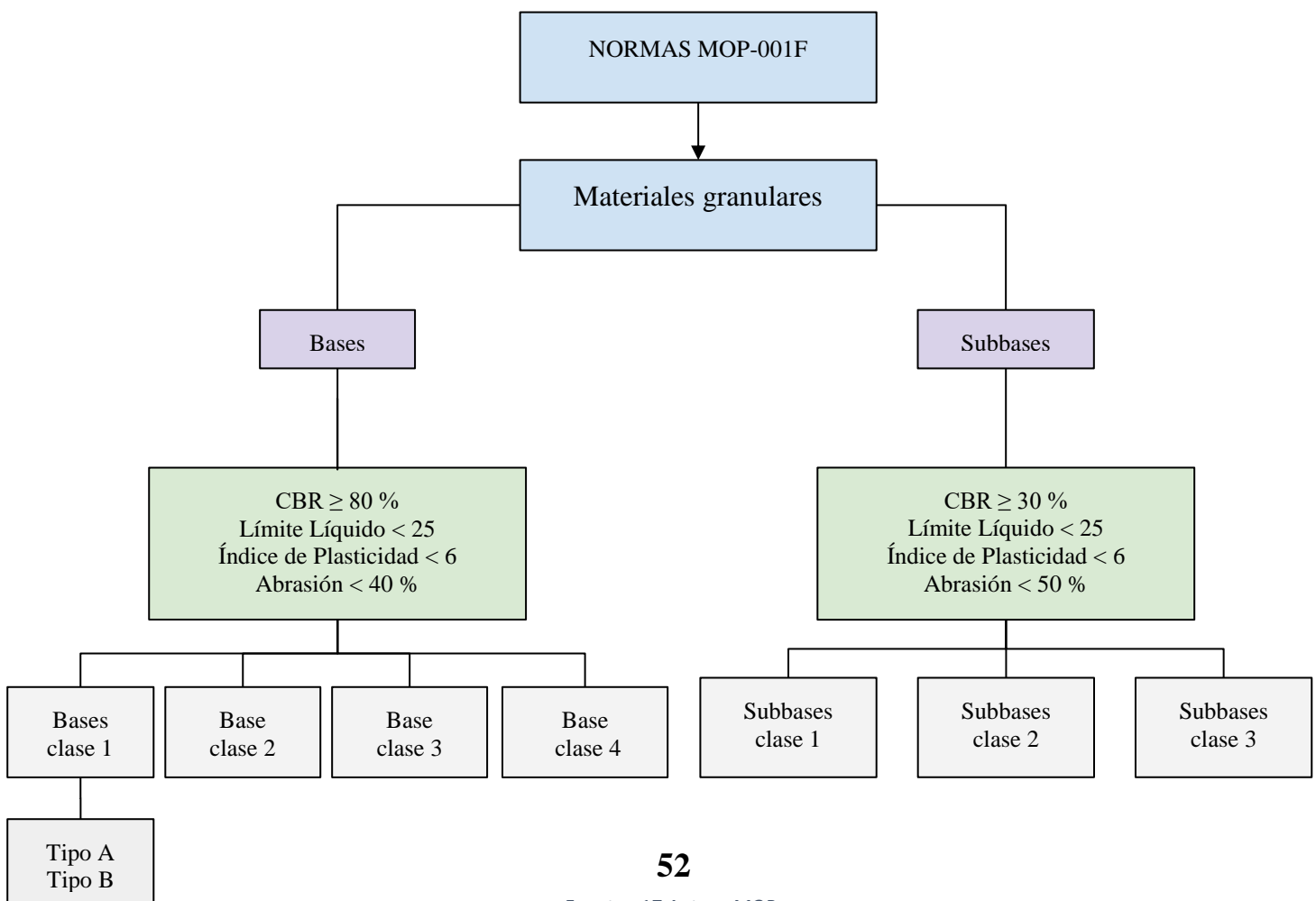
La granulometría consiste en agitar una serie de tamices que va de mayor a menor abertura, es decir del Tamiz de 4 pulgadas hasta el tamiz Tamiz #200, donde el material más grueso queda atrapado en los tamices de mayor abertura y deja caer las partículas

más finas a los tamices de menor abertura. Los autores Zambrano M y Tejada E, realizaron un comentario bastante interesante, estos autores proclaman que cuando se analizan los materiales que forman parte de la estructura del pavimento tales como bases o subbases, suelen presentar inconsistencias en las características exigidas en las normas, en especial en su composición granulométrica y plasticidad. Las disposiciones técnicas para carreteras en general exigen calidades en los materiales granulares, debido a que este tipo de materiales presentan altas resistencias a las tensiones producidas por las cargas de los vehículos. (Zambrano & Tejada, 2019)

### 2.3.11 Normas MOP- Características de los materiales granulares.

Los materiales granulares especificados en el MOP se dividen en dos grupos, los denominados bases granulares los cuales se fraccionan para formar cuatro diferentes tipos de bases, y también se encuentran las subbases granulares en donde existen tres tipos de este tipo de material granular, a continuación, se presenta un diagrama en donde se muestra la clasificación de los diferentes tipos de materiales granulares especificados por el MOP. (Obras Publicas, 2002)

Figura: 13 Clasificación de las Bases y Subbases



### 2.3.11.1. Bases granulares.

Una base granular está compuesta por la composición de piedra o grava, con arena y suelo, en su estado natural.(Obras Publicas, 2002)

Base Clase 1. –Según lo especificado por el MOP, se tratan de agregados gruesos y finos, triturados el 100% con una graduación uniforme dentro de los límites granulométricos. A continuación, se muestran los límites granulométricos que deben cumplir las bases granulares clase 1.

Tabla 5 Límites granulométricos para bases clase 1

<b>LIMITES GRANULOMÈTRICOS</b>					
<b>BASE CLASE 1</b>		<b>PORCENTAJES QUE PASA</b>			
<b>MALLA</b>		<b>TIPO A</b>		<b>TIPO B</b>	
		<b>LI</b>	<b>LS</b>	<b>LI</b>	<b>LS</b>
2"	50,800 m	100	100	-	-
1 1/2"	38,100 m	70	100	100	100
1"	25,400 m	55	85	70	100
3/4"	19,000 m	50	80	60	90
3/8"	9,500 m	35	60	45	75
N°4	4,790 m	25	50	30	60
N°10	2,000 m	20	40	20	50
N°40	0,425 m	10	25	10	25
N°200	0,075 m	2	12	2	12

Fuente: 18 MOP

Base Clase 2. –Esta compuestas por fragmentos de rocas o gravas trituradas, en donde la fracción de agregados grueso deberá ser triturado al menos el 50% en peso. Este tipo de material debe encontrarse uniformemente dentro de los límites granulométricos. A continuación, se presenta la tabla con los límites granulométricos que deben cumplir las bases clase 2.

Tabla 6 Límites granulométricos para bases clase 2

<b>LIMITES GRANULOMÈTRICOS</b>			
<b>BASE CLASE 2</b>			
<b>MALLA</b>		<b>LIMITES</b>	
		<b>LI</b>	<b>LS</b>
1"	25,400 m	100	100
3/4"	19,000 m	70	100
3/8"	9,500 m	50	80
N°4	4,790 m	35	65
N°10	2,000 m	25	50



N°40	0,425 m	15	30
N°200	0,075 m	3	15

Fuente: 19 MOP

Base Clase 3. – Se tratan de bases conformadas por fragmentos de roca o gravas trituradas en donde el agregado grueso deberá ser triturado al menos el 25% en peso, al igual que las bases descritas anteriormente, las bases clase tres deben encontrarse uniformemente dentro de los límites granulométricos. A continuación, se presentan los límites granulométricos para las bases clase 3.

Tabla 7 Límites granulométricos para bases clase 3

<b>LIMITES GRANULOMÈTRICOS</b>			
<b>BASE CLASE 3</b>			
<b>MALLA</b>		<b>LIMITES</b>	
		<b>LI</b>	<b>LS</b>
3/4"	19,000 m	100	100
N°4	4,790 m	45	80
N°10	2,000 m	30	60
N°40	0,425 m	20	35
N°200	0,075 m	3	15

Fuente: 20 MOP

Base Clase 4. – Este tipo de base se encuentra constituido por agregados que se han obtenido por trituración o cribado de piedras fragmentadas de forma natural o de gravas, este tipo de bases deben estar graduadas uniformemente dentro de los límites especificados en el MOP. A continuación, se presentan los límites establecidos por la norma MOP.

Tabla 8 Límites granulométricos para bases clase 4

<b>LIMITES GRANULOMÈTRICOS</b>			
<b>BASE CLASE 4</b>			
<b>MALLA</b>		<b>TIPO A</b>	
		<b>LI</b>	<b>LS</b>
2"	50,800 m	100	100
1"	25,400 m	55	85
N°4	4,790 m	25	50
N°200	0,075 m	2	12

### 2.3.11.2. Subbases granulares.

La subbase se encuentra conformada por suelos naturales o en combinación con agregados obtenidos por el procedimiento de trituración o de cribado. (Obras Publicas, 2002)

Subbase clase 1. – Este tipo de material granular está constituido en general por agregados que fueron obtenidos por el proceso de trituración de rocas o gravas, además deben estar graduados dentro de los límites establecidos por el MOP. A continuación, se presentan la tabla con los límites inferiores y superiores para subbase clase 1.

Tabla 9 Límites granulométricos para subbases clase 1

<b>LIMITES GRANULOMÈTRICOS</b>			
<b>SUBBASE CLASE 1</b>			
<b>MALLA</b>		<b>LI</b>	<b>LS</b>
3"	76,200 m	-	-
2"	50,800 m	-	-
1 1/2"	38,100 m	100	100
Nº4	4,790 m	30	70
Nº40	0,425 m	10	35
Nº200	0,075 m	0	15

Fuente: 22 MOP

Subbase clase 2. – Las subbases clase 2 se encuentran conformadas por agregados que fueron obtenidos por medio de trituración o cribado en depósitos de piedras fragmentadas de manera natural o de gravas graduadas dentro de los límites establecidos por la norma. A continuación, se presentan los límites propuestos por el MOP.

Tabla 10 Límites granulométricos para subbases clase 2

<b>LIMITES GRANULOMÈTRICOS</b>			
<b>BASE CLASE 2</b>			
<b>MALLA</b>		<b>LI</b>	<b>LS</b>
3"	76,200 m	-	-
2"	50,800 m	100	100
1 1/2"	38,100 m	70	100

N°4	4,790 m	30	70
N°40	0,425 m	15	40
N°200	0,075 m	0	20

Fuente: 23 MOP

Subbase clase 3 –Las subbases clase 3 se encuentra constituida por agregados naturales.

Tabla 11 Límites granulométricos para subbases clase 3

<b>LIMITES GRANULOMÈTRICOS</b>			
<b>SUBBASE CLASE 3</b>			
<b>MALLA</b>		<b>LI</b>	<b>LS</b>
3"	76,200 m	-	-
2"	50,800 m	100	100
1 1/2"	38,100 m	70	100
N°4	4,790 m	30	70
N°40	0,425 m	15	40
N°200	0,075 m	0	20

Fuente: 24 MOP

### 2.3.12. Índice de condición del pavimento (PCI)

Según Byron B. el método PCI constituye el modo más completo para la evaluación y calificación objetiva de pavimento, es un índice numérico, desarrollado para obtener el valor de la irregularidad de la superficie del pavimento y la condición operacional de este, entre más grande sea el valor del PCI, mejor será las condiciones del pavimento. (Baque Solis, 2020)

Los diferentes datos que se obtengan de la inspección visual, se pueden usar para evaluar las condiciones en las cuales se encuentra el pavimento, de la misma manera predecir el desempeño futuro del pavimento, definir las necesidades del pavimento y valorar las cantidades de reparación. El PCI que se obtiene al final es un número que va desde cero a cien, en donde el valor de cien representa a un pavimento en excelentes condiciones. Esta calificación es determinada a partir de una correlación que representa la calificación del pavimento como una función del PCI (Karim et al., 2016). A continuación, se muestra una tabla con los valores de calificación del PCI.

Tabla 12 Clasificación del PCI

PCI	CLASIFICACIÓN
86-100	Excelente
71-85	Muy Bueno
56-70	Bueno
41-55	Regular
26-40	Pobre
11-25	Muy pobre
0-10	Fallado

Fuente: 25 Autor

### 2.3.13. Unidades de muestreo PCI.

Áreas de evaluación. – Se refiere a la parte identificable de toda red vial pavimentada y que tiene entidad propia y función distintiva.

Secciones de evaluación. – Son áreas de pavimento de iguales características de construcción, mantenimiento, uso y estado.

Unidades de muestreo. – El área de la unidad de muestreo debe estar entre el siguiente rango.

Para carretera con pavimento flexible, el ancho debe ser menor que 7.3m y el área de la unidad de muestreo debe estar entre  $230 \pm 93m^2$ . Para determinar el área de pavimentos puede ser que se deba evaluar un número excesivamente grande, en donde el análisis tomará tiempo y recursos, sin embargo, existe un número mínimo de unidades a evaluar, a continuación, se presenta la fórmula N°1 y que por medio de esta se podrá obtener un número mínimo de unidades a evaluar. (Hilda González et al., 2019)

Fórmula: 1 Número mínimo de unidades de muestreo

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

Fuente: Hilda Gonzales.

En donde:

$n$  = Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar. Si  $n < 5$  se deberán ser evaluadas todas las unidades.

$N$ = Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento. Este valor se obtiene por medio de la siguiente fórmula.

*Fórmula: 2 Número total de unidades de muestreo*

$$N = \frac{a * L}{A}$$

*Fuente: Hilda Gonzales.*

En donde:

$a$ = ancho de la vía.

$L$ = Longitud de la vía.

$A$ = Área de la unidad de muestreo.

$e$ = Error admisible en el estimativo del PCI de la sección ( $e = 5\%$ )

$\sigma$ = Desviación estándar de una unidad a otra dentro de la misma sección. Se puede asumir un valor de 10 para la desviación estándar para pavimentos flexibles.

Intervalo de espaciamiento. - El intervalo de espaciamiento se puede determinar por medio de la siguiente fórmula.

*Fórmula: 3 Intervalo de espaciamiento de muestreo.*

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

*Fuente: Hilda Gonzales.*

En donde:

$N$ : Número total de unidades de muestreo disponibles.

$n$ : Número mínimo de unidades para evaluar.

$i$ : Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior (por ejemplo, 4.7 se redondea a 4)

Uno de los inconvenientes que presenta el método de evaluación PCI, es la exclusión de algunas unidades de muestreo en muy mal estado, a causa de que al momento de seleccionar las unidades de muestreo se pueden obviar ciertas unidades que presentan niveles de fallas muy altos, y en vez de analizar esta unidad de muestreo se analizará una muestra donde las fallas son muy bajas. Para evitar esto, el evaluador deberá establecer cualquier unidad de muestreo que presente daños muy graves como una unidad adicional en lugar de una unidad representativa. (Hilda González et al., 2019)

#### 2.3.14. Identificación de fallas del índice de condición del pavimento.

A continuación, se presenta la información necesaria para realizar la evaluación de superficial para pavimentos flexibles por medio del método PCI, este método considera 19 clases de fallas.(Cruz & Gutiérrez, 2019)

Tabla 13 Tipos de fallas PCI

ITEM	TIPO DE FALLA	UNIDAD DE MEDIDA
1	Piel de cocodrilo	m2
2	Exudación	m2
3	Agrietamiento en bloque	m2
4	Abultamiento y hundimiento	m
5	Corrugación.	m2
6	Depresión.	m2
7	Grieta de borde	m2
8	Grieta de reflexión de junta.	m
9	Desnivel Carril/Espaldón	m
10	Grieta Longitudinal y/o transversal	m
11	Parqueo.	m2
12	Pulimiento de agregados	m2
13	Huecos.	Unidad
14	Cruce de vía férrea.	m2
15	Ahuellamiento	m2
16	Desplazamiento	m2
17	Grieta parabólica.	m2
18	Hinchamiento	m2
19	Desprendimiento de agregados.	m2

Fuente: 26 Cruz & Gutiérrez

### 2.3.15. Rehabilitación y mantenimiento de pavimentos flexibles.

Las actividades de mantenimiento son un factor crítico para asegurar la operación satisfactoria del transporte a lo largo de la vida útil de las carreteras. La falta de mantenimiento preventivo y correctivo conduce que la inversión realizada en el diseño de la carretera sufra una depreciación acelerada acortando su vida útil. El mantenimiento vial comprende el conjunto de trabajos que se deben desarrollar en una vía durante toda su vida útil, con el objetivo de poder mantener las condiciones físicas y estructurales, y de esta manera evitar el deterioro gradual de la estructura. (W. Martínez D, 2013)

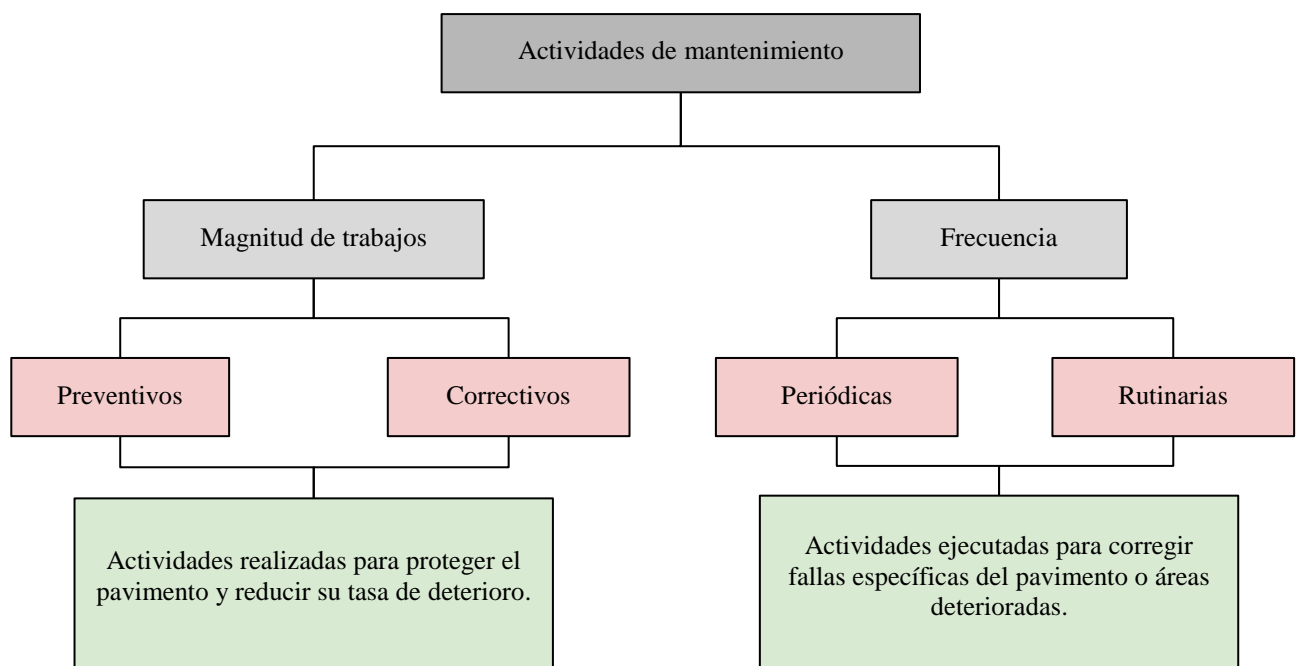
#### 2.3.15.1 Clasificación de actividades de mantenimiento.

De acuerdo con Diana Garcés, las actividades de conservación vial se pueden realizar en función de la magnitud y la frecuencia con que se realizan estas actividades.

Función de la magnitud de los trabajos necesarios. Las actividades de mantenimiento pueden ser preventivos y correctivos, en donde implica que se pueden realizar trabajos simples y complicados para el mantenimiento de la carretera. (DIANA, 2017)

Función de la frecuencia. Las actividades pueden ser periódicas o rutinarias. En función de las condiciones descritas previamente, se realizó un organizador gráfico donde se detallan las actividades de mantenimiento.

Figura: 14 Actividades de mantenimiento



**a. Mantenimiento rutinario.**

El mantenimiento rutinario debe ser ejecutado permanentemente durante la vida útil de la vía, este mantenimiento se lo debe realizar tan pronto como el pavimento presente fallas, este mantenimiento tiene como objetivo la conservación de todos los elementos estructurales de la vía. A continuación, se presentan las actividades que se deben realizar en este tipo de mantenimiento. (Jugo B., 2005)

- Limpieza del sistema y obras de drenaje
- Control de vegetación.
- Barrido y limpieza de la superficie.

**b. Mantenimiento periódico.**

Los mantenimientos periódicos son el conjunto de acciones que son ejecutadas en periodos largos, por lo general de más de un año, al igual que el mantenimiento rutinario su propósito es conservar la integridad estructural de la vía evitando agravamientos de gran magnitud sobre la calzada. Seguidamente se presentan la actividad que se deben realizar para cumplir con este tipo de mantenimiento.(INVIAS, 2016)

- Riegos sin gravilla.
- Sello de arena – asfáltico.
- Mantener adecuadamente las señales
- Tratamiento superficial.
- Lechada asfáltica y microaglomerado en frío.
- Sellado de grietas.
- Microaglomerado en caliente.
- Sobrecapa delgada.
- Mezcla drenante.

**c. Mantenimiento preventivo.**

El mantenimiento preventivo tiene como finalidad conservar la continuidad del servicio ofrecido por la estructura vial y que sea posible la transitabilidad en cualquier tipo de condiciones climáticas. Esta clase de mantenimiento se centra en la ejecución de actividades y obras destinadas a prevenir los desperfectos de la vía y que previamente



fueron identificadas como defectuosas y catalogadas con alto riesgo de que ocurran antes que estas sucedan.(INVIAS, 2016)

#### **d. Mantenimiento correctivo.**

Jugo B. se refiere al mantenimiento correctivo como las actividades que han sido programadas y ejecutadas para el perfeccionamiento sustancial del firme, y que son dirigidas a corregir fallas en áreas deterioradas. Se recomienda la aplicación de este tipo mantenimiento antes que la condición del pavimento haya alcanzado un estado crítico, es decir que el pavimento se encuentre en una zona óptima de rehabilitación, por ende, la vía no debe llegar a un nivel de serviciabilidad por debajo del mínimo aceptable, las actividades que se deben realizar dentro de este tipo de mantenimiento son las siguientes.(Jugo B., 2005)

- Tratamientos superficiales asfáltico.
- Bacheo superficial parcial o profundo.
- Capas asfálticas.
- Remoción por fresado.
- Reciclado en frío o en caliente.

#### **e. Mantenimiento de emergencia.**

Este tipo de mantenimiento consiste en las actividades e intervenciones que se deben aplicar de manera urgente y que son realizadas como consecuencia de situaciones de fuerza mayor, tales como desastres naturales, al igual que los mantenimientos descritos anteriormente, el objetivo es mantener habilitada en cualquier tipo de escenario climático y atmosférico. (DIANA, 2017)

#### **f. Rehabilitación y mantenimiento.**

Se trata de la restauración de la estructura vial a sus condiciones originales de diseño, para ello implica acciones que por lo general se dirigen al mejoramiento de las condiciones del pavimento, con la finalidad de que la vía cuente con la capacidad estructural adecuada para resistir las cargas del tránsito, sin que existan modificaciones en la geometría en la sección transversal, entre las actividades de rehabilitación están. (DIANA, 2017)

- Modificación de materiales.
- Estabilización de la calzada.
- Transformación en concreto compactado.
- Reconstrucción.

#### **2.4. Antecedentes referenciales.**

Hossein Alimohammadi, presentó un artículo llamado, *“Un marco para la evaluación de las condiciones del pavimento existente y selección de alternativas factibles de mantenimiento/rehabilitación; un estudio de caso en algunas rutas de la parroquia de Livingston en el estado de Luisiana”*(Alimohammadi, 2020)

- El autor presenta un proceso marco/directrices generales paso a paso para la evaluación de las condiciones del pavimento existente, en el proceso realiza una evaluación de las alternativas más factibles para el mantenimiento/rehabilitación de carreteras con pavimentos flexibles. El procedimiento está constituido de seis pasos y clasificados para evaluar el estado actual del pavimento, igualmente se evalúa la rentabilidad de las diferentes técnicas de mantenimiento o rehabilitaciones para obtener la más viable. Como resultado del estudio realizado, el autor propuso dos alternativas rentables las cuales son; La micro-superficie y la superposición delgada.

Ruijun C. , Zhen L. y Shu-Chien H. Publicaron un artículo en el 2018 llamado, *“Análisis comparativo de ecoeficiencia en alternativas de rehabilitación de pavimentos asfálticos: Reciclado en caliente in situ y fresado y llenado”* (Cao et al., 2019)

- Los autores de este artículo, le dan énfasis en las técnicas de rehabilitación de pavimentos considerando su efectividad de rehabilitación, se realizó un marco análisis de ecoeficiencia (EEA) el cual fue desarrollado y aplicado para comparar la ecoeficiencia integral de dos alternativas de rehabilitación: reciclaje en caliente in situ (HIPR) y fresado y llenado (M&F). Para llegar a obtener los resultados se realizó un análisis de sensibilidad para investigar la ecoeficiencia comportamientos de las dos alternativas bajo diferentes escenarios de extensión de vida en donde evidenció que reciclaje en caliente en el lugar era más

ecoeficiente que el fresado y llenado bajo la misma vida útil supuesta (15 años) para los casos estudiados.

En el año (2021), fue publicado un artículo científico por los autores, Hua-Ping W. Yan-Xin G., Meng-Yi W, Kang X. y Shi-Rong Sun , tomando como objetivo la rehabilitación de pavimentos, el artículo se lo puede encontrar por el siguiente nombre, “ *Revisión sobre rehabilitación de daños estructurales y evaluación del desempeño de pavimentos asfálticos*” (Wang et al., 2021)

- En este artículo se investigó una tecnología diferente a la que estamos acostumbrados en nuestro país para la reparación de pavimentos, esta investigación se basa en una revisión de las fallas del pavimento, medidas de rehabilitación, desempeño estructural realizando una descripción de los daños y los posibles métodos de evaluación del desempeño de pavimentos asfálticos. Los autores investigaron las medidas de rehabilitación de pavimentos asfálticos, además, se discutió la tendencia de desarrollo para la autocuración y rehabilitación de daños en el pavimento mediante la adición de cápsulas, fibras nano partículas y microbios en mezclas asfálticas para hacer que el aire tenga propiedades de auto regeneración. El estudio realizado por estos autores puede servir como una guía científica para comprender en gran medida la rehabilitación de daños estructurales y los métodos de evaluación del desempeño de su uso general del pavimento asfáltico.

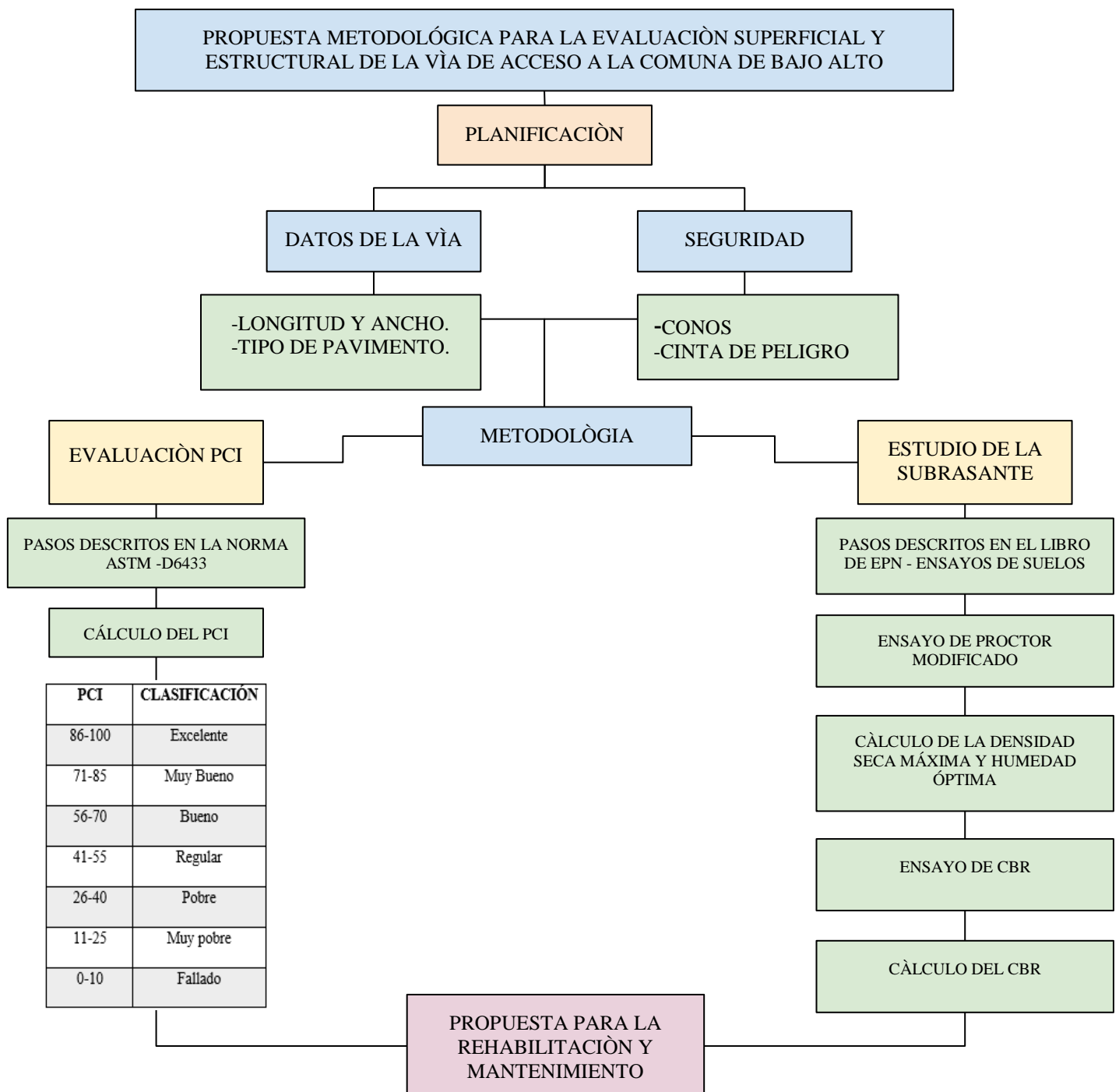
Mona N., Maryam S. Sakhaeifar, David Newcomb & Shane publicaron el año (2018) publicó un artículo llamado “*Metodología mecanicista-empírica para la selección de estrategias rentables de rehabilitación de pavimentos flexibles*”. (Nobakht et al., 2018)

- El artículo empieza enfatizando, un enfoque de rehabilitación bien planificado ayuda a las agencias de carreteras a optimizar la asignación de la inversión anual en programas de rehabilitación de pavimentos. Este estudio emplea una metodología mecanicista-empírica para obtener una estimación del desempeño de la rehabilitación y extensión en la vida útil de los pavimentos, y se lleva a cabo con una evaluación integral de los pavimentos existentes mediante el análisis de los datos del difractómetro de caída de peso. Los autores una vez obtenidos los

resultados de los diferentes ensayos que fueron realizados, desarrollaron una matriz de resultados de evaluación, que puede servir como una herramienta complementaria para ayudar a la toma de decisiones a las agencias de carreteras al momento de seleccionar un método de rehabilitación del pavimento, liviano, mediano y pesado, los resultados del análisis de diseño mostraron que los tratamientos de rehabilitación livianos, medianos y pesados prolongan la vida útil del pavimento existente en 5 a 7, 8 a 11 y 17 a 22 años

### 2.4.1. Propuesta metodológica.

Figura: 15 Propuesta metodológica para la evaluación superficial y estructural de la vía de acceso a la comuna de bajo alto



## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA.**

#### **3.1. Modalidad básica de la investigación**

- De campo. – Debido a que el presente trabajo requiere de un estudio en situ, para realizar la evaluación visual aplicando el método PCI, además, realizar los ensayos destructivos.
- Documental – Es la recopilación de la información válida y necesaria para aplicar el presente trabajo, la cual está basada en normas vigentes, libros, trabajos de maestría y artículos científicos.

#### **3.2. Tipo de investigación**

##### **3.2.1. Investigación Documental.**

La investigación documental denominada estado del arte facilita aciertos, evita errores y clarifica el abordaje de la investigación de cualquier tema, época, autor, obra o escuela también respecto al campo filosófico, además de garantizar que, con el aporte de la construcción de elementos que complementen el perfil crítico documental actual, se abarca al menos la mayor parte del material objeto de estudio y de la producción intelectual acerca de un autor, su obra, los estudiosos y gestores de la misma, siendo así una modalidad investigativa que sirve de soporte para las demás en cualquier campo del saber (Posada, 2017). Esta investigación inicia a partir de una búsqueda de información actualizada relacionada con mi tema de estudio, por ello se realizó una revisión de diferentes tesis de maestría, artículos científicos, libros y reglamentos de autores nacionales e internacionales con el objetivo de tener diferentes ideas, criterios y métodos acerca de la rehabilitación y mantenimiento de pavimentos.

##### **3.2.2. Investigación de campo.**

Es un tipo de investigación que se la realiza sobre el terreno y que da lugar a la acumulación de suficientes notas para justificar la documentación que pueda apoyar la comprensión teórica y que incluyen las observaciones personales, la observación participante, la etnografía, las entrevistas, el diario, las medidas de rastreo, la evaluación ambulatoria, la observación de la población y la observación de situaciones y característica dentro de su contexto del mundo real. (Crump, 2020)

### **3.2.3. Investigación experimental.**

Este tipo de investigación también es conocida como método científico experimental y son realizadas con un enfoque científico, por medio de esta investigación se obtiene datos a través de experimentación y son comparados con variables constantes con el objetivo de determinar las causas y los efectos del fenómeno estudiado

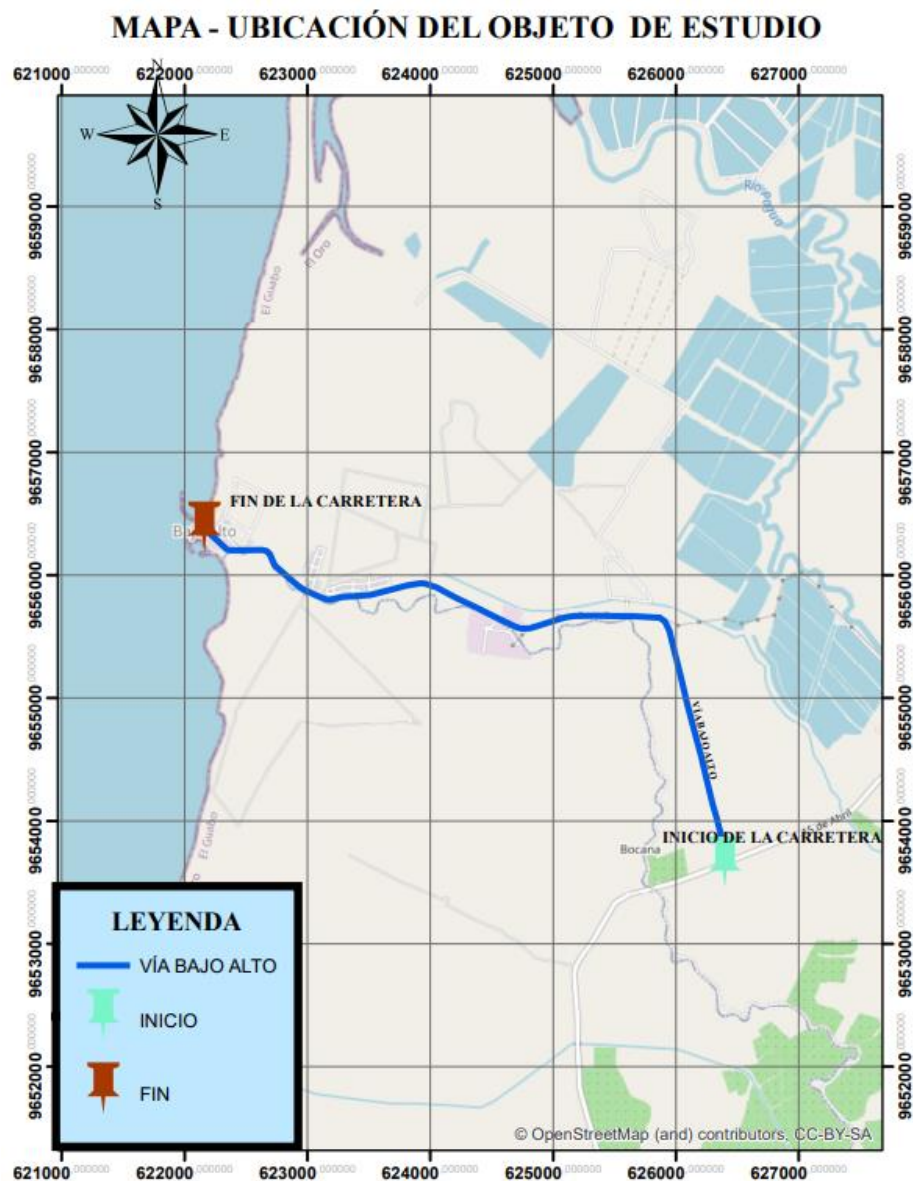
### **3.3. Objeto de estudio.**

La investigación está enfocada en el tramo de carretera comprendido entre la intersección de la vía Barbones-Tendales hasta la comuna de Bajo Alto, el tramo de estudio forma parte de los ejes estratégicos del cantón El Guabo. Es importante mencionar que Bajo Alto es el único sector de la provincia de El Oro que tiene una playa en la cual se puede llegar por vía terrestre, la carretera cuenta con una longitud de 6.05 Km y está formada por dos carriles en donde cada carril tiene un ancho de 3.6 m, este tramo de carretera es muy usado por comerciantes y turistas, siendo los fines de semana donde se presenta el mayor flujo vehicular, esto se lo puede evidenciar en el conteo de tráfico realizado por (Vera Jorge, 2022). La zona está ubicada en una superficie relativamente plana con elevación de 4 m.s.n.m. y de acuerdo con el plan de desarrollo territorial de la parroquia Tendales, la mayor parte del terreno del sector es utilizado para el cultivo de camarón (camaroneras).

#### **3.3.1. Ubicación del objeto de estudio.**

A continuación, se muestra el mapa de la ubicación del objeto de estudio, en el que se especifica la provincia y el cantón donde está ubicada el tramo de estudio. La carretera Barbones – Tendales hasta la comuna de Bajo Alto se encuentra señalada con una línea de color azul, en donde se ha señalado su inicio y su fin.

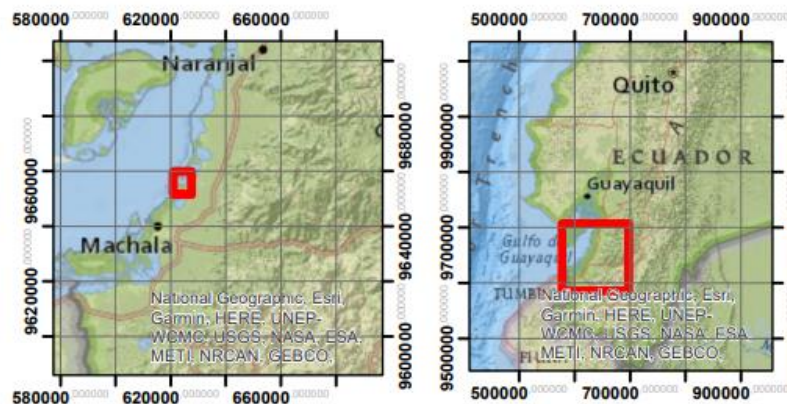
Figura: 16 Ubicación del proyecto.



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA

### FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL INGENIERÍA CIVIL

<b>ELABORADO POR:</b>	CASTILLO WINSTON
<b>TRAMO DE ESTUDIO</b>	VÍA BAJO ALTO
<b>LONGITUD:</b>	6,05 Km
UBICACIÓN	
<b>PAÍS</b>	ECUADOR
<b>PROVINCIA</b>	EL ORO
<b>CANTÓN</b>	EL GUABO
<b>PARROQUIA</b>	TENDALES
COORDENADAS INICIO DE LA CARRETERA	
<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>
626371,006	9653637,989
COORDENADAS FIN DE LA CARRETERA	
<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>
622150,894	9656383,047









Fuente: 29 Autor

### 3.4. Descripción de la población y muestra

#### 3.4.1. Población.

La población a la cual va dirigida la investigación serán las vías Inter parroquiales del cantón El Guabo de la provincia de El Oro. En la figura 24, se muestra un mapa en donde detalla las diferentes carreteras que existen en el cantón El Guabo, además, para una mejor visualización de las longitudes de las carreteras se realizó la tabla 14 en el que se puede apreciar las longitudes en km con su respectivo porcentaje de participación.

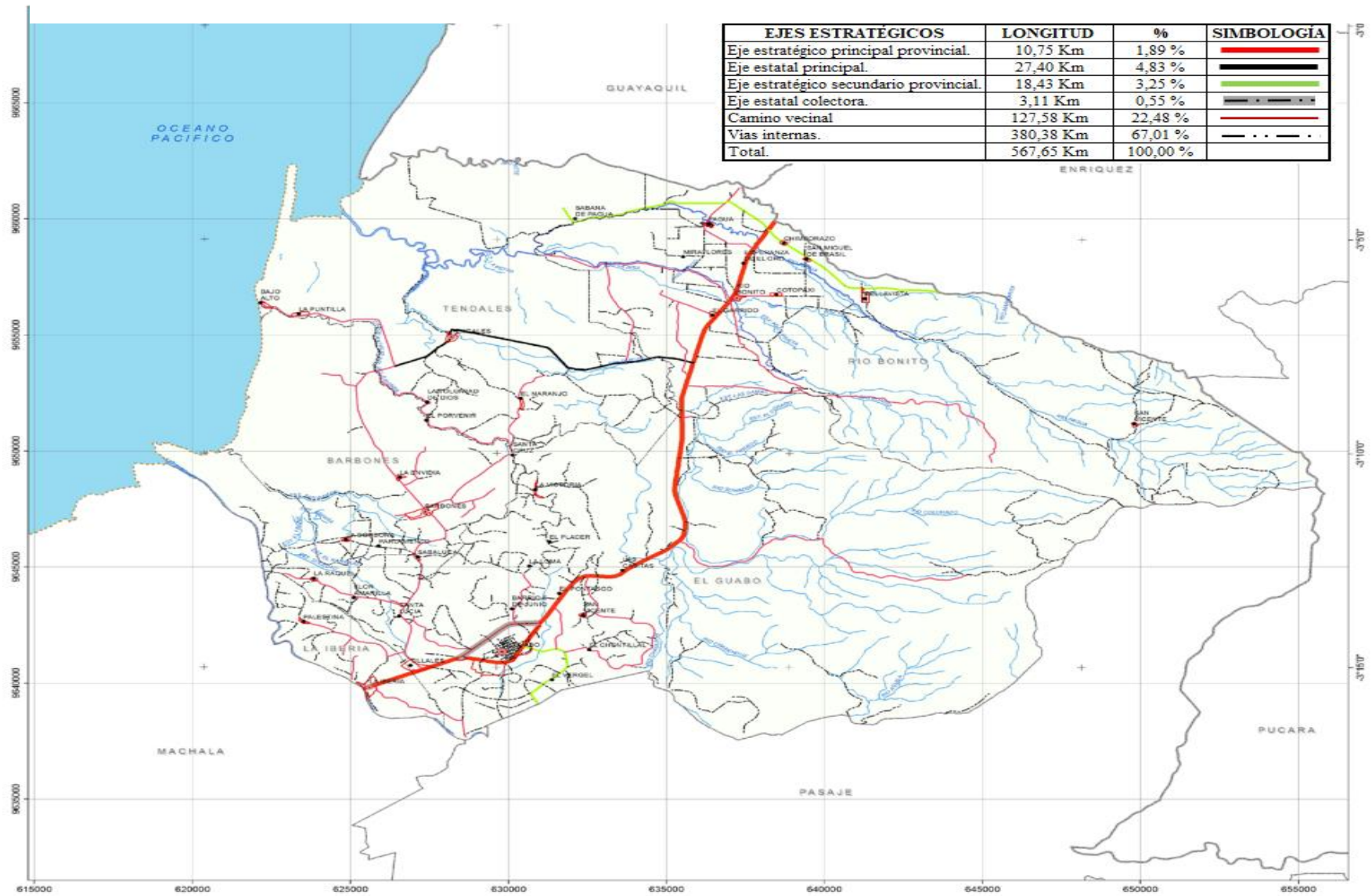
Tabla 14 Ejes estratégicos

<b>EJES ESTRATÉGICOS</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>%</b>	<b>SIMBOLOGÍA</b>
Eje estratégico principal provincial.	10,75 Km	1,89 %	
Eje estatal principal.	27,40 Km	4,83 %	
Eje estratégico secundario provincial.	18,43 Km	3,25 %	
Eje estatal colectora.	3,11 Km	0,55 %	
Camino vecinal	127,58 Km	22,48 %	
Vías internas.	380,38 Km	67,01 %	
Total.	567,65 Km	100,00 %	

Fuente: 30 GPAO 2011



Figura: 17 Ejes estratégicos



Fuente: 31 GPAO 2011

### 3.4.2. Tamaño de muestra.

Para el tamaño de muestra, se tiene que dividir la vía en secciones o unidades de muestreo, en donde las dimensiones de muestreo dependen del tipo de vía y de la capa de rodadura.

- a. Para carreteras con capa de rodadura asfáltica y un ancho máximo de 7.3 metros, el área respectiva de la unidad de muestreo debe permanecer en el rango de  $230 \pm 93m^2$ . A continuación, se muestran algunas relaciones longitud – ancho de la calzada pavimentada.

Tabla 15 Longitudes de unidades de muestreo asfálticas

Ancho de la calzada	Ancho de la unidad de muestreo (m)
5,0 m	46,0 m
5,5 m	41,8 m
6,0 m	38,3 m
6,5 m	35,4 m
7,3 m (Max)	31,5 m

Fuente: 32 Manual PCI

A continuación, se presenta los datos de la carretera de estudio:

Tabla 16 características de la carretera de estudio.

Ancho de la calzada	7.3
Longitud de la vía	6.05 km

Fuente: 33 Autor

#### a. Ancho de la longitud de muestra.

Para poder obtener la longitud de la muestra se debe dividir la unidad de muestreo establecida  $230 \pm 93m^2$ . Para el ancho de la vía. Este proceso se podrá ver a continuación.

$$\text{Ancho de la longitud de muestra} = \frac{230}{7.3} = 32 \text{ m}$$

#### b. División de las unidades de muestreo.

Para obtener el número de unidades de muestra se debe utilizar la fórmula N: 2 a continuación se muestra el procedimiento que se debe realizar.

$$N = \frac{a * L}{A} = \frac{7.3 * 6050}{230}$$

$$N = 192.02$$

Como el valor contiene decimales redondeamos para obtener un valor exacto.

$$N = 192$$

**c. Área de muestra.**

Para calcular el área de muestra realizamos la multiplicación del ancho de la vía por su longitud el resultado de esto lo dividimos para el número de unidades de muestra. Los datos de la carretera se pueden visualizar en la tabla 17.

$$A = \frac{7.3 * 6050}{192} = 230.02 m^2$$

**d. Unidades mínimas de muestreo.**

Para obtener el número mínimo de unidades a evaluar, utilizamos la fórmula N:1 la cual fue presentada anteriormente en este documento. Al no contar todavía con datos de PCI, consideramos la desviación estándar sugerida que es de 10 para pavimentos flexibles y un error de e= 5%.

*Tabla 17 Datos para calcular número min. unidades de muestreo*

<b>Ancho de la calzada</b>	7.3
<b>Longitud de la vía</b>	6.05 km
<b>N</b>	192
<b>σ</b>	10
<b>e</b>	5%

*Fuente: 34 Autor*

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

$$n = \frac{192 * 10^2}{\frac{5^2}{4} * (192 - 1) + 10^2} = 14.84 \approx 15$$

**e. Intervalo de las unidades de muestreo.**

El intervalo de muestreo viene expresado mediante la fórmula N:3, a continuación, se mostrará el procedimiento a realizar para obtener este valor.

$$i = \frac{N}{n} = \frac{192}{15} = 12.8$$

$$i = 13$$

Es importante mencionar que se deben analizar como mínimo 15 unidades de muestra, sin embargo, el autor de este documento considera que al ser una carretera bastante importante analizará más de 15 unidades de muestra, con el objetivo de tener una visión más clara de las condiciones de la carretera, puesto que entre más muestras representativas se analice se podrá obtener mayor información acerca de las condiciones del pavimento, partiendo de esas premisas se va a considerar un  $i = 11$ , despejando la variable del número mínimo de muestras obtendremos lo siguiente.

$$n = \frac{N}{i} = \frac{192}{11} = 17.45$$

$$n = 18$$

entonces el nuevo número de muestras a analizar serán 18 unidades con un ancho de longitud de muestra de 32 m.

*Tabla 18 Datos generales*

<b>Ancho de la calzada</b>	7.3
<b>Longitud de la vía</b>	6.05 km
<b>Ancho de longitud de muestra</b>	32m
<b>Área de muestra</b>	230.02 m <sup>2</sup>
<b>Número de muestras</b>	18

*Fuente: 35 Autor*

Se elige la primera unidad para empezar, se evaluarán:

*Tabla 19 Intervalo de las unidades de muestreo.*

<b><i>n</i></b>	<b><i>i</i></b>
1	1
2	12
3	23

4	34
5	45
6	56
7	67
8	78
9	89
10	100
11	111
12	122
13	133
14	144
15	155
16	166
17	177
18	188

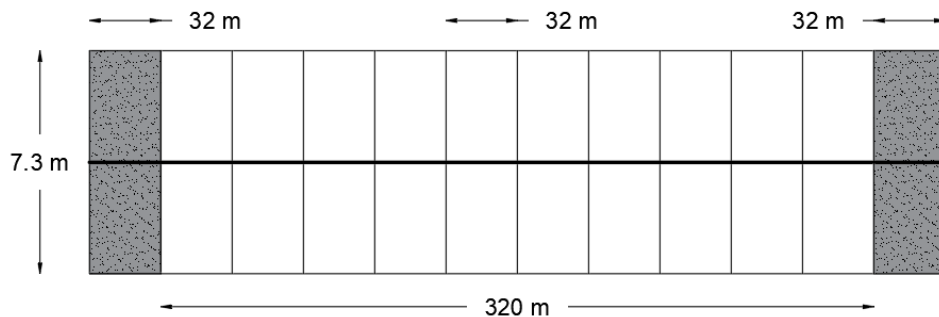
Fuente: 36 Autor

Figura: 18 Muestras representativas en toda la vía.



Fuente: 37 Autor

Figura: 19 Muestras representativas



Fuente: 38 Autor

### 3.5. Métodos teóricos con los materiales utilizados.

#### 3.5.1. Método PCI.

El método utilizado para el presente trabajo es el PCI ( Pavement Condition Index ), es un procedimiento en la industria vial, consiste en determinar las condiciones de un pavimento mediante un análisis visual, este método es descrito en la norma ASTM-D6433. Durante la aplicación del método PCI, se toma registro del deterioro del

pavimento, el valor obtenido al final del análisis es un número de 0 (que representa el pavimento en el peor estado) y el 100 (que representa el mejor estado del pavimento). (Karim et al., 2016)

### **3.5.1.1. Metodología.**

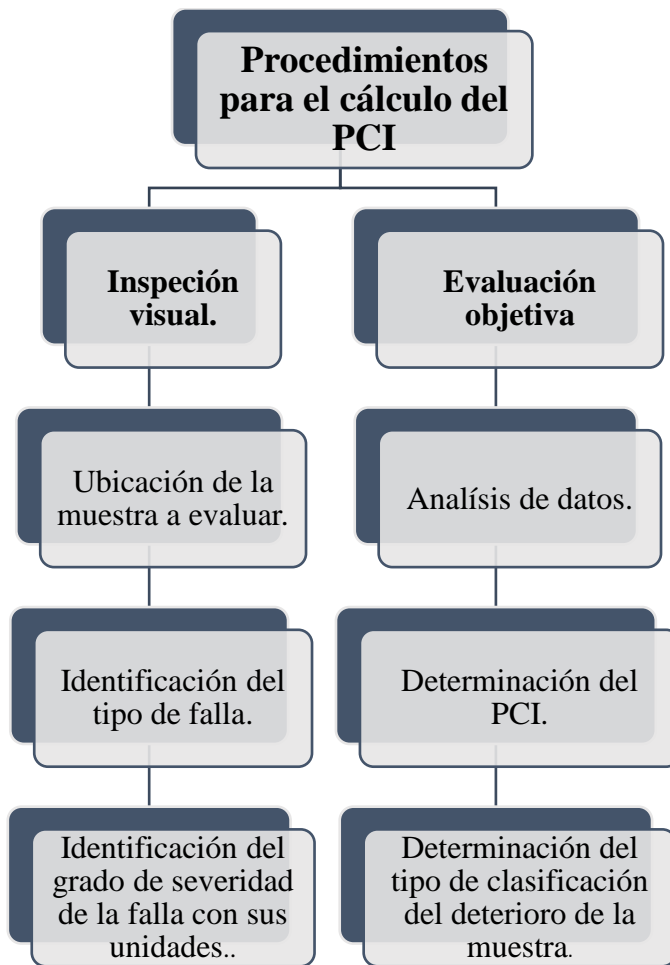
La aplicación de esta metodología tiene como objetivo realizar un diagnóstico del estado actual en el que se encuentra la vía que conecta Barbones – Tendales con la comuna de Bajo Alto, de tal manera que es importante evaluar las condiciones de esta carretera y por medio de esta evaluación, se podrá diagnosticar los cambios, correcciones o mantenimientos que se deben realizar en la vía. Para determinar el (PCI) es necesario realizar una inspección visual y una evaluación objetiva.

Inspección visual. La inspección visual comprende en la toma de información en campo, determinando el tipo de falla que presenta el pavimento y luego establecer el grado de daño que presenta la capa de rodadura, entre estos tipos de grados tenemos (L) que es el grado más bajo y denota que los daños del pavimento son muy pequeños en comparación con su área de estudio, (M) es el grado de mediana severidad, en ella se presentan fallas que ya son pronunciadas y que pueden generar malestar a los conductores y por último existe el grado de severidad (H) que es el máximo grado y representa a las fallas que origina vibraciones en el vehículo son tan excesivas que debe reducirse la velocidad de forma considerable en aras de la comodidad y la seguridad. (Souza da Silva et al., 2018)

Evaluación objetiva. Se refiere al procedimiento de análisis de los datos obtenidos en la inspección visual, en este proceso se determina el valor del PCI a partir de tablas y del porcentaje de participación de cada falla anotada en el inventario de fallas, a través de los resultados obtenidos se puede clasificar al tramo del pavimento de acuerdo al valor de su (PCI). (Souza da Silva et al., 2018)

A continuación, se presenta el diagrama de flujo donde se detalla el procedimiento para la determinación del (PCI).

Figura: 20 Procedimientos para el cálculo del PCI



Fuente: 39 Autor

### 3.5.1.2. Determinación del PCI.

El cálculo del PCI se basa en la evaluación de la capa de rodadura, en donde se toma en cuenta el grado de severidad de la muestra a estudiar. El método depende de diecinueve tipos de deterioro, el proceso de evaluación se empieza con una inspección en campo en el área de estudio, para ello se debe calcular un número de muestras con igual longitud y área, cada muestra debe evaluarse por medio de una inspección visual. A continuación, se muestran los pasos para el cálculo del PCI. (Al-Rubae et al., 2020)

1.- Obtención del número de unidades de muestreo, teniendo en cuenta que unidad de muestreo debe estar entre  $230 \pm 93m^2$ , se debe aplicar la fórmula:2 que se detalló en capítulos anteriores.

*Fórmula: 2 Número total de unidades de muestreo*

$$N = \frac{a * L}{A}$$

*Fuente: Al-Rubae*

**2.-** Determinar el número mínimo de muestras a analizar y así mismo intervalo de muestreo y espaciamento de cada muestra. Para estimar el valor se debe aplicar la fórmula: 1 y fórmula: 3 que se presentó con anterioridad.

*Fórmula: 1 Número mínimo de unidades de muestreo*

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

*Fuente: Al-Rubae*

*Fórmula: 3 Intervalo de espaciamento de muestreo.*

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

*Fuente: Al-Rubae*

**3.-** Totalizar cada uno de las fallas y el nivel de severidad, para luego regístralo en la columna de tipos de fallas, las unidades de los daños pueden medirse en  $m^2$ , m o N° de fallas según el tipo. A continuación, se muestra un modelo de inventario. La sección donde se encuentra el cuadro de color rojo se registra el tipo de falla y en la parte donde se localiza el cuadro de color verde se especifica unidad de medida.

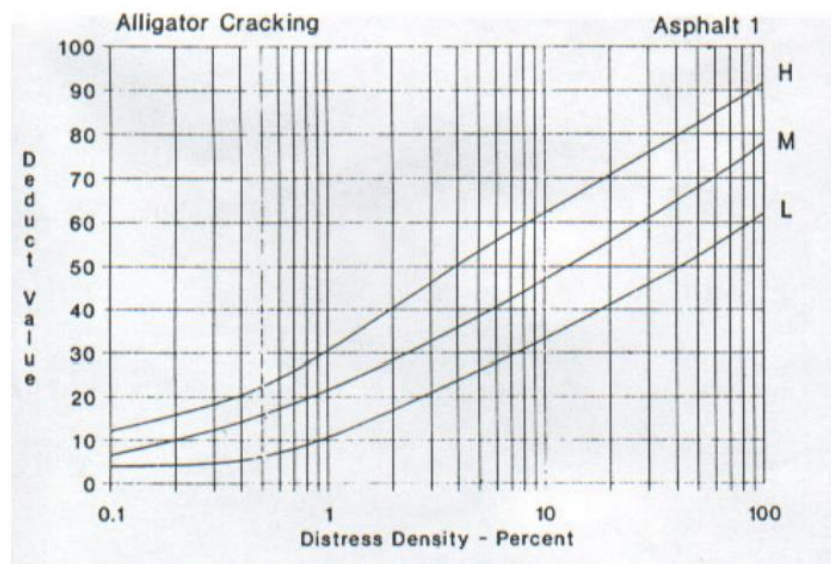




6.- Se procede a dividir la cantidad de cada clase de daño, en cada nivel de severidad para el área total de la unidad de muestreo, este resultado se deberá presentar en porcentaje, el resultado obtenido se lo conoce como densidad de daño.

7.- Para determinar el valor deducido (DV o VR) para cada una de las fallas registradas, se debe tomar el valor de la densidad de daño y el grado de severidad y por medio de curvas denominadas como (Valor deducido de daño) estimar el valor deducido. Ricardo Varela proporciona un manual donde se pueden apreciar las curvas mencionadas, en la siguiente figura, se presenta un ejemplo de la curva para la falla piel de cocodrilo, es importante mencionar que para cada tipo de falla existe una gráfica diferente. (LUIS RICARDO, 2002)

Figura: 22 Curvas para estimar valores deducido falla piel de cocodrilo



Fuente: 41 LUIS RICARDO VÁSQUEZ VARELA

8.- Si ninguno o solo uno de los valores deducidos calculados es mayor que 2, se debe usar el valor deducido total, en lugar del mayor valor deducido corregido (CDV).

9.- Determinar el número máximo admisible de los valores deducidos calculados (HDV) en el paso anterior, luego este valor se lo debe reemplazar en la siguiente fórmula, donde se obtendrá el número máximo admisible (m) de Valores Deducidos. A continuación, se detalla la fórmula a emplear.





una vez obtenido este valor se procede a comparar en qué rango se encuentra el PCI y estimar la clasificación del pavimento, en este documento se puede encontrar en la tabla: 12 los rangos de clasificación. Este procedimiento se realiza para cada unidad de muestreo.

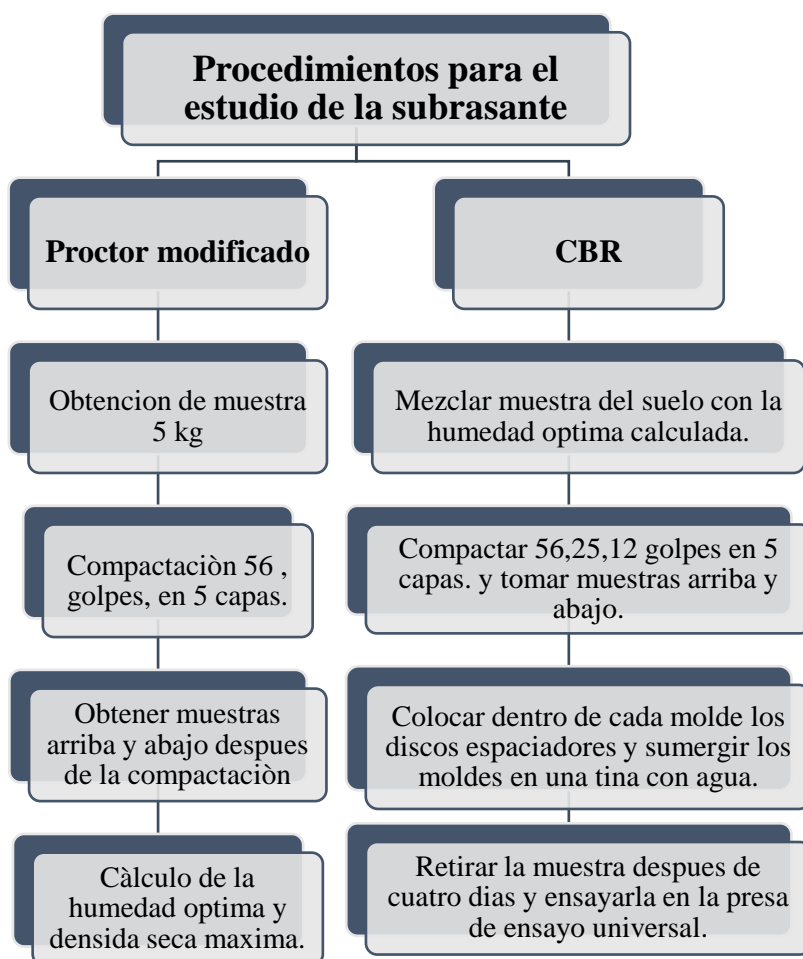
### **3.5.2. Estudio de la subrasante.**

Las diferentes capas del paquete estructural de una carretera son soportadas por el suelo natural o subrasante, los pavimentos distribuyen las cargas generadas por el tráfico vehicular a la subrasante permitiendo la resistencia al deslizamiento. La mayor parte de las ocasiones, las fallas estructurales del pavimento se originan a partir de las deformaciones desarrolladas en la subrasante bajo el efecto combinado de las cargas del tráfico, los diferentes factores ambientales, climáticos o problemas geotécnicos. La resistencia de la subrasante se puede determinar por medio del ensayo de relación de soporte de california (CBR). El valor obtenido del (CBR) influye mucho en el diseño de una carretera, debido a que de él depende el grosor y la profundidad del pavimento y además permite estimar si la subrasante necesita mejoramiento o es capaz de soportar el paquete estructural lo que implica un gran impacto en los costos de construcción.(Amakye & Colin, 2022)

#### **3.5.2.1. Metodología.**

A continuación, se presenta el diagrama de flujo donde se detalla el resumen del procedimiento para la determinación del ensayo de California Bearing Ratio (CBR).

Figura: 26 Procedimientos para el estudio de la Subrasante



Fuente: 45 Autor.

Es importante mencionar que los procesos mencionados en el diagrama de flujo anterior, son los procedimientos más importantes que se deben realizar sin embargo, antes y después de cada uno de ellos existe subprocesos que se deben realizar para poder llegar a obtener el CBR.

### 3.5.3. Diseño de pavimentos flexibles.

El presente trabajo de titulación se enfocará en el método AASHTO, el cual es una guía donde establece los procedimientos básicos utilizados en la actualidad para el correcto dimensionamiento de pavimentos flexibles y rígidos, sin embargo, es importante aclarar que este trabajo se enfoca únicamente en pavimentos flexibles. La metodología establecida por la AASHTO es tipo empírico, obtenida en base a los resultados del ensayo vial AASHTO, en donde en el proceso involucra la iteración de algoritmos matemáticos

y la selección manual de diferentes parámetros, por medio de la utilización de tablas, cartas etc. (Rincón G. & Higuera, 2017)

El mecanismo que el método utiliza en el diseño de pavimentos flexibles es el número estructural, en donde su magnitud es utilizada para determinar los espesores apropiados de las capas que soportaran las solicitaciones de tránsito durante el periodo de diseño, bajo ciertas condiciones ambientales, y un índice de serviciabilidad definido al final de la vida útil de servicio. Para determinar el número estructural requerido, el método AASHTO entrega la siguiente fórmula. (AASHTO, 1993)

*Fórmula: 6 Expresión para calcular el numero estructural.*

$$\log_{10}(W18) = Z_r \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10}(Mr)$$

*Fuente: AASHTO.*

**Donde:**

**W18**= número de aplicaciones de cargas de 8.2 Toneladas.

**Zr**= abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en la curva de distribución normalizada.

**So** = desvío estándar de las variables

**ΔPSI** = pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño

**Mr.**= módulo resiliente de la subrasante.

### 3.5.3.1 Parámetros de diseño.

Nivel de confiabilidad (R). – Se define a la confiabilidad como la probabilidad que existe para que el pavimento se comporte de manera satisfactoria a lo largo de su vida útil, el mismo que se encuentra ligado al desempeño del pavimento bajo la acción de cargas, condiciones climáticas y diferentes fallas superficiales y estructurales. (AASHTO, 1993)

Desviación normal estándar (Zr). – No existe una similitud entre la curva del comportamiento del pavimento y la curva que fue diseñada por la AASHTO, entonces se produce un error que se debe corregir. La guía AASHTO utiliza la ley de distribución normal con una desviación tupida So para ajustar estas curvas, por medio de la distribución se puede obtener el valor de Zr asociado a la confiabilidad. El valor de

desviación estándar normal, se lo puede obtener en la siguiente tabla, la cual está en función del nivel de confianza.(AASHTO, 1993)

Tabla 20 Nivel de confiabilidad AASHTO-93

Confiabilidad (R) %	Desviación normal estándar (Zr)
50	0
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,34
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645

Fuente: 46 AASHTO 93

Error combinado o desviación estándar (So). – A partir de este factor se pueden evaluar los datos que conforman la curva de comportamiento del pavimento. La AASHTO establece rangos para este valor, a continuación, se presenta una tabla con los rangos definidos para So.

Tabla 21 Error combinado

Proyecto de pavimento	So	
	Flexible	Rígido
	0.4 - 0.5	0.30 - 0.40
Construcción nueva	0,45	0,35
Sobrecapas	0,5	0,4

Fuente: 47 AASHTO-93

Numero de ejes equivalentes. (ESAL's) – Se considera únicamente los vehículos pesados y se lo determina transformando el tráfico proyectado a ejes equivalentes de 8.6 Ton.

Numero estructural. (SN) – El número estructural se lo determina a partir de la ecuación N°1, que se presentó anteriormente.



Perdida de nivel de servicio. ( $\Delta PSI$ ) – Es la representación del estado del pavimento, y viene dado por la siguiente expresión. (AASHTO, 1993)

*Fórmula: 7 Expresión para calcular la pérdida de nivel de servicio.*

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

*Fuente: AASHTO.*

En donde

Índice de serviciabilidad inicial ( $P_o$ ). La guía AASHTO, establece que este índice se encuentra en función del diseño y calidad del pavimento, para pavimentos flexibles este índice es igual a 4.2. (AASHTO, 1993)

Índice de serviciabilidad final ( $P_t$ ). Este parámetro se encuentra en función del tipo de carretera, en donde representa el valor más bajo de la condición del pavimento. A continuación, se muestran los valores establecidos por la AASHTO.

*Tabla 22 Índice de serviciabilidad final*

<b>Serviciabilidad</b>	
Tipo de vía	Serviciabilidad final
Autopistas	2,5 - 3
Carreteras	2 - 2,5

*Fuente: 48 AASHTO 93*

Modulo resiliente de la subrasante. ( $Mr$ ) – La guía de diseño AASHTO 93 propone correlaciones que determinan el módulo resiliente en función del ensayo CBR. A continuación, se muestran las expresiones para determinar el módulo resiliente.

*Fórmula: 8 Expresión para calcular modulo resiliente para  $CBR < 3$ .*

$$Mr = 1500 * CBR (psi)$$

*Fuente: AASHTO*

*Fórmula:9 Expresión para calcular modulo resiliente para  $7\% < CBR < 20\%$*

$$Mr = 3000 * CBR (psi)$$

*Fuente: AASHTO*

*Fórmula:10 Expresión para calcular modulo resiliente para  $CBR > 20\%$*

$$Mr = 4.326 * \ln(CBR) + 2.41 (psi)$$

*Fuente: AASHTO*

Coefficiente de drenaje ( $M_r$ ) – La calidad de drenaje se evalúa mediante los coeficientes de drenaje para las capas de base y sub-base granular. A continuación se presentan los coeficientes de drenaje.

Tabla 23 Coeficientes de drenaje

CARACTERÍSTICAS	% DEL TIEMPO QUE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO ESTPÀ EXPUESTA A GRADOS DE HUMEDAD PRÓXIMA A LA SATURACIÓN			
	< 1%	1-5%	5-25%	>25%
DEL DRENAJE				
Excelente	1,4	1,35	1,3	1,2
Bueno	1,35	1,25	1,15	1
Regular	1,25	1,15	1	0,8
Pobre	1,15	1,05	0,8	0,6
Muy malo	1,05	0,95	0,75	0,4

Fuente: 49 AASHTO

Propiedades de las bases y subbases y coeficientes estructurales.

Las propiedades que se requieren de los materiales de bases y de subbases para el diseño de pavimentos son:

- Módulos de elasticidad.
- Gravedad específica.
- Densidad seca máxima.
- Permeabilidad

Con estas propiedades definidas se puede calcular los espesores de capa y las propiedades hidráulicas y filtrantes de estos materiales. Las especificaciones técnicas del MOP 2002 establecen los siguientes parámetros mínimos que deben cumplir una base y subbase.  
Bases: (Obras Publicas, 2002)

Bases.

- CBR min: 80%.
- Límite líquido máximo: 25%.
- Índice plástico máximo: 6%.
- Abrasión máxima: 40%

Subbases.

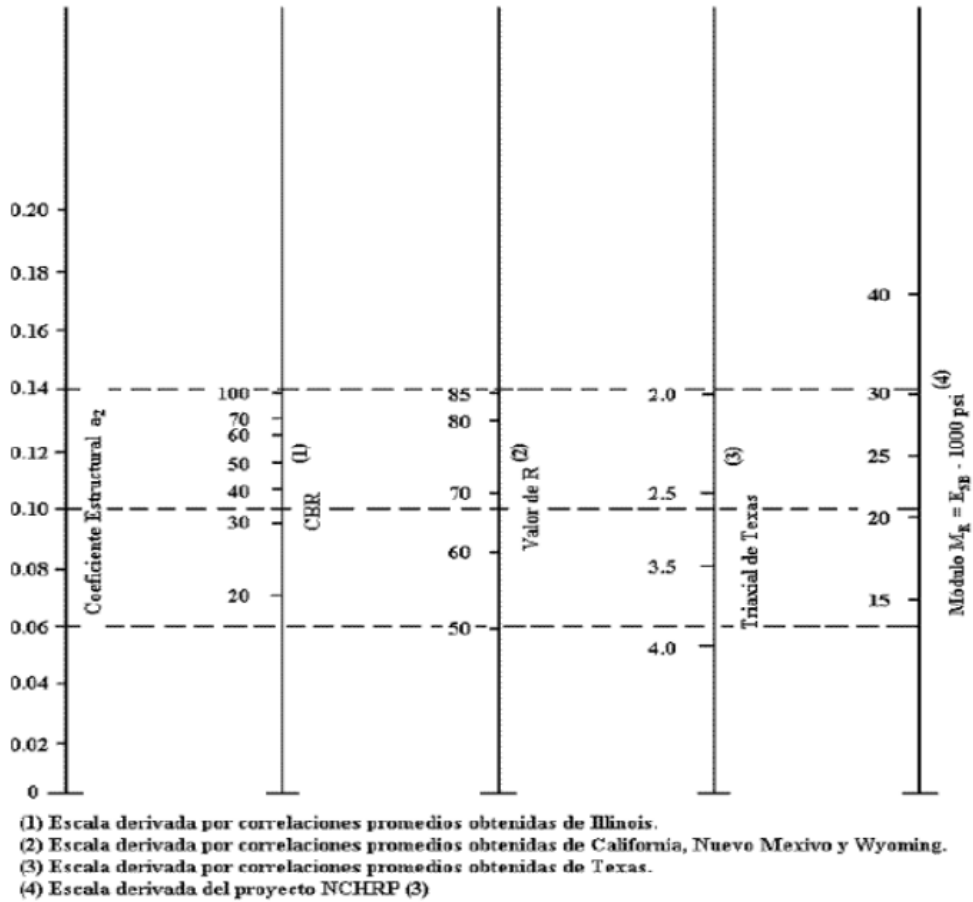
- CBR min: 30%.

- Límite líquido máximo: 25%.
- Índice plástico máximo: 6%.
- Abrasión máxima: 50%

Módulo resiliente de la base y subbase. El módulo resiliente viene dado por las tablas que se presentan a continuación.

Bases granulares.

Figura: 27 Monograma para calcular Mr para bases granulares.



Fuente: 50 AASHTO

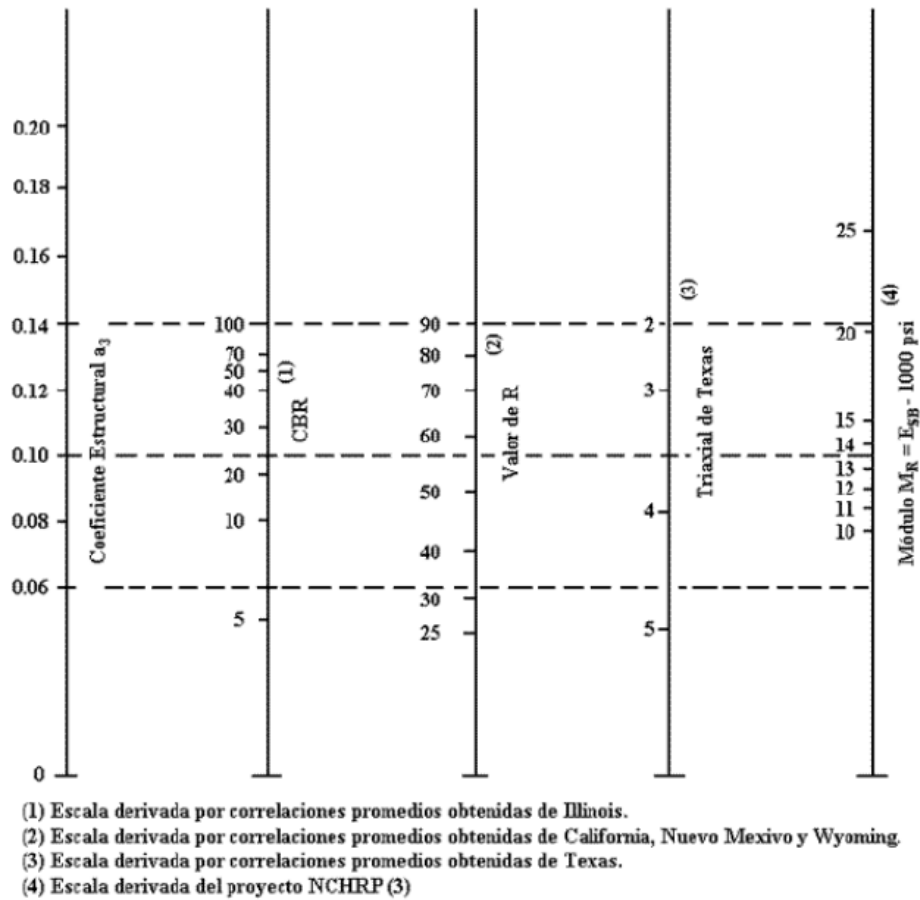
Fórmula: 11 Expresión para calcular el coeficiente estructural para bases granulares.

$$a_1 = 0.249 \times \ln(E_2) - 0.977$$

Fuente: AASHTO

Subbase granular.

Figura: 28 Monograma para calcular Mr para subbases granulares



Fuente: 51 AASHTO

Fórmula: 12 Expresión para calcular el coeficiente estructural para bases granulares.

$$a_3 = 0.227 \times \ln(E_3) - 0.839$$

Fuente: AASHTO

Modulo resiliente de la mezcla asfáltica y coeficiente estructural.

La capa asfáltica se caracteriza mediante el módulo resiliente, el cual depende de la frecuencia de carga y de la temperatura de la mezcla. A continuación, se muestran las expresiones que se deben aplicar.

Formula: 13 Expresión para calcular la frecuencia de carga.

$$f = \frac{v}{2\pi}$$

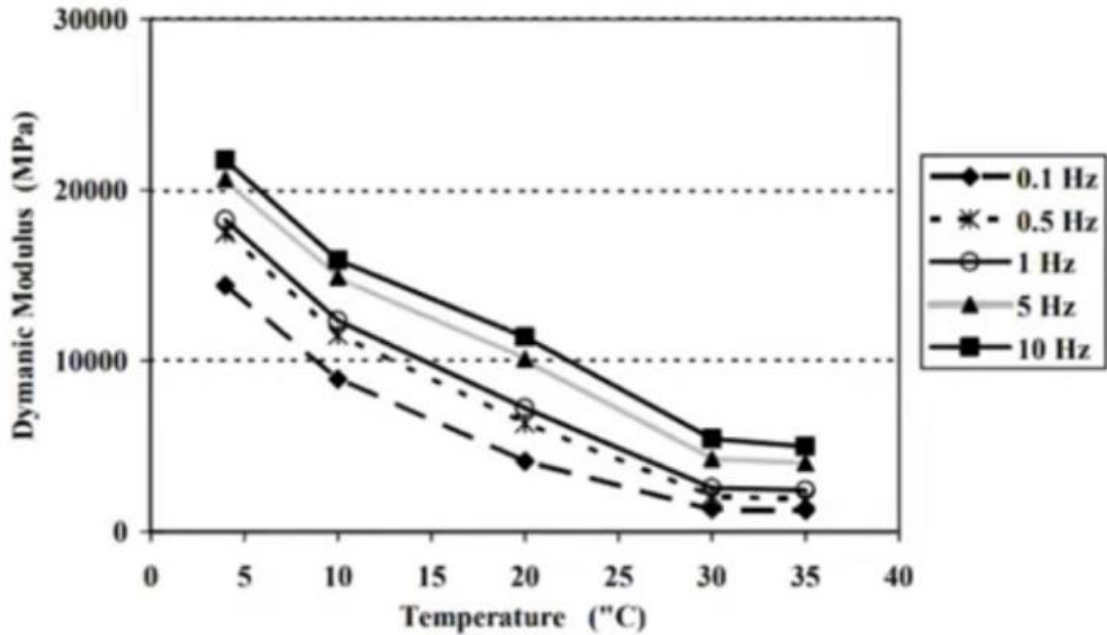
Fuente: AASHTO

Fórmula: 14 Expresión para calcular la temperatura efectiva de la carpeta asfáltica.

$$T_s = (-0.0093xT_a^2 + 1.569xT_a - 1.578)(-0.084x\ln(h_s) + 1.55)$$

Fuente: AASHTO

Figura: 29 Módulo dinámico de la carpeta asfáltica.



Fuente: 52 AASHTO

Fórmula: 15 Expresión para calcular el coeficiente estructural de la capa asfáltica.

$$a_1 = 0.184x\ln(E_1) - 1.9547$$

Fuente: AASHTO

Cálculo del espesor carpeta asfáltica, base granular, subbase granular. El cálculo del espesor de las capas estructurales viene dado por las siguientes expresiones.

Fórmula: 16 Expresión para calcular el espesor de la capa asfáltica.

$$h_1 = \frac{SN_1}{a_1}$$

Fuente: AASHTO

Fórmula: 17 Expresión para calcular el espesor de la base granular.

$$h_2 = \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 \times m_2}$$

Fuente: AASHTO

Fórmula: 18 Expresión para calcular el espesor de la subbase granular.

$$h_3 = \frac{SN_3 - SN_2}{a_3 \times m_3}$$

Fuente: AASHTO

Capacidad portante. Una vez determinado el número estructural para cada capa con su espesor correspondiente, se procede a determinar si el conjunto de capas cuyos espesores combinados, proporcionan la capacidad portante correspondiente al número estructural. A continuación, se muestra la fórmula establecida por la AASHTO.

Fórmula: 19 Expresión para calcular el número estructural.

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

Fuente: AASHTO

**Donde:**

a1= coeficiente estructural de la capa de rodadura.

D1 = espesor de la capa de rodadura.

a2= coeficiente estructural de la capa de base.

mi= coeficientes de drenaje (m2 = m3)

D2 = espesor de la capa de base.

a3= coeficiente estructural de la capa de subbase.

D3 = espesor de la capa de subbase

Espesores mínimos de capas. A continuación, se muestran los espesores mínimos establecidos por la AASHTO.

Tabla 24 Espesores mínimos.

N° DE EJES EQUIVALENTES (ESAL'S)	CONCRETO ASFÀLTICO	BASE GRANULAR
< 50.000	1	4
50.001 - 150.000	2	4
150.001-500.000	2,5	4
500.001-2' 000.000	3	6
2' 000.001-7' 000.000	3,5	6

>7' 000.000	4	6
-------------	---	---

*Fuente: 53 AASHTO*

### 3.5.4. Materiales y equipos utilizados.

En el desarrollo de las actividades en campo, oficina y laboratorio se utilizaron los siguientes materiales y equipos.

*Tabla 25 Materiales y equipos utilizados*

Materiales de campo	Flexómetro
	Cintra métrica
	Regla de aluminio.
	Hoja de registro.
	Bolígrafos.
	Cámara fotográfica.
	Aerosol pintura.
Materiales de oficina	Manual de fallas.
	Computadora.
	Bolígrafos.
	Hoja de registro.
	Manual del PCI.
Materiales de laboratorio	Muestras de suelo.
	Probeta.
	Regla de metal.
	Cápsulas de 10 gr..
	Juego de tamices.
	Balanzas y martillo de compactación.
	Moldes, placas y collarín para Proctor.
	Disco espaciador.
	Papel filtrante.
	Moldes, placas, collarín para CBR.
	Discos de perforación.
	Tina de agua.
	Trípode para medir expansión.
	Prensa de carga - CBR.
	Horno.

*Fuente: 54 Autor*

## CAPÍTULO IV

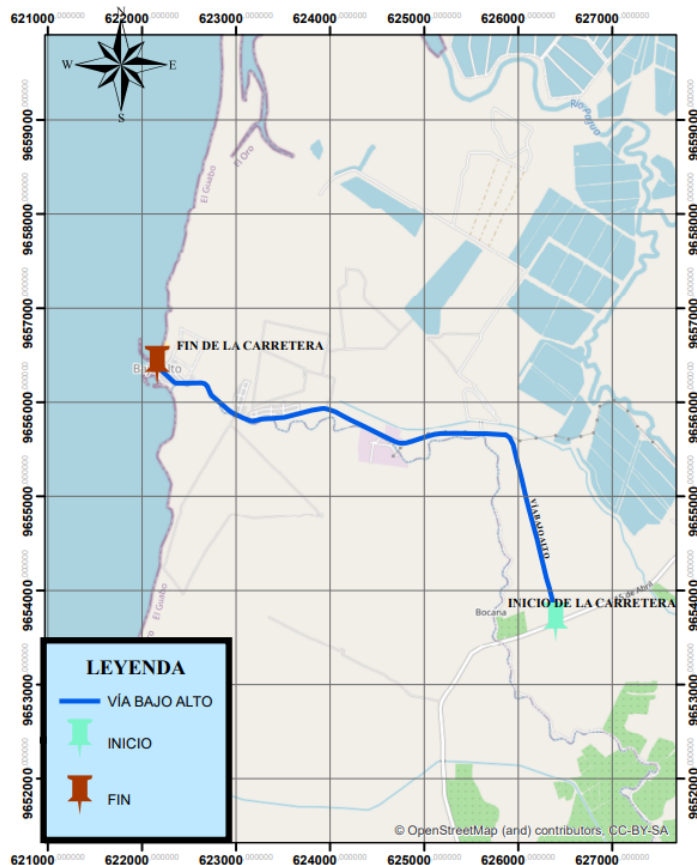
### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Análisis de la aplicación del índice de condición del pavimento (PCI) carretera Barbones – Tendales hasta la comuna de Bajo Alto.

##### 4.1.1. Ubicación geográfica.

El tramo analizado en el presente proyecto de investigación es la carretera Barbones – Tendales hasta la comuna de Bajo Alto y está localizada en el cantón el Guabo, provincia de El Oro.

Figura: 30 Tramo de estudio



Fuente: 55 Autor



#### 4.1.2. Dimensiones de la vía.

La carretera de estudio está conformada por pavimento flexible y es de dos carriles y tiene una longitud de 6050 metros y con un ancho de carril promedio de 3.65 m.

#### 4.1.3. Número de unidades de muestra.

El número de unidades de muestra ya fue previamente calculado en los capítulos anteriores, por ende, se tomará los resultados obtenidos los mismos que se muestran a continuación.

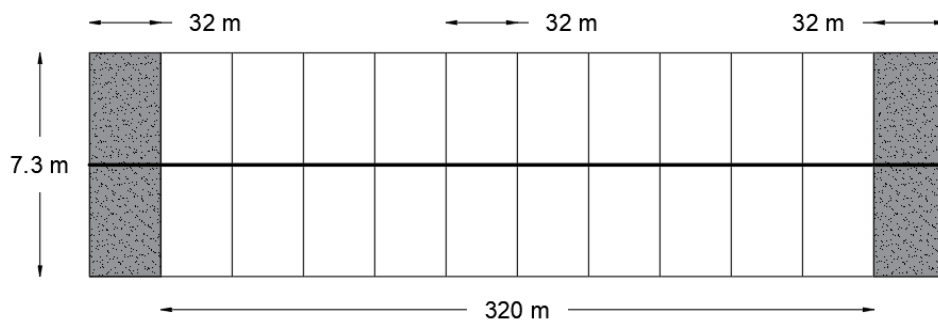
Tabla 26 Datos generales

<b>Ancho de la calzada</b>	7.3
<b>Longitud de la vía</b>	6.05 km
<b>Ancho de longitud de muestra</b>	32m
<b>Área de muestra</b>	230.02 m <sup>2</sup>
<b>Número de muestras</b>	18

Fuente: 56 Autor

En la siguiente figura se ilustra el intervalo de cada muestra con su respectiva longitud de análisis, es fácil darse cuenta que para el análisis, la toma de datos y registro de fallas se deberá hacer cada 320m.

Figura: 31 Muestras representativas



Fuente: 57 Autor

#### 4.1.4. Procedimiento para la estimación del PCI

En los capítulos previos, se describe el proceso a realizar para el cálculo del PCI, sin embargo, no obstante, a continuación, se ilustra cómo se realiza el procedimiento, el mismo que será aplicado a una unidad de muestra que se tomó en campo y que está comprendida entre la abscisa inicial 3+168 y la abscisa final 2+200 que representa a la unidad de muestra N°10.

##### a) Recolección de datos.

Se registran todas las fallas existentes de la unidad de muestra en el inventario de fallas con su respectivo grado de severidad, las unidades y los valores obtenidos en campo. Tal y como se aprecia en la siguiente tabla, se puede observar que en el tramo analizado N° 10 existen pocas fallas superficiales y además el grado de severidad de cada falla es bajo.

Tabla 27 Inventario de fallas existentes Tramo N°10

INVENTARIO DE FALLAS EXISTENTES						
Falla	Unidad	Severidad	Largo m	Ancho m	Prof. m	Total
Grietas Longitudinales y/o Transversal.	m	L	7,200			7,200
Piel de cocodrilo.	m2	L	3,120	0,270		0,842

Fuente: 58 Autor

##### b) Orden de fallas.

Una vez registradas las fallas se procede a ordenarlas registrando la sumatoria del valor de cada falla y por cada grado de severidad. Como se muestra a continuación, en este caso al existir solamente dos tipos de fallas el total va a ser el mismo que el calculado en el paso anterior sin embargo si existen dos o más fallas del mismo tipo y del mismo grado de severidad se deben sumar los valores.

Tabla 28 Ordenamiento fallas registradas en el Tramo N°10

Falla	Unidad	Severidad	Total
Piel de cocodrilo.	m2	L	0,84

Grietas Longitudinal y/o Transversal.	m	L	7,20
---------------------------------------	---	---	------

Fuente: 59 Autor

**c) Cálculo de densidad y valores deducidos.**

Una vez ordenadas las fallas y determinado el total en cada una de las fallas, se prosigue a calcular la densidad de cada falla, para ello se debe dividir el metrado total de la falla para el área de la unidad de muestra, como se muestra a continuación para la falla piel de cocodrilo.

Fórmula: 20 Cálculo de densidad

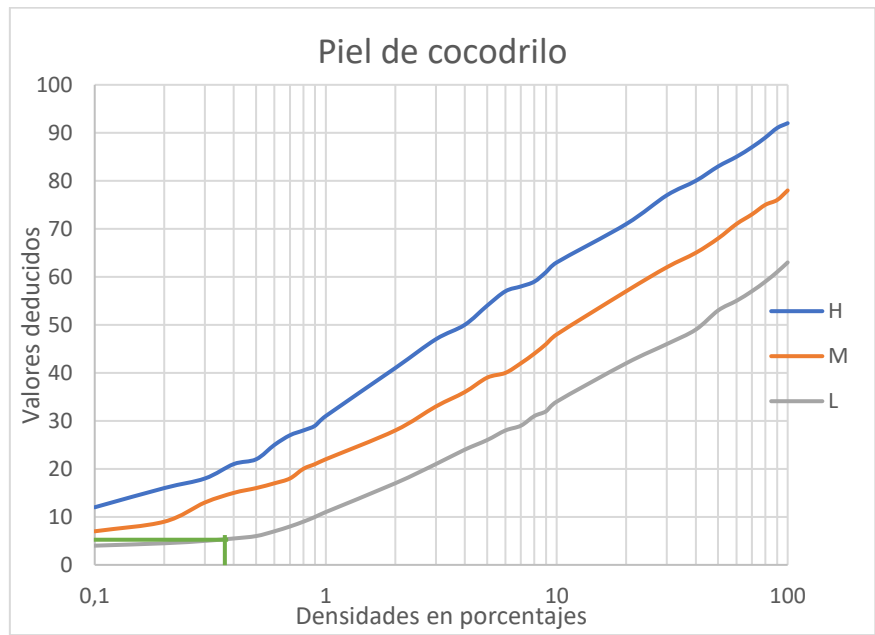
$$d\% = \frac{\text{metrado total}}{\text{Área de unidad de muestra}}$$

$$d\% = \frac{0.84}{230.02} * 100$$

$$d\% = 0.37\%$$

En cambio, los valores deducidos están en función de la densidad y del tipo de severidad, el valor de la densidad calculada previamente es para la falla piel de cocodrilo, entonces se debe ir al manual de (PCI) del Ing. Luis Varela o la norma *ASTMD-6433*, de los documentos mencionados se puede obtener las gráficas para cada una de las fallas. En la figura: 33 se puede observar que para una densidad de 0.37% y para un tipo de severidad (L) el valor deducido es aproximadamente 5.

Figura: 32 Curvas para estimar valores deducido falla piel de cocodrilo



Fuente: 60 LUIS RICARDO VÁSQUEZ VARELA

En la siguiente tabla se muestran los resultados de densidad y valores deducidos estimados para el tramo N°10, como se observa en la tabla el máximo valor deducido es HDV=5.

Tabla 29 Densidades y valores deducidos para el Tramo N°10

Falla	Unidad	Severidad	Total	Densidad (d%)	VD
Piel de cocodrilo.	m2	L	0,84	0,37 %	5
Grietas Longitudinal y/o Transversal.	m	L	7,20	3,13 %	2

Fuente: 61 Autor

#### d) Número máximo de valores deducidos.

En los capítulos anteriores se describió la fórmula: 4 la cual se utiliza para calcular el número máximo de valores deducidos. Se puede observar que el número máximo es mayor que el número de fallas, ya que solo existen dos fallas entonces se toman todas las fallas registradas.

Fórmula: 4 Número máximo admisible de valores deducidos.

$$m = 1 + \frac{9}{98} * (100 - HDV)$$

$$m = 1 + \frac{9}{98} * (100 - 5)$$

$$m = 9.75$$

#### e) Valor deducido total.

Para obtener el valor deducido total se debe ordenar los valores de izquierda a derecha de mayor a menor, luego se prosigue a reducir el menor valor deducido individual mayor que 2 y se repite el procedimiento hasta que (q) sea igual a 1 y se suman las filas de los valores deducidos. Como se muestra en la siguiente tabla

Tabla 30 Cálculo del valor deducido total

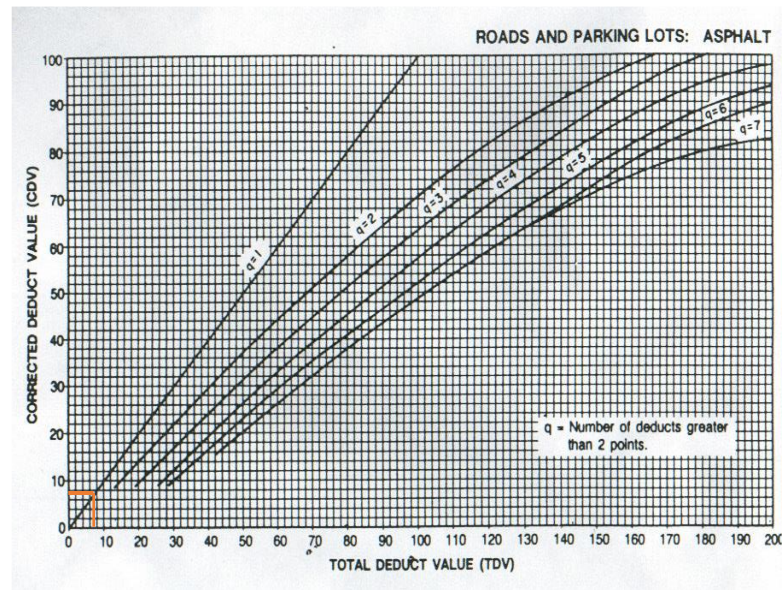
NRO	VALORES DEDUCIDOS														TDV	q	
	5	2															
1	5	2														7	2
2	5	2														7	1

Fuente: 62 Autor

#### f) Cálculo de valores deducidos corregidos.

Los valores deducidos corregidos están en función de los valores deducidos total (TDV) y del valor de (q), luego mediante la gráfica de valores deducidos corregidos estimamos el valor que le corresponde. En la siguiente gráfica se ha trazado el valor deducido de TDV=7 y para un valor de q=1 la intersección de estas rectas se puede estimar un valor deducido corregido de CDV=7, el procedimiento se lo realiza para cada tipo de fallas.

Figura: 33 Gráfica para la estimación de valores deducidos corregidos.



Fuente: 63 LUIS RICARDO VÁSQUEZ VARELA

En la siguiente tabla se puede visualizar los resultados obtenidos de los valores deducidos en donde podemos notar que el máximo valor deducido tiene un valor de CDV= 7.

Tabla 31 Valores deducidos y valores deducidos corregidos

NRO	VALORES DEDUCIDOS											TDV	q	CDV
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
1	5	2										7	2	4
2	5	2										7	1	7

Fuente: 64 Autor

**g) Cálculo del PCI y clasificación de la unidad de muestra.**

Para concluir con el proceso, se debe estimar el valor del PCI a partir del máximo valor deducido corregido, para ello en los capítulos previos se presentó la fórmula: 5 que se utiliza para estimar el valor del PCI.



Fórmula: 5 Cálculo del valor del PCI.

$$PCI = 100 - CDV$$

$$PCI = 100 - 7 = 93$$

A partir del valor estimado del PCI, nos dirigimos a las normas que proporcionan rangos de calificación para los valores del PCI, el autor de este documento designó un color para cada rango establecido, el mismo que se presenta en la figura: 30 , entonces el valor obtenido del PCI anteriormente fue PCI=93, como observamos este valor se encuentra en el rango de 86-100 por ende tiene una calificación de Excelente, lo cual era de esperarse, puesto que se mencionó en un inicio que para esta unidad de muestra N°10 sólo presentaba dos tipos de fallas y además era de severidad baja.

Tabla 32 Rangos de calificación del PCI

RANGOS DE CALIFICACIÓN DEL PCI		
PCI	CLASIFICACIÓN	COLOR
86-100	EXCELENTE	
71-85	MUY BUENO	
56-70	BUENO	
41-55	REGULAR	
26-40	POBRE	
11-25	MUY POBRE	
0-10	FALLADO	

Fuente: 65 PCI

Para todas las unidades de muestras que se analizaron se les realiza el mismo procedimiento de cálculo del PCI y al final con el promedio general de todas las muestras se consigue la condición actual del pavimento.

#### 4.1.4. Resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos que se muestra a continuación, se presentan siguiendo una secuencia ordenada, en donde se muestra para cada resultado un análisis crítico y comentarios acerca de los resultados, como primera parte se muestra la identificación de las fallas existentes en las muestras analizadas, luego se mostrarán los valores calculados del PCI para cada una de las unidades evaluadas, como tercera parte se muestra la distribución de cada falla en todas las unidades analizadas, es importante recalcar que se analizaron dieciocho unidades de muestreo.

#### 4.1.4.1. Fallas existentes.

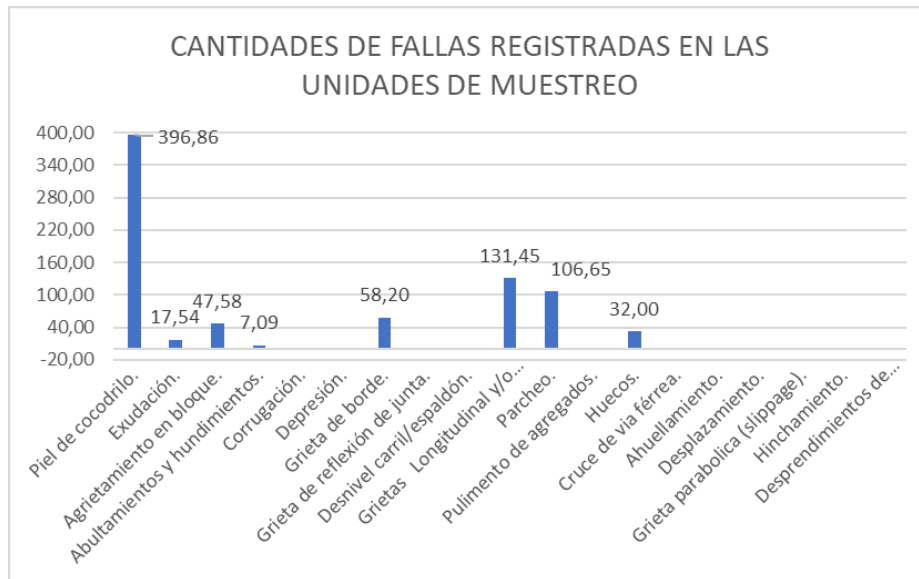
Como se discutió anteriormente, el método PCI presenta 19 tipos de fallas para la evaluación superficial, en la tabla: 13 se muestran los tipos de fallas que se registraron en las dieciocho unidades de muestreo, para una mejor visualización de las fallas registradas se encuentra el gráfico de barras de la figura: 31 en donde representa los tipos de fallas y las cantidades que se encontraron. De este modo, las cantidades que muestran cada tipo de falla se registraron por medio de la unidad de medida contabilizada en metros cuadrado ( $m^2$ ), metros lineales ( $m$ ), unidades ( $N^\circ$ ).

Tabla 33 Cantidades de fallas registradas en todas las unidades de muestreo en estudio de la carretera Barbones - Tendales hasta la comuna de bajo Alto

<b>CANTIDADES DE FALLAS REGISTRADAS EN LAS UNIDADES DE MUESTREO</b>			
<b>ITEM</b>	<b>TIPO DE FALLA</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
1	Piel de cocodrilo.	$m^2$	403,01
2	Exudación.	$m^2$	17,54
3	Agrietamiento en bloque.	$m^2$	47,58
4	Abultamientos y hundimientos.	$m$	7,09
5	Corrugación.	$m^2$	0,00
6	Depresión.	$m^2$	0,00
7	Grieta de borde.	$m^2$	58,20
8	Grieta de reflexión de junta.	$m$	0,00
9	Desnivel carril/espaldón.	$m$	0,00
10	Grietas Longitudinales y/o Transversal.	$m$	131,45
11	Parcheo.	$m^2$	106,65
12	Pulimento de agregados.	$m^2$	0,00
13	Huecos.	$N^\circ$	32,00
14	Cruce de vía férrea.	$m^2$	0,00
15	Ahuellamiento.	$m^2$	0,00
16	Desplazamiento.	$m^2$	0,00
17	Grieta parabólica (slippage).	$m^2$	0,00
18	Hinchamiento.	$m^2$	0,00
19	Desprendimientos de agregados.	$m^2$	0,00

Fuente: 66 Autor

Figura: 34 Cantidades de fallas registradas en las unidades de muestreo en estudio de la carretera Barbones - Tendales hasta la comuna de bajo Alto

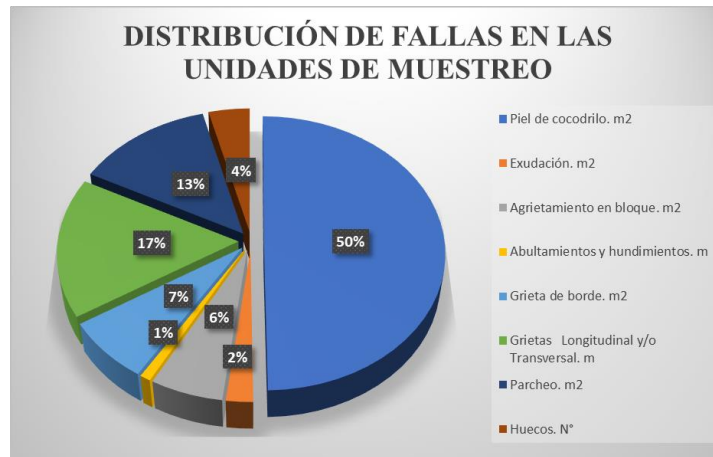


Fuente: 67 Autor

Los resultados obtenidos de las dieciocho unidades de muestra de la zona de estudio presentan ocho tipos de fallas del total de diecinueve fallas que establece el método PCI, entonces queda un total de once tipos de fallas que no fueron identificadas y tampoco registradas en las unidades de muestra. En la siguiente gráfico se puede evidenciar la incidencia de cada falla, en donde las falla piel de cocodrilo tiene un gran dominio sobre las demás, puesto que del 100% de fallas registradas en las dieciocho unidades de muestra, el 50% de las fallas pertenecen al tipo piel de cocodrilo, de la misma manera la falla que menos se presentó fue abultamientos y hundimientos, sin embargo, es importante mencionar que el método PCI, al momento de seleccionar las unidades de muestra puede excluir unidades en muy mal estado y seleccionar unidades en perfecto estado, por lo que el porcentaje de abultamientos y hundimientos puede variar ya que entre más unidades de muestra se analicen, se obtendrá más información, sin embargo hay que tener en cuenta que la aplicación de este método toma tiempo y recursos de mano de obra.



Figura: 35 Fallas encontradas en las 18 unidades de muestreo. en estudio de la carretera Barbones - Tendales hasta la comuna de bajo Alto

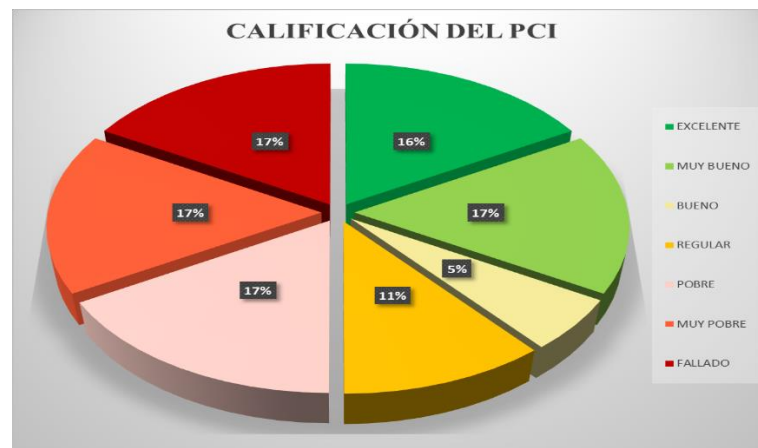


Fuente: 68 Autor

#### 4.1.4.2. Clasificación del PCI.

Una vez obtenido el valor del PCI para cada unidad de muestra, se procedió a estimar el porcentaje que corresponde para cada calificación, en donde se puede decir que existe una distribución muy variada de los rangos de calificación, como se puede observar en la siguiente imagen, cinco rangos de los siete establecidos obtuvieron el mismo porcentaje 17%, es decir que del área total analizada que fue  $4140.36 \text{ m}^2$ , los pavimentos clasificados como fallado, muy pobre, pobre, muy bueno y excelente ocupan un área de  $690.06 \text{ m}^2$  cada uno respectivamente, por el contrario los pavimentos catalogados como regular tiene un porcentaje de 11%, es decir que  $460.04 \text{ m}^2$  de los  $4140.36 \text{ m}^2$  se encuentran en un estado regular y tan solo un 5% se encuentra en un estado (Bueno.)

Figura: 36 Resultados del PCI de la sección de las Unidades de muestras en estudio de la carretera Barbones - Tendales hasta la comuna de bajo Alto



Fuente: 69 Autor

#### 4.1.4.3. Clasificación del estado de la vía de acuerdo al PCI promedio del estudio de la carretera Barbones – Tendales hasta la comuna de Bajo Alto.

Como parte final de la aplicación del método PCI, se procedió a organizar los resultados obtenidos en todas las unidades de muestra, tal y como se muestra en la siguiente tabla, en donde se puede apreciar que para el primer tramo evaluado, obtuvo un valor de PCI=2 siendo catalogado este tramo como (fallado), por otra parte el tramo N°10 es el que mejores condiciones presenta, se interpreta esto en base al resultados obtenidos, en donde el valor del PCI=93, clasificando a este tramo como “excelente”, de todos los valores obtenidos se procedió a calcular una media para conocer la calificación del estado de la vía, en donde se obtuvo que la vía de estudio se encuentra entre el rango de 41- 55 en donde el estado del pavimento es (regular).

Tabla 34 Resultados consolidados de las 18 Unidades de muestras en estudio de la carretera Barbones - Tendales hasta la comuna de bajo Alto

RESULTADOS OBTENIDOS						
TRAMO	ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL	ÁREA DE TRAMO	PCI	CALIFICACIÓN	SIMBOLOGÍA
1	0+0	0+032	230,02	2	FALLADO	
2	0+352	0+384	230,02	22	MUY PROBE	
3	0+704	0+736	230,02	11	MUY PROBE	
4	1+056	1+088	230,02	9	FALLADO	
5	1+408	1+440	230,02	33	POBRE	
6	1+760	1+792	230,02	78	MUY BUENO	
7	2+112	2+144	230,02	88	EXCELENTE	
8	2+464	2+496	230,02	88	EXCELENTE	
9	2+816	2+848	230,02	46	REGULAR	
10	3+168	2+200	230,02	93	EXCELENTE	
11	3+520	2+552	230,02	10	FALLADO	
12	3+872	3+904	230,02	52	REGULAR	
13	4+224	4+256	230,02	74	MUY BUENO	
14	4+576	4+608	230,02	76	MUY BUENO	
15	4+928	4+960	230,02	38	POBRE	
16	5+280	5+312	230,02	21	MUY POBRE	
17	5+632	5+664	230,02	40	POBRE	
18	5+984	6+016	230,02	57	BUENO	
<b>PROMEDIO</b>				47	<b>REGULAR</b>	

Fuente: 70 Autor

## 4.2. California Bearing Ratio (CBR)

Con referencia a los resultados obtenidos del PCI se procedió a realizar dos calicatas, en puntos estratégicos, para lo cual se tomó como referencia el valor del PCI más alto (Condición del pavimento Buena) y el valor más bajo (Condición del pavimento mala). A continuación, se muestran las abscisas seleccionadas con su respectivo valor del PCI

Tabla 35 Tramos que se realizaron calicatas.

TRAMOS SELECCIONADOS PARA REALIZAR CALICATAS						
TRAMO	ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL	ÁREA DE TRAMO	PCI	CALIFICACIÓN	SIMBOLOGÍA
1	0+000	0+032	230,02	2	<b>FALLADO</b>	
7	2+112	2+144	230,02	88	<b>EXCELENTE</b>	

Fuente: 71 Autor

Previamente se mostró una tabla con los resultados consolidados de la evaluación del PCI, en donde se puede apreciar que el valor más alto obtenido fue de PCI=98 (Excelente), por lo que se debería haber realizado una calicata en este tramo, sin embargo, el tramo N°10 se encontraba en una zona restringida que pretense a EP PETROECUADOR por lo que no fue posible realizar una excavación en esta área, entonces se tomó otro tramo de estudio con similares características PCI=88 (Excelente) para ser analizado en laboratorio. El ensayo del CBR y la calicata fueron realizados por Castillo Infante Winston Fabricio autor de este documento, en el laboratorio de suelos de la Universidad Técnica de Machala – Facultad de Ingeniería Civil.

Figura: 38 Obtención de muestra de suelo para realizar ensayos – M1



Fuente: 73 Autor

Figura: 37 Obtención de muestra de suelo para realizar ensayos – M2



Fuente: 72 Autor

A continuación se detalla los resultados obtenidos en el Laboratorio de suelos de la Universidad Técnica de Machala, para las dos muestras tomadas en campo, el resultado fue obtenido a partir de una serie de procesos metodológicos, en el que para la obtención del CBR se realizó como primera instancia el ensayo de Proctor modificado para obtener

la humedad óptima y densidad seca máxima del material y luego proceder a realizar el ensayo de CBR, se realizaron tres moldes por cada muestra donde se compacto con 56, 25 y 12 golpes y luego se procedió a realizar el ensayo de CBR no saturado en la prensa de carga, una vez realizado este procedimiento se realiza el mismo proceso para el ensayo del CBR saturado, con la diferencia de que se debe sumergir las muestras por cuatro días y luego proceder a realizar el ensayo en la prensa de carga. En total se ensayaron doce moldes, seis para cada muestra, además, se usó un total de 30 kg de muestra por cada calicata a ensayar, en resumen, se usaron 60 kg de muestra para realizar el ensayo de CBR. A continuación, se muestran los resultados obtenidos.

*Tabla 36 Resultados obtenidos del ensayo CBR no saturado y CBR saturado.*

<b>RESULTADOS OBTENIDOS - CBR</b>							
<b>TRAMO</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>INICIO</b>	<b>FIN</b>	<b>CBR NAT%</b>	<b>CBR SAT%</b>	<b>COMPACTACIÓN</b>
1	M2	1,5 m	0+0	0+032	18,19 %	4,15 %	90 %
7	M1	1,5 m	2+112	2+144	25,20 %	2,63 %	90 %

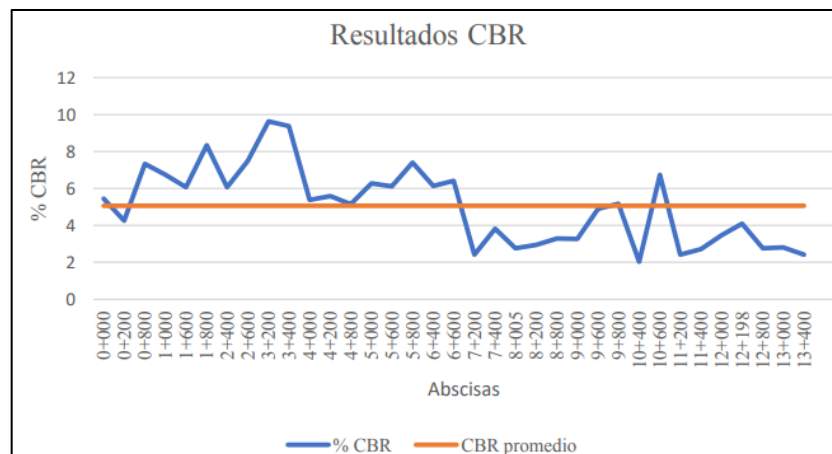
*Fuente: 74 Resultados obtenidos del ensayo CBR no saturado y CBR saturado.*

De la tabla anterior de resultados obtenidos del ensayo de CBR y comparando los resultados con la tabla categorías de CBR, podemos decir con seguridad, que mientras el CBR se encuentra en estado natural es decir compactado con su humedad óptima y antes de saturarlo se obtienen valores considerablemente buenos, para la muestra **M2** se obtiene un CBR de 18.19% el cual categoriza a la subrasante como (Buena) y para la **M1** se obtuvo un CBR de 25.20 en donde se trata de una subrasante (Muy buena).

Por otra parte, en el comentario anterior se analizó únicamente al CBR no saturando donde se obtuvieron resultados agradables, sin embargo, la estructura de un pavimento se ve afectada por diferentes factores, en donde uno de ellos es el agua, el cual se infiltra por las grietas que se forman en el firme y llegan hasta la subrasante haciendo que esta pierda su capacidad de soporte, a razón de esto se realiza el ensayo de CBR saturado, en donde se puede estimar la capacidad de soporte que tiene la subrasante ante una situación crítica. Los resultados obtenidos no fueron buenos, para la subrasante de la muestra **M2** analizada se obtuvo un CBR de 4.15% siendo categorizada como una subrasante (Pobre), por el contrario, la muestra **M1** obtuvo el valor más bajo CBR de 2.63 categorizando a la subrasante como (inadecuada).

En el año 2022 el Ing. Jorge Vera realizó una evaluación estructural usando un deflectómetro de impacto (FWD) para la misma vía de estudio, en donde obtuvo un CBR mínimo igual a 2 y un máximo igual a 10, el promedio de los resultados de CBR obtenido fue igual a 5, comparando los resultados del Ing. Jorge Vera con los resultados obtenidos para las dos muestras analizadas en este documento, se puede decir con certeza que la subrasante de la vía de estudio es categorizada como (Pobre). A continuación, se presentan los resultados obtenidos por el Ing. Jorge Vera. (Vera Jorge, 2022)

Tabla 37 Resultados de CBR evaluación estructural FWD



Fuente: 75 JORGE ENRIQUE VERA REYES

### 4.3. Clasificación de suelos método AASHTO.

#### 4.3.1. Muestra M1.

##### 4.3.1.1. Profundidad 0.5 m

Tabla 38 Datos obtenidos en laboratorio - M1-0.5m

GRANULOMETRÍA		
MALLA		% QUE PASA
N°10	2 mm	51,00 %
N°40	0,425 mm	29,00 %
N°200	0,075 mm	3,00 %
SUELO GRUESO		
Límite líquido		22,97%
Límite plástico		20,95%
Índice de plasticidad		2,02%
IG	0	

Fuente: 76 Autor

De los datos obtenidos anteriormente podemos clasificar al suelo siguiente la metodología que nos da la AASHTO, entonces podemos decir que el estrato analizado a 0.5m de la muestra M1 se trata de un suelo granular tipo A-1-a que el cual está compuesto por fragmentos de piedra grava y arena.

Figura: 39 Sistema de clasificación de suelos.

SISTEMA DE CLASIFICACION AASHTO											
Clasificación General	Suelos granulares ( $\leq 35\%$ pasa 0,08 mm)						Suelos finos ( $>35\%$ Bajo 0,08 mm)				
Grupo	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Sub-grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7*				A-7-5** A-7-6**
2 mm	$\leq 50$										
0,5 mm	$\leq 30$	$\leq 50$	$\geq 51$								
0,08 mm	$\leq 15$	$\leq 25$	$\leq 10$	$\leq 35$				$\geq 36$			
WL				$\leq 40$	$\geq 41$	$\leq 40$	$\geq 41$	$\leq 40$	$\geq 41$	$\leq 40$	$\geq 41$
IP	$\leq 6$		NP	$\leq 10$	$\leq 10$	$\geq 11$	$\geq 11$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\geq 11$	$\geq 11$
Descripción	Gravas y arenas		Arena fina	Gravas y arenas Limosas o Arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
** A-7-5 : $IP \leq (WL-30)$						A-7-6 : $IP > (WL-30)$					
$IG = (F - 35)(0,2 + 0,005 (WL - 40)) + 0,01 (F - 15)(IP - 10)$ * Para A-2-6 y A-2-7 : $IG = 0,01 (F - 15)(IP - 10)$ Si el suelo es NP $\rightarrow IG = 0$ ; Si $IG < 0 \rightarrow IG = 0$											

Fuente: 77 AAHSTO

#### 4.3.1.1. Profundidad 1 m

Tabla 39 Datos obtenidos en laboratorio - M1-1m

GRANULOMETRÍA		
MALLA		% QUE PASA
N°10	2 mm	43,00 %
N°40	0,425 mm	17,00 %
N°200	0,075 mm	2,00 %
SUELO GRUESO		
Límite líquido		24,85%
Límite plástico		20,72%
Índice de plasticidad		4,13%
IG	0	

Fuente: 78 Autor

En función de los datos obtenidos en laboratorio para la muestra M1 a una profundidad de un metro, se puede decir que el estrato estudiado se trata de un suelo granular tipo A-1-a que el cual está compuesto por fragmentos de piedra grava y arena.

#### 4.3.2. Muestra M2.

##### 4.3.2.1. Profundidad 0.5 m

Tabla 40 Datos obtenidos en laboratorio - M2-0.5 m

<b>GRANULOMETRÍA</b>		
<b>MALLA</b>		<b>% QUE PASA</b>
N°10	2 mm	42,00 %
N°40	0,425 mm	17,00 %
N°200	0,075 mm	2,00 %
<b>SUELO GRUESO</b>		
Límite líquido		23,64%
Límite plástico		20,14%
Índice de plasticidad		3,5%
IG	0	

Fuente: 79 Autor

De acuerdo a los datos obtenidos en laboratorio y analizados por medio de la metodología AASHTO se puede concluir que el suelo estudiado es de un tipo A-1-a que el cual está compuesto por fragmentos de piedra grava y arena.

##### 4.3.2.2. Profundidad 1 m

Tabla 41 Datos obtenidos en laboratorio - M2-1 m

<b>GRANULOMETRÍA</b>		
<b>MALLA</b>		<b>% QUE PASA</b>
N°10	2 mm	100,00 %
N°40	0,425 mm	99,08 %
N°200	0,075 mm	98,38 %
<b>SUELO FINO</b>		
Límite líquido		54,45%
Límite plástico		33,75%
Índice de plasticidad		20,70%
IG	26	

Fuente: 80 Autor

Con la información obtenida de la M2 a 1m de profundidad se puede decir con certeza que el suelo analizado se trata de un tipo A-7-5 es decir se trata de suelos arcillosos.

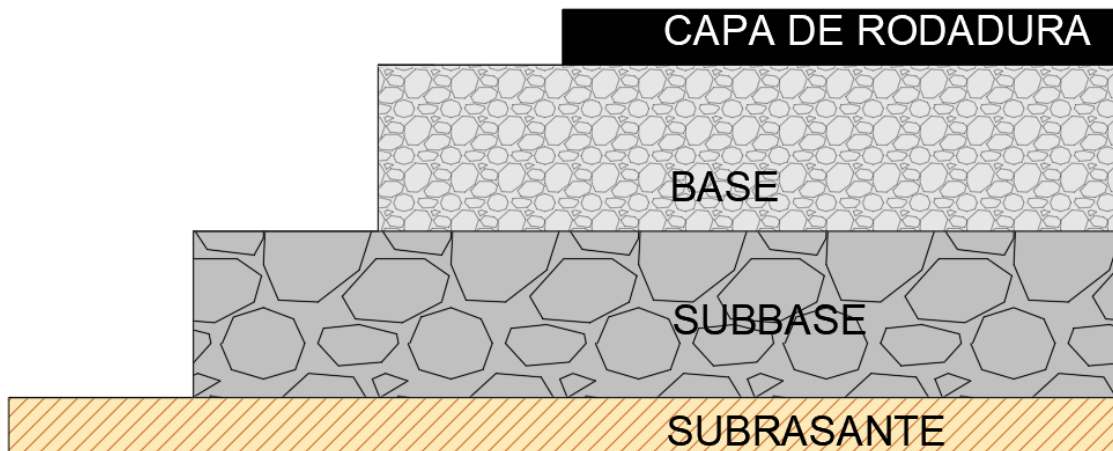
#### 4.4. Análisis granulométrico del material encontrado en campo.

Las muestras analizadas en el laboratorio de suelos y pavimentos de la Universidad Técnica de Machala fueron obtenidas de la carretera de Bajo Alto. Se sabe que el MOP establece un rango de valores para los materiales de Bases y Subbases, se realizó un análisis granulométrico con el objetivo de conocer si los materiales que actualmente están colocados en la estructura del pavimento cumplen con los requisitos por el reglamento MOP.

##### 4.4.1. Muestra M1.

Por lo general el paquete estructural de un pavimento flexible se encuentra compuesto por Base, Subbase y subrasante, aunque puede existir capas adicionales para mejorar y otorgar mayor resistencia de soporte. A continuación, se muestra un esquema de la conformación de un pavimento flexible.

*Figura: 40 Paquete estructural pavimento flexible.*



*Fuente: 81 Autor*

##### 4.4.1.1. Profundidad 0.5 m



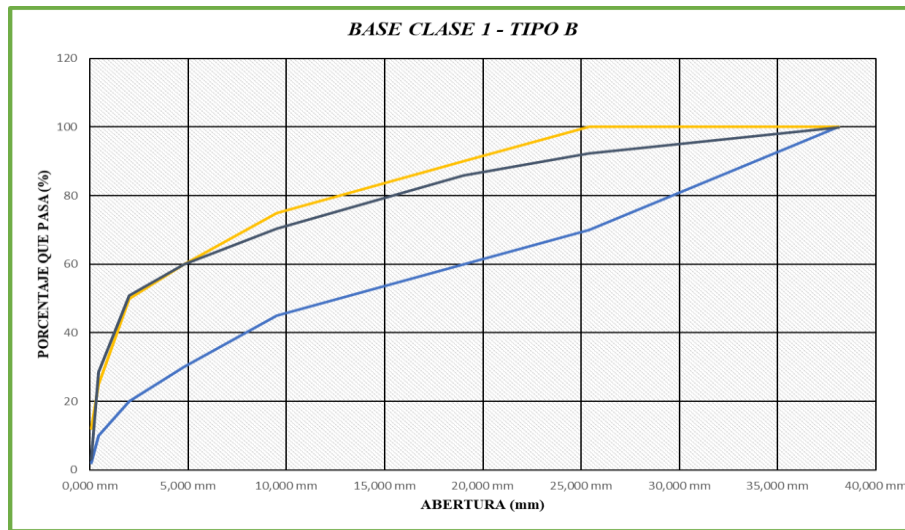
Figura: 41 Resultados obtenidos de la granulometría M1-0.5 m.

<b>LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS GRANULOMETRIA ESPECIFICACIONES MTOP</b>					
<b>PROYECTO</b>	REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO EN LA INTERSECCION DE LA VÍA BARBONES - TENDALES				
<b>MUESTRA</b>	M1				
<b>ABSCIZA</b>	2+112 - 2+144				
<b>PROFUNDIDAD</b>	0,50 m				
<b>FECHA</b>	02/02/2023				
<b>ENCARGADO</b>	CASTILLO INFANTE WINSTON FABRICIO				
<b>PESO DE MUESTRA</b>	3819	<b>LABORATORIO UTMACH</b>			
<b>GRANULOMETRIA</b>					
<b>BASE CLASE 1</b>				<b>MATERIAL TRITURADO Y CRIBADO</b>	
<b>MALLA</b>		<b>TIPO B</b>		<b>% PASA</b>	<b>PESO</b>
		<b>LI</b>	<b>LS</b>		
2"	50,800 mm	-	-	-	-
1 1/2"	38,100 mm	100	100	100	0,00 gr
1"	25,400 mm	70	100	92	291,90 gr
3/4"	19,000 mm	60	90	86	248,20 gr
3/8"	9,500 mm	45	75	70	592,70 gr
N°4	4,790 mm	30	60	60	395,00 gr
N°10	2,000 mm	20	50	51	350,70 gr
N°40	0,425 mm	10	25	29	847,50 gr
N°200	0,075 mm	2	12	3	969,50 gr
<b>FONDO</b>					123,10 gr
<b>TOTAL</b>					3818,60 gr
<b>% ERROR</b>					0,01 %

Fuente: 82 Autor

Se realizó una revisión de los porcentajes que pasan y se comparó con las especificaciones del MOP para los diferentes tipos de bases granulares. A continuación, se puede apreciar la gráfica que el autor considero que más se aproxima por lo especificado en la MOP, sin embargo, se puede observar que para el tamiz N°10 y N°40 sobrepasa el porcentaje establecido en la norma, por lo que a pesar de que la gráfica se aproxime a lo establecido, esta no cumple según las especificaciones de la norma.

Figura: 42 Base Clase 1 - Tipo B



Fuente: 83 Autor

#### 4.4.1.2. Profundidad 1 m

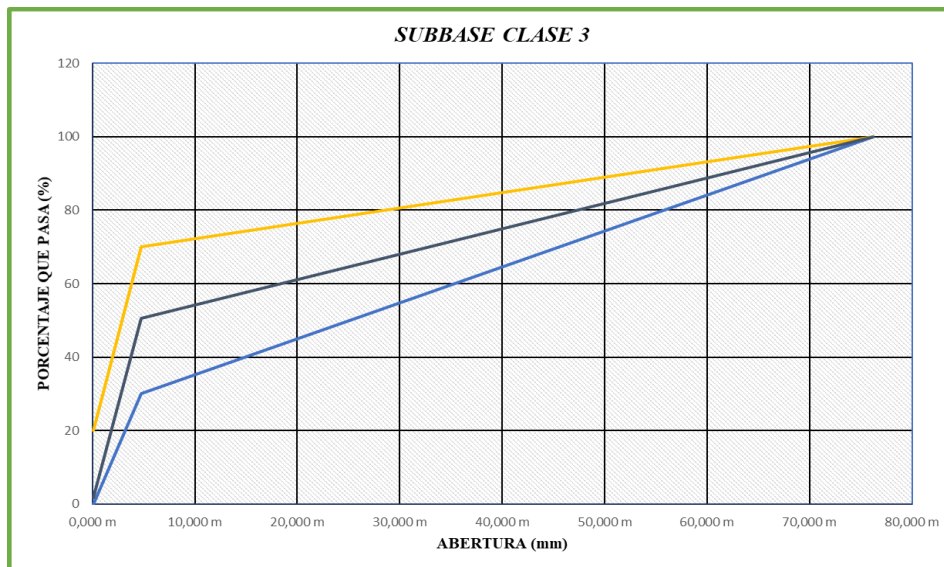
Figura: 43 Resultados obtenidos de la granulometría M1-1 m.

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS GRANULOMETRIA ESPECIFICACIONES MTOP					
<b>PROYECTO</b>	REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO EN LA INTERSECCION DE LA VÍA BARBONES - TENDALES				
<b>MUESTRA</b>	M1				
<b>ABSCIZA</b>	2+112 - 2+144				
<b>PROFUNDIDAD</b>	1,00 m				
<b>FECHA</b>	02/02/2023				
<b>ENCARGADO</b>	CASTILLO INFANTE WINSTON FABRICIO				
<b>PESO DE MUESTRA</b>	6050	<b>LABORATORIO UTMACH</b>			
<b>GRANULOMETRIA</b>					
<b>SUBBASE CLASE 3</b>				<b>MATERIAL TRITURADO y CRIBADO</b>	
<b>MALLA</b>		<b>LI</b>	<b>LS</b>	<b>% PASA</b>	<b>PESO</b>
3"	76,200 m	100	100	100	0
N°4	4,790 m	30	70	50	2994,60 gr
N°200	0,075 m	0	20	2	2943,88 gr
FONDO					110,90 gr
TOTAL					6049,38 gr
% ERROR					0,01 %

Fuente: 84 Autor

Es bastante interesante como está compuesto la estructura del pavimento en el tramo con mejores condiciones del pavimento, debido a que para el análisis de la base, a pesar de ser un material granular no cumplía con los requisitos de la norma, en cambio la subbase cumple con lo especificado por el MOP, como se observa en la siguiente figura, el material analizado en laboratorio se encuentra dentro del rango especificado en la normativa, entonces se considera que el material a un metro de profundidad en la calicata N°1 se trata de una Subbase clase 3.

Figura: 44 Subbase clase 3



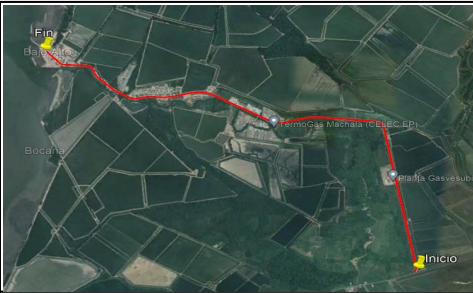
Fuente: 85 Autor

#### 4.4.2. Muestra M2.

##### 4.4.2.1. Profundidad 0.5 m

Es importante mencionar que, para este tramo de estudio, se encontró material granular hasta una profundidad de 0.5 m, ya que a 1 m se trata de un suelo arcilloso esto lo podemos observar en la clasificación de suelos que se hizo previamente, mientras que para la **M1** el material granular llega hasta una profundidad de 1 m.

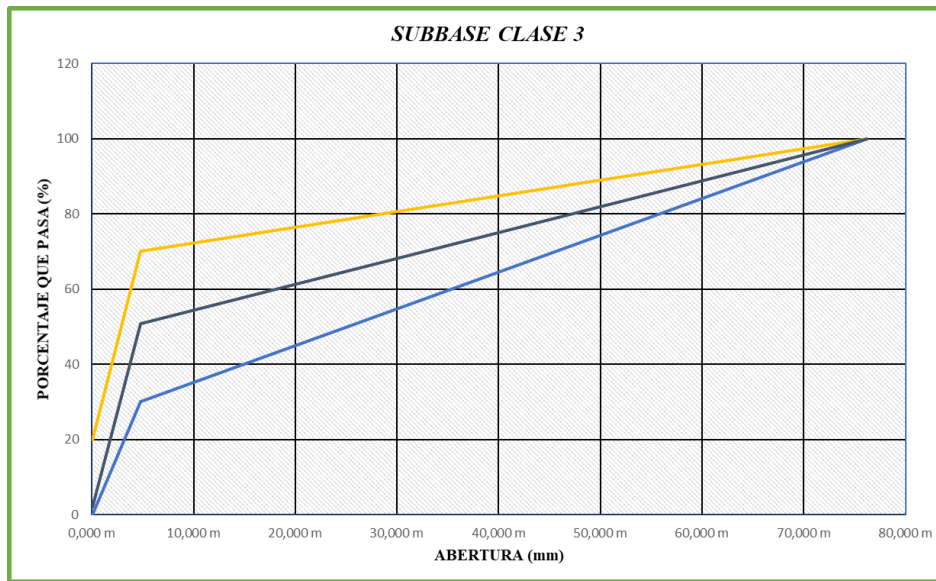
Figura: 45 Resultados obtenidos de la granulometría M2-0.5 m.

<b>LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS GRANULOMETRIA ESPECIFICACIONES MTOP</b>					
<b>PROYECTO</b>	REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO EN LA INTERSECCION DE LA VÍA BARBONES - TENDALES				
<b>MUESTRA</b>	M2				
<b>ABSCIZA</b>	0+000 - 0+032				
<b>PROFUNDIDAD</b>	0,50 m				
<b>FECHA</b>	02/02/2023				
<b>ENCARGADO</b>	CASTILLO INFANTE WINSTON FABRICIO				
<b>PESO DE MUESTRA</b>	5476,73	<b>LABORATORIO UTMACH</b>			
<b>GRANULOMETRIA</b>					
<b>SUBBASE CLASE 2</b>				<b>MATERIAL TRITURADO y CRIBADO</b>	
<b>MALLA</b>		<b>LI</b>	<b>LS</b>	<b>% PASA</b>	<b>PESO</b>
3"	76,200 m	100	100	100	0
N°4	4,790 m	30	70	51	2689,08 gr
N°200	0,075 m	0	20	2	2672,50 gr
FONDO					114,50 gr
TOTAL					5476,08 gr
% ERROR					0,01 %

Fuente: 86 Autor

Como se observa el material obtenido a una profundidad de 0.5 m cumple con lo especificado en la norma siendo de esta manera el material una subbase clase 3, sin embargo, mientras se extraía las muestras de estudio en este tramo de análisis, se pudo notar que existían piedras de gran tamaño colocadas entre un rango de 0 m a 0.7 m de profundidad a partir de allí se podía encontrar el terreno natural. A continuación, se muestra la curva obtenida a partir de la granulometría realizada.

Figura: 46 Subbase clase 3



Fuente: 87 Autor

#### 4.5. Diseño de pavimentos flexible empleando el método AASHTO -93

##### 4.5.1. Ejes equivalentes

Es el número equivalente que pasan los ejes transformados los cuales se los denomina de ejes tipo, por lo que la normativa AASHTO los establece como eje simple de 80 KN o 18 Kips. Para el análisis, se consideró los datos obtenidos en el análisis realizado por Jorge Vera, en donde obtuvo un  $ESAL's = 8761262$  (Vera Jorge, 2022)

##### 4.5.2. Estudio de la subrasante.

En el ensayo realizado en el laboratorio de suelos de la Universidad Técnica de Machala (UTMACH) se determinó el valor de CBR de 2.63% en la zona más crítica.

##### 4.5.3. Nivel de confiabilidad y desviación estándar.

Para efectos de cálculo se consideró un nivel de confiabilidad del 90%, este valor se lo tomó en base sugerida por la AASHTO, en donde se tomó una confiabilidad del 90% y un  $Z_r = -1.282$

Tabla 42 Nivel de confiabilidad AASHTO-93

Confiabilidad (R) %	Desviación normal estándar ( $Z_r$ )
50	0

60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,34
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645

Fuente: 88 AASHTO 93

#### 4.5.4. Serviciabilidad.

La serviciabilidad es una representación del estado del pavimento y se define como la capacidad de servir al tipo de tránsito para el cual fue diseñado. Se debe considerar que el índice de servicio inicial para pavimentos flexibles es 4.2, además se consideró para una serviciabilidad final de 2

Tabla 43 Índice de serviciabilidad final

Serviciabilidad	
Tipo de vía	Serviciabilidad final
Autopistas	2,5 - 3
Carreteras	2 - 2,5

Fuente: 89 AASHTO 93

#### 4.5.5. Error combinado.

Se considera que se trata de una construcción nueva y al tratarse de un pavimento flexible, el valor del error combinado será igual a  $S_o = 0.45$

Tabla 44 Error combinado

Proyecto de pavimento	S <sub>o</sub>	
	Flexible	Rígido
	0.4 - 0.5	0.30 - 0.40
Construcción nueva	0,45	0,35
Sobrecapas	0,5	0,4

Fuente: 90 AASHTO-93

#### 4.5.6. Temperatura, velocidad de circulación, calidad de drenaje.

Tabla 45 Coeficientes de drenaje

CARACTERÍSTICAS	% DEL TIEMPO QUE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTA A GRADOS DE HUMEDAD PRÓXIMA A LA SATURACIÓN			
	< 1%	1-5%	5-25%	>25%
DEL DRENAJE				
Excelente	1,4	1,35	1,3	1,2
Bueno	1,35	1,25	1,15	1
Regular	1,25	1,15	1	0,8
Pobre	1,15	1,05	0,8	0,6
Muy malo	1,05	0,95	0,75	0,4

Fuente: 91 AASHTO

Tabla 46 Datos adicionales para el diseño.

Días promedio de lluvia al año	127
Velocidad media de circulación	60 km/h
Calidad de drenaje	Regular

Fuente: 92 Autor.

#### 4.5.7. Módulo resiliente de la subrasante.

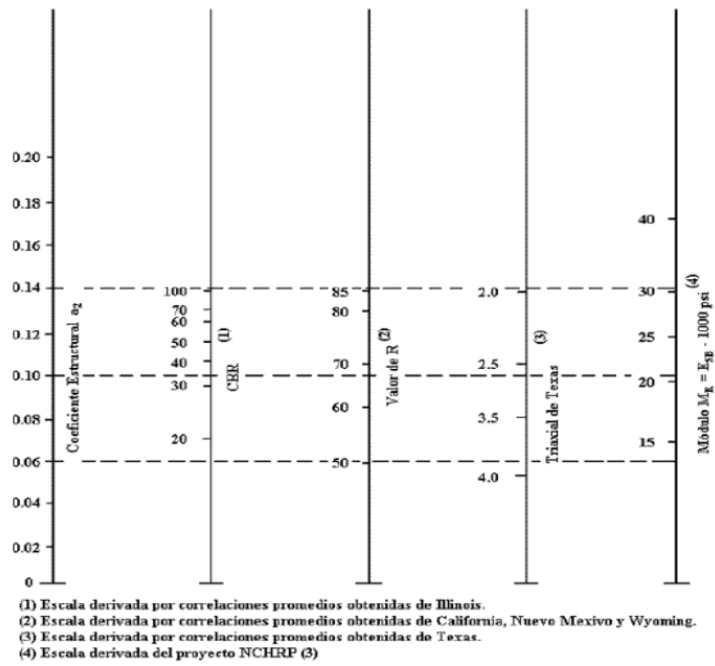
$$M_{Rsubr} = 1500 \times CBR$$

$$M_{Rsubr} = 1500 \times 2.63 = 3945 \text{ psi}$$

#### 4.5.8. Módulo resiliente y el coeficiente estructural de la base y la subbase.

Bases granulares.

Figura: 47 Monograma para calcular Mr para bases granulares.



Fuente: 93 AASHTO

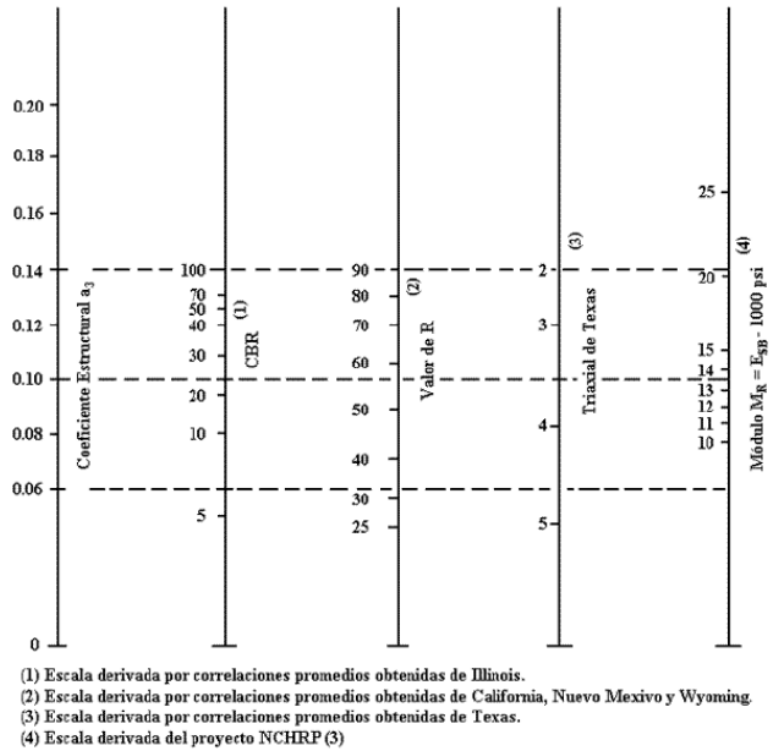
Formula: 9 Expresión para calcular el coeficiente estructural para bases granulares.

$$a1 = 0.249 \times \ln(E2) - 0.977$$

Fuente: AASHTO

Subbase granular.

Figura: 48 Monograma para calcular Mr para subbases granulares



Fuente: 94 AASHTO



Tabla 47 Coeficientes estructurales de la base y subbase.

Capa	CBR	Mr(psi)	Coefficiente estructural
Base granular	100 %	30000	a2= 0,1378
Subbase granular	40 %	17000	a3= 0,1213

Fuente: 95 Autor.

#### 4.5.9. Módulo resiliente de la mezcla asfáltica y el coeficiente estructural.

$$V = 60 \frac{km}{h} \quad T_a = 24.5^\circ C \quad h_s = 100 \text{ mm}$$

$$f = \frac{v}{2\pi}$$

$$f = \frac{60}{2\pi} = 10 \text{ Hz}$$

$$T_s = (-0.0093xT_a^2 + 1.569xT_a - 1.578)x(-0.084xLn(h_s) + 1.55) = 36.384$$

$$T_s = (-0.0093x24.5^2 + 1.569x24.5 - 1.578)x(-0.084.Ln(100) + 1.55)$$

$$T_s = 36^\circ C$$

$$M_{rasf} = 5000 \text{ MPa}$$

$$M_{rasf} = 725190 \text{ psi}$$

$$a_1 = 0.184xLn(M_{rasf}) - 1.9547$$

$$a_1 = 0.528$$

#### 4.5.10. Cálculo del coeficiente de drenaje.

*Porcentaje de días de lluvia*

*Calidad de drenaje - Regular*

$$\frac{D_{lluvia}}{365} x100 = \frac{127}{365} x100 = 34.795 \%$$

$$m_2 = 0.8$$

$$m_3 = 0.8$$

#### 4.5.11. Cálculo del número estructural requerido por la carpeta asfáltica

$$\log(W_{18}) = \log(8761262) = 6.942566$$

$$SN_1 = 2.83 \text{ (Valor de prueba)}$$

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_r \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32$$

$$* \log_{10}(Mr) - 8.07$$

$$6.942566 = -1.282 \times 0.45 + 9.36 \times \log(2.943 + 1) - 0.2$$

$$+ \left( \frac{\log\left(\frac{4.2 - 2}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \left(\frac{1094}{(2.943 + 1)^{5.19}}\right)} \right) + 2.32 \times \log(30000) - 8.07$$

$$6.9425 = 6.9425$$

$$SN_1 = 2.83 \text{ Calculado}$$

#### 4.5.12. Cálculo del espesor de la capa asfáltica

$$a_1 = 0.528$$

$$h_1 = \frac{SN_1}{a_1}$$

$$h_1 = \frac{2.83}{0.528} = 5.36''$$

*Espesor asumido.*

$$h_1 = 5.5 \text{ in espesor asumido.}$$

$$SN_{In} = a_1 \cdot h_1$$

$$SN_{In} = 0.528 \times 5.5 = 2.905$$

#### 4.5.13. Cálculo del número estructural requerido por la base granular

$$\log(W_{18}) = 6.942566$$

$$a_2 = 0.1378$$

$$m_2 = 0.8$$

$$SN_2 = 3.46 \text{ (Valor de prueba)}$$

$$6.942566 = -1.282 \times 0.45 + 9.36 \times \log(3.46 + 1) - 0.2$$

$$+ \left( \frac{\log\left(\frac{4.2 - 2}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \left(\frac{1094}{(3.463 + 1)^{5.19}}\right)} \right) + 2.32 \times \log(17000) - 8.07$$

$$6.9425 = 6.942$$

$SN_2 = 3.46$  *Calculado*

#### 4.5.14. Cálculo del espesor de la base granular.

$$h_2 = \frac{SN_2 - SN_{In}}{a_2 \cdot m_2}$$

$$h_2 = \frac{3.46 - 2.905}{0.1378 \times 0.8} = 5''$$

*Espesor asumido.*

$$h_2 = 6''$$

$$SN_{2n} = a_2 \times h_2 \times m_2 + SN_{In}$$

$$SN_{2n} = 0.1378 \times 6 \times 0.8 + 2.905 = 3.57$$

#### 4.5.15. Cálculo del número estructural requerido por la base granular

$$\log(W_{18}) = 6.942566 \quad a_3 = 0.1213 \quad m_3 = 0.8$$

$$SN_3 = 5.548 \quad (\text{Valor de prueba})$$

$$6.942566 = -1.282 \times 0.45 + 9.36 \times \log(5.548 + 1) - 0.2$$

$$+ \left( \frac{\log\left(\frac{4.2 - 2}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \left(\frac{1094}{(5.548 + 1)^{5.19}}\right)} \right) + 2.32 \times \log(3945) - 8.07$$

$$6.9425 = 6.942$$

$SN_3 = 5.548$  *Calculado*

#### 4.5.16. Cálculo del espesor de la subbase granular.

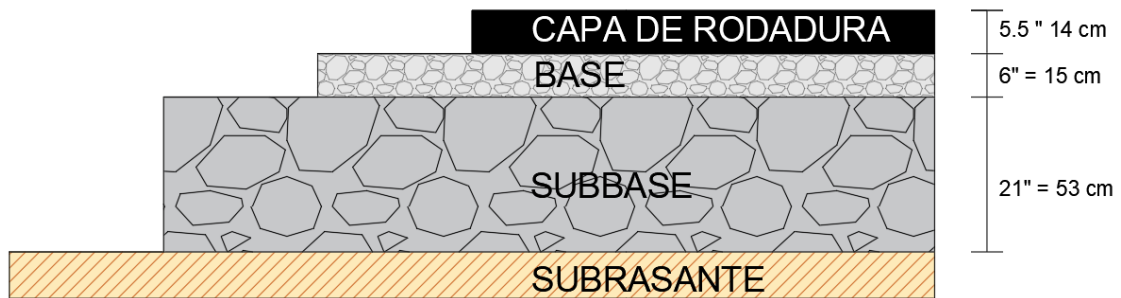
$$h_3 = \frac{SN_3 - SN_{2n}}{a_3 \cdot m_3}$$

$$h_3 = \frac{5.548 - 3.51}{0.1213 \times 0.8} = 20.4''$$

**Espesor asumido**

$$h_2 = 21''$$

Figura: 49 Esquema estructural con espesores calculados.



Fuente: 96 Autor

#### 4.5.17. Verificación.

$$SN > SN_{subrasante}$$

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

$$SN_{subrasante} = 5.548$$

$$SN = 0.528 \times 5.5 + 0.1378 \times 6 \times 0.8 + 0.1213 \times 21 \times 0.8$$

$$SN = 5.6$$

$$5.6 > 5.548$$

#### 4.5.18. Ajuste de espesores.

Tabla 48 Espesores mínimos.

N° DE EJES EQUIVALENTES (ESAL'S)	CONCRETO ASFÀLTICO	BASE GRANULAR
< 50.000	1	4
50.001 - 150.000	2	4
150.001-500.000	2,5	4
500.001-2' 000.000	3	6
2' 000.001-7' 000.000	3,5	6
>7' 000.000	4	6

Fuente: 97 AASHTO

Tabla 49 Espesores ajustados.

ESTRUCTURA	a	D	m
CARPETA ASFÀLTICA	a1= 0,5280	D1= 4,134	-
BASE	a1= 0,1378	D1= 15,748	m2= 0,80
SUBBASE	a1= 0,1213	D1= 17,717	m3= 0,80

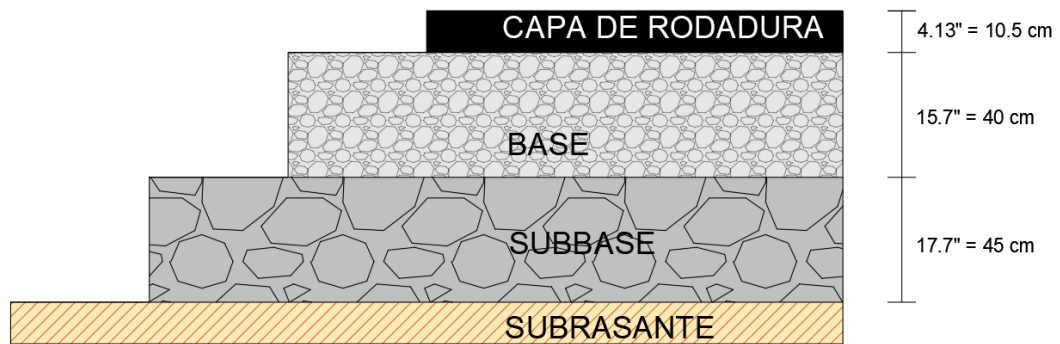
Fuente: 98 Autor.

$$SN = 0.528 \times 4.1 + 0.1378 \times 15.7 \times 0.8 + 0.1213 \times 17.7 \times 0.8$$

$$SN = 5.61$$

$$5.61 > 5.548$$

Figura: 50 Esquema estructural con espesores ajustados.



Fuente: 99 Autor.

Tabla 50 Espesores calculados y espesores ajustados.

ESTRUCTURA	ESPESOR INICIAL		ESPESOR AJUSTADO	
CARPETA ASFÀLTICA	5,50 in	14,00 cm	4,13 in	10,50 cm
BASE	6,00 in	15,50 cm	15,70 in	40,00 cm
SUBBASE	21,00 in	53,50 cm	17,70 in	45,00 cm

Fuente: 100 Autor

#### **4.6. Rehabilitación y mantenimiento de la carretera.**

En este apartado se detalla la descripción de las actividades encaminadas al mantenimiento y rehabilitación de la vía de estudio, presentando la alternativa más viable y fundamentada en base a los resultados obtenidos en esta investigación. Los diferentes trabajos realizados en campo que se presentan en este documento tales como, evaluación superficial utilizando el método PCI, clasificación de suelos, estudio de la subrasante (CBR), se desarrollaron para obtener parámetros que permitan identificar las fallas existentes en la vía de estudio, y con esto proponer la alternativa más viable para su mantenimiento y rehabilitación.

La condición general de la estructura del pavimento a lo largo de sus 6.05 km es regular, esto se lo dice en base a los resultados obtenidos de la evaluación PCI, donde existen tramos que han fallado por completo, es decir existe un gran deterioro. En un inicio se pensó que las fallas que presenta el pavimento eran únicamente superficiales, sin embargo, al realizar el estudio de suelos se pudo notar que la falla se origina en las capas de base y subbase. Para la muestra M1 analizada en laboratorio se obtuvo la siguiente observación que a una profundidad de 0.5 y 1 metro se encontraba material granular, no obstante, al proceder a realizar la granulometría y verificar que esta cumpla con lo especificado por la MOP, se logró verificar que la primera capa a 0.5 m no cumplía con lo especificado para bases granular. Por otra parte, en la muestra M2 se obtuvo que solo existía una sola capa de material granular a 0.5 m, a 1 metro se encontró suelo tipo arcilloso. En base a los resultados citados de la evaluación superficial y estructural, se describe la alternativa de rehabilitación vial, que deberá ser tomada en cuenta para mejorar y mantener un buen estado la vía de estudio.

#### **4.7. Actividades de rehabilitación vial.**

A continuación, se detalla la actividad que se debe ser tomada en cuenta para la rehabilitación vial en la vía de estudio.

##### **4.7.1. Reconstrucción.**

Básicamente la actividad de reconstrucción consiste en la demolición, remoción y reemplazo en donde puede ser parcial o total del pavimento asfáltico existente, es importante mencionar que se conserva la explanación y la geometría de la vía, esta actividad se aplica cuando el pavimento ha fallado por el exceso de problemas en el

paquete estructural, capa de rodadura, base y subbase, la estructura se reemplaza como si fuera la construcción de un nuevo pavimento. (MARTÍNEZ, 2008)

Este procedimiento es el caso más energético de rehabilitación, en el cual permite mejorar la capacidad estructural del pavimento, en general es aplicado cuando el pavimento no tiene vida residual y presenta elevados índices de deterioro por fallas superficiales o estructurales. La siguiente figura fue tomada de la abscisa 0+000, se observa claramente que el pavimento presenta un alto índice de deterioro en la capa de rodadura, en el análisis estructural realizado del pavimento, se obtuvo que para este tramo analizado presenta una sola capa de material granular subbase de 50 cm de profundidad, mientras que en el diseño realizado en este documento es necesario incorporar capas de bases y subbases de 40 cm y 45 cm respectivamente, esto conlleva a que se requiere ejecutar actividades de reconstrucción, en lo cual se debe remover el material existente y reemplazarlo por material calificado que cumpla con la normativa y con el espesor de capas especificados en este documento.

*Figura: 51 Pavimento deteriorado.*



*Fuente: 101 Autor.*

#### **4.8. Actividades de mantenimiento vial.**

Una vez aplicada la actividad de rehabilitación, y que la estructura del pavimento se encuentre en óptimas condiciones es necesario realizar actividades de mantenimiento y conservación para que la estructura mantenga su capacidad estructural y que cumpla su función a lo largo de su vida útil. A continuación, se presentan las actividades correspondientes a los diferentes tipos de mantenimiento que deben ser consideradas una vez aplicada la actividad de rehabilitación vial.

##### **4.8.1. Mantenimiento preventivo.**

Entre las actividades que se deben aplicar para un mantenimiento preventivo se tienen las siguientes.

###### **4.8.1.1. Limpieza de escombros y vegetación.**

Esta actividad se centra en la limpieza de los objetos que ocasionen obstrucción vehicular o peatonal, estos objetos pueden o no estar presentes a lo largo de toda la vía, además se debe realizar corte de la vegetación que se localiza en las zonas laterales de la vía. (Jugo B., 2005)

##### **Procedimiento.**

- Desalojo de la vegetación próxima a la vía o señales de tránsito, de tal manera que no presente obstrucción a la visibilidad, ni peligro para el tráfico.
- La basura y desperdicios tienen que ser retirados de la vía y deben ser depositados en lugares lejanos donde no puedan ser arrastrados por las corrientes de viento o drenaje de la vía.

##### **4.9.2. Mantenimiento periódico.**

A continuación, se describen algunas actividades que se deben realizar como parte de un mantenimiento periódico.

###### **4.9.2.1. Bacheo asfáltico superficial.**

Esta actividad es de las más comunes en la reparación de fallas superficiales en la carpeta asfáltica, y consiste en la reconstrucción de áreas localizadas dañadas que presentan agrietamientos, deformaciones, hundimientos y disgregaciones. (Jugo B., 2005)

Para realizar esta actividad, se debe tener ya identificada el área que se plantea intervenir, posterior se realizará una señalización del sitio, en seguida se debe realizar un corte del



pavimento, excediendo el área a reparar en unos 20 centímetros y finalmente se debe aplicar el riego asfáltico, extender y compactar la mezcla de espesor entre 2 a 4 cm.

#### **4.9.2.2. Bacheo asfáltico profundo.**

Jugo B. comenta que esta actividad se basa en retirar y reemplazar la capa de rodadura, base o subrasante, con el objetivo que la estructura del pavimento retome su resistencia original. También menciona que los casos más comunes en donde se aplica esta actividad son en zonas donde existe alta humedad, falta de compactación de las capas granulares, o que los materiales que fueron utilizados en la construcción no hayan cumplido con lo especificado en las normas. (Jugo B., 2005)

Existe una gama de materiales que se pueden utilizar para la reposición del material que fue retirado, entre estos materiales tenemos piedra picada, bases granulares o estabilizadas, siempre y cuando se respete los parámetros mínimos adoptados en el ministerio de obras públicas (MOP), además se puede hacer uso de mezclas de betún en caliente, sin embargo antes de utilizar esta última se debe aplicar una capa de betún para obtener una adecuada adherencia a la estructura existente, otro material que se usa frecuentemente es el fresado de pavimentos. No obstante, previo a esta actividad, se tiene que identificar el área afectada y correspondientemente señalarla, posterior se procede a delimitar el área, para luego realizar un corte excediendo el área a reparar en unos 20 centímetros. Es importante mencionar, que si se reemplaza la base y subbase estas deberán ser compactadas de tal manera que su compactación alcance la densidad máxima seca. Una vez realizada la actividad de compactación de las capas granulares se procede a colocar la imprimación asfáltica, y subsiguiente colocar la mezcla asfáltica y proceder a realizar la compactación de la misma.

#### **4.9.2.3. Sello de grietas.**

Es una actividad que consiste en realizar una limpieza en las grietas localizadas en la capa de rodadura y luego proceder a realizar un sellado, mediante la utilización de productos asfálticos como la lechada o mezcla asfáltica, a fin de prevenir la filtración de agua y otros materiales a la estructura del pavimento. (Jugo B., 2005)

Redrovan Felipe, expone que los productos asfálticos utilizados para el sellado de grietas deben obedecer ciertas características de tener asentamiento rápido y que habitualmente

se colocan productos asfálticos de alta viscosidad, y estos brindan un sello solamente superficial debido a que no ingresan a la grieta. (F. Flores, 2021). Otro material que usualmente son utilizados para el sellado de grietas, es la denominada arena natural o triturada siempre y cuando pase por el tamiz #4, además se debe asegurar que la arena esté libre de partículas que evite que el asfalto se adhiera de forma correcta a la misma.

El procedimiento a realizar el sellado de grietas es similar al realizado en los bacheos, en primer lugar, se debe identificar las grietas que se quieren intervenir, de manera seguida se debe realizar una limpieza profunda de las mismas y de la superficie alrededor de la grieta. EL proceso continúa con el sellado de las grietas, con equipo adecuado y especializado en verter el material sellante previamente calentado sobre la grieta, una vez realizado este proceso se debe colocar una capa de arena y esta debe cubrir el asfalto que fue vertido sobre la grieta, siendo lo más cauteloso posible para no producir pérdida del asfalto y finalmente se debe limpiar el área intervenida.

#### **4.9. Análisis general.**

- A partir del PCI general que se obtuvo se concluye que el estado de la vía se encuentra calificada como (Regular), a causa de que el promedio del PCI es igual a 47, añadiendo que existen tramos que han fallado por completo y que no fueron considerado en el análisis, ya que estaban por fuera de los tramos de estudios designados.
- Las fallas más comunes en la vía de estudio son piel de cocodrilo, grietas longitudinales y/o transversales y parcheo con un porcentaje de 50%, 17% y 13% respectivamente.
- La subrasante de la zona de estudio se encuentra catalogada como (Inadecuada) en base al CBR que se obtenido que fue de 2.63% para un estado crítico del suelo, es decir cuando el suelo se encuentra saturado, mientras que para el suelo en condiciones normales presenta una subrasante (Muy buena) ya que se obtuvo un CBR de 25.20%.

- Del análisis de suelo realizado en laboratorio se obtuvo que para la muestra **M1** en el tramo con mejores condiciones, el material granular se encontraba hasta 1 m de profundidad mientras que para la muestra **M2** en el tramo donde el pavimento ha fallado el material granular solamente se encuentra hasta 0.5 m de profundidad a partir de allí se puede encontrar suelo arcilloso, lo cual indica que al momento de la construcción de la vía no se consideraron las dos capas de material granular como base y subbase.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En este capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones, basadas en el trabajo investigativo que se presentó en este documento.

#### 5.1. Conclusiones.

Luego de realizar la evaluación superficial y estructural del pavimento de la vía Barbones -Tendales hasta la comuna de Bajo Alto, se ha podido llegar a las siguientes conclusiones.

- De la investigación bibliográfica realizada se concluye que, la evaluación del estado de una carretera es indispensable para reconocer las características superficiales y estructurales del pavimento. Existen dos métodos establecidos para realizar este tipo de evaluaciones, el denominado evaluación estructural el cual es un método destructivo y el de evaluación superficial que es un método de inspección visual. Entre los métodos de evaluación superficial más importantes se tiene el (PSI) este método se basa en determinar el índice de serviciabilidad del pavimento, mientras que el (PSI) se encarga de determinar la clase de severidad y los tipos de fallas existentes, por otra parte, el método (IRI) se lo utiliza para diagnosticar el índice de rugosidad que presenta el pavimento.
- Se identificaron las fallas existentes en el pavimento flexible de la vía Barbones -Tendales hasta la comuna de Bajo Alto, y por medio del análisis de observación directa y muestreo de cada tramo evaluado en campo, se califica a la vía de estudio como regular, este resultado se lo obtuvo de acuerdo a la norma ASTM D6433 en el que establece que para valores de PCI entre 41 y 55 son vías en el que el estado del pavimento es regular, y para este caso de estudio el valor del PCI dio como resultado 47.
- Las fallas más representativas que se encontraron en toda la vía de estudio de acuerdo a la evaluación superficial PCI son: Piel de cocodrilo que es la falla que más se registró, puesto que del 100% de fallas registradas en las dieciocho unidades de muestra, el 50% de las fallas pertenecen al tipo piel de cocodrilo,

grietas longitudinales y transversales tiene un porcentaje de participación del 17%, mientras que el parcheo y grietas de borde cuentan con 13% y 7% respectivamente.

- Se estableció que la alternativa más viable para aplicar en la vía de estudio es la reconstrucción vial, debido a que el paquete estructural presenta inconsistencias que no cumplen con los requerimientos necesarios en la norma (MOP -AASHTO) mucho menos con el diseño óptimo para soportar las cargas vehiculares. Entonces la mejor opción es la demolición, remoción y reemplazo del material existente por uno más adecuado y que cumpla con lo especificado en la norma, teniendo en cuenta que se deben incorporar capas de base y subbase antes de proceder a colocar la carpeta asfáltica.

## **5.2. Recomendaciones.**

En consecuencia, de los resultados obtenidos en la presente investigación, se establecen las siguientes recomendaciones.

- Previo a la ejecución de la actividad de rehabilitación vial como es la reconstrucción, debe realizarse un mantenimiento preventivo, es decir una limpieza de escombros y vegetación.
- Se recomienda realizar actividades de mantenimiento rutinario y preventivo descritas en el capítulo previo, en el menor tiempo posible con el objetivo de evitar deterioros agravados y daños permanentes en la estructura del pavimento
- Una vez realizada la intervención en la vía de estudio, es importante realizar monitoreos y evaluaciones periódicas, con la finalidad de entregar un mantenimiento eficaz y oportuno y de esta manera evitar daños que pueden generar altos costos.

## CAPÍTULO VI

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (1993). *AASHTO guide for design of pavement structures*.  
<https://habib00ugm.files.wordpress.com/2010/05/aashto1993.pdf>
- Alimohammadi, H. (2020). A framework for evaluation of existing pavement conditions and selection of feasible maintenance/rehabilitation alternatives; a case study in some routes of Livingston Parish in the state of Louisiana. *SN Applied Sciences*, 2(2), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-1999-6>
- Al-Rubae, R. H. A., Shubber, A. A. M., & Khaleefah, H. S. (2020). Evaluation of rigid pavement using the Pavement Condition Index: A Case Study. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 737(1), 1–19.  
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/737/1/012128>
- Amakye, B., & Colin, A. (2022). Road pavement defect investigation using treated and untreated expansive road subgrade materials with varying plasticity index. *Transportation Engineering*, 9, 1–16.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.treng.2022.100123>
- Asele, D., & Lachore, S. (2021). Appraising Pavement Surface Distresses And Expected Mitigation Measure On Selected Road Segment. *Journal of University of Shanghai for Science and Technology*, 23(8), 1–12.  
[https://web.archive.org/web/20220228072902id\\_/https://jusst.org/wp-content/uploads/2021/08/Appraising-Pavement-Surface-Distresses-And-Expected-Mitigation-Measure-On-Selected-Road-Segment.pdf](https://web.archive.org/web/20220228072902id_/https://jusst.org/wp-content/uploads/2021/08/Appraising-Pavement-Surface-Distresses-And-Expected-Mitigation-Measure-On-Selected-Road-Segment.pdf)
- Baque Solis, B. S. (2020). Evaluación del estado del pavimento flexible mediante el método del PCI dela carretera puerto-aeropuerto (Tramo II),Manta. Provincia de Manabí. *Dominio de Las Ciencias*, 6(2), 1–26.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7398457>
- Belete, A., & Arega, B. (2019). Evaluation of Pavement Distress for Asphalt Pavement Using Pavement Condition Index: Case Study from Adama to Awash Arba. *American Journal of Science, Engineering and Technology*, 4(4), 73.  
<https://doi.org/10.11648/j.ajset.20190404.13>
- Cao, R., Leng, Z., & Hsu, S. C. (2019). Comparative eco-efficiency analysis on asphalt pavement rehabilitation alternatives: Hot in-place recycling and milling-and-filling. *Journal of Cleaner Production*, 210, 1–26.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.122>
- Crump, L. (2020). Conducting Field Research Effectively. *American Behavioral Scientist*, 64(2), 198–219. <https://doi.org/10.1177/0002764219859624>
- Cruz, J., & Gutiérrez, G. (2019). Evaluación superficial de vías urbanas empleando vehículo aéreo no tripulado (VANT).

- Revista Métodos y Materiales Por LanammeUCR*, 8, 1–11.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6936426>
- Das, B. M. (2013). *Fundamentos de ingeniería geotécnica Cuarta edición* (BRAJA M. DAS, Ed.; Cuarta).  
[https://www.academia.edu/36776734/Fundamentos\\_de\\_ingenieria\\_geotecnica\\_braja\\_m\\_das\\_4ta\\_edicion](https://www.academia.edu/36776734/Fundamentos_de_ingenieria_geotecnica_braja_m_das_4ta_edicion)
- De La Cruz Vega, S., Ibañez, C., & Coaquira, D. (2022). Determinación de índice de serviciabilidad y capacidad resistente. Caso práctico: pavimentos en Azángaro, Puno, Perú. *Infraestructura Vial*, 24(43), 1–8.  
<https://doi.org/10.15517/iv.v24i43.48563>
- DIANA, G. (2017). *Evaluación vial y plan de rehabilitación y mantenimiento de la vía Azogues- Cojitambodeleg- La raya* [Universidad de Cuenca].  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28556>
- Eco. Mairita Chalan. (2015). *Plan de ordenamiento y desarrollo territorial de Tendales*.  
[https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/0760028270001\\_PDyOT%20Final\\_30-10-2015\\_14-31-37.pdf](https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0760028270001_PDyOT%20Final_30-10-2015_14-31-37.pdf)
- Elhadidy, A. A., El-Badawy, S. M., & Elbeltagi, E. E. (2021). A simplified pavement condition index regression model for pavement evaluation. *International Journal of Pavement Engineering*, 22(5), 643–652.  
<https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1633579>
- Flores, A. (2015). Infraestructura carretera: construcción, financiamiento y resistencia en México y América Latina. *Revista Transporte y Territorio*, 13, 1–28.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=333042522007>
- Flores, F. (2021). *Evaluación vial y alternativas de rehabilitación para la vía Azogues-San Miguel de Porotos-Jatumpamba* [Universidad de Cuenca].  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/36652>
- G.A.D EL GUABO. (2015). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón El Guabo*. [https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/0760000500001\\_DOCUMENTO%20FINAL%20EL%20GUABO\\_15-04-2016\\_10-09-07.pdf](https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0760000500001_DOCUMENTO%20FINAL%20EL%20GUABO_15-04-2016_10-09-07.pdf)
- Guerrero, C., & Lucio, C. (2018). Estudio experimental de clasificación de suelos derivados de cenizas volcánicas en el suroccidente Colombiano con el método SUCS, AASHTO y un nuevo método de clasificación de suelos. *INGENIERÍA Y DESARROLLO*, 36(2), 1–21. <http://www.scielo.org.co/pdf/inde/v36n2/2145-9371-inde-36-02-378.pdf>
- Hilda González, Pilar Ruiz, & Denisse Guerrero. (2019). PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS MEDIANTE EL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO(PCI). *Ciencia En Su PC*, 1(4), 1–16. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181358738015>

- INVIAS. (2016). *REPÚBLICA DE COLOMBIA MINISTERIO DE TRANSPORTE INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS DIRECCIÓN TÉCNICA SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS E INNOVACIÓN* (Vol. 2).  
<https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/proyectos-de-norma/11316-manual-de-mantenimiento-de-carreteras-2016-volumen-2-especificaciones-generales/file>
- Jéssica, M. P., Chicati, M. L., Ildefonso, J. S., & Filetti, C. R. G. D. arce. (2020). Evaluation of pavement condition index by different methods: Case study of Maringá, Brazil. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 4, 1–10.  
<https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100100>
- Jugo B. (2005). *MANUAL DE MANTENIMIENTO Y REHABILITACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES*.  
<https://www.yumpu.com/es/document/read/14307061/manual-de-mantenimiento-y-rehabilitacion-vial-documento-sin-titulo>
- Karim, F. M. A., Rubasi, K. A. H., & Saleh, A. A. (2016). The Road Pavement Condition Index (PCI) Evaluation and Maintenance: A Case Study of Yemen. *Organization, Technology and Management in Construction: An International Journal*, 8(1), 1–10. <https://doi.org/10.1515/otmcj-2016-0008>
- Liu, Z., Balieu, R., & Kringos, N. (2022). Integrating sustainability into pavement maintenance effectiveness evaluation: A systematic review. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 104, 1–17.  
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103187>
- LUIS RICARDO, V. V. (2002). *PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI) PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS Y DE CONCRETO EN CARRETERAS*.  
<https://snavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-pci1.pdf>
- MARTÍNEZ, OSCAR. (2008). *PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS PARA LA RED VIAL DE LA CIUDAD DE MAZATLÁN* [UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO].  
[https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/DGB\\_UNAM/TES01000637719/3/0637719\\_A1.pdf](https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/DGB_UNAM/TES01000637719/3/0637719_A1.pdf)
- Mei, A., Zampetti, E., Di Mascio, P., Fontinovo, G., Papa, P., & D'andrea, A. (2022). ROADS—Rover for Bituminous Pavement Distress Survey: An Unmanned Ground Vehicle (UGV) Prototype for Pavement Distress Evaluation. *Sensors*, 22(9), 1–18. <https://doi.org/10.3390/s22093414>
- Moreno, M., Navarro, T., & Zeballos, G. (2017). Including reliability in the AASHTO-93 flexible pavement design method integrating pavement deterioration models. *Revista de La Construccion*, 16(2), 284–294.  
<https://doi.org/10.7764/RDLC.16.2.284>
- Nobakht, M., Sakhaeifar, M. S., Newcomb, D., & Underwood, S. (2018). Mechanistic-empirical methodology for the selection of cost-effective rehabilitation strategy for



- flexible pavements. *International Journal of Pavement Engineering*, 19(8), 675–684. <https://doi.org/10.1080/10298436.2016.1199878>
- Noboa Galo. (2008). *SISTEMA INSTITUCIONAL DE GESTIÓN DE LAS CARRETERAS DE SEGUNDO ORDEN DEL ECUADOR, PARA DISMINUIR COSTOS DE MANTENIMIENTO VIAL Y DE OPERACIÓN DE VEHÍCULOS* [Ingeniería civil, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/2164/3/Maestr%c3%ada%20V.%20T.%2035%20-%20Salazar%20Noboa%20Galo%20Fernando.pdf>
- Obras Publicas, M. DE. (2002). *ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES*. [https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR\\_Chimborazo\\_Cumanda\\_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf)
- Pereira, L. A., Silva Júnior, C. A. P., & Fontenele, H. B. (2019). Escala visual para evaluación de pavimentos urbanos: Una validación en oficina Visual scale for evaluating urban pavements: An office validation. *Revista Ingeniería de Construcción RIC*, 34(1), 1–10. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732019000100045>
- Posada, N. (2017). Algunas nociones y aplicaciones de la investigación documental denominada estado del arte. *Investigacion Bibliotecologica*, 31(73), 237–263. <https://doi.org/10.22201/iibi.24488321xe.2017.73.57855>
- Rincón G., & Higuera, C. (2017). Programa informático para el diseño de pavimentos flexibles y rígidos método AASHTO. *INGENIO MAGNO*, 8(1), 148–161. <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/1395/1291>
- Ríos, N., Bacca, B., Caicedo, E., & Orobio, A. (2020). Revisión de métodos para la clasificación de fallas superficiales en pavimentos flexibles. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 30(2), 109–127. <https://doi.org/10.18359/rcin.4385>
- Riyaz Khanday, Bablu Kumar, & Chandan Kumar. (2021). Macroscopic study of Failures in Flexible Pavement and their Possible Remedies. *JETIR Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 8(5), 1–7. [https://www.researchgate.net/profile/Waseem-Akram-55/publication/352561099\\_Macroscopic\\_study\\_of\\_Failures\\_in\\_Flexible\\_Pavement\\_and\\_their\\_Possible\\_Remedies/links/60d0614192851ca3acb826cc/Macroscopic-study-of-Failures-in-Flexible-Pavement-and-their-Possible-Remedies.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Waseem-Akram-55/publication/352561099_Macroscopic_study_of_Failures_in_Flexible_Pavement_and_their_Possible_Remedies/links/60d0614192851ca3acb826cc/Macroscopic-study-of-Failures-in-Flexible-Pavement-and-their-Possible-Remedies.pdf)
- Rondón, H., & Reyes, F. (2009). DEFORMACIÓN PERMANENTE DE MATERIALES GRANULARES EN PAVIMENTOS FLEXIBLES: ESTADO DEL CONOCIMIENTO. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 14(14), 71–94. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75012454006>
- Sandoval, E., & Rivera, W. (2019). Correlación del CBR con la resistencia a la compresión confinada. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 29(1), 135–152. <https://doi.org/10.18359/rcin.3478>

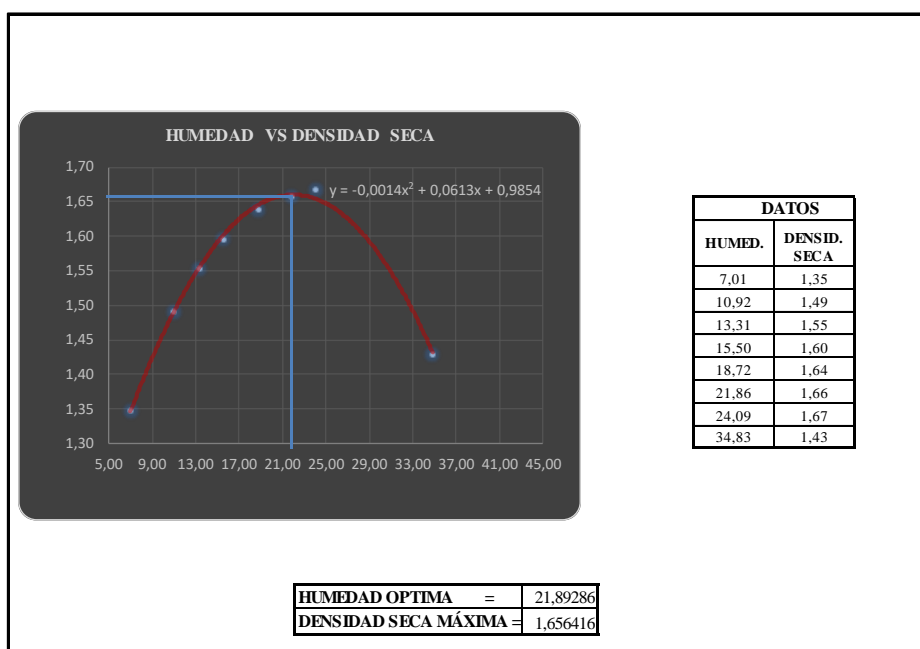
- Si, W., Ma, B., Li, N., Ren, J. P., & Wang, H. N. (2014). Reliability-based assessment of deteriorating performance to asphalt pavement under freeze-thaw cycles in cold regions. *Construction and Building Materials*, 68, 1–8.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.004>
- Souza da Silva, C., Lima de Souza, W., & Moura Benevides, J. (2018). Pavement condition indice determination – PCI – from Manaus’ integral bus station 1. *Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications*, 16(4), 1–10.  
<https://itegam-jetia.org/journal/index.php/jetia/article/view/327/269>
- Vera Jorge. (2022). *METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES DE VÍAS RURALES, ESTUDIO CASO VÍA BARBONES-TENDALES , CANTÓN EL GUABO* [Universidad Técnica de Machala].  
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/19263/1/TESIS%20JORGE%20VERA%20REYES%20008.pdf>
- W. Martínez D. (2013). Vista de Red Vial de Nicaragua (Optimización y Mantenimiento). *NEXO REVISTA CIENTIFICA*, 26(1), 1–13.  
<https://lamjol.info/index.php/NEXO/article/view/1209/1036>
- Wang, H. P., Guo, Y. X., Wu, M. Y., Xiang, K., & Sun, S. R. (2021). Review on structural damage rehabilitation and performance assessment of asphalt pavements. In *Reviews on Advanced Materials Science* (Vol. 60, Issue 1, pp. 438–449). Walter de Gruyter GmbH. <https://doi.org/10.1515/rams-2021-0030>
- Zambrano, M., & Tejada, E. (2019). Materiales granulares tratados con emulsión asfáltica para su empleo en bases o subbases de pavimentos flexibles. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 13(3), 1–14.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193961007002>
- Zambrano, M., & Tejada, E. (2023). Parametric analysis of the minimum cost design of flexible pavements. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(2), 1–13.  
<https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101840>
- Zambrano Meza, M. I., & Tejada Piusseaut, E. (2019). Materiales granulares tratados con emulsión asfáltica para su empleo en bases o subbases de pavimentos flexibles. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 13(3), 1–14.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193961007002>
- Zarate, J. (2019). *Plan de mantenimiento vial para la vía Biblián –Zhud, en los tramos de pavimento rígido* [Ingeniería Civil, Universidad de Cuenca].  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/32164>

# CAPÍTULO VI

## ANEXOS.

### 5.1. Anexo 1: Ensayo de Proctor modificado - M1.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA																	
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL																	
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS																	
ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO																	
<b>PROYECTO :</b>	Alternativas de rehabilitación mediante técnicas de mantenimiento de pavimentos en el tramo de carretera comprendido entre la intersección de la vía Barbones-Tendales hasta la comuna Bajo Alto													<b>UBICACIÓN</b>			
<b>ELABORADO POR:</b>	CASTILLO INFANTE WINSTON FABRICIO																
<b>N° DE CAPAS :</b>	5	<b>FECHA :</b>	06/02/2023														
<b>PROFUNDIDAD:</b>	1,5 m	<b>MUESTRA #:</b>	M1														
<b>DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:</b>	Muestra tomada en la vía de acceso a la comuna de Bajo Alto a 1,5 m de profundidad																
<b>ABSCISA:</b>	2+112 - 2+144						<b>NÚMERO DE GOLPES</b>						56				
<b>PESO DEL MARTILLO</b>	10 Lb						<b>ALTURA DE CAIDA</b>						18"				
<b>ALTURA DEL MOLDE</b>	11,64						<b>DIAMETRO DEL MOLDE</b>						10,16				
<b>MUESTRA N°</b>	1		2		3		4		5		6		7		8		
<b>PESO DE LA MUESTRA</b>	5000,00 gr		5119,00 gr		5122,00 gr		5154,00 gr		5164,00 gr		5169,00 gr		5220,00 gr		5282,00 gr		
<b>VOLUMEN DE AGUA</b>	250,00 cm <sup>3</sup>		146,26 cm <sup>3</sup>		142,28 cm <sup>3</sup>		139,30 cm <sup>3</sup>		135,89 cm <sup>3</sup>		132,54 cm <sup>3</sup>		174,00 cm <sup>3</sup>		340,77 cm <sup>3</sup>		
<b>% EQUIVALENTE DE AGUA</b>	5%		8%		11%		14%		17%		20%		24%		32%		
<b>PESO DEL MOLDE SIN COLLARIN</b>	5581,00 gr		5581,00 gr		5581,00 gr		5581,00 gr		5581,00 gr		5581,00 gr		5581,00 gr		5587,00 gr		
<b>PESO DEL MOLDE + SUELO HUM</b>	8645,00 gr		9095,00 gr		9320,00 gr		9495,00 gr		9710,00 gr		9872,00 gr		9976,00 gr		9680,00 gr		
<b>VOLUMEN DEL MOLDE</b>	2124,0		2124,0		2124,0		2124,0		2124,0		2124,0		2124,0		2124,0		
<b>N° DE CAPSULA</b>	R5 R4		R860 R14		R96 R118		RE1 r20		R341 r19y		r63 r59x		r91 e41		x50 x110		
<b>PESO DE CAPSULA</b>	9,65 gr 9,63 gr		9,80 gr 9,65 gr		9,63 gr 9,74 gr		9,66 gr 9,64 gr		9,53 gr 9,61 gr		9,64 gr 9,54 gr		9,53 gr 9,57 gr		9,63 gr 9,72 gr		
<b>CAPSULA + SUELO HUMEDO</b>	55,61 gr 53,43 gr		57,47 gr 56,78 gr		50,63 gr 50,60 gr		51,03 gr 50,04 gr		52,90 gr 53,61 gr		50,99 gr 50,39 gr		52,68 gr 50,25 gr		51,88 gr 51,37 gr		
<b>CAPSULA + SUELO SECO</b>	52,55 gr 50,61 gr		52,29 gr 52,63 gr		46,34 gr 45,29 gr		45,95 gr 44,17 gr		46,25 gr 46,48 gr		43,76 gr 42,88 gr		44,51 gr 42,16 gr		41,06 gr 40,52 gr		
<b>PESO DEL AGUA</b>	3,06 gr 2,82 gr		5,18 gr 4,15 gr		4,29 gr 5,31 gr		5,08 gr 5,87 gr		6,65 gr 7,13 gr		7,23 gr 7,51 gr		8,17 gr 8,09 gr		10,82 gr 10,85 gr		
<b>PESO DEL SUELO SECO</b>	42,90 gr 40,98 gr		42,49 gr 42,98 gr		36,71 gr 35,55 gr		36,29 gr 34,53 gr		36,72 gr 36,87 gr		34,12 gr 33,34 gr		34,98 gr 32,59 gr		31,43 gr 30,80 gr		
<b>CONTEN. HUMEDAD</b>	7,13 % 6,88 %		12,19 % 9,66 %		11,69 % 14,94 %		14,00 % 17,00 %		18,11 % 19,34 %		21,19 % 22,53 %		23,36 % 24,82 %		34,43 % 35,23 %		
<b>HUMEDAD PROMEDIO</b>	7,01 %		10,92 %		13,31 %		15,50 %		18,72 %		21,86 %		24,09 %		34,83 %		
<b>DENSIDAD HUMEDA</b>	1,44 gr/cm <sup>3</sup>		1,65 gr/cm <sup>3</sup>		1,76 gr/cm <sup>3</sup>		1,84 gr/cm <sup>3</sup>		1,94 gr/cm <sup>3</sup>		2,02 gr/cm <sup>3</sup>		2,07 gr/cm <sup>3</sup>		1,93 gr/cm <sup>3</sup>		
<b>DENSIDAD SECA</b>	1,35 gr/cm <sup>3</sup>		1,49 gr/cm <sup>3</sup>		1,55 gr/cm <sup>3</sup>		1,60 gr/cm <sup>3</sup>		1,64 gr/cm <sup>3</sup>		1,66 gr/cm <sup>3</sup>		1,67 gr/cm <sup>3</sup>		1,43 gr/cm <sup>3</sup>		



## 5.2. Anexo 2: Ensayo de CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) -M1



### UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS



#### CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

<b>PROYECTO :</b>	Alternativas de rehabilitación mediante técnicas de mantenimiento de pavimentos en el tramo de carretera comprendido entre la intersección de la vía Barbones-Tendales hasta la comuna Bajo Alto						<b>UBICACIÓN</b> 					
<b>ELABORADO POR:</b>	CASTILLO INFANTE WINSTON FABRICIO											
<b>N° DE CAPAS :</b>	5		<b>FECHA :</b>		07/02/2023							
<b>PROFUNDIDAD:</b>	1,5 m		<b>MUESTRA #:</b>		M1							
<b>DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:</b>	Muestra tomada en la vía de acceso a la comuna de Bajo Alto a 1,5 m de profundidad											
<b>ABSCISA:</b>	2+112 - 2+144											
<b>MOLDE N°</b>	1 - 10805398				2 - 1000661				3 - 10005302			
<b>N° DE GOLPES POR CAPAS</b>	56				25				12			
<b>PESO MOLDE CBR NO SATURADO</b>	7356,00 gr				7550,00 gr				7365,00 gr			
<b>PESO MOLDE CBR SATURADO</b>	7356,00 gr				7550,00 gr				7365,00 gr			
<b>ALTURA DE LA MUESTRA Hm (cm)</b>	11,680 cm				11,680 cm				11,680 cm			
<b>DIAMETRO DEL MOLDE D (cm)</b>	15,240 cm				15,240 cm				15,240 cm			
<b>VOLUM MUEST V=(<math>\pi \cdot D^2/4</math>) * H</b>	2130,609 cm <sup>3</sup>				2130,609 cm <sup>3</sup>				2130,609 cm <sup>3</sup>			
<b>CONDICIÓN DE MUESTRA</b>	A. SATURAR		D. SATURAR		A. SATURAR		D. SATURAR		A. SATURAR		D. SATURAR	
<b>PESO MUESTRA HUMED + MOLDE</b>	11497,000 gr		11610,000 gr		11325,000 gr		11495,000 gr		10810,000 gr		11120,000 gr	
<b>PESO MUESTRA HÚMEDA</b>	4141,000 gr		4254,000 gr		3775,000 gr		3945,000 gr		3445,000 gr		3755,000 gr	
<b>DENSIDAD HÚMEDA</b>	1,944 gr/cm <sup>3</sup>		1,997 gr/cm <sup>3</sup>		1,772 gr/cm <sup>3</sup>		1,852 gr/cm <sup>3</sup>		1,617 gr/cm <sup>3</sup>		1,762 gr/cm <sup>3</sup>	
<b>HUMEDAD</b>	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
<b>RECIPIENTE N°</b>	R63	R96	R59X	R33	E41	R48	R20	R21	R59X	R341	R44T	A42
<b>PESO RECIPIENTE</b>	9,600 gr	9,600 gr	9,540 gr	9,660 gr	9,550 gr	9,650 gr	9,630 gr	10,050 gr	9,550 gr	9,720 gr	9,650 gr	9,630 gr
<b>P. MUEST.HUM + REC.</b>	49,850 gr	50,200 gr	50,790 gr	51,360 gr	48,840 gr	47,180 gr	52,770 gr	52,480 gr	51,130 gr	51,780 gr	52,300 gr	53,200 gr
<b>P. MUEST.SECA + REC.</b>	43,200 gr	42,850 gr	39,620 gr	41,300 gr	41,450 gr	39,710 gr	39,860 gr	40,960 gr	41,840 gr	42,030 gr	37,300 gr	38,410 gr
<b>PESO AGUA</b>	6,650 gr	7,350 gr	11,170 gr	10,060 gr	7,390 gr	7,470 gr	12,910 gr	11,520 gr	9,290 gr	9,750 gr	15,000 gr	14,790 gr
<b>PESO MUESTRA SECA</b>	33,600 gr	33,250 gr	30,080 gr	31,640 gr	31,900 gr	30,060 gr	30,230 gr	30,910 gr	32,290 gr	32,310 gr	27,650 gr	28,780 gr
<b>CONT. DE HUMEDAD</b>	19,792 %	22,105 %	37,134 %	31,795 %	23,166 %	24,850 %	42,706 %	37,269 %	28,771 %	30,176 %	54,250 %	51,390 %
<b>HUMEDAD PROMEDIO</b>	20,948 %		34,465 %		24,008 %		39,988 %		29,473 %		52,820 %	
<b>DENSIDAD SECA</b>	1,592 gr/cm <sup>3</sup>		1,515 gr/cm <sup>3</sup>		1,419 gr/cm <sup>3</sup>		1,349 gr/cm <sup>3</sup>		1,242 gr/cm <sup>3</sup>		1,164 gr/cm <sup>3</sup>	

#### PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA

<b>MOLDE N°</b>	1 - 10006559	2 - 10005302	3 - 10006556
<b>PESO MUESTRA HUM + MOLDE DESP .SATURAR ( gr. )</b>	11610,000 gr	11495,000 gr	11120,000 gr
<b>PESO MUESTR HUM + MOLDE ANTES.SATURAR ( gr.)</b>	11497,000 gr	11325,000 gr	10810,000 gr
<b>PESO AGUA ABSORBIDA ( gr )</b>	113,000 gr	170,000 gr	310,000 gr
<b>PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA</b>	<b>2,729</b>	<b>4,503</b>	<b>8,999</b>
<b>ALTURA DE LA MUESTRA ( mm)</b>	<b>116,800 mm</b>	<b>116,800 mm</b>	<b>116,800 mm</b>

#### ESPONJAMIENTO

FECHA Y HORA	TIEMPO EN DÍAS	MOLDEN° 1			MOLDEN° 2			MOLDEN° 3		
		LEC DIAL 1x10 <sup>-2</sup> mm	CAMBIO LONG. 1x10 <sup>-2</sup> mm	ESPONJAMIENTO %	LEC DIAL 1x10 <sup>-2</sup> mm	CAMBIO LONG. 1x10 <sup>-2</sup> mm	ESPONJAMIENTO %	LEC DIAL 1x10 <sup>-2</sup> mm	CAMBIO LONG. 1x10 <sup>-2</sup> mm	ESPONJAMIENTO %
LECT. INICIAL	0	0,585	0	0,000	0,88	0	0,00	1,52	0	0,00
01/02/2023	1	4,71	4,125	0,035	7,62	6,74	0,06	8,28	6,76	0,06
02/02/2023	2	6,28	5,695	0,049	9,57	8,69	0,07	8,83	7,31	0,06
03/02/2023	3	7,43	6,845	0,059	10,6	9,72	0,08	8,51	6,99	0,06
04/02/2023	4	7,51	6,925	0,059	10,71	9,83	0,08	8,59	7,07	0,06

CBR NO SATURADO										
Area (mm):20.43- (m2):20.43x10(-3)										
PENETRACIÓN (mm)	PRESIÓN ESTANDAR (Mpa)	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		CARGAS (KN)	PRESIÓN (Mpa)	CBR %	CARGAS (KN)	PRESIÓN (Mpa)	CBR %	CARGAS (KN)	PRESIÓN (Mpa)	CBR %
0,625		2,296	1,12		1,514	0,74		1,291	0,63	
1,250		3,671	1,80		2,342	1,15		1,994	0,98	
1,875		4,358	2,13		2,966	1,45		2,438	1,19	
2,500	6,90	4,8	2,35	36,00	3,381	1,66	25,40	2,739	1,34	20,60
3,750	88	5,366	2,63		3,996	1,96		3,144	1,54	
5,000	10,30	5,758	2,82	28,9	4,454	2,18	22,4	3,488	1,71	17,6
7,500	13,11	6,265	3,07		5,076	2,48		4,047	1,98	
10,000	15,87	6,506	3,18		5,443	2,66		4,474	2,19	
12,500	17,94	0	0,00		0	0,00		4,789	2,34	

CBR SATURADO										
Area (mm):20.43- (m2):20.43x10(-3)										
PENETRACIÓN (mm)	PRESIÓN ESTANDAR (Mpa)	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		CARGAS (KN)	PRESIÓN (Mpa)	CBR %	CARGAS (KN)	PRESIÓN (Mpa)	CBR %	CARGAS (KN)	PRESIÓN (Mpa)	CBR %
0,625		0,292467	0,14		0,219081	0,11		0,210986	0,10	
1,250		0,346967	0,17		0,236888	0,12		0,22016	0,11	
1,875		0,391755	0,19		0,254155	0,12		0,229333	0,11	
2,500	6,83	0,428448	0,21	3,25	0,271422	0,13	2,06	0,240125	0,12	1,82
3,750		0,495359	0,24		0,30272	0,15		0,257393	0,13	
5,000	10,35	0,557954	0,27	2,7903	0,333477	0,16	1,6677	0,273581	0,13	1,3681
7,500		0,706616	0,35		0,333477	0,16		0,305418	0,15	
10,000	16,15	0,855277	0,42		0,333477	0,16		0,337255	0,17	
12,500		0,855277	0,42		0,333477	0,16		0,337255	0,17	

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL																																																									
PROYECTO :	Alternativas de rehabilitación mediante técnicas de mantenimiento de pavimentos en el tramo de carretera comprendido entre la intersección de la vía Barbones-Tendales hasta la comuna Bajo Alto																																																								
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	Muestra tomada en la vía de acceso a la comuna de Bajo Alto a 1,5 m de profundidad			FECHA :	04/02/2023																																																				
ABSCISA:		MUESTRA #	M1	PROFUNDIDAD :	1,5 m																																																				
MOLDE# 1																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">MOLDE N°1 - 56 GOLPES</th> </tr> <tr> <th colspan="2">MUESTRA NO SATURADA</th> <th colspan="2">MUESTRA SATURADA</th> </tr> <tr> <th>PENETRACIÓN</th> <th>PRESIÓN</th> <th>PENETRACIÓN</th> <th>PRESIÓN</th> </tr> <tr> <th>mm</th> <th>MPa</th> <th>mm</th> <th>MPa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,625</td><td>1,124</td><td>0,625</td><td>0,14</td></tr> <tr><td>1,250</td><td>1,797</td><td>1,250</td><td>0,17</td></tr> <tr><td>1,875</td><td>2,133</td><td>1,875</td><td>0,19</td></tr> <tr><td>2,500</td><td>2,350</td><td>2,500</td><td>0,21</td></tr> <tr><td>3,750</td><td>2,627</td><td>3,750</td><td>0,24</td></tr> <tr><td>5,000</td><td>2,819</td><td>5,000</td><td>0,27</td></tr> <tr><td>7,500</td><td>3,067</td><td>7,500</td><td>0,35</td></tr> <tr><td>10,000</td><td>3,185</td><td>10,000</td><td>0,42</td></tr> <tr><td>12,500</td><td>0,000</td><td>12,500</td><td>0,42</td></tr> </tbody> </table>						MOLDE N°1 - 56 GOLPES				MUESTRA NO SATURADA		MUESTRA SATURADA		PENETRACIÓN	PRESIÓN	PENETRACIÓN	PRESIÓN	mm	MPa	mm	MPa	0,625	1,124	0,625	0,14	1,250	1,797	1,250	0,17	1,875	2,133	1,875	0,19	2,500	2,350	2,500	0,21	3,750	2,627	3,750	0,24	5,000	2,819	5,000	0,27	7,500	3,067	7,500	0,35	10,000	3,185	10,000	0,42	12,500	0,000	12,500	0,42
MOLDE N°1 - 56 GOLPES																																																									
MUESTRA NO SATURADA		MUESTRA SATURADA																																																							
PENETRACIÓN	PRESIÓN	PENETRACIÓN	PRESIÓN																																																						
mm	MPa	mm	MPa																																																						
0,625	1,124	0,625	0,14																																																						
1,250	1,797	1,250	0,17																																																						
1,875	2,133	1,875	0,19																																																						
2,500	2,350	2,500	0,21																																																						
3,750	2,627	3,750	0,24																																																						
5,000	2,819	5,000	0,27																																																						
7,500	3,067	7,500	0,35																																																						
10,000	3,185	10,000	0,42																																																						
12,500	0,000	12,500	0,42																																																						

## MOLDE# 2

MOLDE N°1 - 25 GOLPES			
MUESTRA NO SATURADA		MUESTRA SATURADA	
PENETRACIÓN	PRESIÓN	PENETRACIÓN	PRESIÓN
mm	Mpa	mm	MPa
0,625	0,741	0,625	0,11
1,250	1,146	1,250	0,12
1,875	1,452	1,875	0,12
<b>2,500</b>	<b>1,655</b>	<b>2,500</b>	<b>0,13</b>
<b>3,750</b>	<b>1,956</b>	<b>3,750</b>	<b>0,15</b>
5,000	2,180	5,000	0,16
7,500	2,485	7,500	0,16
10,000	2,664	10,000	0,16
12,500	0,000	12,500	0,16



## MOLDE# 3

MOLDE N°1 - 12 GOLPES			
MUESTRA NO SATURADA		MUESTRA SATURADA	
PENETRACIÓN	PRESIÓN	PENETRACIÓN	PRESIÓN
mm	Mpa	mm	MPa
0,625	0,632	0,625	0,10
1,250	0,976	1,250	0,11
1,875	1,193	1,875	0,11
2,500	1,341	2,500	0,12
3,750	1,539	3,750	0,13
5,000	1,707	5,000	0,13
7,500	1,981	7,500	0,15
10,000	2,190	10,000	0,17
12,500	2,344	12,500	0,17



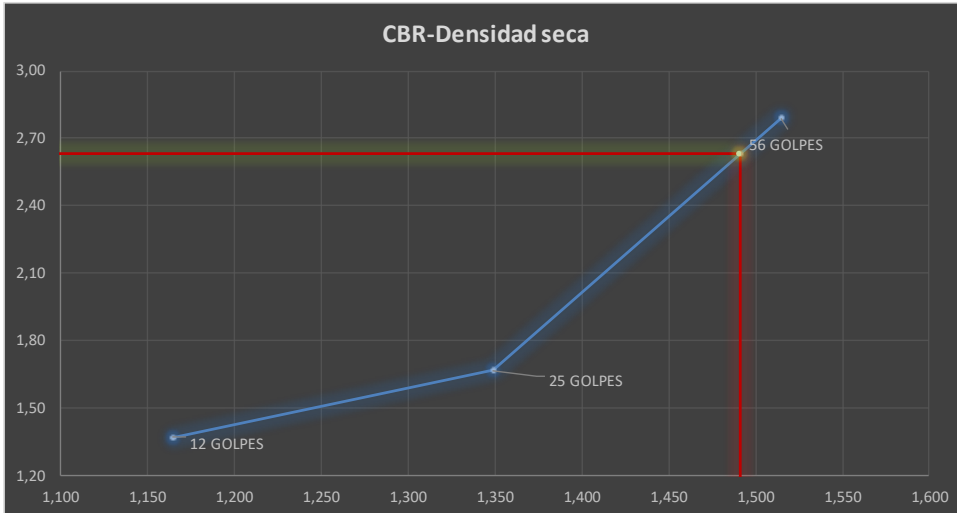
## CBR NO SATURADO VS DENSIDAD SECA



Compactación %	90,0
Densidad seca gr/cm <sup>3</sup>	1,491
C.B.R. %	25,20

C.B.R. %	DENSIDAD SECA
28,90	1,592
22,40	1,419
17,60	1,242

### CBR SATURADO VS DENSIDAD SECA



Compactación %	90,0
Densidad seca gr/cm <sup>3</sup>	1,491
C.B.R. %	2,63

C.B.R. %	DENSIDAD SECA
2,79	1,515
1,67	1,349
1,37	1,164

### 5.3. Anexo 3: Ensayo de Proctor modificado – M2.



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA

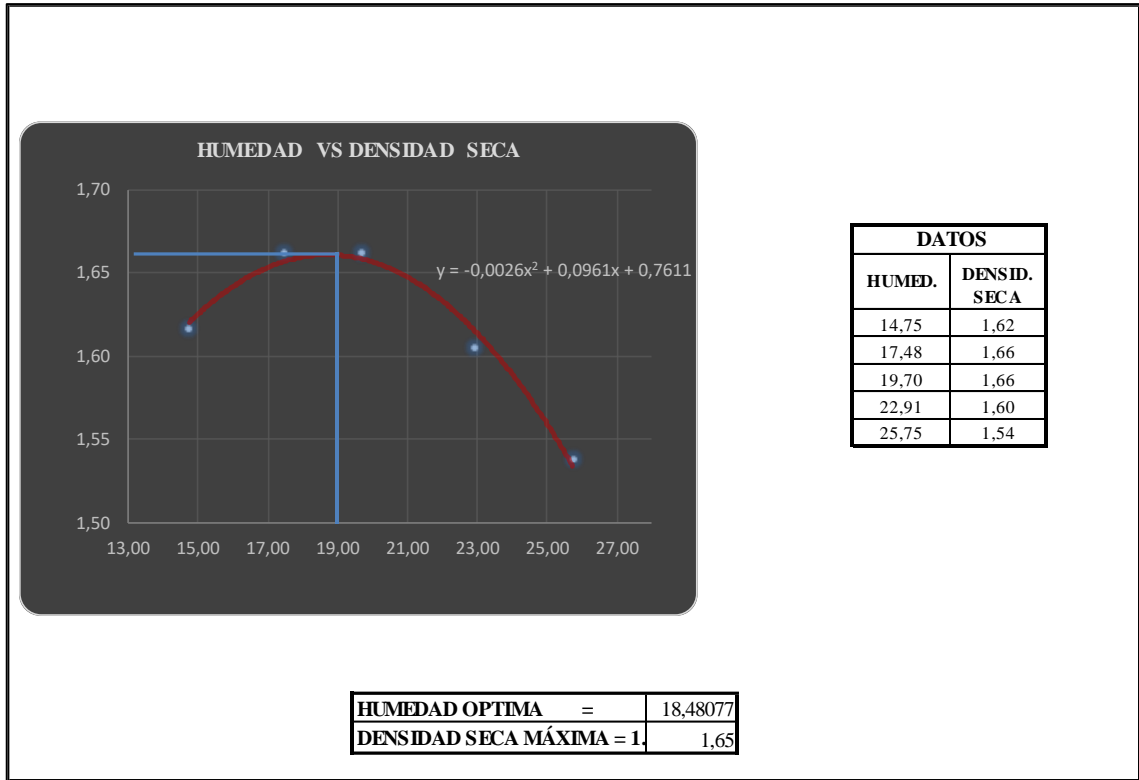
### FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS



### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

<b>PROYECTO :</b>	Alternativas de rehabilitación mediante técnicas de mantenimiento de pavimentos en el tramo de carretera comprendido entre la intersección de la vía Barbones-Tendales hasta la comuna Bajo Alto									
<b>ELABORADO POR:</b>	CASTILLO INFANTE WINSTON FABRICIO									
<b>Nº DE CAPAS :</b>	5									
<b>PROFUNDIDAD:</b>	1,5 m									
<b>FECHA :</b>	06/02/2023									
<b>MUESTRA #:</b>	M2									
<b>DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:</b>	Muestra tomada en la vía de acceso a la comuna de Bajo Alto a 1,5 m de profundidad									
<b>ABSCISA:</b>	0+0 - 0+0,32									
<b>NÚMERO DE GOLPES</b>	56									
<b>PESO DEL MARTILLO</b>	10 Lb									
<b>ALTURA DE CAIDA</b>	18"									
<b>DIAMETRO DEL MOLDE</b>	10,16									
<b>ALTURA DEL MOLDE</b>	11,64									
<b>UBICACIÓN</b>										
<b>MUESTRA N°</b>	1		2		3		4		5	
<b>PESO DE LA MUESTRA</b>	5000,00 gr		5400,00 gr		5419,00 gr		5429,00 gr		5470,00 gr	
<b>VOLUMEN DE AGUA</b>	550,00 cm <sup>3</sup>		145,95 cm <sup>3</sup>		142,61 cm <sup>3</sup>		139,21 cm <sup>3</sup>		136,75 cm <sup>3</sup>	
<b>% EQUIVALENTE DE AGUA</b>	11%		14%		17%		20%		23%	
<b>PESO DEL MOLDE SIN COLLARIN</b>	5581,00 gr		5581,00 gr		5581,00 gr		5581,00 gr		5581,00 gr	
<b>PESO DEL MOLDE + SUELO HUM</b>	9521,00 gr		9729,00 gr		9807,00 gr		9771,00 gr		9690,00 gr	
<b>VOLUMEN DEL MOLDE</b>	2124,0		2124,0		2124,0		2124,0		2124,0	
	<b>ABAJO</b>	<b>ARRIBA</b>	<b>ABAJO</b>	<b>ARRIBA</b>	<b>ABAJO</b>	<b>ARRIBA</b>	<b>ABAJO</b>	<b>ARRIBA</b>	<b>ABAJO</b>	<b>ARRIBA</b>
<b>Nº DE CAPSULA</b>	R34X	R470	R186	R22	R77	R50	R52	R21	R14	R4
<b>PESO DE CAPSULA</b>	9,670	9,570	9,610	9,590	9,610	9,600	9,490	9,730	9,600	9,620
<b>CAPSULA + SUELO HUMEDO</b>	50,380	50,800	52,410	52,160	53,190	52,850	51,760	53,150	51,220	50,930
<b>CAPSULA + SUELO SECO</b>	45,160	45,490	46,170	45,700	45,850	45,900	43,760	45,180	42,610	42,560
<b>PESO DEL AGUA</b>	5,22 gr	5,31 gr	6,24 gr	6,46 gr	7,34 gr	6,95 gr	8,00 gr	7,97 gr	8,61 gr	8,37 gr
<b>PESO DEL SUELO SECO</b>	35,49 gr	35,92 gr	36,56 gr	36,11 gr	36,24 gr	36,30 gr	34,27 gr	35,45 gr	33,01 gr	32,94 gr
<b>CONTEN. HUMEDAD</b>	14,71 %	14,78 %	17,07 %	17,89 %	20,25 %	19,15 %	23,34 %	22,48 %	26,08 %	25,41 %
<b>HUMEDAD PROMEDIO</b>	14,75 %		17,48 %		19,70 %		22,91 %		25,75 %	
<b>DENSIDAD HUMEDA</b>	1,85 gr/cm <sup>3</sup>		1,95 gr/cm <sup>3</sup>		1,99 gr/cm <sup>3</sup>		1,97 gr/cm <sup>3</sup>		1,93 gr/cm <sup>3</sup>	
<b>DENSIDAD SECA</b>	1,62 gr/cm <sup>3</sup>		1,66 gr/cm <sup>3</sup>		1,66 gr/cm <sup>3</sup>		1,60 gr/cm <sup>3</sup>		1,54 gr/cm <sup>3</sup>	



#### 5.4. Anexo 4: Ensayo de CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) -M2

<div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL</b>  <small>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS</small> </div>												
<b>CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)</b>												
<b>PROYECTO :</b>				Alternativas de rehabilitación mediante técnicas de mantenimiento de pavimentos en el tramo de carretera comprendido entre la intersección de la vía Barbones-Tendales hasta la comuna Bajo Alto				<b>UBICACIÓN</b>				
<b>ELABORADO POR:</b>				CASTILLO INFANTE WINSTON FABRICIO								
<b>N° DE CAPAS :</b>		5		<b>FECHA :</b>		07/02/2023						
<b>PROFUNDIDAD:</b>		1,5 m		<b>MUESTRA #:</b>		M2						
<b>DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:</b>				Muestra tomada en la vía de acceso a la comuna de Bajo Alto a 1,5 m de profundidad								
<b>ABSCISA:</b>				0+0 - 0+0,32								
<b>MOLDE N°</b>			1 - 10006556			2 - 10006642			3 - 10006484			
<b>N° DE GOLPES POR CAPAS</b>			56			25			12			
<b>PESO MOLDE CBR NO SATURADO</b>			7466,00 gr			7384,00 gr			6176,00 gr			
<b>PESO MOLDE CBR SATURADO</b>			7466,00 gr			7384,00 gr			6176,00 gr			
<b>ALTURA DE LA MUESTRA Hm (cm)</b>			11,680 cm			11,680 cm			11,680 cm			
<b>DIÁMETRO DEL MOLDE D (cm)</b>			15,240 cm			15,240 cm			15,240 cm			
<b>VOLUM MUEST V=(π.D²/4) * H</b>			2130,609 cm³			2130,609 cm³			2130,609 cm³			
<b>CONDICIÓN DE MUESTRA</b>			A. SATURAR		D. SATURAR		A. SATURAR		D. SATURAR		A. SATURAR	
<b>PESO MUESTRA HUMEDA + MOLDE</b>			11599,000 gr		11728,000 gr		11317,000 gr		11524,000 gr		9885,000 gr	
<b>PESO MUESTRA SECA + REC.</b>			4133,000 gr		4262,000 gr		3933,000 gr		4140,000 gr		3709,000 gr	
<b>DENSIDAD HÚMEDA</b>			1,940 gr/cm³		2,000 gr/cm³		1,846 gr/cm³		1,943 gr/cm³		1,741 gr/cm³	
<b>HUMEDAD</b>			ARRIBA		ABAJO		ARRIBA		ABAJO		ARRIBA	
<b>RECIPIENTE N°</b>			R96		R59X		R305		R4		E41	
<b>PESO RECIPIENTE</b>			9,610 gr		9,510 gr		9,660 gr		9,620 gr		9,550 gr	
<b>P. MUEST.HUM + REC.</b>			48,900 gr		48,430 gr		52,300 gr		52,840 gr		51,690 gr	
<b>P. MUEST.SECA + REC.</b>			42,230 gr		41,990 gr		41,090 gr		44,160 gr		44,500 gr	
<b>PESO AGUA</b>			6,670 gr		6,440 gr		11,210 gr		8,680 gr		7,190 gr	
<b>PESO MUESTRA SECA</b>			32,620 gr		32,480 gr		31,430 gr		34,540 gr		34,950 gr	
<b>CONT. DE HUMEDAD</b>			20,448 %		19,828 %		35,667 %		25,130 %		20,572 %	
<b>HUMEDAD PROMEDIO</b>			20,448 %		30,398 %		20,572 %		34,225 %		23,258 %	
<b>DENSIDAD SECA</b>			1,619 gr/cm³		1,599 gr/cm³		1,520 gr/cm³		1,470 gr/cm³		1,410 gr/cm³	



## PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA

MOLDE N°	1 - 10006559	2 - 10005302	3 - 10006556
PESO MUESTRA HUM + MOLDE DESP .SATURAR ( gr. )	11728,000 gr	11524,000 gr	10225,000 gr
PESO MUESTR HUM + MOLDE ANTES.SATURAR ( gr.)	11599,000 gr	11317,000 gr	9885,000 gr
PESO AGUA ABSORBIDA ( gr )	129,000 gr	207,000 gr	340,000 gr
<b>PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA</b>	<b>3,121</b>	<b>5,263</b>	<b>9,167</b>
<b>ALTURA DE LA MUESTRA ( mm)</b>	<b>116,800 mm</b>	<b>116,800 mm</b>	<b>116,800 mm</b>

## ESPONJAMIENTO

FECHA Y HORA	TIEMPO EN DÍAS	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		LEC DIAL 1x10 <sup>2</sup> mm	CAMBIO LONG. 1x10 <sup>2</sup> mm	ESPONJAMIENTO %	LEC DIAL 1x10 <sup>2</sup> mm	CAMBIO LONG. 1x10 <sup>2</sup> mm	ESPONJAMIENTO %	LEC DIAL 1x10 <sup>2</sup> mm	CAMBIO LONG. 1x10 <sup>2</sup> mm	ESPONJAMIENTO %
LECT. INICIAL	0	0,37	0	0,000	0,47	0	0,00	0,69	0	0,00
01/02/2023	1	2,77	2,4	0,021	2,65	2,18	0,02	3,81	3,12	0,03
02/02/2023	2	3,68	3,31	0,028	3,48	3,01	0,03	3,88	3,19	0,03
03/02/2023	3	4,29	3,92	0,034	3,82	3,35	0,03	4,23	3,54	0,03
04/02/2023	4	4,67	4,3	0,037	3,66	3,19	0,03	4,36	3,67	0,03

## CBR NO SATURADO

Area (mm):20.43- (m2):20.43x10(-3)										
PENETRACIÓN (mm)	PRESIÓN ESTANDAR (Mpa)	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		CARGAS (KN)	PRESIÓN (Mpa)	CBR %	CARGAS (KN)	PRESIÓN (Mpa)	CBR %	CARGAS (KN)	PRESIÓN (Mpa)	CBR %
0,625		2,379	1,16		2,012	0,98		0,852	0,42	
1,250		3,33	1,63		2,611	1,28		1,209	0,59	
1,875		3,983	1,95		2,99	1,46		1,45	0,71	
<b>2,500</b>	6,90	4,492	<b>2,20</b>	<b>33,70</b>	3,319	<b>1,62</b>	<b>24,90</b>	1,636	<b>0,80</b>	<b>12,30</b>
<b>3,750</b>	88	5,257	<b>2,57</b>		3,817	<b>1,87</b>		1,923	<b>0,94</b>	
5,000	10,30	5,852	<b>2,86</b>	<b>29,4</b>	4,269	<b>2,09</b>	<b>21,5</b>	2,17	<b>1,06</b>	<b>10,9</b>
7,500	13,11	6,668	<b>3,26</b>		5,006	<b>2,45</b>		2,59	<b>1,27</b>	
10,000	15,87	7,205	<b>3,53</b>		5,596	<b>2,74</b>		2,955	<b>1,45</b>	
12,500	17,94	0	<b>0,00</b>		0	<b>0,00</b>		3,278	<b>1,60</b>	

## CBR SATURADO

Area (mm):20.43- (m2):20.43x10(-3)										
PENETRACIÓN (mm)	PRESIÓN ESTANDAR (Mpa)	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		CARGAS (KN)	PRESIÓN (Mpa)	CBR %	CARGAS (KN)	PRESIÓN (Mpa)	CBR %	CARGAS (KN)	PRESIÓN (Mpa)	CBR %
0,625		0,3226	0,16		0,314	0,15		0,2142	0,10	
1,250		0,4446	0,22		0,4484	0,22		0,2379	0,12	
1,875		0,5385	0,26		0,5358	0,26		0,2455	0,12	
<b>2,500</b>	6,83	0,6259	<b>0,31</b>	<b>4,74</b>	0,6075	<b>0,30</b>	<b>4,60</b>	0,2822	<b>0,14</b>	<b>2,14</b>
<b>3,750</b>		0,77	<b>0,38</b>		0,7236	<b>0,35</b>		0,3226	<b>0,16</b>	
5,000	10,35	0,9027	<b>0,44</b>	<b>4,5146</b>	0,8234	<b>0,40</b>	<b>4,1179</b>	0,37017	<b>0,18</b>	<b>1,8512</b>
7,500	16,15	1,12	<b>0,55</b>		0,9804	<b>0,48</b>		0,37017	<b>0,18</b>	
10,000		1,3484	<b>0,66</b>		1,1374	<b>0,56</b>		0,37017	<b>0,18</b>	
12,500		1,348	<b>0,66</b>		1,1374	<b>0,56</b>		0,37017	<b>0,18</b>	

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

<b>PROYECTO :</b>	Alternativas de rehabilitación mediante técnicas de mantenimiento de pavimentos en el tramo de carretera comprendido entre la intersección de la vía Barbones-Tendales hasta la comuna Bajo Alto		
<b>DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:</b>	Muestra tomada en la vía de acceso a la comuna de Bajo Alto a 1,5 m de profundidad	<b>FECHA :</b>	04/02/2023
<b>ABSCISA:</b>	0+0 - 0+0,32	<b>MUESTRA #</b>	M2
		<b>PROFUNDIDAD :</b>	1,5 m

**MOLDE# 1**

MOLDE#1 - 56 GOLPES			
MUESTRA NO SATURADA		MUESTRA SATURADA	
PENETRACIÓN	PRESIÓN	PENETRACIÓN	PRESIÓN
mm	MPa	mm	MPa
0,625	1,165	0,625	0,16
1,250	1,630	1,250	0,22
1,875	1,950	1,875	0,26
2,500	2,199	2,500	0,31
3,750	2,573	3,750	0,38
5,000	2,865	5,000	0,44
7,500	3,264	7,500	0,55
10,000	3,527	10,000	0,66
12,500	0,000	12,500	0,66



**MOLDE# 2**

MOLDE#1 - 25 GOLPES			
MUESTRA NO SATURADA		MUESTRA SATURADA	
PENETRACIÓN	PRESIÓN	PENETRACIÓN	PRESIÓN
mm	Mpa	mm	MPa
0,625	0,985	0,625	0,15
1,250	1,278	1,250	0,22
1,875	1,464	1,875	0,26
2,500	1,625	2,500	0,30
3,750	1,868	3,750	0,35
5,000	2,090	5,000	0,40
7,500	2,451	7,500	0,48
10,000	2,739	10,000	0,56
12,500	0,000	12,500	0,56

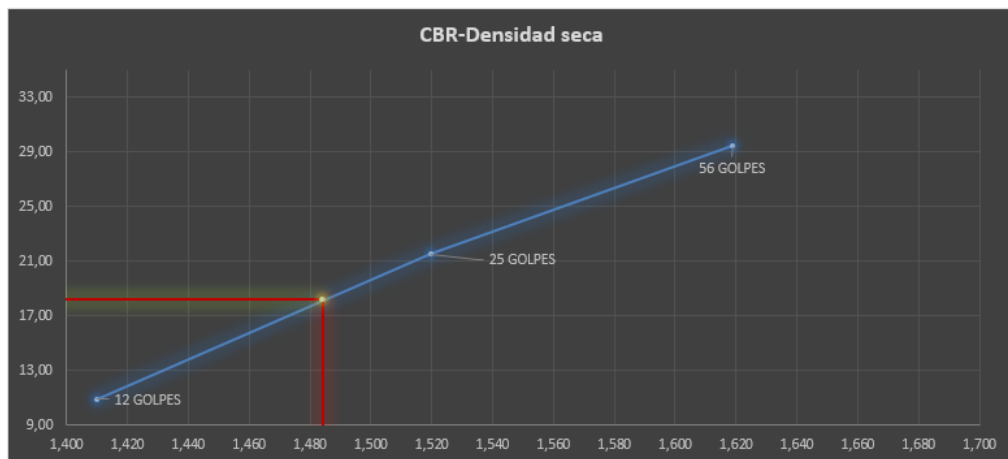


**MOLDE# 3**

MOLDE#1 - 12 GOLPES			
MUESTRA NO SATURADA		MUESTRA SATURADA	
PENETRACIÓN	PRESIÓN	PENETRACIÓN	PRESIÓN
mm	Mpa	mm	MPa
0,625	0,417	0,625	0,10
1,250	0,592	1,250	0,12
1,875	0,710	1,875	0,12
2,500	0,801	2,500	0,14
3,750	0,941	3,750	0,16
5,000	1,062	5,000	0,18
7,500	1,268	7,500	0,18
10,000	1,447	10,000	0,18
12,500	1,605	12,500	0,18



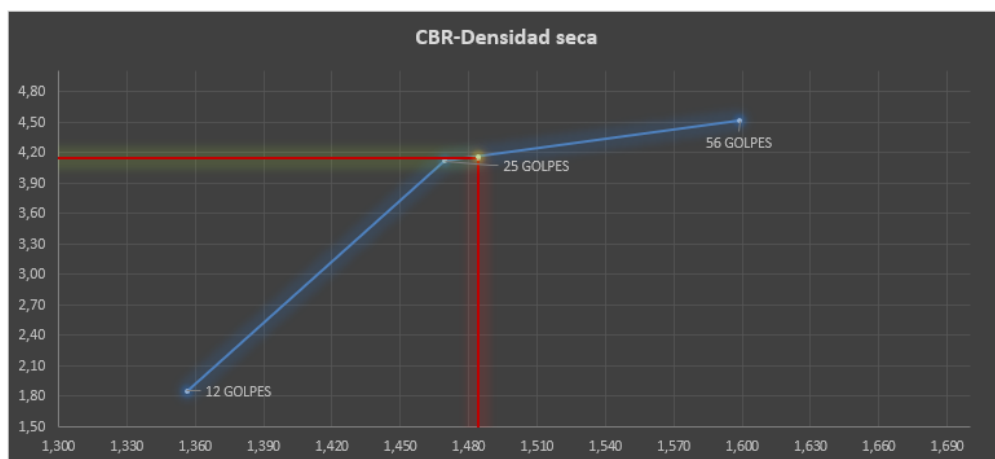
### CBR NO SATURADO VS DENSIDAD SECA



Compactación %	90,0
Densidad seca gr/cm <sup>3</sup>	1,484
C.B.R. %	18,19

C.B.R. %	DENSIDAD SECA
29,40	1,619
21,50	1,520
10,90	1,410

### CBR SATURADO VS DENSIDAD SECA




Compactación %	90,0
Densidad seca gr/cm <sup>3</sup>	1,484
C.B.R. %	4,15

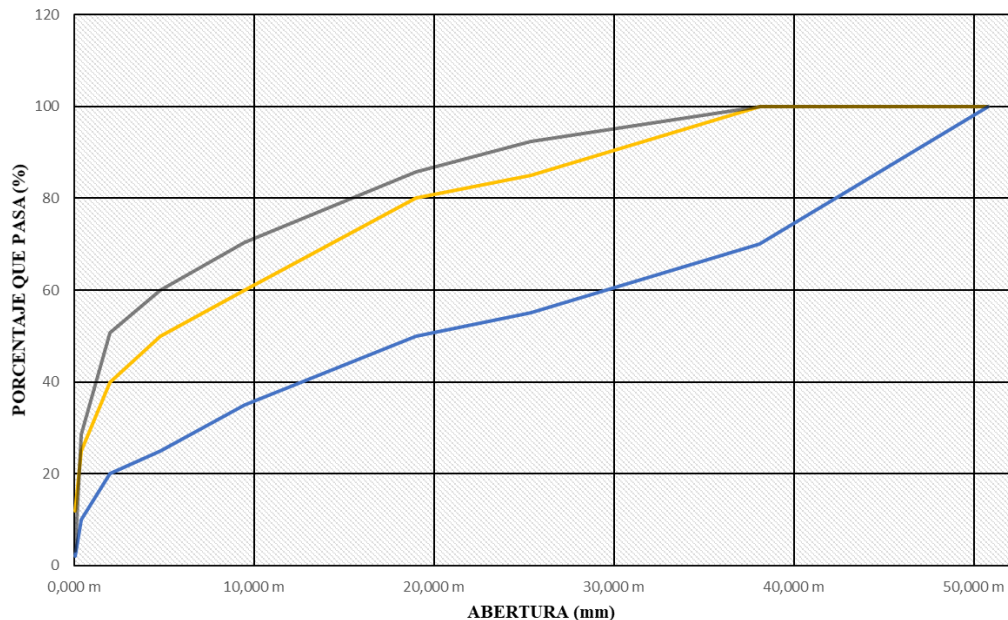
C.B.R. %	DENSIDAD SECA
4,51	1,599
4,12	1,470
1,85	1,356

### 5.5. Anexo 5: Granulometría M1 -Base granular – 0.5m.

## LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS GRANULOMETRIA ESPECIFICACIONES MTOP

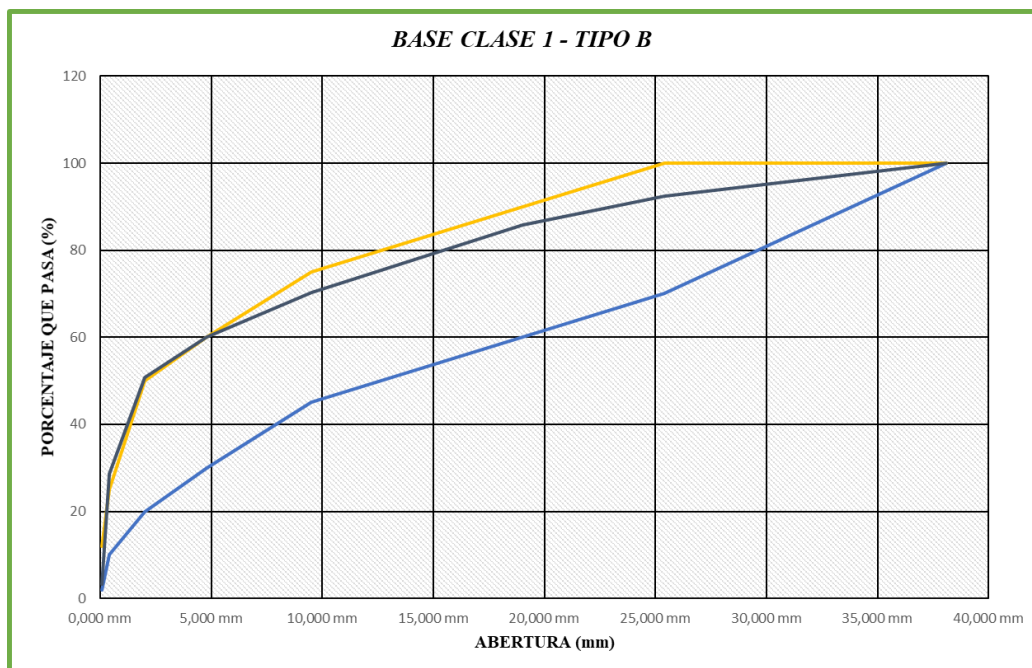
<b>PROYECTO</b>	REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO EN LA INTERSECCION DE LA VÍA BARBONES - TENDALES				
<b>MUESTRA</b>	M1				
<b>ABSCIZA</b>	2+112 - 2+144				
<b>PROFUNDIDAD</b>	0,50 m				
<b>FECHA</b>	03/02/2023				
<b>ENCARGADO</b>	CASTILLO INFANTE WINSTON FABRICIO				
<b>PESO DE MUESTRA</b>	3819	<b>LABORATORIO UTMACH</b>			
<b>GRANULOMETRIA</b>					
<b>BASE CLASE 1</b>				<b>MATERIAL TRITURADO y CRIBADO</b>	
<b>MALLA</b>		<b>TIPO A</b>		<b>% PASA</b>	<b>PESO</b>
		<b>LI</b>	<b>LS</b>		
2"	50,800 m	100	100	100	0,00 gr
1 1/2"	38,100 m	70	100	100	0,00 gr
1"	25,400 m	55	85	92	291,90 gr
3/4"	19,000 m	50	80	86	248,20 gr
3/8"	9,500 m	35	60	70	592,70 gr
N°4	4,790 m	25	50	60	395,00 gr
N°10	2,000 m	20	40	51	350,70 gr
N°40	0,425 m	10	25	29	847,50 gr
N°200	0,075 m	2	12	3	969,50 gr
<b>FONDO</b>					123,10 gr
<b>TOTAL</b>					3818,60 gr
<b>% ERROR</b>					0,01 %

**BASE CLASE 1 - TIPO A**

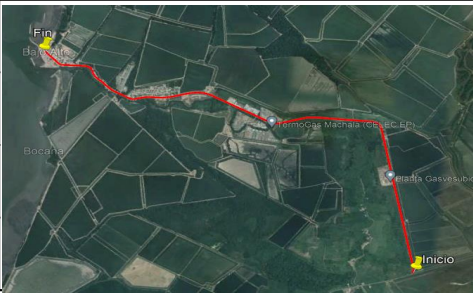


**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
GRANULOMETRIA ESPECIFICACIONES MTOP**

<b>PROYECTO</b>	REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO EN LA INTERSECCION DE LA VÍA BARBONES - TENDALES				
<b>MUESTRA</b>	M1				
<b>ABSCIZA</b>	2+112 - 2+144				
<b>PROFUNDIDAD</b>	0,50 m				
<b>FECHA</b>	02/02/2023				
<b>ENCARGADO</b>	CASTILLO INFANTE WINSTON FABRICIO				
<b>PESO DE MUESTRA</b>	3819	LABORATORIO UTMACH			
<b>GRANULOMETRIA</b>					
<b>BASE CLASE 1</b>				<b>MATERIAL TRITURADO Y CRIBADO</b>	
<b>MALLA</b>		<b>TIPO B</b>		<b>% PASA</b>	<b>PESO</b>
		<b>LI</b>	<b>LS</b>		
2"	50,800 mm	-	-	-	-
1 1/2"	38,100 mm	100	100	100	0,00 gr
1"	25,400 mm	70	100	92	291,90 gr
3/4"	19,000 mm	60	90	86	248,20 gr
3/8"	9,500 mm	45	75	70	592,70 gr
N°4	4,790 mm	30	60	60	395,00 gr
N°10	2,000 mm	20	50	51	350,70 gr
N°40	0,425 mm	10	25	29	847,50 gr
N°200	0,075 mm	2	12	3	969,50 gr
FONDO					123,10 gr
TOTAL					3818,60 gr
% ERROR					0,01 %



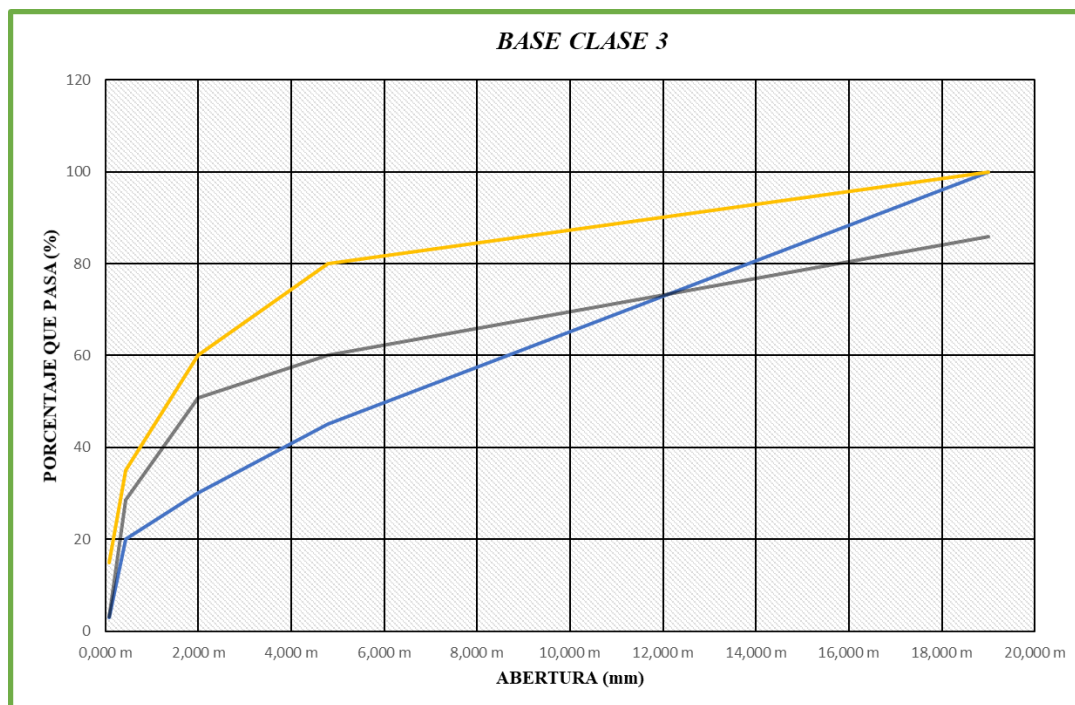
## LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS GRANULOMETRIA ESPECIFICACIONES MTOP

<b>PROYECTO</b>	REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO EN LA INTERSECCION DE LA VÍA BARBONES - TENDALES				
<b>MUESTRA</b>	M1				
<b>ABSCIZA</b>	2+112 - 2+144				
<b>PROFUNDIDAD</b>	0,50 m				
<b>FECHA</b>	02/02/2023				
<b>ENCARGADO</b>	CASTILLO INFANTE WINSTON FABRICIO				
<b>PESO DE MUESTRA</b>	3819	<b>LABORATORIO UTMACH</b>			
<b>GRANULOMETRIA</b>					
<b>BASE CLASE 2</b>					<b>MATERIAL TRITURADO y CRIBADO</b>
<b>MALLA</b>		<b>LIMITES</b>		<b>% PASA</b>	<b>PESO</b>
		<b>LI</b>	<b>LS</b>		
1"	25,400 m	100	100	92	291,90 gr
3/4"	19,000 m	70	100	86	248,20 gr
3/8"	9,500 m	50	80	70	592,70 gr
N°4	4,790 m	35	65	60	395,00 gr
N°10	2,000 m	25	50	51	350,70 gr
N°40	0,425 m	15	30	29	847,50 gr
N°200	0,075 m	3	15	3	969,50 gr
<b>FONDO</b>					123,10 gr
<b>TOTAL</b>					3818,60 gr
<b>% ERROR</b>					0,01 %

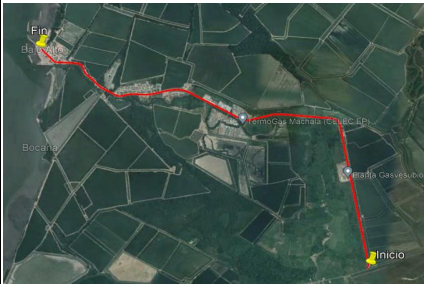


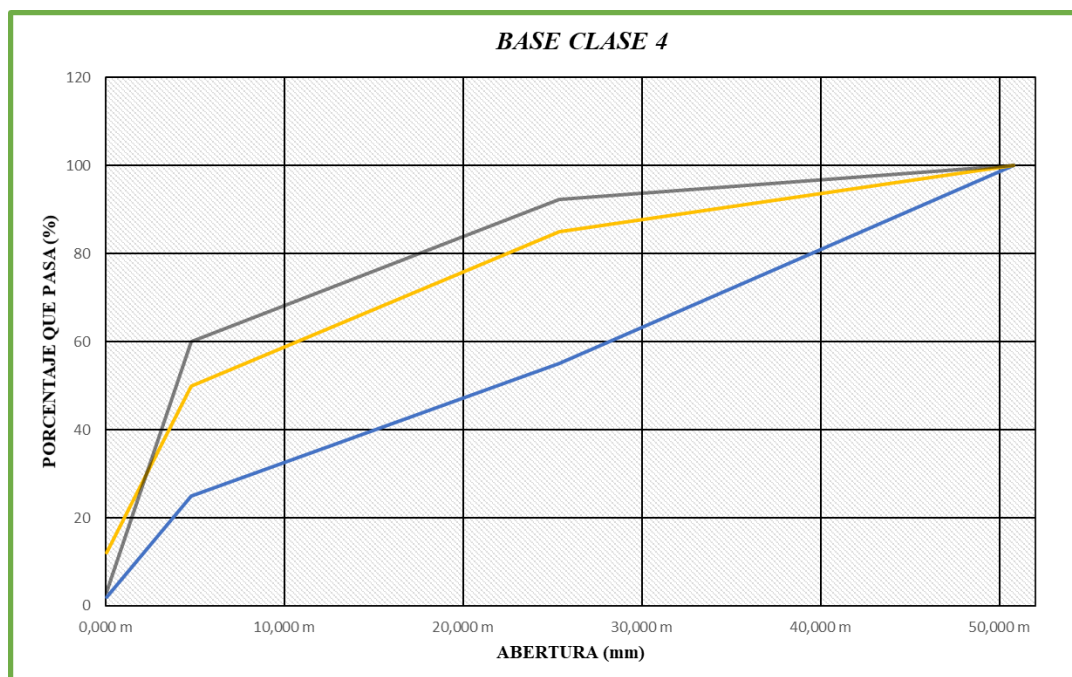
## LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS GRANULOMETRIA ESPECIFICACIONES MTOP

<b>PROYECTO</b>	REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO EN LA INTERSECCION DE LA VÍA BARBONES - TENDALES				
<b>MUESTRA</b>	M1				
<b>ABSCIZA</b>	2+112 - 2+144				
<b>PROFUNDIDAD</b>	0,50 m				
<b>FECHA</b>	02/02/2023				
<b>ENCARGADO</b>	CASTILLO INFANTE WINSTON FABRICIO				
<b>PESO DE MUESTRA</b>	3819	<b>LABORATORIO UTMACH</b>			
<b>GRANULOMETRIA</b>					
<b>BASE CLASE 3</b>				<b>MATERIAL TRITURADO y CRIBADO</b>	
<b>MALLA</b>		<b>LIMITES</b>		<b>% PASA</b>	<b>PESO</b>
		<b>LI</b>	<b>LS</b>		
3/4"	19,000 m	100	100	86	540,10 gr
N°4	4,790 m	45	80	60	987,70 gr
N°10	2,000 m	30	60	51	350,70 gr
N°40	0,425 m	20	35	29	847,50 gr
N°200	0,075 m	3	15	3	969,50 gr
<b>FONDO</b>					123,10 gr
<b>TOTAL</b>					3818,60 gr
<b>% ERROR</b>					0,01 %



## LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS GRANULOMETRIA ESPECIFICACIONES MTOP

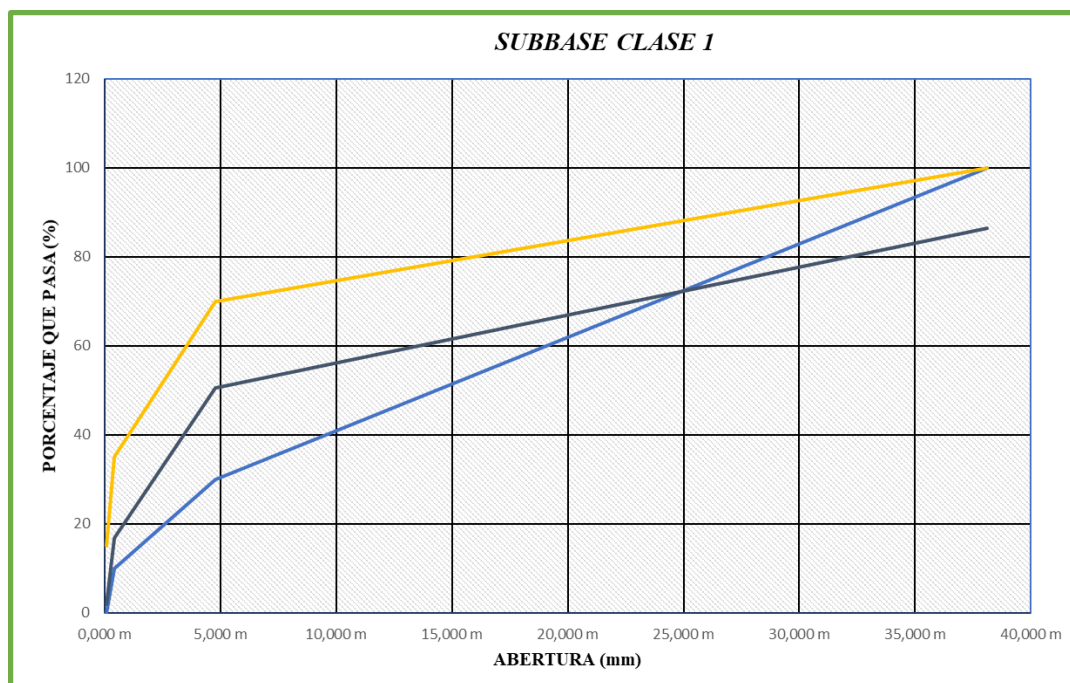
<b>PROYECTO</b>	REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO EN LA INTERSECCION DE LA VÍA BARBONES - TENDALES				
<b>MUESTRA</b>	M1				
<b>ABSCIZA</b>	2+112 - 2+144				
<b>PROFUNDIDAD</b>	0,50 m				
<b>FECHA</b>	02/02/2023				
<b>ENCARGADO</b>	CASTILLO INFANTE WINSTON FABRICIO				
<b>PESO DE MUESTRA</b>	3819	<b>LABORATORIO UTMACH</b>			
<b>GRANULOMETRIA</b>					
<b>BASE CLASE 4</b>				<b>MATERIAL TRITURADO y CRIBADO</b>	
<b>MALLA</b>		<b>LIMITES</b>		<b>% PASA</b>	<b>PESO</b>
		<b>LI</b>	<b>LS</b>		
2"	50,800 m	100	100	100	0,00 gr
1"	25,400 m	55	85	92	291,90 gr
N°4	4,790 m	25	50	60	1235,90 gr
N°200	0,075 m	2	12	3	2167,70 gr
FONDO					123,10 gr
TOTAL					3818,60 gr
% ERROR					0,01 %





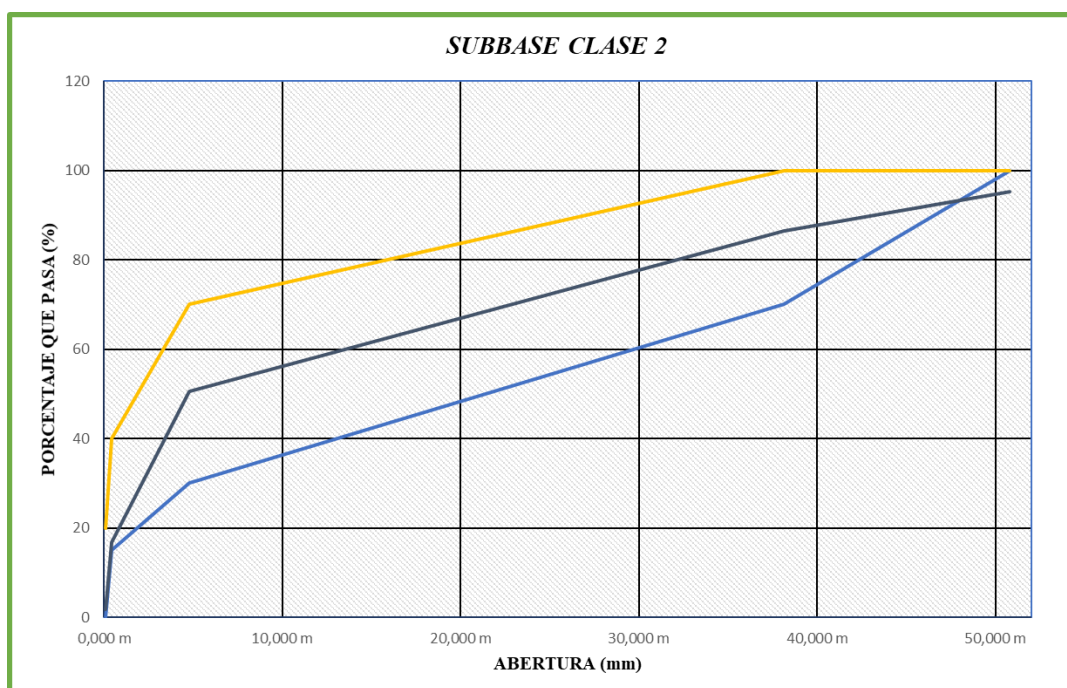
## 5.6. Anexo 6: Granulometría M1 – Subbase granular– 1m

<b>LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS GRANULOMETRIA ESPECIFICACIONES MTOP</b>					
<b>PROYECTO</b>	REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO EN LA INTERSECCION DE LA VÍA BARBONES - TENDALES				
<b>MUESTRA</b>	M1				
<b>ABSCIZA</b>	2+112 - 2+144				
<b>PROFUNDIDAD</b>	0,50 m				
<b>FECHA</b>	02/02/2023				
<b>ENCARGADO</b>	CASTILLO INFANTE WINSTON FABRICIO				
<b>PESO DE MUESTRA</b>	6050	<b>LABORATORIO UTMACH</b>			
<b>GRANULOMETRIA</b>					
<b>SUBBASE CLASE 1</b>				<b>MATERIAL TRITURADO y CRIBADO</b>	
<b>MALLA</b>		<b>LI</b>	<b>LS</b>	<b>% PASA</b>	<b>PESO</b>
3"	76,200 m	-	-	-	-
2"	50,800 m	-	-	-	-
1 1/2"	38,100 m	100	100	86	819,90 gr
N°4	4,790 m	30	70	50	2174,70 gr
N°40	0,425 m	10	35	17	2038,20 gr
N°200	0,075 m	0	15	2	905,68 gr
<b>FONDO</b>					110,90 gr
<b>TOTAL</b>					6049,38 gr
<b>% ERROR</b>					0,01 %



## LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS GRANULOMETRIA ESPECIFICACIONES MTOP

<b>PROYECTO</b>	REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO EN LA INTERSECCION DE LA VÍA BARBONES - TENDALES				
<b>MUESTRA</b>	M1				
<b>ABSCIZA</b>	2+112 - 2+144				
<b>PROFUNDIDAD</b>	0,50 m				
<b>FECHA</b>	02/02/2023				
<b>ENCARGADO</b>	CASTILLO INFANTE WINSTON FABRICIO				
<b>PESO DE MUESTRA</b>	6050	<b>LABORATORIO UTMACH</b>			
<b>GRANULOMETRIA</b>					
<b>SUBBASE CLASE 2</b>				<b>MATERIAL TRITURADO y CRIBADO</b>	
<b>MALLA</b>		<b>LI</b>	<b>LS</b>	<b>% PASA</b>	<b>PESO</b>
3"	76,200 m	-	-	-	-
2"	50,800 m	100	100	95	288,30 gr
1 1/2"	38,100 m	70	100	86	531,60 gr
N°4	4,790 m	30	70	50	2174,70 gr
N°40	0,425 m	15	40	17	2038,20 gr
N°200	0,075 m	0	20	2	905,68 gr
FONDO					110,90 gr
TOTAL					6049,38 gr
% ERROR					0,01 %




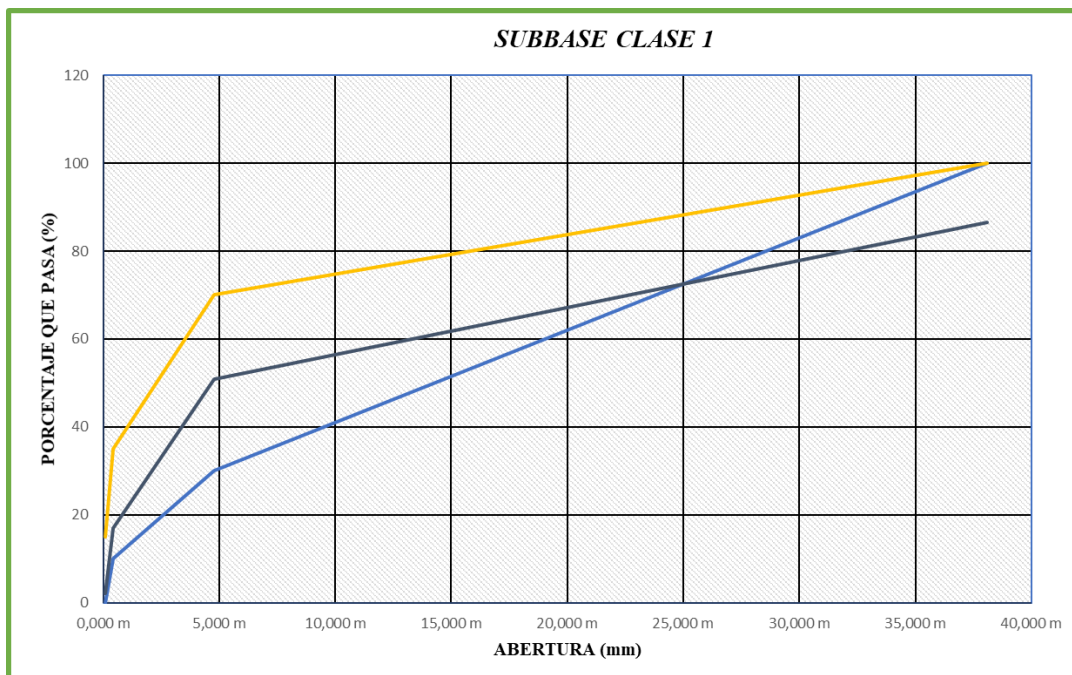
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
GRANULOMETRIA ESPECIFICACIONES MTOP**

<b>PROYECTO</b>	REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO EN LA INTERSECCION DE LA VÍA BARBONES - TENDALES				
<b>MUESTRA</b>	M1				
<b>ABSCIZA</b>	2+112 - 2+144				
<b>PROFUNDIDAD</b>	1,00 m				
<b>FECHA</b>	02/02/2023				
<b>ENCARGADO</b>	CASTILLO INFANTE WINSTON FABRICIO				
<b>PESO DE MUESTRA</b>	6050	<b>LABORATORIO UTMACH</b>			
<b>GRANULOMETRIA</b>					
<b>SUBBASE CLASE 3</b>				<b>MATERIAL TRITURADO y CRIBADO</b>	
<b>MALLA</b>		<b>LI</b>	<b>LS</b>	<b>% PASA</b>	<b>PESO</b>
3"	76,200 m	100	100	100	0
N°4	4,790 m	30	70	50	2994,60 gr
N°200	0,075 m	0	20	2	2943,88 gr
FONDO					110,90 gr
TOTAL					6049,38 gr
% ERROR					0,01 %



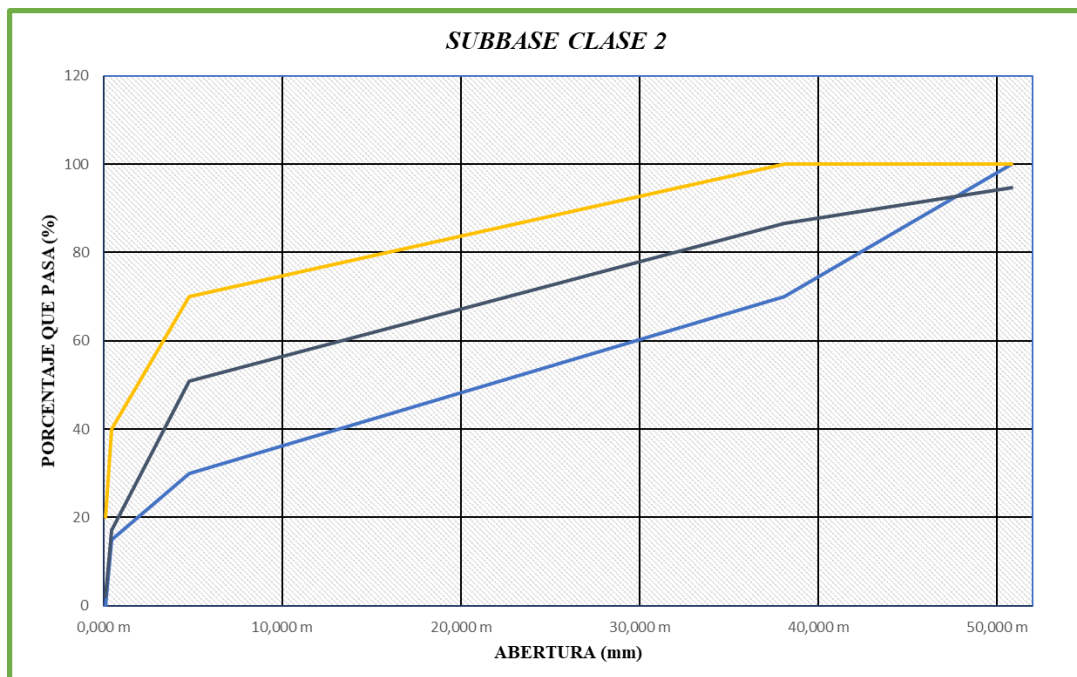
### 5.7. Anexo 7: Granulometría M1 – Subbase granular– 0.5m

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS GRANULOMETRIA ESPECIFICACIONES MTOP					
<b>PROYECTO</b>	REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO EN LA INTERSECCION DE LA VÍA BARBONES - TENDALES				
<b>MUESTRA</b>	M1				
<b>ABSCIZA</b>	0+000 - 0+032				
<b>PROFUNDIDAD</b>	0,50 m				
<b>FECHA</b>	02/02/2023				
<b>ENCARGADO</b>	CASTILLO INFANTE WINSTON FABRICIO				
<b>PESO DE MUESTRA</b>	5476,73	LABORATORIO UTMACH			
GRANULOMETRIA					
SUBBASE CLASE 1				MATERIAL TRITURADO y CRIBADO	
MALLA		LI	LS	% PASA	PESO
3"	76,200 m	-	-	-	-
2"	50,800 m	-	-	-	-
1 1/2"	38,100 m	100	100	87	732,96 gr
N°4	4,790 m	30	70	51	1956,12 gr
N°40	0,425 m	10	35	17	1853,10 gr
N°200	0,075 m	0	15	2	819,40 gr
FONDO					114,50 gr
TOTAL					5476,08 gr
% ERROR					0,01 %



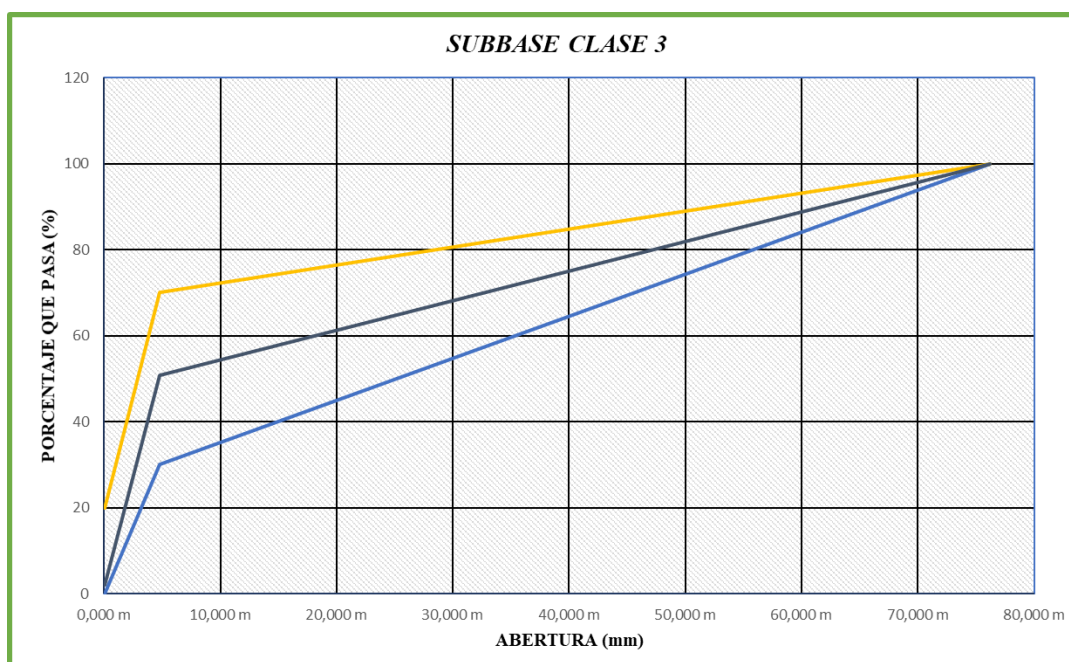
## LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS GRANULOMETRIA ESPECIFICACIONES MTOP

<b>PROYECTO</b>	REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO EN LA INTERSECCION DE LA VÍA BARBONES - TENDALES				
<b>MUESTRA</b>	M2				
<b>ABSCIZA</b>	0+000 - 0+032				
<b>PROFUNDIDAD</b>	0,50 m				
<b>FECHA</b>	02/02/2023				
<b>ENCARGADO</b>	CASTILLO INFANTE WINSTON FABRICIO				
<b>PESO DE MUESTRA</b>	5476,73	<b>LABORATORIO UTMACH</b>			
<b>GRANULOMETRIA</b>					
<b>SUBBASE CLASE 2</b>				<b>MATERIAL TRITURADO y CRIBADO</b>	
<b>MALLA</b>		<b>LI</b>	<b>LS</b>	<b>% PASA</b>	<b>PESO</b>
3"	76,200 m	-	-	-	-
2"	50,800 m	100	100	95	291,88 gr
1 1/2"	38,100 m	70	100	87	441,08 gr
N°4	4,790 m	30	70	51	1956,12 gr
N°40	0,425 m	15	40	17	1853,10 gr
N°200	0,075 m	0	20	2	819,40 gr
FONDO					114,50 gr
TOTAL					5476,08 gr
% ERROR					0,01 %



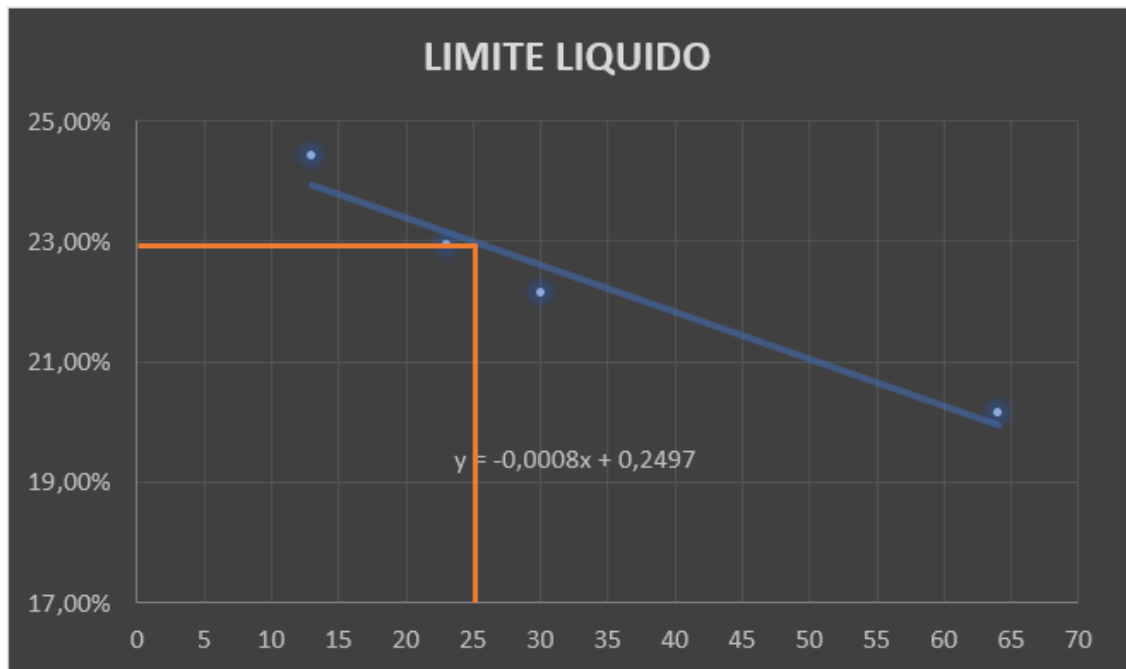
## LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS GRANULOMETRIA ESPECIFICACIONES MTOP

<b>PROYECTO</b>	REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO EN LA INTERSECCION DE LA VÍA BARBONES - TENDALES				
<b>MUESTRA</b>	M2				
<b>ABSCIZA</b>	0+000 - 0+032				
<b>PROFUNDIDAD</b>	0,50 m				
<b>FECHA</b>	02/02/2023				
<b>ENCARGADO</b>	CASTILLO INFANTE WINSTON FABRICIO				
<b>PESO DE MUESTRA</b>	5476,73	<b>LABORATORIO UTMACH</b>			
<b>GRANULOMETRIA</b>					
<b>SUBBASE CLASE 2</b>				<b>MATERIAL TRITURADO y CRIBADO</b>	
<b>MALLA</b>		<b>LI</b>	<b>LS</b>	<b>% PASA</b>	<b>PESO</b>
3"	76,200 m	100	100	100	0
N°4	4,790 m	30	70	51	2689,08 gr
N°200	0,075 m	0	20	2	2672,50 gr
FONDO					114,50 gr
TOTAL					5476,08 gr
% ERROR					0,01 %



### 5.8. Anexo 8: Limite liquido M1 -0.5 m

LIMITE LIQUIDO							
No Golpes	Cap Nombre	Wcap	Wcap+Shum	Wcap+Sseco	Wagua	Wss	%hum
64	E41	9,56	25,25	22,62	2,63	13,06	20,14%
30	R77	9,94	30,23	26,55	3,68	16,61	22,16%
23	R50	9,62	30,58	26,67	3,91	17,05	22,93%
13	R31A	9,58	31,63	27,3	4,33	17,72	24,44%

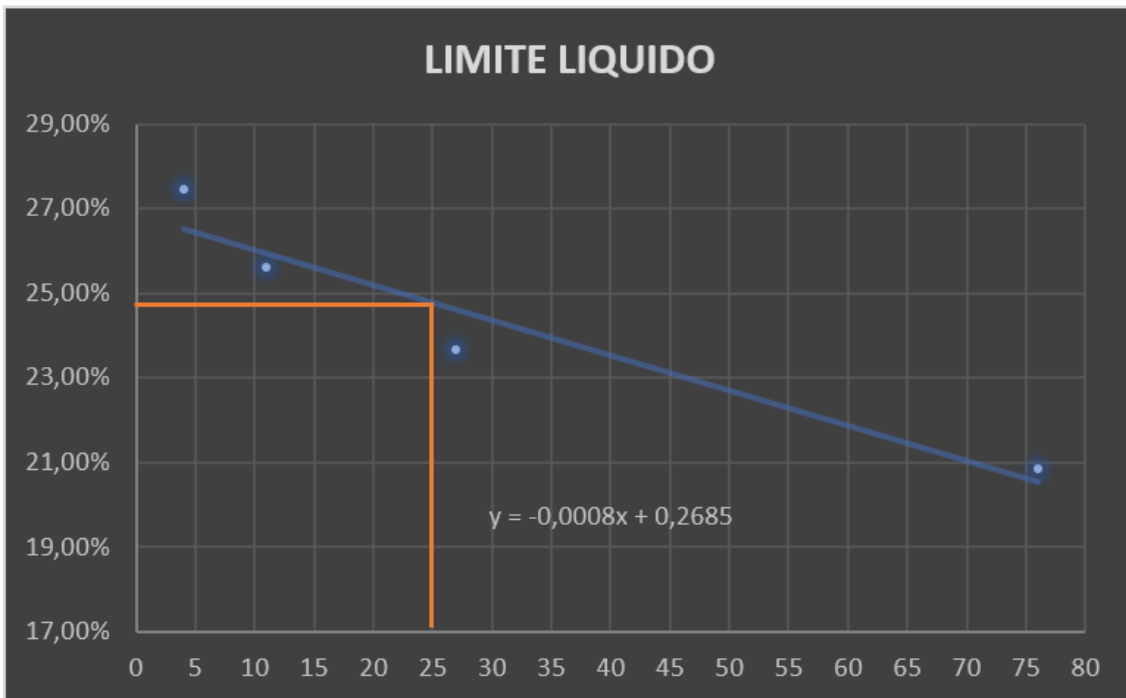


LIMITE PLASTICO						
Cap Nombre	Wcap	Wcap+Shum	Wcap+Sseco	Wagua	Wss	%hum
R117	9,6	11,17	10,88	0,29	1,28	22,66%
R160	9,68	11,29	10,99	0,3	1,31	22,90%
R14	9,64	10,8	10,6	0,2	0,96	20,83%
R91	9,51	10,86	10,66	0,2	1,15	17,39%

LP	20,95%
LL	22,97%
IP	2,02%

### 5.9. Anexo 9: Limite liquido M1 -1 m

LIMITE LIQUIDO							
No Golpes	Cap Nombre	Wcap	Wcap+Shum	Wcap+Sseco	Wagua	Wss	%hum
76	R33	9,65	38,96	33,9	5,06	24,25	20,87%
27	R73	9,57	26,82	23,52	3,3	13,95	23,66%
11	X50	9,65	34,65	29,55	5,1	19,9	25,63%
4	K14	9,71	24,71	21,48	3,23	11,77	27,44%



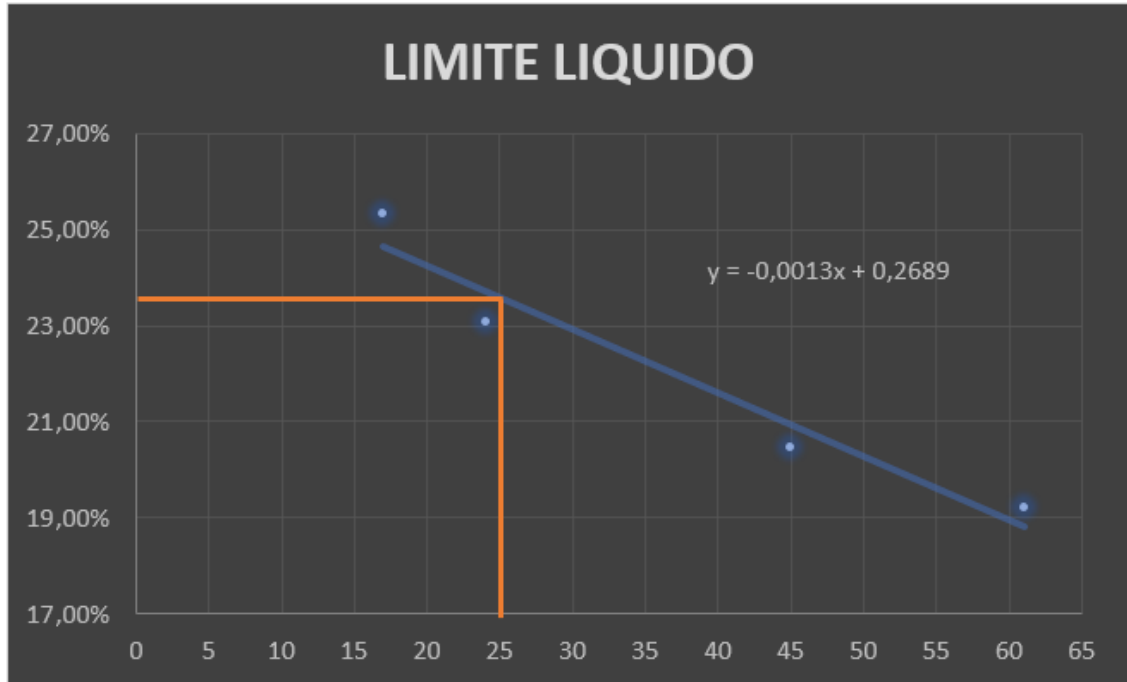
LIMITE PLASTICO						
Cap Nombre	Wcap	Wcap+Shum	Wcap+Sseco	Wagua	Wss	%hum
R63	9,64	11,21	10,93	0,28	1,29	21,71%
R470	9,56	11,36	11,06	0,3	1,5	20,00%
R5	9,82	11,5	11,22	0,28	1,4	20,00%
R4	9,6	10,63	10,45	0,18	0,85	21,18%

LP	20,72%
LL	24,85%
IP	4,13%



### 5.10. Anexo 10: Limite liquido M2 -0.5 m

LIMITE LIQUIDO							
No Golpes	Cap Nombre	Wcap	Wcap+Shum	Wcap+Sseco	Wagua	Wss	%hum
61	R22	9,59	27,6	24,7	2,9	15,11	19,19%
45	R45	9,87	32,7	28,82	3,88	18,95	20,47%
24	R54	9,87	32,7	28,42	4,28	18,55	23,07%
17	R96	9,59	27,6	23,96	3,64	14,37	25,33%

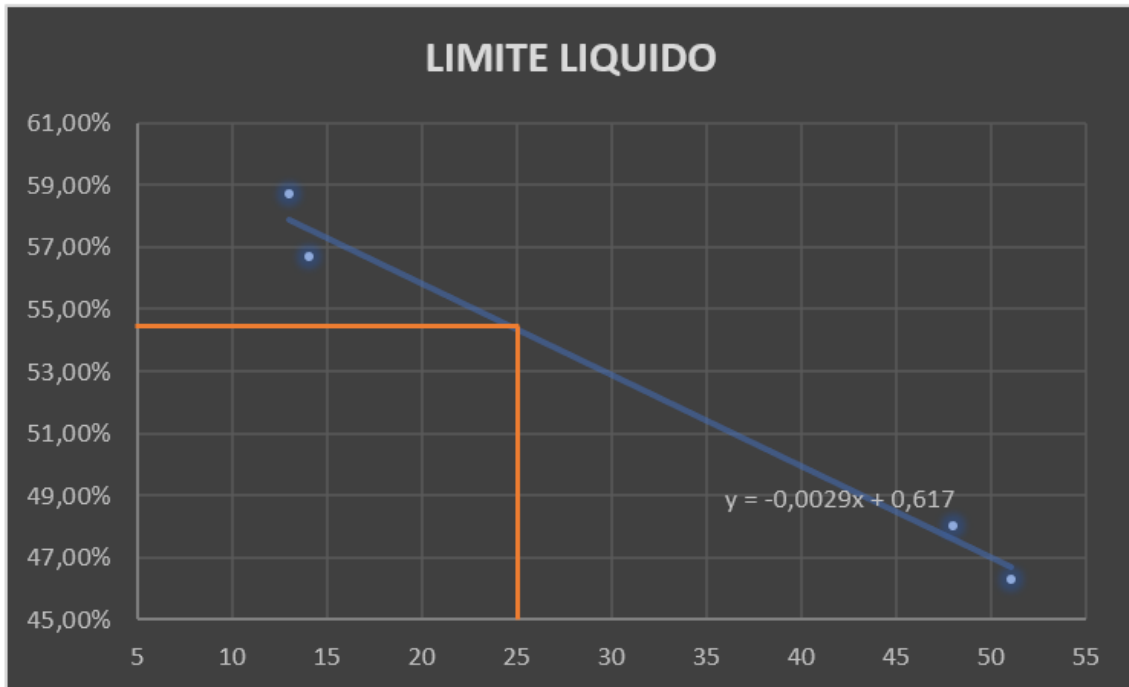


LIMITE PLASTICO						
Cap Nombre	Wcap	Wcap+Shum	Wcap+Sseco	Wagua	Wss	%hum
R118	9,73	10,93	10,72	0,21	0,99	21,21%
R71	9,58	11,16	10,9	0,26	1,32	19,70%
R14	9,69	10,98	10,77	0,21	1,08	19,44%
R48	9,67	10,86	10,66	0,2	0,99	20,20%

LP	20,14%
LL	23,64%
IP	3,50%

### 5.11. Anexo 11: Limite liquido M2 -1 m

LIMITE PLASTICO						
Cap Nombre	Wcap	Wcap+Shum	Wcap+Sseco	Wagua	Wss	%hum
R186	9,66	11,01	10,67	0,34	1,01	33,66%
R59X	9,56	11,04	10,66	0,38	1,1	34,55%
R132	9,6	10,47	10,25	0,22	0,65	33,85%
R20	9,63	10,76	10,48	0,28	0,85	32,94%



LIMITE PLASTICO						
Cap Nombre	Wcap	Wcap+Shum	Wcap+Sseco	Wagua	Wss	%hum
R186	9,66	11,01	10,67	0,34	1,01	33,66%
R59X	9,56	11,04	10,66	0,38	1,1	34,55%
R132	9,6	10,47	10,25	0,22	0,65	33,85%
R20	9,63	10,76	10,48	0,28	0,85	32,94%

LP	33,75%
LL	54,45%
IP	20,70%

**5.12. Anexo 12: Clasificación de suelos – M1-0.5m**

<b>GRANULOMETRIA</b>		
<b>MALLA</b>		<b>% QUE PASA</b>
N°10	2,000 mm	51,00 %
N°40	0,425 mm	29,00 %
N°200	0,075 mm	3,00 %
<b>SUELO GRUESO</b>		
Limite liquido		22,97%
Limite plastico		20,95%
Indice de plasticidad		2,02%
IG	0	

Clasificación General	Material Granular							Material limo arcillosos			
Grupos	A-1		A-2				A-3	A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupos	A-1a	A-1b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7					A-7-5
% pasante											
#10	50% máx										
#40	30% máx	50% máx					51% mín				
#200	15% máx	25% máx	35% máx	35% máx	35% máx	35% máx	10% máx	36% mín	36% mín	36% mín	36% mín
Características del material que pasa por el tamiz #40											
LL			40% máx	41% mín	40% máx	41% mín	N.P.	40% máx	41% mín	40% máx	41% mín
Ip	6% máx	6% máx	10% máx	10% máx	11% mín	11% mín		10% máx	10% máx	11% mín	11% mín
Ig	0	0	0	0	4 máx	4 máx	0	8 máx	12 máx	16 máx	20 máx
Tipo de material	Fragmentos pétreos de gravas y arenas		Gravas y arenas, limosas y arcillosas				Arena fina	Suelos limosos		Suelos arcillosos	

**5.13. Anexo 13: Clasificación de suelos – M1-1m**

<b>GRANULOMETRIA</b>		
<b>MALLA</b>		<b>% QUE PASA</b>
N°10	2,000 mm	43,00 %
N°40	0,425 mm	17,00 %
N°200	0,075 mm	2,00 %
<b>SUELO GRUESO</b>		
Limite liquido		24,85%
Limite plastico		20,72%
Indice de plasticidad		4,13%
IG	0	

Clasificación General	Material Granular							Material limo arcillosos				
	A-1		A-2				A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	
Grupos	A-1a	A-1b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7					A-7-5	
Subgrupos	A-1a	A-1b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7-6	
% pasante												
#10	50% máx											
#40	30% máx	50% máx					51% mín					
#200	15% máx	25% máx	35% máx	35% máx	35% máx	35% máx	10% máx	36% mín	36% mín	36% mín	36% mín	
Características del material que pasa por el tamiz #40												
LL			40% máx	41% mín	40% máx	41% mín	N.P.	40% máx	41% mín	40% máx	41% mín	
Ip	6% máx	6% máx	10% máx	10% máx	11% mín	11% mín		10% máx	10% máx	11% mín	11% mín	
Ig	0	0	0	0	4 máx	4 máx	0	8 máx	12 máx	16 máx	20 máx	
Tipo de material	Fragmentos pétreos de gravas y arenas		Gravas y arenas, limosas y arcillosas				Arena fina	Suelos limosos		Suelos arcillosos		

**5.14. Anexo 14: Clasificación de suelos – M2-0.5m**

<b>GRANULOMETRIA</b>		
<b>MALLA</b>		<b>% QUE PASA</b>
N°10	2,000 mm	42,00 %
N°40	0,425 mm	17,00 %
N°200	0,075 mm	2,00 %
<b>SUELO GRUESO</b>		
Limite liquido		23,64%
Limite plastico		20,14%
Indice de plasticidad		3,50%
<b>IG</b>	<b>0</b>	


Clasificación General	Material Granular							Material limo arcillosos				
	A-1		A-2				A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	
Grupos	A-1a	A-1b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7					A-7-5	A-7-6
Subgrupos	A-1a	A-1b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7-5	A-7-6
% pasante												
#10	50% máx											
#40	30% máx	50% máx					51% mín					
#200	15% máx	25% máx	35% máx	35% máx	35% máx	35% máx	10% máx	36% mín	36% mín	36% mín	36% mín	36% mín
Características del material que pasa por el tamiz #40												
LL			40% máx	41% mín	40% máx	41% mín	N.P.	40% máx	41% mín	40% máx	41% mín	41% mín
lp	6% máx	6% máx	10% máx	10% máx	11% mín	11% mín		10% máx	10% máx	11% mín	11% mín	11% mín
lg	0	0	0	0	4 máx	4 máx	0	8 máx	12 máx	16 máx	20 máx	20 máx
Tipo de material	Fragmentos pétreos de gravas y arenas		Gravas y arenas, limosas y arcillosas				Arena fina	Suelos limosos		Suelos arcillosos		

### 5.15. Anexo 15: Clasificación de suelos – M2-1m

GRANULOMETRIA		
MALLA		% QUE PASA
N°10	2,000 mm	100,00 %
N°40	0,425 mm	99,08 %
N°200	0,075 mm	98,38 %
SUELO GRUESO		
Limite liquido		54,45%
Limite plastico		33,75%
Indice de plasticidad		20,70%
IG	26	

Clasificación General	Material Granular							Material limo arcillosos				
	A-1		A-2				A-3	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6	
Subgrupos	A-1a	A-1b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7						
% pasante #10 #40 #200	50% máx 30% máx 15% máx	50% máx 25% máx	35% máx	35% máx	35% máx	35% máx	51% mín 10% máx	36% mín	36% mín	36% mín	36% mín	
Características del material que pasa por el tamiz #40 LL Ip I <sub>g</sub>	6% máx	6% máx	40% máx 10% máx	41% mín 10% máx	40% máx 11% mín	41% mín 11% mín	N.P. 0	40% máx 10% máx	41% mín 10% máx	40% máx 11% mín	41% mín 11% mín 20 máx	
Tipo de material	Fragmentos pétreos de gravas y arenas		Gravas y arenas, limosas y arcillosas				Arena fina	Suelos limosos		Suelos arcillosos		

### 5.16. Anexo 16: Evaluación PCI.

RANGOS DE CALIFICACIÓN DEL PCI		
PCI	CLASIFICACIÓN	COLOR
86-100	EXCELENTE	
71-85	MUY BUENO	
56-70	BUENO	
41-55	REGULAR	
26-40	POBRE	
11-25	MUY POBRE	
0-10	FALLADO	









































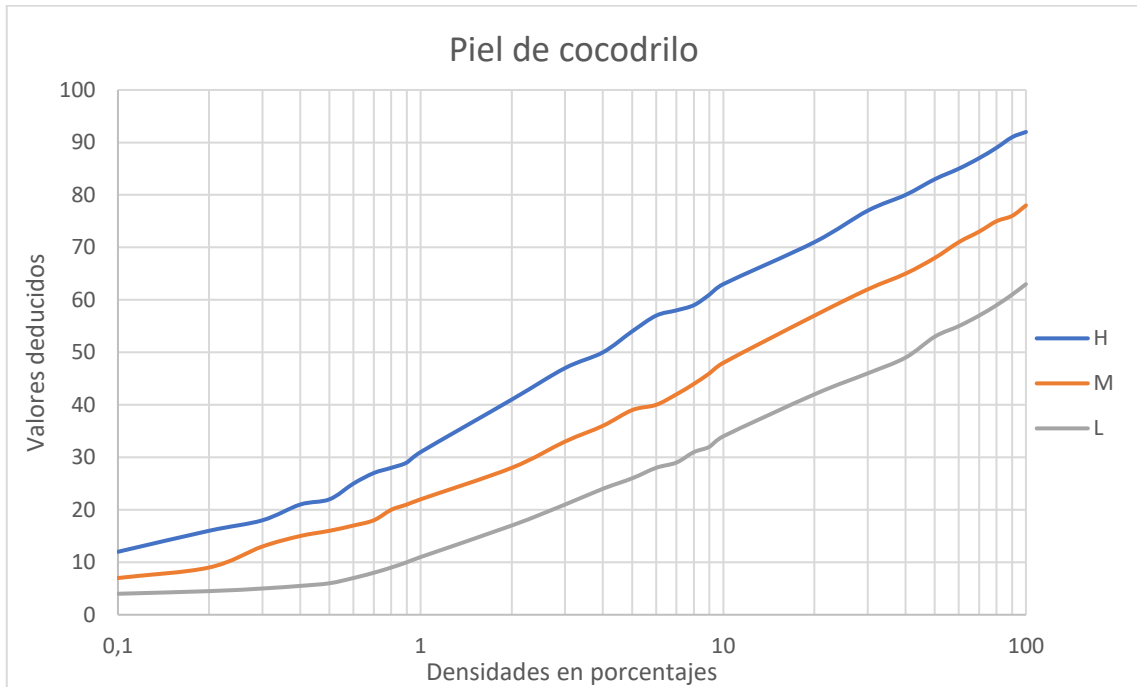
**TRAMO 18:**

		<b>UNIVERSIDAD TECNICA DE MACHALA</b> <b>TESIS DE GRADO DE INGENIERIA CIVIL</b>											
EVALUACION DEL INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI)													
<b>Via :</b>	Vía Barbones - Tendales hasta la comuna de Bajo Alto	<b>Evaluado por :</b>	Castillo Infante Winston Fabricio										
<b>Fecha :</b>	10/01/2023	<b>Revisado por :</b>	Ing. Carlos Sanchez Msc										
<b>Tipo de Pavimento:</b>	Pavimento Flexible-Carpeta Asfáltica	<b>Abscisa inicial:</b>	5+984	<b>Abscisa final:</b>	6+016								
		<b>Area de tramo (m2) :</b>	230,02		<b>N° de Tramo</b>	18							
Tipos de fallas		Unidad	Tipos de fallas				Unidad						
1	Piel de cocodrilo.	m2	11	Parcheo.				m2					
2	Exudación.	m2	12	Pulimento de agregados.				m2					
3	Agrietamiento en bloque.	m2	13	Huecos.				N°					
4	Abultamientos y hundimientos.	m	14	Cruce de via férrea.				m2					
5	Corrugación.	m2	15	Ahuellamiento.				m2					
6	Depresión.	m2	16	Desplazamiento.				m2					
7	Grieta de borde.	m	17	Grieta parabolica (slippage).				m2					
8	Grieta de reflexión de junta.	m	18	Hinchariento.				m2					
9	Desnivel carril/espaldón.	m	19	Desprendimientos de agregados.				m2					
10	Grietas Longitudinal y/o Transversal.	m											
INVENTARIO DE FALLAS EXISTENTES													
Falla		Unidad	Severidad	Largo m	Ancho m	Prof. m	Total						
Grieta de borde.		m	H	8,400			8,400						
Huecos.		N°	L	4,000			4,000						
Grieta de borde.		m	H	7,100			7,100						
Grieta de borde.		m	M	6,800			6,800						
Grieta de borde.		m	H	8,500			8,500						
Parcheo.		m2	M	0,530	3,800		2,014						
							36,814						
VALORES DEDUCIDOS DE FALLAS EXISTENTES													
Falla		Unidad	Severidad	Total	Densidad (d%)	VD	VDT MAX	q					
Grieta de borde.		m	M	6,80	2,96 %	8	29	4					
Grieta de borde.		m	H	24,00	10,43 %	25							
Parcheo.		m2	M	2,01	0,88 %	9							
Huecos.		N°	L	4,00	1,74 %	29							
							m	7,52					
CALCULO DEL PCI													
NRO	VALORES DEDUCIDOS										TDV	q	CDV
1	29	25	9	8							71	4	41
2	29	25	9	2							65	3	42
3	29	25	2	2							58	2	43
4	29	2	2	2							35	1	35
												CDV MAX	43
												PCI	57
												CLASIFICACIÓN	
												<b>BUENO</b>	

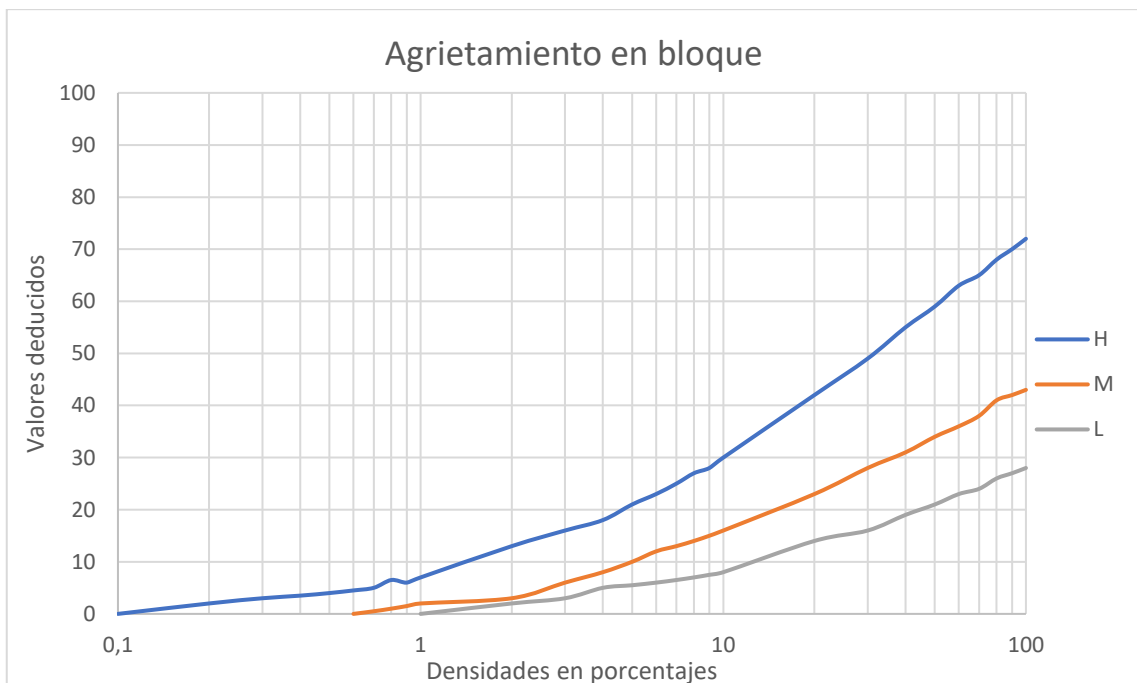


## 5.17. Anexo 17: Graficas utilizadas para la determinación de los valores del PCI.

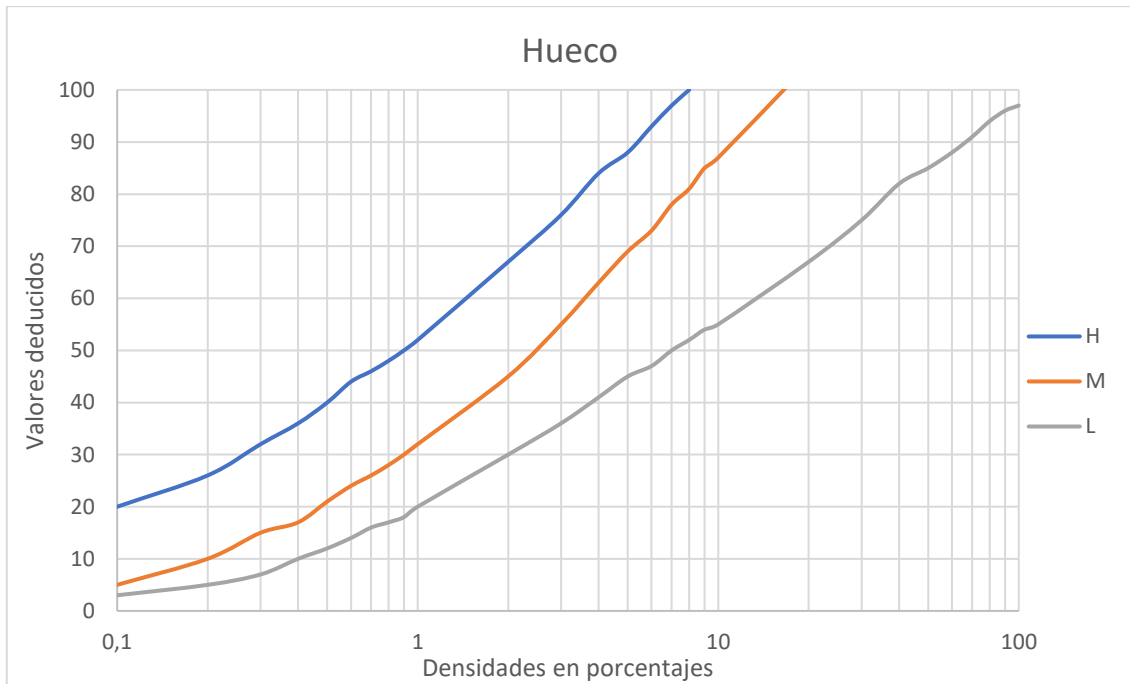
### Piel de cocodrilo



### Agrietamiento en bloque.



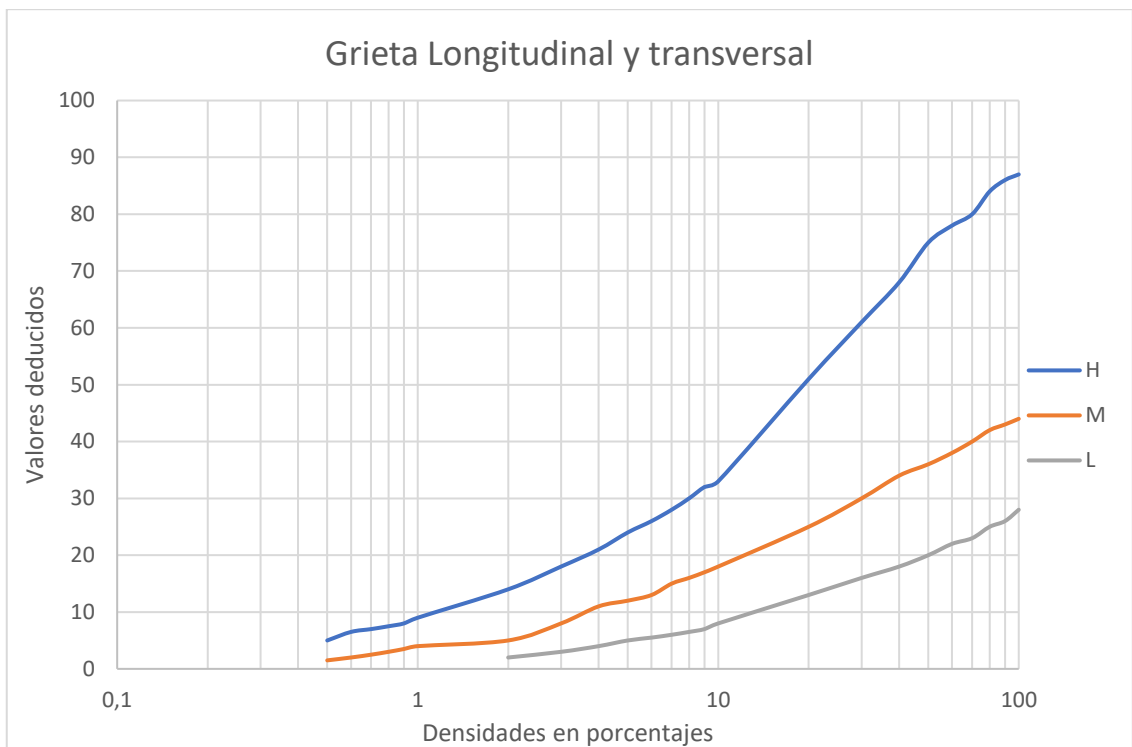
## Hueco.



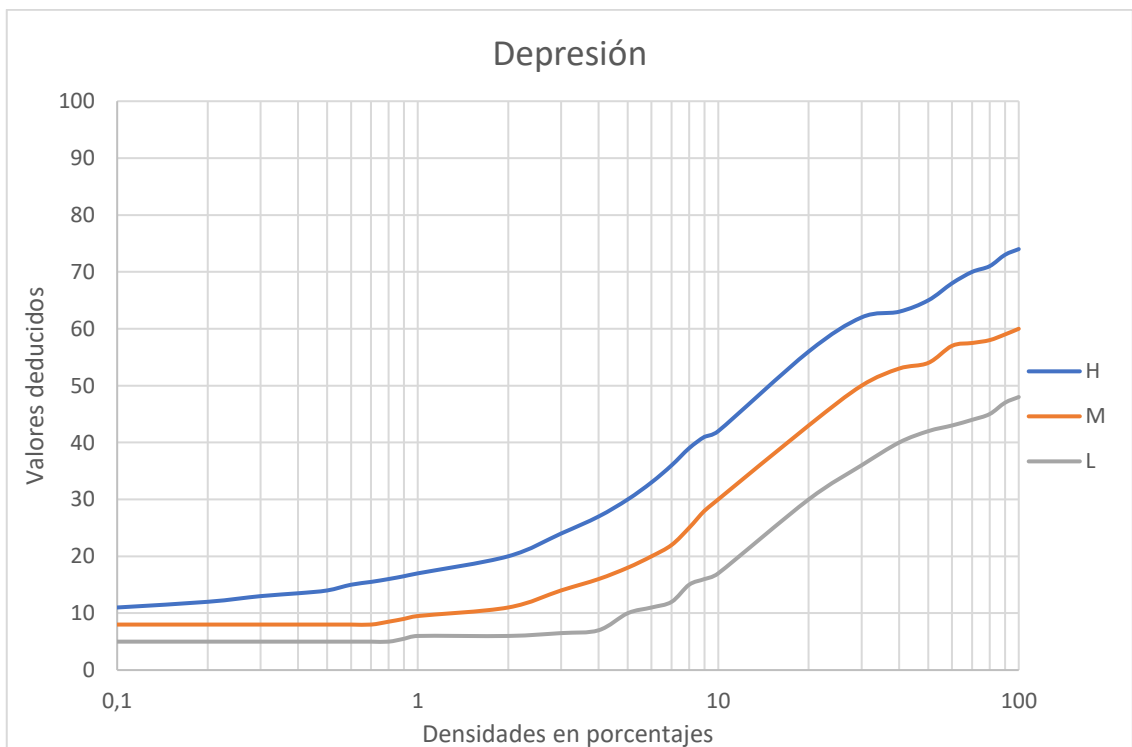
## Abultamiento y hundimiento.



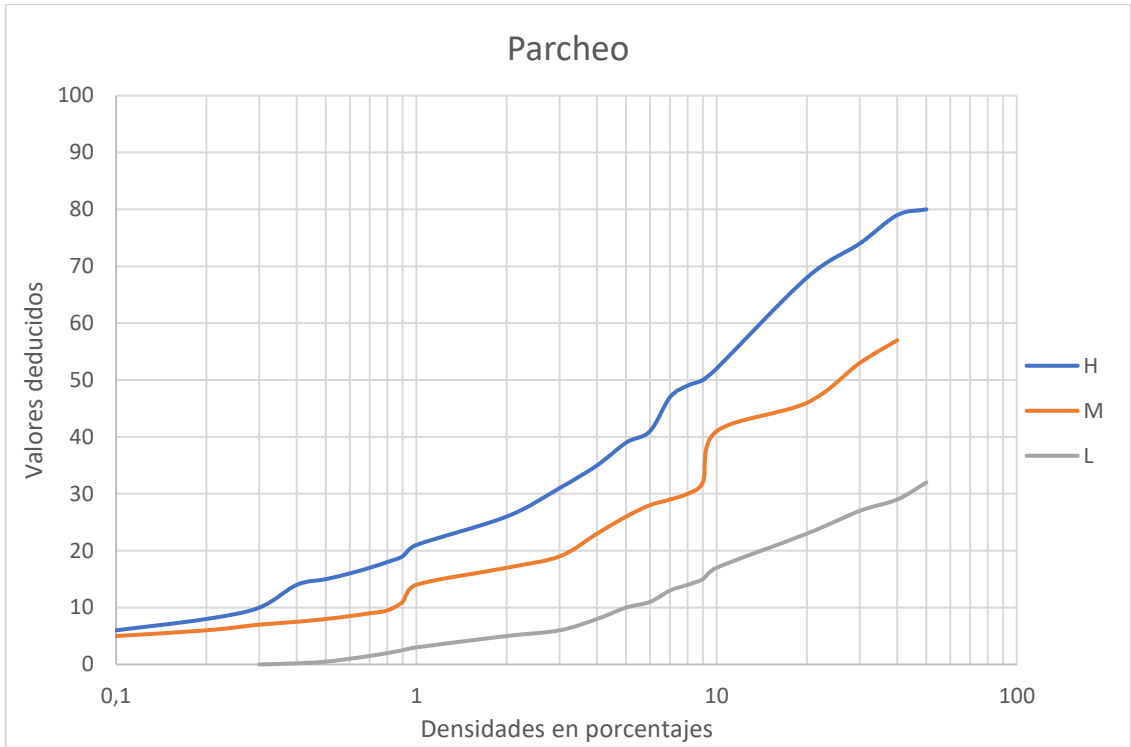
### Grieta longitudinal y transversal.



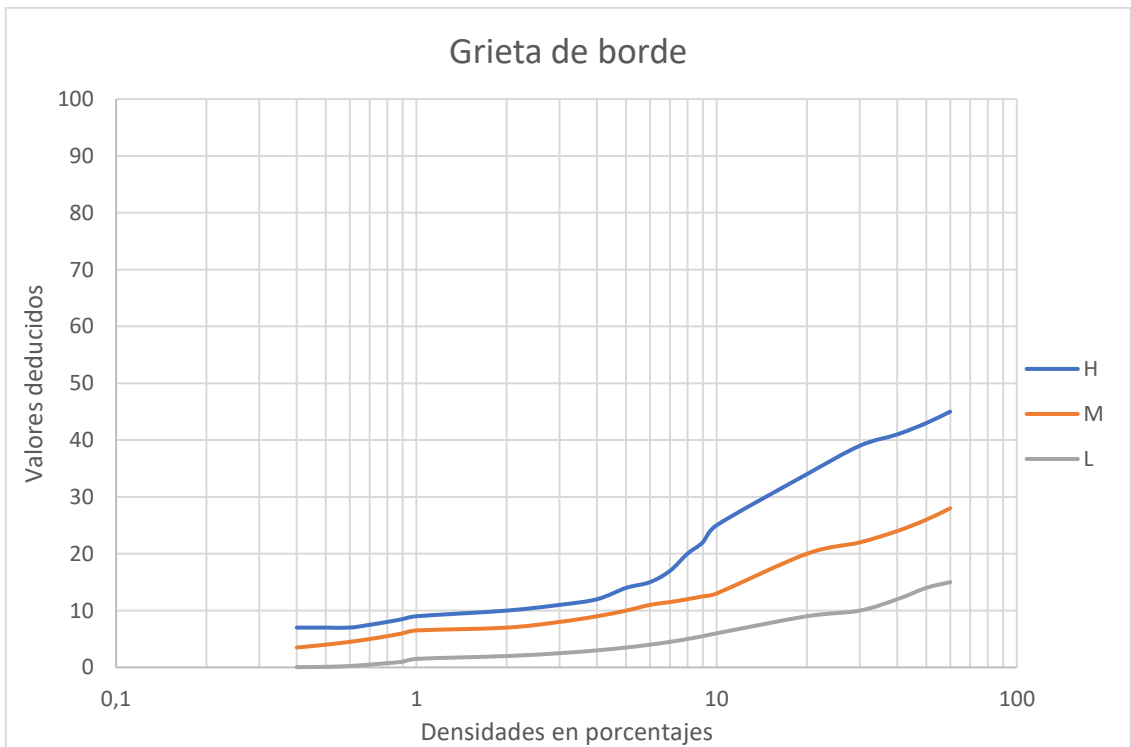
### Depresión.



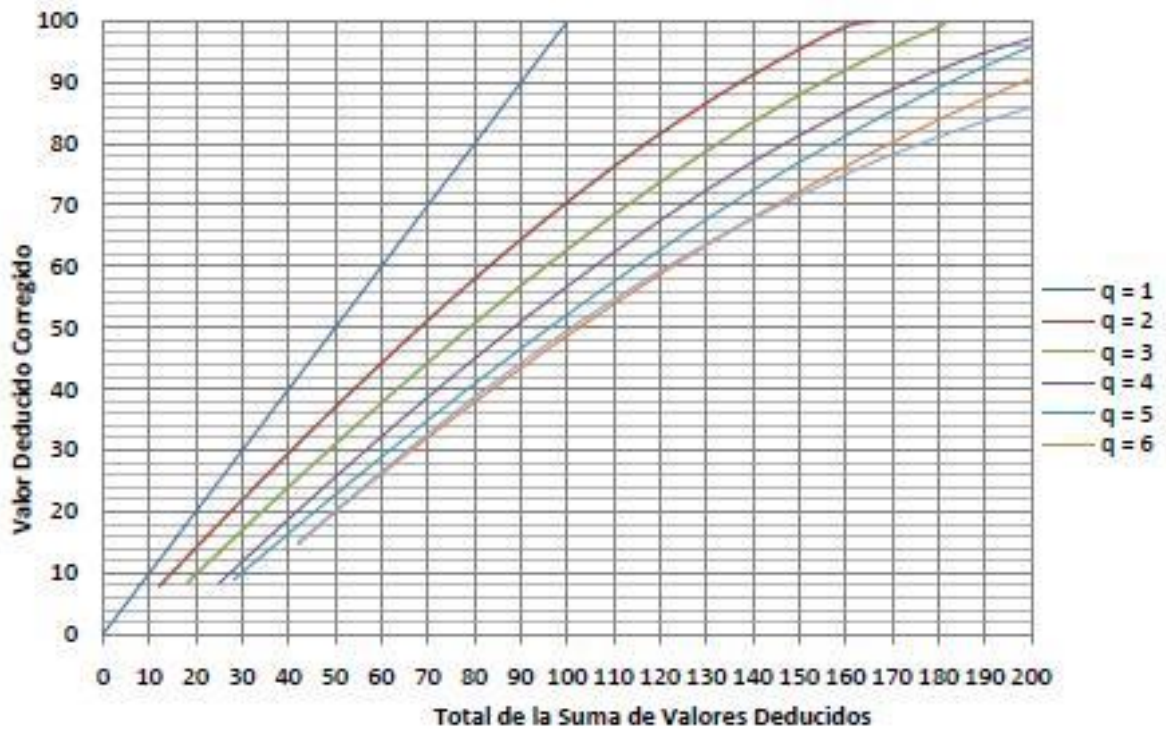
### Parqueo.



### Grieta de borde.



**Valores deducidos corregidos.**

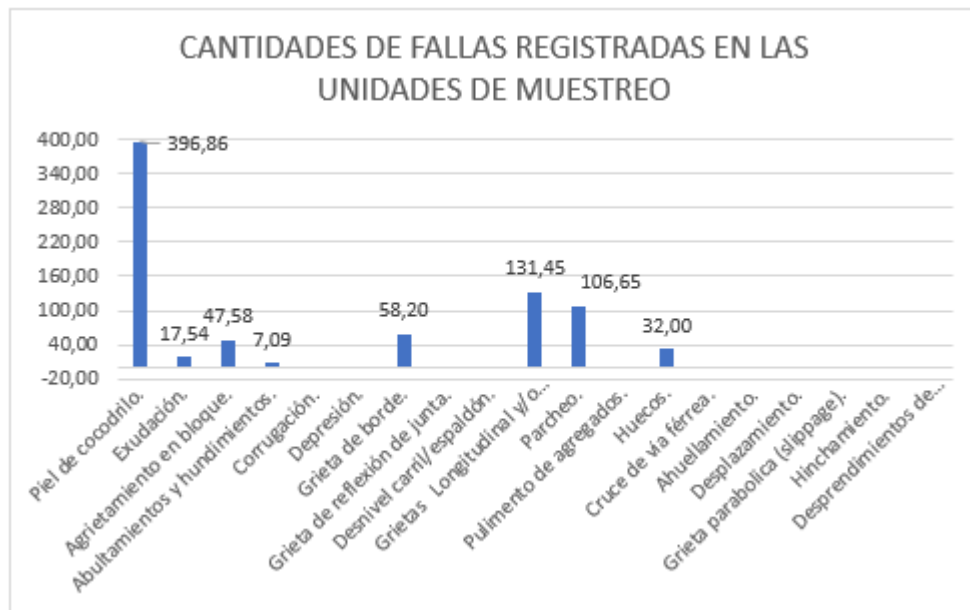


**5.18. Anexo 18: Fallas registradas.**

<b>CANTIDADES DE FALLAS REGISTRADAS EN LAS UNIDADES DE MUESTREO</b>			
<b>ITEM</b>	<b>TIPO DE FALLA</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
1	Piel de cocodrilo.	m <sup>2</sup>	396,86
2	Exudación.	m <sup>2</sup>	17,54
3	Agrietamiento en bloque.	m <sup>2</sup>	47,58
4	Abultamientos y hundimientos.	m	7,09
5	Corrugación.	m <sup>2</sup>	0,00
6	Depresión.	m <sup>2</sup>	0,00
7	Grieta de borde.	m <sup>2</sup>	58,20
8	Grieta de reflexión de junta.	m	0,00
9	Desnivel carril/espaldón.	m	0,00
10	Grietas Longitudinal y/o Transversal.	m	131,45
11	Parcheo.	m <sup>2</sup>	106,65
12	Pulimento de agregados.	m <sup>2</sup>	0,00
13	Huecos.	N°	32,00
14	Cruce de vía férrea.	m <sup>2</sup>	0,00
15	Ahuellamiento.	m <sup>2</sup>	0,00
16	Desplazamiento.	m <sup>2</sup>	0,00

17	Grieta parabolica (slippage).	m <sup>2</sup>	0,00
18	Hinchamiento.	m <sup>2</sup>	0,00
19	Desprendimientos de agregados.	m <sup>2</sup>	0,00

<b>DISTRIBUCIÓN DE FALLAS EN LAS UNIDADES DE MUESTREO</b>			
<b>ITEM</b>	<b>TIPO DE FALLA</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
1	Piel de cocodrilo.	m <sup>2</sup>	396,86
2	Exudación.	m <sup>2</sup>	17,54
3	Agrietamiento en bloque.	m <sup>2</sup>	47,58
4	Abultamientos y hundimientos.	m	7,09
7	Grieta de borde.	m <sup>2</sup>	58,20
10	Grietas Longitudinal y/o Transversal.	m	131,45
11	Parcheo.	m <sup>2</sup>	106,65
13	Huecos.	N°	32,00

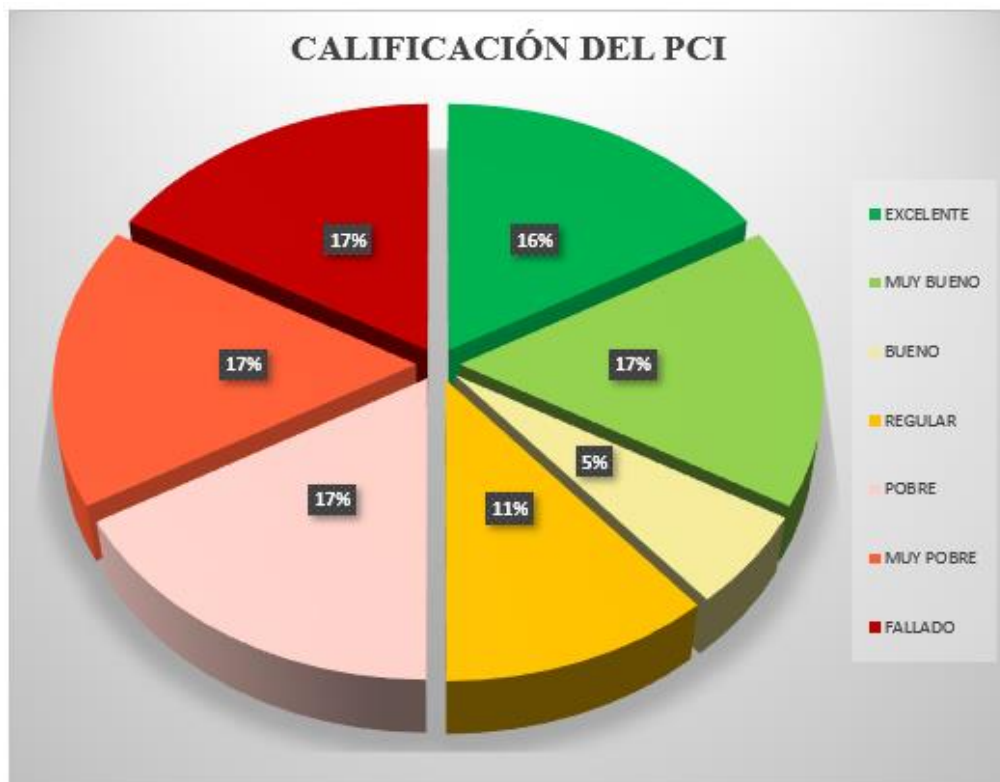




#### 5.19. Anexo 19: Resultados de la evaluación PCI.

RESULTADOS OBTENIDOS						
TRAMO	ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL	ÁREA DE TRAMO	PCI	CALIFICACIÓN	SIMBOLOGÍA
1	0+0	0+032	230,02	2	FALLADO	
2	0+352	0+384	230,02	22	MUY PROBE	
3	0+704	0+736	230,02	11	MUY PROBE	
4	1+056	1+088	230,02	9	FALLADO	
5	1+408	1+440	230,02	33	POBRE	
6	1+760	1+792	230,02	78	MUY BUENO	
7	2+112	2+144	230,02	88	EXCELENTE	
8	2+464	2+496	230,02	88	EXCELENTE	
9	2+816	2+848	230,02	46	REGULAR	
10	3+168	2+200	230,02	93	EXCELENTE	
11	3+520	2+552	230,02	10	FALLADO	
12	3+872	3+904	230,02	52	REGULAR	
13	4+224	4+256	230,02	74	MUY BUENO	
14	4+576	4+608	230,02	76	MUY BUENO	
15	4+928	4+960	230,02	38	POBRE	
16	5+280	5+312	230,02	21	MUY POBRE	
17	5+632	5+664	230,02	40	POBRE	
18	5+984	6+016	230,02	57	BUENO	
PROMEDIO				47	REGULAR	

RANGOS DE CALIFICACIÓN DEL PCI		
PCI	CLASIFICACIÓN	COLOR
EXCELENTE	690,06	
MUY BUENO	690,06	
BUENO	230,02	
REGULAR	460,04	
POBRE	690,06	
MUY POBRE	690,06	
FALLADO	690,06	
TOTAL DE AREA	4140,36	



**5.20. Anexo 20: Cálculo de precipitación. - INAMHI - ESTACIÓN M0185 – PAGUA.**

2013



M0185 MACHALA-UTM - PAGUA INAMHI																			
MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)						HUMEDAD RELATIVA (%)			PUNTO DE ROCIO (°C)	TENSION DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACION(mm)		Número de días con precipitación				
		ABSOLUTAS		M E D I A S		Mensual	Máxima día	Mínima día	Máxima día	Mínima día			Media	Mensual		Máxima en 24hrs día			
		Máxima	Mínima	Máxima	Mínima														
ENERO		29.8	22.5	26.2			95	25.3	32.4	190.7									
FEBRERO		32.5	11	21.5	17	30.8	22.5	26.7		95	25.7	33.3	104.8						
MARZO		32.5	7	21.5	25	30.7	23.0	26.8	100	16	81	7	95	25.9	33.6	250.1	50.0	18	18
ABRIL				21.5	14	31.2	22.4	26.8	100	3	82	29	95	26.0	33.8	30.6	9.6	4	7
MAYO						28.4	22.0	25.1			89	23.1	28.3	16.4	4.2	20	9		
JUNIO		30.0	23			25.6	21.2	23.3	100	1	74	23	93	22.1	26.7	63.4	6.3	2	24
JULIO						24.8	20.2	22.3			92	21.0	24.9	43.5	4.7	25	23		
AGOSTO						26.1	20.1	22.5			91	20.9	24.8	67.0	8.9	28	24		
SEPTIEMBRE						27.3	20.5	23.3	100	24	68	21	89	21.2	25.2	26.4			
OCTUBRE						25.2	21.0	23.0			91	21.5	25.6	70.9					
NOVIEMBRE						26.4	21.1	23.5	100	6	72	9	88	21.4	25.5	38.1	7.7	23	15
DICIEMBRE						30.1	21.8	25.7	98	10	55	2	82	22.2	26.9	3.5			
VALOR ANUAL						28.0	21.5	24.6			91	23.0	28.4	905.4					

2012

M0185 MACHALA-UTM - PAGUA INAMHI																			
MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)						HUMEDAD RELATIVA (%)			PUNTO DE ROCIO (°C)	TENSION DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACION(mm)		Número de días con precipitación				
		ABSOLUTAS		M E D I A S		Mensual	Máxima día	Mínima día	Máxima día	Mínima día			Media	Mensual		Máxima en 24hrs día			
		Máxima	Mínima	Máxima	Mínima														
ENERO						30.2	22.5	26.8			89	23.8	29.7	28.0	8.8	23	10		
FEBRERO						28.2	21.9	24.9			89	23.0	28.2	42.2	12.8	2	11		
MARZO						27.0	21.1	23.8			95	22.7	27.7	47.4					
ABRIL						27.3	20.9	23.9			90	22.1	28.8	10.1					
MAYO						26.9	20.4	23.2	100	1	78	12	97	22.6	27.5	48.1	8.5	23	19
JUNIO						27.7	21.0	23.9			97	23.5	29.0	35.9	10.6	2	15		
JULIO						29.7	21.9	25.2			95	24.4	30.7	38.4					
AGOSTO																			
SEPTIEMBRE																			
OCTUBRE																			
NOVIEMBRE																			
DICIEMBRE																			
VALOR ANUAL																			

2011

M0185 MACHALA-UTM - PAGUA INAMHI																			
MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)						HUMEDAD RELATIVA (%)			PUNTO DE ROCIO (°C)	TENSION DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACION(mm)		Número de días con precipitación				
		ABSOLUTAS		M E D I A S		Mensual	Máxima día	Mínima día	Máxima día	Mínima día			Media	Mensual		Máxima en 24hrs día			
		Máxima	Mínima	Máxima	Mínima														
ENERO		33.0	19			30.2	22.7	25.9	97	5	53	19	82	22.4	27.1	122.0	23.2	26	18
FEBRERO						30.6	23.1	26.3			81	22.6	27.4	247.3	95.6	4	14		
MARZO						32.0	23.1	26.8			77	22.1	26.6	54.2					
ABRIL		32.5	2			30.8	23.2	26.4			84	23.2	28.4	426.8	149.6	11	23		
MAYO																			
JUNIO						28.9	20.2	24.5			89	22.5	27.2	34.0	6.6	24	19		
JULIO						26.8	16.7	23.6			92	22.1	26.7	70.2	20.0	2	25		
AGOSTO						25.8	14.6	22.6			91	21.1	25.0	58.0	6.4	24	27		
SEPTIEMBRE											89	20.9	24.7	36.3	4.7	20	25		
OCTUBRE						25.9		22.2			89	20.3	23.8	34.5	7.4	12	20		
NOVIEMBRE						27.9	18.8	23.4			88	20.8	24.6	35.2	6.0	13	18		
DICIEMBRE						30.1	17.3	25.1			93	23.9	29.9	20.6	6.2	24	17		
VALOR ANUAL																			

MES	TEMPERATURA		
	2013	2012	2,11
Enero	26,2		25,9
Febrero	26,7		26,3
Marzo	26,8		26,8
Abril	26,8		26,4
Mayo	25,1		
Junio	23,3	25,8	24,5
Julio	22,3	24,9	23,6
Agosto	22,5	23,6	22,6
Septiembre	23,3	23,9	22,9
Octubre	23	23,2	22,2
Noviembre	23,5	23,9	23,4
Diciembre	25,7	25,2	25,1
PROMEDIO	24,60	24,36	24,52

ESTACIÓN M0185 - PAGUA		
AÑO	TEMPERATURA	DÍAS DE LLUVIA
2013	24,6	120 Días
2012	24,36	55 Días
2011	24,52	206 Días
PROMEDIO	24,5	127 Días

### 5.21. Anexo 21: Diseño de pavimento flexible.

DATOS	
Autopista interurbana nueva, de primera importancia	
Ejes equivalentes de 8.2 ton	8761262
CBR subrasante	2,63 %
Tempereatura	24,5 °C
Dias promedio de lluvia al año	127
Velocidad media de circulación	60 km/h
Calidad de drenaje	Regular
Espesor de capa asfáltica	100 mm
Escoga el tipo de constr.	Construcción nueva
Tipo de pavimento	Flexible

### 1. Determinación de parámetros de confiabilidad

Confiabilidad (R)	Desviación normal estandar	Error normal combinado (So)	Serviciabilidad inicial	Serviciabilidad final
90 %	-1,282	0,45	4,2	2

### 2-3. Cálculo del índice de servicio y módulo resiliente

<i>CBR</i>	2,63 %
$\Delta PSI$	2,2
<i>Mr</i>	3945 psi

### 4. Cálculo del módulo resiliente y el coeficiente de la base y subbase

Capa	CBR	Mr(psi)	Coficiente estructural
<i>Base granular</i>	100 %	30000	a2= 0,1378
<i>Sub-base granular</i>	40 %	17000	a3= 0,1213

### 5. Cálculo del módulo resiliente de la mezcla asfáltica

<i>f</i>	10,00 Hz
<i>Ts</i>	36°C

### Cálculo de coeficiente estructural

<i>EI</i>	5000 Mpa
	725190 psi
<i>aI</i>	0,528

### 6. Cálculo de los coeficientes de drenaje

<i>% días lluvia</i>	34,79 %
<i>% de servicio.</i>	>25%
<i>Característica.</i>	Regular
<i>m2=m3=</i>	0,8

### 7. Cálculo del número estructural requerido por la capa asfáltica

<i>Log(W18)</i>	6,943
<i>Formula</i>	6,943
<i>SN1</i>	2,836

CALCULAR SN1

### 8. Cálculo del espesor de la capa asfáltica

<i>h1</i>	5,37 in
<i>h1 asumido</i>	5,50 in
<i>SN1</i>	2,905

### 9. Cálculo del número estructural requerido por la base granular

<i>Log(W18)</i>	6,943
<i>Formula</i>	6,943
<i>SN2</i>	3,460

CALCULAR SN2

### 10. Cálculo del espesor de la base granular

<i>h2=</i>	5,0 in
<i>h2 asumido</i>	6,0 in
<i>SN2</i>	3,57

11. Cálculo del número estructural requerido por la sub-base granular

Log(W18)	6,943
Formula	6,943
<b>SN3</b>	<b>5,548</b>

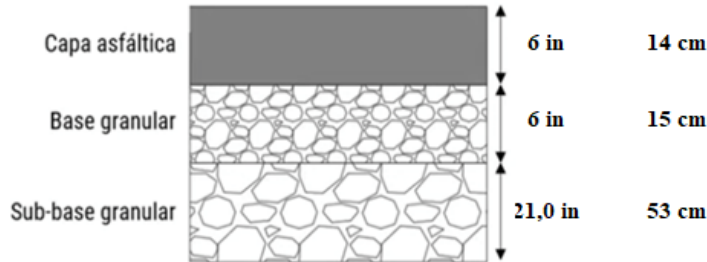
CALCULAR SN3

PRESIONA EL BOTÓN

12. Cálculo del espesor de la sub-base granular

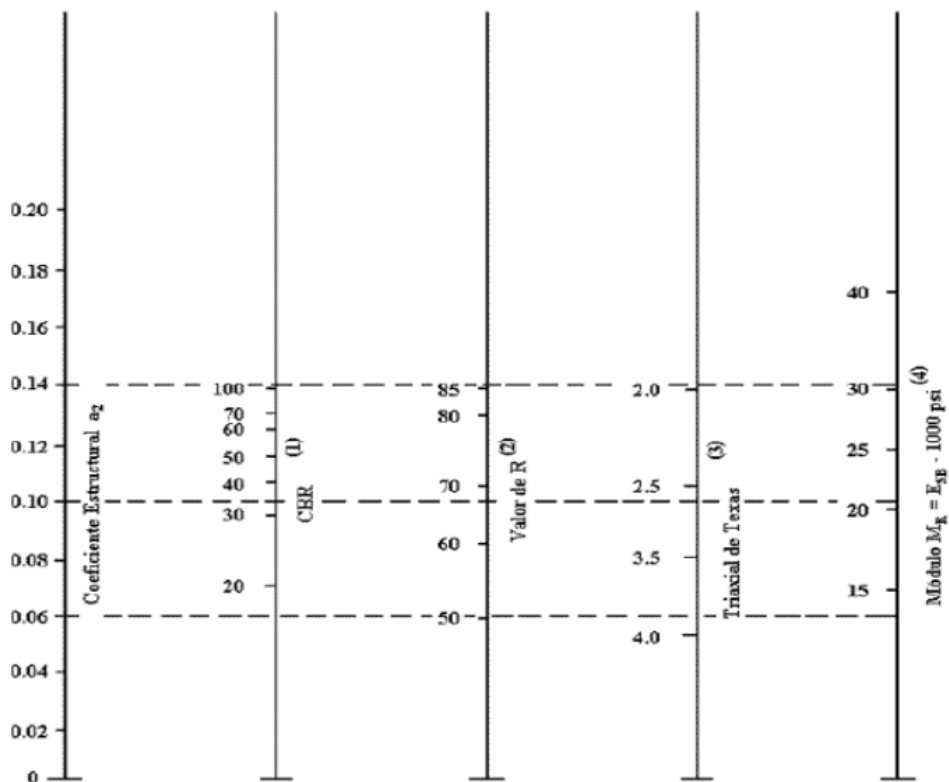
h3=	20,4 in
h3 asumido	21,0 in

53,34



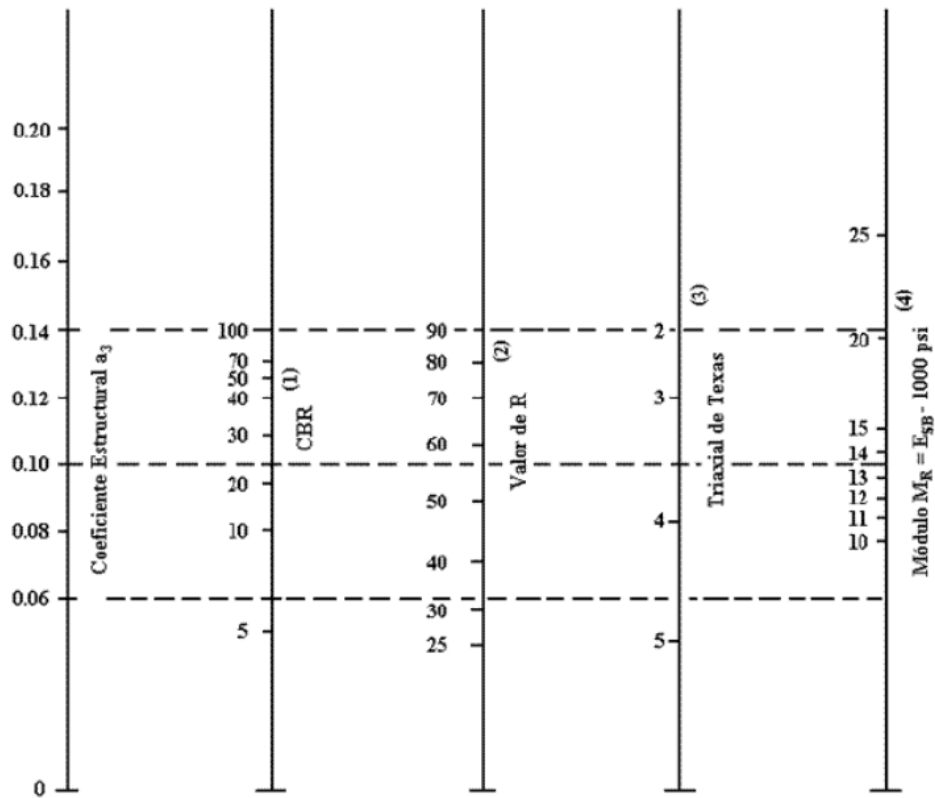
5.22. Anexo 22: Abacos para encontrar coeficientes estructurales.

Ábaco para valorar el coeficiente estructural de capas - bases granulares (a2)



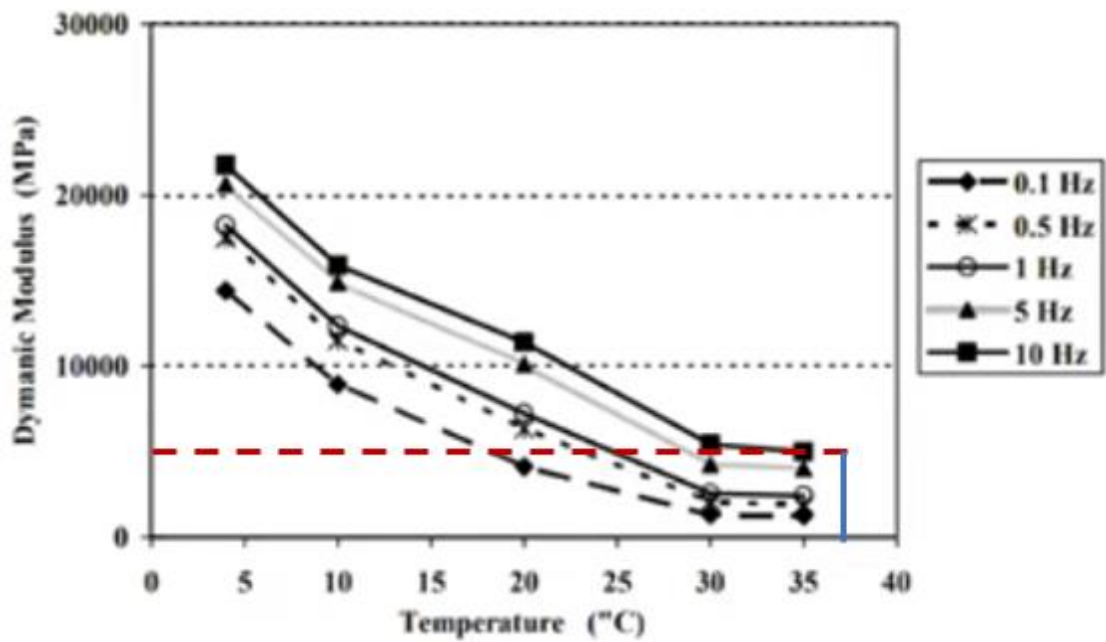
- (1) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Illinois.
- (2) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de California, Nuevo Mexico y Wyoming.
- (3) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Texas.
- (4) Escala derivada del proyecto NCHRP (3)

Ábaco para valorar el coeficiente estructural de capas de subbases (a3).



- (1) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Illinois.
- (2) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de California, Nuevo Mexico y Wyoming.
- (3) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Texas.
- (4) Escala derivada del proyecto NCHRP (3)

Ábaco para valorar el coeficiente estructural de la carpeta asfáltica (a1).



**5.23. Anexo 23: Recolección de datos en campo.**







## 5.24. Anexo 24: Recolección de muestras.

### MUESTRA 2.





**MUESTRA 1.**





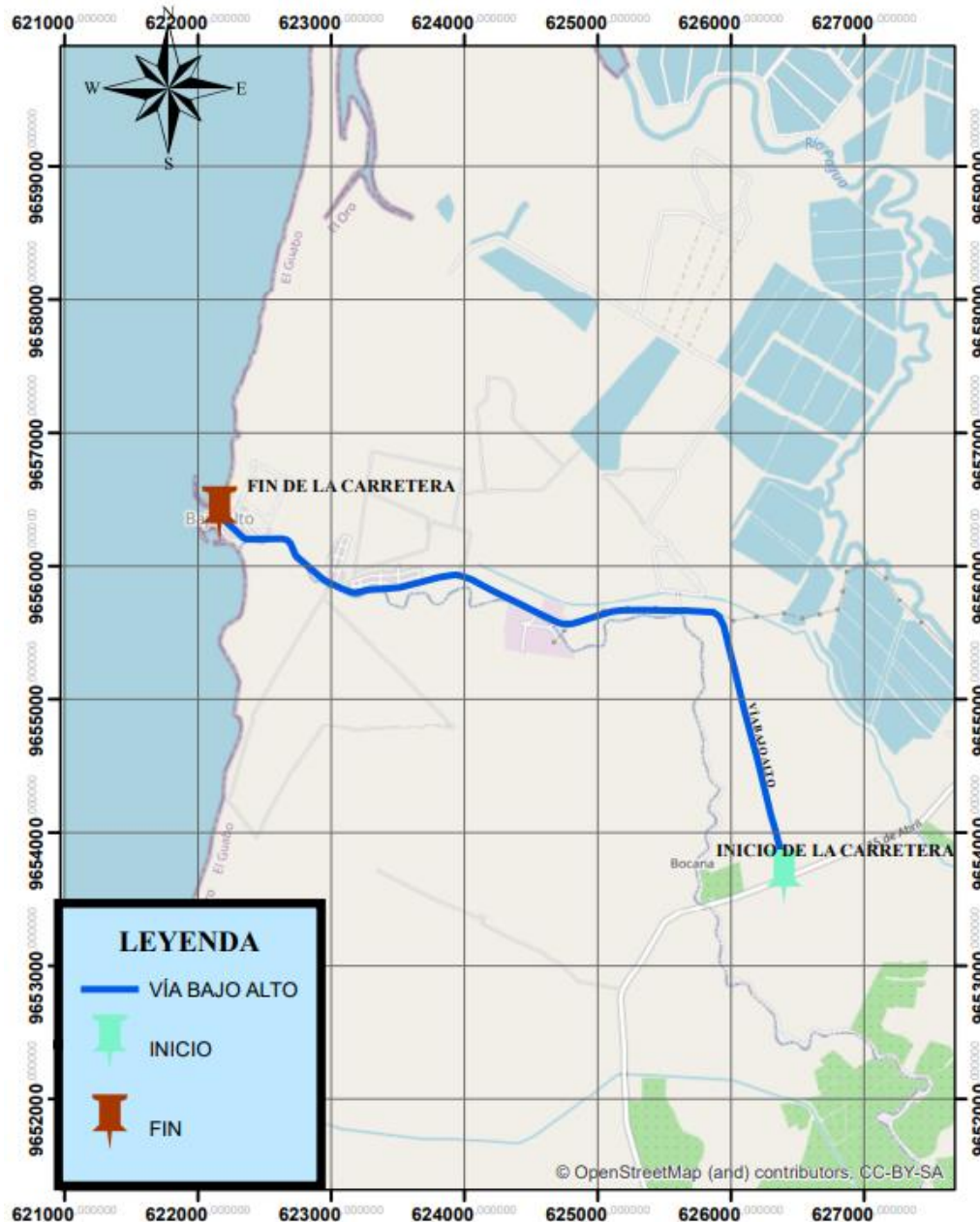
**5.25. Anexo 25: Análisis de muestras en laboratorio.**





5.26. Anexo 26: Ubicación de la vía de estudio

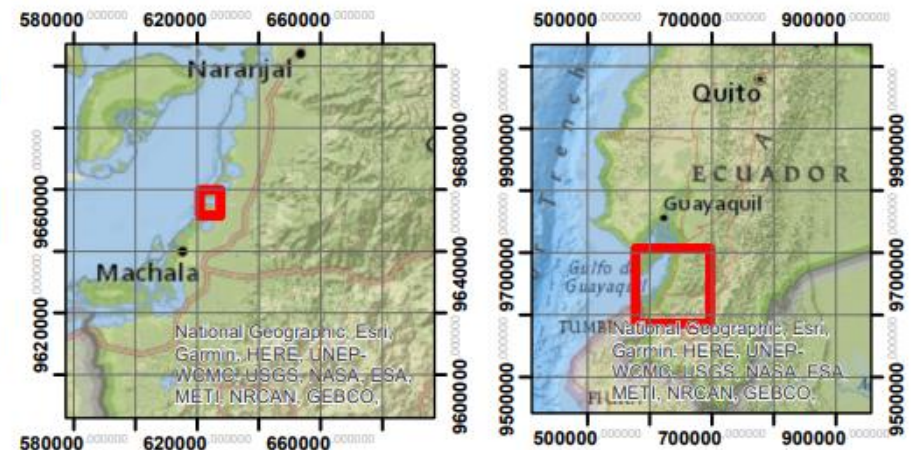
MAPA - UBICACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
INGENIERÍA CIVIL

<b>ELABORADO POR:</b>	CASTILLO WINSTON
<b>TRAMO DE ESTUDIO</b>	VÍA BAJO ALTO
<b>LONGITUD:</b>	6,05 Km
<b>UBICACIÓN</b>	
<b>PAÍS</b>	ECUADOR
<b>PROVINCIA</b>	EL ORO
<b>CANTÓN</b>	EL GUABO
<b>PARROQUIA</b>	TENDALES
<b>COORDENADAS INICIO DE LA CARRETERA</b>	
<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>
626371,006	9653637,989
<b>COORDENADAS FIN DE LA CARRETERA</b>	
<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>
622150,894	9656383,047



## 5.27 Anexo 27: Formulario

*Fórmula: 1 Número mínimo de unidades de muestreo*

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

*Fuente: Hilda Gonzales.*

*Fórmula: 2 Número total de unidades de muestreo*

$$N = \frac{a * L}{A}$$

*Fuente: Hilda Gonzales.*

*Fórmula: 3 Intervalo de espaciamento de muestreo.*

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

*Fuente: Hilda Gonzales.*

*Formula: 4 Número máximo admisible de valores deducidos.*

$$m = 1 + \frac{9}{98} * (100 - HDV)$$

*Fuente: Luis Ricardo Vázquez Varela*

*Formula: 5 Cálculo del valor del PCI.*

$$PCI = 100 - CDV$$

*Fuente: Luis Ricardo Vázquez Varela*

*Fórmula: 6 Expresión para calcular el numero estructural.*

$$\log_{10}(W18) = Z_r * x S_o + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10}(Mr)$$



Fuente: AASHTO.

Fórmula: 7 Expresión para calcular la pérdida de nivel de servicio.

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

Fuente: AASHTO.

Fórmula: 8 Expresión para calcular modulo resiliente para  $CBR < 3$ .

$$Mr = 1500 * CBR \text{ (psi)}$$

Fuente: AASHTO

Fórmula: 9 Expresión para calcular modulo resiliente para  $7\% < CBR < 20\%$

$$Mr = 3000 * CBR \text{ (psi)}$$

Fuente: AASHTO

Fórmula: 10 Expresión para calcular modulo resiliente para  $CBR > 20\%$

$$Mr = 4.326 * \ln(CBR) + 2.41 \text{ (psi)}$$

Fuente: AASHTO

Fórmula: 11 Expresión para calcular el coeficiente estructural para bases granulares.

$$a_1 = 0.249 \times \ln(E_2) - 0.977$$

Fuente: AASHTO

Fórmula: 12 Expresión para calcular el coeficiente estructural para bases granulares.

$$a_3 = 0.227 \times \ln(E_3) - 0.839$$

Fuente: AASHTO

Fórmula: 13 Expresión para calcular la frecuencia de carga.

$$f = \frac{v}{2\pi}$$

Fuente: AASHTO

Fórmula: 14 Expresión para calcular la temperatura efectiva de la carpeta asfáltica.

$$T_s = (-0.0093 \times T_a^2 + 1.569 \times T_a - 1.578)(-0.084 \times \ln(h_s) + 1.55)$$

Fuente: AASHTO

Fórmula: 15 Expresión para calcular el coeficiente estructural de la capa asfáltica.

$$a_1 = 0.184 \times \ln(E_1) - 1.9547$$

Fuente: AASHTO

Fórmula: 16 Expresión para calcular el espesor de la capa asfáltica.

$$h_1 = \frac{SN_1}{a_1}$$

Fuente: AASHTO

Fórmula: 17 Expresión para calcular el espesor de la base granular.

$$h_2 = \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 \times m_2}$$

Fuente: AASHTO

Fórmula: 18 Expresión para calcular el espesor de la subbase granular.

$$h_3 = \frac{SN_3 - SN_2}{a_3 \times m_3}$$

Fuente: AASHTO

Fórmula: 19 Expresión para calcular el número estructural.

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

Fuente: AASHTO

Fórmula: 20 Cálculo de densidad

$$d\% = \frac{\text{metrado total}}{\text{Área de unidad de muestra}}$$

Fuente: Luis Ricardo Vázquez Varela