



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

TEMA:

“EVALUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL ACTUAL DE LA AV. COTOPAXI Y RIO CUTUCHI DE 2,46 KM DE LONGITUD PERTENECIENTE A LA PARROQUIA ELOY ALFARO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI.”

AUTORA: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza.

TUTOR: Ing. Rodrigo Iván Acosta Lozada. Mg

AMBATO - ECUADOR

Junio - 2022

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniera Civil, con el tema: **“EVALUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL ACTUAL DE LA AV. COTOPAXI Y RIO CUTUCHI DE 2,46 KM DE LONGITUD PERTENECIENTE A LA PARROQUIA ELOY ALFARO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI”**, elaborado por la Srta. Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza, portadora de la cédula de ciudadanía C.I: 0503999328, estudiante de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autora.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, Junio 2022

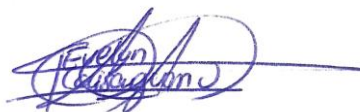
.....
Ing. Rodrigo Iván Acosta Lozada. Mg

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza, con C.I. 0503999328 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el desarrollo del presente Trabajo Experimental con el tema: **“EVALUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL ACTUAL DE LA AV. COTOPAXI Y RIO CUTUCHI DE 2,46 KM DE LONGITUD PERTENECIENTE A LA PARROQUIA ELOY ALFARO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI”**, así como también las tablas, gráficos, criterios, ideas, conclusiones y recomendación son de mi exclusiva responsabilidad como autora del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Junio 2022



.....
Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza

C.I. 0503999328

AUTORA

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Junio 2022



.....
Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza

C.I. 0503999328

AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por la estudiante Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“EVALUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL ACTUAL DE LA AV. COTOPAXI Y RIO CUTUCHI DE 2,46 KM DE LONGITUD PERTENECIENTE A LA PARROQUIA ELOY ALFARO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI”**.

Ambato, Junio 2022

Para constancia firma:

.....
Ing. Byron Genaro Cañizares Proaño. Mg

Miembro Calificador

.....
Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano. Mg

Miembro Calificador

DEDICATORIA

Lleno de regocijo dedico este triunfo a Dios por haberme otorgado una familia maravillosa, por la fortaleza de seguir adelante y por las bendiciones derramadas sobre mí a lo largo de este proceso.

A mis amados padres Wilson Ramiro Caisaguano y María Amada Chicaiza, quienes, son y serán mi motivación y pilares fundamentales en cada una de mis metas, gracias a su esfuerzo su hija ha luchado para ser lo que será.

A mis hermanos quienes son la razón de mi constancia y esfuerzo y por quienes me he mantenido firme y fuerte en este proceso. Para ustedes porque los amo.

A mi novio quien ha estado en el principio y fin de esta etapa con su apoyo incondicional. Gracias a ti estoy culminando unos de mis sueños.

A mis amigos quienes, con risas, llanto, y bajones me apoyaron a la distancia, gracias por sus empujones y palabras de aliento. ¡Vamos que si se puede!

“Y llegara el día en donde te darás cuenta que valió la pena las jornadas largas de estudios lejos de casa, y se convertirán en el mayor orgullo de tu vida”

Evelyn Gissela Caisaguano.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica de Ambato por haberme aceptado formar parte de ella en especial a la carrera de Ingeniería Civil por abrirme las puertas para desarrollarme como profesional, a los docentes por inculcarme sus conocimientos y apoyarme en el desarrollo de mi trabajo para la obtención de Título de Ingeniera.

A mi tutor Ing. Rodrigo Acosta por haberme permitido la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico para la elaboración de este proyecto.

A la Dirección de Obras Públicas del cantón Latacunga por brindarme su apoyo para la ejecución de este trabajo experimental.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	II
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	III
DERECHOS DE AUTOR	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VII
INDICE DE CONTENIDOS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XV
RESUMEN.....	XVIII
ABSTRACT.....	XIX
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	1
1.1.1 ANTECEDENTES	1
1.1.2 JUSTIFICACIÓN	3
1.1.3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
1.1.4 HIPÓTESIS	45
1.1.5 SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	45
1.1.5.1 Variable Independiente	45
1.1.5.2 Variable Dependiente.....	45
1.2 OBJETIVOS.....	46
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	46
1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	46
CAPÍTULO II	47

METODOLOGÍA	47
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	47
Investigación de campo.....	47
Investigación bibliográfica – documental	47
Investigación experimental o de laboratorio	48
2.1 MATERIALES.....	48
2.2 MÉTODOS.....	50
2.2.1 NIVELES O TIPOS DE INVESTIGACIÓN	50
2.2.1.1 Nivel exploratorio	50
2.2.1.2 Nivel descriptivo	50
2.2.1.3 Nivel explicativo	50
2.2.1.4 Población y muestra	50
2.2.2 Operacionalización de variables	53
2.2.2.1 Variable independiente.....	53
2.2.2.2 Variable dependiente.....	54
2.2.3 Plan de recolección de información.....	55
2.2.4 Plan de procesamiento y análisis	56
CAPÍTULO III	57
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
3.1 Análisis y discusión de resultados.....	57
3.1.1 Ubicación de la vía en estudio	57
3.1.2 Conteo vehicular o estudio de tránsito.....	60
Determinación del TPDA.....	61
Cálculo de Factor de Hora de Máxima Demanda (FHP)	62
Cálculo del Tráfico Promedio Diario Anual actual (TPDA act).....	63
Cálculo del tráfico generado (TG)	64

Cálculo del tráfico atraído (Tat).....	64
Cálculo del tráfico desarrollado (TD)	65
Cálculo del Tráfico Promedio Diario Anual Total (TPDA total)	65
Cálculo del tráfico futuro (Tf).....	67
Clasificación de la vía en función del Tráfico Futuro.....	69
3.1.3 Cálculo de ejes equivalentes	70
3.1.4 Estudios de suelo	72
Análisis granulométrico	73
Límites de Atterberg	75
Limite Liquido	75
Limite plástico.....	75
Proctor Modificado Tipo B	76
Ensayo California Beriang Ratio (CBR).....	76
3.1.5 Análisis del resultado del empleo de la Viga Benkelman	77
Procedimiento de uso	77
Corrección por Relación de Brazo de Viga Benkelman	79
Corrección por Efecto de Temperatura	80
Corrección por estacionalidad.....	81
Radio de curvatura	83
Deflexión característica.....	84
Deflexión Admisible	86
Deflexión crítica.....	87
3.1.6 Evaluación mediante PCI del pavimento asfaltico	89
Longitud de unidad de muestra	91
Área de muestra.....	91
Número total de unidades de muestra	92

Determinación del número mínimo de unidad de muestreo a evaluar.....	92
Selección de las unidades de muestreo para inspección	93
Corrección del número de unidades de muestra	93
Formato de evaluación para el Índice de Condición de Pavimento (PCI)	94
3.1.7 Cálculo del PCI.....	95
Cálculo de los valores deducidos para carreteras con capa asfáltica	95
Cálculo del número máximo admisible de valores deducidos (mi)	96
Cálculo del máximo valor deducido corregido (CVD)	96
3.1.8 Resultados del análisis del Índice de Condición de Pavimento (PCI).....	99
3.1.9 Índice de condición de pavimento para pavimento articulado.	101
Identificación del tipo y grado de influencia de los deterioros por clase, FC.....	102
3.2 Verificación de la hipótesis	106
CAPÍTULO IV.....	107
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	107
4.1 Conclusiones	107
4.2 Recomendaciones	109
BIBLIOGRAFÍA	110
ANEXOS	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1. Clasificación de la vía en base al tráfico proyectado.	38
Tabla 1. 2. Clasificación del suelo según SUCS	40
Tabla 1. 3. Clasificación del suelo según AASHTO.....	41
Tabla 1. 4. Clasificación del suelo de acuerdo con el CBR	44
Tabla 2. 5. Operacionalización de la variable independiente.....	53
Tabla 2. 6. Operacionalización de la variable dependiente.....	54
Tabla 2. 7. Plan de recolección de información.	55
Tabla 3. 8. Coordenadas UTM de la vía en estudio	57
Tabla 3. 9. Ubicación de la Estación de conteo vehicular.....	60
Tabla 3. 10. Resumen de vehículos que circulan semanalmente.	61
Tabla 3. 11. Flujo Vehicular en la Hora Pico.....	62
Tabla 3. 12. Coeficiente de k, TPDA	63
Tabla 3. 13. Resultados del calculo de TPDA act. De cada tipo de vehiculo para la Av. Cotopaxi y Rio Cutuchi.....	64
Tabla 3. 14. Resumen de cálculo del TPDA actual, TG, T at, TD.....	65
Tabla 3. 15. Resumen del Cálculo del TPDA total de cada tipo de vehículo.	66
Tabla 3. 16. Tasa de Crecimiento de Tráfico de la Provincia de Cotopaxi.....	68
Tabla 3. 17. Tráfico Futuro proyectado en 20 años.	69
Tabla 3.18. Clasificación de Carretera en Función al Tráfico Proyectado	70
Tabla 3. 19. Factor de Daño según el tipo de vehículo	71
Tabla 3. 20. Factores de Distribución Direccional.....	71
Tabla 3. 21. Porcentaje de W18 en Carril D1	71
Tabla 3. 22. Ejes equivalentes de la Av. Cotopaxi y Rio Cutuchi.	72
Tabla 3. 23. Ubicación de las muestras extraídas de los Pozos a cielo abierto.....	73

Tabla 3. 24. Clasificación de suelos según la AASHTO M 145.....	74
Tabla 3. 25. Análisis de la Clasificación de suelo según la AASHTO M 145.....	75
Tabla 3. 26. Análisis de Resultados de los Limites Atterberg	76
Tabla 3. 27. Análisis de resultados del ensayo Proctor Modificado.	76
Tabla 3.28. Clasificación de los suelos con referencia al CBR.	77
Tabla 3. 29. Análisis de resultados del ensayo CBR.....	77
Tabla 3.30. Valores registrados por la Viga Benkelman	79
Tabla 3.31. Primer dato registrado por la viga.....	80
Tabla 3.32. Corrección por relación de brazo de viga Benkelman	80
Tabla 3.33. Corrección por efecto de temperatura.	81
Tabla 3.34. Factores de corrección según el tipo de suelo.....	82
Tabla 3.35. Corrección por estacionalidad.....	82
Tabla 3.36. Radio de Curvatura	84
Tabla 3.37. Valores de "t" y probabilidad de ocurrencia de $D > D_c$	85
Tabla 3.38. Datos para el cálculo de la Desviación estándar.	85
Tabla 3.39. Tipo de Deflexiones	87
Tabla 3.40 Longitudes de unidad de muestreo asfáltica.	90
Tabla 3.41. Datos de la vía en estudio para la unidad de muestreo PCI.....	90
Tabla 3.42. Unidades de muestra seleccionadas en la vía.....	94
Tabla 3.43. Cálculo del Índice de Condición de Pavimento (PCI).	97
Tabla 3.44. Resultados del Índice de Condición de Pavimento (PCI).	100
Tabla 3.45. Porcentaje del área afectada según el daño en los adoquines de la Av. Rio Cutuchi.	101
Tabla 3.46. Tipo y Factor de Influencia por clase.....	102
Tabla 3.47. Factores de penalización para el ICE.	103
Tabla 3.48. Factores de penalización para el ICF.	103

Tabla 3.49. Cálculo del ICE de la Av. Río Cutuchi.....	104
Tabla 3.50. Cálculo del ICF de la Av. Río Cutuchi.....	104
Tabla 3.51. Matriz para la calificación del ICP.	104
Tabla 3.52. Categorización y nivel de servicio del ICP.....	105

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1. Sección de pavimento flexible	6
Gráfico 1. 2. Sección del pavimento rígido.....	8
Gráfico 1. 3. Sección del Pavimento Articulado.....	9
Gráfico 1. 4. Estructura de un pavimento convencional	11
Gráfico 1. 5. El deterioro de los caminos con el trascurso del tiempo.....	13
Gráfico 1.6. Piel de cocodrilo de baja severidad.....	17
Gráfico 1.7. Piel de cocodrilo de media severidad.....	17
Gráfico 1.8. Piel de cocodrilo de alta severidad.....	17
Gráfico 1.9. Exudación de baja severidad.....	18
Gráfico 1.10. Exudación de media severidad.....	18
Gráfico 1.11. Exudación de alta severidad.....	18
Gráfico 1.12. Grietas en bloque de baja severidad.....	19
Gráfico 1.13. Grietas en bloque de media severidad.....	19
Gráfico 1.14. Grietas en bloque de alta severidad.....	19
Gráfico 1.15. Abultamiento y hundimiento de baja severidad.....	20
Gráfico 1.16. Abultamiento y hundimiento de media severidad.....	20
Gráfico 1.17. Abultamiento y hundimiento de alta severidad.....	20
Gráfico 1.18. Corrugación de baja severidad.....	21
Gráfico 1.19. Corrugación de media severidad.....	21
Gráfico 1.20. Corrugación de alta severidad.....	21
Gráfico 1.21. Depresión de baja severidad.	22
Gráfico 1.22. Depresión de mediana severidad.....	22
Gráfico 1.23. Depresión de alta severidad.	22
Gráfico 1.24. Grieta de borde de baja severidad.....	23

Gráfico 1.25. Grieta de borde de media severidad.	23
Gráfico 1.26. Grieta de borde de alta severidad.	23
Gráfico 1.27. Grieta de reflexión de junta de baja severidad.	24
Gráfico 1.28. Grieta de reflexión de junta de media severidad.	24
Gráfico 1.29. Grieta de reflexión de junta de alta severidad.	24
Gráfico 1.30. Desnivel de carril de baja severidad.	25
Gráfico 1.31. Desnivel de carril de media severidad.	25
Gráfico 1.32. Desnivel de carril de alta severidad.	25
Gráfico 1.33. Grietas longitudinales y transversales de baja severidad.	26
Gráfico 1.34. Grietas longitudinales y transversales de media severidad.	26
Gráfico 1.35. Grietas longitudinales y transversales de alta severidad.	26
Gráfico 1.36. Parcheo de baja severidad.	27
Gráfico 1.37. Parcheo de media severidad.	27
Gráfico 1.38. Parcheo de alta severidad.	27
Gráfico 1.39. Pulimento de agregados.	28
Gráfico 1.40. Huecos de baja severidad.	28
Gráfico 1.41. Huecos de media severidad.	28
Gráfico 1.42. Huecos de alta severidad.	28
Gráfico 1.43. Ahuellamiento de baja severidad.	30
Gráfico 1.44. Ahuellamiento de media severidad.	30
Gráfico 1.45. Ahuellamiento de alta severidad.	30
Gráfico 1.46. Desplazamiento de baja severidad.	31
Gráfico 1.47. Desplazamiento de media severidad.	31
Gráfico 1.48. Desplazamiento de alta severidad.	31
Gráfico 1.49. Grietas parabólicas de baja severidad.	31
Gráfico 1.50. Grietas parabólicas de media severidad.	31

Gráfico 1.51. Grietas parabólicas de alta severidad.	31
Gráfico 1.52. Desprendimiento de agregados de baja severidad	33
Gráfico 1.53. Desprendimiento de agregados de media severidad.	33
Gráfico 1.54. Desprendimiento de agregados de alta severidad.	33
Gráfico 1.55. Rangos del Índice de Condición de Pavimento	34
Gráfico 1. 56. Esquema de la viga Benkelman.	39
Gráfico 1. 57. Equipamiento de laboratorio para ensayo Proctor	43
Gráfico 2. 58. Ubicación del Proyecto	51
Gráfico 3. 59. Mapa Geomorfológico del cantón Latacunga.....	58
Gráfico 3. 60. Ubicación de la vía en estudio	59
Gráfico 3. 61. Cantidad de vehículos en Hora Pico.	62
Gráfico 3. 62. Tráfico Promedio Diario Anual Total.....	66
Gráfico 3.63. Porcentaje del TPDA total	67
Gráfico 3. 64. Registro de Temperatura en la calzada.	78
Gráfico 3.65. Tabla resumen de la evaluación del pavimento por deflexiones.	88
Gráfico 3.66. Deflectograma.....	89
Gráfico 3.67. Formato de registro de datos en campo para el PCI	95
Gráfico 3.68. Diagrama de parcheo	98
Gráfico 3.69. Diagrama de Piel de Cocodrilo	98
Gráfico 3.70. Diagrama de grieta de borde	98
Gráfico 3.71. Diagrama de agrietamiento de bloque.	98
Gráfico 3.72. Diagrama de corrección del valor deducido.	98

RESUMEN

El presente trabajo experimental se presenta como un modelo de evaluación de la infraestructura vial de la Av. Cotopaxi y Río Cutuchi de la provincia de Cotopaxi.

Esta investigación inició con un levantamiento georreferenciado para la representación y localización de la vía en estudio. Con un estudio de tráfico se llevó a cabo un conteo vehicular manual durante siete días ininterrumpidos desde las 07H00 a 19H00 en intervalos de 15 min, en donde resultó ser la vía tipo colectora con un tráfico futuro de 11.473 veh/día. Se realizaron estudios de suelos mediante tres calicatas para la evaluación del contenido de humedad óptimo, densidad seca máxima y, a través del ensayo Proctor se determinó los Límites líquido y plástico. También se realizó el CBR de cada muestra y con la Viga Benkelman se dio a conocer las deflexiones, el comportamiento de la estructura del pavimento y la subrasante de la vía, en donde se presentaron deflexiones de tipo II y IV.

A través del Índice de Condición de Pavimento para pavimentos flexibles y articulados se dividió a la vía en dos secciones y se estableció las condiciones de cada carril. Con lo que respecta a la Av. Cotopaxi, el carril izquierdo posee una buena calidad de pavimento lo contrario del carril derecho que se presenta en mal estado y a lo largo de la Av. Río Cutuchi el material que compone es adoquín en ambos carriles, presentándose en estado regular.

Palabras clave: Viga Benkelman, Evaluación Vial, Pavimento Flexible, Pavimento Articulado, Inspección visual, Deflexiones, Método PCI, Capa de rodadura, Tráfico.

ABSTRACT

This experimental work is presented as a model for evaluating the road infrastructure of Av. Cotopaxi and Río Cutuchi in the province of Cotopaxi.

This research began with a georeferenced study for the representation and location of the road under study. With a traffic study, a manual vehicle count was performed for seven uninterrupted days from 07H00 to 19H00 at 15 min intervals, where it turned out to be the collector type road with a future traffic of 11,473 veh/day. Soil studies were carried out using three pits for the evaluation of optimum moisture content, maximum dry density and, by means of the Proctor test, the liquid and plastic limits were determined. The CBR of each sample was also performed and the Benkelman beam was used to determine the deflections, the behavior of the pavement structure and the subgrade of the road, where type II and IV deflections were found.

Through the Pavement Condition Index for flexible and articulated pavements, the road was divided into two sections and the condition of each lane was established. With respect to Cotopaxi Avenue, the left lane has a good quality pavement, unlike the right lane, which is in poor condition, and along Río Cutuchi Avenue, the material used is cobblestone in both lanes, which is in fair condition.

Key words: Benkelman Beam, Road Evaluation, Flexible Pavement, Articulated Pavement, Visual Inspection, Deflections, PCI Method, Wearing Course, Traffic.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

TEMA: “EVALUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL ACTUAL DE LA AV. COTOPAXI Y RIO CUTUCHI DE 2,46 KM DE LONGITUD PERTENECIENTE A LA PARROQUIA ELOY ALFARO, CANTON LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI”

1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

1.1.1 ANTECEDENTES

Es de gran importancia la planificación vial en las ciudades debido a que, a partir de ello se ejecuta las obras como son la construcción de edificaciones, agua y alcantarillado. En nuestro país en la mayoría de las ciudades el diseño vial no es considerado por lo que primero se construye las edificaciones y consiguiente las vías, haciendo que se dificulte el trazado vial, ya que las edificaciones son construidas a diferentes alturas. Inclusive los gobiernos locales para una construcción lo único que priorizan es el ancho de la vía y no su estructura y la misma es dada sin un diseño definido y al momento de la construcción de la vía por la falta de planificación los costos aumentan. [1]

Otro aspecto que aumenta el costo, y uno de los mayores problemas a que se ve enfrentado el ingeniero civil en su trabajo de campo, es encontrar materiales que no cumplen con las especificaciones generales para establecer sobre este una estructura de pavimento. En muchas ocasiones se hace necesario remover grandes cantidades de material para sustituirlo por otro que presente características mecánicas adecuadas. [1]

De igual manera los municipios se ven afectados por los altos costos que resulta la construcción de un pavimento especialmente en la estructura de la vía, ya que al no contar con materia prima para elaborar materiales como es subbase y base se tiene que pagar la producción en otras ciudades, por lo que aumenta también el costo del transporte del material al sitio de la obra. [1]

La red vial de una ciudad es de gran importancia para el desarrollo de las actividades diarias de sus habitantes y es fundamental para el desarrollo de la economía de un país. Hoy en día la planificación de la actividad económica y en especial el sector transporte es indispensable en todo país, por su impacto en la vida y desarrollo de los pueblos y ciudades. [2]

Gran parte del trabajo del ingeniero civil, de caminos, de carreteras, de tránsito o de transporte y vías consiste en analizar una problemática específica como etapa preliminar a la planeación, diseño y construcción de cualquier proyecto de infraestructura. Cuando se trata específicamente de la infraestructura del transporte, dicho análisis se realiza a partir del estudio del fenómeno del tránsito y de un diagnóstico de las características de los elementos que intervienen en el desarrollo de la actividad del transporte. La evaluación del estado de las vías urbanas y las carreteras es un aspecto importante por considerar en el análisis de los factores operacionales relacionados con la calidad y el nivel del servicio de su infraestructura.[3]

Según el Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial de Latacunga, “Las vías en el Ecuador están bajo el control del MTOP (Ministerio de Transportes y Obras Públicas) según la ley de carreteras (Ley de Caminos), el MTOP divide a todo el país en 7 regiones y cuenta con una oficina en cada región, la provincia de Cotopaxi pertenece a la Región 3”. [4]

La labor que realizan el Ministerio de Transporte y Obras Públicas en conjunto con los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (Gads), es el de diseñar, construir y brindar trabajos de mantenimiento a carreteras interprovinciales. El sistema vial del cantón está constituido por la vía Panamericana como eje principal de conectividad entre la ciudad de Latacunga y el exterior, las cinco parroquias urbanas y las 10 parroquias rurales, conectadas mediante vías que tiene una función de arterias secundarias, con geometría medianamente aceptable para dos carriles de 3,65 m de ancho uno para cada sentido; la capa de rodadura está conformada por carpeta asfáltica en unos casos y en otro riego superficial en frío. [4]

En el Cantón Latacunga se localizan 15 parroquias, 10 rurales: Pastocalle, Toacaso, Tanicuchi, Mulaló, Guaytacama, Joseguango Bajo, Aláquez, Poaló, Once de

Noviembre y Belisario Quevedo; y 5 urbanas: Eloy Alfaro, San Buenaventura, Juan Montalvo, La Matriz e Ignacio Flores.

La situación de la movilidad en la ciudad de Latacunga es en general muy limitada a causa principalmente de una geometría errática, sin apego a normas dimensionales para cada tipo y categoría de vías. La movilidad urbana, genera una necesidad imperiosa de acortar distancias medias y los tiempos de viaje, los cambios de los desplazamientos y de la ubicación de las actividades productivas y administrativas que no paran de crecer producen grandes efectos en la calidad de vida de la comunidad. [4]

1.1.2 JUSTIFICACIÓN

Dada la importancia que tienen las carreteras como desarrollo de una ciudad, el sistema vial del Cantón Latacunga en los últimos años ha presentado serios problemas en su funcionamiento debido a la creciente demanda y diversos factores, como la falta de mantenimiento y de planificación de proyectos para mejorar la capacidad de las vías, y el sistema deficiente y poco integrado de transporte público, todos estos factores han generado que las vías alcancen su capacidad, afectando de manera negativa la operación y funcionamiento de la red vial. [2]

El proyecto se encuentra ubicado en la provincia de Cotopaxi dentro del cantón Latacunga en la Parroquia Urbana Eloy Alfaro.

Las condiciones actuales en las que se encuentra la Av. Cotopaxi y Av. Rio Cutuchi, vía de estudio, son poco favorables para el transporte vehicular por lo que la presente investigación tendrá como modalidad un trabajo experimental que se basa en la recolección de datos de campo, de laboratorio y visual, por lo cual se debe realizar un estudio que servirá como base para una futura ejecución de proyecto y así mejorar la movilidad y comunicación entre habitantes.

La gran mayoría de ciudades de Sierra y Oriente del Ecuador tiene una topografía irregular y las ciudades han sido construidos de acuerdo a su topografía y conforme va creciendo las ciudades se ven en la necesidad de tener vías de calidad, pero debido a los altos costos especialmente en la estructura vial, las ciudades no tiene en su totalidad pavimentado el área urbana, o se encuentran en un estado desfavorable, por tal motivo

las ciudades crecen desordenadamente ya que cada cierto periodo la estructura de material de lastre crece y las edificaciones se construyen según el nivel de vía que se encuentran al momento de construir. [1]

Por lo tanto, con el presente estudio se pretende dar solución al problema basándose en estudios técnicos y bibliográficos, los cuales aporten al desarrollo de la investigación.

Las vías en estudio como son, la Av. Cotopaxi y Av. Rio Cutuchi comprende en 2,46 kilómetros de longitud con un asfalto y adoquinado en estado regular, por lo que se necesita realizar una evaluación de la infraestructura vial para con ello proyectar un mejoramiento en la vía y así beneficiar al desarrollo de la parroquia.

“Cabe resaltar que todo proyecto vial impulsa el crecimiento urbano de la ciudad, por lo que requiere un buen trazado geométrico y determinar una excelente estructura de pavimento”. [5]

Mediante la ayuda del GAD Municipal del Cantón Latacunga se recogerá datos para dicha investigación.

1.1.3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Red vial

Son toda superficie terrestre, pública o privada con señalización adecuada, por donde circulan peatones y vehículos y la cual está sujeta a las autoridades competentes nacionales o provinciales que aplican las leyes de tránsito.

Los elementos principales que intervienen en la red vial son diseñados con el objetivo de dar seguridad y comodidad al usuario creando desde autopistas hasta calles y veredas.

La importancia que tienen las redes viales es el de juntar a los pueblos o ciudades dentro y fuera del país bajo toda responsabilidad, ya que permite el desplazamiento de personas, bienes y servicios hacia su lugar de destino. En efecto el desarrollo de redes viales en un país proporciona progreso y fomenta el crecimiento económico de una

ciudad, permitiendo así el intercambio de ideas, pensamiento y culturas de otros pueblos. [6]

Pavimento

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas relativamente horizontales que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el período para el cual fue diseñada la estructura del pavimento. [7]

Clasificación de los pavimentos

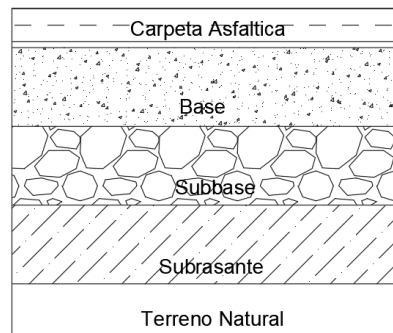
En nuestro medio los pavimentos se clasifican debido a la forma en la cual transmiten las cargas vehiculares, estas son: pavimentos flexibles, rígidos y pavimentos articulados.

Pavimentos flexibles

Son aquellos que tienen una capa de rodadura conformada por concreto de cemento asfáltico. Recibe el nombre de pavimento flexible debido a la forma en que se transmiten las cargas desde la carpeta de rodadura hasta la subrasante. El asfalto no absorbe la totalidad de las cargas vehiculares, actúa más como un transmisor. Por ello, los pavimentos flexibles requieren, por lo general, de un mayor número de capas intermedias entre la carpeta de rodadura y la subrasante. [6]

En el *Gráfico 1.1* se detalla la estructura que tiene un pavimento flexible.

Gráfico 1.1. Sección de pavimento flexible



Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza

Función de las capas de un pavimento flexible

Subbase granular.

Una de las principales funciones de esta capa es puramente **económica**, que es básicamente el espesor total necesario para que el nivel de presión en la cimentación sea igual o inferior a su propia resistencia, y se pueda construir con materiales de alta calidad, sin embargo, se puede distribuir el material por capas, es decir, las capas de mejor calidad se ubican en la parte superior mientras que las capas de menor calidad se colocan en la parte inferior. Esta solución puede traer consigo un aumento en el espesor total del pavimento y, no obstante, resultar más económica. [7]

La **Capa de transición** impide el paso de los materiales de la base con los de la subrasante cuando la subbase está bien diseñada.

Disminución de las deformaciones. -Algunos cambios volumétricos de la capa subrasante, generalmente asociados a cambios en su contenido de agua expansiones, o a cambios extremos de temperatura heladas, pueden absorberse con la capa subbase, impidiendo que dichas deformaciones se reflejen en la superficie de rodamiento.[7]

La **Resistencia** que tiene la subbase granular es el de soportará los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores y en la medida adecuada al piso inferior.

En muchos casos, la subbase debe **drenar** el agua que pasa por la carpeta o por las bermas, así como evitar la ascensión capilar.

La base granular

La función principal de la base granular en base a la **resistencia** de un pavimento consiste en proporcionar un agente que transmita los esfuerzos de tránsito con intensidad apropiada a la subbase y a la subrasante. [7]

Función económica. - Respecto a la carpeta asfáltica, la base tiene una función económica análoga a la que tiene la sub - base respecto a la base.

Carpeta

La **Superficie de rodamiento** debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, con textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito. [7]

Impermeabilidad. – Para Montejo [7], “ hasta donde sea posible, debe impedir el paso del agua al interior del pavimento”

Resistencia. – “Su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento.”[7]

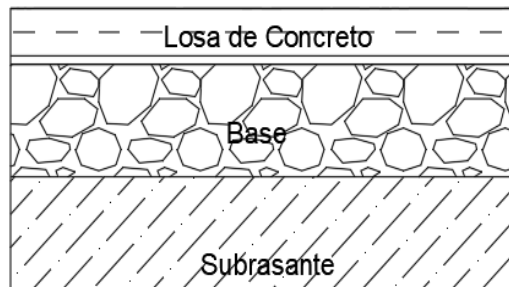
Pavimentos rígidos

Son aquellos que tienen una carpeta de rodadura conformada por concreto de cemento hidráulico. Recibe el nombre de pavimento rígido debido a las propiedades de la carpeta de concreto, que absorbe en mayor grado las cargas vehiculares. Debido a la naturaleza rígida de la carpeta de rodadura, las cargas vehiculares se distribuyen en una forma más eficiente. Por ello, por lo general, requieren en su estructura de un menor número de capas granulares entre la carpeta de rodadura y la subrasante. [6]

La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento. [7]

En el *Gráfico 1.2* se detalla las secciones que tiene un pavimento rígido.

Gráfico 1. 2. Sección del pavimento rígido



Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza

Función de las capas de un pavimento rígido

La subbase

La función más importante es impedir la acción del bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento. Se entiende por bombeo a la fluencia de material fino con agua fuera de la estructura del pavimento, debido a la infiltración de agua por las juntas de las losas. El agua que penetra a través de las juntas licúa el suelo fino de la subrasante facilitando así su evacuación a la superficie bajo la presión ejercida por las cargas circulantes a través de las losas. [7]

Losa de concreto

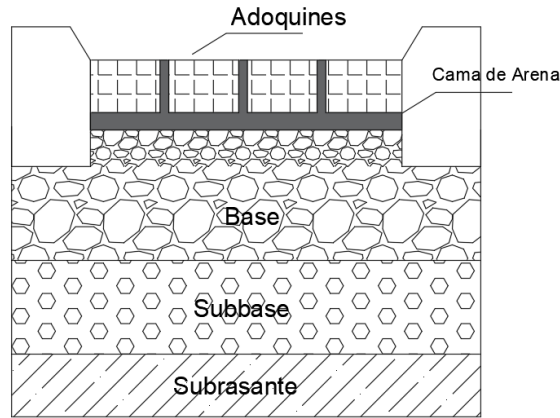
Las funciones de la losa en el pavimento rígido son las mismas de la carpeta en el flexible, más la función estructural de soportar y transmitir en nivel adecuado los esfuerzos que le apliquen. [7]

Pavimentos articulados

Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concreto prefabricado, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí. Esta puede ir sobre una capa delgada de arena la cual, a su vez, se apoya sobre una capa de base granular o directamente sobre la subrasante, dependiendo de la calidad de ésta y de la magnitud y frecuencia de las cargas que circularán por dicho pavimento. [7]

Por consiguiente, el *Gráfico 1.3*, se detalla la estructura de un pavimento articulado.

Gráfico 1.3. *Sección del Pavimento Articulado*



Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza

Función de las capas de un pavimento articulado

La base es la capa colocada entre la sub - rasante y la capa de rodadura. Esta capa le da mayor espesor y capacidad estructural al pavimento. Puede estar compuesta por dos o más capas de materiales seleccionados.

La capa de arena es una capa de poco espesor, compuesta por arena gruesa y limpia que se coloca directamente sobre la base; sirviendo de asiento a los adoquines y como filtro para el agua que eventualmente pueda penetrar por las juntas entre estos.

En cuanto a los **Adoquines**, deben tener una resistencia adecuada para soportar las cargas del tránsito, y en especial, el desgaste producido por éste.

La arena fina se aplica entre las juntas como un **Sellado** que sirve para contribuir el trabajo en general de los elementos de la capa de rodadura.

Fallas comunes que se presentan en los pavimentos de adoquín

Las fallas más comunes que presentan los adoquines son las **Depresiones**, las cuales son huecos que se producen por las cargas repetidas de tránsito, las cuales exceden la capacidad de la calzada o asentamientos que se generan al momento de su construcción. La medida de afectación es en metros cuadrados.

Los **Ahuellamientos** son causados por la consolidación del tráfico en una misma área que dejan la huella de los vehículos. Se mide en metros cuadrados.

Los **Abultamientos** son pequeñas elevaciones que se presentan por los cambios volumétricos de la subrasante o cuando existen suelos expansivos. Se miden en metros cuadrados de área afectada.

Los **Desprendimientos** como su palabra lo indica, existe desprendimiento de material de la calzada en zonas con mayor desgaste.

La **Pérdida de arena** se da cuando las juntas se encuentran abiertas o existen un desplazamiento de adoquín se presenta partículas de arena. Se mide en metros cuadrados del área afectada.

El **Desplazamiento de borde y de junta** aparece cuando en el lugar existió ineficiencias de construcción, las cuales producen el corrimiento de los adoquines al igual que la separación de juntas, presentándose una desalineación entre ellas. Su medida es en metros cuadrados.

Fractura, es cuando el adoquín presenta alrededor fisuras que son producidas por un inadecuado espesor y una mala calidad de materiales, además de cargas pesadas de tránsito.

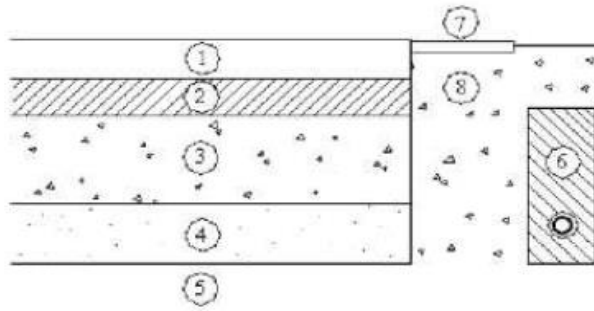
Vegetación, la invasión de vegetación entre las juntas que tiene el adoquín hace que el material se levante y exista una discontinuidad de la red de adoquín. Esto se da debido a que existe falta de limpieza en la calzada o por el abandono de dichas vías.

Estructura de un pavimento convencional

La estructura de un pavimento convencional por lo general consta de una superestructura que se coloca sobre una fundación. Esta debe ser tomada conforme a estudios geotécnicos debidamente realizados y adecuados a la zona en donde se va a realizar el estudio en cuestión.

A continuación, se detalla en el Gráfico 4 la estructura que posee un pavimento convencional.

Gráfico 1. 4. Estructura de un pavimento convencional



Fuente: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2000, Ingeniería de Pavimentos

1. Capa de rodadura
2. Capa base
3. Capa subbase
4. Suelo compactado
5. Subrasante
6. Subdrenaje longitudinal
7. Revestimiento de hombreras
8. Subbase de hombreras

Componentes principales de los pavimentos flexibles

La **Subrasante** es el nivel superior de la carretera donde se ubica la estructura del pavimento. Se la denomina terreno de fundación o cimiento del pavimento. La función principal de esta capa es de proporcionar a la base soporte para las cargas sin experimentar ningún tipo de deformación que afecte el comportamiento del pavimento. [8]

Capa de subbase

Una de las principales funciones de esta capa es netamente económica; en efecto, el espesor total que se requiere para que el nivel de esfuerzos en la sub - rasante sea igual o menor que su propia resistencia, puede ser construida con materiales de alta calidad; sin embargo, se recomienda distribuir la parte superior con capas más calificadas y en la parte inferior las de menor calidad, esta capa también en algunos casos se utiliza para el drenaje del agua entre las capas e impedir la ascensión capilar. [8]

La **Capa de base** debe ser de una calidad superior a la requerida por la capa de subbase, ya que debe proporcionar una parte importante de la capacidad estructural del pavimento completo. Esta capa no debe presentar cambios volumétricos y ser resistente a posibles cambios climáticos.

La **Carpeta asfáltica** deberá proporcionar una superficie uniforme y estable, con suficiente textura y color que resista a los efectos abrasivos del tránsito. En la medida de posible, se debe evitar la entrada de agua al pavimento.

Ciclo de vida de los pavimentos

Para mantener una larga prolongación de vida útil del pavimento se requiere de una inversión importante que exigen el mantenimiento y reparación de esta, para alcanzar los estándares sobresalientes y evitar la inseguridad e incomodidad vial.

El proceso de deterioro de los pavimentos empieza desde una etapa inicial en donde se aprecia un deterioro casi imperceptible hasta una etapa final con un deterioro total, por lo que las vías se lo diseñan para que sirva en un determinado tiempo (vida útil.).

Este ciclo se detalla en cuatro etapas:

Etapa 1: Construcción

Cuando la obra finaliza e inmediatamente entra en servicio, el estado del pavimento cumple con los estándares de calidad y se encuentra en excelentes condiciones satisfaciendo a los usuarios. No requiere de mantenimiento debido a que es una obra recién ejecutada.

Etapa 2: Deterioro lento con poca visibilidad

En esta etapa el deterioro es progresivo y lento principalmente en la superficie de rodadura. El grado de daño es menor y el usuario no percibe a simple vista ya que aparenta un pavimento en buen estado. Este deterioro se da debido a las cargas vehiculares a las que está sujeta la calzada. Se la evita aplicando medidas de conservación vial o mantenimiento.

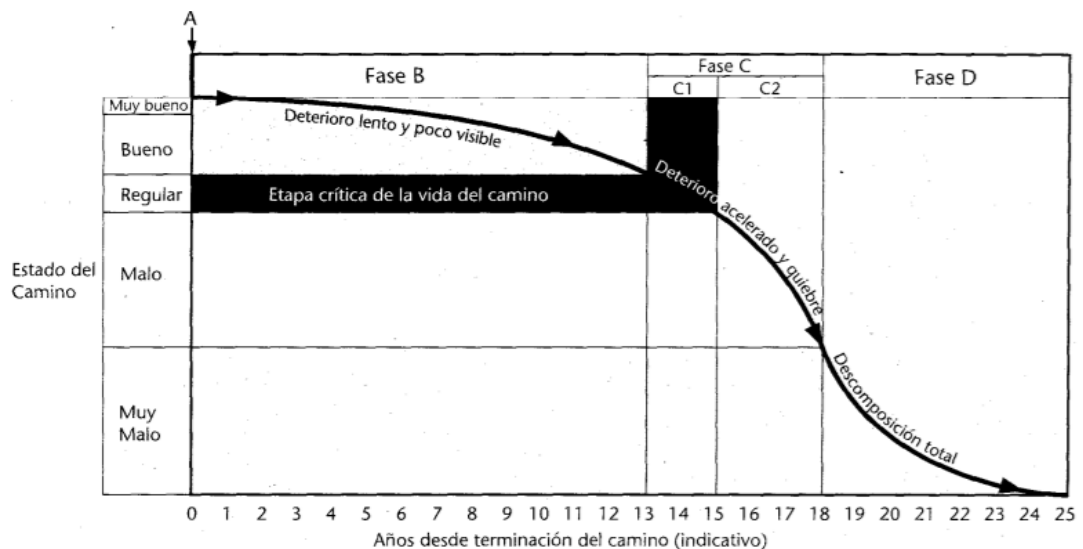
Etapa 3: Deterioro acelerado y quiebre

Durante ya varios años, el pavimento sufre un desgaste considerable, las fallas son más visibles por los usuarios, su estructura básica cada vez se va deteriorando y la apreciación del daño en esta etapa es corta. La vía entra en un período de deterioro acelerado y resiste cada vez menos al tránsito vehicular. [9]

Etapa 4: Descomposición total

En esta etapa los vehículos sufren lesiones en sus neumáticos, debido a que el pavimento está totalmente desgastado. La velocidad de circulación baja bruscamente y la capacidad del camino queda reducida a una fracción de la original.

Gráfico 1. 5. El deterioro de los caminos con el transcurso del tiempo.



Fuente: Andreas Schliessler, 1994, Caminos un nuevo enfoque para la gestión y conservación de redes viales.

Nota: La curva presentada se basa en un pavimento de hormigón asfáltico. La curva de deterioro de otros tipos de caminos tiene una forma diferente de la curva presentada. Sin embargo, “el mensaje general” del gráfico es igualmente válidos para los caminos de cualquier tipo. [10]

Principales causas del deterioro de los pavimentos

Se debe considerar que el deterioro de cualquier tipo de pavimento va a tener diversos orígenes. El deterioro de un pavimento va a producir imperfecciones que afectara de

manera desfavorable a la comodidad de la vía en cuestión, a la seguridad de los conductores que transiten por esa vía y a los costos de operación que tengan los usuarios de los vehículos transitables. [8]

Dentro de este aspecto, el objetivo principal es identificar las fallas que presenta el pavimento para con ello implementar la conservación vial y evitar los costos elevados en mantenimiento.

Las principales causas que generan deterioro en los pavimentos son las siguientes:

- Elaboración de diseño incorrecto.
- Carencias constructivas.
- Aumento imprevisto de congestión vehicular.
- Contribuyentes ambientales.
- Debilidad en el periodo de diseño.

Fallas en los pavimentos

Dentro del diseño de pavimentos y con el paso del tiempo se presentan dos tipos de fallas que se las puede identificar como imperfecciones visuales en la superficie asfáltica.

Fallas superficiales

Las fallas funcionales se las encuentran en la superficie de rodamiento asociadas directamente al índice de servicio.

La corrección de estas se fallas se efectúa con solo regularizar su superficie y conferirle la necesaria impermeabilidad y rugosidad. [11]

Estas fallas no guardan relación con las fallas estructurales debido a que son defectos de la superficie de rodamiento provocadas por fallas en las capas asfálticas. Para corregir estas fallas se debe regular la superficie dándole buena impermeabilidad y rugosidad. [9]

Fallas estructurales

Sufre un deterioro principalmente en los componentes estructurales del pavimento, se puede localizar en una o varias de las capas que la componen, reduciendo la unión entre ellas y afectando a su comportamiento.

Debido a las cargas externa a las que está expuesta el pavimento, las capas que la componen deben soportar dichas cargas influenciadas por el tránsito y otros factores como son los climáticos.

Para corregir este tipo de fallas es necesario un refuerzo sobre el pavimento existente para que el paquete estructural responda a las exigencias del tránsito presente y futuro estimado. [11]

Identificación de fallas en los pavimentos flexibles

En esta sección se detallan las fallas típicas que ocurren en los pavimentos flexibles durante su proceso de deterioro, sus posibles causas, su nivel de severidad y posible reparación.

Para ello se clasifican en cuatro grupos los cuales son:

- A. Deformaciones permanentes
 - ✓ Ahuellamiento
 - ✓ Hundimiento y Abultamientos
 - ✓ Corrugación
 - ✓ Hinchamiento
- B. Fisuraciones o agrietamientos
 - ✓ Fisura longitudinal
 - ✓ Fisura transversal
 - ✓ Fisuras en bloques
 - ✓ Fisura tipo piel de cocodrilo
 - ✓ Fisuras reflejadas
 - ✓ Fisuras en arco
- C. Desintegraciones
 - ✓ Desprendimientos de agregados

- ✓ Peladuras
- ✓ Estrías longitudinales
- ✓ Baches o huecos
- ✓ Rotura de bordes
- ✓ Pulimento de la superficie

D. Otros tipos de fallas

- ✓ Exudación de asfalto
- ✓ Bombeo / exudación de agua
- ✓ Bacheos / reparaciones

Estos daños afectan de diferente manera la condición y el comportamiento del pavimento. Algunos afectan las características superficiales (condiciones operativas) del pavimento, reduciendo su prestación; suele referirse a estos como defectos de superficie o daños funcionales, por cuanto no afectan la capacidad estructural del pavimento.[12]

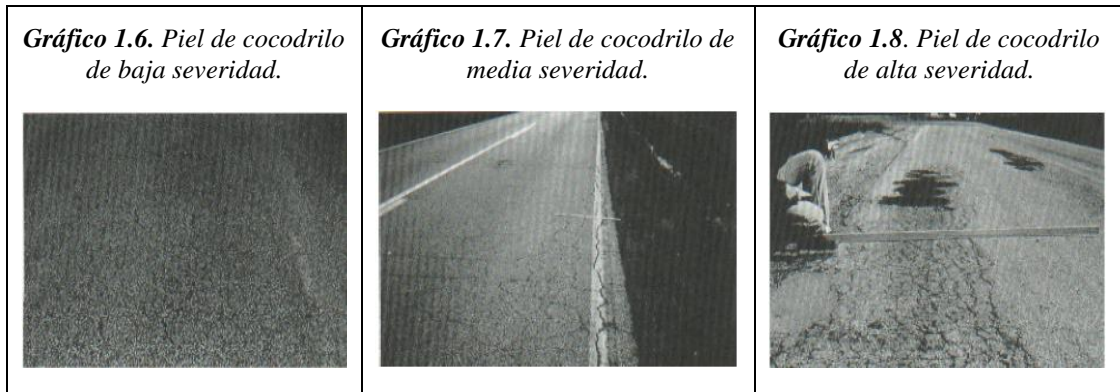
A continuación, se presenta los niveles de severidad de daños que sirven para evaluar la calidad de tránsito.

L: (Low Bajo). Se perciben las vibraciones en el vehículo (por ejemplo, por corrugaciones) pero no es necesaria una reducción de velocidad en aras de la comodidad o la seguridad; o los abultamientos o hundimientos individuales causan un ligero rebote del vehículo, pero creando poca incomodidad. [13]

M: (Medium: Medio). Las vibraciones en el vehículo son significativas y se requiere alguna reducción de la velocidad en aras de la comodidad y la seguridad; o los abultamientos o hundimientos individuales causan un rebote significativo, creando incomodidad. [13]

H: (High: Alto). Las vibraciones en el vehículo son tan excesivas que debe reducirse la velocidad de forma considerable en aras de la comodidad y la seguridad; o los abultamientos o hundimientos individuales causan un excesivo rebote del vehículo, creando una incomodidad importante o un alto potencial de peligro o daño severo al vehículo. [13]

Fisura tipo piel de cocodrilo



Fuente: ING. ESP. Luis Ricardo Vásquez, 2002, Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras.

Descripción

Son serie de grietas interconectadas entre sí, que forman polígonos de ángulos agudos de dimensiones inferiores de 0.30 m. [12]

Como indica en [13], “La piel de cocodrilo se considera como un daño estructural importante y usualmente se presenta acompañado por ahuellamiento”.

Como se señala en [12], las posibles causas en las fisuras piel de cocodrilo pueden ser por la escasa capacidad de resistencia y espesor del pavimento frente a cargas repetidas de tránsito, debido a deformaciones altas y deficiencia en la calidad de materiales de construcción, proceso de elaboración y puesta en obra.

Los niveles de severidad son:

L: Fisuras muy finas, menores de 1.5mm de ancho, paralelas con escasa interconexión, dando origen a polígonos de cierta longitud. Las grietas no están descascaradas, es decir, no presentan rotura del material a lo largo de los lados de la grieta. [12];[13]

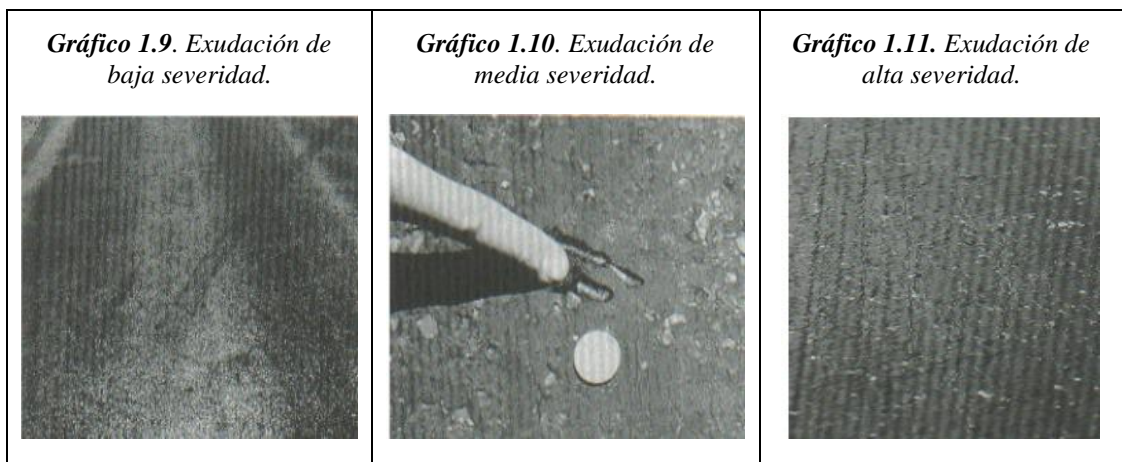
M: Desarrollo de fisuras muy finas a moderadas, de ancho menor de 5 mm, interconectadas formando polígonos pequeños, y angulosos, que pueden presentar un moderado despostillamiento en correspondencia con las intersecciones. [12]

H: Red o patrón de grietas que ha evolucionado de tal forma que las piezas o pedazos están bien definidos y descascarados los bordes. Algunos pedazos pueden moverse bajo el tránsito. [13]

Se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada.

Para Vásquez [13], las opciones de reparación para un nivel bajo es realizar una sobre carpeta y en casos muy bajos no se hace nada, para un nivel medio se realiza un parcheo parcial en toda la profundidad, sobre carpeta o reconstrucción y para un nivel alto se realiza un parcheo parcial o Full Depth, sobre carpeta o reconstrucción.

Exudación



Fuente: ING. ESP. Luis Ricardo Vásquez, 2002, Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras.

Descripción

La exudación se origina por exceso de asfalto en la mezcla, por lo que se presenta como un material bituminoso en la superficie del pavimento, esto ocurre cuando el asfalto llena los vacíos de la mezcla en medio de altas temperaturas ambientales y entonces se expande en la superficie del pavimento. [13]

Como se indica en [12], las posibles causas son el exceso de asfalto en la mezcla o tratamiento y dotación de asfalto en el riego de liga, insuficiente contenido de vacío, bitumen muy blando para condiciones de servicio de tránsito desfavorables y mala compactación en tratamientos asfálticos.

Los niveles de severidad son:

L: Se presenta en un grado muy ligero por lo que es detectable durante pocos días del año. El material bituminoso no se pega a los neumáticos y calzado.

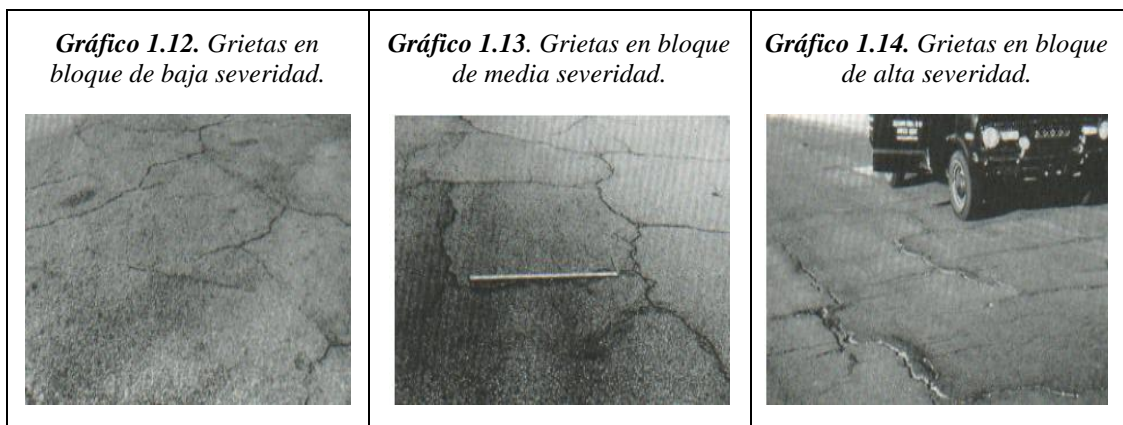
M: ocurre cuando el asfalto se pega a los neumáticos y calzado por pocas semanas del año.

H: el material bituminoso se queda impregnado en gran cantidad a los zapatos y vehículos permaneciendo durante varias semanas al año.

Su medida es en metros o pies cuadrados de área afectada.

Para Vásquez [13], las opciones de reparo son: para un nivel bajo no requiere de reparo, para un nivel medio se emplea una capa de arena, agregados y cilindrado, y para un nivel alto se emplea agregados y cilindrados precalentados en caso forzoso y arena.

Agrietamiento en bloque



Fuente: ING. ESP. Luis Ricardo Vásquez, 2002, Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras.

Descripción

Se presentan como grietas interconectadas entre sí formando rectángulos que pueden llegar a medir 0.30 m * 0.30m a 3.0 m * 3.0 m aproximadamente. Esta falla no se asocia a la carga de tráfico. A diferencia de las fisuras por piel de cocodrilo esta presenta una mayoría de fragmentos pequeños con ángulos interiores agudos que es debido a las cargas repetidas de tránsito y se las encuentra en las áreas por donde pasan las ruedas.

Como indica en [12], dentro de la falla tipo bloque existen posibles causas como son el exceso de contracción de la mezcla asfáltica debido a cambios de temperatura y excesivo endurecimiento del bitumen. La mezcla asfáltica es muy rígida y existe debilidad en las capas inferiores de una manera brusca por saturación de los materiales.

Los niveles de severidad se la consideran por la delimitación de los bloques de su forma longitudinal y transversal.

Su medida es en pies o metros cuadrados.

Para Vásquez [13], las opciones de reparo son: para un nivel bajo se requiere de un sellado de juntas de ancho mayor a 3 mm, para un nivel medio y alto se necesita de un sellado de juntas, reciclado superficial, escarificado en caliente y sobre carpeta.

Abultamientos y hundimientos



Fuente: ING. ESP. Luis Ricardo Vásquez, 2002, Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras.

Descripción

Los abultamientos son pequeños desplazamientos hacia arriba localizados en la superficie del pavimento, mientras que los hundimientos son desplazamientos hacia abajo, pequeños y abruptos, de la superficie del pavimento. [13]

Como indica [12], las siguientes causas pueden dar lugar a deformaciones permanentes como son el asentamiento o consolidación de terraplenes sobre suelos compresibles de

fundación. Existe una insuficiente compactación de materiales de relleno o de la subbase y pérdida de soporte de la subrasante.

Los niveles de severidad se los califica por la calidad de tránsito y se mide en pies o metros lineales.

Para Vásquez [13], las opciones de reparo en abultamientos y hundimientos en una baja severidad es no realizar ninguna labor, para una media severidad se hace un parcheo profundo o parcial y un reciclado en frío y para un nivel alto se realiza un reciclado o fresado en frío, parcheo profundo o parcial.

Corrugación



Fuente: Departamento de administración y evaluación de pavimento, 1990, Identificación de fallas en pavimentos y técnicas de reparación y Norma ASTM D 6433, Procedimiento estándar para la inspección del Índice de Condición del Pavimento en caminos y estacionamientos.

Descripción

La corrugación son ondulación en el pavimento a intervalos bastante regulares, se la conoce también como arqueamiento de tabla de lavado debido a la serie de cimas y depresiones que se produce en a lo largo de la calzada debido a las cargas repetidas de tránsito y la inestabilidad del suelo base. [14]

Como señala [12], las posibles causas que tiene esta falla son cuando las capas superficiales tienen baja estabilidad, pero son adheribles a la subyacente, principalmente en áreas de frenado, rampas fuertes o en zonas de aceleración, debido

a las altas temperaturas existe una reducción de estabilidad en las mezclas y otra causa es el exceso de humedad en la subrasante.

Los niveles de severidad se las considera por la vibración del vehículo: para un nivel bajo existe una vibración ligera en el vehículo, para un nivel medio la vibración es ligera con cierta incomodidad y para un nivel alto la vibración es excesiva en el vehículo con alta incomodidad y riesgo de circulación.

Su medida se realiza en metros o pies cuadrados de área afectada y las opciones de reparo para un nivel bajo es no realizar nada y para un nivel medio y alto se realiza una reconstrucción.

Depresión



Fuente: Norma ASTM D 6433, Procedimiento estándar para la inspección del Índice de Condición del Pavimento en caminos y estacionamientos.

Descripción

Las depresiones se hacen visibles ligeramente cuando después de la lluvia se almacena el agua en las áreas afectadas. Cuando el pavimento esta seco las depresiones se las localiza mediante las manchas que queda cuando el agua se almacena.

El origen de las depresiones se da por el asentamiento de la subrasante o la mala intervención en la construcción de la calzada.

Como indica [13], para los niveles de severidad en la depresión se las medirá dependiendo la máxima profundidad de depresión.

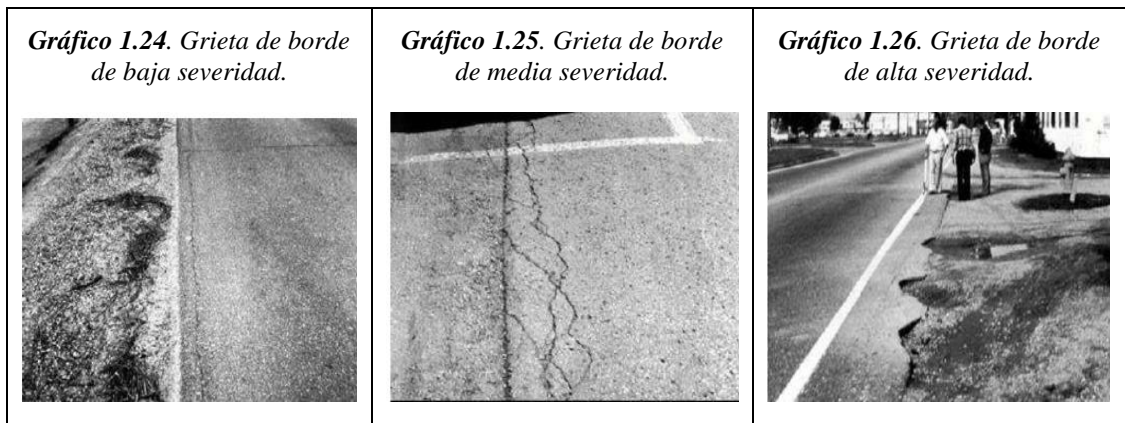
L: 13mm a 25mm, o ½ a 1 plg.

M: 25mm a 51mm, o 1 a 2 plg.

H: Más de 51mm, o 2 plg.

La depresión se la mide en metros o pies cuadrados y la reparación para L, es no realizar nada, y para M y H, se realiza un parcheo superficial, parcial o profundo.

Grieta de borde



Fuente: ING. ESP. Luis Ricardo Vásquez, 2002, Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras.

Descripción

Las grietas de borde se presentan entre 0.30m a 0.60m del borde externo del pavimento como fisuras paralelas, que ocasionan las cargas de tránsito permanentes, y el cambio de clima origina debilidad en la base o subrasante cercanas al borde del pavimento.

Como indica [13], los niveles de severidad son:

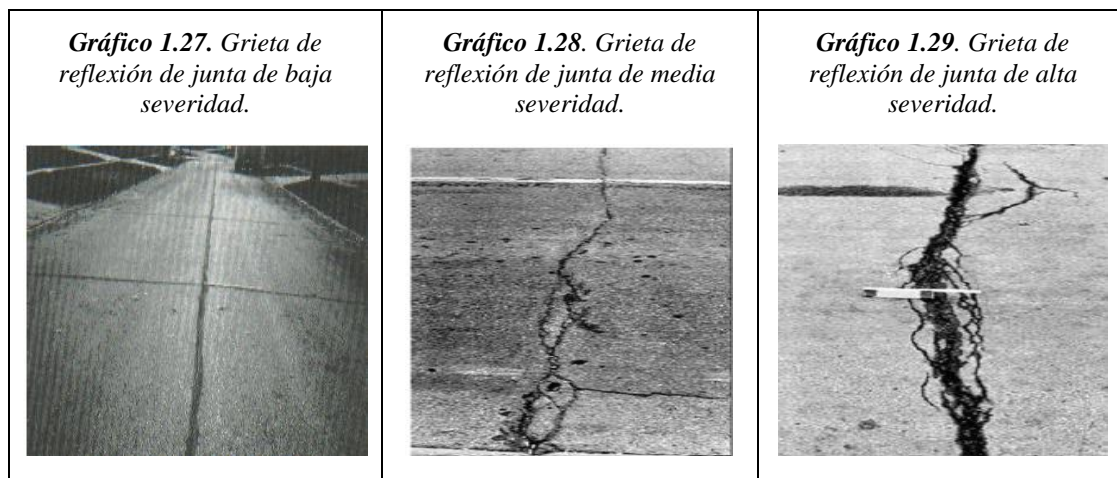
L: Presenta un fisuramiento sin fragmentos o desprendimientos de nivel bajo o medio.

M: Presenta fisuramiento con pocos fragmentos o desprendimientos de nivel medio.

H: Presenta fragmentos o desprendimientos en mayor cantidad en el borde.

Se mide en metros lineales y la reparación para L, no se realiza ningún proceso, para M, se hace un sellado de grietas o parcheo parcial profundo, y para H, se realiza un parcheo parcial profundo.

Grieta de reflexión de junta



Fuente: ING. ESP. Luis Ricardo Vásquez, 2002, Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras.

Descripción

Esta falla se presenta cuando el pavimento con superficie asfáltica se la construye debajo de una losa de concreto de cemento Pórtland, a estos se los llama pavimentos mixtos, y se los realiza como una solución de continuidad de losas. Las fisuras que aparecen necesariamente no son debido a las cargas de tránsito más bien aparecen cuando la losa de concreto está en constante movimiento por la humedad o temperatura.

Como señala [12], las posibles causas para esta falla son:

- Variaciones térmicas y contenidos de humedad en las losas.
- Las cargas de tráfico no son representativas, sin embargo, se producen las juntas cuando existen cargas más pesadas, lo que hace que se acelere el proceso.

Según Vásquez [13], los niveles de severidad son:

L: Grietas sin relleno de ancho menor que 10.0mm o grietas de relleno de cualquier ancho.

M: Grietas sin relleno con ancho 10.0mm a 76.0mm hasta 76.0mm, y grieta rellena de cualquier ancho.

H: Cualquier grieta con o sin relleno de media o alta severidad y grietas sin relleno de más de 76.0mm.

Su media es en metros o pies lineales y las opciones de reparo para un nivel bajo se realiza un sellado para anchos superiores a 3.00mm, para un nivel medio se realiza un sellado de grietas y parcheo parcial, y para un nivel alto se hace un parcheo profundo parcial o reconstrucción de la junta.

Desnivel carril / berma



Fuente: ING. ESP. Luis Ricardo Vásquez, 2002, Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras.

Descripción

El desnivel de carril se da entre el borde del pavimento y la berma y ocurre su daño cuando erosiona la berma o por la colocación de carpetas sin nivelar.

Como muestra [13], los niveles de severidad se miden mediante la diferencia entre las elevaciones del pavimento y la berma las cuales son:

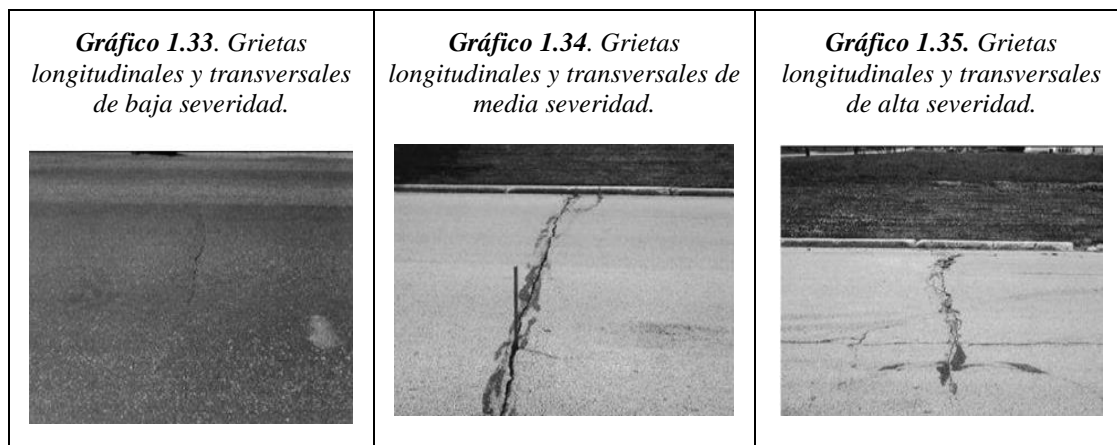
L: mayor a 25mm y menor a 50mm.

M: mayor a 50mm y menor a 100mm.

H: mayor a 100mm.

Se mide en metro o pies lineales y las opciones de reparo para L, M, H es realizar una nivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.

Grietas longitudinales y transversales



Fuente: Norma ASTM D 6433, Procedimiento estándar para la inspección del Índice de Condición del Pavimento en caminos y estacionamientos.

Descripción

Las grietas longitudinales se presentan en dirección paralela al eje del pavimento y las transversales se extienden a través del pavimento en ángulos casi rectos al eje de este.

Pueden ser causadas por la aparición de una junta de carril con deficiencias en su elaboración, por la contracción o endurecimiento del concreto o por una grieta de reflexión causada por un agrietamiento.

Como muestra [13], existen las siguientes condiciones para medir los niveles de severidad:

L: Grieta sin relleno (ancho <10 mm) o grieta rellena de cualquier ancho.

M: Grieta sin relleno (10 mm entre 76 mm) o grieta rellena de cualquier ancho acompañada de grietas aleatorias.

H: Cualquier grieta rellena o no con grietas aleatorias de media y alta severidad.

Su medida es en metros o pies lineales y los reparos para L es realizar un sellado de grietas de anchos mayores a 3 mm, caso contrario no se realiza nada, para M, se hace un sellado de grietas, y para H, se realiza un sellado de grietas o un parcheo parcial.

Parqueo y acometidas de servicios públicos



Fuente: ING. ESP. Luis Ricardo Vásquez, 2002, Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras.

Descripción

Un parche es la reparación de un área afectada con material nuevo. Su comportamiento no es positivo a comparación de un pavimento original, por lo general existe rugosidad en el daño reparado.

Las posibles causas se dan por reparaciones en el pavimento debido a servicios públicos, correcciones de reparaciones defectuosas o daños que han alcanzado niveles altos de severidad.

Los niveles de severidad son:

L: El parche se encuentra en buen estado y las cargas de tránsito son menores.

M: Parche deteriorado con cargas de tránsito considerables.

H: El parche requiere de una sustitución y el tránsito es muy alto.

Se mide en metros o pies cuadrados de área afectada.

Opciones de reparo

L: Cuando el daño es menor no se realiza nada.

M: Cuando el daño es considerable se sustituye el parche o no se hace nada.

H: Se requiere se un cambio de parche lo más pronto.

Pulimento de agregados

Gráfico 1.39. Pulimento de agregados.



Fuente: ING. ESP. Luis Ricardo Vásquez, 2002, Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras.

Descripción

Debido a las cargas repetidas de tránsito los agregados empiezan a desprenderse y llegan adherirse a las llantas de los vehículos. Se realiza un ensayo de resistencia al deslizamiento para indicar el daño de esta falla.

Para esta falla no se define los niveles de severidad, ya que para nivelarlos se necesita de ensayos de resistencia.

Su medida es en pies o metros cuadrados del área afectada y para su reparación en casos leves no se hace nada y/o se realiza un tratamiento superficial, o sobre carpeta.

Huecos



Fuente: ING. ESP. Luis Ricardo Vásquez, 2002, Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras.

Descripción

Son depresiones pequeñas con diámetros menores a 0.90m. Los huecos se producen debido a la desintegración del pavimento, puntos débiles de la base o subrasante, partes del pavimento con mezcla pobre o cuando la falla piel de cocodrilo ha alcanzado su severidad más alta. Esta falla se agrava por la acumulación de agua que se deposita en los huecos.

Para medir la severidad de la falla, se mide el diámetro y profundidad del hueco.

Si el diámetro del hueco es mayor que 762 mm, debe medirse el área en pies cuadrados (o metros cuadrados) y dividirla entre 5 pies² (0.47 m²). Para hallar el número de huecos equivalentes. Si la profundidad es menor o igual que 25.0 mm, los huecos se consideran como de severidad media. Si la profundidad es mayor que 25.0 mm la severidad se considera como alta. [13]

Para Vásquez [13], las opciones de reparo para:

L: Se realiza un parcheo un poco profundo o no se realiza nada.

M: Se realiza un parcheo profundo o parcial.

H: Se realiza parcheo profundo.

Cruce de vía férrea

Descripción

Se localizan alrededor o entre los rieles de la vía férrea como abultamientos o depresiones, que se miden en metros o pies cuadrados. Los niveles de severidad se miden por su calidad de tránsito ya sea media, alta o baja.

El área de cruce se mide en metros cuadrados y las opciones de reparo para un nivel bajo es no hacer nada, para un nivel medio y alto se realiza un parcheo superficial o parcial o una reconstrucción del cruce.

Ahuellamiento



Fuente: ING. ESP. Luis Ricardo Vásquez, 2002, Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras.

Descripción

El ahuellamiento se presenta como una depresión cuando las llantas de los vehículos dejan marcado sus huellas en la calzada, se la puede visualizar en tiempo de lluvia. Esta falla puede conducir a una falla estructural considerable en el pavimento. [13]

Según Vásquez [13], los niveles de severidad que tiene el ahuellamiento son:

L: La profundidad media debe ser de 6 a 13mm.

M: La profundidad media debe ser mayor 13mm a 25mm.

H: La profundidad media debe ser mayor a 25mm.

El ahuellamiento se mide en pies o metros cuadrados y las opciones de reparo para esta falla son:

Para severidad baja se realiza un fresado, sobre carpeta o no se realiza nada.

Para una severidad media y alta se realiza un parcheo superficial, parcial o profundo y un fresado o sobre carpeta. [13]

Desplazamiento



Fuente: ING. ESP. Luis Ricardo Vásquez, 2002, Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras.

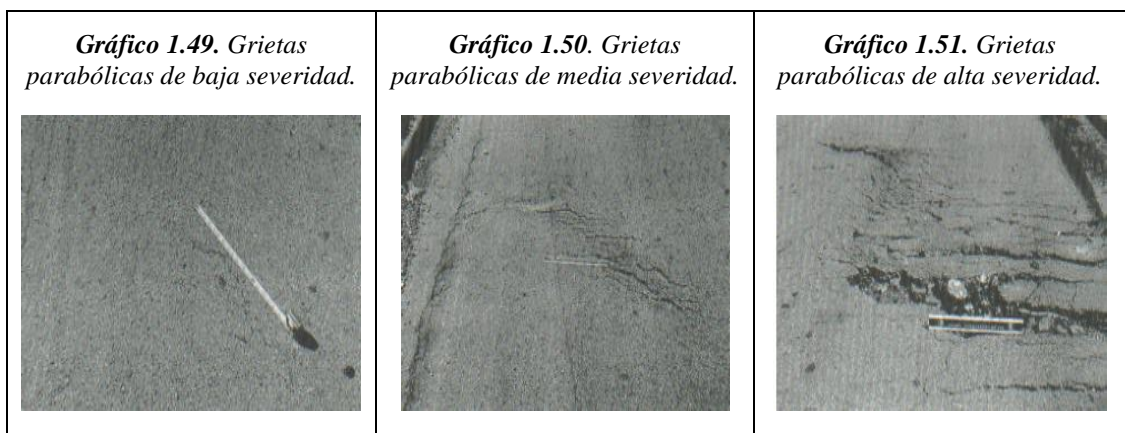
Descripción

Son fallas que producen los vehículos al empujar el pavimento, lo cual produce una pequeña ola en la superficie de este, y se presentan cuando la mezcla del asfalto no es uniforme o son inestables.

La severidad se mide por medio de la calidad de tránsito, ya sea baja, media o alta.

Los desplazamientos se miden en pies o metros cuadrados y su reparación para severidad baja es un fresado y en casos muy bajos no se realiza nada. Para niveles de severidad media y alta se realiza un fresado o un parcheo parcial o profundo.

Grietas parabólicas



Fuente: ING. ESP. Luis Ricardo Vásquez, 2002, Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras.

Descripción

Son grietas en forma de medialuna que son ocasionados por el frenado o giro del vehículo. Esta falla se produce cuando la mezcla asfáltica tiene baja resistencia o la liga que existe entre capas es muy pobre. Este daño no tiene relación alguna con procesos de inestabilidad geotécnica de la calzada. [13]

La severidad se mide por el ancho de la grieta: cuando se trata de una severidad baja el ancho promedio de la grieta es menor que 10mm, para media severidad el ancho promedio esta entre 10 y 38 mm y presenta pequeños pedazos y para una severidad alta es mayor a 38mm con pedazos removibles. [13]

Se mide en pies o metros cuadrados de área afectada y las opciones de reparo para una baja severidad es un parcheo parcial o en casos muy bajos no se realiza nada, para los niveles medio y alta severidad se realiza un parcheo parcial.

Hinchamiento

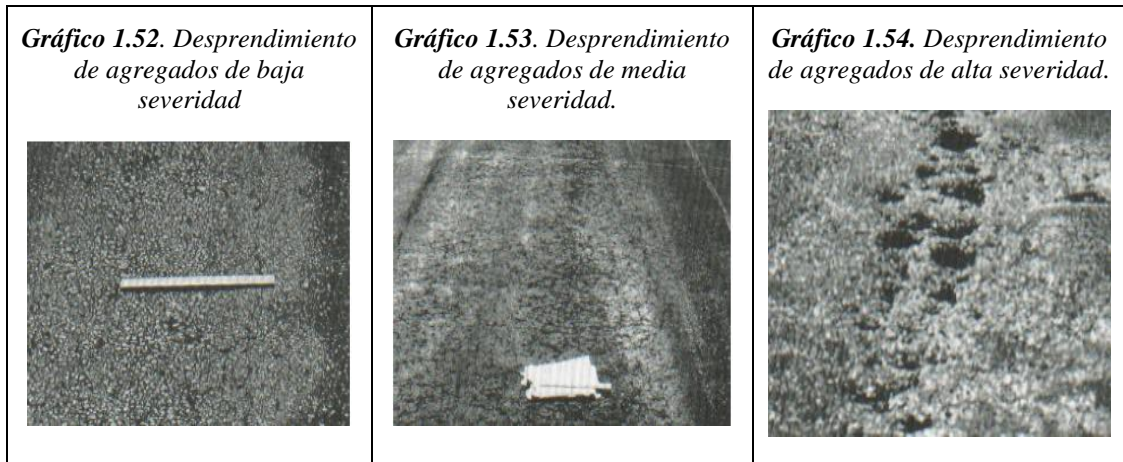
Descripción

Son fallas que se presentan como un pandeo hacia arriba en la superficie del pavimento, causadas por suelos expansivos o por congelamiento en la subrasante. [13]

Estas fallas están acompañadas por agrietamientos y la severidad se mide con la ayuda de la velocidad del vehículo. Cuando el vehículo tiene un leve movimiento hacia arriba es de baja severidad y para una media y alta severidad el vehículo tiene un movimiento brusco hacia arriba.

El hinchamiento se mide en pies o metros cuadrados y la reparación de una media y alta severidad se realiza una reconstrucción del pavimento. No se realiza nada en un nivel de baja severidad.

Desprendimiento de agregados



Fuente: ING. ESP. Luis Ricardo Vásquez, 2002, Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras.

Descripción

Los desprendimientos son peladuras que desgastan la calzada y son producidos por la pérdida de ligante o alquitrán en la estructura del pavimento o por la mala calidad de mezcla asfáltica. Se considera otra causa de desprendimiento al tipo de vehículo como por ejemplo un vehículo de rastreo. [13]

Dentro de los niveles de severidad se considera como baja cuando comienzan a perderse los agregados o el ligante con una ligera depresión en la calzada. Para una severidad media empieza ahuecarse la calzada y para una alta severidad se pierden los agregados o el ligante con huecos de mayor profundidad.

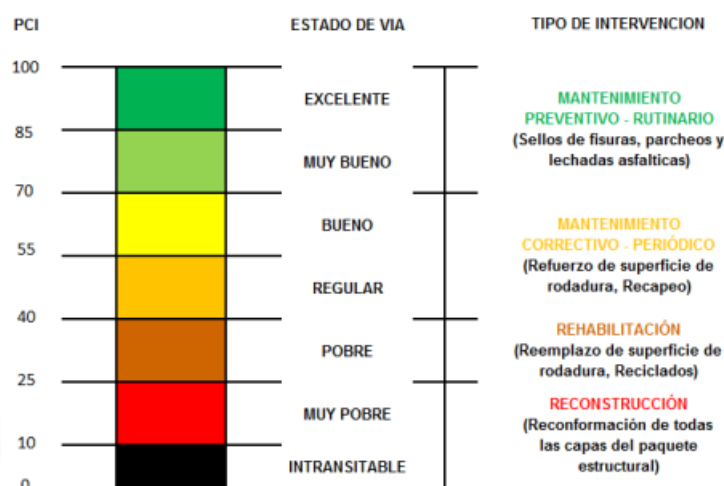
Esta falla se mide en metro cuadrados de área afectada y su reparación en un nivel bajo es realizar un sello o tratamiento superficial y en niveles bajos no se realiza nada, para un nivel medio se realiza un sello o tratamiento superficial y también sobre carpeta, y para un nivel alto se realiza un tratamiento superficial, sobre carpeta, reciclaje y en casos mayores una reconstrucción.

Índice de condición del pavimento

El Índice de condición del pavimento (PCI) se considera el método más completo y favorable para evaluar e identificar objetivamente el pavimento, la clase de daño, severidad y cantidad de este, sirviendo de apoyo para un mejoramiento vial.

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. En el siguiente cuadro se presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento. [13]

Gráfico 1.55. Rangos del Índice de Condición de Pavimento



Fuente: ING. ESP. Luis Ricardo Vásquez, 2002, Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras.

Niveles de intervención

Con el paso del tiempo y la intervención de su uso los pavimentos sufren cambios y degradaciones en su estructura, originando un incremento en los costos de operación, por tal motivo se requiere de un mantenimiento que ayuden a conservar su nivel de servicio y que llegue a su vida útil.

Existen niveles de intervención que consisten en ejecutar varios trabajos asociados al estado de desgaste de la calzada la cual se pretende conservar, estos son:

Mantenimiento rutinario

Es un tratamiento preventivo y de manera regular que se aplica una o más veces al año dependiendo del estado actual de la vía. Tiene como propósito conservar en buen estado las condiciones de la vía y salvaguardar los elementos que la componen, una vez se ha concluido la etapa de construcción vial. [9]

Trata de reducir el periodo progresivo de desgaste del pavimento mediante tratamientos superficiales como son:

- Limpieza de la vía y derrumbes de menor grado
- Reparación inmediata de pequeñas fallas sobre la capa de rodadura
- Mantenimiento en drenajes
- Mantenimiento en la señalética de la vía y control de vegetación. [9]

La intervención de este mantenimiento con el procedimiento adecuado y en el momento oportuno ayuda a disminuir gastos de intervención posteriores.

Mantenimiento periódico

Como su nombre lo indica es un mantenimiento periódico en periodos programados que tiene como finalidad recuperar las condiciones de diseño y funcionalidad de la vía como en un principio de su elaboración, este mantenimiento se lo realiza habitualmente y puede llegar a darse de un año o más evitando que se expanda el problema. A lo que se logra llegar es a mantener las características superficiales de la vía y corregir defectos puntuales de mayor magnitud, alcanzando un nivel de servicio bueno o muy bueno. [9]

Las actividades que se realizan en el mantenimiento periódico son:

- Reparación en los sistemas de drenaje
- Recuperación de las condiciones iniciales de la capa de rodadura
- Restauración de la señalética vial y sus elementos de seguridad.

Mantenimientos preventivos

Este tipo de reparaciones consiste en el conjunto de actividades y obras de mantenimiento que ayuden a prevenir fallas de alto riesgo en la vía que impidan

cumplir con la movilización adecuada y segura de los transeúntes. Es de manera efectiva ya que con ello se logra prevenir la gravedad del problema por el cual falle en un corto, mediano, evitando que su reparación represente un costo elevado que le mantenimiento en sí.

Tráfico

El diseño de una carretera o de un tramo de esta, se basa en datos recogidos de tráfico, con el fin de compararlo con la capacidad o sea con el volumen máximo de vehículos que una carretera puede absorber. El tráfico, en consecuencia, afecta directamente a las características del diseño geométrico. [15]

El pavimento debe estar diseñado para una vida útil máxima, dependiendo del flujo vehicular al cual va a estar sujeta. Existen casos en los que aumenta la demanda vehicular y por ende el desgaste del pavimento acelera.

En los proyectos viales, cuando se trata de mejorar los caminos existentes (remediación, ensanchamiento, pavimentación) o establecer caminos alternativos entre puntos que han sido conectados por caminos de comunicación, es relativamente fácil cuantificar el tráfico actual y predecir la demanda futura. [15]

Existen dos sistemas de conteo: manual y automático.

El conteo manual se realiza por uno o más contadores que registran cada vehículo que circula por una sección de la vía o por una intersección en lapsos de 15 minutos por sentido de circulación y por tipo de vehículo.

Para el conteo automático se realiza mediante equipos que registran pulsos generados por los vehículos cuando pasan por un sensor y se debe tener mucho cuidado en la calibración del equipo. El resultado que nos entrega es el volumen de tráfico total, sin clasificación del tipo de vehículo.

Tráfico promedio diario anual (TPDA)

Como su nombre lo indica, el tráfico promedio diario anual (TPDA) equivale al valor promedio de los flujos vehiculares diarios correspondientes a un año calendario. [16]

- Cuando se trate de vías de un solo sentido de circulación, el volumen de tránsito se lo contará solo de ese sentido, a lo contrario, cuando la vía tenga dos sentidos se registrará el volumen de tránsito de ambos sentidos. Normalmente la cantidad de vehículos que circulan por el un sentido es semejante a la otra dirección.
- Cuando se trate de autopistas, generalmente se calcula el TPDA para cada sentido de circulación, ya que en ellas interviene lo que se conoce como FLUJO DIRECCIONAL que es el % de vehículos en cada sentido de la vía: esto, determina composiciones y volúmenes de tráfico diferentes en un mismo período. [15]

Dentro de la determinación del TPDA, una estación de conteo vehicular al ser permanente, su registro de datos es más confiable para establecer un tránsito proyectado, así como también nos presenta las variaciones que tienen el flujo vehicular diariamente.

$$TPDA = TF + TG + TD$$

Donde:

TF = Tráfico Futuro o Proyectado.

TG= Tráfico Generado

TD= Tráfico Desarrollado

Tráfico Futuro o Proyectado

El pronóstico del volumen y composición del tráfico se basa en el tráfico actual. Los diseños se basan en una predicción del tráfico a 15 o 20 años y el crecimiento normal del tráfico, el tráfico generado y el crecimiento del tráfico por desarrollo. [15]

Tráfico Generado

El tráfico generado está constituido por aquel número de viajes que se efectuarían sólo si las mejoras propuestas ocurren. Generalmente, el tráfico generado se produce dentro de los dos años siguientes a la terminación de las mejoras o construcción de una carretera. [15]

Trafico desarrollado

Este tráfico se produce por incorporación de nuevas áreas a la explotación o por incremento de la producción de las tierras localizadas dentro del área de influencia de la carretera. Este componente del tráfico futuro puede continuar incrementándose durante parte o todo el período de estudio. Generalmente se considera su efecto a partir de la incorporación de la carretera al servicio de los usuarios. [15]

Clasificación de la vía por capacidad (TPDA)

Según el Ministerio de Obras Públicas, se les clasifica a las vías dependiendo de su flujo vehicular. Para realizar esta clasificación, el Ministerio recomienda un periodo de 15 o 20 años, en función del pronóstico del tráfico previamente establecido. En la siguiente tabla indica la clasificación vial en función del tránsito proyectado.

Tabla 1. 1. Clasificación de la vía en base al tráfico proyectado.

CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS EN FUNCION DEL TRAFICO PROYECTADO	
Clase de carretera	Trafico Proyectado (TPDA)
R-I o R-II	Más de 8000
I	De 3000 a 8000
II	De 1000 a 3000
III	De 300 a 1000
IV	De 100 a 300
V	Menos de 100

Fuente: Normas de diseño Geométrico de Carreteras,2003

El TPDA indicado es volumen de tráfico promedio diario anual proyectado a 15 o 20 años. Cuando el pronóstico de tráfico para el año 10 sobrepasa los 7.000 vehículos debe investigarse la posibilidad de construir una autopista. Para la determinación d la capacidad de una carretera, cuando se efectúa e diseño definitivo, debe usarse tráfico en vehículos equivalente. [15]

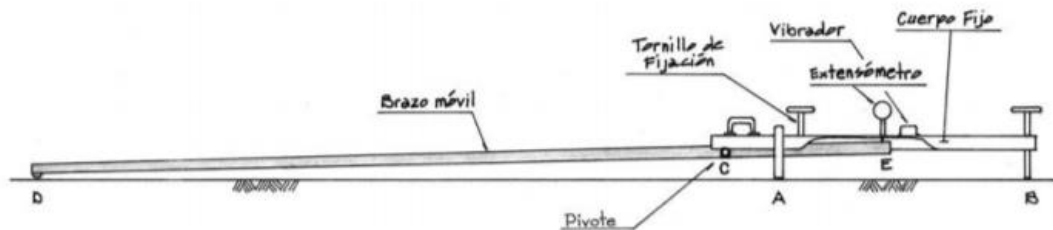
Viga Benkelman

La viga Benkelman es una herramienta aliada en la evaluación estructural, por medio de ésta se puede medir deflexiones a nivel de superficie a cada distancia. Para lograr estas mediciones es necesario aplicar una carga de 18000 lb, proveniente de las llantas dobles del eje trasero simple de un camión. Estas deflexiones son medidas en un punto inicial de referencia y a cada distancia conforme avanza el camión, de esta manera se crea la curva de deflexiones. [17]

El uso de la viga es extremadamente para casos en donde se presente fallas poco visibles o fallas en las que no se las pueda distinguir. La evaluación se la realiza “in situ” y los resultados se las interpreta de manera global.

El deflectómetro Benkelman es completamente mecánico y funciona como palanca que marca la deflexión del pavimento mediante un extensómetro.

Gráfico 1. 56. Esquema de la viga Benkelman.



Fuente: Manual de Carreteras: Ensayo de Materiales, (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

La viga comprende dos partes. La primera comprende un cuerpo fijo que se sitúa en el terreno mediante tres apoyos, dos de ellos fijos en el punto “A” y uno trasero regulable en el punto “B”. La segunda parte consta de un brazo móvil, acoplado a una articulación de giro en el punto “C”, uno de los extremos de este brazo (DE) se encuentra en el punto “D” apoyado sobre el terreno, el otro extremo se encuentra en contacto con un extensómetro de movimiento vertical en el punto “E”. [17]

Estudio de suelos

Para los estudios de suelos que se aplicara a la investigación se encuentran:

Clasificación de Suelos por el Método SUCS y AASHTO

Los diferentes tipos de suelos son definidos por el tamaño de las partículas. Son frecuentemente encontrados en combinación de dos o más tipos de suelos diferentes, como, por ejemplo: arenas, gravas, limo, arcillas y limo arcilloso, etc. Uno de los más usuales sistemas de clasificación de suelos es el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el cual clasifica al suelo en 15 grupos identificados por nombre y por términos simbólicos. [18]

Tabla 1. 2. Clasificación del suelo según SUCS

PRINCIPALES		grupo				
SUELOS DE GRANO GRUESO	GRAVAS	Gravas limpias (sin o con pocos finos)	GW	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: $C_u = D_{60}/D_{10} > 4$ $C_c = (D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3 No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW. Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP < 4. Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo. Límites de Atterberg sobre la línea A con IP > 7.	
		(sin o con pocos finos)	GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.		
		Gravas con finos (apreciable cantidad de finos)	GM	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.		
			GC	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.		
	ARENAS	Arenas limpias (pocos o sin finos)	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		<5% -> GW, GP, SW, SP. >12% -> GM, GC, SM, SC.
		(pocos o sin finos)	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		5 al 12% -> casos límite que requieren usar doble símbolo.
		Arenas con finos (apreciable cantidad de finos)	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		$C_u = D_{60}/D_{10} > 6$ $C_c = (D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3 Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW.
			SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP < 4. LOS límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan
SUELOS DE GRANO FINO	Limos y arcillas:		ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad.		
			CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.		
			OL	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.		
	Limos y arcillas:		MH	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.		
			CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.		
	Limos y arcillas:		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.		
			PT	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.		

Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 2000, Mecánica de suelos elemental.

Tabla 1. 3. Clasificación del suelo según AASHTO

Clasificación general	Suelos granulosos 35% máximo que pasa por tamiz de 0,08 mm							Suelos finos más de 35% pasa por el tamiz de 0,08mm				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Análisis granulométrico % que pasa por el tamiz de:												
2 mm	máx. 50		mín. 50									
0,5 mm	máx. 30	máx. 50										
0,08 mm	máx. 15	máx. 25	máx. 10	máx. 35	máx. 35	máx. 35	máx. 35	mín. 35	mín. 35	mín. 35	mín. 35	mín. 35
Límites Atterberg												
Límite de liquidez				máx. 40	mín. 40	máx. 40	mín. 40	máx. 40	máx. 40	máx. 40	mín. 40	mín. 40
Índice de plasticidad	máx. 6	máx. 6		máx. 10	máx. 10	mín. 10	mín. 10	máx. 10	máx. 10	mín. 10	mín. 10	mín. 10
											IP<LL-30	IP<LL-30
Índice de grupo	0	0	0	0	0	máx. 4	máx. 4	máx. 8	máx. 12	máx. 16	máx. 20	máx. 20
Tipo de material	Piedras, gravas Y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Estimación general del suelo como subrasante	De excedente a bueno						De pasable a malo					

Fuente: Manual para el diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito, 2008

Granulometría

La granulometría es la distribución de las partículas de un suelo de acuerdo con su tamaño, que se determina mediante el tamizado o paso del agregado por mallas de distinto diámetro hasta el tamiz N°200 (diámetro 0.074 milímetros), considerándose el material que pasa dicha malla en forma global. El análisis granulométrico deriva en una curva granulométrica, donde se plotea el diámetro de tamiz versus porcentaje acumulado que pasa o que retiene el mismo, de acuerdo con el uso que se quiera dar al agregado. [18]

Contenido de humedad

El contenido de humedad de una muestra indica la cantidad de agua que esta contiene, expresándola como un porcentaje del peso de agua entre el peso del material seco. En cierto modo este valor es relativo, porque depende de las condiciones atmosféricas que pueden ser variables. Entonces lo conveniente es realizar este ensayo y trabajar casi inmediatamente con este resultado, para evitar distorsiones al momento de los cálculos. [18]

Limite plástico y Limite líquido

Se conoce como plasticidad de un suelo a la capacidad de este de ser moldeable. Esta depende de la cantidad de arcilla que contiene el material que pasa la malla W200, porque es este material el que actúa como ligante. [18]

Los estudios de límite de plasticidad determinan el contenido mínimo de humedad al que se pueda moldear el suelo.

El material se presenta en tres estados dependiendo del contenido de humedad al que esté sujeta. Si el material posee demasiado contenido de humedad y no pueda ser moldeable se dice que está en un estado semilíquido, luego de un momento llega a estado plástico el cual la consistencia del material permite que pueda ser moldeado sin dejar de estar húmedo. Se sigue eliminando agua naturalmente y el material al ser moldeable empieza a quebrarse y es allí donde se presenta el estado semi seco.

El contenido de humedad en el cual el agregado pasa del estado semilíquido al plástico es el Límite Líquido, y el contenido de humedad que pasa del estado plástico al semi seco es el Límite Plástico. [18]

Proctor modificado tipo B

Existen dos tipos de ensayo Proctor, los cuales son el estándar o normal con la norma ASTM-D 698 y el modificado con la norma ASTM-D 1557, ambos ensayos tienen como finalidad determinar la cantidad óptima de agua de un suelo que permita una mejor compactación para una energía dada. También nos ayuda a definir la densidad seca máxima y su humedad óptima, que se puede conseguir con ese suelo en el laboratorio.

Los resultados del ensayo serán utilizados como referencia para el control de calidad de la compactación en obra.

Para realizar el ensayo, además del equipamiento de laboratorio común a muchos ensayos como son una báscula, una estufa de secado o pequeño material (bandejas, mazo de goma, palas, etc.), se requiere el equipamiento específico que se muestra en la siguiente figura. [19]

Gráfico 1. 57. Equipamiento de laboratorio para ensayo Proctor



Fuente: López Maldonado Griselda, 2020, Ensayos de compactación en carreteras: Proctor Normal y Modificado.

La diferencia que tienen entre ambos es: en el número de capas y golpes por capa, el peso del martillo y altura de caída del martillo.

La elección de uno de los ensayo se ve reflejada en las especificaciones de cada proyecto o de manera general dependerá de la energía de compactación requerida para cada proyecto, por ejemplo: se ocupa el ensayo estándar o normal para un proyecto de energía media como es en terraplenes y se emplea el ensayo Proctor Modificado para proyectos que consideren importante la energía como es un proyecto vial, ya que requiere de mayor compactación en la subrasante o las capas que conforman la estructura del pavimento.

CBR

El California Beriang Ratio (CBR) es una medida de la capacidad de carga relativa de un suelo en condiciones controladas de humedad y densidad.

Esta técnica mide la carga requerida para penetrar un pistón de un tamaño dado a una velocidad dada en una muestra de suelo compactado después de haber sumergido en

agua durante cuatros días en donde se sature completamente y luego medir su hinchazón.

El ensayo de penetración se lleva a cabo en una máquina de compresión utilizando una tasa de deformación unitaria de 1.27 mm/mino. Se toman lecturas de carga contra penetración a cada 0.5 mm de penetración hasta llegar a un valor de 5.0 mm a partir del cual se toman lecturas con incrementos de 2,5 mm hasta obtener una penetración total de 12.7 mm. [20]

La clasificación que se da a los suelos en base al CBR en un rango del 0% al 100%, varía dependiendo del tipo de suelo evaluado, hay suelos que se establecen en un rango del 0% a los cuales se los denomina suelo muy pobre y existen suelos de excelente calidad que se posicionan en un rango de 100%.

Tabla 1. 4. Clasificación del suelo de acuerdo con el CBR

CBR (%)	CARACTERÍSTICAS
0 – 3	Subrasante muy pobre
3 – 7	Subrasante pobre
7 – 20	Subbase regular
20 – 50	Subbase y base bueno
>50	Base excelente

Fuente: Bowles, Joseph E, 1981, Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil.

1.1.4 HIPÓTESIS

La evaluación de la infraestructura vial ayudará a determinar el estado actual de la capa de rodadura de la Avenida Cotopaxi y Rio Cutuchi de la Provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga.

1.1.5 SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

1.1.5.1 Variable Independiente

Evaluación de la infraestructura vial.

1.1.5.2 Variable Dependiente

Determinar el estado de la capa de rodadura a la Avenida Cotopaxi y Rio Cutuchi de la Provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

- Realizar la evaluación de la infraestructura vial mediante estudios técnicos para el mejoramiento de la Av. Cotopaxi y Av. Rio Cutuchi.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar el estado de la infraestructura vial actual de la Av. Cotopaxi y Av. Rio Cutuchi de la provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga.
- Determinar las características del camino mediante el levantamiento topográfico y conteo vehicular.
- Efectuar estudio de suelos y ensayos que proporcionen la información necesaria del estado del pavimento.
- Proponer un mejoramiento vial de la Av. Cotopaxi y Av. Rio Cutuchi de la provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología planteada en esta investigación tiene como finalidad aportar en base a la calidad de la infraestructura vial un mejoramiento óptimo futuro, mismo que garantice una seguridad vial y comodidad a los conductores y usuarios que utilizan la vía, bajo criterios que permitan evaluar un adecuado nivel de servicio.

La presente propuesta se enfocará en el análisis de la estructura del pavimento, mediante estudios de suelos e inspecciones visuales que determinen el estado de la vía actualmente y por la cual se entregará una solución.

La modalidad que se emplea en esta investigación son las siguientes:

Investigación de campo

Esta modalidad de investigación es de suma importancia, debido a que se encuentra relacionada con la observación y recolección de datos in situ, analizando las condiciones actuales del sector. Se realiza actividades como:

- Recolección de datos topográficos de la vía para la ejecución del diseño vial.
- Conteo vehicular para la determinación del TPDA.
- Evaluación visual del estado actual del pavimento de la vía que incluye el índice de condición de pavimento (PCI).

Investigación bibliográfica – documental

La presente investigación se basa en libros, normativas, artículos, investigaciones o documentales afines a la carrera, que garanticen una solución al problema y que proporcionen la información necesaria para el desarrollo del tema.

Investigación experimental o de laboratorio

En base a estudios técnicos como son la de ensayos realizados in situ o en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, se busca evaluar las condiciones actuales de la capa de rodadura, para ello se realizaron los siguientes ensayos:

- Contenidos de humedad.
- Granulometría.
- Proctor Modificado.
- Capacidad de soporte (CBR).
- Límites de plasticidad.
- Viga Benkelman.

2.1 MATERIALES

Dentro de la presente investigación se ha utilizados los siguientes materiales y equipos:

Levantamiento Topográfico

Equipos:

- Sistema de posicionamiento global (GPS).
- Cinta métrica.
- Flexómetro.
- Computador.

Materiales:

- Pintura.
- Libreta de campo

Estudio de suelos

Materiales:

- Material extraído de la Avenida.
- Agua.

Equipo:

- Moldes metálicos.
- Tamices para agregado fino y grueso.
- Horno.
- Martillo de compactación.
- Bandejas, balanzas.

Ensayo viga Benkelman**Equipos:**

- Viga Benkelman.
- Extensómetro.
- Camión cargado de 18 toneladas.

Método del Índice de Condición de Pavimento**Equipos:**

- Manual de identificación de fallas.

Materiales:

- Formato de recolección de datos.

Trafico promedio diario anual (TPDA)**Materiales:**

- Formato de contabilización de vehículos.

2.2 MÉTODOS

2.2.1 NIVELES O TIPOS DE INVESTIGACIÓN

2.2.1.1 Nivel exploratorio

Este nivel se utiliza al principio de un proceso investigativo para tener un conocimiento aproximado a la realidad, permitiendo así la determinación del estudio adecuado del estado actual de la Av. Cotopaxi y Rio Cutuchi del cantón Latacunga, dando como resultado que las condiciones de la capa de rodadura se encuentran visualmente en un estado regular a malo.

2.2.1.2 Nivel descriptivo

Es una investigación descriptiva debido a que requiere de una descripción completa de un fenómeno o situación en estudio. Se detallará las condiciones de trabajo de acuerdo con el tema planteado, así como también la utilización de implementos físicos o digitales que intervienen en los estudios técnicos. Con ello se logra ejecutar la hipótesis de trabajo y buscar una posible solución al problema inicial.

2.2.1.3 Nivel explicativo

Dentro de este nivel se busca explicar las causas o circunstancias por las que el estado de la vía se encuentra regular o en mal estado, considerando las variables en estudio por lo que se procederá a realizar pruebas en el respectivo laboratorio para identificar las condiciones del suelo, humedad y densidad.

2.2.1.4 Población y muestra

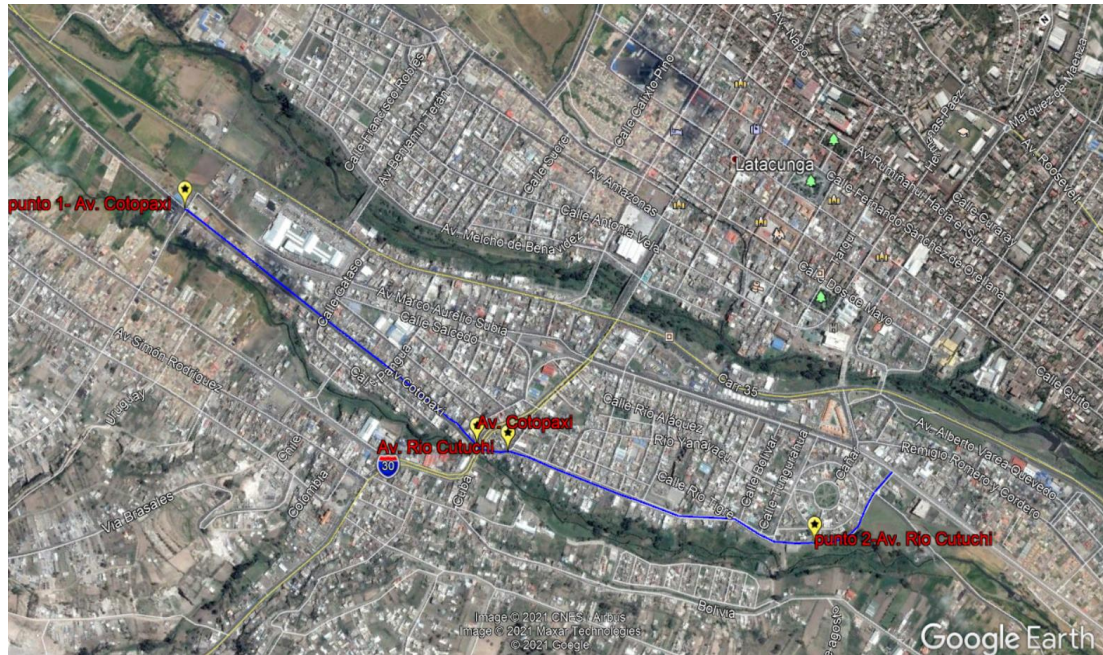
Población

Al tratarse de un proyecto experimental, se considera la población en estudio la calzada que corresponde a la Av. Cotopaxi y Rio Cutuchi de la provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga.

Ubicación del proyecto

El presente proyecto experimental se basa en una evaluación de la infraestructura vial actual de la Av. Cotopaxi y Río Cutuchi de 2,46 km de longitud perteneciente a la parroquia Eloy Alfaro, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi.

Gráfico 2. 58. Ubicación del Proyecto



Fuente: Google Earth Pro, 2020

Muestra

Para el levantamiento topográfico de la avenida, se utilizará los puntos tomados por el GPS a un abscisado de cada 20m, con el fin de trazar la vía en el software AutoCAD Civil 3D.

A continuación, para el ensayo de la viga Benkelman, como es un equipo usado en campo, se detecta las deflexiones en el pavimento, para ello se aplicará a cada 200m y se medirán las deflexiones utilizando un camión cargado que pesará 18 toneladas aproximadamente.

Para la obtención del índice de condición del pavimento (PCI), se lo realiza en campo y de forma visual, identificando las fallas visibles que se encuentran en el pavimento.

Otro aspecto importante será las cargas transitadas por los vehículos que intervienen en la vía, por lo que se procederá al conteo vehicular para calcular el TPDA. Esta función se la realizará 7 días ininterrumpidos en horario de 7 am a 7 pm teniendo un total de 12 horas cada día. Se empleará un formato en el que clasificará el tipo de vehículo y por el cual determinará que tipo de carretera corresponde.

Dentro de la evaluación de las propiedades del suelo, se realizarán calicatas de 0.80m x 0.80m x 1.00m de dimensiones para extraer muestras de suelo y analizarlas en los laboratorios con el fin de medir la resistencia del suelo. La avenida tiene 2.46 km de longitud por lo que las muestras se las toman a cada 1000 m, y se regirá a la norma AASHTO T 87-70.

2.2.2 Operacionalización de variables

2.2.2.1 Variable independiente

Evaluación de la infraestructura vial.

Tabla 2. 5. Operacionalización de la variable independiente.

CONCEPTUALIZACION	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS BÁSICOS	TÉCNICAS INSTRUMENTALES
La Evaluación de la infraestructura vial corresponde a un análisis de las condiciones actuales de la vía, este proceso se desarrollará mediante estudios de suelos y conteo vehicular, identificando el volumen de tráfico, fallas y deflexiones, que se vaya presentando en cada tramo de la vía y así garantizar una calzada funcional, cómoda y segura.	Flujo Vehicular	Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)	¿Cuál es el TPDA actual del tramo de la vía?	Conteo Vehicular Manual
	Estructura del Pavimento	Ensayo CBR (California Bearing Ratio) Capa de rodadura Base Subbase Subrasante	¿Cuál es la capacidad portante del suelo?	Ensayos de Laboratorio con muestras del suelo Métodos ASSHTO 1993 Ensayo CBR Granulometría Límite Plástico y Limite Líquido Ensayo Proctor Modificado

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza

2.2.2.2 Variable dependiente

Determinar el estado de la capa de rodadura a la Avenida Cotopaxi y Rio Cutuchi de la Provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga.

Tabla 2. 6. Operacionalización de la variable dependiente.

CONCEPTUALIZACION	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS BÁSICOS	TÉCNICAS INSTRUMENTALES
La capa de rodadura se ubica en la base, cumpliendo la función de proporcionar estabilidad, comodidad y seguridad al tránsito vial, así como también protege la estructura del pavimento.	Características viales	Levantamiento topográfico	¿Cuál es la topografía del terreno?	GPS
				Software AutoCAD Civil 3D
	Condición Funcional	Índice de condición del pavimento para evaluar e identificar objetivamente el pavimento, la flexibilidad y la rigidez.	¿Cuál es la condición actual de la capa de rodadura?	Análisis visual en campo (PCI)
Medición de deflexiones a nivel de superficie				¿Cómo evaluó las deflexiones del pavimento?

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza

2.2.3 Plan de recolección de información

Tabla 2. 7. Plan de recolección de información.

PREGUNTAS BÁSICAS	EXPLICACIÓN
1. ¿Para qué se evalúa?	Evaluar la infraestructura vial actual de la Av. Cotopaxi y Rio Cutuchi de 2,46 km de longitud perteneciente a la parroquia Eloy Alfaro, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi.
2. ¿De qué personas u objetos?	De la Av. Cotopaxi y Rio Cutuchi de 2,46 km de longitud perteneciente a la parroquia Eloy Alfaro, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi.
3. ¿Sobre qué aspectos?	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluación de la infraestructura vial. - Determinar el estado de la capa de rodadura.
4. ¿Quién? ¿Quiénes?	<ul style="list-style-type: none"> - Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza (autor). - Ing. Rodrigo Iván Acosta Lozada, Mg. (tutor).
5. ¿Dónde se evalúa?	Av. Cotopaxi y Rio Cutuchi perteneciente a la parroquia Eloy Alfaro, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi.
6. ¿Cómo se evalúa?	<ul style="list-style-type: none"> - Investigación de campo. - Investigación documental-bibliográfica. - Investigación experimental o de laboratorio.
7. ¿Con que se evalúa?	<ul style="list-style-type: none"> - Equipos de laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. - Equipos del GAD Municipal del cantón Latacunga.

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza

2.2.4 Plan de procesamiento y análisis

Para el desarrollo del plan de procesamiento y análisis se realiza el siguiente procedimiento.

- Levantamiento topográfico.

Se realiza el levantamiento georreferenciado mediante GPS y el software AutoCAD con el fin de proyectar la planimetría de la vía en estudio.

- Conteo vehicular.

Se determina el TPDA mediante el conteo vehicular durante 12 horas en 7 días ininterrumpidos de 7am a 7pm con el fin de establecer el tipo de carretera y flujo vehicular. Para la obtención del tráfico promedio diario anual se suman los volúmenes anuales entre los 365 días que tiene el año 2021.

- Estudio de suelos.

Las muestras de suelos se las extraerá y se las ensayará en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

- Evaluación del pavimento.

Se realiza la investigación para evaluar las condiciones actuales del pavimento y de la capa de rodadura, así como la metodología para el cálculo de las deflexiones que tiene el pavimento, y también se determina la magnitud de las fallas que se encuentren a lo largo de la vía utilizando el método del Índice de Condición de Pavimento y la Viga Benkelman.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de resultados

3.1.1 Ubicación de la vía en estudio

El cantón Latacunga está conformado por 5 parroquias urbanas y 10 rurales. Las parroquias urbanas son las siguientes: La Matriz, Ignacio Flores, Eloy Alfaro, Juan Montalvo, San Buenaventura y las parroquias rurales son: Aláquez, Pastocalle, Joseguango Bajo, Belisario Quevedo, Guaytacama, Poaló, Once de Noviembre, Tanicuchí, Mulaló y Toacaso.

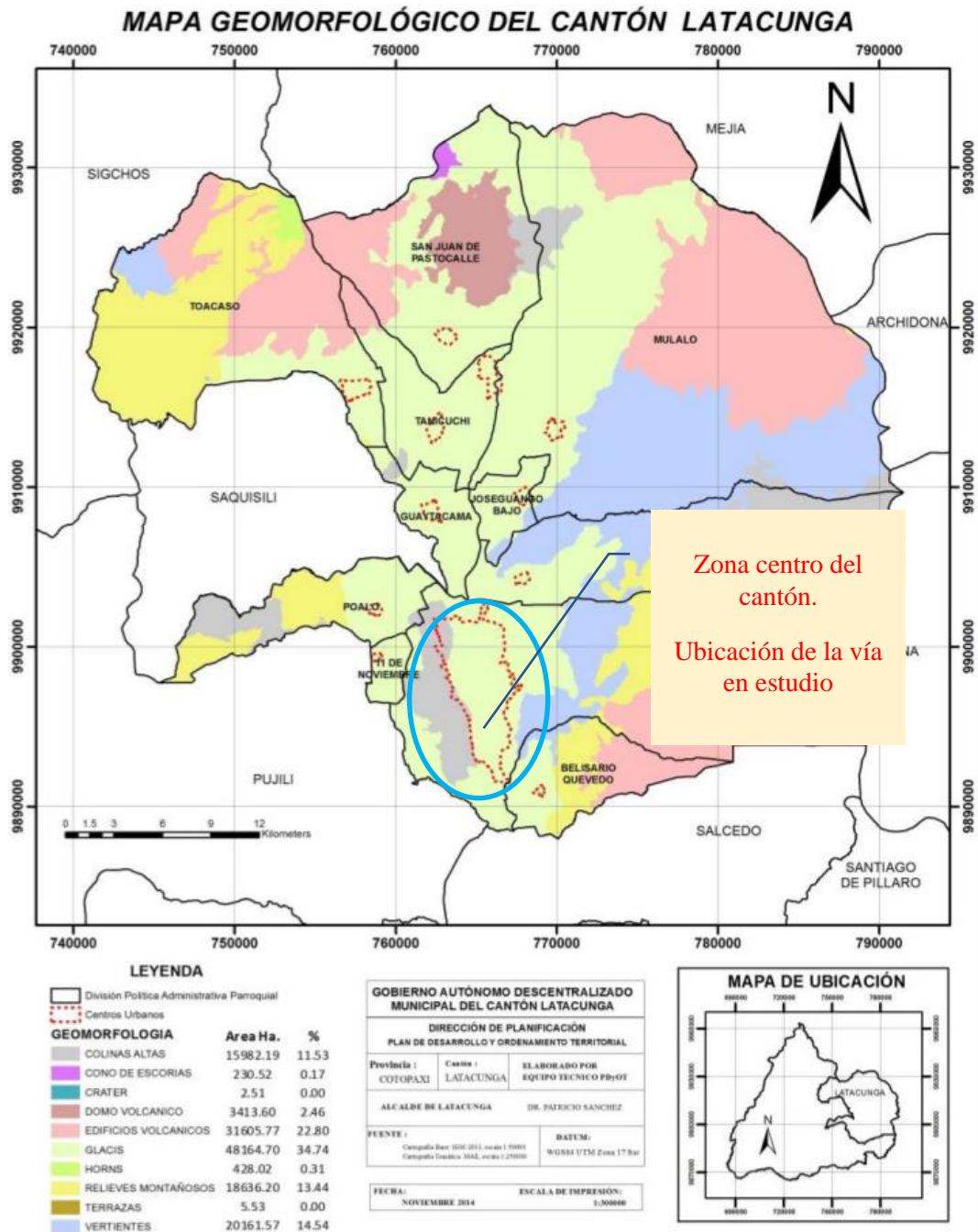
El presente proyecto experimental está ubicado en la parroquia Eloy Alfaro, en la zona urbana del cantón. Y se basa en una evaluación de la infraestructura vial actual de la Av. Cotopaxi y Rio Cutuchi que conforma de 2,46 km de longitud.

Tabla 3. 8. Coordenadas UTM de la vía en estudio

Abscisa	Norte	Este
Km 0+000	9897888,68 m S	764017,58 m E
Km 2+460	9895948,63 m S	765066,56 m E

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza

Gráfico 3. 59. Mapa Geomorfológico del cantón Latacunga

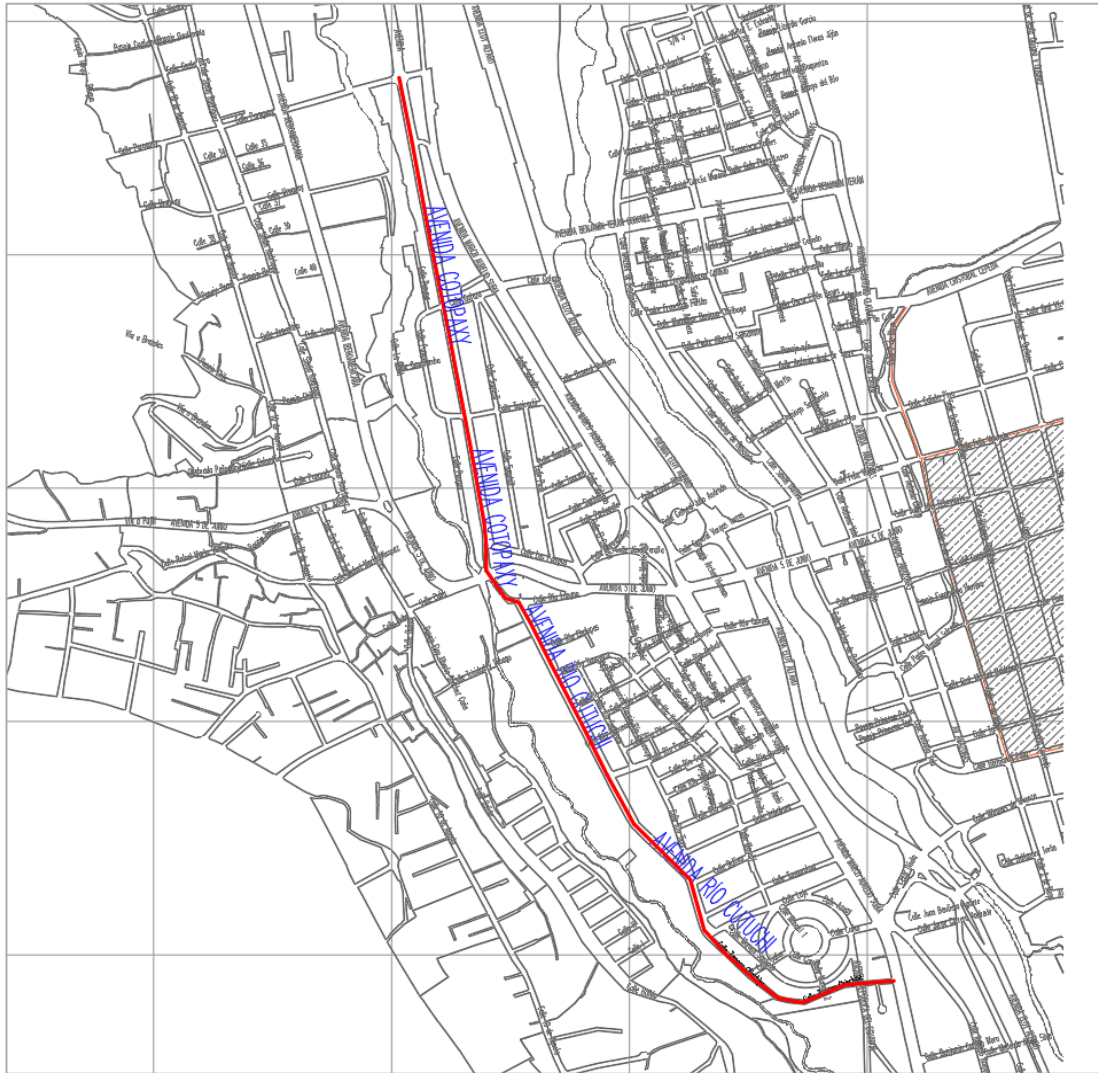


Fuente: Equipo PD y OT GADML, 2014, Cartografía Temática MAE

La Av. Cotopaxi y Av. Río Cutuchi se encuentran ubicadas en la Parroquia Eloy Alfaro, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi, en la zona centro oeste de la ciudad de Latacunga, la cual tiene conexión con la Panamericana Norte y Sur. Desempeña un papel importante como medio de comunicación entre ciudades, circulando vehículos livianos y pesados que transportan sus productos para ser comercializados en el

Mercado Mayorista de ciudad de Latacunga o bien se trasladan hacia el sur de la ciudad conectándose con la E35 o hacia la Empresa Holcim en donde se distribuye el cemento y otros materiales de construcción por lo que es una vía muy transitada por la carga pesada.

Gráfico 3. 60. Ubicación de la vía en estudio



Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza

3.1.2 Conteo vehicular o estudio de tránsito

Para el estudio de tráfico de la Av. Cotopaxi y Rio Cutuchi del cantón Latacunga se efectuó un conteo manual el cual tuvo su estación de conteo en la intersección de las Avenidas Cotopaxi-Rio Cutuchi y Av. 5 de junio.

Los datos se distribuyeron por tipo de vehículo y ambos sentidos durante 7 días ininterrumpidos que incluyeron sábado y domingo del mes de octubre en un horario de 7 am a 19 pm en intervalos de 15 minutos y se registraron en un formato de recolección de datos de campo que se señala en el Anexo – A.



Tabla 3. 9. Ubicación de la Estación de conteo vehicular

Ubicación de la Estación de Conteo	
ABSCISA	Km 1+100
NORTE	9896807,13
ESTE	764204,95

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza

Dentro de los 7 días que se realizó el conteo manual de tráfico, en la Tabla 3.11, se presenta un resumen de la cantidad de vehículos que circula por la Avenida, señalando el día con mayor frecuencia vehicular.

Tabla 3. 10. Resumen de vehículos que circulan semanalmente.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CONTAJE DE TRÁFICO VEHICULAR	
---	--	---

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL ACTUAL DE LA AV. COTOPAXI Y RIO CUTUCHI DE 2,46 KM DE LONGITUD PERTENECIENTE A LA PARROQUIA ELOY ALFARO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI

RESPONSABLE: EVELYN CAISAGUANO

REVISADO POR: ING. RODRIGO ACOSTA

SENTIDO: AMBOS

FECHA: 21/11/2021

COMPORTAMIENTO DEL TRÁFICO SEMANAL



Días	NORTE-SUR					SUR-NORTE					SUMA TOTAL
	Livianos	Buses	Camiones	Otros	Total	Livianos	Buses	Camiones	Otros	Total	
Lunes	3078	35	317	5	3435	2447	35	192	2	2676	6111
Martes	3322	75	352	2	3751	2392	41	175	0	2608	6359
Miércoles	3235	66	326	2	3629	1820	28	223	2	2073	5702
Jueves	3305	64	359	1	3729	2416	43	149	1	2609	6338
Viernes	3297	70	242	1	3610	2563	39	136	1	2739	6349
Sábado	3371	66	233	2	3672	2526	18	148	0	2692	6364
Domingo	2360	35	49	0	2444	1873	13	164	0	2050	4494

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza.

Determinación del TPDA

Dentro del estudio de tránsito se efectúa el conteo vehicular, el cual al ser una muestra variante se realiza una proyección de un diseño de tráfico futuro, para ello se determina el TPDA el cual corresponde al Tráfico Promedio Diario Anual, en donde se analiza la hora pico.

Tabla 3. 11. Flujo Vehicular en la Hora Pico

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CONTAJE DE TRÁFICO VOLUMÉTRICO	
---	--	---

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL ACTUAL DE LA AV. COTOPAXI Y RÍO CUTUCHI DE 2,46 KM DE LONGITUD PERTENECIENTE A LA PARROQUIA ELOY ALFARO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI UBICACIÓN: Av. Cotopaxi SENTIDO: AMBOS

ESTADO DEL TIEMPO: LLUVIOSO RESPONSABLE: EVELYN CAISAGUANO HOJA No: 1/1

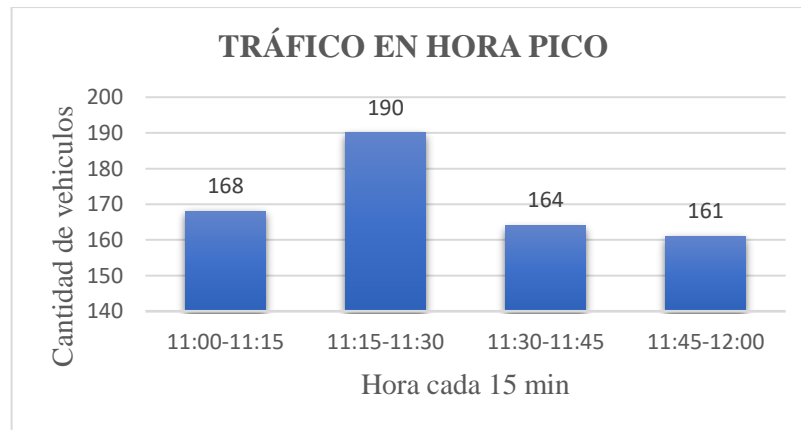
FECHA: 21/11/2021 DÍA: SABADO REVISADO POR: ING. RODRIGO ACOSTA

HORA	LIVIANOS			BUSES			CAMIONES				SUBTOTAL	TOTAL	
	AUTOMOVILES	CAMIONETAS	MOTOS	LIVIANO	MEDIANO	PESADO	DOS EJES		TRES EJES	> TRES EJES			
							LIVIANOS	PESADOS					
11:00	11:00-11:15	80	78	0	0	4	0	0	6	0	0	168	683
	11:15-11:30	91	83	1	0	2	0	6	6	1	0	190	
	11:30-11:45	78	74	0	0	2	0	0	9	1	0	164	
	11:45-12:00	75	71	0	2	0	0	7	6	0	0	161	
	Subtotal	324	306	1	2	8	0	13	27	2	0	683	
Total	631			10			42						

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza

El día y la hora con mayor flujo vehicular de la semana se muestra en la *Tabla 3.11.*, dando como resultado el día Sábado a las 11:00 am, dando un valor de volumen de máxima demanda vehicular (VHP) de 683 vehículos.

Gráfico 3. 61. Cantidad de vehículos en Hora Pico.



Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza

Cálculo de Factor de Hora de Máxima Demanda (FHP)

$$FHP = \frac{VHP}{4 * Q_{15m\acute{a}x}} \quad ; \text{ Ec. 1}$$

Donde:

FHP: Factor de hora de máxima demanda.

VHP: Sumatoria total de los vehículos que circulan en la hora pico.

Q15máx: vehículos de los 15 minutos más altos de la hora pico.

$$FHP = \frac{683}{4 * 190}$$

$$FHP = 0,8130 < 1$$

$$FHP = 1$$

Nota: Para un tránsito uniforme el factor de hora de máxima demanda será de 1

Cálculo del Tráfico Promedio Diario Anual actual (TPDA act)

$$TPDA \text{ act.} = \frac{VHP * FHP}{k} \quad ; \text{ Ec. 2}$$

Donde:

TPDA act.: Tráfico promedio diario anual actual.

VHP: Número de vehículos en hora pico.

K: valor constante de TPDA.

Tabla 3. 12. Coeficiente de k, TPDA

Zona	Valor constante k de TPDA
Zona Urbana	8% - 12%
Zona Rural	12% - 18%

Fuente: MTOP, 2013

La vía en estudio se encuentra ubicada en la zona urbana de la ciudad de Latacunga por lo que el valor de k a utilizarse será de 10%. Por lo tanto:

$$TPDA \text{ act.} = \frac{VHP * FHP}{k} \quad ; \text{ Ec.3}$$

$$TPDA \text{ act.} = \frac{683 * 1}{0.10}$$

$$TPDA \text{ act.} = 6830 \text{ veh/día}$$

Livianos

$$TPDA \text{ act.} = \frac{631 * 1}{0.10}$$

$$TPDA \text{ act.} = 6310 \text{ veh/día}$$

Buses

$$TPDA \text{ act.} = \frac{10 * 1}{0.10}$$

$$TPDA \text{ act.} = 100 \text{ veh/día}$$

Camiones

$$TPDA \text{ act.} = \frac{42 * 1}{0.10}$$

$$TPDA \text{ act.} = 420 \text{ veh/día}$$

Tabla 3. 13. Resultados del calculo de TPDA act. De cada tipo de vehiculo para la Av. Cotopaxi y Rio Cutuchi.

Tipo de Vehículo	VHP (veh/día)	TPDA act. (veh/día)
Livianos	631	6310
Buses	10	100
Camiones	42	420
Otros	0	0
Total	683	6830

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza.

Cálculo del tráfico generado (TG)

$$TG = 20\% * TPDA \text{ act.} \quad ; \text{ Ec. 4}$$

$$TG = 20\% * 6830 \text{ veh/día}$$

$$TG = 1366 \text{ veh/día}$$

Para el cálculo de los otros tipos de vehículos se emplea el mismo método de cálculo.

Cálculo del tráfico atraído (Tat)

$$Tat = 10\% TPDA \text{ act} \quad ; \text{ Ec. 5}$$

Donde:

Tat: Tráfico Atraído.

TPDA act: Tráfico promedio diario anual actual.

$$Tat = 10\% * 6830 \frac{\text{veh}}{\text{día}} \quad ; \text{ Ec. 6}$$

$$T_{at} = 683 \frac{veh}{día}$$

Se emplea el mismo método de cálculo para los demás tipos de vehículos

Cálculo del tráfico desarrollado (TD)

$$TD = 5\% * TPDA \text{ act.} \quad ; \text{ Ec. 7}$$

$$TD = 5\% * 6830 \text{ veh/día}$$

$$TD = 342 \text{ veh/día}$$

Se emplea el mismo método de cálculo para los demás tipos de vehículos.

Tabla 3. 14. Resumen de cálculo del TPDA actual, TG, T at, TD.

Tipo de Vehículo	TPDA actual (veh/día)	Tráfico generado TG (veh/día)	Traffic atraído Tat (veh/día)	Tráfico desarrollado TD (veh/día)
Livianos	6310	1262	631	316
Buses	100	20	10	5
Camiones	420	84	42	21
Otros	0	0	0	0
Total	6830	1366	683	342

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza.

Cálculo del Tráfico Promedio Diario Anual Total (TPDA total)

$$TPDA \text{ total} = TPDA \text{ act} + T_{at} \quad ; \text{ Ec. 8}$$

Donde:

TPDA total: Tráfico Promedio Diario Anual Total.

TPDA act: Tráfico Promedio Diario Anual Actual.

Tat: Tráfico Atraído.

$$TPDA \text{ total} = 6830 \frac{veh}{día} + 683 \frac{veh}{día}$$

$$TPDA \text{ total} = 7513 \frac{veh}{día}$$

Con el TPDA total de 7513 veh/día se determina el tipo de vía a la que está sujeta. Según la MTOP, clasifica a las carreteras según su grado de importancia, basados en el volumen de tráfico y en el número de calzadas requerido. En la tabla 1.2 se muestra el cuadro de clasificación de la vía en base al tráfico proyectado y por el cual se establece que la Av. Cotopaxi y Av. Rio Cutuchi son de clase I y según la MTOP las denomina colectoras.

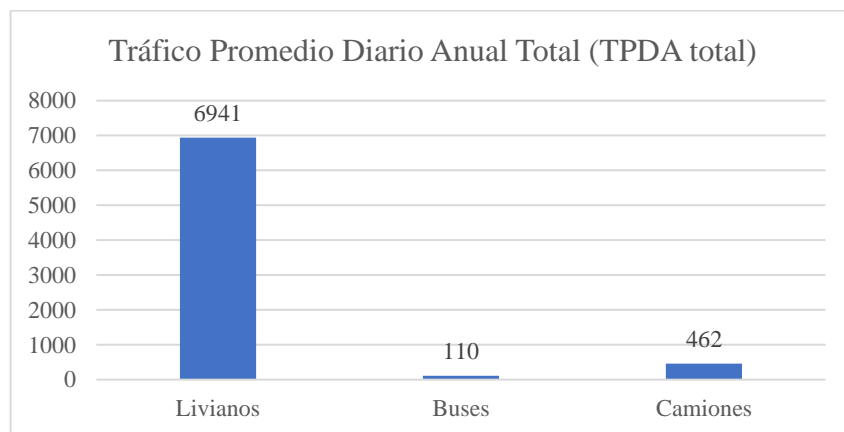
En la *Tabla 3.15*, se muestra los resultados obtenidos, una vez realizado los cálculos del Tráfico Promedio Diario Anual Total.

Tabla 3. 15. Resumen del Cálculo del TPDA total de cada tipo de vehículo.

Tipo de Vehículo	TPDA act. (veh/día)	Trafico atraído (veh/día)	TPDA Total (veh/día)	Porcentaje de TPDA Total %
Livianos	6310	631	6941	92.39%
Buses	100	10	110	1.46%
Camiones	420	42	462	6.15%
Otros	0	0	0	0%
Total	6830	683	7513	100%

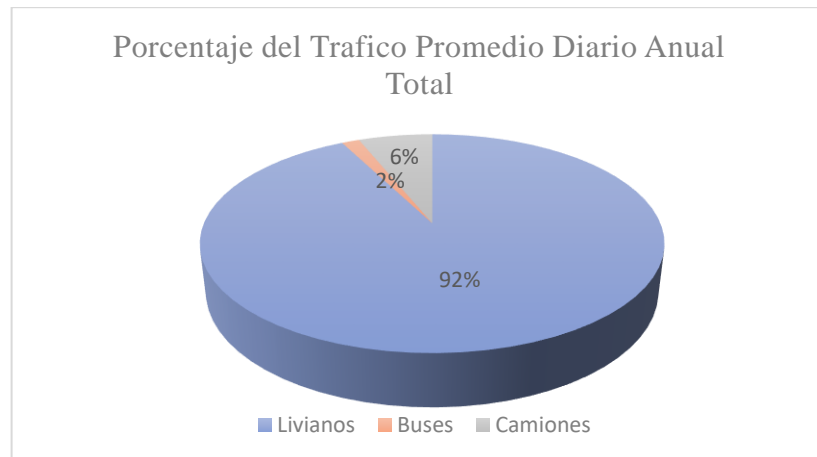
Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza.

Gráfico 3. 62. Tráfico Promedio Diario Anual Total



Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza

Gráfico 3.63. Porcentaje del TPDA total



Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza

Mediante el *Gráfico 3.63*, se puede notar que el mayor porcentaje de vehículos que circulan por la Avenida Cotopaxi y Rio Cutuchi son los vehículos livianos con un 92% de su totalidad, dato coherente debido a que la avenida es empleada para conectarse con el norte y sur del cantón, evitando así ingresar al centro de la ciudad en donde existen calles con mayor flujo vehicular y al ser una vía de 2 carriles para ambos sentidos tiene la capacidad de acoger al mayor flujo.

Cálculo del tráfico futuro (Tf)

Dentro del análisis del Trafico Futuro se toma en cuenta un número de años futuro, por lo que la proyección futura será de n=20 años iniciando desde el año 2021, por lo tanto, la ecuación será:

$$Tf = TPDA\ total (1 + i)^n ; Ec. 9$$

Donde:

Tf: Trafico futuro.

TPDA total: Trafico Promedio Diario Anual total.

I: Tasa de crecimiento de tráfico.



N: Proyección futura en años.

Tabla 3. 16. Tasa de Crecimiento de Tráfico de la Provincia de Cotopaxi.

Tasa de crecimiento de tráfico			
Periodo	Tipos de vehículos		
	Livianos	Buses	Pesados
2010-2015	2,98	2,24	2,45
2015-2020	2,65	1,99	2,48
2020-2025	2,39	1,79	1,96
2025-2030	2,17	1,63	1,78

Fuente: Ministerio De Transporte De Obras Públicas.

Tabla 3. 17. Tráfico Futuro proyectado en 20 años.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL TRÁFICO FUTURO	
---	---	---

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL ACTUAL DE LA AV. COTOPAXI Y RIO CUTUCHI DE 2,46 KM DE LONGITUD PERTENECIENTE A LA PARROQUIA ELOY ALFARO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI
 RESPONSABLE: EVELYN CAISAGUANO
 REVISADO POR: ING. RODRIGO ACOSTA
 FECHA: 11/12/2021

n	Año	Tasa de Crecimiento %			Tráfico Futuro (Tf) veh/día			Tráfico Futuro Total
		Livianos	Buses	Camiones	Livianos	Buses	Camiones	veh/día
0	2021	2,39	1,79	1,96	6941	110	462	7513
1	2022	2,39	1,79	1,96	7107	112	471	7690
2	2023	2,39	1,79	1,96	7277	114	480	7871
3	2024	2,39	1,79	1,96	7451	116	490	8056
4	2025	2,39	1,79	1,96	7629	118	499	8246
5	2026	2,39	1,79	1,96	7811	120	509	8440
6	2027	2,39	1,79	1,96	7998	122	519	8639
7	2028	2,39	1,79	1,96	8189	125	529	8843
8	2029	2,39	1,79	1,96	8385	127	540	9051
9	2030	2,39	1,79	1,96	8585	129	550	9264
10	2031	2,17	1,63	1,78	8603	129	551	9284
11	2032	2,17	1,63	1,78	8790	131	561	9482
12	2033	2,17	1,63	1,78	8981	134	571	9685
13	2034	2,17	1,63	1,78	9175	136	581	9892
14	2035	2,17	1,63	1,78	9375	138	591	10104
15	2036	2,17	1,63	1,78	9578	140	602	10320
16	2037	2,17	1,63	1,78	9786	142	613	10541
17	2038	2,17	1,63	1,78	9998	145	624	10767
18	2039	2,17	1,63	1,78	10215	147	635	10997
19	2040	2,17	1,63	1,78	10437	150	646	11232
20	2041	2,17	1,63	1,78	10663	152	657	11473

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza /

En la *Tabla 3.17*, describe la proyección del tránsito futuro que tendrá la vía dentro de 20 años, la cual se prevé que para el año 2041 tendrá un flujo vehicular de 11473 vehículos por día.

Clasificación de la vía en función del Tráfico Futuro

Dentro de la *Tabla 3.18*, nos señala la clasificación de carretera en función al tráfico proyectado.

Tabla 3.18. Clasificación de Carretera en Función al Tráfico Proyectado

Clasificación de Carreteras en Función al Tráfico Proyectado			
Descripción	Clasificación Funcional	Tráfico Promedio Diario Anual (al año horizonte o de diseño)	
		Límite Inferior	Límite Superior
Autopista	AP2	80000	120000
	AP1	50000	80000
Autovía o Carretera Multicarril	AV2	26000	50000
	AV1	8000	26000
Carretera de 2 carriles	C1	1000	8000
	C2	500	1000
	C3	0	500

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza

De acuerdo con la *Tabla 3.18*, la cual describe la clasificación de carreteras en función del tráfico proyectado y teniendo en consideración el TPDA total de 7513 veh/día como punto de partida para una proyección de tránsito futura dentro de 20 años se obtuvo un valor de 11473 veh/día. Mediante este valor y con respecto al cuadro de clasificación la vía pertenece a una Autovía o Carretera Multicarril “AV1”, por lo que la vía será diseñada con esas características y así brindar satisfacción y comodidad al usuario en el futuro.

3.1.3 Cálculo de ejes equivalentes

La vía al estar sujeta a diferentes tipos de vehículos pesados, es necesario cuantificar el número de ejes simples equivalentes que circulan por el carril, determinando la deflexión admisible y crítica que nos presenta la metodología AASHTO. A continuación, se presenta los factores de daño según el tipo de vehículo, los factores de distribución direccional y el porcentaje de W18 en carril D1.

Tabla 3. 19. Factor de Daño según el tipo de vehículo

Factor de daño según el tipo de vehículo									
Tipo	Simple		Simple Doble		Tándem		Trídem		Factor de daño (FD)
	Tons	(P/6,6) ⁴	Tons	(P/8,2) ⁴	Tons	(P/15) ⁴	Tons	(P/23) ⁴	
Bus	4	0,13	8	0,91					1,04
Camión Liviano 2 ejes	2,5	0,02							1,29
	7	1,27							
Camión Pesado 2 ejes	6	0,68	11	3,24					3,9
Camión > 2 ejes	6	0,68			18	2,07			2,75

Fuente: Norma AASHTO 93, 2014, Diseño de Estructuras de Pavimentos

Tabla 3. 20. Factores de Distribución Direccional

Número de carriles en ambas direcciones	Porcentaje de vehículos en carril (%)
2	50
4	45
6 o más	40

Fuente: Norma AASHTO 93, 2014, Diseño de Estructuras de Pavimentos

Tabla 3. 21. Porcentaje de W18 en Carril DI

Número de carriles en una dirección	Porcentaje de W18 en un carril (%)
1	100
2	80-100
3	60-100

Fuente: Norma AASHTO 93, 2014, Diseño de Estructuras de Pavimentos

Se determina el número de ejes simples equivalentes mediante la siguiente expresión:

$$W18 = ((\sum_{i=1}^m FD * TPDA) * 365) * Fd * Dl \quad ; \text{ Ec.10}$$

Donde:

W18: Número de ejes equivalentes para el periodo de diseño establecido.



TPDA: Tráfico promedio diario anual.

FD: Factor de daño.

Fd: Factor de distribución direccional.

DI: Porcentaje de W18 en el carril DI.

Tabla 3. 22. Ejes equivalentes de la Av. Cotopaxi y Rio Cutuchi.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL EJES EQUIVALENTES	
---	--	---

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL ACTUAL DE LA AV. COTOPAXI Y RIO CUTUCHI DE 2,46 KM DE LONGITUD PERTENECIENTE A LA PARROQUIA ELOY ALFARO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI

RESPONSABLE: EVELYN CAISAGUANO
 REVISADO POR: ING. RODRIGO ACOSTA
 FECHA: 14/12/2021

AÑO	TRAFICO FUTURO EN 20 AÑOS					W18 POR AÑO	W18 ACUMULADO	W18 POR CARRIL
	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES					
			C-2-L	C-2-P	C-3			
2021	6941	110	143	297	22	1250403	1250403	2778673
2022	7107	112	146	303	22	1279294	2529697	2842876
2023	7277	114	149	309	23	1308856	3838553	2908570
2024	7451	116	152	315	23	1339106	5177659	2975790
2025	7629	118	155	321	24	1370058	6547717	3044573
2026	7811	120	158	327	24	1401729	7949446	3114954
2027	7998	122	161	334	25	1434137	9383583	3186971
2028	8189	125	164	340	25	1467298	10850881	3260662
2029	8385	127	167	347	26	1501229	12352110	3336065
2030	8585	129	170	354	26	1535950	13888060	3413222
2031	8603	129	171	354	26	1539100	15427160	3420222
2032	8790	131	174	361	27	1571426	16998586	3492058
2033	8981	134	177	367	27	1604435	18603021	3565410
2034	9175	136	180	374	28	1638140	20241161	3640312
2035	9375	138	183	380	28	1672558	21913719	3716795
2036	9578	140	186	387	29	1707702	23621421	3794893
2037	9786	142	190	394	29	1743588	25365009	3874641
2038	9998	145	193	401	30	1780233	27145242	3956074
2039	10215	147	196	408	30	1817652	28962894	4039227
2040	10437	150	200	415	31	1855862	30818756	4124137
2041	10663	152	204	423	31	1894878	32713634	4210841

3.1.4 Estudios de suelo

El análisis de suelos es muy fundamental antes de un proyecto vial, ya que nos permite conocer el suelo de fundación en donde se encuentra apoyada la estructura de pavimento, por lo que se requiere de ensayos para conocer las características físicas y mecánicas de los materiales. Para ello se realizó calicatas de 0.80 m x 0.80 m x 1.00

m a una distancia aproximada de 1000 m en las zonas que sean factibles extraer las muestras y llevarlas al Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica para sus respectivos análisis. Dentro de este proyecto se realizaron 3 calicatas a 1 km de diferencia. A continuación, se detalla la ubicación de los pozos.

Tabla 3. 23. Ubicación de las muestras extraídas de los Pozos a cielo abierto.

Calicatas No.	Denominación	Coordenadas		Profundidad
		Este	Norte	
1	M1	764011,45	9897847,61	1m
2	M2	764184,66	9896927,08	1m
3	M3	764640,11	9896080,39	1m

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza.

Análisis granulométrico

Mediante el análisis granulométrico, el cual consiste en la separación del suelo grueso con el fino, se necesita de juego de tamices que viene dados por el 2” hasta #4 para dicha clasificación y por ende encontrar los límites de Atterberg se emplea el cuadro de la clasificación de suelos según la AASHTOO M 145 expuesta en la Tabla 3.25.

Los valores detallados de cada muestra se presentan en el ANEXO – B.

Tabla 3. 24. Clasificación de suelos según la AASHTO M 145

Clasificación	Materiales Granulares (más 35% retenido tamiz # 200)						Materiales Laminares (más del 35% pasa tamiz #200)					
	A-1		A-2				A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	
Subgrupos	A-1-a	A-1-b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7					A-7-5	A-7-6
% Pasa Tamiz												
# 10 (2mm)	50 máx.											
# 40 (0,425mm)	30 máx.	50 máx.					51 mín.					
#200 (0,075mm)	15 máx.	25 máx.	35 máx.				10 máx.	36 mín.				
Limite Liquido			40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	NP	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	41 mín.
Indice de Plasticidad	6 máx.		10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.		10 máx.	10 máx.			11 mín.
Indice de Grupo	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	0	8 máx.	12 máx.	11 mín. - 16 máx.	20 máx.	
Tipos de Material	Fragmentos de roca, grava y arena		Gravas y arenas arcillosas y limosas				Arena Fina	Suelos Limosos		Suelos arcillosos		
Terreno de Fundación	Excelente a bueno		Excelente a Bueno		Regular		Excelente a Bueno	De regular a malo				

Fuente: Manual para el diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito, 2008

Tabla 3. 25. Análisis de la Clasificación de suelo según la AASHTO M 145.

Muestra	Clasificación	Grupo	Subgrupo	Tipo de material
1	Subrasante	A-2	A-2-4	Gravas, Arenas Arcillosas y Limosas
2				
3				

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza.

Límites de Atterberg

Limite Liquido

Este ensayo se lo realizo mediante el método de Copa Casa Grande, el cual consiste en pesar 250 gramos de suelo que pasa por el tamiz #40 y por el cual es mezclado con pequeñas cantidades de agua en un recipiente de porcelana, de tal modo que queda ser una masa moldeable para colocarla en el equipo llamado de la misma manera. Se esparce la masa por toda la copa y con la ayuda de un acanalador o ranurador se divide la muestra a la mitad de forma vertical. Una vez dividida la muestra se enciende el equipo y esta va generando golpes de tal manera que va uniendo la mezcla dividida anteriormente. Cuando la muestra se haya unido, finalizara el ensayo y se registrara el número de golpes que arrojó el equipo.

Limite plástico

Para encontrar el límite plástico se pesa 250 gramos de suelo pasado por el tamiz # 40 y se coloca en un recipiente de porcelana. Con una pequeña cantidad de agua se mezcla el suelo y la muestra obtenida se procede a realizar rollos con un diámetro aproximado de 3 mm hasta que la muestra se encuentre quebradiza y luego hay que llevarla al horno por 24h.

Una vez realizado los ensayos para determinar los Límites de Atterberg en la *Tabla 3.26*, se encuentra los resultados obtenidos y en el Anexo – B se detalla los resultados de cada muestra.

Tabla 3. 26. Análisis de Resultados de los Límites Atterberg

Muestra	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice De Plasticidad (%)
M1	32,31	31,01	1.30
M2	26,61	27,86	-1.25
M3	34,86	39.91	-5.05

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza.

Proctor Modificado Tipo B

La principal causa de alteración del suelo es la compactación. Este ensayo permite determinar la densidad máxima que tiene el suelo con relación a un porcentaje de agua que va en aumento. Se lo realizo con 500 gramos de muestra seca que pase por el tamiz #4 para incorporar un porcentaje de agua previamente calculado y mezclar dentro de una bandeja metálica para dividirla en 5 partes y proceder con la colocación de la muestra en el cilindro y compactarla con 56 golpes mediante un martillo de 10 lb. Dentro del Anexo – B se detalla el ensayo realizado de cada muestra y en la *Tabla 3. 27*, los resultados obtenidos.

Tabla 3. 27. Análisis de resultados del ensayo Proctor Modificado.

Muestra	Tipo de suelo	Humedad Optima %	Densidad Seca gr/cm3
M1	Arena arcillosa y limosa	14,7	1,75
M2	Arena arcillosa y limosa	17,1	1,612
M3	Arena arcillosa y limosa	15,2	1,519

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza.

Ensayo California Beriang Ratio (CBR)

Una vez realizado el ensayo de Proctor modificado se procede con el ensayo CBR, el cual determina una medida relativa de soporte del suelo, bajo condiciones de densidad y humedad controladas. Mediante la *Tabla 3.28*, se clasifica los suelos dependiendo el porcentaje de CBR que haya entregado el respectivo ensayo. En la siguiente *Tabla 3.29*, se presenta los resultados obtenidos y en el Anexo – B se detalla los resultados obtenidos de cada muestra.

Tabla 3.28. Clasificación de los suelos con referencia al CBR.

CBR %	Clasificación General	Usos
2-5	Muy mala	Subrasante
5-8	Mala	Subrasante
8-20	Regular - Buena	Subrasante
20-30	Excelente	Subrasante
30-60	Buena	Subbase
60-80	Buena	Base
80-100	Excelente	Base

Fuente: AASHTO-93, Diseño de Pavimentos.

Tabla 3. 29. Análisis de resultados del ensayo CBR.

Muestra	CBR %	Clasificación	Tipo de uso
M1	39	Buena	Subbase
M2	54,8	Buena	Subbase
M3	45,2	Buena	Subbase

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza.

3.1.5 Análisis del resultado del empleo de la Viga Benkelman

Procedimiento de uso

Para la implementación de la viga Benkelman como primera instancia se define los puntos a cada 200 m hasta llegar al km 2+460. En cada tramo de 200 m se marcan distancias de 0 cm, 25 cm, 50 cm, 100 cm, 500 cm y 800 cm, las cuales servirán para anotar las medidas arrojadas por la viga cuando el vehículo cargado este en movimiento. A estas medidas se las identificara con las siglas D0, D25, D50, D100, D500, D800.

La volqueta designada para el ensayo tiene un peso aproximado de 18 toneladas, y se ubica en el punto inicial km 0+000 y a 0.90 m medidos desde el borde de la calzada. Una vez armada la viga se coloca debajo del eje vertical del centro de gravedad de las llantas dobles, y se procede a registrar los datos de las deflexiones que genera la volqueta al avanzar lentamente desde D0 al D25, del D25 al D50 y así sucesivamente

pasando por las marcas señaladas hasta el D800. Para este ensayo, se dividió a la vía en 2 secciones debido a que se compone de pavimento asfáltico y adoquín, por lo que solo se ensayó la sección que consta de asfalto.

Finalmente, se perfora el pavimento con la ayuda de un cincel y combo a 5 cm de profundidad aproximadamente y con la ayuda de un termómetro se registra la temperatura del pavimento. Se registro por cada punto a ensayar con la viga muy cerca del punto cero y evitando que la calzada este húmeda.



Gráfico 3. 64. Registro de Temperatura en la calzada.



Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza.

En la siguiente tabla se presenta los valores registrados por la viga.

Tabla 3.30. Valores registrados por la Viga Benkelman

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL</p>	
<p>VALORES REGISTRADOS POR LA VIGA BENKELMAN</p>		

EVALUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL ACTUAL DE LA AV. COTOPAXI Y RIO CUTUCHI
 DE 2,46 KM DE LONGITUD PERTENECIENTE A LA PARROQUIA ELOY ALFARO, CANTÓN
 LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI

PROYECTO:

RESPONSABLE: EVELYN CAISAGUANO

REVISADO POR: ING. RODRIGO ACOSTA

FECHA: 27/12/2021

Estación	Cota	Carril		Deflexiones en campo (1x10e-2) mm						Temperatura ° C
				D0	D25	D50	D100	D500	D800	
		Izquierdo	Derecho	0,00 m	0,25 m	0,50 m	1,00 m	5,00 m	8,00 m	
1	0+000		x	0	10	26	32	48	48	23
2	0+200	x		0	36	70	74	92	92	24
3	0+400		x	0	19	28	36	43	43	23
4	0+600	x		0	41	56	62	79	79	22
5	0+800		x	0	15	29	43	51	51	21
6	1+000	x		0	23	60	76	96	96	31
7	1+200		x	0	10	34	49	58	58	28

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza.

Para determinar finalmente una deflexión se requiere de correcciones que se van generando a partir de los datos de campo para entregar deflexiones reales.

Corrección por Relación de Brazo de Viga Benkelman

Es la corrección debida a la aplicación del factor de relación de brazos que tiene la viga Benkelman, este factor se mide directamente del instrumento y se multiplica a la deflexión recuperable para corregirla, se denotará por RB. [17]

$$D = (D_f - D_o) * RB \quad ; \text{Ec.11}$$

Donde:

D: Deflexión corregida, expresada en 0.01 mm.

D_f: Deflexión final registrada en campo.

D_o: Deflexión inicial registrada en campo.

RB: Relación del brazo de la viga Benkelman 1:2

Como un ejemplo de cálculo, se empleará el cálculo de la deflexión con el primer dato registrado de la estación 1.

Tabla 3.31. Primer dato registrado por la viga.

Estación	Cota	Carril		Deflexiones en campo (1x10e-2) mm						Temperatura ° C
				D0	D25	D50	D100	D500	D800	
		Izquierdo	Derecho	0,00 m	0,25 m	0,50 m	1,00 m	5,00 m	8,00 m	
1	0+000		x	0	10	26	32	48	48	23

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza.



$$D = (D_f - D_o) * RB$$

$$D = (48 - 0) * 2$$

$$D = 96 \times 10^{-2} mm$$

Una vez realizado el cálculo para cada estación se obtiene los siguientes resultados:

Tabla 3.32. Corrección por relación de brazo de viga Benkelman

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL	
CORRECCIÓN POR RELACIÓN DE BRAZO DE VIGA BENKELMAN		

EVALUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL ACTUAL DE LA AV. COTOPAXI Y RIO CUTUCHI
DE 2,46 KM DE LONGITUD PERTENECIENTE A LA PARROQUIA ELOY ALFARO, CANTÓN
LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI

PROYECTO:

RESPONSABLE

EVELYN CAISAGUANO

REVISADO POR:

ING. RODRIGO ACOSTA

FECHA: 27/12/2021

Estación	Cota	Carril		Deflexiones corregidas (1x10e-2) mm						Temperatura ° C
				D0	D25	D50	D100	D500	D800	
		Izquierdo	Derecho	0,00 m	0,25 m	0,50 m	1,00 m	5,00 m	8,00 m	
1	0+000		x	96	76	44	32	0	0	23
2	0+200	x		184	112	44	36	0	0	24
3	0+400		x	86	48	30	14	0	0	23
4	0+600	x		158	76	46	34	0	0	22
5	0+800		x	102	72	44	16	0	0	21
6	1+000	x		192	146	72	40	0	0	31
7	1+200		x	116	96	48	18	0	0	28

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza.

Corrección por Efecto de Temperatura

Los pavimentos están sujetos a efectos de temperatura que hacen que disminuya la rigidez en las capas subyacentes, por tal razón estas deflexiones se las debe corregir y llevarlas a una temperatura estándar de 20°C. [17]

$$D_c = \frac{\text{Deflexiones de campo}}{\left[1 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{cm^{\circ}C} \cdot e^{*(T-20^{\circ}C)}\right] + 1} \quad ; \text{ Ec.12}$$

Donde:

Dc: Deflexión corregida por temperatura.

e: espesor de la capa asfáltica en cms.

T: Temperatura del pavimento en °C. [17]

Tabla 3.33. Corrección por efecto de temperatura.

Estación	Cota	Carril		Espesor cm	Deflexiones corregidas (1x10 ⁻²) mm						Temperatura ° C
		Izquierdo	Derecho		D0	D25	D50	D100	D500	D800	
1	0+000		x	7,5	93,89	74,33	43,03	31,30	0,00	0,00	23
2	0+200	x		7,5	178,64	108,74	42,72	34,95	0,00	0,00	24
3	0+400		x	7,5	84,11	46,94	29,34	13,69	0,00	0,00	23
4	0+600	x		7,5	155,67	74,88	45,32	33,50	0,00	0,00	22
5	0+800		x	7,5	101,24	71,46	43,67	15,88	0,00	0,00	21
6	1+000	x		7,5	177,37	134,87	66,51	36,95	0,00	0,00	31
7	1+200		x	7,5	109,43	90,57	45,28	16,98	0,00	0,00	28

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza.

Corrección por estacionalidad

Para este tipo de corrección es conveniente evaluar las deflexiones en el tiempo más crítico del año, el cual es la estación lluviosa, y cuando se trata de una estación soleada se considera otro procedimiento el cual trata de incorporar un factor de corrección que está sujeta a situaciones del clima y comportamiento del pavimento. [17]

Según estudios basados en Brasil sobre la corrección por estacionalidad, consideran factores de corrección según el tipo de suelo, los cuales están descritos en la siguiente tabla. [21]

Tabla 3.34. Factores de corrección según el tipo de suelo.

Tipo de suelo de subrasante	Estación lluviosa	Estación seca
Arenosa – permeable	1.0	1.1 a 1.3
Arcillosa – sensible al agua	1.0	1.2 a 1.4

Fuente: Tesis, Ildefonso, D, 2010, Aplicación de la viga Benkelman monitoreo de conservación carretera Cañete – Huancayo Km. 108+000 al Km. 110+00.

El tipo de suelo de la subrasante de la vía en estudio es arenosa permeable, debido a que está dentro de una región con presencia de lluvia ocasional y sus datos fueron registrados en un día soleado, por tal razón, se utiliza el factor de corrección de 1.2.

Para el cálculo de esta corrección tenemos que:



$$D = 1.2 * D_{20^{\circ}C} \quad ; \text{Ec.13}$$

Donde:

D: Corrección de la deflexión por estacionalidad.

$D_{20^{\circ}C}$: Deflexión corregida por temperatura.

Tabla 3.35. Corrección por estacionalidad

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL	
CORRECCIÓN POR ESTACIONALIDAD		

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL ACTUAL DE LA AV. COTOPAXI Y RIO CUTUCHI DE 2,46 KM DE LONGITUD PERTENECIENTE A LA PARROQUIA ELOY ALFARO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI

RESPONSABLE: EVELYN CAISAGUANO

REVISADO POR: ING. RODRIGO ACOSTA

FECHA: 27/12/2021

Estación	Cota	Carril		Deflexiones corregidas (1x10e-2) mm						Temperatura ° C
				D0	D25	D50	D100	D500	D800	
		Izquierdo	Derecho	0,00 m	0,25 m	0,50 m	1,00 m	5,00 m	8,00 m	
1	0+000		x	112,67	89,19	51,64	37,56	0,00	0,00	23
2	0+200	x		214,37	130,49	51,26	41,94	0,00	0,00	24
3	0+400		x	100,93	56,33	35,21	16,43	0,00	0,00	23
4	0+600	x		186,80	89,85	54,38	40,20	0,00	0,00	22
5	0+800		x	121,49	85,76	52,41	19,06	0,00	0,00	21
6	1+000	x		212,84	161,85	79,82	44,34	0,00	0,00	31
7	1+200		x	131,32	108,68	54,34	20,38	0,00	0,00	28

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza.

Radio de curvatura

El radio de curvatura es de suma importancia debido a que nos permite determinar la magnitud que tiene la deformación lineal por tracción por las cargas de tránsito que soporta las capas de asfalto. [21]

Esto se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$R_c = \frac{10 \cdot (25^2)}{2(D_0 - D_{25})} \quad ; \text{ Ec.14}$$

Donde:

R_c = Radio de curvatura en m.

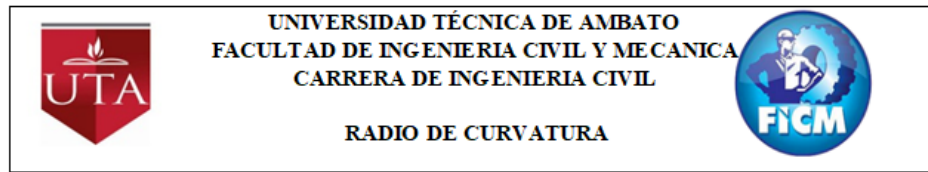
D_0 = Deflexión máxima corregida por temperatura en el punto 0 cm.

D_{25} = Deflexión máxima corregida por temperatura en el punto 25 cm

10 = Coeficiente por cambio de unidades. [21]

Por lo tanto, los resultados obtenidos del radio de curvatura de cada estación son:

Tabla 3.36. Radio de Curvatura



PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL ACTUAL DE LA AV. COTOPAXI Y RÍO CUTUCHI DE 2,46 KM DE LONGITUD PERTENECIENTE A LA PARROQUIA ELOY ALFARO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI

RESPONSABLE: EVELYN CAISAGUANO

REVISADO POR: ING. RODRIGO ACOSTA FECHA: 27/12/2021

Estación	Cota	Carril		Deflexiones corregidas (1x10e-2) mm		Radio de curvatura m
		Izquierdo	Derecho	D0	D25	
				0,00 m	0,25 m	
1	0+000		x	112,67	89,19	133,14
2	0+200	x		214,37	130,49	37,25
3	0+400		x	100,93	56,33	70,07
4	0+600	x		186,80	89,85	32,23
5	0+800		x	121,49	85,76	87,46
6	1+000	x		212,84	161,85	61,28
7	1+200		x	131,32	108,68	138,02
PROMEDIO:						79,92

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza.

Deflexión característica

La deflexión característica es un proceso estadístico que calcula la desviación estándar del conjunto de deflexiones recuperables máximas que se emplea para la representación de la deformación de los pavimentos. Se expresa mediante la expresión:

$$D_c = \bar{D} + t * \sigma \quad ; \text{Ec.15}$$

Donde:

D_c = Deflexión característica.

\bar{D} = Deflexión media de los valores individuales de D_0 corregidos por temperatura y estacionalidad.

t = Coeficiente que representa al porcentaje del área total con probabilidad de presentar deflexiones superiores a la deflexión característica D_c .

σ = Desviación estándar. [21]

Dentro de la obtención de la deflexión característica se trabaja con la probabilidad del 95% de diseño, dejando el 5% restante del área total de pavimento para las deflexiones como mayor D_c , por lo tanto, el valor de t correspondiente es de $t=1.645$.

Tabla 3.37. Valores de "t" y probabilidad de ocurrencia de $D > D_c$

Valores de diseño	t	D_c	Área $D > D_c$ %
50	0	\bar{D}	50
75	0.674	$\bar{D} + 0.674 \sigma$	25
85	1.0	$\bar{D} + \sigma$	15
90	1.3	$\bar{D} + 1.3 \sigma$	10
95	1.645	$\bar{D} + 1.645 \sigma$	5
98	2	$\bar{D} + 2 \sigma$	2
99	2.33	$\bar{D} + 2.33 \sigma$	1
99.9	3.0	$\bar{D} + 3 \sigma$	0.1

Fuente: Tesis, Daniel Angel Ildefonso. S, 2010, Aplicación de la viga Benkelman monitoreo de conservación carretera Cañete-Huancayo km. 108+00 al km. 110+00

Para la desviación estándar se emplea la siguiente ecuación:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{(n-1)}} \quad ; \text{ Ec. 16}$$

Tabla 3.38. Datos para el cálculo de la Desviación estándar.

Estación	Cota	D0 0,00 m	$D0 - \bar{D}$ m	$(D0 - \bar{D})^2$ m
1	0+000	112,67	-41,68	1737,18
2	0+200	214,37	60,02	3602,94
3	0+400	100,93	-53,42	2853,20
4	0+600	186,80	32,45	1053,23
5	0+800	121,49	-32,86	1079,49
6	1+000	212,84	58,50	3421,80
7	1+200	131,32	-23,02	530,09
Promedio (\bar{D}):		154,34	Sumatoria:	14277,93

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza.

$$\sigma = \sqrt{\frac{14277,93}{(7 - 1)}}$$

$$\sigma = 48,78$$

$$D_c = \bar{D} + t * \sigma$$

$$D_c = 154,34 + 1,645 * 48,78$$

$$D_c = 234,59 * 10^{-2}mm$$

Deflexión Admisible

La deflexión admisible corresponde aquella que alcanzará el pavimento a final del tiempo de diseño. Este parámetro está en función del tráfico de diseño, el cual establece que establece un límite para la deflexión característica indicando que no se garantiza un comportamiento satisfactorio de la estructura. Según, Dr. C. Ruiz define la siguiente metodología con los siguientes parámetros. [21]

$$D_{adm} = \left(\frac{1.15}{W_{18}}\right)^{1/4} \quad ; \text{Ec. 17}$$

Donde:

D_{adm} : Deflexión admisible.

W_{18} : Número de ejes equivalentes expresada en millones.

$$D_{adm} = \left(\frac{1.15}{0.284}\right)^{1/4} * 100$$

$$D_{adm} = 141.82 * 10^{-2}mm$$

Deflexión crítica

Se basa en el periodo de servicio del pavimento, mediante el número de ejes equivalentes.

$$D_{cr} = \left(\frac{1.9}{w_{18}} \right)^{1/5.3} * 100 \quad ; \text{ Ec. 18}$$

Donde:

D_{cr} = Deflexión crítica.

W_{18} : Número de ejes equivalentes.

$$D_{cr} = \left(\frac{1.9}{0.284} \right)^{1/5.3} * 100$$

$$D_{cr} = 143.10 * 10^{-2} mm$$



Para conocer el tipo de deflexión que tiene cada estación, se emplea los resultados de radio de curvatura y deflexión admisible y se las compara con la siguiente tabla expuesta por CONREVIAL.

Tabla 3.39. Tipo de Deflexiones

Tipo de Deflexión	Datos Deflectométricos	Calidad Estructural	Estudios Complementarios	Criterio para Refuerzo	Medidas correctivas
I	$D_c \leq D_{adm}$	Buena	No		Correcciones de superficie
	$R \geq 100$				
II	$D_c > D_a$	Regular	No	Deflectométrico	Refuerzo
	$R \geq 100$	Mala	Si	Deflectométrico, Resistencia	Refuerzo o reconstrucción
III	$D_c < D_{adm}$	Buena	Si	Resistencia	Refuerzo o reconstrucción
	$R < 100$	Regular a mala			
IV	$D_c > D_{adm}$	Mala	Si	Resistencia	Refuerzo o reconstrucción
	$R < 100$				
V		Mala, el pavimento presenta $IGG > 1800$	Si	Resistencia	Reconstrucción

Fuente: Tesis, Cubas de la Torre Rosa, 2017, *Comportamiento estructural del pavimento flexible en la vía de evitamiento sur – Cajamarca utilizando las deflexiones medidas con la Viga Benkelman.*

Gráfico 3.65. Tabla resumen de la evaluación del pavimento por deflexiones.

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL</p> <p>EVALUACION DEL PAVIMENTO POR DEFLEXIONES</p>	
---	--	---

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL ACTUAL DE LA AV. COTOPAXI Y RIO CUTUCHI DE 2,46 KM DE LONGITUD PERTENECIENTE A LA PARROQUIA ELOY ALFARO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI

RESPONSABLE EVELYN CAISAGUANO

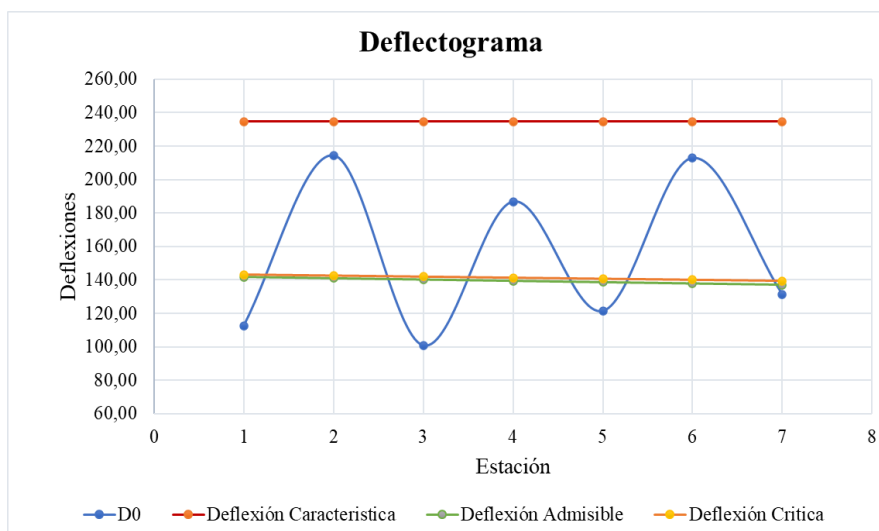
REVISADO POR: ING. RODRIGO ACOSTA

FECHA: 27/12/2021

Estación	Cota	Carril		D0 0,00 m	Radio de Curvatura	Deflexión Característica	Deflexión Admisible	Deflexión Crítica	Tipo de Deflexión	Comportamiento de la Subrasante	Comportamiento del pavimento
		Izquierdo	Derecho								
1	0+000		x	112,67	133,14	234,59	141,82	143,11	Tipo II	Regular	Mala
2	0+200	x		214,37	37,25	234,59	141,01	142,49	Tipo IV	Mala	Mala
3	0+400		x	100,93	70,07	234,59	140,21	141,88	Tipo IV	Mala	Mala
4	0+600	x		186,80	32,23	234,59	139,41	141,27	Tipo IV	Mala	Mala
5	0+800		x	121,49	87,46	234,59	138,62	140,66	Tipo IV	Mala	Mala
6	1+000	x		212,84	61,28	234,59	137,83	140,05	Tipo IV	Mala	Mala
7	1+200		x	131,32	138,02	234,59	137,04	139,45	Tipo II	Regular	Mala

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza.

Gráfico 3.66. Deflectograma



Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza.

Análisis

En base a los criterios de la evaluación del pavimento, a lo largo de la vía se han presentado deflexiones de tipo II y IV, siendo la de tipo IV la predominante dentro del estudio vial. Por lo tanto, los primeros y los últimos 200m al ser de Tipo II, el comportamiento de la subrasante y del pavimento es regular a mala respectivamente. Desde la abscisa 0+200 a la 1+000 corresponde al de Tipo IV arroja un comportamiento de la subrasante y del pavimento como mala.

3.1.6 Evaluación mediante PCI del pavimento asfáltico

El método del índice de condición de pavimento comprende en recolectar datos del sitio en estudio, al ser un método de análisis visual los trabajos que se realizan son de campo y de oficina. Con la información recolectada en campo se procede a los cálculos respectivos.

Se divide la vía en secciones o “unidades de muestreo”, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía y de capa de rodadura. Carreteras con capa de rodadura asfáltica y ancho menor que 7.30 m: El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango $230.0 \pm 93.0 \text{ m}^2$. [13]

Tabla 3.40 Longitudes de unidad de muestreo asfáltica.

Longitudes de unidad de muestreo asfáltica	
Ancho de la calzada (m)	Longitud de la unidad de muestreo (m)
5,00	46,0
5,50	41,8
6,00	38,3
6,50	35,4
7,3 (máximo)	31,5

Fuente: Ing. Esp. Luis Ricardo Vásquez Varela, 2002, Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras.

Como primer punto hay que tener presente que el tramo en estudio de la Av. Cotopaxi y Rio Cutuchi es de 2.46 km, el cual consta de un partere que divide la dirección de circulación vehicular. Con lo que respecta a la Av. Cotopaxi está compuesta de pavimento flexible con una longitud de 1170m y la Av. Rio Cutuchi y la calle Zamora Chinchipe en donde finaliza el tramo en estudio comprende de adoquinado con una longitud de 1290m, por lo que se le dividirá por secciones.

La primera sección será la A. Cotopaxi la cual conforma por pavimento flexible y la segunda sección constara de la Av. Rio Cutuchi.

Para el cálculo de la unidad de muestreo se tomará en cuenta el tramo que está compuesto por pavimento flexible, el cual corresponde a la Av. Cotopaxi con un ancho de calzada aproximado de 13 m.

Tabla 3.41. Datos de la vía en estudio para la unidad de muestreo PCI

Descripción	Valor
Av. Cotopaxi	
Ancho de la vía	13,0 m
Longitud del tramo	1170 m
Área de tramo	$230 \text{ m}^2 \pm 93 \text{ m}^2$
Error admisible estimado (PCI)	5%
Desviación estándar para pavimentos asfálticos (σ)	10

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza.

Longitud de unidad de muestra

$$L = \frac{At}{Av} \quad ; \text{Ec.19}$$

Donde:

L: Longitud de unidad de muestra.

At: Área del tramo.

Av: Ancho de vía.

$$L = \frac{230 \text{ m}^2 \pm 93 \text{ m}^2}{13 \text{ m}}$$

$$L = 10,54 \text{ m hasta } 24,85 \text{ m}$$

$$L = 20 \text{ m}$$

La longitud de muestra debe estar entre 10,54 m hasta 24,85 m, por lo tanto, la longitud de muestra seleccionada es de 20 m.

Área de muestra

$$A = Av * L \quad ; \text{Ec.20}$$

Donde:

A: Área de muestra.

Av: Ancho de vía.

L: Longitud de unidad de muestra.

$$A = 13 \text{ m} * 20 \text{ m}$$

$$A = 260 \text{ m}^2$$

El área de muestra designada es de 260 m², lo cual está dentro del rango establecido de 230 m² ± 93 m² y es aceptable.

Número total de unidades de muestra

Para el número total de unidades de muestra de la sección se divide la longitud total del tramo de vía con la longitud de la muestra de la sección correspondiente.

$$N = \frac{LT}{L} \quad ; \text{Ec.21}$$

Donde:

N: Número total de unidades.

LT: Longitud vial del tramo analizado.

L: Longitud de unidad de muestra.

$$N = \frac{1170 \text{ m}}{20 \text{ m}}$$

$$N = 58.5 \approx 59$$

N = 59 unidades de muestra para ambos carriles en la sección.

Determinación del número mínimo de unidad de muestreo a evaluar.

Se determina el número mínimo de unidades de muestreo para ser evaluados, mediante la ecuación:

$$n = \frac{N * \sigma^2}{\frac{e^2}{4} * (N-1) + \sigma^2} \quad ; \text{Ec.22}$$

Donde:

n: Número mínimo de unidades de muestro a evaluar.

N: Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento.

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

σ : Desviación estándar del PCI entre las unidades (10).

Para la sección 1:

$$n = \frac{59 * 10^2}{\frac{5^2}{4} * (59 - 1) + 10^2}$$

$$n = 12,76 u \approx 13 u$$

Selección de las unidades de muestreo para inspección

El intervalo de muestreo se expresa en la siguiente ecuación:

$$i = \frac{N}{n} \quad ; \text{Ec.23}$$

Donde:

i: Intervalo de muestreo.

N: Número total de unidades de muestreo disponibles.

n: Número mínimo de unidades para evaluar.

Sección 1;
$$i = \frac{59}{13} = 4,53 \approx 5$$

Corrección del número de unidades de muestra

$$nc = \frac{N}{i} \quad ; \text{Ec.24}$$

Donde:

nc: Número corregido de unidades de muestra.

N: Número total de unidades de muestra.

i: Intervalo de muestreo.

$$nc = \frac{59 \text{ unidades}}{5}$$

$$nc = 11.8 u \approx 12 \text{ unidades}$$

Una vez realizado los cálculos, para la sección se establece que, de las 59 unidades de muestreo, 12 unidades deberán ser evaluadas en intervalos de cada 5 unidades.

Este proceso se realizará por separado tanto carril izquierdo como derecho.

Tabla 3.42. Unidades de muestra seleccionadas en la vía.



No	ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL
1	0+000	0+020
2	0+100	0+120
3	0+200	0+220
4	0+300	0+320
5	0+400	0+420
6	0+500	0+520
7	0+600	0+620
8	0+700	0+720
9	0+800	0+820
10	0+900	0+920
11	1+000	1+020
12	1+100	1+120

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza.

Formato de evaluación para el Índice de Condición de Pavimento (PCI)

Una vez calculado las unidades de muestra seleccionadas para la vía en estudio, la primera etapa que se realiza es el trabajo en campo, el cual se debe identificar los daños que tiene la calzada dependiendo de su clase, severidad, y dimensiones de las fallas, mismos que serán registrados en el formato que se presenta a continuación:

Gráfico 3.67. Formato de registro de datos en campo para el PCI

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL																																														
ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO (PCI) CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA																																															
REALIZADO POR:	ABSCISA INICIAL	UNIDAD DE MUESTRO	ESQUEMA																																												
ZONA	ABSCISA FINAL	ÁREA DE MUESTREO (m ²)																																													
		FECHA:																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>N°.</th> <th>Daño</th> <th>N°.</th> <th>Daño</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Piel de cocodrillo</td><td>11</td><td>Parqueo</td></tr> <tr><td>2</td><td>Exudación</td><td>12</td><td>Pulimento de agregados</td></tr> <tr><td>3</td><td>Agrietamiento en bloque</td><td>13</td><td>Huecos</td></tr> <tr><td>4</td><td>Abultamientos y hundimientos</td><td>14</td><td>Cruce de vía férrea</td></tr> <tr><td>5</td><td>Corrugación</td><td>15</td><td>Ahuellamiento</td></tr> <tr><td>6</td><td>Depresión</td><td>16</td><td>Desplazamiento</td></tr> <tr><td>7</td><td>Grieta de borde</td><td>17</td><td>Grieta Parabólica</td></tr> <tr><td>8</td><td>Grieta de reflexion de junta</td><td>18</td><td>Hinchamiento</td></tr> <tr><td>9</td><td>Desnivel carril / berma</td><td>19</td><td>Desprendimiento de agregados</td></tr> <tr><td>10</td><td>Grietas long y transversal</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	N°.	Daño	N°.	Daño	1	Piel de cocodrillo	11	Parqueo	2	Exudación	12	Pulimento de agregados	3	Agrietamiento en bloque	13	Huecos	4	Abultamientos y hundimientos	14	Cruce de vía férrea	5	Corrugación	15	Ahuellamiento	6	Depresión	16	Desplazamiento	7	Grieta de borde	17	Grieta Parabólica	8	Grieta de reflexion de junta	18	Hinchamiento	9	Desnivel carril / berma	19	Desprendimiento de agregados	10	Grietas long y transversal					
N°.	Daño	N°.	Daño																																												
1	Piel de cocodrillo	11	Parqueo																																												
2	Exudación	12	Pulimento de agregados																																												
3	Agrietamiento en bloque	13	Huecos																																												
4	Abultamientos y hundimientos	14	Cruce de vía férrea																																												
5	Corrugación	15	Ahuellamiento																																												
6	Depresión	16	Desplazamiento																																												
7	Grieta de borde	17	Grieta Parabólica																																												
8	Grieta de reflexion de junta	18	Hinchamiento																																												
9	Desnivel carril / berma	19	Desprendimiento de agregados																																												
10	Grietas long y transversal																																														
DAÑO	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES	TOTAL	DENSIDAD %	VALOR DEDUCIDO																																										

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza.

3.1.7 Cálculo del PCI

Como segunda etapa, luego de haber finalizado la inspección de campo, se tomará los valores deducidos de cada tipo de daño que se presenta en cada tramo designado, tomando en cuenta la cantidad y severidad del mismo, el cual servirá como apoyo para el cálculo del PCI.

Cálculo de los valores deducidos para carreteras con capa asfáltica

Se contabiliza el tipo y nivel de severidad total del daño que se presenta en cada tramo, teniendo presente que el daño se puede medir en área, longitud o número según su tipo. Estos valores se registran en la columna Total.

Para calcular la DENSIDAD, se divide el área total del daño multiplicado cien y dividido para el área de la muestra o tramo asignado. Este valor se lo expresa en porcentaje.

El valor deducido se lo obtiene mediante las curvas denominadas “Valor Deducido del Daño” según el tipo de pavimento a inspeccionar. Estas curvas se las adjunta en el Anexo C.

Cálculo del número máximo admisible de valores deducidos (mi)

Los valores deducidos registrados anteriormente se los enlista de mayor a menor y luego se determina el número máximo admisible de valores deducidos mediante la ecuación:

$$mi = 1,00 + \frac{9}{98} * (100,00 - HDVi) \quad ; \text{Ec.25}$$

Donde:

mi: Número máximo admisible de valores deducidos.

HDVi: El mayor de los valores deducidos individuales para la unidad de muestreo.

Cálculo del máximo valor deducido corregido (CVD)



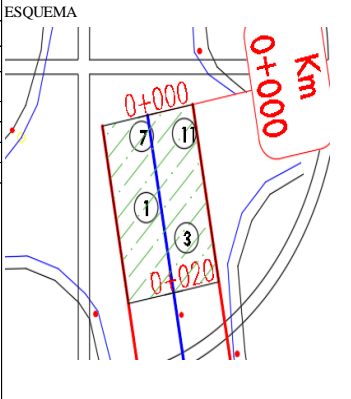
Se determina el número de valores deducidos, q, los cuales son mayores a 2 y el valor deducido total sumado todos los valores deducidos individuales. Mediante estos dos valores se dirige hacia las curvas de corrección pertenecientes a cada tipo de daño, presentando así el valor que se interseca entre estos dos datos.

Una vez encontrado los valores de CVD, el PCI será igual a:

$$PCI = 100 - Máx CVD \quad ; \text{Ec.26}$$

A continuación, se presenta un ejemplo de la determinación del valor del PCI para una unidad de muestra:

Tabla 3.43. Cálculo del Índice de Condición de Pavimento (PCI).

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL		ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO (PCI) CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA																																													
																																															
UBICACIÓN Av. Cotopaxi, Latacunga		ABSCISA INICIAL 0+000	UNIDAD DE MUESTRO 1																																												
ELABORADO POR Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza		ABSCISA FINAL 0+020	ESQUEMA 																																												
		ÁREA DE MUESTREO (m²) 260	FECHA: 22/01/2022																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>N°.</th> <th>Daño</th> <th>N°.</th> <th>Daño</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Piel de cocodrillo</td><td>11</td><td>Parqueo</td></tr> <tr><td>2</td><td>Exudación</td><td>12</td><td>Pulimento de agregados</td></tr> <tr><td>3</td><td>Agrietamiento en bloque</td><td>13</td><td>Huecos</td></tr> <tr><td>4</td><td>Abultamientos y hundimientos</td><td>14</td><td>Cruce de vía férrea</td></tr> <tr><td>5</td><td>Corrugación</td><td>15</td><td>Ahuellamiento</td></tr> <tr><td>6</td><td>Depresión</td><td>16</td><td>Desplazamiento</td></tr> <tr><td>7</td><td>Grieta de borde</td><td>17</td><td>Grieta Parabólica</td></tr> <tr><td>8</td><td>Grieta de reflexion de junta</td><td>18</td><td>Hinchamiento</td></tr> <tr><td>9</td><td>Desnivel carril / berma</td><td>19</td><td>Desprendimiento de agregados</td></tr> <tr><td>10</td><td>Grietas long y transversal</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	N°.	Daño	N°.	Daño	1	Piel de cocodrillo	11	Parqueo	2	Exudación	12	Pulimento de agregados	3	Agrietamiento en bloque	13	Huecos	4	Abultamientos y hundimientos	14	Cruce de vía férrea	5	Corrugación	15	Ahuellamiento	6	Depresión	16	Desplazamiento	7	Grieta de borde	17	Grieta Parabólica	8	Grieta de reflexion de junta	18	Hinchamiento	9	Desnivel carril / berma	19	Desprendimiento de agregados	10	Grietas long y transversal					
N°.	Daño	N°.	Daño																																												
1	Piel de cocodrillo	11	Parqueo																																												
2	Exudación	12	Pulimento de agregados																																												
3	Agrietamiento en bloque	13	Huecos																																												
4	Abultamientos y hundimientos	14	Cruce de vía férrea																																												
5	Corrugación	15	Ahuellamiento																																												
6	Depresión	16	Desplazamiento																																												
7	Grieta de borde	17	Grieta Parabólica																																												
8	Grieta de reflexion de junta	18	Hinchamiento																																												
9	Desnivel carril / berma	19	Desprendimiento de agregados																																												
10	Grietas long y transversal																																														
DAÑO	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES				TOTAL	DENSIDAD %	VALOR DEDUCIDO																																							
11	M	4	2			6	2,31%	14,00																																							
1	M	16	12	3,2		31,2	12,00%	58,00																																							
7	H	0,7				0,7	0,27%	9,00																																							
3	L	6				6	2,31%	3,00																																							
Valor Deducido Total (VD) =								84,00																																							
CÁLCULO DEL PCI																																															
#	VALORES DEDUCIDOS						TOTAL	q	CVD																																						
1	58	14	9	3		84	4	48																																							
2	58	14	9	2		83	3	45																																							
3	58	14	2			74	2	54																																							
4	58	2				60	1	60																																							
							MÁX CVD=	60																																							
PCI= 100-MÁX CVD PCI= 40 MALO																																															

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza.

Los valores deducidos se emplean mediante los siguientes diagramas dependiendo del tipo de daño. En este ejemplo tenemos los tipos de daño número 11, 1, 7, y 3, y para el cálculo del “Máximo valor deducido corregido” (CVD) se emplea el diagrama de corrección del valor deducido, por lo tanto, los diagramas son:

Gráfico 3.68. Diagrama de parcheo

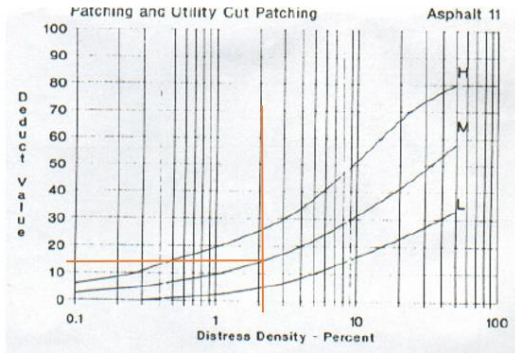


Gráfico 3.69. Diagrama de Piel de Cocodrilo

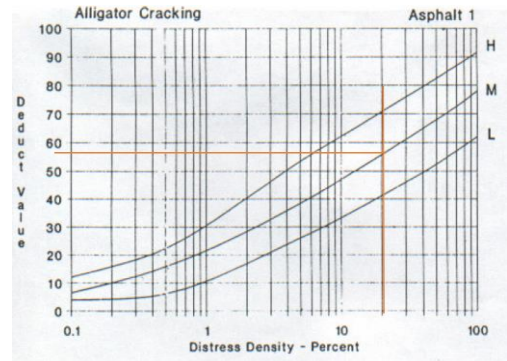


Gráfico 3.70. Diagrama de grieta de borde

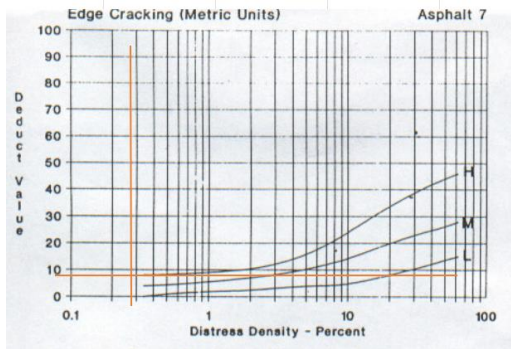
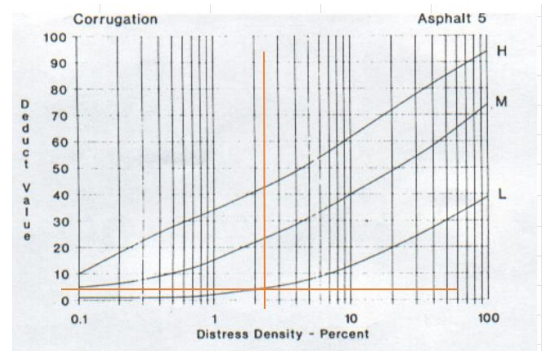
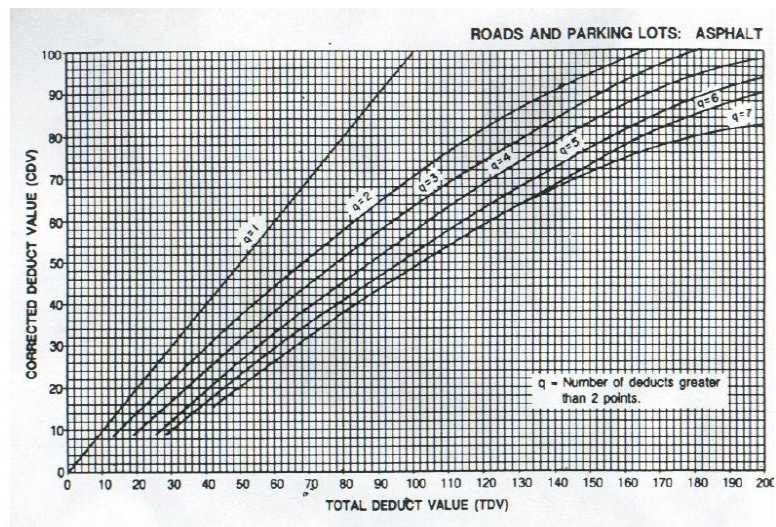


Gráfico 3.71. Diagrama de agrietamiento de bloque.



Fuente: ING. ESP. Luis Ricardo Vásquez, 2002, *Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras.*

Gráfico 3.72. Diagrama de corrección del valor deducido.



Fuente: ING. ESP. Luis Ricardo Vásquez, 2002, *Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras.*

3.1.8 Resultados del análisis del Índice de Condición de Pavimento (PCI)

Luego de realizar los cálculos respectivos para cada uno de los carriles se obtiene los resultados finales expuestos en la siguiente tabla, detallando el rango y la clasificación del análisis PCI. Cada uno de los resultados se presentan en el Anexo – C.

Tabla 3.44. Resultados del Índice de Condición de Pavimento (PCI).

Tabla de resultados de analisis PCI de cada carril									
Muestra N°	Abscisa inicial	Abscisa final	Area de muestreo (m2)	Carril	PCI	Clasificación	Carril	PCI	Clasificación
1	0+000	0+020	260	Derecho	40	MALO	Izquierdo	66,8	BUENA
2	0+100	0+120	260	Derecho	12	MUY MALO	Izquierdo	67	BUENA
3	0+200	0+220	260	Derecho	48	REGULAR	Izquierdo	73,9	MUY BUENA
4	0+300	0+320	260	Derecho	56	BUENA	Izquierdo	41	REGULAR
5	0+400	0+420	260	Derecho	14	MUY MALO	Izquierdo	40	REGULAR
6	0+500	0+520	260	Derecho	26	MALO	Izquierdo	58,2	BUENA
7	0+600	0+620	260	Derecho	28	MALO	Izquierdo	44	REGULAR
8	0+700	0+720	260	Derecho	30	MALO	Izquierdo	48	REGULAR
9	0+800	0+820	260	Derecho	39	MALO	Izquierdo	61,9	BUENA
10	0+900	0+920	260	Derecho	39,5	MALO	Izquierdo	58	BUENA
11	1+000	1+020	260	Derecho	54	REGULAR	Izquierdo	57,9	BUENA
12	1+100	1+120	260	Derecho	29	MALO	Izquierdo	64,00	BUENA
				PROMEDIO:	34,63	MALO	PROMEDIO:	56,73	BUENA

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza.

Análisis

Analizando los resultados de la tabla anterior para cada carril desde la abscisa 0+000 a la 1+120, el PCI promedio del carril derecho es de 34, 63 y del carril izquierdo el PCI calculado es de 56,73.

Mediante estos resultados la calidad de la capa de rodadura para el carril derecho es mala, por lo que requiere de una reconstrucción inmediata de pavimento, y para el carril izquierdo la intervención que debe tener es la de un mantenimiento, ya que su capa de rodadura según su PCI es de buena calidad.

Las fallas más representativas son la grieta de borde, parcheo y piel de cocodrilo con severidades medias a altas lo que ocasiona un desgaste en la calzada y en algunas secciones existe desprendimiento de agregados y huecos, provocando inconformidad en la calidad de tránsito.

3.1.9 Índice de condición de pavimento para pavimento articulado.

Cálculo del porcentaje de área afectada

La sección 2 comprende la Av. Río Cutuchi y la calle Zamora Chinchipe por lo que se compone de dos partes una de 961.5 m con un ancho de calzada de 13 m y la otra parte consta de 328.5 m con un ancho de 6 m; por lo tanto, el área total es:

$$\text{Area Total} = (961.5\text{m} * 13\text{m}) + (328.5\text{m} * 6\text{m})$$

$$\text{Área Total} = 14470.5 \text{ m}^2$$

Mediante el área total se procede a calcular el porcentaje de área afectada por cada daño encontrado en la vía. Por lo que en la siguiente tabla se presenta el daño y el porcentaje de área calculado.

Tabla 3.45. Porcentaje del área afectada según el daño en los adoquines de la Av. Rio Cutuchi.

Porcentaje de área afectada según su daño		
Daño	m2	% A
Depresión (DA)		
Bajo	26,69	0,18
Medio	82,9	0,57
Alto	65,4	0,45

Ahuellamiento (AH)		
Bajo	106,8	0,74
Medio	83,27	0,58
Alto	51,1	0,35
Fracturamiento (FA)		
Bajo	17,8	0,12
Medio	36	0,25
Alto	13,7	0,09
Juntas Abiertas (JA)		
Bajo	8,1	0,06
Medio	18,6	0,13
Alto	7,95	0,05
Perdida de arena (PA)		
Bajo	19,4	0,13
Medio	16,4	0,11
Alto	14	0,10

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza.

Identificación del tipo y grado de influencia de los deterioros por clase, FC.

En la siguiente tabla se muestra cada tipo de deterioro y si afecta estructural o funcionalmente el pavimento; también se señala los factores de influencia de los deterioros, según su clase. [22]

Tabla 3.46. Tipo y Factor de Influencia por clase.

Tipo y factor de influencia por clase						
CLASE	TIPO DE DETERIORO	Símbolo	Afecta Parámetro		Influencia por clase, FC	
			Estructural	Funcional	Estructural	Funcional
Deformaciones	Abultamiento	BA	x	x		
	Ahuellamiento	AH	x	x	48	48
	Depresiones	DA	x	x		
Desprendimientos	Desgaste Superficial	DS		x	6	9
	Perdida de Arena	PA	x	x		
Desplazamientos	Desplazamiento de borde	DB	x	x	10	10
	Desplazamiento de juntas	DJ		x		
Fracturamiento	Fractura	FA	x			
	Fractura de confinamientos externo	CE	x	x	28	10
	Fractura de confinamientos interno	CI	x	x		
Otros Deterioros	Escalonamiento entre adoquines	EA		x		
	Escalonamiento entre adoquines y confinamiento	EC		x		
	Juntas Abiertas	JA		x	8	23
	Vegetación en la calzada	VC	x	x		
Sumatoria=					100	100

Fuente: Carlos Higuera y Oscar Pacheco, 2008, Patología de Pavimentos Articulados.

Las Tablas 3.47 y 3.48, plantean los factores de penalización para el Índice de Condición Estructural y Funcional, dependiendo de su nivel de severidad y el tipo de deterioro.

Tabla 3.47. Factores de penalización para el ICE.

Factores de penalización para el Índice de Condición Estructural, ICE										
CLASE	TIPO DE DETERIORO	Peso en su clase, PI	Nivel de Severidad, FNS			% Área equivalente afectada, FA				
			Bajo	Medio	Alto	0	5	10	15	> 15
Deformaciones	Abultamiento	1,2	1	1,15	1,3	0	0,5	0,6	0,75	1
	Ahuellamiento	1,2	1	1,15	1,3					
	Depresiones	1	1	1,1	1,2					
Desprendimientos	Perdida de Arena	1	1	1,15	1,3	0	0,5	0,6	0,75	1
Desplazamientos	Desplazamiento de borde	1	1	1,15	1,3	0	0,5	0,6	0,75	1
Fracturamiento	Fractura	1,1	1	1,1	1,2	0	0,5	0,6	0,75	1
	Fractura de confinamientos externo	1,2	1	1,15	1,3					
	Fractura de confinamientos interno	1	1	1,1	1,2					
Otros Deterioros	Vegetacion en la calzada	1	0,8	1	1,2	0	0,5	0,6	0,75	1

Fuente: Carlos Higuera y Oscar Pacheco, 2008, *Patología de Pavimentos Articulados*.

Tabla 3.48. Factores de penalización para el ICF.

Factores de penalización para el Índice de Condición Funcional, ICF										
CLASE	TIPO DE DETERIORO	Peso en su clase, PI	Nivel de Severidad, FNS			% Área equivalente afectada, FA				
			Bajo	Medio	Alto	0	5	10	15	> 15
Deformaciones	Abultamiento	1,2	1	1,25	1,5	0	0,5	0,6	0,76	1
	Ahuellamiento	1,2	1	1,15	1,3					
	Depresiones	1	1	1,2	1,4					
Desprendimientos	Desgaste superficial	1,1	1	1,15	1,3	0	0,5	0,6	0,76	1
	Perdida de Arena	1	1	1,2	1,4					
Desplazamientos	Desplazamiento de borde	1,2	1	1,15	1,3	0	0,5	0,6	0,76	1
	Desplazamiento de juntas	1	1	1,1	1,2					
Fracturamiento	Fractura de confinamientos externo	1,2	1	1,15	1,3	0	0,5	0,6	0,76	1
	Fractura de confinamientos interno	1	1	1,1	1,2					
Otros Deterioros	Escalonamiento entre adoquines	1,2	1	1,25	1,5	0	0,5	0,6	0,75	1
	Escalonamiento entre adoquines y confinamientos	1,1	1	1,15	1,3					
	Juntas Abiertas	1	1	1,15	1,3					
	Vegetacion en la calzada	1,1	1	1,15	1,3					

Fuente: Carlos Higuera y Oscar Pacheco, 2008, *Patología de Pavimentos Articulados*.

Mediante los valores de los factores de penalización tanto estructural como funcional se llena las siguientes tablas y con los datos obtenidos del análisis del Índice de Condición de Pavimento (ICP).

Tabla 3.49. Cálculo del ICE de la Av. Río Cutuchi.

Cálculo del Índice de Condición Estructural (ICE)														
Daño	FCI	Símbolo	Peso, PI	% Aa por nivel de severidad			% Ae	% Área equivalente afectada, FA					Fai	FcixFAj
				Bajo	Medio	Alto		0	5	10	15	>15		
Deformaciones	48	AH	1,2	0,74	0,58	0,35	3,59	0	0,5	0,6	0,76	1,00	0,359	17,2
		DA	1	0,18	0,57	0,45		0	0,5	0,6	0,76	1,00		
Desprendimientos	6	PA	1	0,13	0,11	0,10	0,39	0	0,5	0,6	0,76	1,00	0,039	0,2
Fractura	28	FA	1,1	0,12	0,25	0,09	0,56	0	0,5	0,6	0,76	1,00	0,056	1,6
												$\Sigma(\text{FcixFAj})=$	19,0	
												$\text{ICE}=100-\Sigma(\text{FcixFAj})$	80,97	

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza.

Tabla 3.50. Cálculo del ICF de la Av. Río Cutuchi.

Cálculo del Índice de Condición Estructural (ICF)														
Daño	FCI	Símbolo	Peso, PI	% Aa por nivel de severidad			% Ae	% Área equivalente afectada, FA					Fai	FcixFAj
				Bajo	Medio	Alto		0	5	10	15	>15		
Deformaciones	48	AH	1,2	0,74	0,58	0,35	3,74	0	0,5	0,6	0,76	1,00	0,375	18,0
		DA	1	0,18	0,57	0,45		0	0,5	0,6	0,76	1,00		
Desprendimientos	9	PA	1	0,13	0,11	0,10	0,41	0	0,5	0,6	0,76	1,00	0,041	0,4
Deterioros	23	JA	1	0,06	0,13	0,05	0,28	0	0,5	0,6	0,76	1,00	0,028	0,6
												$\Sigma(\text{FcixFAj})=$	19,0	
												$\text{ICF}=100-\Sigma(\text{FcixFAj})$	80,99	

Fuente: Evelyn Gissela Caisaguano Chicaiza.

Una vez calculado el Índice de Condición Estructural (ICE) y el Índice de Condición Funcional (ICF), se emplea la tabla de calificación del ICP que se presenta a continuación y por la cual califica el estado del pavimento. Los valores ICE y ICF permiten establecer el rango de la calificación.

Tabla 3.51. Matriz para la calificación del ICP.

Calificación del ICP		Rangos del ICF				
		86-100	71-85	41-70	21-40	0-20
Rangos del ICE	86-100	5	4	4	3	2
	71-85	4	4	3	3	2
	41-70	4	3	3	2	1
	21-40	3	3	2	2	1
	0-20	2	2	1	1	1

Fuente: Carlos Higuera y Oscar Pacheco, 2008, *Patología de Pavimentos Articulados*.

Tabla 3.52. Categorización y nivel de servicio del ICP.

Calificación ICP	Nivel de Servicio	Categoría de acción	Descripción
5	Muy Bueno	Mantenimiento Rutinario	Pavimento en muy buenas condiciones, comodidad satisfactoria, pequeños daños que no afectan la circulación,
4	Bueno	Mantenimiento Rutinario y Recurrente	Pavimento en condiciones buenas y los daños empiezan aparecer.
3	Regular	Refuerzo mantenimiento rutinario	Pavimento en estado regular, sus daños causan incomodidad en la circulación.
2	Malo	Rehabilitación	Pavimento en condición mala, sus daños se presentan en etapas muy desarrolladas y la circulación es muy incómoda.
1	Muy Malo	Reconstrucción	Pavimento en condiciones muy malas y totalmente desgastada, la vía se vuelve intransitable.

Fuente: Carlos Higuera y Oscar Pacheco, 2008, *Patología de Pavimentos Articulados*.

Según la *Tabla 3.51*, para calcular el índice de condición de pavimento y mediante los resultados de ICE y ICF se determina que el pavimento se encuentra en un rango de ICE de 71-85 por lo que se posiciona en una calificación de 4 significando que el nivel de servicio del pavimento es bueno según la *Tabla 3.52*.

Analisis

La calificación que tiene la Av. Río Cutuchi y calle Zamora Chinchipe en base al análisis ICP se determina que se encuentra en buen estado, el cual significa que la vía empieza a presentarse daños que producen una mínima incomodidad en la circulación y como una alternativa de solución sería brindar un mantenimiento rutinario y recurrente para equilibrar la comodidad y seguridad de los usuarios.

3.2 Verificación de la hipótesis

La hipótesis planteada en esta investigación es: “La evaluación de la infraestructura vial ayudará a determinar el estado actual de la capa de rodadura de la Avenida Cotopaxi y Rio Cutuchi de la Provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga” lo cual en base a los resultados realizados a lo largo de este proceso se pudo confirmar la hipótesis planteada anteriormente puesto que al implementar esta evaluación de tipo estructural y superficial se logró conocer el estado en la que se encuentra la calzada actualmente mediante estudio de suelo, ensayos de laboratorio, inspecciones visuales en campo, y métodos de investigación bibliográfica que aportaron a este trabajo experimental.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- A través del empleo de la viga Benkelman, a lo largo de la vía se han presentado deflexiones de tipo II y IV, siendo la de tipo IV la predominante dentro del estudio vial. Por lo tanto, los primeros y los últimos 200 m al ser de Tipo II, el comportamiento de la subrasante y del pavimento es regular a mala y desde la abscisa 0+200 a la 1+000 corresponde al de Tipo IV arroja un comportamiento de la subrasante y del pavimento como mala.
- Mediante el análisis PCI para la Av. Cotopaxi, el promedio del carril derecho fue de 34, 63 y del carril izquierdo de 56,73 de valor deducido corregido, lo que representa la calidad de la capa de rodadura. Para el carril derecho la calidad de la calzada es mala, por lo que requiere de un reemplazo de superficie de rodadura inmediata, y para el carril izquierdo la intervención que debe tener es la de un mantenimiento correctivo o periódico, el cual consiste en realizar un recapeo.
- Las fallas más representativas dentro del análisis PCI de la Av. Cotopaxi son: la grieta de borde, parcheo y piel de cocodrilo con severidades medias a altas lo que presente un alto desgaste en la calzada y en algunas secciones existe desprendimiento de agregados acompañado de huecos, que generan inconformidad en la calidad de tránsito.
- Dentro del análisis del índice de condición del pavimento articulado (ICP), se le califica a la Av. Rio Cutuchi y calle Zamora Chinchipe como un pavimento en buen estado por lo que la vía presenta una mínima incomodidad al tránsito, para ello se necesita de un mantenimiento rutinario.
- En base al estudio de tráfico realizado se obtiene un TPDA actual de 7.513 veh/día y mediante la clasificación del tipo de carretera expuesta por la MTOP, la vía es considerada de clase I y de tipo colectora, ya que la Av. Cotopaxi y Av. Rio Cutuchi son arterias que conectan el norte y sur del cantón evitando el

ingreso hacia el centro de la ciudad en donde existe mayor flujo vehicular, pero debido al desarrollo comercial y agrícola de la provincia, se estima que para un periodo de 20 años la vía pasará a ser una Carretera Multicarril “AV1”, la cual recibirá un valor de 11.473 veh/día.

- Mediante el análisis granulométrico y límites de Atterberg se tiene que para las 3 muestras recogidas se determinó un material de tipo A-2-4 y la AASHTO – 145, la denomina grava, arena, arcillosa limosa, por lo que el suelo de fundación es de buena calidad.
- En base al ensayo Proctor modificado tipo B y el Ensayo California Beriang Ratio (CBR) se concluye que las 3 muestras se ubican en un rango de 30% a 60% de CBR lo que determina que su subbase es buena.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda calibrar los equipos que se vayan a emplear en el estudio como parte del procedimiento de uso para obtener mejores resultados.
- En base a la investigación de campo como son conteo vehicular, recolección de muestras y PCI, se recomienda llevar puesto el equipo de seguridad necesario como son chalecos y conos que sirvan de apoyo durante la recolección de datos.
- Para el análisis PCI y Viga Benkelman se recomienda realizar este estudio de 1 a 3 años, y llevar un registro con el fin de implementar un pronto mantenimiento.
- Se recomienda implementar un proceso de conservación vial con el fin de mantener la vía en adecuadas condiciones.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. X. Quilambaqui Reinoso, “Evaluación del diseño vial urbano utilizando resinas orgánicas para aumentar la capacidad soportante de la estructura de la vía,” Universidad de Cuenca, 2017.
- [2] J. Urbina and M. Sestini, “Evaluación de las obras de Infraestructura vial aplicadas en el plan ‘soluciones viales’ por el Ejecutivo Nacional en el año 2014,” Universidad Católica Andrés Bello, 2015.
- [3] J. Quintero, “Inventarios viales y categorización de la red vial en estudios de Ingeniería de Tránsito y Transporte,” *Rev. Fac. Ing. UPTC*, vol. 20, no. 30, pp. 65–77, 2011, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/4139/413940769007.pdf>.
- [4] GAD Municipal Latacunga, “Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Latacunga 2016-2028,” 2016, Latacunga, pp. 368–716.
- [5] C. E. Suárez Rosales and A. M. Vera Tomalá, “Estudio y diseño de la vía El Salado -Manantial de Guangala del Cantón de Santa Elena,” Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2015.
- [6] M. Becerra Salas, *Tópicos de Pavimento de Concreto Diseño, Construcción y Supervisión*. Lima, 2012.
- [7] A. Montejo Fonseca, *Ingeniería de pavimentos para carreteras*, Segunda ed., vol. 7, no. 1. Colombia: Colombia, 1999.
- [8] C. Yanchaliquin Morales, “Estudio del tramo 0+000 al 3+500 vía Quero – Puñachizag para determinar un Plan de Conservación Vial que incluye Implementación de Estabilización de taludes mediante mallas metálicas,” Universidad Técnica de Ambato, 2021.
- [9] J. M. Escobar Tanquino, “Implementación del proceso de conservación de la estructura de la capa de rodadura de la vía Pelileo – Patate en el tramo del km 0+000 al km 4+170 de la provincia de Tungurahua.,” Universidad Técnica de Ambato, 2019.

- [10] A. Schliessler, “Caminos un nuevo enfoque para la gestión y conservación de Redes Viales,” vol. 1, pp. 12–245, [Online]. Available: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/30314/S9400166_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [11] J. Chuqui, “Implementación del proceso de conservación de la estructura de la capa de rodadura de la vía Patate - Píllaro en el tramo km 19+200 al km 23+000 de la provincia de Tungurahua.,” Universidad Técnica de Ambato, 2018.
- [12] Departamento de administración y evaluación de pavimentos, “Identificación de fallas en pavimentos y técnicas de reparación,” *Repub. Dominic. Minist. obras públicas y Comun.*, pp. 4–191, 2016, [Online]. Available: <https://www.mopc.gob.do/media/2335/sistema-identificación-fallas.pdf>.
- [13] L. R. ING. ESP. Vázquez Varela, “PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI) PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS Y DE CONCRETO EN CARRETERAS,” *ingepav*, pp. 1–90, 2002.
- [14] ASTM E17, “Práctica Estándar para Inspección del Índice de la Condición de Pavimento para Caminos y Estacionamientos,” 1999.
- [15] MTOP, *Normas de Diseño Geométrico de Carreteras - 2003*, vol. 2. 2003.
- [16] Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, *Norma para estudios y diseños viales*, vol. Volumen 2A. Quito, 2013.
- [17] J. Balarezo, “Evaluación estructural usando viga Benkelman aplicada a un pavimento,” Universidad de Piura, 2017.
- [18] Consorcio Vial Huallanca, “Estudio definitivo del mejoramiento de la carretera Huanuco - Conococha, Sector: Huanuco - La Union -Huallanca Ruta PE-3N,” Perú, 2016. [Online]. Available: http://gis.proviasnac.gob.pe/expedientes/2017/LPI_0001_2017/Expedientes Tecnicos TRAMO 1/13 Suelos, Canteras y Diseño de Pavimentos Tomo 1.pdf.
- [19] G. López Maldonado, “Ensayos de compactación en carreteras: Proctor Normal y Modificado,” *Univ. Politécnica Val.*, pp. 1–8, 2020, [Online]. Available:



<https://riunet.upv.es:443/handle/10251/139866>.

- [20] J. E. Bowles, *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*, Primera., vol. 1. México: McGRAW-HILL, 1981.
- [21] D. A. Ildelfonso Sanchez, “Aplicación de la viga Benkelman monitoreo de conservación carretera Cañete - Huancayo km. 108+000 al km. 110+00,” Universidad Nacional de Ingeniería, 2010.
- [22] C. H. Higuera and Ó. F. Pacheco, “PATOLOGÍA DE PAVIMENTOS ARTICULADOS,” *Rev. Ing. Univ. Medellín*, vol. 9, no. 17, pp. 75–94, 2010, [Online]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242010000200007&lng=en&nrm=iso&tlng=es.

Anexos





ANEXO – A; CONTEO VEHICULAR MANUAL DE LA AV. COTOPAXI Y RÍO CUTUCHI.

Anexo – A1; Conteo vehicular del día Lunes.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CONTAJE DE TRÁFICO VOLUMÉTRICO	
---	--	---

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL ACTUAL DE LA AV. COTOPAXI Y RIO CUTUCHI DE 2,46 KM DE LONGITUD PERTENECIENTE A LA PARROQUIA ELOY ALFARO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI

ESTACIÓN No: _____ UBICACIÓN: Av. Cotopaxi SENTIDO: Ambos sentidos
 ESTADO DEL: _____ HOJA No: 1 / 7
 FECHA: 11/10/2021 DIA: LUNES TIEMPO: SOLEADO RESPONSABLE: EVELYN CAISAGUANO

HORA	LIVIANOS			BUSES			CAMIONES				OTROS	SUBTOTAL	TOTAL	
	AUTOMOVILES	CAMIONETAS	MOTOS	LIVIANO	MEDIANO	PESADO	DOS EJES		TRES EJES	> TRES EJES				
														
7:00	7:00-7:15	55	53	0	0	0	0	2	7	1	0	0	118	459
	7:15-7:30	45	59	0	0	3	0	2	6	2	0	0	117	
	7:30-7:45	43	48	0	0	0	0	1	8	1	0	0	101	
	7:45-8:00	42	66	0	0	4	0	5	6	0	0	0	123	
8:00	8:00-8:15	62	73	1	1	0	0	3	2	0	0	0	142	477
	8:15-8:30	47	60	2	0	3	0	2	3	1	0	0	118	
	8:30-8:45	40	41	0	1	0	0	3	2	4	0	2	93	
	8:45-9:00	55	52	0	1	2	0	6	7	1	0	0	124	
9:00	9:00-9:15	37	50	0	1	0	0	5	5	2	0	0	100	476
	9:15-9:30	44	58	0	0	2	0	5	9	3	0	1	122	
	9:30-9:45	64	43	0	1	0	0	5	6	5	0	0	124	
	9:45-10:00	56	57	1	0	1	0	3	9	3	0	0	130	