



UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL

DEPARTAMENTO DE POSGRADO

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN GESTIÓN DE LA
CONSTRUCCIÓN**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MAGÍSTER EN INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

**DETERMINACIÓN DEL VALOR APROPIADO DE EJES EQUIVALENTES
OBTENIDOS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE VARIOS MÉTODOS PARA EL
DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DE LAS CALLES PARA LA COOP.
NUEVA GUAYAQUIL Y TIWINTZA UBICADOS EN EL SECTOR NOROESTE DE LA
CIUDAD DE GUAYAQUIL, PROVINCIA DEL GUAYAS.**

AUTOR:

JAMIL JAVIER CÓRDOVA CORONEL

TUTOR:

MG. KLEBER ALBERTO MOSCOSO RIERA

GUAYAQUIL – ECUADOR

2024



REPOSITORIO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS

TÍTULO Y SUBTÍTULO:

Determinación del valor apropiado de ejes equivalente obtenidos mediante la utilización de varios métodos para el diseño de la estructura de pavimento de las calles para la coop. Nueva Guayaquil y Tiwintza ubicados en el sector noroeste de la ciudad de Guayaquil, provincia del Guayas.

AUTOR/ES:

Córdova Coronel Jamil Javier

REVISORES O TUTORES:

Mgtr. KLÉBER ALBERTO MOSCOSO RIERA

INSTITUCIÓN:

Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil

GRADO OBTENIDO:

Magister en Ingeniería Civil con mención en Gestión de la Construcción

FACULTAD:

Industria Ingeniería y Construcción

CARRERA:

Ingeniería Civil

FECHA DE PUBLICACIÓN: 2024

N. DE PAGS: 104

AREAS TEMÁTICA: Arquitectura y Construcción

PALABRAS CLAVES: Ejes equivalentes, Diseño de pavimentos
Métodos de diseño estructural. Calles urbanas pavimento flexible.

RESUMEN: El tema de investigación propuesto: Determinación del valor apropiado de ejes equivalentes obtenidos mediante la utilización de varios métodos para el diseño de la estructura de pavimento de las calles para la Coop. Nueva Guayaquil y Tiwintza ubicados en el sector noroeste de la ciudad de Guayaquil, provincia del Guayas. Se enfoca en evaluar uno de los parámetros más influyentes en el diseño de pavimentos que es el tránsito, debido a que en diversas situaciones se generaliza un procedimiento y no se define las condiciones que presenta individualmente cada proyecto, siendo establecido para un sector popular en la ciudad de Guayaquil que carece de una estructura vial existente. De tal manera que utilizando las metodologías de AASHTO 93, Instituto del Asfalto y Ley de la Cuarta se determina los ejes equivalentes, comparándolos y escogiendo el más adecuado para implementarlo en el diseño de las capas del pavimento flexible mediante la normativa AASHTO 93. Sin embargo, es importante mencionar que cada procedimiento considera criterios que tratan de minimizar los efectos provocados por los vehículos y es esencial evaluar cual se ajusta mejor a las circunstancias presentes en nuestro proyecto, para este caso se establece que es una vía de uso residencial con alta presencia de vehículos de transporte urbano en la cual los habitantes la utilizan como entrada y salida para ejecutar sus actividades cotidianas.



N. DE REGISTRO:		N. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL:			
ADJUNTO PDF:	SI	NO	
CONTACTO Jamil Javier Cordova Coronel	Teléfono:	Email: jcordocac@ulvr.edu.ec	
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN	<p>PhD. Eva Guerrero López Directora Departamento Posgrado Teléfono: 042596500Ext. 170 E- E-mail: eguerrero@ulvr.edu.ec</p> <p>Mg. Kleber Moscoso Riera Coordinador de Maestría Teléfono: 042596500 Ext. 170 E-mail: kmoscoso@ulvr.edu.ec</p>		

DEDICATORIA

A mi familia, amigos y colegas que me han demostrado su apoyo incondicional durante toda la etapa de mi formación académica, brindándome consejos y experiencias para culminar este proyecto de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A Dios por todas bendiciones que me han permitido culminar otra etapa en mi formación académica.

A mis padres, que siempre estuvieron durante toda mi vida, brindándome su apoyo y consejos que siempre me motivan y me dan alivio en los momentos más difíciles.

A mi tutor de tesis que ha estado pendiente de los avances ejecutados y quién ha presentado una gran gestión durante el desarrollo de este proyecto.

IMPRESIÓN DE INFORME ANTIPLAGIO



Mg. Kléber Alberto Moscoso Riera

CERTIFICADO DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Guayaquil, lunes 06 de mayo del 2024

Yo, **Córdova Coronel Jamil Javier** declaro bajo juramento, que la autoría del presente trabajo me corresponde totalmente y me responsabilizo con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo mis derechos de autor a la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, según lo establecido por las normativas Institucionales vigentes.

Firma: _____



Córdova Coronel Jamil Javier

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR DE LA TESIS

Guayaquil, lunes 06 de mayo del 2024

Certifico que el trabajo titulado **Determinación del valor apropiado de ejes equivalentes obtenidos mediante la utilización de varios métodos para el diseño de la estructura de pavimento de las calles para la coop. Nueva Guayaquil y Tiwintza ubicados en el sector noroeste de la ciudad de Guayaquil, provincia del Guayas**. Ha sido elaborado por **Córdova Coronel Jamil Javier** bajo mi tutoría, y que el mismo reúne los requisitos para ser defendido ante el tribunal examinador que se designe al efecto.

Firma:



Mg. Kléber Alberto Moscoso Riera

RESUMEN EJECUTIVO

El tema de investigación propuesto: Determinación del valor apropiado de ejes equivalentes obtenidos mediante la utilización de varios métodos para el diseño de la estructura de pavimento de las calles para la coop. Nueva Guayaquil y Tiwintza ubicados en el sector noroeste de la ciudad de Guayaquil, provincia del Guayas. Se enfoca en evaluar uno de los parámetros más influyentes en el diseño de pavimentos que es el tránsito, debido a que en diversas situaciones se generaliza un procedimiento y no se define las condiciones que presenta individualmente cada proyecto, siendo establecido para un sector popular en la ciudad de Guayaquil que carece de una estructura vial existente. De tal manera que utilizando las metodologías de AASHTO 93, Instituto del Asfalto y Ley de la Cuarta se determina los ejes equivalentes, comparándolos y escogiendo el más adecuado para implementarlo en el diseño de las capas del pavimento flexible mediante la normativa AASHTO 93. Sin embargo es importante mencionar que cada procedimiento considera criterios que tratan de minimizar los efectos provocados por los vehículos y es esencial evaluar cual se ajusta mejor a las circunstancias presentes en nuestro proyecto, para este caso se establece que es una vía de uso residencial con alta presencia de vehículos de transporte urbano en la cual los habitantes la utilizan como entrada y salida para ejecutar sus actividades cotidianas.

Palabras Clave: diseño de pavimento, asfalto, estructura vial, ejes equivalentes, pavimento flexible.

ABSTRACT

The proposed research topic: Determination of the appropriate value of equivalent axes obtained by using various methods for the design of the street pavement structure for the coop. Nueva Guayaquil and Tiwintza located in the northwestern sector of the city of Guayaquil, Guayas province. It focuses on evaluating one of the most influential parameters in pavement design, which is traffic, because in various situations a procedure is generalized and the conditions that each project presents individually are not defined, being established for a popular sector in the city. of Guayaquil that lacks an existing road structure. In such a way that using the methodologies of AASHTO 93, Asphalt Institute and *Ley de la Cuarta Potencia*, the equivalent axes are determined, comparing them and choosing the most appropriate one to implement in the design of the flexible pavement layers through the AASHTO 93 regulations. However, It is important to mention that each procedure considers criteria that try to minimize the effects caused by vehicles and it is essential to evaluate which best fits the circumstances present in our project. In this case, it is established that it is a residential road with a high presence of urban transport vehicles in which residents use it as entry and exit to carry out their daily activities.

Keywords: pavement design, asphalt, road structure, equivalent axles, flexible pavement.

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO 1

MARCO GENERAL DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Título.....	1
1.2. Planteamiento del problema	1
1.3. Formulación del problema.....	2
1.4. Sistematización del problema	2
1.5. Delimitación del problema de investigación	3
1.6. Línea de investigación	3
1.7. Objetivo general.....	3
1.8. Objetivos específicos	3
1.9. Justificación de la investigación	4
1.10. Idea a defender.....	4
Variables.....	4

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO	5
2.1. Caracterización de la zona de estudio	5
2.2. Elementos que conforman una vía	7
2.3. Clasificación de las vías.....	8
2.3.1. Capacidad (en función del tráfico promedio diario anual).....	8
2.3.2. Jerarquía de la red vial	9
2.3.3. Condiciones orográficas	10
2.3.4. Numero de calzadas	10
2.4. Pavimento.....	10
2.5. Tipos de pavimento.....	11
2.5.1. Pavimento flexible.....	11
2.5.2. Pavimento rígido	11
2.5.3. Pavimento mixto o compuesto.....	12

2.6.	Características del pavimento.....	12
2.7.	Elementos que conforman la estructura de pavimento	13
2.7.1.	Carpeta Asfáltica	13
2.7.2.	Base.....	13
2.7.3.	Subbase.....	13
2.7.4.	Subrasante	14
2.8.	Factores principales que afectan al pavimento	14
2.8.1.	Medio ambiente	15
2.8.2.	Propiedades de los materiales.....	15
2.8.3.	Tránsito.....	15
2.8.4.	Economía.....	16
2.9.	Tipos de fallas en el pavimento.....	16
2.9.1.	Fallas en pavimentos flexibles	17
2.9.2.	Fallas en pavimentos rígidos	29
2.10.	Estudios de suelo.....	33
2.10.1.	Contenido de humedad del suelo	33
2.10.2.	Análisis granulométrico.....	34
2.10.3.	Límites de Atterberg	35
2.10.4.	Proctor estándar	36
2.10.5.	C.B.R. (California Bearing Ratio)	37
2.11.	Estudio de tráfico	37
2.11.1.	Volumen de tránsito.....	38
2.11.2.	Composición del tránsito.....	38
2.12.	Marco Conceptual.....	42
2.13.	Marco Legal	42

CAPITULO 3

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	44	
3.1.	Enfoque de la investigación	44
3.2.	Tipo de investigación	44
3.3.	Métodos de investigación.....	44
3.4.	Técnicas de recolección de información	45

3.5.	Población	45
3.6.	Muestra	45
3.7.	Análisis e interpretación de resultados	45
3.7.1.	Aforo vehicular	45
3.7.2.	Tráfico proyectado	49
3.7.3.	Cálculo de ESAL'S de diseño – Método AASHTO 93	52
3.7.4.	Cálculo de ESAL'S de diseño – Método Instituto del Asfalto	57
3.7.5.	Cálculo de ESAL'S de diseño – Método Ley de la Cuarta Potencia	62
3.7.6.	Ensayos de laboratorio	67
CAPITULO 4		
INFORME TÉCNICO..... 73		
4.1.	Introducción	73
4.2.	Desarrollo.....	74
4.3.	Conclusiones del informe.....	82
CONCLUSIONES 83		
RECOMENDACIONES 85		
BIBLIOGRAFÍA 86		

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación geográfica de las cooperativas: Nueva Guayaquil y Tiwintza	5
Figura 2 Uso del Suelo del cantón Guayaquil – zona norte.....	6
Figura 3 Deformación por ahuellamiento de alto nivel de severidad.	18
Figura 4 Deformación por abultamiento y hundimiento de medio nivel de severidad...	19
Figura 5 Deformación por corrugación de alto nivel de severidad.....	20
Figura 6 Deformación por desplazamiento de alto nivel de severidad.	21
Figura 7 Fisuras longitudinales y transversales de alto nivel de severidad.	22
Figura 8 Fisuras tipo piel de cocodrilo de alto nivel de severidad.	23
Figura 9 Fisuras parabólicas de alto nivel de severidad.....	25
Figura 10 Desprendimiento de agregados de alto nivel de severidad.....	26
Figura 11 Desintegración por bache de alto nivel de severidad.	27
Figura 12 Falla por exudación de alto nivel de severidad.....	28
Figura 13 Falla de la superficie por descascaramiento de alto nivel de severidad.....	30
Figura 14 Falla por desprendimiento de esquina de alto nivel de severidad.	31
Figura 15 Defectos por fisuras longitudinales y transversales de alto nivel de severidad.	33
Figura 16 Pesos y dimensiones de los diferentes vehículos motorizados.....	40
Figura 17 Pesos y dimensiones de las diferentes combinaciones de vehiculos.....	41
Figura 18 Condiciones existentes de la zona de estudio.....	73
Figura 19 Variación del coeficiente estructural (a_2) en función de varios parámetros de resistencia.	77
Figura 20 Variaciones del coeficiente estructural (a_3) en función de varios parámetros de resistencia de la subbase.....	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.....	9
Tabla 2.....	10
Tabla 3.....	27
Tabla 4.....	31
Tabla 5.....	34
Tabla 6.....	35
Tabla 7.....	46
Tabla 8.....	46
Tabla 9.....	48
Tabla 10.....	48
Tabla 11.....	50
Tabla 12.....	50
Tabla 13.....	51
Tabla 14.....	53
Tabla 15.....	56
Tabla 16.....	56
Tabla 17.....	57
Tabla 18.....	59
Tabla 19.....	59
Tabla 20.....	61
Tabla 21.....	62
Tabla 22.....	65
Tabla 23.....	65
Tabla 24.....	66
Tabla 25.....	67
Tabla 26.....	68
Tabla 27.....	69
Tabla 28.....	69
Tabla 29.....	70
Tabla 30.....	71

Tabla 31	71
Tabla 32	75
Tabla 33	75
Tabla 34	79
Tabla 35	80
Tabla 36	80
Tabla 37	81

CAPITULO 1

MARCO GENERAL DE INVESTIGACIÓN

1.1. Título

Determinación del valor apropiado de ejes equivalentes obtenidos mediante la utilización de varios métodos para el diseño de la estructura de pavimento de las calles para la coop. Nueva Guayaquil y Tiwintza ubicados en el sector noroeste de la ciudad de Guayaquil, provincia del Guayas.

1.2. Planteamiento del problema

Para el diseño eficiente de la estructura de los pavimentos y según la metodología empleada, es técnicamente obligatorio tener en consideración los parámetros proporcionados por las características del tráfico, suelos, materiales y drenaje. Siendo uno de los elementos primordiales la determinación de los ejes equivalentes, debido a su incidencia directa en la obtención de los espesores requeridos que conforman la estructura del pavimento, por tal razón se debe emplear para su determinación la metodología adecuada al tipo de vía y tráfico vehicular predominante.

Sin embargo, existen casos en el que se diseña y construye sin considerar dicho parámetro fundamental para el tránsito vehicular de los diversos sectores en la ciudad de Guayaquil, ocasionando en la mayoría de los casos que la estructura establecida sea ineficiente para la demanda vehicular, esto resulta en la disminución en la calidad de las condiciones de vida en la población de la zona intervenida.

Las estructuras de pavimentos sean flexibles o rígidos, no fallan o colapsan súbitamente, sino que lo hacen de manera gradual y progresiva. La constante acción principalmente de las demandas de tránsito y clima siempre tienen una afectación en la superficie del pavimento. (MOPC, 2016, p. 7)

La municipalidad de Guayaquil menciona que la red vial de las coop. Nueva Guayaquil y Tiwintza se encuentra actualmente sobre el terreno natural, en la cual se realizan operaciones primarias de transporte urbano, siendo de gran importancia para los habitantes del sector en sus actividades cotidianas como: circulación dentro de la zona, ingreso y salida hacia los diferentes sitios requeridos, además de operaciones de carga y descarga de productos de la canasta básica. (Navarro, 2022)

Según diagnósticos realizados por la Comisión de Tránsito del Guayas (GTG) indican que hay sectores en el norte de Guayaquil donde carecen de infraestructura vial o la existente no satisface con las demandas y normas establecidas, provocando incrementos en los tiempos de viaje o accidentes de tránsito.

Debido a los diferentes requerimientos técnicos y sociales, es esencial evaluar correctamente los criterios de diseño según las condiciones existentes del proyecto. De tal forma que se establezca una estructura de pavimento óptima para la circulación vehicular y otorgar al peatón un espacio de circulación libre y seguro. Siendo el propósito mejorar la calidad de vida de los habitantes en la ciudad de Guayaquil.

1.3. Formulación del problema

¿El método de diseño convencional para pavimentos satisface la demanda vehicular existente en el norte de la ciudad de Guayaquil?

1.4. Sistematización del problema

- ¿Cómo afecta a la composición del tráfico implementado los criterios de los métodos AASTHO 93, Instituto del asfalto y Ley de la Cuarta Potencia?
- ¿Existen diferencias en los parámetros técnicos de los métodos evaluados para determinar la estructura de pavimento?
- ¿El terreno de la zona de estudio es el adecuado para establecer la estructura de pavimento según los criterios de las normas vigentes?

1.5. Delimitación del problema de investigación

El proyecto de investigación se desarrolla en las cooperativas Nueva Guayaquil y Tiwintza, siendo colindantes con las cooperativas: Flor de Bastión, Las Delicias y Balerio Estacio de la parroquia Tarqui, localizadas en la zona noroeste de la ciudad de Guayaquil, provincia del Guayas.

El enfoque del proyecto corresponde al área de ingeniería vial con un tiempo de realización estimado para 12 meses.

1.6. Línea de investigación

- **Línea de investigación institucional:** Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción.
- **Línea de investigación facultad de ingeniería, industria y construcción:** Territorio.
- **Sub-línea de investigación facultad de ingeniería, industria y construcción:** Hábitat, Diseño y construcción sustentable.

1.7. Objetivo general

Diseñar la estructura de pavimento para las calles de las cooperativas Nueva Guayaquil y Tiwintza utilizando el valor adecuado de los métodos aplicados.

1.8. Objetivos específicos

- Ejecutar el estudio de tráfico que incluye la composición vehicular y la determinación de los ejes equivalentes utilizando para el efecto los métodos AASHTO 93, Instituto del Asfalto y Ley de la Cuarta Potencia.
- Evaluar comparativamente los resultados obtenidos para determinar el tipo de pavimento a implementar de acuerdo a criterios técnicos y económicos.
- Analizar los ensayos de suelos correspondientes para determinar la calidad de la subrasante y de los materiales que constituyen la estructura del pavimento.

1.9. Justificación de la investigación

La obtención eficiente de los parámetros necesarios para la aplicación de una metodología de diseño de los pavimentos es de necesidad preponderante dada la incidencia que tiene estos elementos en los espesores de la estructura de un pavimento, sin embargo, existen casos en la cual no se presenta la debida consideración a estos detalles, resultando en el diseño de estructuras de pavimentos con deterioros notables debido a varias causas además de la incorrecta metodología utilizada, como lo son los materiales, drenaje y procesos constructivos.

Una de las propiedades más importantes a considerar inicialmente es el cálculo de los ejes equivalentes, debido a que intervienen junto con el tráfico del sector, en la obtención de los espesores requeridos que conforman la estructura del pavimento. Por lo tanto, es recomendable evaluar y comparar los criterios sobre los ejes equivalentes según lo establecido por los métodos AASHTO 93, Instituto del Asfalto y Ley de la Cuarta Potencia, para seleccionar aquel que se ajuste mejor a la necesidad vehicular actual y futura, siendo como propósito mejorar la calidad de vida de las comunas Tiwintza y Nueva Guayaquil ubicadas al noroeste de Guayaquil.

1.10. Idea a defender

La comparación de los métodos para el cálculo de los ejes equivalentes establecerá un mejor criterio de aceptación para implementar en el diseño de las diversas calles correspondientes a los sectores del norte de Guayaquil según la demanda vehicular y las condiciones de la zona.

Variables

- Eficiencia de los métodos: AASHTO 93, Instituto del Asfalto y Ley de la Cuarta Potencia.
- Métodos de los ejes equivalentes.

CAPÍTULO 2

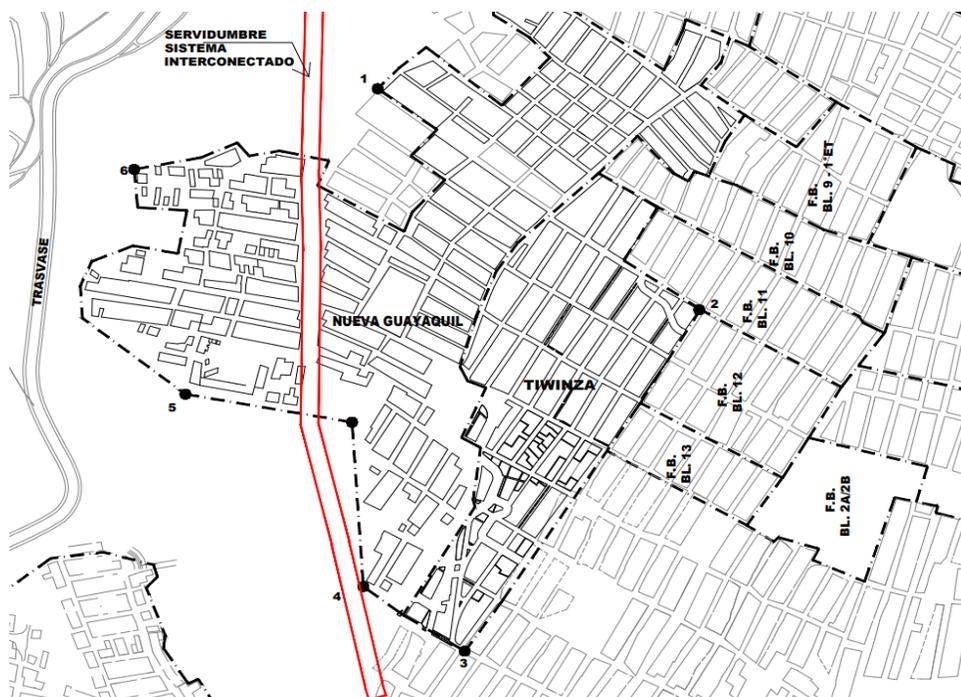
MARCO TEÓRICO

2.1. Caracterización de la zona de estudio

Las cooperativas Nueva Guayaquil y Tiwintza son asentamientos populares con un crecimiento irregular al noroeste de la ciudad de Guayaquil con una población de aproximadamente 7.000 habitantes. Estos bloques son aledaños a las cooperativas Flor de Bastión, Las Delicias y Balerio Estacio, formando parte de los sectores que no presentan un sistema de red vial adecuado, debido a que la mayoría de sus calles se manifiestan en terreno natural o no presentan las condiciones adecuadas para la circulación vehicular.

Figura 1

Ubicación geográfica de las cooperativas: Nueva Guayaquil y Tiwintza



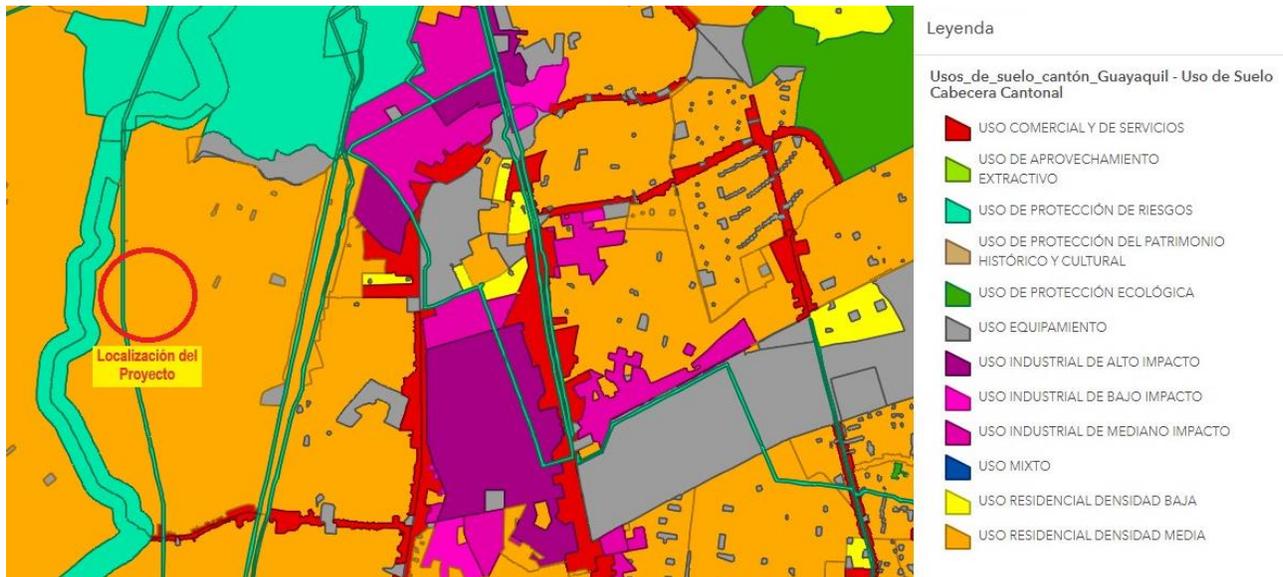
Fuente: M.I. Municipalidad de Guayaquil, 2021.

Según lo presentado en la Figura 2, el uso de suelo predominante en la zona es residencial de densidad media con algunas ocupaciones para negocios locales, generando la necesidad de transporte entre comerciantes y usuarios cotidianos que se ven afectados por el estado de las vías ya sean que estas fueran pavimentadas o no,

llegando a presentar un alto costo en sus operaciones vehiculares por el bajo rendimiento en la movilización de sus productos.

Figura 2

Uso del Suelo del cantón Guayaquil – zona norte



Fuente: Dirección de Urbanismo y Planificación Ordenamiento Territorial (DUPOT), 2024.

La topografía del sector es muy accidentada con grandes pendientes que en épocas húmedas conducen el agua de manera superficial y al carecer de un sistema de drenaje pluvial, causa inundaciones, erosión y deslizamientos en la vía, afectando a las viviendas de los habitantes establecidos en puntos bajos o agravando a los que se ubican en zonas categorizadas de alto riesgo, además de dificultar el ingreso y salida de vehículos en el sector.

Actualmente estos sectores disponen de los sistemas de alcantarillado sanitario, agua potable y energía eléctrica mediante obras que han sido ejecutadas por las entidades correspondientes. Sin embargo, el sector no consta de espacios públicos y seguros para los habitantes como: aceras, escalinatas, parques o jardinerías, siendo elementos que controlan el crecimiento desmedido de la vegetación que pueden ocasionar la proliferación de enfermedades en la zona.

2.2. Elementos que conforman una vía

Una vía se establece como una superficie longitudinal que puede estar definida por medio una proyección en planta de su eje longitudinal. Dicha proyección está compuesta por múltiples alineaciones rectas y curvas, creadas con distintos radios (Paredes, 2011).

Los componentes físicos dependen según las consideraciones del diseño vial. sin embargo, los elementos más conocidos son:

- **Plataforma:** Es el elemento principal de una vía, debido a que abarca toda el área que se encuentra pavimentada, además que contiene a las demás partes de la vía como son los carriles y el espaldón. Una calle puede estar constituida por una o dos plataformas que estén separadas por una mediana.
- **Calzada:** Parte esencial de la vía, puesto a que está designada para la circulación de vehículos a una velocidad establecida. La calzada puede presentar uno o más carriles y su función depende del tipo vehículo, velocidades permitidas y sentidos de circulación.
- **Carril:** es una franja longitudinal por el cual transita un vehículo sin obstaculizar lo demás carriles designados. En el caso que se presenten varios, suelen estar delimitados por líneas longitudinales continuas o discontinuas con el ancho requerido para la circulación de los diferentes tipos de vehículos.
- **Mediana:** Este elemento puede establecerse como una estructura o superficie delimitadora ubicada en la mitad de la vía, con el propósito de separar las carreteras de doble sentido y prevenir el colapso de vehículos por invasión de carril.
- **Espaldón:** Es una sección de carretera en la cual no está permitido la circulación convencional de vehículos exceptuando situaciones de urgencia, permitiendo que los usuarios se detengan momentáneamente sin afectar el flujo vehicular.
- **Acera:** Son áreas longitudinales para vías urbanas con el propósito de otorgar al peatón un espacio seguro de circulación, este elemento normalmente se establece a los dos lados de una vía.

- **Peralte:** Es el grado de inclinación transversal que se presentan en las curvas de una calzada con el objetivo de contrarrestar la fuerza centrífuga, además de conducir el agua que escurre superficialmente en una vía hacia los elementos de drenaje.

2.3. Clasificación de las vías

Según lo que indica la Norma Ecuatoriana Vial (NEVI), las vías nacionales se clasifican principalmente por:

2.3.1. Capacidad (en función del tráfico promedio diario anual)

Esta sección considera la información de tráfico nacional obtenidos por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) del año 2012, estadísticas sobre accidentes de tránsito y parque automotor del país. Los cuales mencionan que las vías del país han superado el límite de los 80,000 vehículos diarios (TPDA) y que se ha presentado un incremento significativo en los siniestros de tránsito, además de que la tasa de crecimiento promedio manifiesta un alza en vehículos automotores de aproximadamente 6% anual.

Por tal motivo, las normas NEVI plantea un nuevo dimensionamiento al criterio de diseño para vías nacionales, no sólo para disposiciones actuales sino también a futuras, con el propósito de otorgar a todos los usuarios que intervienen en una vía, seguridad y eficiencia en todas las operaciones y maniobras de tránsito, además de considerar los elementos de seguridad y dimensionamientos adecuados para la vialidad que recorre tanto para zonas urbanas como rurales.

La clasificación de las vías según su volumen de tráfico que se contempla para el año proyectado se presenta en la tabla 1.

Tabla 1*Clasificación funcional de las vías en base al Tráfico Promedio Diario Anual*

Descripción	Clasificación funcional	Tráfico Promedio Diario Anual de diseño	
		Límite inferior	Límite superior
Autopista	AP2	80 000	120 000
	AP1	50 000	80 000
Carretera de múltiples carriles	AV2	26 000	50 000
	AV1	8 000	26 000
Carretera de 2 carriles	C1	1 000	8 000
	C2	500	1 000
	C3	0	500

Fuente: Norma Ecuatoriana Vial (NEVI-12) Volumen 2A, 2013.

2.3.2. Jerarquía de la red vial

- **Corredores arteriales:** Son aquellos categorizados dentro de lo más alto en la jerarquía funcional, los cuales están constituidos por enlazar continentes, capitales, provinciales, puertos marítimos importantes con las diferentes regiones del estado, además de los pasos fronterizos que presentan gran recorrido. Para cada situación las vías deben de disponer de una adecuada movilidad y estándares geométricos para facilitar las acciones de tránsito siendo eficientes y seguras. También se debe restringir o regularizar los accesos para evitar afectaciones en el flujo vehicular de este tipo de vías.
- **Vías colectoras:** Son aquellos de mediana categoría en la jerarquía funcional, los cuales están constituidos por vías que recolectan el tráfico de los sectores rurales o regionales del estado por medio de la red vial local y son orientadas de manera estratégica a los corredores arteriales. Básicamente la función de estas vías es asistir el tráfico para caminos intermedios o regionales, siendo necesario implementar lineamientos viales adecuados para optimizar su desempeño y satisfacer la demanda vehicular.
- **Caminos vecinales:** Son aquellas carreteras habituales básicas, siendo incluida todas las vías de los sectores rurales y aquellas que están fuera de las denominaciones presentadas anteriormente, designados para recibir al tránsito vehicular doméstico de las zonas rurales, sectores de producción agrícola e ingresos a sitios turísticos.

2.3.3. Condiciones orográficas

Las vías se clasifican de acuerdo al tipo de relieve de la zona de estudio según lo indicado en la tabla 2 con relación a la pendiente media de la línea máxima existente y que corresponde a la franja del terreno que cruza con la línea de explanación de la carretera.

Tabla 2

Clasificación de vías según sus condiciones orográficas

Relieve del terreno	Máxima pendiente media
Llano	$m \leq 5$
Ondulado	$5 < m \leq 15$
Accidentado	$15 < m \leq 25$
Muy accidentado	$25 < m$

Fuente: Norma Ecuatoriana Vial (NEVI-12) Volumen 2A, 2013.

2.3.4. Numero de calzadas

- **Vías de calzadas separadas:** Son aquellas que tienen delimitadas las calzadas según el sentido de circulación vehicular y usualmente presentan una estructura o elemento físico que los divide entre ellos. Aunque no se considera como separadores físicos a las marcas viales o elementos desmontables con una altura inferior a 15 cm.
- **Vías de calzada única:** Son aquellas que disponen de una calzada para ambos sentidos de circulación vehicular y no presentan separación física, sin considerar la cantidad de carriles habilitados.

2.4. Pavimento

Es una estructura establecida para el desempeño óptimo de las vías de comunicación terrestre, siendo formado por varias capas uniformes de materiales pétreos colocadas sobre la subrasante, cuyo objetivo es recibir y transmitir las cargas vehiculares hacia los estratos inferiores.

La actividad conjunta de las capas forma una superficie de rodamiento que permite en un periodo establecido la circulación vehicular de manera segura y cómoda. Durante el tiempo que el pavimento este sometido a las cargas vehiculares, se van a

presentar diversos deterioros que afectarán al desempeño de dicha estructura, acumulando de manera permanente daños visualizados como agrietamientos, deformaciones y desprendimientos parciales que reducen la vida útil del pavimento.

2.5. Tipos de pavimento

En la actualidad se implementan diversas formas de pavimento, sin embargo, convencionalmente se los clasifican en: flexibles, rígidos, mixtos o compuestos.

2.5.1. Pavimento flexible

Esta estructura presenta una capa de rodadura elaborada con mezcla asfáltica, por tal motivo se le atribuye también el nombre de pavimento asfáltico, una de sus ventajas más destacables es su aplicación económica durante la etapa inicial de su construcción, sin embargo, los costos por mantenimiento son elevados debido a que requiere constante intervención para prolongar su vida útil.

Existen casos donde el pavimento está sometido a un alto número de aplicaciones de carga, por lo que se requiere escoger medidas que aumente la capacidad estructural de la vía, como capas estabilizadas con cemento o utilizar un espesor considerable de mezclas asfálticas, dicha práctica se la denomina como “Full Depth”. La aplicación de este método propone aumentar la rigidez de las capas inferiores mientras que superficialmente se mantiene la capa asfáltica.

2.5.2. Pavimento rígido

Para esta estructura la capa de rodadura está conformada por una losa de hormigón hidráulico que por lo general esta reforzado con acero. Debido a la rigidez del elemento, la transferencia de cargas vehiculares hacia capas inferiores se realiza mediante la superficie completa de la losa.

Este tipo de pavimento manifiestan deformaciones elásticas muy bajas, por lo que no puede someterse a las deformaciones de las demás capas sin que aparezcan fallas en su estructura. Este tipo de pavimentos requieren poco mantenimiento y normalmente solo se ejecutan labores para las juntas de las losas.

2.5.3. Pavimento mixto o compuesto

La estructura de pavimento mixto está conformada por una carpeta asfáltica colocada encima de una losa de hormigón hidráulico, cuya aplicación se da para vías que presentan diversas redes sanitarias o eléctricas muy cercanas a la rasante, para proteger dichos sistemas de daños a su estructura por las operaciones vehiculares. Este tipo de pavimentos tiene un mejor desempeño debido a que presenta una mejor capacidad estructural por las capas establecidas.

2.6. Características del pavimento

La estructura de pavimento debe cumplir diversos requisitos para un óptimo funcionamiento como: proporcionar una superficie de rodadura que sea uniforme, cómoda y segura tanto para la circulación vehicular como peatonal; Soportar las cargas de tránsito en el periodo de diseño establecido; Conformar una estructura que resista los factores climatológicos de la zona, especialmente para eventos pluviales, debido a que el agua afecta la integridad de los materiales que componen los elementos.

Según Tapia (2010), el pavimento debe presentar características funcionales y estructurales; para las funcionales se pueden destacar los siguientes: resistencia al derrape vehicular, uniformidad longitudinal y transversal, sistema óptimo de drenaje superficial. Mientras que las características estructurales se les atribuyen a las propiedades mecánicas de los materiales. En función de dichas características se realizan los análisis necesarios para establecer los espesores de las capas que conforman al pavimento y evaluar los efectos que producen las cargas vehiculares mediante parámetros de esfuerzos y deformaciones.

En general, las características estructurales son esenciales para el diseño de pavimentos, debido a que se puede prolongar su vida útil basándose en criterios y recomendaciones para constituir una estructura óptima. Sin embargo, también se debe considerar los aspectos constructivos y económicos para determinar la factibilidad del proyecto durante el periodo de funcionamiento.

2.7. Elementos que conforman la estructura de pavimento

El funcionamiento del pavimento depende del desempeño en conjunto de cada capa que compone la estructura como: Carpeta asfáltica, Base, Subbase y Subrasante, dichos elementos se describen a continuación:

2.7.1. Carpeta Asfáltica

Elemento que resiste directamente las cargas vehiculares y contribuye con características funcionales de la estructura, además capta y transmite los esfuerzos a las demás capas del pavimento. En situaciones cuando la demanda vehicular es alta, se opta por incrementar el espesor de la carpeta.

Esta capa se puede elaborar con mezcla asfáltica tanto en frío como caliente o utilizarlos con hormigón hidráulico, en tal caso se lo denomina hormigón asfáltico y puede estar constituido por un elemento modificador cuyo propósito es mejorar alguna propiedad en específico, según los requerimientos del proyecto.

2.7.2. Base

Esta capa se sitúa por debajo de la carpeta asfáltica, cuya función es resistir gran parte de los esfuerzos captados, además la rigidez de este elemento dependerá de la cantidad de vehículos pesados que transitan en el momento para evitar deformaciones excesivas producidas por cargas cíclicas. Generalmente para situaciones de tránsito ligero y medio se utiliza la base granular común, mientras que para el tránsito pesado se aplica un método para incrementar la resistencia y rigidez del elemento denominado como base estabilizada con cemento.

2.7.3. Subbase

En ciertos casos, no se requiere la capa de subbase cuando la subrasante de la zona presenta una adecuada capacidad portante. Dicha capa se coloca por debajo de la Base cuyo propósito es otorgar al elemento de una cimentación uniforme y establecer el área requerida para su colocación y compactación.

Otra de las funciones de la subbase es de drenar y regular los cambios volumétricos de la subrasante, por lo tanto, es necesario que el material utilizado carezca

de componentes finos u orgánicos. Por lo regular se utilizan subbases granulares compuestas por materiales tamizados o triturados parcialmente.

2.7.4. Subrasante

La Subrasante es una capa situada por debajo de la Subbase y es considerada como la cimentación de la estructura de pavimento, puede estar conformado únicamente por el terreno natural, cuando la calidad del material de sitio es óptima, de no ser el caso, se emplea un material seleccionado.

Tapia (2010) menciona que existen diversas funciones de la capa subrasante, las cuales deben ser:

- Transmitir y distribuir de forma adecuada los esfuerzos producidos por cargas vehiculares al cuerpo del terraplén.
- Evitar que el material fino contenido en el cuerpo del terraplén contamine a las demás capas del pavimento.
- Evitar que los materiales rocosos o fragmentos de mayor tamaño que conforman las terracerías atraigan las partículas de menor tamaño del pavimento.
- Uniformizar las capas que conforman al pavimento, especialmente cuando el terreno presenta grandes variaciones.
- Economizar el espesor de las capas de pavimento cuando el material de terracería requiere de un mayor espesor.

2.8. Factores principales que afectan al pavimento

El objetivo principal de un proyecto que involucra el diseño de un pavimento es establecer una estructura que sea capaz de resistir la demanda vehicular, al menor costo posible, esto incluye valores del proceso constructivo, mantenimiento y operación de la vía en un periodo que generalmente está determinado entre 10 a 40 años dependiendo del tipo de pavimento a emplear, ya sea rígido o flexible.

Para dimensionar las capas establecidas de una estructura de pavimento, existen diversos métodos investigados por varias entidades e instituciones, cuya implementación consideran factores esenciales para su diseño, las cuales se presentan a continuación.

2.8.1. Medio ambiente

Los efectos producidos por el medio ambiente es un parámetro que no tiene la suficiente relevancia en los diseños, siendo de gran importancia su consideración para seleccionar los materiales constitutivos de las capas y demás elementos complementarios como el sistema de drenaje.

Es necesario considerar el desempeño de la estructura bajo efectos de temperatura y humedad, es decir, para climas de temperaturas extremas ya sean estacionales o diarias, además de eventos pluviales con alta precipitación que incluso afectarían al proceso constructivo del proyecto. (Tapia, 2015, p. 14).

El agua es uno de los elementos más influyentes en el pavimento, debido a que afecta a los materiales que conforman las capas de la estructura, alterando algunas de las propiedades como: cohesión, nivel de compactación, expansión, resistencia al corte, corrosión, adherencia entre agregados y asfalto y en zonas climáticas de bajas temperaturas causa eventos de congelamiento y deshielo.

2.8.2. Propiedades de los materiales

En lo que respecta a las propiedades de los materiales para los cimientos de la estructura de pavimento, el parámetro principal a considerar es la resistencia al corte bajo las cargas vehiculares. Además, se debe evaluar la susceptibilidad del suelo a la humedad y a las eventualidades relacionadas con las variaciones de volumen, como la capacidad expansiva del suelo.

La medida utilizada para interpretar a la resistencia de los materiales es un valor relativo de soporte. Sin embargo, en nuestro medio se emplean métodos que lo representan mediante el Módulo de Resiliencia (MR), que es una correlación aproximada para determinar el valor de estos parámetros.

2.8.3. Tránsito

El efecto del tránsito corresponde a uno de los elementos más importantes para el diseño de pavimentos, debido a que la estructura se determinará en función de las cargas pesadas por eje vehicular que transitan en un carril. Aunque, en situaciones donde se presentan carriles múltiples, puede optarse por el diseño de pavimento con

espesores diferenciados, que dependerán de la cantidad de vehículos asignados para cada carril.

Los parámetros esenciales para determinar los efectos sobre la estructura de pavimento son aquellas producidas por la repetición y acumulación de cargas, como la fatiga y deformaciones, siendo necesarias para calcular y definir los espesores de las capas, se debe considerar presiones de contacto, además de los esfuerzos tangenciales en tramos específicos como curvas, tramos de aceleración y frenado, ingresos y salidas de rampas, zonas de estacionamiento, entre otros. (Tapia, 2015, p. 15).

2.8.4. Economía

En un proyecto se requiere optimizar los recursos invertidos con el propósito de no emplear más de lo necesario. Aunque en la mayoría de los casos, no coinciden estos aspectos iniciales con la inversión destinada, significando un incremento en los costos de la obra por considerar otros factores o imprevistos.

Por tanto, dichas eventualidades conllevan a que las estructuras viales sean deficientes para un posible crecimiento en la demanda vehicular a futuro, presentado inevitablemente fallas que afectan la funcionalidad y estética de los pavimentos. De manera que se debe considerar los costos por mantener la estructura vial durante su proyección operativa, ya sean por intervenciones mínimas o rehabilitaciones constantes.

2.9. Tipos de fallas en el pavimento

Las fallas que se visualizan en el pavimento son un indicador de un comportamiento inadecuado de la estructura y mediante un diagnóstico se pueden evaluar la magnitud de dichas afectaciones. De tal manera, que se presente un informe redactando las actividades correctivas y necesarias para remediar los daños existentes, evitando el avance del deterioro de la estructura. Para identificar estos eventos que disminuyen la capacidad del pavimento, se mencionan a continuación algunas fallas presentes en pavimentos flexibles y rígidos.

2.9.1. Fallas en pavimentos flexibles

Los daños producidos en el pavimento flexible afectan a las propiedades funcionales, que se refiere a los elementos superficiales de la estructura, disminuyendo el nivel de servicio establecido. En cambio, otras fallas afectan las propiedades estructurales de los elementos, perjudicando la integridad del pavimento al reducir la capacidad para soportar las cargas vehiculares, aunque existen varios grados de categorización de daños en la estructura, la presencia de estas fallas acelera el proceso de degradación y reduce la vida útil del pavimento.

Ahuellamiento

Es una depresión superficial que se presenta a lo largo de las huellas generadas por el tránsito. Las repeticiones de las cargas vehiculares conllevan a incrementar las deformaciones permanentes en varias capas de la estructura. Cuando el área de afectación es menor, dichas deformaciones se visualizan en las capas superiores y ocasionalmente se producen deslizamientos y levantamientos del pavimento en zonas laterales. Sin embargo, cuando el área de afectación es mayor, las deformaciones se producen en las capas inferiores o en la subrasante.

Las causas que ocasionan el ahuellamiento pueden ser: la falta de estabilidad en las capas de la estructura incluida la subrasante; dimensionar espesores de capas incapaces de resistir las repeticiones de las cargas vehiculares; incremento desmedido del tránsito.

Según la norma ASTM D6433 (2003), Los niveles de severidad se los categoriza de la siguiente manera:

- Bajo: la profundidad media del ahuellamiento debe estar entre 6 a 13mm.
- Medio: la profundidad media del ahuellamiento debe estar entre 13 a 25mm.
- Alto: la profundidad media del ahuellamiento debe ser mayor a 25mm.

Figura 3

Deformación por ahuellamiento de alto nivel de severidad.



Fuente: Norma ASTM D6433-03, 2003.

Abultamientos y Hundimientos

El abultamiento es un ligero desplazamiento hacia arriba, mientras que el hundimiento es una depresión que se manifiesta en la superficie del pavimento, pueden presentarse en forma de onda súbita y pronunciada sobre un área reducida, o también pueden manifestarse de manera gradual con grandes longitudes, causando distorsiones en el pavimento.

Estos eventos son ocasionados por diversos factores como: la consolidación de los estratos más compresibles de la subrasante; Deficiencia durante la compactación de los estratos superiores de la estructura; disminución en la estabilidad debido a la presencia de humedad en el pavimento.

Según la norma ASTM D6433 (2003), los niveles de severidad se los categoriza de la siguiente manera:

- Bajo: el abultamiento o hundimiento produce un ligero balanceo vehicular.
- Medio: el abultamiento o hundimiento produce un mayor balanceo vehicular.
- Alto: el abultamiento o hundimiento produce un excesivo y peligroso balanceo vehicular, que afecta a la seguridad del conductor.

Figura 4

Deformación por abultamiento y hundimiento de medio nivel de severidad.



Fuente: Norma ASTM D6433-03, 2003.

Corrugación

Se caracteriza por la manifestación de ondas en la superficie del pavimento, resultando en la formación de cimas y depresiones que aparecen continuamente con una separación menor a 3m entre dichas cimas, se presentan de manera perpendicular a la circulación del tránsito.

La principal causa es por las cargas de tránsito que se aplican en la estructura, cuando se presentan ciertas condiciones como: capas superficiales de baja estabilidad o deformables en zonas de concentración de esfuerzos; presencia de altas temperaturas ambientales; humedad excesiva en las capas de la estructura de pavimento, generando asentamientos diferenciales.

Según la norma ASTM D6433 (2003), los niveles de severidad se los categoriza de la siguiente manera:

- Bajo: la onda provoca cierta vibración al vehículo, pero no genera incomodidad.
- Medio: la onda provoca una vibración al vehículo que genera cierta incomodidad.
- Alto: la onda provoca una excesiva vibración al vehículo que genera gran incomodidad y riesgo para la circulación.

Figura 5

Deformación por corrugación de alto nivel de severidad.



Fuente: Norma ASTM D6433-03, 2003.

Desplazamiento

Es un movimiento plástico o deslizamiento de la superficie del pavimento que puede provocar el levantamiento del material. Se suele reconocer este tipo de falla mediante la observación de distorsiones en la señalización horizontal.

Las causas son provocadas por la acción de las cargas de tránsito, cuando se presentan ciertas condiciones como: baja estabilidad o falta de adherencia de la carpeta asfáltica con la capa Base; contenido excesivo de asfalto en la elaboración de mezcla; empujes de losas de hormigón adyacentes o subyacentes a la capa de rodadura; movimiento lateral de las bases granulares.

Según la norma ASTM D6433 (2003), los niveles de severidad se los categoriza de la siguiente manera:

- Bajo: el desplazamiento es ligeramente visible y genera cierta vibración al vehículo pero no causa incomodidad.
- Medio: el desplazamiento genera una vibración al vehículo que causa cierta incomodidad.

- Alto: el desplazamiento genera vibración excesiva al vehículo que causa gran incomodidad y riesgo al conductor.

Figura 6

Deformación por desplazamiento de alto nivel de severidad.



Fuente: Norma ASTM D6433-03, 2003.

Fisuras longitudinales y transversales

Son agrietamientos que se desarrollan en la superficie del pavimento. Las longitudinales se manifiestan paralelamente al eje de la calzada, mientras que las transversales aparecen de manera perpendicular. Esto se puede presentar al inicio como una simple grieta, pero conforme transcurre el tiempo se va acumulando hasta formar ramificaciones que aumentan el deterioro de la estructura.

Las causas que dan origen a este tipo de fisuras pueden ser: fatiga de la carpeta asfáltica por las repeticiones de carga a las que está sometida la estructura; endurecimiento excesivo de la mezcla asfáltica por variaciones de temperatura; asentamientos en la subrasante; insuficiencia en el dimensionamiento de las capas del pavimento; desplazamientos en capas rígidas como bases estabilizadas o losas de hormigón ubicadas por debajo de la carpeta asfáltica.

Según la norma ASTM D6433 (2003), para clasificar los niveles de severidad de las grietas en función de su ancho o abertura promedio, debe cumplir una de las condiciones establecidas para cada categorización.

- Bajo: fisura simple, sin material de relleno con un ancho menor a 10mm; o fisura simple con relleno de cualquier ancho, utilizando material de condiciones óptimas.
- Medio: fisura sin relleno que presenta un ancho mayor o igual a 10mm y menor a 75mm; fisura sin material de relleno con un ancho menor a 75mm con presencia de ligeras grietas secundarias y manera aleatoria; fisuras con material de relleno que presentan cualquier ancho y ligeras fisuras secundarias de manera aleatoria.
- Alto: cualquier fisura ya sea con o sin material de relleno que presente fisuras secundarias de manera aleatoria con un nivel de severidad medio o alto; fisuras sin material de relleno con un ancho mayor a 75mm; o fisuras de cualquier ancho en la cual el área pavimento a su alrededor presente grietas severas.

Figura 7

Fisuras longitudinales y transversales de alto nivel de severidad.



Fuente: Norma ASTM D6433-03, 2003.

Fisura tipo piel de cocodrilo

Son una serie de grietas interconectadas que forman diversos polígonos en la superficie del pavimento, debido a las repeticiones de cargas vehiculares que causan la fatiga del elemento. Esta falla no necesariamente es exclusiva de pavimentos mixtos, el cual consiste en la colocación de la carpeta asfáltica sobre una losa de hormigón; a causa de que ciertos patrones de fisuración se le atribuye a otro modelo de fallas como agrietamiento por reflexión de juntas o en bloques.

Las grietas por piel de cocodrilo comienzan en la parte inferior de la capa de rodadura, donde los esfuerzos de tensión y deformaciones alcanzan su punto máximo. Posteriormente, las grietas se extienden ligeramente hacia la superficie; con el transcurso del tránsito las grietas se propagan hasta interconectarse, creando una malla semejante a la piel de un cocodrilo.

Las causas que generan este tipo de fisuras son: subdimensionamiento de las capas de la estructura; poca resistencia a las repeticiones de cargas; pavimentos con gran capacidad de deformación; Implementación de materiales de baja calidad para los procesos constructivos que reducen la resistencia a la fatiga de la mezcla asfáltica.

Según la norma ASTM D6433 (2003), los niveles de severidad se los categorizan de la siguiente manera:

- Bajo: fisuras casi imperceptibles de trayecto paralelo y escasez de fisuras interconectadas. No se presentan fisuras descascaradas.
- Medio: fisuras finas que presentan una red o patrón de fisuras descascaradas levemente.
- Alto: las fisuras presentan un progreso más avanzado y definido en su patrón. Se visualizan bordes descascarados.

Figura 8

Fisuras tipo piel de cocodrilo de alto nivel de severidad.



Fuente: Norma ASTM D6433-03, 2003.

Fisura parabólica

También conocida como fisura por deslizamiento, son grietas con forma de media luna que generalmente se presentan de manera transversal a la dirección del tránsito. Esta falla ocurre mediante la intervención de fuerzas horizontales generadas por las acciones de frenado o cambio de dirección de los vehículos, provocando que la superficie de rodadura se deslice o deforme.

Las causas que producen este tipo de fisuras son: la combinación entre mezclas asfálticas de baja estabilidad y escasa adherencia superficial con la capa subyacente de la estructura; contaminación con polvo en zonas de riego de la liga o implementar excesivas cantidades del ligante; insuficiencia en el espesor de la carpeta asfáltica al ser situado en una superficie degradable o muy lisa.

Según la norma ASTM D6433 (2003), los niveles de severidad se los categoriza de la siguiente manera:

- Bajo: la fisura presenta un ancho promedio de hasta 10mm.
- Medio: cualquiera de estas condiciones; la fisura presenta un ancho promedio entre 10mm y 40mm; se visualiza que la fisura está descascarada de forma moderada o con grietas secundarias.
- Alto: cualquiera de estas condiciones; la fisura presenta un ancho promedio mayor a 40mm; Se visualiza que la fisura está fragmentada en varias piezas removidas.

Figura 9

Fisuras parabólicas de alto nivel de severidad.



Fuente: Norma ASTM D6433-03, 2003.

Desprendimiento de agregados

También conocido como peladura por intemperismo, es un desgaste que se produce en la superficie de rodadura debido a la remoción del material fino que lo compone, también puede ocurrir por el desprendimiento y pérdida del ligante asfáltico, incrementando su exposición a efectos abrasivos del clima y tránsito. Esta falla se presenta mayormente en procedimientos asfálticos en frío, pudiendo abarcar una gran zona de afectación en la calzada o en las huellas de circulación vehicular.

Las causas que provocan el deterioro de la superficie del pavimento pueden ser por: sobrecalentar la mezcla asfáltica durante la elaboración generando un endurecimiento excesivo; carecer del material bituminoso necesario o falta de gradación de sus componentes pétreos; fragmentación de las partículas debido a las altas presiones aplicadas durante su compactación; Pérdida de adherencia entre el bitumen y los agregados a causa de utilizar elementos contaminados o con altos índices de humedad.

Según la norma ASTM D6433 (2003), los niveles de severidad se los categoriza de la siguiente manera:

- Bajo: en caso de que el agregado o el ligante asfáltico comience a desprenderse de la superficie, haciendo que se manifiesten pequeños baches. Aunque la capa de rodadura todavía conserva su consistencia, sin visualizar la influencia del agregado en la superficie.
- Medio: en caso de que los agregados o el ligante asfáltico se haya se desprendido, presentando una textura rugosa y con algunos baches en la superficie. Además, se visualiza en gran magnitud la influencia del agregado.
- Alto: en caso de que el desprendimiento del agregado o el ligante asfáltico sea notable, presentando una textura muy rugosa con alta incidencia de baches. Además, se visualiza una gran exposición del agregado.

Figura 10

Desprendimiento de agregados de alto nivel de severidad.



Fuente: Norma ASTM D6433-03, 2003.

Baches

Son depresiones que se manifiestan en la superficie del pavimento con diversos diámetros que por lo general son menores a 90cm, formando daños estructurales que impiden la continuidad de la circulación vehicular. Además, si los baches son ocasionados por agrietamiento tipo piel de cocodrilo, también se los debe incluir dentro de la clasificación como baches y no como desprendimiento por intemperismo.

Como resultado, los fragmentos que se manifiestan en la superficie del pavimento son removidos por el paso de vehículos, causando los baches. Dichas formaciones se deben a causa de: presencia de otras afectaciones como agrietamientos, hundimientos, desintegraciones o escasas de mantenimiento en la superficie; insuficiencia en los espesores de capa; implementación de materiales y mezclas de baja calidad.

Según la norma ASTM D6433, Se clasifica los niveles de severidad en función del diámetro promedio y la máxima profundidad del bache, como se presenta en la tabla 3.

Tabla 3

Niveles de severidad para desintegración por baches

Profundidad del bache (mm)	Diámetro promedio del bache (mm)		
	100 a 200	200 a 450	450 a 750
13 a 25	Bajo	Bajo	Medio
25 a 50	Bajo	Medio	Alto
Mayor a 50	Medio	Medio	Alto

Fuente: Norma ASTM D6433-03, 2003.

Figura 11

Desintegración por bache de alto nivel de severidad.



Fuente: Norma ASTM D6433-03, 2003.

Exudación de asfalto

Este modo de falla se debe al levantamiento del material bituminoso de la mezcla sobre la superficie del pavimento, creando una película conformada por el ligante asfáltico. De tal manera que la zona afectada adquiere una apariencia brillante, reflectiva y viscosa en presencia de altas temperaturas.

La exudación del asfalto se puede originar por las siguientes causas: contenido de asfalto excesivo en la mezcla; efectuar el riego de la liga con altas cantidades de asfalto, colocar bitumen muy blando en condiciones de tráfico pesado o altas temperaturas; exceder la compactación requerida de la mezcla asfáltica.

Según la norma ASTM D6433 (2003), los niveles de severidad se los categoriza de la siguiente manera:

- Bajo: la exudación se presenta de manera ligera en la superficie. El asfalto no se adhiere a llantas de los vehículos o en los zapatos de los peatones.
- Medio: la exudación se presenta a un nivel mayor, que produce adherencia en las llantas de los vehículos y en los zapatos durante algunas semanas por año.
- Alto: La exudación se presenta de manera extensiva por la superficie de rodadura, que produce adherencia en llantas y zapatos durante varias semanas por año.

Figura 12

Falla por exudación de alto nivel de severidad.



Fuente: Norma ASTM D6433-03, 2003.

2.9.2. Fallas en pavimentos rígidos

Los daños producidos en el pavimento rígido afectan de forma diferente el comportamiento de la estructura de pavimento. De manera que el deterioro inicial puede transformarse en otra forma de daño, según los elementos que lo ocasionen. Esto puede afectar a la integridad estructural y funcional de las losas o juntas del pavimento.

Descascaramiento, mapa de fisuras o craqueado

El mapa de fisuras o craqueado es una red de grietas que se propagan por la superficie de la losa de hormigón. Posteriormente, se extienden hasta interconectarse en ángulos de 120°, cuando la formación de grietas es excesiva se produce el descascaramiento, esto es la rotura de la superficie de la losa causando ligeras o grandes remociones de hormigón, cuya afectación se estima a una profundidad de 6 a 13mm.

Estos efectos son provocados comúnmente por la intervención del tránsito o factores ambientales, sin embargo, también se consideran otros aspectos como: baja calidad de los materiales de construcción; derramamiento de productos químicos altamente agresivos para el hormigón como sales o ácidos; ubicación de armaduras de refuerzo cercanas a la superficie.

Según la norma ASTM D6433 (2003), los niveles de severidad se los categoriza de la siguiente manera:

- Bajo: se manifiesta el mapa de fisuras o craqueado en gran medida del área de la losa, pero se mantiene en óptimas condiciones, con presencia de ligeros descascaramientos.
- Medio: la superficie de la losa presenta descascaramiento menor al 15% del área total.
- Alto: la superficie de la losa presenta descascaramiento mayor al 15% del área total.

Figura 13

Falla de la superficie por descascaramiento de alto nivel de severidad



Fuente: Norma ASTM D6433-03, 2003.

Desprendimiento de esquina

Es una fisura que se desarrolla en la losa de hormigón con longitud aproximada de 50cm desde la esquina. La diferencia que existe entre el desprendimiento y la fisura de esquina es que en la primera se extiende a un ángulo que intercepta la junta; mientras que la fisura se prolonga de forma vertical hacia la esquina de la losa. Los desprendimientos que presentan una longitud menor de 130mm medidos desde la esquina hasta la fisura de los dos lados, no se los considera parte de este modo de falla.

La circulación del tránsito pesado es la principal causa que provoca este tipo de daños, debido a las repeticiones de carga que genera junto con otros aspectos como: incapacidad de la estructura para transferir cargas por medio de las juntas; reducción del área de paños que generan concentraciones de esfuerzos en zonas cercanas al borde.

Según la norma ASTM D6433 (2003), se clasifican los niveles de severidad en función de la profundidad y dimensiones de las zonas desprendidas, como se presenta en la tabla 4.

Tabla 4

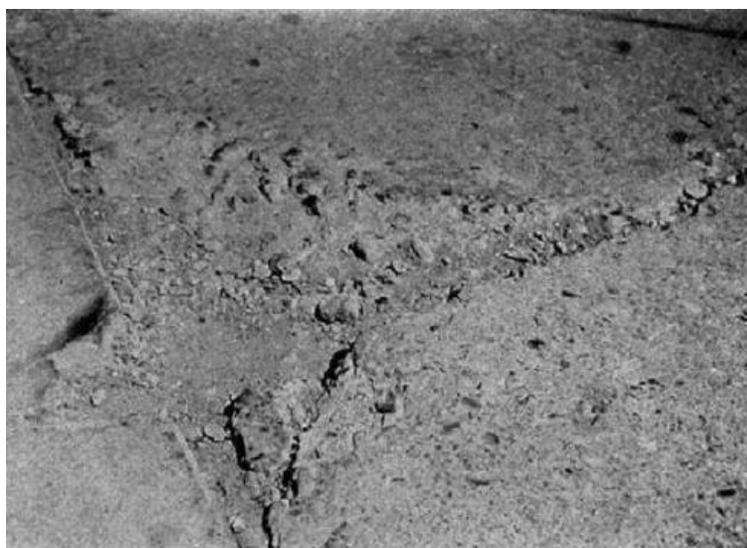
Niveles de severidad para desprendimientos de esquina.

Profundidad del desprendimiento (mm)	Dimensiones de los lados desprendidos (mm)	
	130x130 a 300x300	Mayor a 300x300
Menor a 25mm	Bajo	Bajo
De 25 a 50mm	Bajo	Medio
Mayor a 50mm	Medio	Alto

Fuente: Norma ASTM D6433-03, 2003.

Figura 14

Falla por desprendimiento de esquina de alto nivel de severidad.



Fuente: Norma ASTM D6433-03, 2003.

Fisuras longitudinales, transversales y diagonales

Son fallas lineales que se manifiestan de forma paralela o perpendicular al eje del pavimento y pueden dividir a la losa de hormigón en 2 o 3 secciones. Generalmente se presentan en la zona media de la losa o en las huellas de circulación, siendo por ausencia de alguna junta longitudinal o transversal.

Estas grietas pueden ser provocadas por la combinación de algunos acontecimientos como: pérdida en la capacidad de soporte de la subrasante; ejecución inadecuada de las juntas; asentamientos en la subrasante; paños que no cumplen con la relación longitud/ancho; diferencias en el espesor de las losas; incremento en las repeticiones de cargas vehiculares pesadas.

Según la norma ASTM D6433 (2003), los niveles de severidad que corresponden a lasas sin refuerzo se los categoriza de la siguiente manera:

- Bajo: las grietas sin material de sello con un ancho menor a 13mm o fisuras de cualquier ancho con material de sello que presenten óptimas condiciones. No se manifiestan desniveles ni desprendimientos.
- Medio: cuando se cumpla cualquiera de las siguientes condiciones, grietas con material de sello con un ancho entre 13mm y 50mm; fisuras sin material de sello con un ancho menor a 50mm y que presenten un desnivel menor a 10mm; o grietas con material de sello de cualquier ancho y con un desnivel menor a 10mm.
- Alto: cuando se cumpla cualquiera de las siguientes condiciones, grietas sin material de sello con un ancho mayor a 50mm; o todo tipo de fisura de cualquier ancho que presente un desnivel mayor a 10mm.

Para las lasas con refuerzo, la norma presenta la siguiente categorización para los niveles de severidad, dependiendo de ciertas condiciones.

- Bajo: las grietas sin material de sello con un ancho entre 3mm y 25mm; fisuras con material de sello de cualquier ancho en óptimas condiciones. No se manifiestan desniveles ni desprendimientos.
- Medio: cuando se cumpla cualquiera de estas condiciones, grietas sin material de sello con un ancho entre 25mm y 75mm que no presenta desniveles; fisuras sin material de sello con un ancho menor a 75mm y con un desnivel menor a 10mm; o fisuras con material de sello de cualquier ancho con un desnivel mayor a 10mm.
- Alto: cuando se cumpla cualquiera de estas condiciones, grietas sin material de sello con un ancho mayor a 75mm; o todo tipo de fisura con cualquier ancho que presente un desnivel mayor a 10mm.

Figura 15

Defectos por fisuras longitudinales y transversales de alto nivel de severidad.



Fuente: Norma ASTM D6433-03, 2003.

2.10. Estudios de suelo

Uno de los procedimientos fundamentales para el diseño de pavimentos es la caracterización del suelo existente en la zona de estudio y los materiales utilizados para la construcción de la estructura. Por lo tanto, se requiere determinar las características físicas, mecánicas y químicas mediante los ensayos de laboratorio correspondientes, para definir los parámetros que solicitan las normas de diseño.

2.10.1. Contenido de humedad del suelo

Este ensayo se define como una relación entre la masa de agua que se ocupa en zonas porosas del suelo o también en materiales rocosos y la masa sólida de las partículas, la cual se la representa como porcentaje. Existen dos métodos para establecer dicho parámetro, cada uno dependerá de la exactitud en los valores informados y la cantidad de la muestra a ensayar. Además, cada entidad reguladora establecerá el tipo método requerido para obtener el contenido de humedad. Generalmente se procede con el denominado “Método A”.

La norma ASTM D2216 (2019) indica que el “Método A” consiste en registrar el contenido de humedad en una muestra con una precisión más cercana al 1%, mientras que el “Método B” consiste en registrar el contenido de humedad en una muestra con una precisión más cercana al 0.1%. Además, en el caso de existir controversias, se dispondrá el “Método A” como un medio de arbitraje.

A continuación, se presenta la tabla 5, el cual consiste en establecer los requisitos mínimos para la masa de la muestra y la comprensibilidad de la balanza.

Tabla 5

Requisitos mínimos para la masa de la muestra ensayada y la comprensibilidad de la balanza.

Tamaño máximo de la partícula (pasante del 100%)		Método A		Método B	
		Contenido de humedad registrado hasta 1%		Contenido de humedad registrado hasta 0.1%	
Tamaño de tamiz	Tamaño de tamiz alternativo	Masa mínima de la muestra	Comprensibilidad de la balanza (g)	Masa mínima de la muestra	Comprensibilidad de la balanza (g)
75 mm	3 pulg	5 kg	10	50 kg	10
37.5 mm	1 ½ pulg	1 kg	10	10 kg	10
19 mm	¾ pulg	250 g	0.1	2.5 kg	0.1
9.5 mm	3/8 pulg	50 g	0.1	500 g	0.1
4.75 mm	No. 4			100 g	0.01
2 mm	No. 10			20 g	0.01

Fuente: Norma ASTM D2216-19, 2019.

Uno de los parámetros de los materiales más importantes a determinar es el contenido de humedad, debido a que se forma una correlación entre las propiedades y el comportamiento del suelo. Además de que se usa para establecer las relaciones de fase del suelo como son el agua, aire y sólido en una determinada muestra de material.

2.10.2. Análisis granulométrico

El ensayo de granulometría se utiliza principalmente para establecer el tamaño de los materiales que serán aplicados como agregados para mezclas o soporte de estructuras. En base a los resultados del ensayo, se puede definir si el agregado propuesto es acorde a las especificaciones técnicas de un proyecto, además de proporcionar información que permitirá un mejor control de calidad durante la producción de materiales pétreos. Dicha información también permitirá deducir ciertos parámetros relacionados con la porosidad y el macizo.

Para determinar la cantidad exacta del material más fino que el tamiz n° 200, se requiere utilizar otra metodología correspondiente a la norma ASTM C117, la cual menciona los procedimientos a realizar para los materiales más finos por lavado.

La norma ASTM C136 (2001) indica que el tamaño de la muestra requerido en los ensayos para los agregados finos debe ser por lo menos de 300g después del secado, mientras que para los agregados gruesos se debe cumplir con los valores presentados en la tabla 6.

Tabla 6

Tamaño mínimo de la muestra a ensayar para agregados finos y gruesos.

Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	Tamaño mínimo de la muestra a ensayar (kg)
9.5	1
12.5	2
19	5
25	10
37.5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

Fuente: Norma ASTM C136-01, 2001.

2.10.3. Límites de Atterberg

Este ensayo se emplea para determinar el límite plástico, límite líquido e índice de plasticidad de los suelos, como un segmento que integra varios sistemas de caracterización de la ingeniería para establecer la distribución de agregado fino en los materiales a utilizar en el ámbito de la construcción. Dichos parámetros, también conocidos como límites de consistencia, son utilizados en conjunto con otras propiedades de los suelos con el propósito de formar una correlación con su comportamiento ingenieril, siendo estos: permeabilidad, compresibilidad, compactibilidad, resistencia al corte y capacidad de contracción – expansión.

Los límites líquidos y plásticos junto con el contenido de humedad de un suelo permiten determinar el índice de liquidez o consistencia relativa. Por otra parte, la relación entre el índice de plasticidad y el porcentaje de material más fino a 2 μm indica la plasticidad del material arcilloso en la muestra, también conocida como actividad.

La norma ASTM D4318 (2005) resalta que los suelos contienen grandes cantidades de material orgánico en su composición, pudiendo afectar a los resultados del ensayo disminuyendo su veracidad. Por lo tanto, antes de ejecutar el ensayo se debe secar la muestra del material usando un horno a una temperatura determinada. Sin embargo, se puede determinar el contenido de materia orgánica de un suelo, comparando el límite líquido antes y después de ser secada al horno.

2.10.4. Proctor estándar

El ensayo de Proctor se refiere a los procedimientos de compactación del suelo en el laboratorio, implementando una energía estándar para determinar las relaciones entre el contenido de humedad y el peso unitario seco de los materiales. Para su ejecución, existen 3 métodos que dependerá del tipo de material utilizado en el ensayo, en caso de que no se establezca un procedimiento en específico se basará en la gradación del material.

El suelo establecido como relleno para estructuras civiles, se lo densifica mediante procedimientos de compactación adecuados con el propósito de que los materiales adquieran propiedades como: resistencia al corte, permeabilidad o compresibilidad. El ensayo de compactación en el laboratorio permite conocer los fundamentos que determinan el porcentaje de compactación y el contenido de humedad necesario para satisfacer las propiedades requeridas de un suelo, además de utilizarlo como un control para su etapa constructiva.

La norma ASTM D1557 (2009) indica que se debe determinar inicialmente el contenido de humedad óptimo y el peso unitario seco máximo mediante una prueba de compactación. Las muestras de laboratorio son compactadas a un contenido de humedad designado, ya sea en su estado de humedad óptima o parcialmente seco y con un peso unitario escogido como un porcentaje del peso unitario máximo.

2.10.5. C.B.R. (California Bearing Ratio)

El método de prueba C.B.R. se implementa para estimar la resistencia de los materiales que conforman las capas de la subrasante, subbase y base, incluso los reciclados que se utilizan para el diseño de estructuras de pavimento y aeródromos. Este parámetro es un requisito esencial de diversos métodos para el diseño de pavimentos flexibles.

En situaciones donde la acción del contenido de humedad sobre el C.B.R. es menor, como el caso de materiales no cohesivos o de partículas gruesas, se lo puede determinar mediante el contenido de humedad de un esfuerzo de compactación específico. Además, se considera común que el peso unitario seco sea el porcentaje mínimo de compactación establecido por los requerimientos de las instituciones en el ámbito constructivo.

Para otras condiciones en donde se desconoce la acción del contenido de humedad de la compactación sobre el C.B.R., se lo puede determinar mediante la aplicación de un rango para el contenido de humedad, los valores a utilizar dependerán de especificaciones o directrices de las instituciones correspondientes para el proceso de compactación en los proyectos.

La norma ASTM D1883 (2016) menciona que las muestras de materiales autocementantes o que adquieren resistencia a través del tiempo, deben ser sustentados mediante una evaluación geotécnica. Debido a que los especímenes para materiales autocementantes deben ser sometidos a un curado hasta el momento que se pueda medir sus efectos de aplicación a largo plazo.

2.11. Estudio de tráfico

Para el diseño de pavimentos es fundamental obtener datos del tránsito existente y los usuarios que circulan en la zona de estudio, esta información permite establecer las cargas vehiculares que se requiere para los diferentes métodos diseño, además de evaluar el daño potencial a la estructura vial.

El estudio de tráfico debe incluir el volumen de vehículos que recorren la zona, ya sea durante las 24 horas del día o los 365 días del año. Además, se debe realizar la

distribución correspondiente para cada tipo de vehículo, así como un análisis estadístico sobre accidentalidad de la zona con el propósito de disponer de la mayor cantidad de información necesaria para los diseños viales.

2.11.1. Volumen de tránsito

Según la normativa NEVI-12 (2012) el volumen de tránsito engloba los siguientes conceptos a considerar para realizar el estudio de tránsito:

- **Tráfico promedio diario anual:** Es la unidad de medida del tráfico, también es conocido por su abreviatura TPDA y representa al tránsito que recorre por una vía durante un año, es decir que este parámetro indica el volumen de tránsito promedio por día. Es fundamental para mencionar la utilización anual como una explicación de los costos que intervienen en un análisis económico, además permite dimensionar los componentes estructurales y funcionales de una vía.
- **Volumen de hora pico:** Es la cantidad de vehículos que transitan por una vía en la hora de mayor intensidad.
- **Volumen horario de diseño:** también conocido como volumen horario de proyecto, se lo representa mediante su abreviación VHD y es un parámetro utilizado para diseñar o comparar la capacidad de una vía a intervenir.
- **Tráfico proyectado:** Para vías ya establecidas o rehabilitadas es necesario diseñar en función del tránsito que vayan a utilizar a futuro. Por lo tanto, los criterios de diseño para vías deben considerar el volumen de tránsito posible al finalizar el periodo de vida útil de la vía, asumiendo que la cantidad de vehículos que circularán durante el tiempo funcional de la vía será mayor que el año pasado.

2.11.2. Composición del tránsito

Se lo denomina como la cantidad relativa de las diversas clases de vehículos que presenta un aforo vehicular. Este parámetro considera las características de operación vehicular, siendo varios dependiendo de sus tamaños y pesos que permiten establecer diferentes categorías de este. Los vehículos de mayor dimensión como los camiones y buses, dispone de un recorrido más lento y son los que abarcan el mayor espacio en la vías. Por lo tanto, su efecto es mayor que los vehículos de menor tamaño. Generalmente existen dos grupos de vehículos automotores, los cuales son:

- **Vehículos livianos:** En este grupo se incluyen a las motocicletas, automóviles y camionetas, vehículos que disponen de una capacidad máxima de 8 pasajeros y presentan un eje sencillo de ruedas tanto en la parte delantera como posterior.
- **Vehículos pesados:** refiriéndose a camiones, buses y vehículos que presenten combinaciones como los semirremolques y remolques. Son vehículos que presentan un peso mayor a 4 toneladas y doble rueda en la parte posterior.

Para el vehículo cuya dimensión, peso y características de operación son empleados para fijar los parámetros del diseño geométrico de la vía, se lo conoce como vehículo de diseño. De tal manera que en función de sus medidas se puede establecer un radio mínimo de giro que le permita circular o maniobrar sin ningún inconveniente. La norma NEVI-12 (2012) explica que el Ministerio de transporte y obras públicas contempla diversos tipos de vehículos para el diseño vial basándose en la categorización presentada por la norma AASHTO, siendo estos:

- **Vehículo liviano (A):** subcategorías de (A1) para motocicletas y (A2) para automóviles
- **Buses y busetas (B):** no disponen de subcategorías.
- **Camiones (C):** subcategorías de transportes de cargas con (C-1) dos ejes, (C-2) camiones o tractores de tres ejes y (C-3) para cuatro o más ejes.
- **Remolques (R):** refiriéndose vehículos que presentan uno o dos ejes de giro y una unidad de remolque tipo tráiler o Dolly.

Figura 16

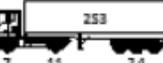
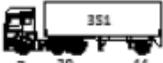
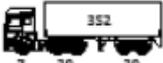
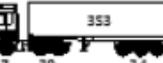
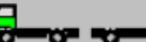
Pesos y dimensiones de los diferentes vehículos motorizados

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO MÁXIMO PERMITIDO (Ton.)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
				largo	Ancho	Alto
2 D			7	5,00	2,60	3,00
2DA			10	7,50	2,60	3,50
2DB			18	12,20	2,60	4,10
3-A			27	12,20	2,60	4,10
4-C			31	12,20	2,60	4,10
4-0			32	12,20	2,60	4,10
V2DB			18	12,20	2,60	4,10
V3A			27	12,20	2,60	4,10
VZS			27	12,20	2,60	4,10
T2			18	8,50	2,60	4,10
T3			27	8,50	2,60	4,10
S3			24	13,00	3,00	4,30
S2			20	13,00	3,00	4,30
S1			11	13,00	3,00	4,30
R2			22	10,00	3,00	4,30
R3			31	10,00	3,00	4,30
B1			11	10,00	3,00	4,30
B2			20	10,00	3,00	4,30
B3			24	10,00	3,00	4,30

Fuente: Norma Ecuatoriana Vial (NEVI-12), 2012.

Figura 17

Pesos y dimensiones de las diferentes combinaciones de vehículos.

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO BRUTO VEHICULAR MÁXIMO PERMITIDO (toneladas)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (m etros)		
				Largo	Ancho	Alto
2S1			29	20,50	2,60	4,30
2S2			38	20,50	2,60	4,30
2S3			42	20,50	2,60	4,30
3S1			38	20,50	2,60	4,30
3S2			47	20,50	2,60	4,30
3S3			48	20,50	2,60	4,30
2R2			40	20,50	2,60	4,30
2R3			48	20,50	2,60	4,30
3R2			48	20,50	2,60	4,30
3R3			48	20,50	2,60	4,30
2B1			29	20,50	2,60	4,30
2B2			38	20,50	2,60	4,30
2B3			42	20,50	2,60	4,30
3B1			38	20,50	2,60	4,30
3B2			47	20,50	2,60	4,30
3B3			48	>20,50	3,00	4,30

Fuente: Norma Ecuatoriana Vial (NEVI-12), 2012.

2.12. Marco Conceptual

Tráfico: es la parte de la ingeniería del transporte que tiene como objetivos la planificación, diseño y operación del tráfico en la red viaria (calles, carreteras y autopistas) y su relación con los diferentes medios de transporte con el fin de garantizar una movilidad segura, cómoda y eficiente, tanto de personas como de mercancías.

Tránsito: planificación, diseño y operación de tráfico en las calles, carreteras y autopistas, sus redes, infraestructuras, consiguiendo una movilidad segura, e incluyente para una mejor calidad de vida de los usuarios.

Pavimento: capa constituida por uno o más materiales que se colocan sobre el terreno natural o nivelado, para aumentar su resistencia y servir para la circulación de personas o vehículos.

California Bearing Ratio: es un parámetro del suelo que cuantifica su capacidad resistente como subrasante, sub base y base en el diseño de pavimentos. Es un ensayo empírico que se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad.

2.13. Marco Legal

La norma ASTM D4318 (2005) resalta que los suelos contienen grandes cantidades de material orgánico en su composición, pudiendo afectar a los resultados del ensayo disminuyendo su veracidad. Por lo tanto, antes de ejecutar el ensayo se debe secar la muestra del material usando un horno a una temperatura determinada. Sin embargo, se puede determinar el contenido de materia orgánica de un suelo, comparando el límite líquido antes y después de ser secada al horno.

La norma ASTM D1557 (2009) indica que se debe determinar inicialmente el contenido de humedad óptimo y el peso unitario seco máximo mediante una prueba de compactación. Las muestras de laboratorio son compactadas a un contenido de humedad designado, ya sea en su estado de humedad óptima o parcialmente seco y con un peso unitario escogido como un porcentaje del peso unitario máximo.

La norma ASTM D1883 (2016) menciona que las muestras de materiales autocementantes o que adquieren resistencia a través del tiempo, deben ser sustentados

mediante una evaluación geotécnica. Debido a que los especímenes para materiales autocementantes deben ser sometidos a un curado hasta el momento que se pueda medir sus efectos de aplicación a largo plazo.

La norma NEVI-12 (2012) explica que el Ministerio de transporte y obras públicas contempla diversos tipos de vehículos para el diseño vial basándose en la categorización presentada por la norma AASHTO.

CAPITULO 3

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Enfoque de la investigación

El proyecto presenta un enfoque mixto, es decir tiene un desarrollo cuantitativo y cualitativo, dado que inicialmente la ejecución se basa en el procedimiento aritmético con la aplicación de cantidades objetivas, fórmulas, tablas de investigación y metodologías de diseño para una estructura vial.

Posteriormente, según los resultados obtenidos, se explica cuál puede ser el método más conveniente para las vías de ciertos sectores populares que se localizan en el norte de Guayaquil, tomando como referencia el uso de suelo y las actividades cotidianas de los habitantes de la zona.

3.2. Tipo de investigación

La investigación del proyecto es del tipo descriptivo, debido a que se utiliza varios métodos de análisis relacionados con el diseño de pavimentos, para presentar un objeto de estudio mediante la recopilación y análisis de información de la zona establecida para el trabajo de titulación. De tal manera que se desataca su incidencia en las prácticas convencionales y las características más relevantes de su aplicación en la ingeniería.

3.3. Métodos de investigación

El proyecto se basa en el fundamento teórico, el cual corresponde a la indagación y revisión de material bibliográfico relacionado con el objeto de estudio, se procede a generar una hipótesis acerca de la incidencia del tránsito en los métodos de diseños, previstos para una estructura de pavimento en la zona norte de la ciudad Guayaquil.

Para aplicar los criterios mencionados sobre la afectación del tránsito, se utiliza los métodos de cálculo establecidos como AASHTO, método del Instituto del Asfalto y Ley de la Cuarta Potencia, se agrupan los resultados obtenidos con el objeto de realizar una comparación, destacando los aspectos más relevantes y explicar las diferencias existentes de los parámetros observados.

3.4. Técnicas de recolección de información

Para el desarrollo del estudio se implementan normas como: NEVI-12 para clasificar las vías según al que corresponden y los vehículos según los pesos y dimensiones que se aplican a nivel nacional; AASHTO-93 para el cálculo de ejes equivalentes y diseño de pavimentos; Instituto del asfalto y Ley de la Cuarta Potencia para determinar el factor de daño vehicular en el pavimento para luego ser comparados con el valor obtenido del método AASHTO. Además de emplear materiales que permitan obtener información sobre el volumen vehicular que transita por la zona.

3.5. Población

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC, 2017) Guayaquil presenta una población de 2'644.891. Para la zona de flor de bastión que conforma uno de los sectores populares más extensos del norte de Guayaquil, se dispone de aproximadamente 80.000 habitantes distribuidos por los diferentes bloques y cooperativas de dicha zona.

3.6. Muestra

Para propósitos del proyecto se establece una muestra no probabilística del tipo por conveniencia, para determina el número de habitantes que corresponden a las cooperativas Nueva Guayaquil y Tiwintza utilizando el geoportal del GAD Municipal de Guayaquil, mediante los predios urbanos de la zona se establece que existen 1296 viviendas, suponiendo que en cada una residen hasta 5 integrantes, la zona de influencia perteneciente al objeto de estudio es aproximadamente 6480 habitantes.

3.7. Análisis e interpretación de resultados

El proyecto comenzó con la actividad del conteo vehicular la cual determina la composición del tráfico existente en la zona, posteriormente se implementaron las metodologías de los ejes equivalentes correspondientes a la norma AASHTO 93, Instituto del asfalto y Ley de la cuarta potencia.

3.7.1. Aforo vehicular

Se instaló una estación para realizar el conteo de vehículos de la vía principal utilizada como ingreso y salida de la zona de estudio. Se consideró los tipos de vehículos

livianos (automóviles y camionetas), Buses y vehículos pesados (camiones de 2 y 3 ejes) durante los 7 días de la semana y en función de los datos obtenidos se calculó el TPDA.

Tabla 7

Resumen de aforo vehicular de la zona de estudio.

Días de conteo	Tipos de vehículos						TOTAL
	Livianos	Buses		Camiones			
		Buseta	Autobús	2DA	2DB	3A	
Lunes	1519	88	481	102	60	3	2253
Martes	1311	75	468	115	35	0	2004
Miércoles	1548	77	430	82	24	0	2161
Jueves	1461	71	543	98	42	0	2215
Viernes	1317	70	567	141	55	9	2159
Sábado	1402	79	522	102	39	4	2148
Domingo	1391	52	411	62	13	3	1932
TOTAL	9949	512	3422	702	268	19	14872

Elaborado por: Córdoba (2024).

Tabla 8

Resumen del conteo de tráfico en la zona de estudio.

Tipo de vehículo		Número de vehículos
Livianos		9949
Buses	Buseta	512
	Autobús	3422
Camiones	2 ejes medianos	702
	2 ejes grandes	268
	3 ejes	19
TOTAL		14872

Elaborado por: Córdoba (2024).

Para determinar el tráfico promedio diario anual (TPDA) se utilizó la siguiente ecuación:

$$TPDA = TPDS * F_m * F_d \quad \text{Ec. (4.1)}$$

Siendo:

$TPDS$ = El tráfico promedio diario semanal.

F_m = Factor de ajuste mensual.

F_d = Factor de ajuste diario.

El tráfico promedio diario semanal (TPDS) se lo obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$TPDS = \frac{5}{7} * \sum \frac{D_n}{m} + \frac{2}{7} * \sum \frac{D_e}{m} \quad \text{Ec. (4.2)}$$

Siendo:

D_n = Conteo en días convencionales (de lunes a viernes).

D_e = Conteo en días no convencionales o feriados (sábado y domingo).

m = Número de días convencionales o no convencionales que se realizó el conteo.

Reemplazando los valores en la ecuación (4.2) se obtiene:

$$TPDS = \frac{5}{7} * \sum \frac{(2253 + 2004 + 2161 + 2215 + 2159)}{5} + \frac{2}{7} * \sum \frac{(2148 + 1932)}{2}$$

$$TPDS = 2125 \text{ veh\u00edculos}$$

Para determinar el factor de ajuste mensual (F_m), se utilizó la tabla 9, que presentan valores basándose en los flujos vehiculares de la estación de peaje “chivería”, el cual son proporcionados por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO). Para propósitos del proyecto se escogió el valor correspondiente al mes de marzo.

Tabla 9*Factores de ajuste mensual.*

Mes	Factor de ajuste mensual (F_m)
Enero	1.069
Febrero	1.077
Marzo	1.086
Abril	1.072
Mayo	1.088
Junio	1.091
Julio	1.069
Agosto	0.971
Septiembre	0.975
Octubre	0.959
Noviembre	0.933
Diciembre	0.931

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), 2021.

El factor de ajuste diario se lo determina mediante la tabla 10 en función de la cantidad de vehículos diarios y el tráfico promedio diario semanal.

Tabla 10*Factor de ajuste diario.*

Días de conteo	Tráfico diario (TD)	Factor de ajuste diario (Fd) = TPDS / TD
Lunes	2253	0.943
Martes	2004	1.060
Miércoles	2161	0.983
Jueves	2215	0.959
Viernes	2159	0.984
Sábado	2148	0.989
Domingo	1932	1.100
Total	14872	1.003

Elaborado por: Córdova (2024).

Una vez obtenido los factores necesarios y el TPDS, se procedió a determinar el TPDA reemplazando los valores correspondientes en la ecuación (4.1).

$$TPDA = 2125 * 1.086 * 1.003$$

$$TPDA = 2314 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

3.7.2. Tr\u00e1fico proyectado

Es un par\u00e1metro que determina un volumen pronosticado del tr\u00e1fico que no considera \u00fanicamente el volumen actual, tambi\u00e9n ciertos incrementos que se producen en la demanda vehicular por la habilitaci\u00f3n del servicio de la v\u00eda. Dichos aumentos se les atribuye como tr\u00e1fico desarrollado y tr\u00e1fico generado con un porcentaje del 5% y 25% correspondientemente.

$$\text{Tr\u00e1fico desarrollado} = 5\% TPDA = 116 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

$$\text{Tr\u00e1fico generado} = 25\% TPDA = 579 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

Para determinar el tr\u00e1fico proyectado se utiliz\u00f3 la siguiente ecuaci\u00f3n:

$$T_f = T_{asig} * (1 + i)^n \quad \text{Ec. (4.3)}$$

Siendo:

T_f = El tr\u00e1fico proyectado o futuro.

T_{asig} = El tr\u00e1fico asignado.

i = Tasa de crecimiento del tr\u00e1fico.

n = Periodo de proyecci\u00f3n en a\u00f1os.

El tr\u00e1fico asignado se lo determin\u00f3 mediante la siguiente ecuaci\u00f3n:

$$T_{asig} = TPDA + \text{Tr\u00e1fico desarrollado} + \text{Tr\u00e1fico generado} \quad \text{Ec. (4.4)}$$

Reemplazando los valores correspondientes en la ecuaci\u00f3n (4.4) se obtuvo:

$$T_{asig} = 2314 + 116 + 579$$

$$T_{asig} = 3009 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

Después, se procedió a realizar la composición de tráfico:

Tabla 11

Composición del tráfico asignado de la zona de estudio.

Tipo de vehículo		Volumen de vehículos	% Distribución
Livianos		2013	66.90%
Buses	Buseta	104	3.46%
	Autobús	693	23.03%
Camiones	2 ejes medianos	142	4.72%
	2 ejes grandes	53	1.76%
	3 ejes	4	0.13%
TOTAL		3009	100.00%

Elaborado por: Córdova (2024).

La tasa de crecimiento vehicular se lo determina mediante la tabla 12 que presenta el MTOP para diversos periodos considerados.

Tabla 12

Tasa de crecimiento vehicular anual.

Periodo	Liviano	Bus	Camión
2005 - 2010	4.49	2.12	3.41
2011 - 2015	3.99	1.89	3.03
2016 - 2020	3.60	1.70	2.72
2021 - 2040	3.27	1.54	2.48

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP), 2010.

Luego de establecer los valores requeridos, se aplicó la ecuación (4.3) considerando un periodo de proyección del tráfico a 20 años. En la tabla 13 se presenta de forma resumida los resultados obtenidos del tráfico proyectado en función del tipo de vehículo.

$$T_f \text{ livianos} = 2013 * (1 + 0.0327)^{20} = 3831 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

$$T_f \text{ buseta} = 104 * (1 + 0.0154)^{20} = 141 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

$$T_f \text{ bus} = 693 * (1 + 0.0154)^{20} = 941 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

$$T_f \text{ camión 2DA} = 142 * (1 + 0.0248)^{20} = 232 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

$$T_f \text{ camión 2DB} = 53 * (1 + 0.0248)^{20} = 87 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

$$T_f \text{ camión 3A} = 4 * (1 + 0.0248)^{20} = 7 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

Tabla 13

Proyección a 20 años del tráfico asignado.

A\u00f1o	Periodo de proyecci\u00f3n (n)	Tipos de veh\u00edculos						Total
		Livianos	Buses		Camiones			
			Buseta	Bus	2DA	2DB	3A	
2024	0	2013	104	693	142	53	4	3009
2025	1	2079	106	704	146	54	4	3093
2026	2	2146	107	715	150	55	4	3177
2027	3	2217	109	726	154	56	4	3266
2028	4	2289	111	737	158	57	4	3356
2029	5	2364	112	748	161	60	5	3448
2030	6	2442	114	760	164	61	5	3546
2031	7	2521	116	771	169	63	5	3645
2032	8	2604	118	783	173	64	5	3747
2033	9	2689	119	795	177	66	5	3851
2034	10	2777	121	807	181	68	5	3959
2035	11	2868	123	820	186	69	5	4071
2036	12	2961	125	832	191	71	5	4185
2037	13	3059	127	845	195	73	6	4305
2038	14	3158	129	858	200	75	6	4426
2039	15	3262	131	872	205	77	6	4553
2040	16	3368	133	885	210	78	6	4680
2041	17	3479	135	899	215	80	6	4814
2042	18	3592	137	912	221	82	6	4950
2043	19	3710	139	926	226	84	6	5091

2044	20	3831	141	941	232	87	7	5239
------	----	------	-----	-----	-----	----	---	------

Elaborado por: Córdova (2024).

El TPDA proyectado a 20 años para el objeto de estudio es de 5239 vehículos por día, utilizando la tabla 1 se determinó su clasificación funcional en base al resultado obtenido, indicando que es una vía de dos carriles de mediana capacidad (C1). Para el cálculo de los ESAL'S mediante la aplicación de los métodos mencionados, se utilizó el tráfico asignado y su composición para el desarrollo del estudio.

3.7.3. Cálculo de ESAL'S de diseño – Método AASHTO 93

Los ESAL'S son también denominados como ejes equivalentes de carga y es la cantidad de repeticiones debido a cargas equivalentes de 18 Kips en un periodo establecido, en función de dicha carga se procedió a realizar los cálculos que indican el daño sobre el pavimento provocado por los diferentes pesos de vehículos y números de ejes. La norma AASHTO 93 presenta un detallado procedimiento para el cálculo de los ejes equivalentes, implementando la siguiente ecuación:

$$ESAL = TPDA * GY * DD * L * Fc * 365 \quad \text{Ec. (4.5)}$$

Siendo:

TPDA = Tráfico promedio diario anual asignado.

GY = Factor de crecimiento vehicular.

DD = Factor de distribución direccional.

L = Factor de distribución por carril.

Fc = Factor camión.

El factor de crecimiento vehicular se lo calculó mediante la siguiente ecuación:

$$GY = \frac{(1 + r)^Y - 1}{r} \quad \text{Ec. (4.6)}$$

Siendo:

Y = periodo de diseño

r = tasa de crecimiento anual

Se asumió un periodo de diseño de 20 años con la tasa de crecimiento anual establecido en la tabla 12, se reemplazó los valores correspondientes en la ecuación (4.6) para determinar el factor de crecimiento vehicular.

$$GY_{livianos} = \frac{(1 + 0.0327)^{20} - 1}{0.0327} = 27.62$$

$$GY_{buses} = \frac{(1 + 0.0154)^{20} - 1}{0.0154} = 23.21$$

$$GY_{camiones} = \frac{(1 + 0.0248)^{20} - 1}{0.0248} = 25.49$$

El factor de distribución direccional corresponde al 100% en el caso de que la vía de estudio presente un flujo unidireccional, sin embargo para el objeto de este proyecto se visualizó una vía con flujo bidireccional, siendo el factor que se consideró **DD = 50%**.

Para determinar el factor de distribución por carril se implementó la tabla 14 cuyos valores corresponden a la norma AASHTO 93, para determinar el valor en función del número de carriles por sentido. Para el caso del proyecto es una vía que presenta un carril por sentido.

Tabla 14

Factores de distribución por carril.

Número de carriles por sentido	Porcentaje de ejes equivalentes de 18 kips (ESAL) en el carril de diseño
1	100%
2	80% - 100%
3	60% - 80%
4 o más carriles	50% - 75%

Fuente: Norma AASHTO 93, 1993.

El factor camión se calculó mediante la aplicación de las siguientes ecuaciones para obtener los diferentes valores dependiendo del tipo de vehículo.

$$FC = \frac{W_{t18}}{W_{tx}} \quad \text{Ec. (4.7)}$$

$$\frac{W_{tx}}{W_{t18}} = \left[\frac{18 + 1}{L_x + L_2} \right]^{4.79} * \left[\frac{10^{\frac{G}{\beta_x}}}{10^{\frac{G}{\beta_{18}}}} \right] * [L_2]^{4.33} \quad \text{Ec. (4.8)}$$

$$\beta_x = 0.4 + \frac{0.081 * (L_x + L_2)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19} * L_2^{3.23}} \quad \text{Ec. (4.9)}$$

$$\beta_{18} = 0.4 + \frac{0.081 * (18 + 1)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19}} \quad \text{Ec. (4.10)}$$

$$G = \log \left(\frac{4.2 - P_t}{4.2 - 1.5} \right) \quad \text{Ec. (4.11)}$$

Siendo:

W_{18} = Número de aplicaciones de carga de 18 Kips que provocan una disminución de la serviciabilidad.

W_{tx} = Número de aplicaciones de cualquier carga que provocan la misma disminución de la serviciabilidad.

L_x = Carga de un eje simple, tándem y trídem en Kips.

L_2 = Código de eje según el tipo: (1) Simple, (2) Tándem, (3) Trídem.

SN = Número estructural

P_t = Índice de serviciabilidad final

Inicialmente se procedió con el cálculo de las ecuaciones (4.9) (4.10) y (4.11) utilizando los valores correspondientes a los vehículos livianos, asumiendo un número

estructural SN = 3 y un valor recomendado para el índice de serviciabilidad $P_t = 2.0$ que es para vías de menor tránsito, para otros casos donde la vía presenta una gran importancia recomiendan un valor de 2.5. Una vez obtenido los valores de las expresiones mencionadas, se procedió a determinar el factor camión para cada eje.

- **Vehículos livianos (eje delantero $L_x = 2 \text{ ton} = 4.4 \text{ Kips}$)**

$$\beta_x = 0.4 + \frac{0.081 * (4.4 + 1)^{3.23}}{(3 + 1)^{5.19} * 1^{3.23}} = 0.41411$$

$$\beta_{18} = 0.4 + \frac{0.081 * (18 + 1)^{3.23}}{(3 + 1)^{5.19}} = 1.22067$$

$$G = \log\left(\frac{4.2 - 2.0}{4.2 - 1.5}\right) = -0.08894$$

$$\frac{W_{tx}}{W_{t18}} = \left[\frac{18 + 1}{4.4 + 1}\right]^{4.79} * \left[\frac{10^{-0.21478}}{10^{-0.07286}}\right] * [1]^{4.33} = 298.64006$$

$$F_{C_{delantero}} = \frac{1}{\left(\frac{W_{tx}}{W_{t18}}\right)} = \frac{1}{298.64006} = 0.00335$$

- **Vehículos livianos (eje posterior $L_x = 3 \text{ ton} = 6.6 \text{ Kips}$)**

$$\beta_x = 0.4 + \frac{0.081 * (6.6 + 1)^{3.23}}{(3 + 1)^{5.19} * 1^{3.23}} = 0.44254$$

$$\beta_{18} = 0.4 + \frac{0.081 * (18 + 1)^{3.23}}{(3 + 1)^{5.19}} = 1.22067$$

$$G = \log\left(\frac{4.2 - 2.0}{4.2 - 1.5}\right) = -0.08894$$

$$\frac{W_{tx}}{W_{t18}} = \left[\frac{18 + 1}{6.6 + 1}\right]^{4.79} * \left[\frac{10^{-0.20098}}{10^{-0.07286}}\right] * [1]^{4.33} = 59.98155$$

$$F_{C_{posterior}} = \frac{1}{\left(\frac{W_{t18}}{W_{tx}}\right)} = \frac{1}{59.98155} = 0.01667$$

Para determinar la carga por eje de los diferentes tipos de vehículos se utilizó la figura 16, en el cual se visualiza los pesos por eje de vehículos motorizados que se presentan en la norma NEVI-12. En la tabla 15 se redacta a manera de resumen los cálculos que se utilizaron para determinar el factor camión de los tipos de vehículos presentes en el estudio.

Tabla 15

Cálculo del factor camión de los diferentes tipos de vehículos.

Tipo de vehículos	Carga por eje (Ton) (Kips)			%	Factor de equivalencia de carga			Fc (d+i+p)
	Delant.	Interm.	Poster.		Delant.	Interm.	Poster.	
Livianos	2 (4.4)		3 (6.6)	66.90	0.00335		0.01667	0.02002
Buseta	3 (6.6)		7 (15.4)	3.46	0.01667		0.52327	0.53994
Autobús	7 (15.4)		11 (24.2)	23.03	0.52327		3.55647	4.07974
2DA	3 (6.6)		7 (15.4)	4.72	0.01667		0.52327	0.53994
2DB	7 (15.4)		11 (24.2)	1.76	0.52327		3.55647	4.07974
3A	7 (15.4)		20 (44)	0.13	0.52327		3.23112	3.75439

Elaborado por: Córdova (2024).

Una vez obtenido los factores correspondientes a la ecuación (4.5), se procedió a determinar los ejes equivalentes de carga (ESAL), la tabla 16 presenta los resultados del cálculo para cada tipo de vehículo.

$$ESAL_{livianos} = 2013 * 27.62 * \frac{50}{100} * \frac{100}{100} * 0.02002 * 365 = 203145$$

Tabla 16

Cálculo del número de ejes equivalentes de 18 Kips.

Tipo de vehículo	TPDA x %composición	Tasa de crecimiento anual	Factor de crecimiento	Factor camión (Fc)	ESAL'S a 20 años
Livianos	2013	3.27	27.62	0.02002	203,145
Buseta	104	1.54	23.21	0.53994	237,908
Autobús	693	1.54	23.21	4.07974	11,978,339
2DA	142	2.48	25.49	0.53994	356,716
2DB	53	2.48	25.49	4.07974	1,005,998

3A	4	2.48	25.49	3.75439	69,870
ESAL'S total					13,851,976

Elaborado por: Córdova (2024).

3.7.4. Cálculo de ESAL'S de diseño – Método Instituto del Asfalto

El procedimiento que se utilizó para el cálculo de los ejes equivalentes está establecido en la norma de diseño para pavimentos del Instituto del Asfalto “Thickness Design” edición MS-1 del año 1981. Por lo general, esta normativa es empleada para el diseño de capas que son tratadas con emulsiones asfálticas.

Esta norma denomina al número de aplicaciones de cargas provocadas por el paso del vehículo como EAL (Equivalent Application load)

$$EAL = \sum (Volumen\ anual\ de\ cada\ tipo\ de\ veh\acute{u}culo \times factor\ camion)$$

Sin embargo, el volumen de vehículos se ve afectado por ciertos factores como el porcentaje de crecimiento vehicular y la distribución de camiones por el carril de diseño, presentados en la tabla 17 y 18 respectivamente.

Tabla 17

Tasa anual de crecimiento vehicular.

Periodo de diseño (años)	Sin crecimiento	Porcentaje de crecimiento anual						
		2%	4%	5%	6%	7%	8%	10%
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	2.0	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.0	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.0	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.0	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.0	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.0	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.0	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.0	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.0	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.0	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53

12	12.0	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.0	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.0	15.97	18.29	19.60	21.02	22.55	24.21	27.97
15	15.0	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.0	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.0	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.54
18	18.0	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.0	22.84	27.67	30.24	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.0	24.30	29.78	33.07	36.79	41.00	45.76	57.27
25	25.0	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35
30	30.0	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	164.49
35	35.0	49.99	73.65	90.32	111.43	138.24	172.32	271.02

Fuente: Asphalt Institute's Thickness Design Manual MS-1, 1981.

Estableciendo que el periodo de diseño del proyecto es de 20 años y la tasa de crecimiento nacional por año son los presentados en tabla 12, se utilizó una interpolación para determinar el factor de crecimiento vehicular mediante la siguiente ecuación:

$$y = y_0 + \frac{x - x_0}{x_1 - x_0} * (y_1 - y_0) \quad \text{Ec. (4.11)}$$

Se consideró a la variable X como la tasa de crecimiento anual y la variable Y como el factor de crecimiento, reemplazando los valores correspondientes en la ecuación (4.11) se obtuvo los resultados para cada tipo de vehículo.

$$GY_{livianos} = 24.30 + \frac{3.27 - 2}{4 - 2} * (29.78 - 24.30) = 27.78$$

$$GY_{buses} = 20 + \frac{1.54}{2} * (24.30 - 20) = 23.31$$

$$GY_{camiones} = 24.30 + \frac{2.48 - 2}{4 - 2} * (29.78 - 24.30) = 25.62$$

El factor por el tránsito de camiones en el carril se lo determina mediante la tabla 18 en función al número de carriles de circulación, Según lo considerado para el proyecto se estableció el porcentaje de 50% que corresponde a una vía de 2 carriles.

Tabla 18*Factor de tránsito en el carril de diseño*

Número de carriles de circulación (ambos sentidos)	Porcentaje de tránsito en el carril de diseño
2	50%
4	45% (35% - 48%)
6 o más	40% (25% - 48%)

Fuente: Asphalt Institute's Thickness Design Manual MS-1, 1981.

Para determinar el factor de equivalencia de carga, el manual de diseño del instituto del asfalto utiliza una tabla de valores publicadas inicialmente por AASHTO para diferentes tipos de ejes que presentan un peso desde 1000 lb hasta 90,000 lb.

Tabla 19*Factores de equivalencia de carga para método del Instituto del Asfalto.*

Carga por eje o grupo de ejes		Factores de equivalencia de carga según tipo de eje		
Kn	Libras	Simple	Tándem	Trídem
4.45	1000	0.00002		
8.9	2000	0.00018		
17.8	4000	0.00209	0.0003	
26.7	6000	0.01043	0.001	0.0003
35.6	8000	0.0343	0.003	0.001
44.5	10000	0.0877	0.007	0.002
53.4	12000	0.189	0.014	0.003
62.3	14000	0.36	0.027	0.006
71.2	16000	0.623	0.047	0.011
80.0	18000	1.00	0.077	0.017
89.0	20000	1.51	0.121	0.027
97.9	22000	2.18	0.18	0.04
106.8	24000	3.03	0.26	0.057
115.6	26000	4.09	0.364	0.08
124.5	28000	5.39	0.495	0.109
133.4	30000	6.97	0.658	0.145
142.3	32000	8.88	0.857	0.191

151.2	34000	11.18	1.095	0.246
160.1	36000	13.93	1.38	0.313
169.0	38000	17.20	1.70	0.393
178.0	40000	21.08	2.08	0.487
187.0	42000	25.64	2.51	0.597
195.7	44000	31.00	3.00	0.723
204.5	46000	37.24	3.55	0.868
213.5	48000	44.5	4.17	1.033
222.4	50000	52.88	4.86	1.22
231.3	52000		5.63	1.43
240.2	54000		6.47	1.66
249.0	56000		7.41	1.91
258.0	58000		8.45	2.20
267.0	60000		9.59	2.51
275.8	62000		10.84	2.85
284.5	64000		12.22	3.22
293.5	66000		13.73	3.62
302.5	68000		15.38	4.05
311.5	70000		17.19	4.52
320.0	72000		19.16	5.03
329.0	74000		21.32	5.57
338.0	76000		23.66	6.15
347.0	78000		26.22	6.78
356.0	80000		29.00	7.45
364.7	82000		32.00	8.20
373.8	84000		35.30	8.90
382.5	86000		38.80	9.80
391.4	88000		42.60	10.60
400.3	90000		46.80	11.60

Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993.

Se utilizó la ecuación (4.11) para interpolar los valores requeridos según los pesos de cada tipo de vehículo en la zona de estudio, siendo la variable X la carga por eje y la variable Y el factor de equivalencia según su tipo de eje, en la tabla 20 se presenta a manera de resumen los cálculos realizados para determinar el factor camión.

- **Livianos (Delantero = 2 Ton = 4400 lb; Posterior = 3 Ton = 6600 lb)**

$$y_{delantero} = 0.00209 + \frac{4400 - 4000}{6000 - 4000} * (0.01043 - 0.00209) = 0.00376$$

$$y_{posterior} = 0.01043 + \frac{6600 - 6000}{8000 - 6000} * (0.0343 - 0.01043) = 0.01759$$

$$Fc_{livianos} = 0.00376 + 0.01759 = \mathbf{0.02135}$$

- **Buseta (Delantero = 3 Ton = 6600 lb; Posterior = 7 Ton = 15400 lb)**

$$y_{delantero} = 0.01043 + \frac{6600 - 6000}{8000 - 6000} * (0.0343 - 0.01043) = 0.01759$$

$$y_{posterior} = 0.360 + \frac{15400 - 14000}{16000 - 14000} * (0.623 - 0.360) = 0.54410$$

$$Fc_{buseta} = 0.01759 + 0.54410 = \mathbf{0.56169}$$

Tabla 20

Factores equivalentes de carga por método del Instituto del Asfalto.

Tipo de vehículos	Carga por eje (Ton) (Libras)			%	Factor de equivalencia de carga			Fc (d+i+p)
	Delant.	Interm.	Poster.		Delant.	Interm.	Poster.	
Livianos	2 (4400)		3 (6600)	66.90	0.00376		0.01759	0.02135
Buseta	3 (6600)		7 (15400)	3.46	0.01759		0.54410	0.56169
Autobús	7 (15400)		11 (24200)	23.03	0.54410		3.13600	3.68010
2DA	3 (6600)		7 (15400)	4.72	0.01759		0.54410	0.56169
2DB	7 (15400)		11 (24200)	1.76	0.54410		3.13600	3.68010
3A	7 (15400)		20 (44000)	0.13	0.54410		3.00000	3.54410

Elaborado por: Córdova (2024).

Posteriormente se procedió a calcular los EAL aplicando los factores que intervienen en el volumen de tránsito por año, en la tabla 21 se presentan a manera de resumen los resultados de los cálculos realizados por el método del Instituto del Asfalto.

$$EAL = \text{Volumen por año} * FC * GY * \text{factor camión}$$

$$EAL_{livianos} = 2013 * 365 * \frac{50}{100} * 27.7798 * 0.021349 = 217,878$$

$$EAL_{buseta} = 104 * 365 * \frac{50}{100} * 27.7798 * 0.561691 = 248,516$$

Tabla 21

Cálculo de los ejes equivalentes de carga por método Instituto del Asfalto.

Tipo de vehículo	Volumen por año	Tasa de crecimiento anual	Factor de crecimiento	Factor camión (Fc)	EAL
Livianos	2013	3.27	27.78	0.02135	217,878
Buseta	104	1.54	23.31	0.56169	248,516
Autobús	693	1.54	23.31	3.68010	10,849,673
2DA	142	2.48	25.62	0.56169	372,861
2DB	53	2.48	25.62	3.68010	911,793
3A	4	2.48	25.62	3.54410	66,272
ESAL'S total					12,666,993

Elaborado por: Córdova (2024).

3.7.5. Cálculo de ESAL'S de diseño – Método Ley de la Cuarta Potencia

Es una metodología simplificada para el cálculo de los factores de equivalencia de carga basándose en investigaciones desarrolladas por Deacon, en el cual plantea un factor de equivalencia por eje para una carga establecida, empleando un modelo de fatiga que se relaciona con la deformación unitaria provocada por dicha carga y la deformación unitaria ocasionada por una carga estándar.

$$LEF = \frac{W_{t18}}{W_{tx}} = \left(\frac{\epsilon_x}{\epsilon_{18}} \right)^4$$

Varios países han considerado la aplicación de este fundamento para obtener el factor de equivalencia, por lo cual han establecido modificaciones en la magnitud de la

carga referente y analizando la variación en el exponente 4 según los criterios establecidos por cada institución reglamentaria.

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó las ecuaciones que recomienda la norma AASHTO 93 para determinar el factor de equivalencia carga según su tipo de eje vehicular y el número de ruedas que presenta.

- Eje simple con ruedas simples (L_x = peso en toneladas)

$$FEC = \left(\frac{L_x}{6.60} \right)^4 \quad \text{Ec. (4.12)}$$

- Eje simple con ruedas dobles (L_x = peso en toneladas)

$$FEC = \left(\frac{L_x}{8.20} \right)^4 \quad \text{Ec. (4.13)}$$

- Eje tándem con un eje de ruedas dobles y un eje de ruedas simples (L_x = peso en toneladas)

$$FEC = \left(\frac{L_x}{14.80} \right)^4 \quad \text{Ec. (4.14)}$$

- Eje tándem con dos ejes de ruedas dobles (L_x = peso en toneladas)

$$FEC = \left(\frac{L_x}{15.10} \right)^4 \quad \text{Ec. (4.15)}$$

- Eje trídem con dos ejes de ruedas dobles y un eje de rueda simple (L_x = peso en toneladas)

$$FEC = \left(\frac{L_x}{20.70} \right)^{3.90} \quad \text{Ec. (4.16)}$$

- Eje trídem con 3 ejes de ruedas dobles (L_x = peso en toneladas)

$$FEC = \left(\frac{L_x}{21.80} \right)^{3.90} \quad \text{Ec. (4.17)}$$

Los factores que se consideró para el cálculo de los ejes equivalentes de carga son iguales a lo que dicta la norma AASHTO 93, siendo el factor direccional **%DD = 50%** para una vía bidireccional que presenta un carril de circulación por sentido, de tal manera que el valor correspondiente para el factor carril **L = 100%**.

Para determinar el factor de crecimiento se utilizó la ecuación (4.6) con la tasa de crecimiento vehicular que presenta la tabla 12 para un periodo de diseño a 20 años.

$$GY_{livianos} = \frac{(1 + 0.0327)^{20} - 1}{0.0327} = 27.62$$

$$GY_{buses} = \frac{(1 + 0.0154)^{20} - 1}{0.0154} = 23.21$$

$$GY_{camiones} = \frac{(1 + 0.0248)^{20} - 1}{0.0248} = 25.49$$

Para calcular los factores equivalentes de cada tipo de vehículo se utilizó las respectivas ecuaciones mencionadas anteriormente, considerando si presenta un eje de ruedas simples o dobles según lo indicado en la tabla de la clasificación vehicular nacional. En la tabla 22 se presenta a manera de resumen, los cálculos realizados para determinar el factor equivalente de carga por método Ley de la Cuarta Potencia

- **Livianos (Delantero, simple = 2 Ton; Posterior, simple = 3 Ton)**

$$FEC_{delantero} = \left(\frac{2}{6.60}\right)^4 = 0.00843$$

$$FEC_{posterior} = \left(\frac{3}{6.60}\right)^4 = 0.04269$$

$$FEC_{total} = 0.00843 + 0.04269 = \mathbf{0.05112}$$

- **Buseta (Delantero, simple = 3 Ton ; Posterior, simple = 7 Ton)**

$$FEC_{delantero} = \left(\frac{3}{6.60}\right)^4 = 0.04269$$

$$FEC_{posterior} = \left(\frac{7}{6.60}\right)^4 = 1.26537$$

$$FEC_{total} = 0.04269 + 1.26537 = 1.30806$$

Tabla 22

Factores equivalentes de carga por método Ley de la Cuarta Potencia.

Tipo de vehículos	Carga por eje (Ton)			%	Factor de equivalencia de carga			Fc (d+i+p)
	Delant.	Interm.	Poster.		Delant.	Interm.	Poster.	
Livianos	2.0		3.0	66.90	0.008432		0.042688	0.051121
Buseta	3.0		7.0	3.46	0.042688		1.265367	1.308055
Autobús	7.0		11.0	23.03	1.265367		3.238287	4.503654
2DA	3.0		7.0	4.72	0.042688		1.265367	1.308055
2DB	7.0		11.0	1.76	1.265367		3.238287	4.503654
3A	7.0		20.0	0.13	1.265367		3.077600	4.342967

Elaborado por: Córdoba (2024).

Para calcular los ejes equivalentes se utilizó la ecuación (4.5) para cada tipo de vehículo, la tabla 23 presenta a manera de resumen, los cálculos realizados para determinar los ESAL'S de diseño por método de la Cuarta Potencia.

$$ESAL_{livianos} = 2013 * 27.621 * \frac{50}{100} * \frac{100}{100} * 0.051121 * 365 = 518,729$$

$$ESAL_{buseta} = 104 * 23.215 * \frac{50}{100} * \frac{100}{100} * 1.308055 * 365 = 576,356$$

Tabla 23

Cálculo de los ejes equivalentes por método Ley de la Cuarta Potencia.

Tipo de vehículo	TPDA x %composición	Tasa de crecimiento	Factor de crecimiento	Factor camión	ESAL'S a 20 años
Livianos	2013	3.27	27.62	0.051121	518,729
Buseta	104	1.54	23.21	1.308055	576,356
Autobús	693	1.54	23.21	4.503654	13,222,994
2DA	142	2.48	25.49	1.308055	864,178
2DB	53	2.48	25.49	4.503654	1,110,529
3A	4	2.48	25.49	4.342967	80,823
ESAL'S total					16,373,609

Elaborado por: Córdoba (2024).

Los ejes de equivalentes de cargas obtenidos mediante los procedimientos correspondientes a cada metodología se los resumió en la tabla 24, considerando al AASHTO 93 como referencia para indicar las variaciones existentes entre los demás procedimientos.

Tabla 24

Resumen de ejes equivalentes de carga obtenidos por las metodologías aplicadas.

Metodología aplicada	ESAL'S de diseño	Porcentaje de variación
AASHTO 93	13,851,976	--
Instituto del Asfalto	12,666,993	9.35%
Ley de la Cuarta Potencia	16,373,609	18.20%

Elaborado por: Córdova (2024).

El método AASHTO 93 presenta una diferencia del 9.35% con respecto al resultado obtenido por el Instituto del asfalto, lo más destacable a mencionar para el primer método, es su consideración dentro de los cálculos variables como el número estructural del pavimento y un índice de serviciabilidad que depende de la magnitud o importancia de la vía a diseñar, mientras que el otro método está basado en situaciones simplificadas que se establece mediante una tabla de valores.

El resultado obtenido por el método Ley de la Cuarta Potencia con respecto al de AASHTO presenta una diferencia del 18.20%, este procedimiento se origina en base a un pensamiento, el cual menciona que los factores equivalentes de carga que recomienda la norma AASHTO no deben ser determinados para todas las regiones, debido a ciertas consideraciones como el medio ambiente, procesos y materiales de construcción, entre otros. Estableciendo mediante varios análisis y sondeos a la normativa que los factores deben ser mayores, siendo la propuesta una función con exponente "n" que varía según las consideraciones de los autores.

3.7.6. Ensayos de laboratorio

Los ensayos fueron realizados por la empresa CONSEES para 6 calicatas en la zona de estudio, siendo los requeridos para determinar los parámetros de clasificación del suelo como contenido de humedad, granulometría, Proctor, límites de Atterberg y CBR de diseño utilizado para pavimentos.

- **Contenido de humedad**

El contenido de humedad se lo determinó mediante la expresión (4.18) el cual está en función de los pesos en gramos correspondientes al material y los recipientes empleados para la muestra. En la tabla 25 se presenta un resumen del contenido de humedad por calicatas.

Ec. (4.18)

$$W\% = \frac{(P.\text{recipiente} + P.\text{húmedo}) - (P.\text{recipiente} + P.\text{seco})}{(P.\text{recipiente} + P.\text{seco}) - P.\text{recipiente}} * 100$$

Tabla 25

Porcentaje del contenido de humedad en las calicatas ensayadas.

Calicata	Recipiente + Peso húmedo (gr)	Recipiente + Peso seco (gr)	Peso del agua (gr)	Peso del recipiente (gr)	Peso seco (gr)	Contenido de humedad (W%)
#1	1687.00	1502.00	185.00	184.00	1318.00	14.04%
#2	1483.00	1368.00	115.00	69.20	1298.80	8.85%
#3	2779.00	2482.00	297.00	174.10	2307.90	12.87%
#4	2143.00	1984.30	158.70	104.80	1879.50	8.44%
#5	2238.00	2058.00	180.00	94.00	1964.00	9.16%
#6	2805.00	2554.00	251.00	275.00	2279.00	11.01%

Elaborado por: Córdova (2024).

- **Análisis granulométrico**

Para la granulometría se pesaron las muestras a ensayar y mediante una serie de tamices se determinó el porcentaje del material pasante acumulado para el No. 4, 40 y 200, indicando la clasificación SUCS según los resultados de la muestra. En la tabla 26 se presenta a manera de resumen los resultados del análisis granulométrico para cada calicata, además de la clasificación del suelo correspondiente.

Tabla 26

Análisis granulométrico y clasificación del suelo por calicatas.

Calicata	Pasante del tamiz n° 4	Pasante del tamiz n° 40	Pasante de tamiz n° 200	Clasificación S.U.C.S	Descripción
#1	93.86%	66.88%	41.94%	SC	Arena arcillosa café con grava.
#2	86.27%	28.96%	13.89%	SC	Arena amarilla con arcilla y grava.
#3	64.40%	34.42%	20.95%	GP	Grava con arena arcillosa amarilla.
#4	59.40%	40.16%	26.88%	GP	Grava con arena arcillosa café oscura.
#5	33.89%	16.27%	8.26%	GP	Grava con arena arcillosa café oscura.
#6	52.97%	30.56%	18.40%	GP	Grava gris con arena arcillosa café.

Elaborado por: Córdova (2024).

- **Prueba Proctor**

El ensayo Proctor permitió determinar una humedad óptima para que el material de la muestra adquiriera su densidad máxima. En la tabla 27 se presenta los resultados obtenidos de la prueba Proctor para cada calicata.

Tabla 27

Resultados de las pruebas Proctor.

Calicata	Contenido de humedad natural	Contenido óptimo de humedad	Densidad seca máxima (Kg/m³)
#1	3.16%	9.50%	1867
#2	3.39%	10.50%	1999
#3	3.54%	9.50%	1920
#4	1.49%	8.30%	1931
#5	3.96%	6.50%	2140
#6	4.41%	11.00%	1953

Elaborado por: Córdova (2024).

- **Límites de Atterberg**

Los ensayos que se realizaron son: límite líquido y límite plástico, permitiendo medir el nivel cohesivo de los suelos representados por porcentajes, luego de obtener ambos parámetros se realiza una diferencia entre estos para determinar el índice de plasticidad. En la tabla 28 se presentan los resultados del ensayo obtenidos para el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.

Tabla 28

Resultados de los límites de consistencia por calicatas.

Calicata	Límite líquido (WL%)	Límite plástico (WP%)	Índice plástico (Ip%) WL – WP
#1	30	14	16
#2	31	20	11
#3	22	15	7

#4	26	18	8
#5	30	17	13
#6	38	19	19

Elaborado por: Córdova (2024).

- **C.B.R de diseño**

Se realizaron varios ensayos de penetración de las muestras por calicata para determinar el valor de CBR para la subrasante, siendo presentados a manera de resumen en la tabla 29 los valores obtenidos.

Tabla 29

Resultados del ensayo para CBR.

Calicata	% C.B.R
#1	8.40
#2	29.00
#3	24.00
#4	6.00
#5	4.00
#6	9.00

Elaborado por: Córdova (2024).

Para establecer el CBR de diseño, se aplicó el criterio del Instituto del Asfalto el cual recomienda utilizar valores percentiles en función del nivel de tránsito obtenido por los ejes equivalentes, según como se presenta en la tabla 30. Para efectos de diseño se consideró implementar los evaluados por el método AASHTO.

Tabla 30*Valor percentil para CBR de diseño de la subrasante*

Nivel de tránsito (ESAL'S)	Porcentaje para diseño de la subrasante
Menor a 10,000	60%
Entre 10,000 y 1,000,000	75%
Más de 1,000,000	87.5%

Fuente: Asphalt Institute's Thickness Design Manual MS-1, 1981.

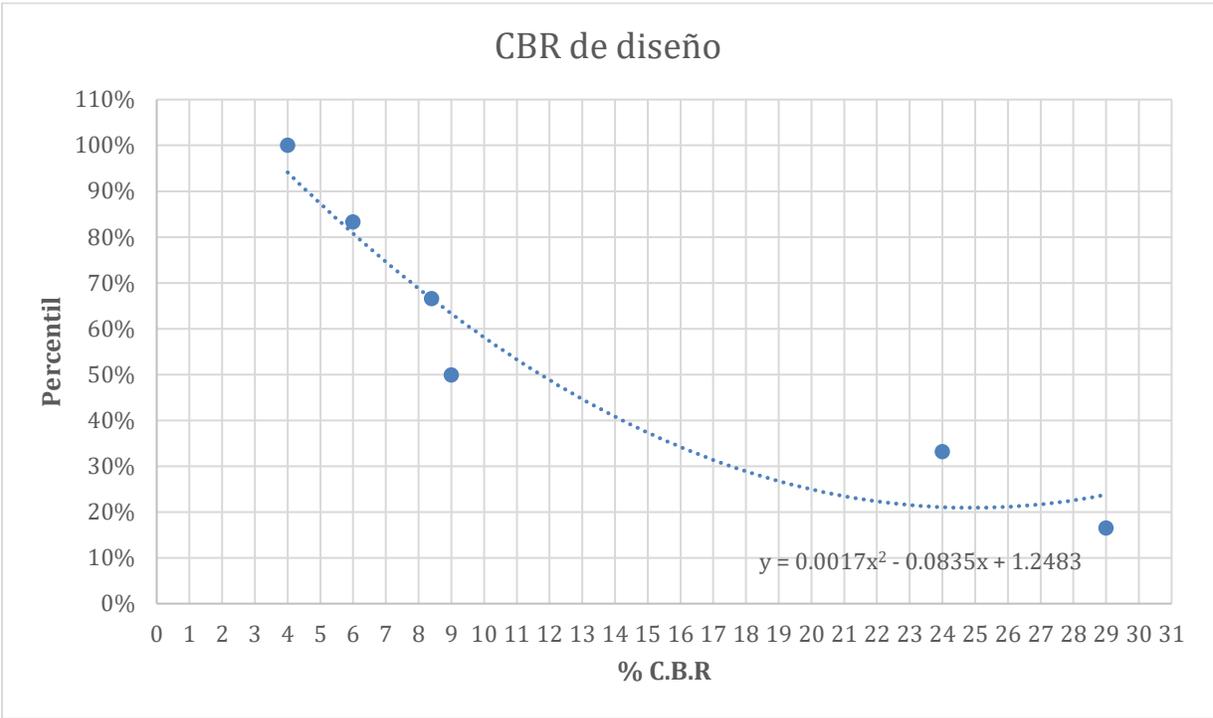
Luego se procedió a ordenar los valores de CBR obtenidos con su percentil correspondiente para graficarlos y posteriormente determinar el CBR de diseño para la subrasante

Tabla 31*Evaluación del CBR de diseño.*

% C.B.R.	% C.B.R. ordenado de menor a mayor	Percentil
8.40	4.00	100.0%
29.00	6.00	83.3%
24.00	8.40	66.6%
6.00	9.00	49.9%
4.00	24.00	33.2%
9.00	29.00	16.5%

Elaborado por: Córdova (2024).

Figura 18



Elaborado por: Córdoba (2024).

Empleando la ecuación del gráfico, para un percentil de 87.5% el CBR de diseño para la subrasante es de **5.0%**.

CAPITULO 4

INFORME TÉCNICO

4.1. Introducción

El desarrollo por el sector noroeste de la ciudad de Guayaquil está constituido principalmente por barrios populares, que han presentado una tasa de crecimiento significativo de sus moradores durante la última década, significando una necesidad para mejorar su calidad de vida. Las vías forman parte de los aspectos más importantes a considerar durante la planificación y regularización de sectores urbanos, debido a que integra una zona determinada a la red de circulación global de la ciudad. Por tal tanto, se requiere del estudio vial adecuado que permita a los habitantes de la zona desplazarse de mejor forma para disponer de los servicios y actividades cotidianas como: salud, transporte, seguridad, comercio, entre otros.

Figura 19

Condiciones existentes de la zona de estudio.



Elaborado por: Córdova (2024).

Un parámetro esencial para el diseño de estructuras viales es el tránsito, debido a que evalúa el daño producido por el paso de los ejes vehiculares en el pavimento.

Existen diversos fundamentos que explican la razón de falla de dichas estructuras. Sin embargo, en la mayoría de los casos de nuestro medio se origina por criterios inadecuados sobre el efecto que producen las cargas de los vehículos. Por tal motivo se propone analizar mediante la aplicación de tres métodos estas incidencias, siendo comparadas y analizadas para establecer una estructura adecuada de pavimento.

4.2. Desarrollo

Para el diseño de la estructura de pavimento se utilizó el procedimiento establecido de la norma AASHTO 93, en base a un análisis de la zona de estudio y las actividades relacionadas con el uso de la vía, se decidió implementar los ejes equivalentes obtenidos la misma norma, la ecuación (4.19) permite el dimensionamiento de las capas de la estructura y posteriormente realizar una comprobación mediante el uso del ESAL'S de diseño.

Ec. (4.19)

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

Siendo:

W_{18} = Número determinado de ejes equivalentes de carga de 18 Kips.

Z_R = Desviación estándar normal.

S_o = Error estándar combinado.

ΔPSI = Índice de pérdida total de servicio.

M_R = Módulo resiliente, en psi.

SN = Numero estructural del espesor total requerido de pavimento.

Para determinar la desviación estándar normal, se debe establecer inicialmente el nivel de confiabilidad del proyecto, para el cual la norma recomienda valores en función de la clasificación vial de la zona utilizando la tabla 32, según se indicó anteriormente el proyecto se clasificó como una vía colectora de dos carriles para el sector urbano, por lo tanto, se escogió un porcentaje de confiabilidad **R = 90%**.

Tabla 32

Niveles de confiabilidad recomendados en función de su clasificación funcional.

Clasificación funcional de las vías	Porcentaje de confiabilidad recomendado	
	Urbano	Rural
Autopistas o interestatal	85% - 99.9%	80% - 99.9%
Arterias principales	80% - 99%	75% - 95%
Vías colectoras	80% - 95%	75% - 95%
Vías locales	50% - 80%	50% - 80%

Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993.

Luego de establecer el nivel de confiabilidad del proyecto, se procedió a escoger el valor correspondiente para la desviación estándar normal presentado en la tabla 33.

Tabla 33

Valor de la desviación estándar normal en función del nivel de confiabilidad.

Nivel de confiabilidad R (%)	Desviación estándar normal (Z_R)
50.0	-0.000
60.0	-0.253
70.0	-0.524
75.0	-0.674
80.0	-0.841
85.0	-1.037
90.0	-1.282
91.0	-1.340
92.0	-1.405
93.0	-1.476
94.0	-1.555
95.0	-1.645
96.0	-1.751
97.0	-1.881
98.0	-2.054
99.0	-2.327

Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993.

Para determinar el error estándar combinado (S_o) la norma AASHTO 93 presenta valores dependiendo del tipo de estructura a diseñar, para el objeto del proyecto se indica

que es una estructura de pavimento flexible completamente nueva, por lo tanto el valor establecido **S_o = 0.45**.

El índice de pérdida total de servicio se lo determina mediante la diferencia entre la serviciabilidad inicial (P_o) y la serviciabilidad final (P_t), siendo los valores recomendados por la norma AASHTO para **P_o = 4.2** para pavimentos flexibles y **P_t = 2.0** para vías con circulación de tránsito bajo.

$$\Delta PSI = P_o - P_t = 4.2 - 2.0$$

$$\Delta PSI = 2.2$$

Para determinar el módulo resiliente, se aplicó la ecuación (4.20) que dispone la norma en función del CBR de la subrasante bajo la condición de que el valor utilizado sea menor que 10%.

si CBR < 10%, entonces

$$M_R = 1500 * CBR \text{ (psi)} \quad \text{Ec. (4.20)}$$

$$M_R = 1500 * 5.0 = 7500 \text{ psi} \approx 525 \text{ kg/cm}^2$$

Para calcular el numero estructural se utilizó la siguiente expresión

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3 \quad \text{Ec. (4.21)}$$

Siendo:

a_i = Coeficiente estructural de la capa

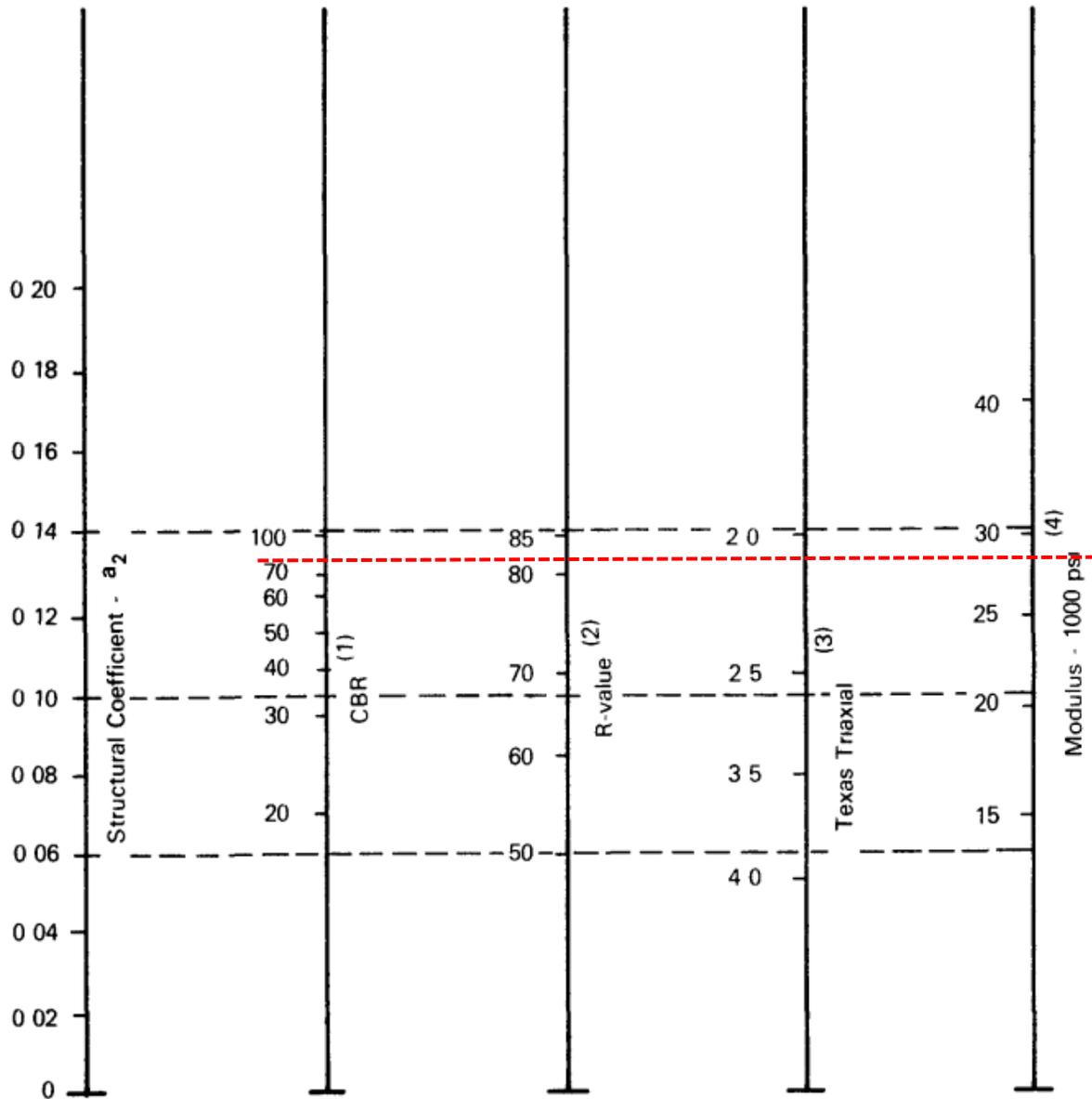
D_i = Espesor de la capa en pulg.

m_i = Coeficiente de drenaje de la capa.

Para determinar el coeficiente estructural de cada elemento se requiere establecer el módulo correspondiente para las capas granulares y asfáltica, mediante las figuras 19 y 20 de la norma AASHTO se permitió definir dichos parámetros.

Figura 20

Variación del coeficiente estructural (a_2) en función de varios parámetros de resistencia.

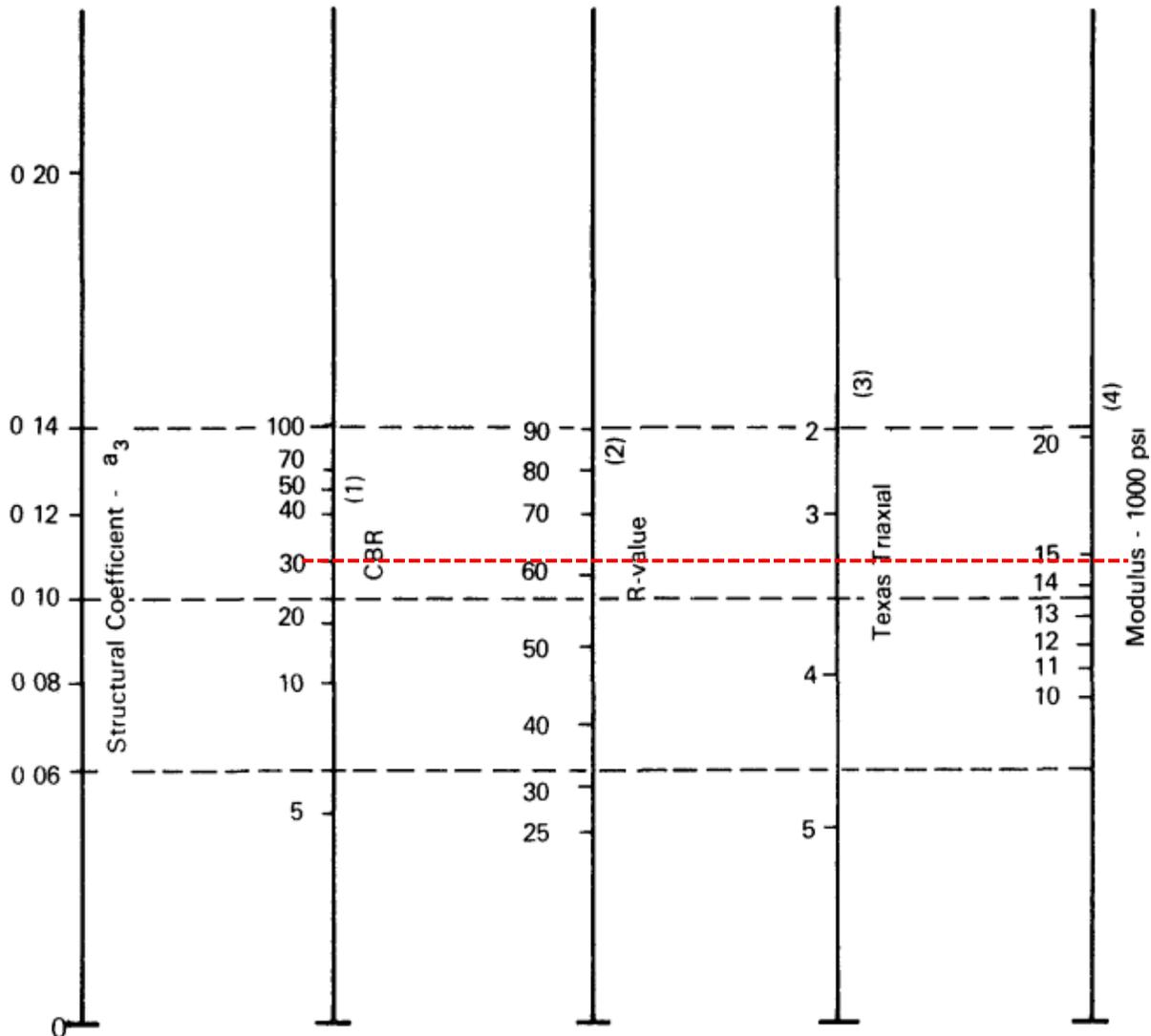


Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993.

Considerando lo establecido por el MTOP para estructuras viales, el CBR para la capa de Base de agregados debe ser mayor a 80%, por lo cual se determinó que el módulo de la capa es **28000 psi**, siendo aproximadamente 1968.59 kg/cm².

Figura 21

Variaciones del coeficiente estructural (a_3) en función de varios parámetros de resistencia de la subbase.



Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993.

Considerando lo establecido por el MTOP para estructuras viales, el CBR para la capa de Subbase de agregados debe ser mayor a 30%, por lo cual se determinó que el módulo de la capa es **14900 psi**, siendo aproximadamente 1047.57 kg/cm².

Se procedió a determinar el coeficiente estructural mediante fórmulas de relación con el módulo de cada capa, planteadas por la norma de diseño AASHTO 93. Para la carpeta asfáltica se dispuso a utilizar un módulo de elasticidad de **400000 psi**.

$$a_1 = (0.1707 * \ln E_{ca}) - 1.7847 \quad \text{Ec. (4.21)}$$

$$a_1 = (0.1707 * \ln 400,000) - 1.7847 = \mathbf{0.417}$$

$$a_2 = (0.249 * \log_{10} E_{BG}) - 0.977 \quad \text{Ec. (4.22)}$$

$$a_2 = (0.249 * \log_{10} 28,000) - 0.977 = \mathbf{0.130}$$

$$a_3 = (0.227 * \log_{10} E_{SB}) - 0.839 \quad \text{Ec. (4.23)}$$

$$a_3 = (0.227 * \log_{10} 14900) - 0.839 = \mathbf{0.108}$$

Los coeficientes de drenaje (m_2 y m_3) para la Base y Subbase se los determinó mediante las tablas 34 y 35 que indican la calidad del drenaje según el tiempo en que el agua libre se remueve y el porcentaje del tiempo que está expuesta la estructura de pavimento a la humedad. Según lo condiciones topográficas del terreno, se asumió que el agua se remueve en 1 día y el tiempo que está expuesta en mayor que 25%.

Tabla 34

Capacidad de drenaje de la zona.

Calidad del drenaje	Tiempo que tarda el agua en ser removida
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	El agua no drena

Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993.

Tabla 35

Coeficientes de drenaje (mi) para Bases y Subbases granulares recomendadas para pavimento flexible.

Calidad del drenaje	Porcentaje de tiempo en que la estructura de pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanas a la saturación			
	Menos del 1%	1% - 5%	5% - 25%	Más del 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993.

El valor establecido para los coeficientes m_2 y m_3 es **1.00**. Luego de que se determinó los parámetros que intervienen en la obtención del número estructural mediante la ecuación (4.21), se procedió a reemplazar con los valores correspondientes para dimensionar los espesores de las capas del pavimento flexible. En la tabla 23 se presenta los espesores mínimos que recomienda la norma AASHTO en función de los ejes equivalentes de carga.

Tabla 36

Valores mínimos recomendados para asfalto y base.

ESAL'S de diseño	Espesor para capa asfáltica (pulg) (cm)	Espesor para capa base de agregados (pulg) (cm)
Menor a 50,000	1.0 (2.5) o T.S. (tratamiento superficial)	4.0 (10.0)
50,001 – 150,000	2.0 (5.0)	4.0 (10.0)
150,001 – 500,000	2.5 (6.5)	4.0 (10.0)
500,001 – 2,000,000	3.0 (7.5)	6.0 (15.0)
2,000,001 – 7,000,000	3.5 (9.0)	6.0 (15.0)
Más de 7,000,000	4.0 (10.0)	6.0 (15.0)

Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993.

Tabla 37

MÉTODO AASHTO 93

DATOS :

EJES ACUMULADOS 8,2 ton :	13,851,976	NO. AÑOS :	20
CONFIABILIDAD (%) :	90		
DESVIACIÓN ESTÁNDAR :	-1.282		
ERROR ESTÁNDAR COMBINADO :	0.45		
MODULO SUBRASANTE (kg/cm ²) :	525		
MODULO SUBBASE AGREG. (kg/cm ²) :	1,048	a 3 :	0.108
MOD. BASE AGREGADOS (kg/cm ²) :	1,969	a 2 :	0.130
MOD. CARPETA ASFÁLTICA (kg/cm ²) :	28,123	a 1 :	0.417
PERDIDA TOTAL DE P S I :	2.2	m 3 :	1.00
		m 2 :	1.00
		m 1 :	x

AJUSTE DEL:	SN3 (SR):	SN2 (SB):	SN1 (BG):
NUMERO ESTRUCT REQUERIDO :	4.8	3.8	3.1
LOG (EJES ACUMULADOS) :	7.1	7.1	7.1
ECUACIÓN DE COMPROBACIÓN :	7.1	7.1	7.1

DETERMINACIÓN DE ESPESORES:

CARPETA ASFÁLTICA :	D1* :	REAL,cm :	18.6	AJUST,cm :	19
	SN1* :	3.2	≥ SN1 (BG)		
BASE DE AGREGADOS :	D2* :	REAL,cm :	12.1	AJUST,cm :	20
	SN2* :	1.0			
	SN1*+SN2* :	4.2	≥ SN2 (SB)		
SUBBASE DE AGREGADOS :	D3* :	REAL,cm :	13.7	AJUST,cm :	20
	SN3* :	0.9			
	SN1*+SN2*+SN3* :	5.1	≥ SN3 (SR)		

Elaborado por: Córdova (2024).

4.3. Conclusiones del informe

Para el procedimiento de diseño de la estructura se admitió los valores para CBR de la capa Base y Subbase de agregados de 80% y 30% respectivamente, siendo un criterio de aceptación mínimo del MTOP para estructuras viales, sin embargo es necesario que antes de la ejecución de las actividades constructivas, se realicen los ensayos mecánicos correspondientes de la cantera donde se obtendrán los materiales pétreos, con el propósito de que se compruebe y garantice un comportamiento satisfactorio de la estructura acorde a los criterios establecidos para su diseño.

Aplicando la metodología AASHTO 93 para diseño de pavimentos flexibles obtenemos espesores para la capa asfáltica de 18.6 cm que se lo ajustó a 19 cm, la capa base de agregados de 12.1 cm no cumple con los requerimientos mínimos de la norma, por lo que se escogió un valor ajustado de 20 cm y de igual manera para la capa de subbase de agregados se lo ajustó a 20 cm, estableciendo la estructura con un espesor total de 59 cm.

Para comprobar que la estructura planteada cumple con la demanda vehicular del sitio, se aplicó la definición del número estructural del pavimento, el cual menciona que se debe calcular dicho valor implementando el espesor corregido o ajustado propuesto para cada capa del pavimento, el resultado de este procedimiento debe ser mayor o igual al número estructural requerido. Para este proyecto el número estructural ajustado total es igual a 5.1 siendo mayor que lo solicitado 4.8, por tal motivo se estableció que la estructura determinada satisface los requerimientos de capacidad del pavimento.

CONCLUSIONES

El estudio de tráfico que se realizó en la vía utilizada como ingreso y salida de vehículos de las cooperativas Nueva Guayaquil y Tiwintza, presentó un tráfico promedio diario anual de 2314 vehículos y según su composición determinada los tipos de vehículos de predominan en la zona son: livianos, que corresponden a motos, tricimotos, autos y camionetas con un porcentaje del 66.90%; buses, que corresponden a furgones y autobuses de transporte público de la línea 49 y 114 que realizan su recorrido convencional dentro de la zona de estudio con un porcentaje del 26.49% y vehículos de transporte pesado que representan una minoría en la composición de tránsito del sector con un porcentaje del 6.61%.

Los ensayos de laboratorio determinaron que la estratigrafía de la zona es de grava con presencia de arenas y arcillas de alto nivel de plasticidad, que probablemente se les atribuyan a intervenciones anteriores de re conformaciones con material de relleno, según los valores obtenidos de CBR existen sectores con un material que presentan altos valores de este parámetro, atribuyéndoselo a suelos más granulares y otros con respecto a sectores con materiales más cohesivos presentan valores más bajos de dicho parámetro, por tal motivo se utilizó el procedimiento de selección establecido por el Instituto del Asfalto para determinar el CBR de la subrasante.

Los ejes equivalentes de carga fueron obtenidos mediante la aplicación de varios métodos siendo el más convencional en nuestro medio el AASHTO 93 debido a que busca optimizar recursos para la inversión de la estructura dependiendo del periodo de análisis, el método propuesto por el Instituto del asfalto presenta un resultado parcialmente más bajo que el convencional, sin embargo el procedimiento de diseño para estructuras de pavimento es más conservador, exigiendo implementar ciertos factores que incrementan tanto la demanda de los ejes equivalentes como los espesores de capas del pavimento.

El método Ley de la Cuarta Potencia proporcionó un resultado mayor que el procedimiento convencional, debido a que sus criterios son establecidos por autores que consideran que los ejes equivalentes de carga obtenidos por el método convencional

deben ser superiores, dado que busca considerar parámetros que son similares en todas las regiones como el sobrepeso de los vehículos pesados. Esta metodología es muy recomendable para vías con un gran nivel importancia e influencia de vehículos que presentan situaciones alejados de lo convencional.

Analizando las alternativas desarrolladas para los ejes equivalentes de carga se determinó que la opción más adecuada es la metodología de AASHTO 93 esto según los usuarios que utilizarán las vías, siendo únicamente de uso interno de los residentes para sus actividades cotidianas y sin dejar de considerar la importancia del transporte público en la zona, resultando en una estructura de pavimento flexible con una carpeta asfáltica de 19 cm, base de agregados de 20 cm y subbase de agregados de 20 cm.

RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar una capa de 10 cm de material de préstamo importado, siendo para otorgar uniformidad a la superficie donde se ubicará el pavimento mas no por una consideración estructural.

Ejecutar los ensayos de laboratorio correspondientes de los materiales a utilizar para la construcción de las capas de la estructura vial como: Carpeta asfáltica, Base y Subbase, de tal manera que se verifique el cumplimiento de los parámetros establecidos por la norma.

Realizar una evaluación económica de las alternativas mencionadas para determinar la factibilidad según el tiempo que representaría la ejecución y el mantenimiento para un proyecto vial.

Evaluar otros procedimientos apartes de los presentados en este proyecto para determinar los ejes equivalentes de carga u otras consideraciones con respecto al tráfico de la zona, además de contemplar la utilización de alternativas para el tipo pavimento a diseñar.

BIBLIOGRAFÍA

Alcívar Mendoza, C. A., & Villacis Baquerizo, N. I. (2018). *Estudio de incidencia del número estructural en resistencia de capas que conforman estructura de pavimento flexible y su aplicación al diseño del pavimento de la vía que une los cantones Mariscal Sucre y Simón Bolívar, Provincia del Guayas*. Universidad de Guayaquil .

ASTM C136-01. (2001). *Método de ensayo Normalizado para determinar el Análisis Granulométrico de los Áridos finos y Gruesos*. 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, United States.

ASTM D698-07. (2007). *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³))*. 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, United States.

ASTM D1883-16. (2016). *Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils*. 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, United States.

ASTM D2216-19. (2019). *Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass*. 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, United States.

ASTM D4318-05. (2005). *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, United States.

ASTM D6433-03. (2003). *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys*. 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959. United States.

Bustillos, J. (2011). *Estudio de tráfico vehicular - cálculo del TPDA actual y futuro*.

Cando Allaica, W. (2022). *Diseño geométrico de la vía Ex Colonia Velasco Ibarra - Morete Cocha - Santa Mónica en el tramo Km 0+000 - 4+000 perteneciente al cantón Carlos Julio Arosemena Tola, Provincia de Napo*. Universidad Técnica de Ambato.

Elizalde Gonzales, J., & Farfán Véliz, P. (2014). *Estudio y diseño integral de la carretera Guarumal Abajo escuela José Vélez BAYPASS*. Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.

Guerrero Macías, M. X., & Ortiz Flores, M. J. (2021). *Los asentamientos informales de la ciudad de Guayaquil y su afectación a la calidad de vida de sus habitantes: sector Balerio Estacio*. Universidad de Guayaquil .

INEC. (2023). Instituto Nacional de Estadísticas y Censo.

<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/home/>

- Instituto Nacional de Vías. (2008). *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras*. Colombia.
- M. I. Municipalidad de Guayaquil. (2020). *Programa integral de vialidad, movilidad, agua potable y alcantarillado en zonas populares del sector urbano de la ciudad de Guayaquil*.
- M. I. Municipalidad de Guayaquil. (2021). *Programa de obras viales en zonas densamente pobladas de la ciudad de Guayaquil*.
- Marín Nieto, L. (2008). *Mecánica de Suelos*. Quinta Edición.
- MOPC. (2016). *Identificación de Fallas en Pavimentos y Técnicas de Reparación*. República Dominicana Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones.
- Pinos, V. (2018). *Diseño de intersecciones en vías urbanas*. Universidad del Azuay.
- Tene Narváez, C. (2022). *Metodología para la evaluación de vías rurales, considerando la regularidad superficial de pavimentos flexibles: estudio caso vía Santa Rosa - Bellavista - La Avanzada del cantón Santa Rosa, Provincia de El Oro*. Universidad Técnica de Machala.
- Vacacela Maruri, D. (2016). *Diseño de la vía para un pavimento flexible por el método de la AASHTO 93 del acceso a la zona industrial Km 4.5 Durán Tambo en la provincia del Guayas*. Universidad de Guayaquil.