



**ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA ACTUAL DE PAVIMENTO
FLEXIBLE DE LA CALLE UNIVERSIDAD 8, ANTE EL POSIBLE
INCREMENTO DE TRÁNSITO VEHICULAR POR LA CONEXIÓN DE
LAS NUEVAS CALLES TRANSVERSALES**

Autora:

Montes Loor Shirley Liceth

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí
Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura
Carrera de Ingeniería Civil

Asesor académico: Ing. Jorge García Argandoña

Manta – Ecuador

Agosto 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

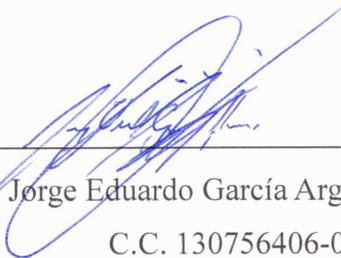
Como tutor académico de la carrera de Ingeniería Civil en la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, certifico lo siguiente:

He supervisado y orientado la elaboración del trabajo de titulación, completando un total de 384 horas, bajo la modalidad de **Proyecto de Investigación**. El tema del proyecto se titula " **ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA ACTUAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CALLE UNIVERSIDAD 8, ANTE EL POSIBLE INCREMENTO DE TRÁNSITO VEHICULAR POR LA CONEXIÓN DE LAS NUEVAS CALLES TRANSVERSALES.**". Este proyecto ha sido desarrollado conforme a los lineamientos internos de la mencionada modalidad, y ha cumplido con los requisitos establecidos por el Reglamento de Régimen Académico. Por lo tanto, **certifico** que el proyecto mencionado posee los méritos académicos, científicos y formales necesarios para ser evaluado por el tribunal de titulación designado por la autoridad competente.

La autoría del tema desarrollado corresponde a Montes Loor Shirley Liceth, estudiante de la carrera de Ingeniería Civil, período académico 2025 (1), quien se encuentra apta para la sustentación de su trabajo de titulación.

Certifico lo anterior para los fines pertinentes, a menos que la ley disponga lo contrario.

Lo certifico,



Ing. Jorge Eduardo García Argandoña, Mg.
C.C. 130756406-0

Tutor

DECLARACIÓN DE AUTORIA

Yo, Montes Loor Shirley Liceth con CC: 094131451-0, doy constancia de ser el autor intelectual del presente trabajo de Titulación con modalidad Proyecto de investigación con el tema " **ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA ACTUAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CALLE UNIVERSIDAD 8, ANTE EL POSIBLE INCREMENTO DE TRÁNSITO VEHICULAR POR LA CONEXIÓN DE LAS NUEVAS CALLES TRANSVERSALES.**", el cual fue dirigido por el tutor, Ing. Jorge Eduardo García Argandoña, Mg.

Quiero enfatizar que la información presentada es original y no se ha plagiado de ninguna otra fuente, salvo las referencias utilizadas que están debidamente citadas en el documento. Por esto, asumo plena responsabilidad por las ideas, resultados y conclusiones exteriorizadas en este trabajo, las cuales presentan un análisis propio y criterio en relación del marco de los objetivos planteados

En la ciudad de Manta, a los 10 días del mes de septiembre del dos mil veinte y cinco.



Montes Loor Shirley Liceth

C.C. 094131451-0

Autor

CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

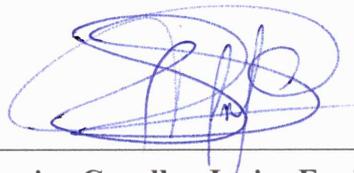
En calidad de tribunales de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, certifico:

Haber revisado el trabajo de titulación, bajo la modalidad de Proyecto de Investigación, cuyo tema es " **ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA ACTUAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CALLE UNIVERSIDAD 8, ANTE EL POSIBLE INCREMENTO DE TRÁNSITO VEHICULAR POR LA CONEXIÓN DE LAS NUEVAS CALLES TRANSVERSALES.**" internos de la modalidad en mención y en apego al cumplimiento de los requisitos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico, por tal motivo APRUEBO, que el mencionado proyecto reúne los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para proceder a la defensa correspondiente.

Certifico lo anterior para los fines pertinentes, a salvo disposición de Ley en contrario. En la ciudad de Manta, a los 10 días del mes de septiembre del dos mil veinte y cinco.



Ing. Baque Solís Javier Enrique, Mg.
C.C. 130999417-4
Tribunal 1



Ing. Moreira Cevallos Javier Enrique, Mg.
C.C. 131058508-6
Tribunal 2

DEDICATORIA

A mis padres, Jorge Darío Montes Murillo y Mercedes Cervanda Loor Ceballos, por su amor, esfuerzo y sacrificio.

Para ti, mamá, mujer fuerte, valiente y luchadora quien me enseñó lo que significa ser fuerte. Has sido mi apoyo incondicional en cada paso que he dado. Gracias por enseñarme que nunca hay que rendirse, incluso en los momentos más difíciles.

A ti, papá, por todo lo que hiciste por nuestra educación, por sacrificarte desde que éramos pequeños para que pudiéramos tener un futuro. Gracias por tu entrega silenciosa, por estar allí, incluso cuando no supimos cómo agradecerte.

A mi compañero de vida Kevin Alexander Vite Cedeño, quien ha caminado conmigo en esta travesía con paciencia, fe y amor incondicional. Gracias por no soltar mi mano, por ser ese apoyo firme cuando dudé de mí, por creer en mí incluso cuando yo no lo hacía. Gracias por estar allí, siempre.

A mis hermanos, que, aunque a veces fueron mis dolores de cabeza, cada uno a su manera estuvo presente, animándome, haciéndome reír y dándome fuerzas cuando más las necesitaba.

Y a mí. A esa niña que no sabía qué hacer con su vida, que muchas veces se sintió confundida, perdida, que estuvo a punto de rendirse. Gracias por no abandonar el camino. Gracias por levantarte una y otra vez, por seguir incluso con miedo, con dudas, con cansancio.

Lo lograste. Lo logramos.

Shirley Montes Loor

AGRADECIMIENTO

Agradezco de manera especial al Ingeniero Jorge García Argandoña, tutor de esta tesis, por su acompañamiento académico, sus observaciones oportunas y su orientación, que fueron fundamentales para lograr este resultado.

A mis amigos de carrera, quienes hicieron que estos años de estudios no solo fueran más llevaderos, sino también mucho más divertidos. Gracias por cada momento compartido.

Al Ingeniero Robert Pin, no solo por su apoyo técnico durante la realización de esta tesis, sino también por su amistad sincera y su ayuda constante. Fue una de esas personas que estuvieron hasta el final, incluso cuando no lo esperaba, Gracias.

Shirley Montes Loor

RESUMEN

La presente investigación se realizó en la calle Universidad 8, ubicada en las proximidades del campus de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, ubicada en el Manta, provincia de Manabí, Ecuador, con la finalidad de analizar la estructura actual del pavimento flexible de la calle en cuestión. El estudio se fundamenta en el marco teórico sobre el comportamiento estructural del pavimento flexible, su composición por capas y los criterios de diseño establecidos por metodologías reconocidas como AASHTO 1993.

Como parte principal del análisis, se realizaron estudios de suelos de la subrasante, donde se llevaron a cabo diferentes ensayos de laboratorio, como el análisis granulométrico, límites de Atterberg, ensayos de Proctor modificado y ensayos de CBR. Obteniendo con estos resultados la clasificación de suelo por el sistema SUCS y la normativa AASHTO, además se pudo determinar la capacidad de carga del suelo y si es apto para cumplir las funciones estructurales del pavimento.

Para ello, se plantearon tres escenarios de análisis. El primero evalúa el soporte estructural actual frente al tránsito vehicular registrado en el año 2025. El segundo incluye la carga inducida por buses sobre el tránsito actual, proyectado a un año. El tercer escenario incluye el mismo tránsito que el escenario anterior, pero con una proyección a diez años. En todos estos casos, se usó la metodología AASHTO 1993 para calcular el número estructural requerido (NE) y compararlo con la capacidad estructural existente.

ABSTRACT

This research was conducted on Calle Universidad 8, located near the campus of the Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, in Manta, Manabí Province, Ecuador, with the aim of analyzing the current structure of the flexible pavement on the street in question. The study is based on the theoretical framework of the structural behavior of flexible pavement, its layer composition, and the design criteria established by recognized methodologies such as AASHTO 1993.

As the main part of the analysis, subgrade soil studies were carried out, where different laboratory tests were performed, such as granulometric analysis, Atterberg limits, modified Proctor tests, and CBR tests. These results were used to classify the soil according to the SUCS system and AASHTO standards. In addition, it was possible to determine the load-bearing capacity of the soil and whether it is suitable for fulfilling the structural functions of the pavement.

To this end, three analysis scenarios were proposed. The first evaluates the current structural support in relation to the vehicle traffic recorded in 2025. The second includes the load induced by buses on current traffic, projected over one year. The third scenario includes the same traffic as the previous scenario, but with a ten-year projection. In all these cases, the AASHTO 1993 methodology was used to calculate the required structural number (NE) and compare it with the existing structural capacity.

INDICE

| | |
|--|-----------|
| DEDICATORIA | 2 |
| AGRADECIMIENTO | 3 |
| RESUMEN | 4 |
| ABSTRACT | 5 |
| CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 9 |
| 1.1. Planteamiento Del Problema | 9 |
| 1.2. Justificación | 10 |
| 1.3. Objetivos | 10 |
| 1.4. Hipótesis De La Investigación | 11 |
| 1.5. Variables | 11 |
| CAPITULO II: MARCO TEORICO | 12 |
| 2. Estado Del Arte | 12 |
| 2.1. Pavimentos. | 12 |
| 2.2. Estudio De Suelos. | 22 |
| 2.3. Estudio De Tránsito | 28 |
| CAPITULO III: DISEÑO METODOLÓGICO | 32 |
| 3. Metodología | 32 |
| 3.1. Tipo De Investigación, Nivel De Investigación Y Diseño De La Investigación. | 32 |
| 3.2. Ubicación De La Vía | 32 |
| 3.3. Estudios Presente En La Investigación | 33 |
| CAPITULO IV: CALCULOS Y RESULTADOS | 45 |
| 4. Resultados | 45 |
| 4.1. Ensayo De Granulometría Por Lavado | 45 |

| | | |
|---------------------------------|---|-----------|
| 4.2. | Resultado Del Ensayo De Limites De Atterberg. | 47 |
| 4.3. | Resultado Del Ensayo De Proctor | 47 |
| 4.4. | Resultado Del Ensayo De CBR | 48 |
| 4.5. | Diseño Del Pavimento Flexible | 49 |
| 4.6. | Presupuesto | 57 |
| CAPITULO V: CONCLUSIONES | | 61 |
| BIBLIOGRAFÍA | | 63 |
| ANEXOS | | 65 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | | |
|------------------|--|----|
| Figura 1 | <i>Tipos de pavimentos</i> | 13 |
| Figura 2 | <i>Estructura del pavimento flexible</i> | 15 |
| Figura 3 | <i>Ubicación de la vía</i> | 32 |
| Figura 4 | <i>Calicata 1</i> | 34 |
| Figura 5 | <i>Perfil de la vía</i> | 34 |
| Figura 6 | <i>Calicata 2</i> | 35 |
| Figura 7 | <i>Calicata 3</i> | 35 |
| Figura 8 | <i>Curva granulométrica del ensayo por lavado- Muestra 1</i> | 45 |
| Figura 9 | <i>Curva granulométrica del ensayo por lavado- Muestra 2</i> | 46 |
| Figura 10 | <i>Recolección de muestras</i> | 65 |
| Figura 11 | <i>Reuniones con tutor Académico</i> | 66 |
| Figura 12 | <i>Ensayos de laboratorio</i> | 67 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 <i>Características de los suelos según el SUCS</i> | 25 |
| Tabla 2 <i>Clasificación de los suelos AASTHO</i> | 26 |
| Tabla 3 <i>Coordenadas UTM (WGS84)</i> | 33 |
| Tabla 4 <i>Coordenadas y Cotas de las Calicatas</i> | 33 |
| Tabla 5 <i>Resultado del ensayo de la granulometría por lavado- Muestra 1</i> | 45 |
| Tabla 6 <i>Resultado del ensayo de granulometría por lavado- Muestra 2</i> | 46 |
| Tabla 7 <i>Resumen del ensayo de límites de Atterberg</i> | 47 |
| Tabla 8 <i>Resumen de ensayo de Proctor</i> | 47 |
| Tabla 9 <i>Resumen de ensayo de CBR</i> | 48 |
| Tabla 10 <i>Resultados del tránsito actual</i> | 49 |
| Tabla 11 <i>Resultados del tránsito inducido</i> | 50 |
| Tabla 12 <i>Factor de Carga equivalente de los vehículos pesados- Escenario 1</i> | 51 |
| Tabla 13 <i>Factor de Carga equivalente de los vehículos pesados- Escenario 2-3</i> | 52 |
| Tabla 14 <i>Numero de ejes equivalentes</i> | 52 |
| Tabla 15 <i>Parámetros utilizados en el diseño estructural del pavimento flexible</i> | 53 |
| Tabla 16 <i>resultado del cálculo del número estructural del pavimento flexible – Escenario 1</i> | 53 |
| Tabla 17 <i>resultado del cálculo del número estructural del pavimento flexible – Escenario 2</i> | 54 |
| Tabla 18 <i>resultado del cálculo del número estructural del pavimento flexible – Escenario 3</i> | 54 |
| Tabla 19 <i>Cálculo del número estructural y espesor por capa – escenario 1</i> | 55 |
| Tabla 20 <i>Cálculo del número estructural y espesor por capa – escenario 2</i> | 55 |
| Tabla 21 <i>Cálculo del número estructural y espesor por capa – escenario 3</i> | 56 |
| Tabla 22 <i>Tabla de cantidades y precios para repapeo</i> | 60 |
| Tabla 23 <i>Cuadro Comparativo de Escenarios de Diseño Estructural</i> | 61 |

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.Planteamiento Del Problema

La construcción de nuevas calles transversales que se conectaron con la Calle Universidad 8, ubicada en la parte posterior de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, en la ciudad de Manta, abre la posibilidad de un incremento en el volumen de tránsito sobre esta vía. Si bien este aumento de tráfico no es una certeza, la eventualidad de que la calle se convierta en una ruta alternativa, tanto para vehículos particulares como para el transporte público, plantea interrogantes sobre la capacidad de la estructura actual del pavimento para soportar las posibles nuevas condiciones de carga.

La Calle Universidad 8, esta caracterizada por un flujo vehicular moderado compuesto principalmente por vehículos livianos, cuenta con una estructura de pavimento flexible que podría no estar diseñada para soportar un aumento en el tránsito. El problema de la investigación radica en la necesidad de evaluar la capacidad estructural del pavimento flexible de la Calle Universidad 8 ante la eventualidad de un incremento de la carga vehicular derivado de la conexión de las nuevas calles transversales.

1.2. Justificación

Evaluar cuánto puede soportar la calle Universidad 8 en cuanto a su infraestructura es bastante importante, especialmente ahora que la ciudad de Manta está creciendo y expandiéndose. La apertura de nuevas calles transversales en la zona no solo facilitará la movilidad, sino que también pone a prueba la estructura vial existente.

Aunque por el momento esta calle soporta un tráfico ligero, podría abrir a la posibilidad de que una nueva planificación vial la convertirá en una vía principal que probablemente tendrá que manejar un volumen y tipo de vehículos diferentes a los que fue diseñada originalmente.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objeto General

Determinar la capacidad estructural del pavimento flexible en la universidad 8, para cuantificar su suficiencia ante los posibles escenarios de incremento de tránsito generados por las nuevas conexiones viales.

1.3.2. Objetos Específicos

- Diagnosticar la estructura existente del pavimento flexible de la Calle Universidad 8.
- Analizar las propiedades geomecánicas del suelo de soporte (subrasante) de la vía.
- Cuantificar la demanda de tránsito actual y proyectar los escenarios de tráfico futuros en la Calle Universidad 8.

1.4. Hipótesis De La Investigación

En el año 2025, la estructura actual de la vía universidad 8 es insuficiente para soportar el posible incremento de tránsito vehicular desviado desde la incorporación de las nuevas vías transversales.

1.5. Variables

Independientes: Estructura actual pavimento flexible

Dependientes: Tránsito

Capacidad de soporte del suelo de la subrasante

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2. Estado Del Arte

2.1. Pavimentos.

2.1.1. Definición Y Clasificación De Los Pavimentos.

El pavimento es una estructura artificial, usualmente de varias capas que se construye solo el terreno natural o preparado, cuyo propósito es facilitar el transporte. Su función principal es repartir las cargas concentradas que imponen los vehículos sobre un área suficientemente grande de la subrasante, de modo que los esfuerzos transmitidos sean admisibles para el terreno de fundación, evitando deformaciones excesivas o fallas estructurales (Haug, 2004).

Según (Lynch Blackman, 2022), esta estructura, con su superficie lisa, no solo soporta las cargas de los vehículos cuando están en movimiento o estacionados, sino que también necesita resistir los efectos dañinos del clima, como la lluvia, el sol y las variaciones de temperatura. Todo para asegurar que tenga una vida útil adecuada.

Además de su función principal de soporte, los pavimentos juegan un papel muy importante en la infraestructura de cualquier comunidad. El pavimento no es solo una capa simple, sino que en realidad es un sistema compuesto por varias capas, cada una con funciones y propiedades específicas.

La manera en que este sistema estratificado distribuye las cargas a la subrasante es el criterio principal para su clasificación, dividiéndose fundamentalmente en pavimentos flexibles, rígidos y compuestos o semirrígidos.

Figura 1

Tipos de pavimentos



Nota. Adaptada de Ghomec Ingenieros (<https://ghomecingenieros.com/home>)

2.1.1.1. Pavimentos Flexibles.

Los pavimentos flexibles son aquellos cuya capa de rodadura está constituida por una mezcla de agregados pétreos y un ligante asfáltico, comúnmente conocida como concreto asfáltico o mezcla asfáltica en caliente.

Su denominación de flexible se deriva de su comportamiento mecanicista, es decir que, la estructura completa se flexa o deforma elásticamente bajo la acción de las cargas del tránsito, transmitiéndolas a las capas inferiores a través del contacto grano a grano de los agregados que las componen (Becerra Salas, 2012).

La estructura típica de un pavimento flexible está compuesta, desde la superficie hacia abajo, por: la carpeta asfáltica, la capa de base granular, la capa de subbase granular y, finalmente, la subrasante compactada. La carpeta asfáltica impermeabiliza la estructura y provee una superficie de rodadura suave y resistente al derrapamiento. Las capas de base y subbase, construidas con agregados de alta calidad y granulometría controlada, son las responsables principales de la distribución de esfuerzos y la resistencia estructural. La carga

aplicada por un vehículo se disipa a través de estas capas, de modo que la presión que llega a la subrasante es lo suficientemente baja para ser soportada sin deformaciones permanentes significativas (AASHTO (Asociación Estadounidense de Funcionarios de Carreteras Estatales y Transporte), 1993).

Las cargas distribuidas del tránsito generan dos tipos importantes de esfuerzos en la estructura. Una de ellas produce tensiones de tracción por flexión en la parte inferior de la capa asfáltica. Con el tiempo, estas tensiones acumulan pequeñas fisuras que, si siguen creciendo, pueden unirse y causar una falla por fatiga. Esto se nota en la superficie como grietas en forma de piel de cocodrilo o fisuras que se conectan entre sí.

Para mitigar estos fallos y asegurar la durabilidad, el diseño debe garantizar una compactación óptima de todas las capas, una selección rigurosa de materiales y un sistema de drenaje eficiente que evite la saturación de las capas granulares y la subrasante, lo cual reduciría drásticamente su capacidad portante.

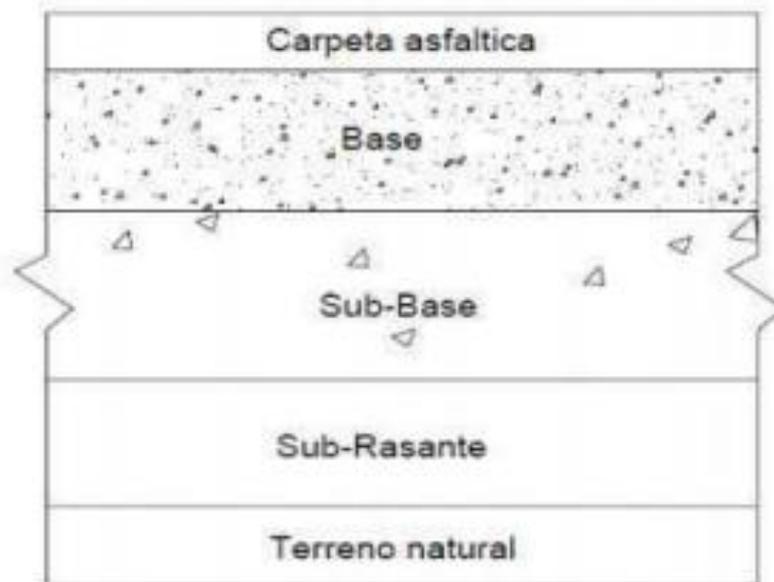
2.1.2. Estructura Del Pavimento Flexible.

La durabilidad y el buen funcionamiento de un pavimento flexible dependen mucho del trabajo en equipo de varias capas. Cada capa cumple una función concreta, y la calidad de los materiales va bajando a medida que te adentras en las capas, ya que así se distribuyen mejor los esfuerzos que generan los autos y el tráfico en general.

A continuación, se detallan los componentes de esta estructura.

Figura 2

Estructura del pavimento flexible



Nota. (Pineda, 2015)

La capa de asfalto es la parte superior del pavimento, diseñada para soportar el peso del tránsito y resistir las condiciones del clima. Se hace mezclando piedras y otros agregados de alta calidad con un material asfáltico que actúa como cemento, todo ajustado para cumplir con los diseños específicos que se requieren.

Sus funciones primordiales son:

1. Proveer una superficie de rodadura segura y confortable, con una macrotextura adecuada para garantizar la resistencia al deslizamiento
2. Ser estructuralmente resistente para soportar los altos esfuerzos de compresión y cortante cerca de la superficie.
3. Ser flexible para acomodar deformaciones elásticas sin fisurarse; y d) actuar como una capa impermeabilizante, protegiendo las capas granulares inferiores de la acción deletérea del agua.

2.1.2.1. Base

Ubicada inmediatamente debajo de la carpeta asfáltica, la base es el componente estructural principal del pavimento flexible. Su función es recibir los esfuerzos distribuidos por la capa de rodadura y disiparlos sobre un área mayor hacia la subbase. Se construye con materiales granulares de excelente calidad, usualmente piedra triturada, que deben cumplir con estrictas especificaciones de granulometría, plasticidad y resistencia. En pavimentos sometidos a tráfico pesado, la base puede ser estabilizada con aditivos como cemento, cal o asfalto para incrementar su rigidez, resistencia a la humedad y capacidad estructural.

2.1.2.2. Subbase

La subbase es una capa intermedia situada entre la base y la subrasante, cumpliendo una doble función, tanto estructural como económica. Estructuralmente, continúa el proceso de disipación de esfuerzos, asegurando que la presión que llega a la subrasante sea suficientemente baja para no causar deformaciones permanentes. Económicamente, su inclusión permite el uso de materiales de menor calidad y costo que los de la base, optimizando el espesor de las capas superiores, que son más costosas (Haung, 2004). Adicionalmente, la subbase cumple funciones de drenaje, interceptando el agua infiltrada, y actúa como capa anticontaminante, impidiendo la migración de finos desde la subrasante hacia la base, lo que degradaría la capacidad portante de esta última.

2.1.2.3. Subrasante

La subrasante es la cimentación de la estructura del pavimento. Corresponde al terreno natural del sitio o a un terraplén construido, que ha sido nivelado y compactado a una densidad específica para servir de apoyo a las capas superiores. Su comportamiento mecánico es el factor más influyente en el diseño estructural del pavimento. La capacidad de soporte de la subrasante

se caracteriza mediante parámetros como el CBR (AASHTO (Asociación Estadounidense de Funcionarios de Carreteras Estatales y Transporte), 1993).

La subrasante se considera de baja calidad cuando es blanda, muy sensible al agua o no soporta bien la compresión. Esto puede provocar problemas tempranos, como hundimientos profundos o grietas, que afectan la estabilidad del pavimento. Por eso, es muy importante hacer una buena evaluación del suelo y, si hace falta reforzar o estabilizar la base del terreno. De esta manera, el pavimento será más resistente y seguro a lo largo del tiempo.

2.1.2.3.1. Mejoramiento

Cuando el suelo natural no tiene las propiedades adecuadas para aguantar el peso y el tráfico de manera efectiva y duradera, se usan técnicas para mejorarlo. Esto significa que se debe aplicar diferentes métodos mecánicos, físicos o químicos para cumplir con lo que necesita el diseño del camino. Este tipo de solución es muy importante para mantener todo estable y, además, suele ser más económico y mejor para el medio ambiente que solo quitar y reemplazar el material que está dañado.

2.1.3. Mecanismos de Deterioro en Pavimentos Flexibles.

El deterioro de los pavimentos flexibles ocurre paulatinamente, como el resultado de la combinación del tráfico que soportan y las condiciones del entorno. Para entender correctamente estos daños, lo primero es reconocer y clasificar las patologías que aparecen. Según (Miranda Rebolledo, 2010), estos problemas se dividen en tres grupos principales: fisuras, deformaciones y daños en la superficie.

2.1.3.1. Fisuración Y Agrietamiento.

Este apartado engloba cualquier tipo de rotura o fractura que puede aparecer en la superficie del pavimento asfáltico.

2.1.3.1.1. Fisuración por Fatiga (Piel de Cocodrilo).

Definida como una serie de grietas interconectadas que forman pequeñas piezas poligonales, asemejándose a la piel de un cocodrilo. Como indica Miranda Rebolledo (2010), esta falla se origina en la fibra inferior de la capa asfáltica, donde las tensiones de tracción son máximas, y se propaga hacia la superficie. Es un indicador inequívoco de una falla estructural, causada por la repetición de cargas que superan la vida a fatiga del material, a menudo asociada a un espesor de pavimento insuficiente para el tráfico soportado o a un debilitamiento de las capas de soporte por humedad (Miranda Rebolledo, 2010, pág. 17)

2.1.3.1.2. Fisuras Y Grietas En Bloque.

El agrietamiento en bloque se manifiesta como un patrón de fisuras que divide el pavimento en piezas rectangulares de gran tamaño. No está asociado a las cargas, sino al endurecimiento y contracción del ligante asfáltico por envejecimiento. (Miranda Rebolledo, 2010, págs. 17-18).

2.1.3.1.3. Grietas Longitudinales y transversales.

Las grietas longitudinales discurren paralelas al eje de la vía y pueden deberse a juntas de construcción mal ejecutadas o ser un síntoma incipiente de fatiga en la huella de la rueda. Las grietas de borde aparecen cerca del límite exterior del carril y son causadas por la falta de confinamiento lateral y el debilitamiento de la berma, a menudo exacerbado por un drenaje deficiente. (Miranda Rebolledo, 2010, pág. 19)

2.1.3.1.4. Fisuras Y Grietas Reflejadas

Es la réplica en una capa de refuerzo asfáltico de las grietas o juntas existentes en una capa inferior rígida (por ejemplo, un pavimento de hormigón antiguo o una base tratada con

cemento). Los movimientos de la capa subyacente inducen concentraciones de esfuerzo que fracturan la nueva superficie (Miranda Rebolledo, 2010, pág. 20).

2.1.3.2. Deformaciones y Deterioro de Perfil

El deterioro superficial engloba los daños que afectan la apariencia y textura de la superficie del pavimento, lo cual puede afectar tanto la comodidad como la seguridad al conducir

2.1.3.2.1. Parches Deteriorados

Este término se refiere a reparaciones o baches que han comenzado a deteriorarse. Un parche se considera deteriorado cuando presenta grietas, asentamientos, baches o desprendimientos en su propia área. Esto suele ocurrir debido a una técnica inadecuada durante la reparación, el uso de materiales incorrectos o porque la causa original del daño no fue correctamente corregida (Miranda Rebolledo, 2010, págs. 20-21).

2.1.3.2.2. Baches

Los baches son cavidades en forma de cuenco en la superficie del pavimento donde el material asfáltico ha desaparecido por completo. Generalmente, empiezan como pequeñas grietas, similares a la piel de cocodrilo, que permiten que entre el agua. La presión que ejerce el agua combinada con el tránsito desgasta y desintegra el material debilitado, formando así el agujero (Miranda Rebolledo, 2010, pág. 21).

2.1.3.2.3. Ahuellamiento

Son depresiones longitudinales continuas en las trayectorias de las ruedas. Es una deformación permanente causada por la compactación adicional o el desplazamiento lateral de los materiales en la subrasante, las capas granulares o la propia mezcla asfáltica. Indica una debilidad estructural o una mezcla asfáltica inestable (Miranda Rebolledo, 2010, págs. 21-22).

2.1.3.2.4. Deformación Transversal

Se trata de distorsiones que afectan la sección transversal del pavimento, como ondulaciones, abultamientos o hundimientos. Estas deformaciones alteran la pendiente original diseñada para facilitar el drenaje superficial y pueden causar incomodidad al conducir. Su origen puede ser el asentamiento en la subrasante o problemas en la estabilidad de las capas superiores (Miranda Rebolledo, 2010, pág. 22).

2.1.3.2.5. Exudación

La exudación es el proceso en el que el exceso de asfalto migra desde el interior de la mezcla hacia la superficie del pavimento. Esto produce una capa negra, brillante y a menudo pegajosa, especialmente en climas cálidos. Es peligrosa porque reduce la textura superficial y la resistencia al deslizamiento de los neumáticos. Generalmente, sucede por un exceso de ligante o una compactación demasiado fuerte (Miranda Rebolledo, 2010, pág. 22).

2.1.3.2.6. Desgaste Y Pérdida De Áridos (Desgranamiento)

El desgranamiento implica que las partículas de árido (las piedras) se desprenden progresivamente de la superficie del asfalto, dejando un pavimento áspero y con una textura más abierta. Esto puede acelerar su deterioro. Las causas comunes son el envejecimiento o endurecimiento del ligante, una compactación deficiente durante la construcción o la exposición al agua (Miranda Rebolledo, 2010, pág. 23).

2.1.3.2.7. Ondulaciones (Corrugaciones)

Las ondulaciones o corrugaciones son pliegues o dobleces que aparecen en la superficie, en dirección transversal. Estas formaciones son resultado de una deformación plástica causada por la inestabilidad de la mezcla asfáltica bajo fuerzas de tráfico, comúnmente

en zonas de frenado o giros bruscos, como en intersecciones o paradas de autobús (Miranda Rebolledo, 2010, pág. 24).

2.1.3.3.Otros Posibles Tipos De Deterioro

Estos daños ocurren por la interacción entre el pavimento y las estructuras cercanas, como las bermas o el suelo de la base.

2.1.3.3.1. Descenso De La Berma

Se refiere a una diferencia de altura vertical entre el borde de la calzada pavimentada y la berma o zona adicional que la acompaña. Normalmente, esto sucede por la erosión o el hundimiento del material no pavimentado que la rodea. Es una situación muy peligrosa para la seguridad, ya que un vehículo que se desvíe puede perder el control al encontrarse con esta caída repentina (Miranda Rebolledo, 2010, pág. 25).

2.1.3.3.2. Fugas De Agua Y Finos (Bombeo)

Esto sucede cuando el agua y partículas pequeñas, como lodos, se expulsan a la superficie a través de grietas en el pavimento, es decir, ocurre cuando hay agua atrapada en la base o en la subbase y, al pasar un vehículo pesado, se genera una presión que expulsa ese agua y el material fino. Este proceso, conocido como bombeo, puede causar daños graves porque forma vacíos debajo del pavimento, lo que acelera su deterioro y provoca que la superficie se rompa rápidamente (Miranda Rebolledo, 2010, pág. 25).

2.1.3.3.3. Separación Entre La Berma Y El Pavimento

Esto suele suceder por el hundimiento desigual de ambas partes o por la contracción del material de la berma debido a la pérdida de humedad. Este espacio abierto genera que el agua se filtre hacia las capas de soporte, disminuyendo la resistencia de la estructura y poniendo en riesgo la estabilidad del pavimento (Miranda Rebolledo, 2010, pág. 26).

2.2. Estudio De Suelos.

El estudio de suelos es conocido también como una investigación geotécnica, además es una parte fundamental de la ingeniería civil, la cual consiste en analizar las propiedades físicas y mecánicas del suelo y de las rocas para asegurarse de que los proyectos de construcción sean seguros, estables y eficientes. Cuando se trata de diseñar pavimentos, el suelo no solo sirve como soporte, sino que también es la base sobre la cual se distribuyen todas las cargas del tráfico. Ignorar o no tomar en serio un estudio de suelos puede producir problemas graves, como fallos en la estructura, costos adicionales durante la construcción y que la estructura tenga una vida útil mucho menor de lo esperado.

Este estudio permite predecir cómo se comportará la vía en el futuro y usar esa información directamente en los modelos de diseño estructural. Un estudio de suelos bien hecho no solo asegura que la vía sea estable, sino que también ayuda a optimizar el diseño, evitando soluciones demasiado conservadoras y costosas o, por el contrario, soluciones que sean peligrosamente insuficientes.

2.2.1. Exploración y Muestreo del Subsuelo

La caracterización geotécnica se inicia con la exploración del subsuelo para obtener información directa. Uno de los métodos más utilizados para profundidades someras a moderadas es la excavación de calicatas. Esta técnica consiste en realizar excavaciones a cielo abierto que permiten al ingeniero una inspección visual detallada del perfil estratigráfico del suelo "in situ". Su principal ventaja es la posibilidad de identificar la secuencia, espesor y características de los estratos, así como la toma de muestras alteradas y muestras inalteradas de alta representatividad para los ensayos de laboratorio.

2.2.2. Ensayos De Laboratorio Para Caracterización De Suelos

Cuando las muestras son recolectadas, pasan al laboratorio para la realización de varios ensayos normalizados, con el fin de determinar las propiedades, índice y mecánicas del suelo de la subrasante.

2.2.3. Análisis Granulométrico Por Tamizado

El análisis granulométrico es un método que nos ayuda a entender cómo están distribuidos en tamaño las partículas que componen una muestra de suelo. Para realizarlo, se toma una muestra seca con un peso conocido y se hace pasar a través de una serie de tamices normalizados con aberturas que disminuyen de tamaño. Se registra cuánto peso queda en cada tamiz y se calcula el porcentaje acumulado de suelo que pasa por medio de ellos.

Luego, se representa esta información en una curva llamada curva granulométrica. En el gráfico, el porcentaje que pasa se coloca en el eje vertical, y el tamaño de las partículas (el diámetro del tamiz) en el horizontal, usando una escala logarítmica. La forma de esta curva nos revela datos importantes:

- Un suelo bien gradado, que muestra una curva en forma de una S suave, tiene una variedad de tamaños de partículas. Esto permite que las partículas más pequeñas llenen los espacios entre las más grandes, logrando mayor densidad, mejor unión mecánica y mayor estabilidad. Es ideal para usar como capa base o subbase.
- Por otro lado, un suelo mal graduado o uniforme, cuyas curvas son muy inclinadas o casi vertical, está formado principalmente por partículas de un solo tamaño. Estos suelos tienden a ser mas porosos y menos estables.

Además, de esta curva se pueden obtener parámetros como los coeficientes de uniformidad (C_u) y de curvatura (C_c), que son indicadores numéricos que ayudan a clasificar el tipo de suelo de manera más precisa.

2.2.4. Límites De Consistencia O Límites De Atterberg.

Mientras que la granulometría se ocupa de caracterizar la fracción grueso del suelo, los límites de Atterberg se concentran en la fracción fina del suelo, es decir, aquella que pasa por el tamiz N.º 40. Estos ensayos ayudan a entender como se comporta el suelo fino dependiendo de su contenido de humedad, estableciendo los límites entre sus diferentes estados de consistencia como lo son, sólido, semisólido, plástico y líquido.

- El Límite Líquido (LL): Es la cantidad de humedad en porcentaje que indica cuándo el suelo pasa de ser plástico a líquido. Se mide en laboratorio con la Cuchara de Casagrande. Un suelo con un LL alto suele ser más fácil de comprimir y ofrece menos resistencia.
- El Límite Plástico (LP): marca la humedad en que el suelo pasa de semisólido a plástico. Es la humedad con la cual el suelo puede enrollarse en cilindros de 3 mm hasta que empieza a agrietarse.
- El Índice de Plasticidad (IP): es uno de los parámetros más importantes derivados de estos límites, se calcula como la diferencia entre LL y LP ($IP = LL - LP$). Este valor indica en qué rango de humedad el suelo se comporta de manera plástica. Un IP cercano a cero sugiere que el suelo no es plástico, como la arena limpia, mientras que un IP alto indica la presencia de arcillas activas, que son muy susceptibles a cambios de volumen como hinchazón o contracción y pueden perder resistencia al humedecerse.

2.2.5. Clasificación de Suelos

Consiste en agrupar los materiales según sus características similares en términos de ingeniería, basándose en análisis de la granulometría y los Límites de Atterberg. Ayudando a identificar qué tipo de material es y entender cómo podría comportarse en diferentes situaciones.

2.2.5.1. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

Estandarizado por la norma ASTM D2487, es el sistema más utilizado en la práctica geotécnica general. Divide los suelos en gruesos, como las gravas y arenas, y finos, como limos y arcillas, y luego los subclasifica mediante un sistema de dos letra según su tamaño, plasticidad y otras propiedades, dándole nombres como GC (Grava arcillosa) o CL (Arcilla de baja plasticidad) que describen su gradación y plasticidad.

Tabla 1

Características de los suelos según el SUCS

| DIVISIONES PRINCIPALES | | SÍMBOLO | COMPORTAMIENTO MECÁNICO | CAPACIDAD DE DRENAJE | DENSIDAD ÓPTIMA P.M. | CRB IN SITU |
|------------------------|--------------------------|------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| SUELOS DE GRANO GRUESO | GRAVAS | GW | Excelente | Excelente | 1.76 – 2.24 | 60 – 80 |
| | | GP | Bueno a excelente | Aceptable | 1.77 – 2.08 | 25 – 60 |
| | | GM { d u | Bueno a excelente | Aceptable a mala | 2.08 – 2.32 | 40 – 80 |
| | | GC | Bueno | Mala a impermeable | 1.92 – 2.24 | 20 – 40 |
| | ARENAS | SW | Bueno | Excelente | 1.76 – 2.08 | 20 – 40 |
| | | SP | Aceptable a bueno | Aceptable | 1.60 – 1.92 | 10 – 25 |
| | | SM { d u | Aceptable a bueno | Aceptable a mala | 1.92 – 2.16 | 20 – 40 |
| | | SC | Aceptable | Mala a impermeable | 1.68 – 2.08 | 10 – 20 |
| SUELO DE GRANO FINO | Limos y arcillas (LL<50) | ML | Malo a aceptable | Aceptable a mala | 1.60 – 2.00 | 5 – 15 |
| | | CL | Malo a aceptable | Casi impermeable | 1.60 – 2.00 | 5 – 15 |
| | | OL | Malo | Mala | 1.44 – 1.70 | 4 – 8 |
| | Limos y arcillas (LL>50) | MH | Malo | Aceptable a mala | 1.28 – 1.60 | 4 – 8 |
| | | CH | Malo a aceptable | Casi impermeable | 1.44 – 1.76 | 3 – 5 |
| OH | Malo a aceptable | Casi impermeable | 1.28 – 1.68 | 3 – 5 | | |
| SUELOS ORGÁNICOS | | Pt | Inaceptable | Aceptable a mala | - | - |

Notas: adaptada de (BRAVO TUÁREZ, 2018)

Por otro lado, el sistema AASHTO, Desarrollado específicamente para su uso en carreteras, este sistema (norma AASHTO M 145) evalúa la calidad de un suelo para ser utilizado como subrasante. Clasifica los suelos en siete grupos principales (de A-1 a A-7), donde los materiales A-1 son excelentes y los A-7 son pobres. Además, para los suelos finos

(A-4 a A-7), se calcula un Índice de Grupo (IG), donde un valor más alto indica un peor comportamiento como material de subrasante.

Tabla 2

Clasificación de los suelos AASTHO

| DIVISIÓN GENERAL | | MATERIALES GRANULARES (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200) | | | | | | MATERIALES GRANULARES (más del 35% por el tamiz ASTM #200) | | | | | |
|--|------|--|-------|------------|--------------------------------------|-------|-------|---|----------------|-----|-------------------|-------------------|-------------------|
| GRUPO | | A-1 | | A-3 | A-2 | | | | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 | |
| Subgrupo | | A-1-a | A-1-b | | A-2-4 | A-2-5 | A-2-6 | A-2-7 | | | | A-7-5 | A-7-6 |
| ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz) | | | | | | | | | | | | | |
| Serie AST M | #10 | ≤50 | | ≥51 | | | | | | | | | |
| | #40 | ≤30 | ≤50 | | | | | | | | | | |
| | #200 | ≤15 | ≤25 | ≤10 | ≤35 | ≤35 | ≤35 | ≤35 | ≥36 | ≥36 | ≥36 | ≥36 | ≥36 |
| ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40) | | | | | | | | | | | | | |
| Límite Líquido | | | | NP | ≤40 | ≥41 | ≤40 | ≥41 | ≤40 | ≥41 | ≤40 | >41 (IP<LL-30) | >41 (IP>LL-30) |
| Índice de Plasticidad | | ≤6 | | | ≤10 | ≤10 | ≥11 | ≥11 | ≤10 | ≤10 | ≥11 | ≥11 | ≥11 |
| ÍNDICE DE GRUPO | | 0 | | 0 | 0 | | ≤4 | | ≤8 | ≤12 | ≤20 | ≤20 | |
| TIPOLOGÍA | | Fragmentos de Piedra, grava y arena | | Arena fina | Gravas y arenas limosas o arcillosas | | | | Suelos limosos | | Suelos arcillosos | | |
| CALIDAD | | EXCELENTE A BUENA | | | | | | ACEPTABLE A MALA | | | | | |

Notas: adaptada de (BRAVO TUÁREZ, 2018)

2.2.6. Ensayo De Compactación (Proctor Modificado).

La compactación es un proceso que consiste en hacer que el suelo sea más compacto y resistente mediante técnicas mecánicas. Esto ayuda a mejorar sus propiedades desde un punto de vista técnico: hace que el suelo sea más fuerte, reduce su tendencia a comprimirse y disminuye la facilidad con la que permite que pase el agua. El ensayo Proctor, ya sea en su versión Estándar T-99 o Modificada T-180, es una prueba de laboratorio que se usa como referencia para asegurarse de que la compactación en el lugar de la construcción sea la correcta.

Al momento de realizar esta prueba, se coloca una muestra de suelo en un recipiente con un volumen conocido y se compacta en varias capas, aplicando una energía específica en cada una. Este procedimiento se repite con diferentes niveles de humedad. El resultado es una curva que relaciona cuánto puede comprimirse el suelo (densidad seca) con la cantidad de agua que tiene (humedad).

A partir de esta curva, se pueden identificar dos valores importantes para asegurar que la compactación sea adecuada

- Densidad Seca Máxima (DSM): Es el punto más alto de la curva, que indica la mayor densidad que se puede lograr con esa cantidad de energía de compactación.
- Contenido Óptimo de Humedad (COH): Es la humedad en la que la densidad seca alcanza su valor máximo. En ese momento, el agua funciona como un lubricante que permite que las partículas del suelo se acomoden de la manera más densa posible.

2.2.7. Ensayo De Capacidad De Soporte (California Bearing Ratio - CBR)

Esta prueba es fundamental cuando se trata de diseñar pavimentos flexibles. A diferencia de medir propiedades físicas del suelo, como la cohesión, esta prueba funciona como un indicador que nos muestra qué tan resistente es un suelo compactado a ser penetrado. Para ello, comparamos su resistencia con un material de referencia de alta calidad, como la piedra triturada. El proceso consiste en tomar una muestra de suelo y compactarla en un molde cilíndrico bajo condiciones controladas, siguiendo los parámetros establecidos por el método Proctor, después de la compactación, la muestra se sumerge en agua durante 96 horas, o sea, cuatro días completo muestra

Este paso es muy importante, porque simula la condición más vulnerable que podría tener el suelo en su vida útil: cuando está completamente saturado tras largos periodos de lluvia, momento en que el suelo se vuelve más débil. Luego de la inmersión, se mide la cantidad de carga que un pistón estandarizado necesita para penetrar en la muestra a una velocidad constante. Los valores de presión en ciertas profundidades de penetración (como 0.1 y 0.2 pulgadas) se comparan con valores estándares, y ese resultado se expresa en porcentaje. Este

porcentaje de CBR se usa como una entrada directa en el método de diseño AASHTO 93, sirviendo para calcular el espesor correcto de las capas de base, subbase y asfalto, de modo que protejan la subrasante del peso y las cargas del tráfico.

2.3. Estudio De Tránsito

El análisis del tránsito es una parte esencial al diseñar y evaluar pavimentos flexibles. Se debe estimar con precisión las cargas de vehículos que una estructura de pavimento tendrá que soportar a lo largo del tiempo, debido a que esto afecta directamente su durabilidad y buen funcionamiento. Como señala la (AASHTO (Asociación Estadounidense de Funcionarios de Carreteras Estatales y Transporte)) en su guía de diseño de 1993, el tráfico es uno de los factores más importantes en el diseño de pavimentos, debido a que las cargas repetidas de los vehículos son la causa principal del deterioro estructural.

2.3.1. Parámetros Fundamentales Del Volumen Vehicular

Para cuantificar la demanda sobre una vía, se emplean parámetros estandarizados que describen el flujo vehicular.

2.3.1.1. Tránsito Promedio Diario (TPD)

Es una de las métricas más utilizadas en la ingeniería de tráfico. Representa el volumen promedio de vehículos que circulan por un punto específico de una carretera durante un día. Se calcula dividiendo el volumen total de vehículos registrado en un período (mayor a un día y menor a un año) entre el número de días del período. Según el (Instituto del Asfalto, 2007) el TPD es crítico para la planificación y gestión de carreteras, pero para el diseño estructural del pavimento, se requiere una medida más refinada que considere las variaciones anuales.

2.3.1.2. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

Es la métrica de mayor relevancia para el diseño y análisis estructural de pavimentos. El TPDA se obtiene a partir de datos de aforo recopilados durante un año completo, lo que permite promediar las variaciones diarias y estacionales del tráfico. Este seguimiento ofrece información clave para poder hacer predicciones precisas sobre cómo se comportará el pavimento en el largo plazo. (Garber & Hoel, 2015).

2.3.2. Composición y Proyección del Tráfico

El diseño de un pavimento no solo depende del volumen de vehículos, sino también de su tipología y de la proyección de su crecimiento a futuro.

2.3.2.1. Composición del Tráfico

La composición del tráfico se refiere a la distribución porcentual de los diferentes tipos de vehículos que conforman el flujo total. Esta clasificación es crítica, dado que el daño infligido al pavimento varía exponencialmente con el peso por eje del vehículo.

- **Vehículos livianos:** este grupo incluye automóviles, motocicletas y camionetas. A pesar de que representan la mayor parte del volumen vehicular, su contribución al deterioro estructural del pavimento es mínima, por lo que a menudo se considera despreciable en los cálculos de diseño.
- **Vehículos pesados:** Este grupo incluye camiones, autobuses y combinaciones de remolque. Son los que más dañan el pavimento causando daños por fatiga y deformación. Para que las calles se diseñen de manera adecuada, es importante conocer cuántos vehículos pesados pasan por ella. Esto se mide utilizando los Factores de Carga Equivalente por Eje (ESALs), que es un concepto clave en el método de diseño de AASHTO.

2.3.2.2. Proyección del Tráfico

Un pavimento suele diseñarse para durar entre 10 y 30 años, dependiendo de su uso. Por eso, es muy importante hacer una buena estimación del tránsito que soportara en el futuro. Esta proyección se realiza aplicando un Factor de Crecimiento (FC) al tráfico inicial. Dicho factor se calcula en función de la tasa de crecimiento anual del tráfico (g) y el período de diseño (n). En Ecuador, el Ministerio de Transporte y Obras Públicas es la entidad encargada de publicar las tasas de crecimiento vehicular de referencia para proyectos viales.

La fórmula recomendada por la mayoría de las metodologías de diseño, incluyendo la guía AASHTO, para el cálculo del Factor de Crecimiento es:

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

Donde:

FC= Factor de crecimiento.

g = Tasa de crecimiento anual del tráfico en formato decimal.

n = periodo de diseño del pavimento en años.

2.3.3. Métodos de Aforo Vehicular

La recolección de datos de tráfico en campo, o aforo, es el proceso mediante el cual se obtiene la información base para los cálculos de diseño.

- **Conteo Manual:** Se puede ver con facilidad cómo pasan los vehículos. Este método es útil para mediciones rápidas y permite identificar y clasificar los vehículos con bastante precisión.
- **Conteo Automático:** Utiliza equipos con sensores para registrar el paso de vehículos. Es el método ideal para la recolección de datos a largo plazo, como

los necesarios para calcular el TPDA. Los equipos modernos pueden clasificar automáticamente los vehículos según el número de ejes, su peso y su velocidad, proporcionando datos de alta calidad para el análisis de tráfico (Huang, 2004).

CAPITULO III: DISEÑO METODOLÓGICO

3. Metodología

3.1. Tipo De Investigación, Nivel De Investigación Y Diseño De La Investigación.

3.1.1. Tipo De Investigación

El presente estudio cuenta con un enfoque cuantitativo y descriptivo, debido a que se fundamenta en la recolección y análisis de datos numéricos obtenidos de ensayos de laboratorio y estudios de tránsito.

3.1.2. Nivel De Investigación

Alcanza el nivel descriptivo al caracterizar de manera detallada el estado actual del objeto de estudio. Se describirán las propiedades del pavimento flexible existente, las características del suelo de subrasante y la composición del tráfico actual.

3.2. Ubicación De La Vía

Figura 3

Ubicación de la vía



El tramo analizado corresponde a la calle Universidad 8, ubicada en las proximidades del campus de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, ubicada en el Manta, provincia de Manabí, Ecuador. Las coordenadas geográficas son:

Tabla 3*Coordenadas UTM (WGS84)*

| Punto | Latitud | Longitud | Este (X) | Norte (Y) | Zona UTM |
|--------------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Punto medio | -0.5202455 | -801.746.927 | 596,942 m | 9,942,354 m | 17 S |

El punto central del tramo de estudio presenta una cota aproximada de 51.02 m.s.n.m., según datos extraídos de Google Earth.

3.3.Estudios Presente En La Investigación

3.3.1. Extracción De Muestras En Campo

Para llevar a cabo el diagnóstico de la estructura del pavimento y la caracterización de sus materiales, se procedió con la recolección de datos y muestras en la "Calle Universidad 8". El método seleccionado para la exploración del subsuelo fue la excavación de calicatas a cielo abierto. Se realizó la ejecución de tres calicatas exploratorias en puntos estratégicos de la zona de estudio.

3.3.1.1.Localización y Descripción de las Calicatas

Para entender mejor las características del suelo en la zona de estudio, se diseñó y se llevó a cabo un programa de exploración en el campo que consistió en excavar tres calicatas. A continuación, se describen exactamente la ubicación de cada uno y los hallazgos encontrados en cada punto.

Tabla 4*Coordenadas y Cotas de las Calicatas*

| Punto de Muestreo | Latitud | Longitud | Cota Superior (m s. n. m.) |
|--------------------------|----------------|-----------------|-----------------------------------|
| Calicata 1 | -0.9534262 | -80.7478.928 | 53.89 |
| Calicata 2 | -09518649 | -80.7469.584 | 50.96 |
| Calicata 3 | -09497154 | -80.7459.238 | 46.45 |

Figura 4

Calicata 1



Calicata 1: La primera excavación se localizó en el borde del perfil de la calzada existente. El objetivo era realizar una inspección visual directa de la estratigrafía del pavimento. Durante la excavación se pudieron identificar claramente las siguientes capas:

- Una carpeta asfáltica superficial de 8cm de espesor
- Una capa de base granular. de 20cm de espesor
- Una capa de subbase granular de 20cm de espesor

Figura 5

Perfil de la vía



Inmediatamente debajo de la capa de subbase se encontró el terreno natural, sin evidencia de la existencia de una capa de mejoramiento o de suelo estabilizado. Este hallazgo es de suma importancia, ya que define la estructura del pavimento como simple, dependiendo directamente de la capacidad de soporte del suelo de subrasante original. Además, se constató que el material lateral en este punto correspondía a un relleno heterogéneo, por lo que se descartó para la extracción de muestras destinadas a ensayos, debido a ellos se realizaron otras dos calicatas.

Figura 6

Calicata 2



Figura 7

Calicata 3



Calicatas 2 y 3: Por la imposibilidad de realizar excavaciones directamente sobre la calzada pavimentada en uso, se seleccionaron dos puntos alternativos. Estos se ubicaron en un terreno natural no intervenido, adyacente al derecho de vía de la Calle Universidad 8.

La selección de estos puntos se basó en la suposición de que el perfil del suelo en esta área es geotécnicamente análogo al suelo de la subrasante original. Para los análisis de laboratorio, las muestras de suelo natural se extrajeron a una profundidad de 1.20 metros en ambas calicatas. Esto corresponde a una cota de muestreo de 49.76 m para la Calicata 2 y de 45.25 m para la Calicata 3.

3.3.2. Fase De Laboratorio

Una vez obtenidas las muestras de las calicatas 2 y 3, estas fueron transportadas al laboratorio de suelos para su correspondiente caracterización geotécnica. El objetivo de esta fase fue determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante, las cuales son indispensables para evaluar su comportamiento y capacidad de soporte como capa de cimentación del pavimento.

Para ello, se ejecutó una serie de ensayos estandarizados, los cuales se describen a continuación:

3.3.2.1. ensayo DE GRANULOMETRÍA POR LAVADO

equipos Y MATERIALES

- Tamiz N°4, N°10, N°40, N°200.
- Muestra de suelo de 200 gr.
- Horno.
- Tara.
- Balanza digital.

- Agua.

Procedimiento

1. Se extraen 200 gramos de la muestra obtenida en campo.
2. La muestra se lleva al horno para eliminar la humedad inicial.
3. Posteriormente, la muestra seca es lavada sobre un tamiz N°200, utilizando agua hasta que el líquido de la suspensión se torne transparente, asegurando que solo las partículas finas pasaran a través de la malla.
4. El material que queda retenido en el tamiz N°200 es nuevamente llevado al horno para su secado por 24 horas.
5. Una vez seco, este residuo se procesó a través de una serie de tamices que incluían el N°4, N°10, N°40 y N°200 mediante agitación.
6. Finalmente, se pesó el material retenido en cada tamiz para establecer la distribución granulométrica.

3.3.2.2. Ensayo De Limite Liquido

Equipos Y Materiales

- Cuchara de Casagrande.
- Acanalador.
- Balanza digital.
- Horno
- Agua

Procedimiento.

1. Para la preparación de la muestra, se tamizó una porción del suelo que previamente fue secado por 24 horas, a través de la malla N°40 hasta obtener aproximadamente 200 gramos.
2. Este material se mezcló con agua hasta formar una pasta de consistencia suave y homogénea.
3. Utilizando una espátula, la pasta se colocó en la Cuchara de Casagrande (conforme a la norma (ASTM D4318))
4. Se realizó una ranura central en la muestra con el acanalador normado.
5. A continuación, se accionó la manivela del dispositivo, provocando caídas controladas de la cuchara hasta que la ranura se cerró.
6. El procedimiento se repitió sistemáticamente para obtener resultados en tres rangos de golpes: de 12 a 15, de 15 a 25 y de 25 a 35.
7. Para cada uno de estos puntos, se tomó una porción de muestra de la zona de cierre y se colocó en taras previamente pesadas para determinar su contenido de humedad mediante secado al horno durante 24 horas (El límite líquido se expresa como un porcentaje de humedad).

3.3.2.3. Ensayo De Limite Plástico

Equipos Y Materiales

- Placa de vidrio.
- Taras
- Balanza
- Horno
- Agua

Procedimiento

1. Se utilizó el material sobrante del ensayo de límite líquido.
2. Se formaron esferas consistentes con la muestra y se rodaron sobre la superficie de vidrio hasta formar cilindros de aproximadamente 3 mm de diámetro.
3. El proceso se repitió hasta que los cilindros se agrietaron o cuartearon en trozos de entre 5 y 15 mm al alcanzar el diámetro especificado.
4. Los cilindros cuarteados se ubicaron en dos taras previamente pesadas.
5. Se pesaron las taras con la muestra.
6. Las muestras se secaron en el horno durante 24 horas.
7. Se pesaron las muestras de suelo ya secas.
8. Se calculó el límite plástico con base en las diferencias de humedades, expresándolo en porcentaje.

3.3.2.4. Ensayo De Proctor Modificado

Equipos Y Materiales

- Pistón
- Tamiz $3/4$
- Horno
- Molde de compactación
- Recipiente para mezclar
- Agua
- Probetas

Procedimiento

1. Se seleccionó una cantidad de 6 kg del material extraído, el cual se pasó a través del tamiz $3/4$ y se secó en el horno.

2. Se midieron y registraron las dimensiones (diámetro y peso) del molde de compactación.
3. Al material seco se le añadió una cantidad inicial de agua, mezclando de manera uniforme.
4. La mezcla se introdujo en el molde en 5 capas de espesor similar.
5. A cada capa se le aplicaron 56 golpes con el pistón de compactación.
6. Se retiró el collarín del molde y se enrasó la superficie con el enrasador.
7. Se pesó el molde con la muestra compactada en su interior.
8. Se extrajo la muestra del molde y se tomaron dos porciones representativas para determinar su contenido de humedad, llevándolas al horno por 24 horas.
9. Se repitió todo el proceso (pasos 3 al 8) 5 veces, añadiendo un 2% de agua en cada iteración para obtener la densidad seca a distintos valores de humedad.

3.3.2.5. Ensayo de Relación de Soporte de California (CBR)

Equipos y materiales

- Prensa de Carga con pistón de penetración estandarizado.
- Moldes de compactación CBR (cilíndricos, con collarín y base perforada).
- Disco espaciador.
- Pistón
- Tanque de inmersión para saturación.
- Pesas anulares para simular la sobrecarga del pavimento.
- Balanza.
- Horno.
- Trípode metálico para CBR
- Regla para enrasar.

Procedimiento

1. Se tomó una cantidad representativa del suelo aproximadamente 6 kg y se mezcló con la cantidad de agua necesaria para alcanzar el Óptimo Contenido de Humedad determinado en el ensayo Proctor Modificado.
2. Se prepararon tres especímenes en moldes CBR idénticos.
3. En el primer molde la compactación se realizó encima del disco espaciador en 5 capas iguales, aplicando 12 golpes por capa con pistón.
4. En el segundo molde la compactación se realizó encima del disco espaciador en 5 capas iguales, aplicando 25 golpes por capa con pistón.
5. En el tercer molde la compactación se realizó encima del disco espaciador en 5 capas iguales, aplicando 56 golpes por capa con pistón.
6. Una vez compactado cada espécimen, se retiró el collarín, se enrasó la superficie de la muestra y se colocaron sobre esta las pesas anulares de sobrecarga.
7. Posteriormente, los tres moldes se sumergieron en un tanque de agua y se instaló un Trípode metálico para CBR en cada uno para medir la expansión vertical (hinchamiento).
8. Las muestras permanecieron en inmersión por un período de 96 horas.
9. Transcurridas las 96 horas, cada molde se retiró del tanque de agua y se dejó escurrir el exceso de agua por 15 minutos.
10. El molde se colocó en la prensa de carga. Se asentó el pistón de penetración sobre la superficie de la muestra con una carga inicial mínima.
11. Se aplicó la carga con el pistón a una velocidad de penetración constante (1.27 mm/min). Se registraron las lecturas de carga a intervalos de

penetración específicos (ej. 0.025”, 0.050”, 0.100”, 0.200”) hasta alcanzar una penetración máxima de 0.500”.

12. Finalmente, se calculó un valor de CBR para cada uno de los tres especímenes.

3.3.3. Diseño Del Pavimento Flexible

Para el diseño del pavimento flexible se utilizará el método estructural propuesto por la AASHTO 1993. La metodología aplicada considera el análisis de diferentes escenarios de carga y condición estructural, con el fin de comparar la estructura actual con distintas alternativas de diseño. A continuación, se detallan los pasos generales realizados, así como las variantes consideradas:

3.3.3.1. Aforo Y Clasificación Vehicular

Se realizó un conteo vehicular de tipo manual para el levantamiento de la información, con clasificación según el tipo vehículo siguiendo los criterios establecidos por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO).

Los vehículos se dividieron en diferentes categorías recopilando la información de manera manual y luego se organizó en una hoja de cálculo.

Después, se sumaron todos los datos y se calcularon los totales diarios, además de los promedios por cada tipo de vehículo. Estos números ayudaron a entender mejor cómo se movía el tráfico día a día. A partir del Tránsito Promedio Diario (TPD), también se determinó el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), usando los factores de estacionalidad recomendados por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) y las guías de AASHTO.

3.3.3.2. Conversión Del Tránsito A Ejes Equivalentes (Esals)

Una vez obtenidos los datos de flujo vehicular, tanto del tránsito actual como del tránsito inducido, se procedió a convertir esta información en términos de ejes equivalentes simples de 8.2 toneladas (ESALs), que es la unidad estándar utilizada por la metodología AASHTO 93 para dimensionar estructuras de pavimento.

3.3.3.3. Parámetros Utilizados En El Diseño Estructural.

Los siguientes parámetros fueron aplicados para cada escenario:

- Módulo resiliente de la subrasante: obtenido a partir del ensayo CBR.
- Po y Pt: niveles de serviciabilidad inicial y final.
- So: desviación estándar, asumida según confiabilidad.
- R: confiabilidad del diseño.
- SN: número estructural requerido.
- Espesores y materiales estructurales. Estos valores se aplicaron a la fórmula de diseño AASHTO 93 para determinar el espesor total y por capas del pavimento.

3.3.3.4. Escenarios De Diseño Estructural

Para entender cómo se comporta la estructura de la vía bajo diferentes condiciones, se diseñaron cuatro escenarios de análisis:

Escenario 1: Estructura Existente (Calicata)

Se utilizó la información obtenida en la calicata 1 para estudiar la estructura actual de la vía, identificando los espesores y tipos de materiales en cada capa. Se calculó su Número Estructural SN existente, y se comparó con el SN requerido bajo las condiciones actuales de tránsito. Esta comparación ayudo a determinar e identificar si la vía está subdimensionada, sobredimensionada o adecuada.

Escenario 2: Diseño Con Tránsito Actual + Tránsito Inducido (Buses)

Este escenario considera que en un futuro posible el tráfico en la calle aumentaría si se decide agregar esta vía en las rutas de nuevos buses. Actualmente, esta calle no forma parte del recorrido de transporte público, pero debido a su ubicación estratégica y conexión con caminos principales, en un plan urbano a largo plazo, podría integrarse en las rutas existentes o crear nuevas conexiones de buses. Para hacer esto, se analizaron la cantidad diaria de buses y sus horarios en cinco rutas cercanas. Se sumó esa carga adicional al tránsito actual y se calculó que elementos estructurales serían necesarios para soportar ese aumento en un período de un año.

Escenario 3: Proyección A 10 Años

Finalmente, se combinó el tránsito actual con el tránsito inducido, proyectándolo a un plazo de 10 años. Escenario que se recomienda como diseño final, ya que toma en cuenta tanto la situación actual como el crecimiento y la expansión previsibles del tránsito en la zona. Para hacer este diseño, se aplicaron todos los parámetros del método AASHTO 93, lo que resultó en una estructura de pavimento con espesores adecuados para soportar las condiciones futuras.

CAPITULO IV: CALCULOS Y RESULTADOS

4. Resultados

4.1. Ensayo De Granulometría Por Lavado

4.1.1. Muestra No 1.

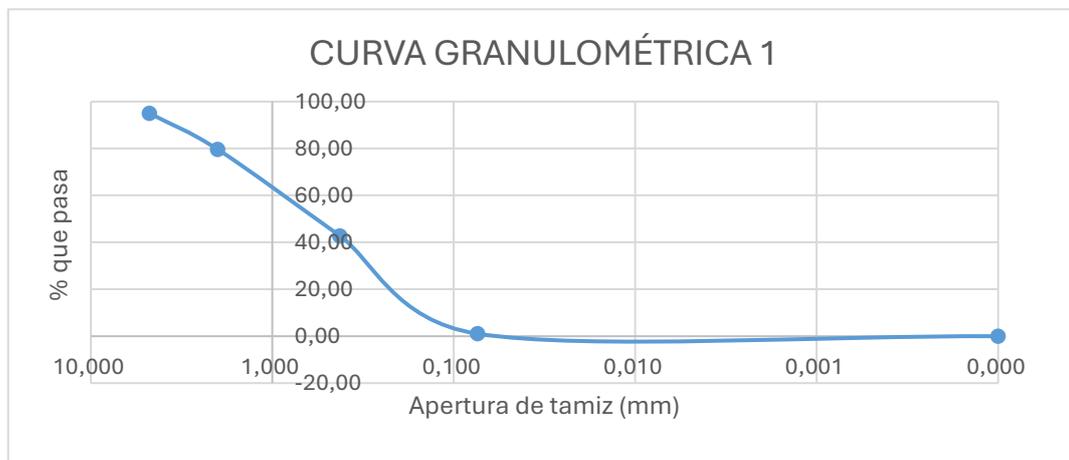
Tabla 5

Resultado del ensayo de la granulometría por lavado- Muestra 1

| Tamiz | Abertura | Peso Retenido | % Retenido | % Retenido acumulado | % Acumulado que pasa |
|-------|----------|-----------------|------------|----------------------|----------------------|
| N.º | mm | g | % | % | % |
| #4 | 4,760 | 5,22 | 4,96 | 4,96 | 95,04 |
| #10 | 2,000 | 16,20 | 15,40 | 20,37 | 79,63 |
| #40 | 0,425 | 38,71 | 36,80 | 57,17 | 42,83 |
| #200 | 0,074 | 43,93 | 41,77 | 98,94 | 1,06 |
| FONDO | 0,000 | 1,12 | 1,06 | 100,00 | 0,00 |
| TOTAL | | 105,18 g | | | |

Figura 8

Curva granulométrica del ensayo por lavado- Muestra 1



Se presentan los resultados del ensayo de granulometría para la Muestra 1. Se observa que el material tiene un bajo contenido de finos, ya que solo el 1.06% de la muestra pasa el tamiz #200. La curva granulométrica correspondiente (Figura 8) ilustra una distribución de partículas bien gradada, con presencia de gravas y arenas.

4.1.2. Muestra No 2

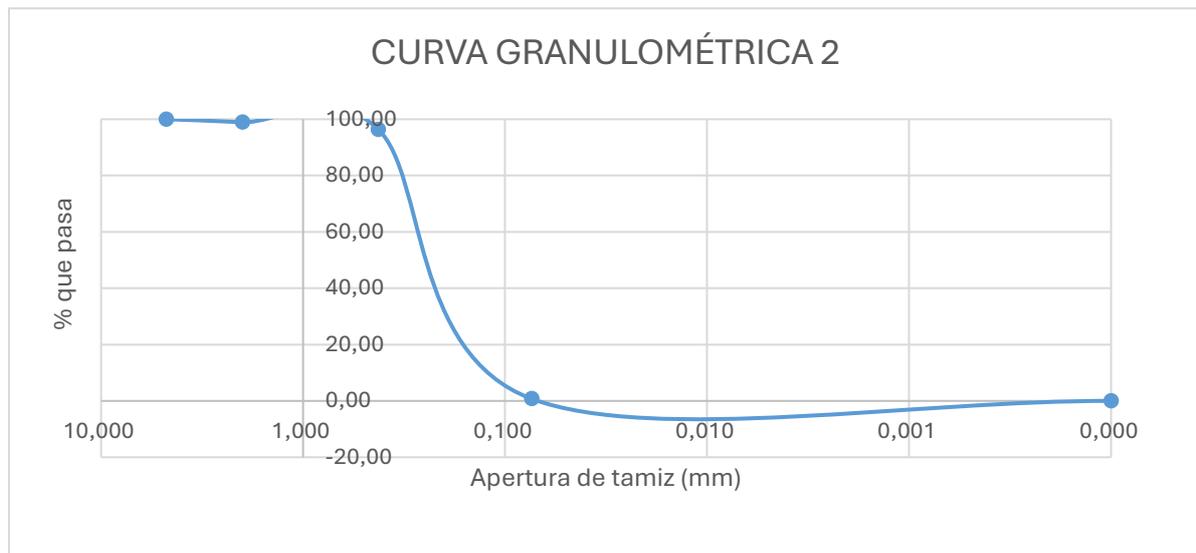
Tabla 6

Resultado del ensayo de granulometría por lavado- Muestra 2

| Tamiz | Abertura | Peso | % | % Retenido | % Acumulado que |
|-------------------|----------|-----------------|----------|------------|-----------------|
| N.º | a | Retenido | Retenido | acumulado | pasa |
| | mm | g | % | % | % |
| #4 | 4,760 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| #10 | 2,000 | 1,10 | 1,06 | 1,06 | 98,94 |
| #40 | 0,425 | 2,60 | 2,51 | 3,58 | 96,42 |
| #200 | 0,074 | 98,90 | 95,65 | 99,23 | 0,77 |
| FOND O | 0,000 | 0,80 | 0,77 | 100,00 | 0,00 |
| TOTAL | | 103,40 g | | | |

Figura 9

Curva granulométrica del ensayo por lavado- Muestra 2



Se muestra los resultados granulométricos de la Muestra 2. Este suelo se caracteriza por ser más fino que la Muestra 1, con un 95.65% del material retenido específicamente en el tamiz #200. El porcentaje de finos (limos y arcillas) es mínimo, representando solo el 0.77% del total, lo que define al material como una arena pobremente graduada

4.2. Resultado Del Ensayo De Limites De Atterberg.

Tabla 7

Resumen del ensayo de límites de Atterberg

| Muestras | LÍMITES DE ATTERBERG | | | | Clasificación de suelos | |
|----------|-----------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|-------------------------|---------------|
| | <i>Limite liquido</i> | <i>Limite plástico</i> | <i>Índice de plasticidad</i> | <i>Índice de GRUPO</i> | <i>S.U.C.S.</i> | <i>AASHTO</i> |
| 1 | 39,62 | 30,95 | 8,67 | 0 | SP | A-2-4 |
| 2 | 38,11 | 21,54 | 16,574 | 0 | SP | A-2-6 |

Se resumen los Límites de Atterberg y la clasificación de suelos.

La Muestra 1 presenta un Índice de Plasticidad (IP) de 8.67 y se clasifica como A-2-4 según AASHTO, indicando un suelo areno-limoso de buena calidad como subrasante.

Por su parte, la Muestra 2 tiene un IP superior de 16.57 y una clasificación A-2-6, lo que sugiere un comportamiento más arcilloso y de menor calidad comparativa.

4.3.Resultado Del Ensayo De Proctor

Tabla 8

Resumen de ensayo de Proctor

| Muestras | PROCTOR | |
|----------|---|--------------------|
| | Densidad seca máxima (g/cm ³) | Humedad óptima (%) |
| 1 | 1,59 | 25,9 |
| 2 | 1,6 | 28 |

Se presentan los resultados del ensayo de compactación Proctor. Se determinó una densidad seca máxima de 1.59 g/cm³ con una humedad óptima de 25.9% para la Muestra 1.

La Muestra 2 da 1.60 g/cm³ de densidad y 28% de humedad óptima.

4.4.Resultado Del Ensayo De CBR

Tabla 9

Resumen de ensayo de CBR

| Muestra | CBR | |
|----------------|------------|----------|
| | % | % |
| | 95% | 100% |
| 1 | 10,48 | 8,677 |
| 2 | 9,801 | 9,073 |

Se presenta los valores de CBR, que miden la capacidad de soporte del suelo. Para el 95% de compactación, que es la condición de diseño de referencia, la Muestra 1 obtuvo un CBR de 10.48%, mientras que la Muestra 2 obtuvo 9.80%. Ambos valores califican al material como una subrasante de buena a regular, siendo la Muestra 1 ligeramente más competente.

4.5. Diseño Del Pavimento Flexible

4.5.1. Resultados De Aforo Y Clasificación Vehicular

Para la estimación del diseño estructural del pavimento, se realizaron cuatro escenarios de análisis del tránsito, en base al conteo vehicular realizado y a la planificación futura del sector. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 10

Resultados del tránsito actual

| VEHICULO | TIPO | IDA | REGRESO | TOTAL | |
|-------------------|------|------|--------------|-------|-------------|
| LIVIANO | - | 1366 | 1708 | 3074 | |
| FURGONETA ESCOLAR | 2D | 17 | 32 | 49 | |
| BUS | 2DB | 0 | 0 | 0 | |
| CAMIÓN | 2DA | 5 | 4 | 9 | |
| CAMIÓN | 2DB | 9 | 5 | 14 | |
| CAMIÓN | 3-A | 8 | 2 | 10 | |
| CAMIÓN | 3S3 | 0 | 0 | 0 | |
| CAMIÓN | 2S2 | 0 | 0 | 0 | |
| CAMIÓN | 2S3 | 0 | 0 | 0 | |
| VOLQUETA | V3A | 4 | 0 | 4 | |
| VOLQUETA | V2DB | 2 | 0 | 2 | |
| | | | TOTAL | 3162 | TPDA |

Al realizar el conteo vehicular del tránsito actual en la calle universidad 8 nos dio un TPDA DE 3162, en el cual se puede observar la poca presencia de tránsito pesado en la zona.

Tabla 11*Resultados del tránsito inducido*

| VEHICULO | TIPO | IDA | REGRESO | TOTAL | |
|----------------------|-------------|------------|----------------|--------------|-------------|
| LIVIANO | - | 1366 | 1708 | 3074 | |
| FURGONETA ESCOLAR | 2D | 17 | 32 | 49 | |
| BUS | 2DB | 215 | 215 | 430 | |
| CAMIÓN | 2DA | 5 | 4 | 9 | |
| CAMIÓN | 2DB | 9 | 5 | 14 | |
| CAMIÓN | 3-A | 8 | 2 | 10 | |
| CAMIÓN | 3S3 | 0 | 0 | 0 | |
| CAMIÓN | 2S2 | 0 | 0 | 0 | |
| CAMIÓN | 2S3 | 0 | 0 | 0 | |
| VOLQUETA | V3A | 4 | 0 | 4 | |
| VOLQUETA | V2DB | 2 | 0 | 2 | |
| | | | TOTAL | 3592 | TPDA |

Al conteo vehicular mostro la composición del tránsito proyectado a considerar un escenario de tráfico inducido. Al incorporar el recorrido de 430 autobuses a la circulación, el TPDA aumenta a 3,592 vehículos. Este cambio es fundamental para el diseño, ya que modifica significativamente la cantidad y el tipo de cargas pesadas que soportará el pavimento.

4.5.2. Resultados De Conversión Del Tránsito A Ejes Equivalentes

Tabla 12

Factor de Carga equivalente de los vehículos pesados- Escenario 1

| | Tipo | Cantidad | Carga equivalente por vehículos |
|--|--------------------|-----------------|--|
| Bus | Buses (2DB) | 0 | 0 |
| | 2DA | 9 | 0,1324 |
| | 2DB | 14 | 1,6167 |
| | 3A | 10 | 1,1136 |
| | | 0 | 0 |
| | 2S2 | 4 | 0,4454 |
| | V3A | 2 | 0,2310 |
| | V2DB | | |
| Pesados Camiones | | | |
| Factor de Carga equivalente de todos los vehículos pesados | | | 3,5391 |

Se calcula el Factor de Carga Equivalente (FCE) para los vehículos pesados del escenario actual. La suma de las cargas equivalentes de los camiones existentes resulta en un factor total de 3.5391. Este valor cuantifica el efecto de daño acumulado del tráfico pesado actual y es la base para calcular los ejes equivalentes (ESALs) de este escenario.

Tabla 13*Factor de Carga equivalente de los vehículos pesados- Escenario 2-3*

| | Tipo | Cantidad | Carga equivalente por vehículos | |
|--|-----------------|--------------------|--|--------|
| Pesados | Bus | Buses (2DB) | 430 | 4,1291 |
| | | 2DA | 9 | 0,0110 |
| | | 2DB | 14 | 0,1344 |
| | | 3A | 10 | 0,0926 |
| | Camiones | 2S2 | 0 | 0,0000 |
| | | V3A | 4 | 0,0370 |
| | | V2DB | 2 | 0,0192 |
| Factor de Carga equivalente de todos los vehículos pesados | | | 4,4234 | |

Se presenta el Factor de Carga Equivalente para los escenarios futuros que incluyen el tránsito de autobuses. El factor total asciende a 4.4234, evidenciando que la nueva flota de 430 buses que por sí sola aporta un factor de 4.1291 se convierte en el principal agente de daño para el pavimento en los escenarios proyectados.

Tabla 14*Numero de ejes equivalentes*

| | escenario 1 | escenario 2 | escenario 3 |
|------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| n= | 1 | 1 | 10 |
| r= | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| k2= | 50 | 50 | 50 |
| FCT | 1,020 | 1,020 | 12,245 |
| N= | 25689,810 | 386136,316 | 4635993,971 |

Se resume el cálculo del número de ejes equivalentes (N) para cada escenario. Se observa un crecimiento drástico de la carga de diseño

4.5.3. Parámetros Utilizados En El Diseño Estructural.

Tabla 15

Parámetros utilizados en el diseño estructural del pavimento flexible.

| | escenario 1 | escenario 2 | escenario 3 |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Zr= | -1,282 | -1,282 | -1,282 |
| Período de diseño= | 1 | 1 | 10 |
| N= | 25689,8104 | 386136,316 | 4635993,97 |
| R= | 90 | 90 | 90 |
| So= | 0,45 | 0,45 | 0,45 |
| Po= | 4,5 | 4,5 | 4,5 |
| Pt= | 2 | 2 | 2 |
| Δ PSI= (Po-Pt) = | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| CBR = | 0,0889 | 0,0889 | 0,0879 |
| MR= | 13335 | 13335 | 13185 |
| m | 0,8 | 0,8 | 0,8 |

Se refuerza los parámetros de ingreso utilizados para el diseño estructural según la metodología AASHTO 93. Para todos los escenarios se concreta una Confiabilidad (R) del 90% y un Módulo Resiliente (MR) de la subrasante de 13,335 psi para los dos primeros escenarios y de 13,185 psi para los últimos, valores calculados a partir de los resultados del CBR.

Tabla 16

resultado del cálculo del número estructural del pavimento flexible – Escenario 1

| Capa | CBR | a | MR | NE |
|-------------------|--------|-------|--------|-------|
| Subrasante | 8,89% | - | 13335 | |
| Subbase | 30,00% | 0,108 | 14900 | 2,904 |
| Base G. | 80,00% | 0,133 | 27500 | |
| Carpeta A. | - | 0,44 | 450000 | |

Tabla 17*resultado del cálculo del número estructural del pavimento flexible – Escenario 2*

| Capa | CBR | a | MR | NE |
|-------------------|------------|----------|-----------|-----------|
| Subrasante | 8,89% | - | 13335 | |
| Subbase | 30,00% | 0,108 | 14900 | 2,4 |
| Base G. | 80,00% | 0,133 | 27500 | 2,3 |
| Carpeta A. | - | 0,44 | 450000 | 1,9 |

Tabla 18*resultado del cálculo del número estructural del pavimento flexible – Escenario 3*

| Capa | CBR | a | MR | NE |
|-------------------|------------|----------|-----------|-----------|
| Subrasante | 8,79% | - | 13185 | |
| Subbase | 30,00% | 0,108 | 14900 | 3,4 |
| Base G. | 80,00% | 0,133 | 27500 | 3,3 |
| Carpeta A. | - | 0,44 | 450000 | 2,6 |

Las Tablas 16 a la 18 presentan el Número Estructural (NE) requerido para cada escenario. Se visualiza un aumento del NE, pasando de 2,904 para el Escenario 1, a 2.4 para el Escenario 2, y alcanzando 3.4 para el Escenario 3.

Este aumento en el NE es resultado directo del aumento en el tránsito y manifiesta la necesidad de una estructura de pavimento cada vez más fuerte.

Tabla 19*Cálculo del número estructural y espesor por capa – escenario 1*

| NE (calculado por capas) | Espesor (plg) | Espesor (cm) |
|---------------------------------|----------------------|---------------------|
| 1,386 | 3,15 | 8,00 |
| 0,838 | 7,87 | 20,00 |
| 0,680 | 7,87 | 20,00 |
| 2,904 | 18,8976378 | 48,00 |
| 1,47863 | | |
| Cumple | | |

Tabla 20*Cálculo del número estructural y espesor por capa – escenario 2*

| NE (calculado por capas) | Espesor (plg) | Espesor (cm) |
|---------------------------------|----------------------|---------------------|
| 1,212 | 2,754 | 7,00 |
| 0,461 | 4,33 | 11,00 |
| 0,851 | 9,844 | 25,00 |
| 2,523 | 16,928 | 43,00 |
| 2,4 | | |
| Cumple | | |

Tabla 21*Cálculo del número estructural y espesor por capa – escenario 3*

| NE (calculado por capas) | Espesor (plg) | Espesor (cm) |
|---------------------------------|----------------------|---------------------|
| 1,906 | 4,331 | 11,00 |
| 0,838 | 7,874 | 20,00 |
| 0,680 | 7,874 | 20,00 |
| 3,424 | 20,079 | 51,00 |
| 3,4 | | |
| Cumple | | |

Finalmente, las Tablas 20 a 21 muestran la conversión del NE requerido en espesores de capa prácticos para cada escenario.

4.6. Presupuesto

NOMBRE DEL OFERTANTE:

Shirley Montes

PROYECTO:

Recapeo de pavimento asfáltico de la Calle Universidad 8

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:

1,00

UNIDAD:

lt/m1

DETALLE:

Riego de Adherencia

RENDIMIENTO:

0,003

EQUIPOS

| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD A | TARIFA B | COSTO HORA C=A*B | RENDIMIENTO R | COSTO D=C*R |
|---------------------------|---------------|-------------|---------------------|------------------|----------------|
| Herramienta menor (5% MO) | | | | | 0,003 |
| Camión Imprimador | 1,0000 | 60,0000 | 60,0000 | 0,0029 | 0,171 |
| Barredora/ Sopladora | 1,0000 | 9,0000 | 9,0000 | 0,0029 | 0,026 |
| SUBTOTAL M | | | | | 0,200 |

MANO DE OBRA

| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD A | JORNAL /HR B | COSTO HORA C=A*B | RENDIMIENTO R | COSTO D=C*R |
|---|------------------|------------------|---------------------|------------------|----------------|
| Maestro mayor en ejecución de obras civiles | 1,0000 | 4,7590 | 4,7590 | 0,0029 | 0,014 |
| Operador de tractor de ruedas (barredora, Peón) | 1,0000 2,0000 | 4,5300 4,2600 | 4,5300 8,5200 | 0,0029 0,0029 | 0,013 0,024 |
| SUBTOTAL N | | | | | 0,051 |

MATERIALES

| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD A | PRECIO UNIT. B | COSTO D=A*B |
|--------------------------|--------|---------------|-------------------|----------------|
| Emulsión asfáltica CRS-1 | litro | 0,7350 | 1,1900 | 0,875 |
| SUBTOTAL O | | | | 0,875 |

TRANSPORTE

| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD A | TARIFA B | COSTO C=A*B |
|--------------------------|--------|---------------|-------------|----------------|
| Transporte de Materiales | | 1,0000 | 0,0260 | 0,026 |
| SUBTOTAL P | | | | 0,026 |

| | | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|--|-----------------|
| Estos precios no incluyen iva | SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P) | | 1,125 |
| | INDIRECTOS Y UTILIDAD..... 20,00% | | 0,225 |
| | COSTO TOTAL DEL RUBRO | | 1,350 |
| | VALOR OFERTADO | | \$ 1,350 |

NOMBRE DEL OFERTANTE:

Shirley Montes

PROYECTO:

Recapeo de pavimento asfáltico de la Calle Universidad 8

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: 2,00

UNIDAD: m1

DETALLE: Fresado de carretera asfáltica existente

RENDIMIENTO: 0,008

| EQUIPOS | | | | | |
|--|---------------|-------------|---------------------|------------------|----------------|
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD A | TARIFA B | COSTO HORA C=A*B | RENDIMIENTO R | COSTO D=C*R |
| Herramienta menor (5% MO) | | | | | 0,011 |
| Fresadora de pavimento asfáltico de 455 HP | 1,00 | 120,00 | 120,00 | 0,0080 | 0,960 |
| Barredora Autopropulsada | 1,00 | 14,00 | 14,00 | 0,0080 | 0,112 |
| Volquete 12 m3 | 0,50 | 30,00 | 15,00 | 0,0080 | 0,120 |

SUBTOTAL M **1,203**

| MANO DE OBRA | | | | | |
|---|---------------|-----------------|---------------------|------------------|----------------|
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD A | JORNAL /HR B | COSTO HORA C=A*B | RENDIMIENTO R | COSTO D=C*R |
| Fresadora de pavimento asfáltico/Rotomil | 1,0000 | 4,7590 | 4,7590 | 0,0080 | 0,038 |
| Engrasador o abastecedor responsable en | 1,0000 | 4,2940 | 4,2940 | 0,0080 | 0,034 |
| Maestro mayor en ejecución de obras civiles | 1,0000 | 4,7590 | 4,7590 | 0,0080 | 0,038 |
| CHOFER: Volquetas (Estr. oc. CI) | 1,0000 | 6,2290 | 6,2290 | 0,0080 | 0,050 |
| Peón | 2,0000 | 4,2600 | 8,5200 | 0,0080 | 0,068 |

SUBTOTAL N **0,228**

| MATERIALES | | | | |
|-------------------------------|--------|---------------|-------------------|----------------|
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD A | PRECIO UNIT. B | COSTO D=A*B |
| Puntas de tungsteno | u | 0,0020 | 9,7000 | 0,019 |
| Bases de puntas (Portapuntas) | u | 0,0050 | 22,0000 | 0,110 |

SUBTOTAL O **0,129**

| TRANSPORTE | | | | |
|-------------|--------|---------------|-------------|----------------|
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD A | TARIFA B | COSTO C=A*B |
| | | | | |

SUBTOTAL P

| | | | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|--|-----------------------------------|-----------------|
| Estos precios no incluyen iva | SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P) | | | 1,561 \$ |
| | | | INDIRECTOS Y UTILIDAD..... 20,00% | 0,312 \$ |
| | | | COSTO TOTAL DEL RUBRO | 1,874 \$ |
| | | | VALOR OFERTADO | \$ 1,874 |

Tabla 22*Tabla de cantidades y precios para repapeo*

| NOMBRE DEL OFERTANTE: Shirley Montes | | | | | |
|---|--|--------|----------|-------------|-----------------|
| PROYECTO: Repapeo de pavimento asfáltico de la Calle Universidad 8 | | | | | |
| TABLA DE CANTIDADES Y PRECIOS | | | | | |
| Item | Descripción | Unidad | Cantidad | Precios | |
| | | | | P. Unitario | P. Total |
| 1,00 | Riego de Adherencia | lt/m1 | 1,00 | \$ 1,35 | \$ 1,35 |
| 2,00 | Fresado de carretera asfáltica existente | m1 | 1,00 | \$ 1,87 | \$ 1,87 |
| 3,00 | Carpeta asfáltica e=3 cm | m2 | 1,00 | \$ 8,70 | \$ 8,70 |
| SUBTOTAL | | | | | \$ 11,93 |

CAPITULO V: CONCLUSIONES

Se determinó que el suelo de la subrasante existente está compuesto por materiales granulares con finos de baja a media plasticidad, clasificados como A-2-4 (areno-limoso) y A-2-6 (areno-arcilloso) según AASHTO. Los ensayos de CBR arrojaron valores de 10.48% y 9.80% respectivamente, calificando la subrasante como de capacidad buena a regular para la fundación del pavimento.

Tabla 23

Cuadro Comparativo de Escenarios de Diseño Estructural

| componente | Escenario 1 | | Escenario 2 | | Escenario 3 | |
|--------------------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
| | NE | Espesor (cm) | NE | Espesor (cm) | NE | Espesor (cm) |
| Carpeta Asfáltica | 1,386 | 8 | 1,212 | 7 | 1,906 | 11 |
| Base | 0,838 | 20 | 0,461 | 11 | 0,838 | 20 |
| Subbase | 0,68 | 20 | 0,851 | 25 | 0,680 | 20 |
| TOTAL | 2,904 | 48 | 2,523 | 43 | 3,42 | 51 |
| NE REQUERIDO | 1,47 | | 2,4 | | 3,4 | |

Escenario 1: La estructura actual del pavimento flexible de la calle Universidad 8 debido a que tiene un espesor total de 48 cm y cumple con el número estructural requerido según el aforo de tránsito actual (NE: 1.47) para soportar el tránsito vehicular actual en el año 2025, sin necesidad de intervención.

Escenario 2: Se observa que la vía también puede soportar todos los buses del tránsito inducido más los vehículos livianos que pasan por la zona en el año 2025.

Escenario 3: A una proyección de 10 años da un número estructural requerido mayor que los otros dos casos siendo $NE = 3.4$, además, este caso tendrá un espesor estructural de 51 cm. Comparado con los 48 cm del pavimento actual, se evidencia una insuficiencia estructural futura. Concluyendo que la estructura actual no es suficiente a largo plazo y se requeriría un reforzamiento tipo recapeo de 3 cm de carpeta asfáltica para alcanzar la resistencia deseada.

El cual tendría un costo según los precios actuales de \$11,93 por metro cuadrado.

BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO (Asociación Estadounidense de Funcionarios de Carreteras Estatales y Transporte). (1993). *Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimento*. Washington, D.C.
- AASHTO, A. (2020). *T 193: Método de prueba estándar para la relación de rodamiento de California*.
- ASTM D4318. (2017). *Metodos de prueba estándar para la distribución del tamaño de partícula (gradación) de suelos mediante análisis granulométrico*.
- Bañón Blázquez, L, & Beviá García, J. (2000). *Manual de carreteras*.
- Becerra Salas, M. (2012). *Tópicos de Pavimentos de Concreto. Diseño, Construcción y Supervisión*. Lima.
- BRAVO TUÁREZ, J. (2018). “ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA CALLE LA PRENSA ENTRE BY PASS Y AVENIDA LAS ORQUÍDEAS DEL CANTÓN PORTOVIEJO. JIPIJAPA: UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ.
- Cal y Mayor, R., & Cárdenas Grisales, J. (2017). *Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones (9ª ed.)*. Alfaomega.
- Garber, N., & Hoel, L. (2015). *Ingeniería de Tráfico y Carreteras (5.ª ed.)*. Cengage Learning.
- Haung, Y. H. (2004). *Análisis y Diseño de Pavimentos (2nd ed.)*. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education Inc.
- Instituto del Asfalto. (2007). *MS-1: Manual del Asfalto (7.ª ed.)*. Lexington: KY: Instituto del Asfalto.
- Lynch Blackman, H. (2022). Caracas: Universidad del Zulia.

Miranda Rebolledo, R. (2010). *DETERIOROS EN PAVIMENTOS*. CHILE: UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE.

Pineda, K. H. (2015). *ANÁLISIS SUPERFICIAL DE PAVIMENTO FLEXIBLES PARA EL MANTENIMIENTO DE VÍAS EN LA REGIÓN DE PUNO*.

ANEXOS

Anexos A – fotográficos

Figura 10

Recolección de muestras





Figura 11

Reuniones con tutor Académico



Figura 12

Ensayos de laboratorio



Anexo B – Resumen vial

Resumen del estudio de suelo

Límite líquido 1

| # de Golpes (20-30) | W de tara g | W tara + suelo húmedo g | W tara + suelo seco g | W suelo seco g | W suelo húmedo g | Contenido de Humedad % | Promedio Humedad % |
|--|----------------|----------------------------|--------------------------|-------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------|
| 21 | 6,2 | 30 | 23,2 | 17 | 23,8 | 40,00 | 40,47 |
| | 7,3 | 37,6 | 28,8 | 21,5 | 30,3 | 40,93 | 39,62 |
| $LL = W^n \left[\frac{N}{25} \right]^{0,121}$ | | | | | | | Límite líquido % |

Límite plástico 1

| # Tara | W de tara g | W tara + suelo húmedo g | W tara + suelo seco g | W suelo seco g | W suelo húmedo g | Contenido de Humedad % |
|-------------------|----------------|----------------------------|--------------------------|-------------------|---------------------|---------------------------|
| g | 8,4 | 9,6 | 9,3 | 0,9 | 1,2 | 33,33 |
| h | 7,8 | 8,7 | 8,5 | 0,7 | 0,9 | 28,57 |
| LIMITE PLASTICO = | | | | | | 30,95 |
| IP= | | | | | | 8,67 |

Límite líquido 2

| # de Golpes (20-30) | W de tara g | W tara + suelo húmedo g | W tara + suelo seco g | W suelo seco g | W suelo húmedo g | Contenido de Humedad % | Promedio Humedad % |
|---------------------|----------------|----------------------------|--------------------------|-------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------|
| 21 | 10,4 | 31,8 | 25,8 | 15,4 | 21,4 | 38,96 | 38,92 |
| | 10,2 | 37,7 | 30 | 19,8 | 27,5 | 38,89 | 38,11 |
| Límite líquido % | | | | | | | |

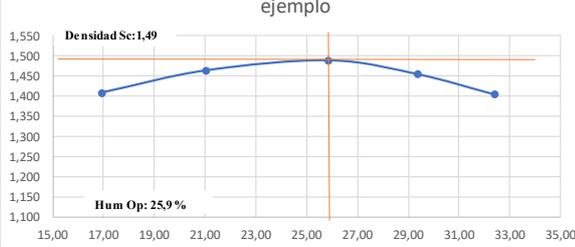
Límite plástico

| # | W de Tara | W tara + suelo húmedo | W tara + suelo seco | W suelo seco | W suelo húmedo | Contenido de Humedad % |
|---|-----------|-----------------------|---------------------|--------------|----------------|------------------------|
| a | g | g | g | g | g | % |
| c | 8,1 | 9,7 | 9,4 | 1,3 | 1,6 | 23,08 |
| c | 8,4 | 9,6 | 9,4 | 1 | 1,2 | 20,00 |

LIMITE PLASTICO = 21,54

índice de plasticidad =

Datos del Proctor 1 y 2

| | | | | | | | | | | |
|---|--|------------------------|---|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
|  | Univerdad Laica Eloy Alfaro | |  | | | | | | | |
| | Facultad de Ingenieria Civil | | | | | | | | | |
| PROYECTO: | ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA ACTUAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CALLE UNIVERSIDAD 8, ANTE POSIBLE INCREMENTO DE TRÁNSITO POR LA APERTURA DE LAS NUEVAS CALLES TRANVERSALES. | | | | | | | | | |
| ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO | | | | | | | | | | |
| Calicata: | 1 | Datos de Molde | | | | | | | | |
| Peso del Pizon: | 10,0 Lbs | Altura: | 11,6 cm | | | | | | | |
| Altura de caída: | 12 Pulg | Diámetro: | 15,2 cm | | | | | | | |
| Numero de capas: | 5 | Volumen: | 2104,92 cm ³ | | | | | | | |
| N° de golpes por capas: | 56 | Peso del Molde: | 6069,4 g | | | | | | | |
| DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD | | | | | | | | | | |
| MUESTRA | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | | | |
| Peso de tara (g) | 6,5 | 8,3 | 8 | 7,1 | 7,5 | 6,8 | 6,4 | 7,8 | 7,9 | 8,1 |
| peso de tara + muestra Humeda (g) | 53,2 | 57,5 | 50,3 | 47,1 | 45,2 | 42,1 | 38,7 | 37,6 | 37 | 34,6 |
| peso de tara + muestra seca (g) | 46,5 | 50,3 | 43 | 40,1 | 37,5 | 34,8 | 31,4 | 30,8 | 29,9 | 28,1 |
| peso de agua (g) | 6,7 | 7,2 | 7,3 | 7 | 7,7 | 7,3 | 7,3 | 6,8 | 7,1 | 6,5 |
| Peso muestra seca(g) | 40 | 42 | 35 | 33 | 30 | 28 | 25 | 23 | 22 | 20 |
| % humedad | 16,75 | 17,14 | 20,86 | 21,21 | 25,67 | 26,07 | 29,20 | 29,57 | 32,27 | 32,50 |
| % humedad promedio | 16,95 | 21,03 | 25,87 | 29,38 | 32,39 | | | | | |
| MUESTRA | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | | | |
| Contenido de humedad % | 16,95 | 21,03 | 25,87 | 29,38 | 32,39 | | | | | |
| Peso del suelo + molde (g) | 9398,4 | 9533,2 | 9839,4 | 9963,6 | 9807,4 | | | | | |
| Peso del molde (g) | 6069,4 | 6069,4 | 6069,4 | 6069,4 | 6069,4 | | | | | |
| peso del suelo (Wm) (g) | 3471 | 3732,5 | 3947,8 | 3962,7 | 3915 | | | | | |
| Densidad Humeda γ_m (g/cm³) | 1,649 | 1,773 | 1,876 | 1,883 | 1,860 | | | | | |
| Densidad Seca γ_d (g/cm³) | 1,410 | 1,465 | 1,490 | 1,455 | 1,405 | | | | | |
| ejemplo | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | |



Univerdad Laica Eloy Alfaro
Facultad de Ingeniería Civil



PROYECTO:

ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA ACTUAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CALLE UNIVERSIDAD 8,
ANTE POSIBLE INCREMENTO DE TRÁNSITO POR LA APERTURA DE LAS NUEVAS CALLES
TRANVERSALES.

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

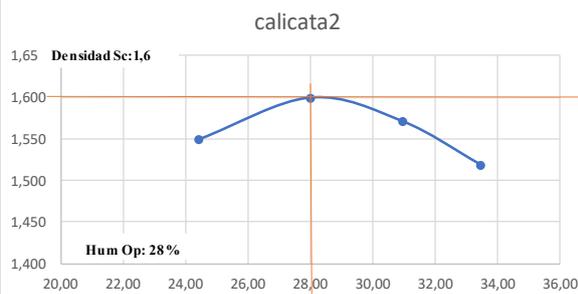
| | |
|-------------------------|----------|
| Calicata: | 1 |
| Peso del Pizon: | 10,0 Lbs |
| Altura de caída: | 12 Pulg |
| Numero de capas: | 5 |
| Nº de golpes por capas: | 56 |

| Datos de Molde | |
|-----------------|-------------------------|
| Altura: | 11,5 cm |
| Diámetro: | 15,0 cm |
| Volumen: | 2032,22 cm ³ |
| Peso del Molde: | 6069,4 g |

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

| MUESTRA | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Peso de tara (g) | 8,1 | 8,4 | 7,2 | 6,8 | 7,5 | 6,9 | 8,2 | 8,6 |
| peso de tara + muestra Humeda (g) | 52,8 | 50,8 | 59,6 | 56,8 | 63,7 | 60,7 | 69,5 | 67,4 |
| peso de tara + muestra seca (g) | 44,1 | 42,4 | 48,2 | 45,8 | 50,5 | 47,9 | 54,2 | 52,6 |
| peso de agua (g) | 8,7 | 8,4 | 11,4 | 11 | 13,2 | 12,8 | 15,3 | 14,8 |
| Peso muestra seca(g) | 36 | 34 | 41 | 39 | 43 | 41 | 46 | 44 |
| % humedad | 24,17 | 24,71 | 27,80 | 28,21 | 30,70 | 31,22 | 33,26 | 33,64 |
| % humedad promedio | 24,44 | | 28,01 | | 30,96 | | 33,45 | |

| MUESTRA | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|--------|---------|---------|--------|
| Contenido de humedad % | 24,44 | 28,01 | 30,96 | 33,45 |
| Peso del suelo + molde (g) | 9987,8 | 10231,7 | 10251,2 | 10189 |
| Peso del molde (g) | 6069,4 | 6069,4 | 6069,4 | 6069,4 |
| peso del suelo (Wm) (g) | 3918,4 | 4162,3 | 4181,8 | 4119,6 |
| Densidad Humeda γ_m (g/cm ³) | 1,928 | 2,048 | 2,058 | 2,027 |
| Densidad Seca γ_d (g/cm ³) | 1,549 | 1,600 | 1,571 | 1,519 |



Cálculo del CBR 1

| MUESTRA 1 | | | |
|---|---------------|--------------|--------------|
| Antes de la saturación | | | |
| Muestra | 1 (12Golpes) | 2 (25Golpes) | 3(56 Golpes) |
| Recipiente vacío (gr) | | | |
| Recipiente + Muestra húmeda (gr) | | | |
| Recipiente + Muestra seca (gr) | | | |
| Suelo Húmedo (gr) | 0 | 0 | 0 |
| Seco (gr) | 0 | 0 | 0 |
| W (%) | 25,900% | 25,900% | 25,900% |
| Volumen | | | |
| Diámetro del cilindro (cm) | 15 | 15 | 15 |
| Altura (cm) | 17,6 | 17,6 | 17,6 |
| Volumen (cm3) | 3110,177 | 3110,177 | 3110,177 |
| disco espaciador cm | 6 | 6 | 6 |
| Pesos específicos y peso específico seco | | | |
| # Golpes | 12 | 25 | 56 |
| M molde (kg) | 8,0228 | 7,1244 | 6,3936 |
| M (Molde + suelo compactado (kg) | 11,6542 | 10,9104 | 10,2096 |
| M suelo compactado (kg) | 3,6314 | 3,786 | 3,816 |
| Volumen de Suelo (cm3) | 2049,889 | 2049,889 | 2049,889 |
| Densidad de suelo húmedo (kg /m3) | 1771,51 | 1846,93 | 1861,56 |
| Peso específico de suelo húmedo (N/m3) | 17378,517 | 18118,374 | 18261,943 |
| Peso específico de suelo húmedo (KN/m3) | 17,379 | 18,118 | 18,262 |
| Peso específico de suelo seco (KN /m3) | 13,803 | 14,391 | 14,505 |
| Grado de compactación | 94,43% | 98,46% | 99,24% |

| Después de la saturación | | | | | | |
|---|---------------|---------|---------------|---------|--------------|---------|
| Muestra | 1 (12Golpes) | | 2 (25 Golpes) | | 3 (56Golpes) | |
| Recipiente vacío (gr) | 8,1 | 8,1 | 8 | 6,7 | 8,3 | 6,8 |
| Recipiente + Muestra húmeda (gr) | 59,8 | 44,5 | 52,8 | 46,2 | 63,8 | 55 |
| Recipiente + Muestra seca (gr) | 47 | 35,3 | 43,3 | 37,8 | 51,1 | 43,8 |
| Suelo Húmedo (gr) | 51,7 | 36,4 | 44,8 | 39,5 | 55,5 | 48,2 |
| Seco (gr) | 38,9 | 27,2 | 35,3 | 31,1 | 42,8 | 37 |
| W (%) | 32,905% | 33,824% | 26,912% | 27,010% | 29,673% | 30,270% |
| Promedio de W% | 33,364% | | 26,961% | | 29,972% | |
| Volumen | | | | | | |
| Diámetro del cilindro (cm) | 15 | | 15 | | 15 | |
| Altura (cm) | 17,6 | | 17,6 | | 17,6 | |
| Volumen (cm3) | 3110,177 | | 3110,177 | | 3110,177 | |
| disco espaciador | 6 | | 6 | | 6 | |
| Pesos específicos y peso específico seco | | | | | | |
| # Golpes | 1 (12Golpes) | | 2 (25 Golpes) | | 3 (56Golpes) | |
| M molde (kg) | 8,0228 | | 7,1244 | | 6,3936 | |
| M (Molde + suelo compactado (Kg) | 12,107 | | 11,2908 | | 10,5236 | |
| M suelo compactado (Kg) | 4,0842 | | 4,1664 | | 4,13 | |
| Volumen de Suelo (cm3) | 2049,89 | | 2049,89 | | 2049,89 | |
| Densidad de suelo húmedo (Kg /m3) | 1992,40 | | 2032,50 | | 2014,74 | |
| Peso específico de suelo húmedo (N/m3) | 19545,45 | | 19938,83 | | 19764,63 | |
| Peso específico de suelo húmedo (KN/m3) | 19,55 | | 19,94 | | 19,76 | |
| Peso específico de suelo seco (KN /m3) | 14,66 | | 15,70 | | 15,21 | |

| Humedad absorbida | | | |
|---|---------------|--------------|--------------|
| | 1 (12Golpes) | 2 (25Golpes) | 3(56 Golpes) |
| M suelo compactado después de saturado (kg) | 4,0842 | 4,1664 | 4,13 |
| M suelo compactado antes de saturado (kg) | 3,6314 | 3,786 | 3,816 |
| Peso del agua absorbida (kg) | 0,4528 | 0,3804 | 0,314 |
| Porcentaje de agua % | 12,47% | 10,05% | 8,23% |

Expansion

| Golpes | 12 golpes | | | | 25 golpes | | | | 56 golpes | | | |
|----------|------------------|------|---------------|------|----------------------|------|---------------|-------|--------------|------|---------------|------|
| | Datos | | Esponjamiento | | Datos | | Esponjamiento | | Datos | | Esponjamiento | |
| | Altura de la mue | Dial | pulg | % | Altura de la muestra | Dial | pulg | % | Altura de la | Dial | pulg | % |
| 0 horas | 11,6 | 0 | 0 | 0 | 11,6 | 0 | 0 | 0 | 11,6 | 0 | 0 | 0 |
| 1 hora | 11,6 | 110 | 0,11 | 0,95 | 11,6 | 97,5 | 0,0975 | 0,841 | 11,6 | 97 | 0,097 | 0,84 |
| 2 horas | 11,6 | 114 | 0,114 | 0,98 | 11,6 | 100 | 0,1 | 0,86 | 11,6 | 100 | 0,1 | 0,86 |
| 3 horas | 11,6 | 118 | 0,118 | 1,02 | 11,6 | 117 | 0,117 | 1,01 | 11,6 | 112 | 0,112 | 0,97 |
| 4 horas | 11,6 | 120 | 0,12 | 1,03 | 11,6 | 180 | 0,18 | 1,55 | 11,6 | 120 | 0,12 | 1,03 |
| 5 horas | 11,6 | 122 | 0,122 | 1,05 | 11,6 | 210 | 0,21 | 1,81 | 11,6 | 215 | 0,215 | 1,85 |
| 24 horas | 11,6 | 230 | 0,23 | 1,98 | 11,6 | 280 | 0,28 | 2,41 | 11,6 | 240 | 0,24 | 2,07 |
| 48 horas | 11,6 | 336 | 0,336 | 2,90 | 11,6 | 334 | 0,334 | 2,88 | 11,6 | 250 | 0,25 | 2,16 |
| 72 horas | 11,6 | 400 | 0,4 | 3,45 | 11,6 | 360 | 0,36 | 3,10 | 11,6 | 300 | 0,3 | 2,59 |
| 96 horas | 11,6 | 420 | 0,42 | 3,62 | 11,6 | 415 | 0,415 | 3,58 | 11,6 | 410 | 0,41 | 3,53 |

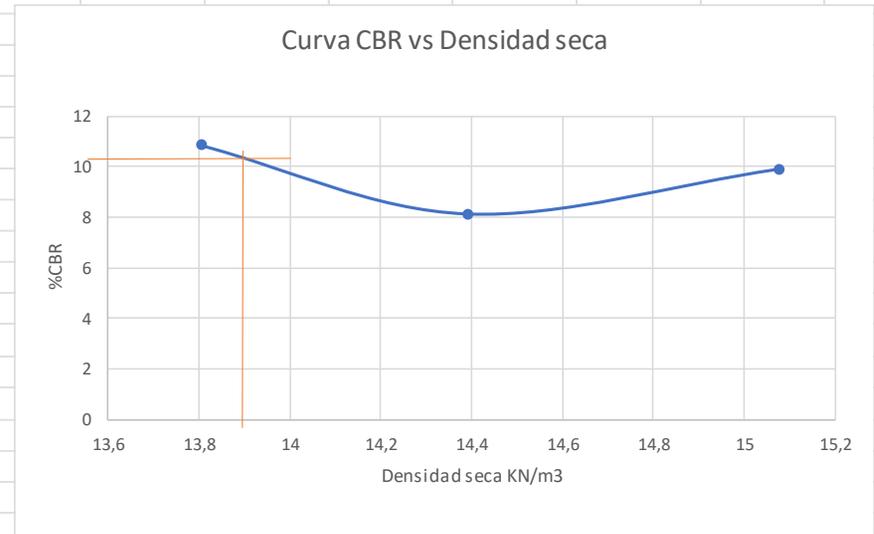
| Altura cm | | | |
|-----------|-----------|-----------|----------|
| | 12 golpes | 25 golpes | 56 golpe |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,2794 | 0,24765 | 0,24638 | |
| 0,28956 | 0,254 | 0,254 | |
| 0,29972 | 0,29718 | 0,28448 | |
| 0,3048 | 0,4572 | 0,3048 | |
| 0,30988 | 0,5334 | 0,5461 | |
| 0,5842 | 0,7112 | 0,6096 | |
| 0,85344 | 0,84836 | 0,635 | |
| 1,016 | 0,9144 | 0,762 | |
| 1,0668 | 1,0541 | 1,0414 | |

| Datos ensayo de penetracion | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------|----------------|------------|-----------|---------------|------------|-----------|---------------|------------|-----------|---------------|--|
| Penetracion | | Carga tipo(Lb) | 12 golpes | | | 25 golpes | | | 56 golpes | | | |
| Pulg | mm | | Carga (Lb) | Lb/pulg 2 | CBR corregido | Carga (Lb) | Lb/pulg 2 | CBR corregido | Carga (Lb) | Lb/pulg 2 | CBR corregido | |
| 0,000 | 0,000 | | 0,000 | 0 | | 0 | 0 | | 0 | 0 | | |
| 0,025 | 0,635 | | 156,064 | 51,279 | | 101,610 | 33,387 | | 130,623 | 42,920 | | |
| 0,050 | 1,270 | | 232,233 | 76,307 | | 181,439 | 59,617 | | 181,439 | 59,617 | | |
| 0,075 | 1,905 | | 333,865 | 109,701 | | 210,473 | 69,157 | | 254,014 | 83,463 | | |
| 0,100 | 2,540 | 1.000 | 330,734 | 108,673 | 10,867 | 246,761 | 81,080 | 8,108 | 301,192 | 98,965 | 9,897 | |
| 0,125 | 3,175 | | 362,877 | 119,234 | | 272,114 | 89,411 | | 311,863 | 102,471 | | |
| 0,150 | 3,810 | | 377,405 | 124,008 | | 301,192 | 98,965 | | 333,865 | 109,700 | | |
| 0,175 | 4,445 | | 388,296 | 127,586 | | 308,446 | 101,348 | | 362,877 | 119,233 | | |
| 0,200 | 5,080 | 1.500 | 395,549 | 129,970 | 8,66463674 | 319,336 | 104,927 | 6,995 | 413,693 | 135,930 | 9,062 | |
| 0,300 | 7,620 | 1.900 | 413,693 | 135,931 | 7,15427673 | 362,877 | 119,233 | 6,275 | 435,475 | 143,087 | 7,531 | |
| 0,400 | 10,160 | 2.300 | 435,475 | 143,088 | 6,22122623 | 399,165 | 131,157 | 5,702 | 464,487 | 152,620 | 6,636 | |
| 0,500 | 12,700 | 2.600 | 453,618 | 149,050 | 5,73268884 | 417,331 | 137,126 | 5,274 | 489,906 | 160,972 | 6,191 | |

| | 12 | 25 | 56 | 12 | 25 | 56 |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CBR | 0,1 | | | 0,2 | | |
| CBR % | 10,867 | 8,108 | 9,897 | 8,665 | 6,995 | 9,062 |
| Densidad se | 13,803 | 14,391 | 14,505 | 13,803 | 14,391 | 14,505 |
| CBR Corregu | | | | | | |

| | |
|--------------------------|--------|
| CBR 100% de compactación | 8,677 |
| CBR 95% de compactación | 10,480 |

| | | | |
|--------|--------|--------|--------|
| CBR | 10,867 | 8,108 | 9,897 |
| D SECA | 13,803 | 14,391 | 15,075 |



Cálculo del CBR 1

MUESTRA 2

| Antes de la saturación | | | |
|---|---------------|--------------|---------------|
| Muestra | 1 (12Golpes) | 2 (25Golpes) | 3 (56 Golpes) |
| Recipiente vacío (gr) | | | |
| Recipiente + Muestra húmeda (gr) | | | |
| Recipiente + Muestra seca (gr) | | | |
| Suelo Húmedo (gr) | 0 | 0 | 0 |
| Seco (gr) | 0 | 0 | 0 |
| W (%) | 28,000% | 28,000% | 28,000% |
| Volumen | | | |
| Diámetro del cilindro (cm) | 15 | 15 | 15 |
| Altura (cm) | 17,6 | 17,6 | 17,6 |
| Volumen (cm3) | 3110,177 | 3110,177 | 3110,177 |
| disco espaciador cm | 6 | 6 | 6 |
| Pesos específicos y peso específico seco | | | |
| # Golpes | 12 | 25 | 56 |
| M molde (kg) | 8,0228 | 7,1244 | 6,3936 |
| M (Molde + suelo compactado (kg) | 12,0028 | 11,2044 | 10,5536 |
| M suelo compactado (kg) | 3,98 | 4,08 | 4,16 |
| Volumen de Suelo (cm3) | 2049,889 | 2049,889 | 2049,889 |
| Densidad de suelo húmedo (kg /m3) | 1941,57 | 1990,35 | 2029,38 |
| Peso específico de suelo húmedo (N/m3) | 19046,785 | 19525,348 | 19908,198 |
| Peso específico de suelo húmedo (KN/m3) | 19,047 | 19,525 | 19,908 |
| Peso específico de suelo seco (KN /m3) | 14,880 | 15,254 | 15,553 |
| Grado de compactación | 94,80% | 97,19% | 99,09% |
| | | | |
| Humedad absorbida | | | |
| M suelo compactado despues de saturado (kg) | 4,4842 | 4,4786 | 4,5148 |
| M suelo compactado antes de saturado (kg) | 3,98 | 4,08 | 4,16 |
| Peso del agua absorbida (kg) | 0,5042 | 0,3986 | 0,3548 |
| Porcentaje de agua % | 12,67% | 9,77% | 8,53% |

| Despues de la saturación | | | | | | |
|---|---------------|---------|---------------|---------|--------------|---------|
| Muestra | 1 (12Golpes) | | 2 (25 Golpes) | | 3 (56Golpes) | |
| Recipiente vacío (gr) | 10,4 | 10,8 | 10,2 | 10,6 | 8 | 8,4 |
| Recipiente + Muestra húmeda (gr) | 61,4 | 47,2 | 46,8 | 32,6 | 46,2 | 75,4 |
| Recipiente + Muestra seca (gr) | 49,2 | 38,8 | 38,9 | 27,6 | 37,6 | 60,8 |
| Suelo Húmedo (gr) | 51 | 36,4 | 36,6 | 22 | 38,2 | 67 |
| Seco (gr) | 38,8 | 28 | 28,7 | 17 | 29,6 | 52,4 |
| W (%) | 31,443% | 30,000% | 27,526% | 29,412% | 29,054% | 27,863% |
| Promedio de W% | 30,722% | | 28,469% | | 28,458% | |
| Volumen | | | | | | |
| Diámetro del cilindro (cm) | 15 | | 15 | | 15 | |
| Altura (cm) | 17,6 | | 17,6 | | 17,6 | |
| Volumen (cm3) | 3110,177 | | 3110,177 | | 3110,177 | |
| disco espaciador | 6 | | 6 | | 6 | |
| Pesos específicos y peso específico seco | | | | | | |
| # Golpes | 1 (12Golpes) | | 2 (25 Golpes) | | 3 (56Golpes) | |
| M molde (kg) | 8,0228 | | 7,1244 | | 6,3936 | |
| M (Molde + suelo compactado (Kg) | 12,507 | | 11,603 | | 10,9084 | |
| M suelo compactado (Kg) | 4,4842 | | 4,4786 | | 4,5148 | |
| Volumen de Suelo (cm3) | 2049,89 | | 2049,89 | | 2049,89 | |
| Densidad de suelo húmedo (Kg /m3) | 2187,53 | | 2184,80 | | 2202,46 | |
| Peso específico de suelo húmedo (N/m3) | 21459,70 | | 21432,90 | | 21606,14 | |
| Peso específico de suelo húmedo (KN/m3) | 21,46 | | 21,43 | | 21,61 | |
| Peso específico de suelo seco (KN /m3) | 16,42 | | 16,68 | | 16,82 | |

Expansion

| Tiempo en h | 12 golpes | | | | 25 golpes | | | | 56 golpes | | | |
|-------------|------------------|-------|---------------|------|----------------------|-------|---------------|-------|--------------|-------|---------------|------|
| | Datos | | Esponjamiento | | Datos | | Esponjamiento | | Datos | | Esponjamiento | |
| | Altura de la mue | Dial | pulg | % | Altura de la muestra | Dial | pulg | % | Altura de la | Dial | pulg | % |
| 0 horas | 11,6 | 0 | 0 | 0 | 11,6 | 0 | 0 | 0 | 11,6 | 0 | 0 | 0 |
| 1 hora | 11,6 | 110 | 0,11 | 0,95 | 11,6 | 97,5 | 0,0975 | 0,841 | 11,6 | 97 | 0,097 | 0,84 |
| 2 horas | 11,6 | 113,5 | 0,1135 | 0,98 | 11,6 | 109,5 | 0,1095 | 0,94 | 11,6 | 108,5 | 0,1085 | 0,94 |
| 3 horas | 11,6 | 116 | 0,116 | 1,00 | 11,6 | 112 | 0,112 | 0,97 | 11,6 | 110 | 0,11 | 0,95 |
| 5 horas | 11,6 | 123 | 0,123 | 1,06 | 11,6 | 118 | 0,118 | 1,02 | 11,6 | 116 | 0,116 | 1,00 |
| 24 horas | 11,6 | 182 | 0,182 | 1,57 | 11,6 | 180 | 0,18 | 1,55 | 11,6 | 140 | 0,14 | 1,21 |
| 48 horas | 11,6 | 240,5 | 0,2405 | 2,07 | 11,6 | 226 | 0,226 | 1,95 | 11,6 | 223 | 0,223 | 1,92 |
| 72 horas | 11,6 | 351 | 0,351 | 3,03 | 11,6 | 337 | 0,337 | 2,91 | 11,6 | 328 | 0,328 | 2,83 |
| 96 horas | 11,6 | 462,1 | 0,4621 | 3,98 | 11,6 | 448 | 0,448 | 3,86 | 11,6 | 439 | 0,439 | 3,78 |

Altura cm

| 12 golpes | 25 golpes | 56 golpe |
|-----------|-----------|----------|
| 0 | 0 | 0 |
| 0,2794 | 0,24765 | 0,24638 |
| 0,28829 | 0,27813 | 0,27559 |
| 0,29464 | 0,28448 | 0,2794 |
| 0,31242 | 0,29972 | 0,29464 |
| 0,46228 | 0,4572 | 0,3556 |
| 0,61087 | 0,57404 | 0,56642 |
| 0,89154 | 0,85598 | 0,83312 |
| 1,173734 | 1,13792 | 1,11506 |

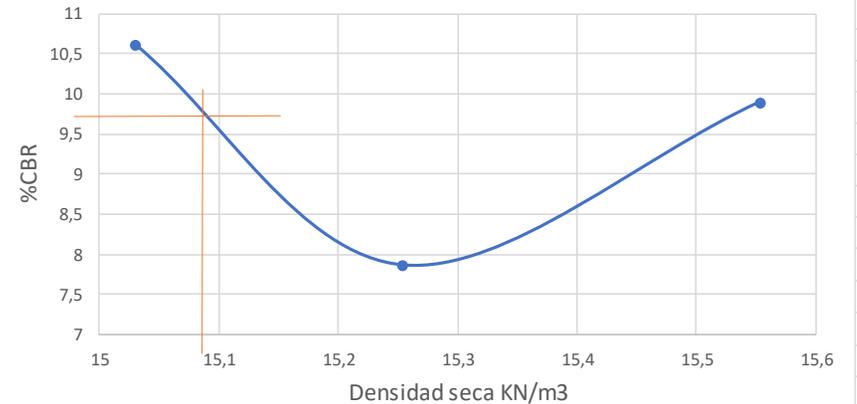
| Datos ensayo de penetracion | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------|----------------|------------|-----------|---------------|------------|-----------|---------------|------------|-----------|---------------|--|
| Penetracion | | Carga tipo(Lb) | 12 golpes | | | 25 golpes | | | 56 golpes | | | |
| Pulg | mm | | Carga (Lb) | Lb/pulg 2 | CBR corregido | Carga (Lb) | Lb/pulg 2 | CBR corregido | Carga (Lb) | Lb/pulg 2 | CBR corregido | |
| 0,000 | 0,000 | | 0,000 | 0 | | 0 | 0 | | 0 | 0 | | |
| 0,025 | 0,635 | | 152,404 | 50,077 | | 101,610 | 33,387 | | 130,623 | 42,920 | | |
| 0,050 | 1,270 | | 232,233 | 76,307 | | 159,657 | 52,460 | | 181,439 | 59,617 | | |
| 0,075 | 1,905 | | 290,302 | 95,387 | | 210,473 | 69,157 | | 224,979 | 73,923 | | |
| 0,100 | 2,540 | 1.000 | 322,974 | 106,123 | 10,612 | 239,508 | 78,697 | 7,870 | 301,192 | 98,965 | 9,897 | |
| 0,125 | 3,175 | | 333,865 | 109,701 | | 254,014 | 83,463 | | 304,830 | 100,160 | | |
| 0,150 | 3,810 | | 355,624 | 116,851 | | 286,686 | 94,199 | | 315,699 | 103,732 | | |
| 0,175 | 4,445 | | 355,624 | 116,851 | | 297,555 | 97,770 | | 362,877 | 119,233 | | |
| 0,200 | 5,080 | 1.500 | 377,405 | 124,008 | 8,267 | 312,083 | 102,544 | 6,836 | 370,152 | 121,624 | 8,108 | |
| 0,300 | 7,620 | 1.900 | 388,296 | 127,586 | 6,715 | 362,877 | 119,233 | 6,275 | 435,475 | 143,087 | 7,531 | |
| 0,400 | 10,160 | 2.300 | 413,693 | 135,931 | 5,910 | 377,405 | 124,007 | 5,392 | 449,981 | 147,854 | 6,428 | |
| 0,500 | 12,700 | 2.600 | 413,693 | 135,931 | 5,228 | 379,257 | 124,616 | 4,793 | 453,618 | 149,049 | 5,733 | |

| | 12 | 25 | 56 | 12 | 25 | 56 |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CBR | 0,1 | | | 0,2 | | |
| CBR % | 10,612 | 7,870 | 9,897 | 8,267 | 6,836 | 8,108 |
| Densidad seca | 14,880 | 15,254 | 15,553 | 14,880 | 15,254 | 15,553 |
| CBR Corregu | | | | | | |

| | |
|--------------------------|-------|
| CBR 100% de compactaci3n | 8,843 |
| CBR 95% de compactacion | 9,880 |

| | | | |
|--------|--------|--------|--------|
| CBR | 10,612 | 7,87 | 9,897 |
| D SECA | 15,03 | 15,254 | 15,553 |

Curva CBR vs Densidad seca



ANEXO C - Resumen vial

Datos de recorridos de buses cerca de la zona

| Línea de Bus | Hora Entrada | Hora salida | Horas Trabajo | Tiempo de e | No Viajes | Ida | Regreso | Total |
|--------------|--------------|-------------|---------------|-------------|-----------|-----|---------|-------|
| 1 | 6:00:00 | 18:00:00 | 12:00:00 | 0:12:00 | 60 | 30 | 30 | 60 |
| 9 | 6:00:00 | 21:00:00 | 15:00:00 | 0:14:00 | 65 | 33 | 33 | 66 |
| 12 | 6:00:00 | 18:00:00 | 12:00:00 | 0:35:00 | 21 | 11 | 11 | 22 |
| 16 | 6:00:00 | 21:00:00 | 15:00:00 | 0:10:00 | 90 | 45 | 45 | 90 |
| 17 | 6:00:00 | 22:00:00 | 16:00:00 | 0:05:00 | 192 | 96 | 96 | 192 |
| Total | | | | | | 215 | 215 | 430 |

Fórmula para el número de pasadas de ejes equivalentes de 8.2 tn, en el carril de diseño.

$$N = TPD \times \frac{k_1}{100} \times \frac{k_2}{100} \times 365 \times \frac{(1+r)^n - 1}{\ln(1+r)} \times FC$$

Tablas utilizadas para los parámetros del diseño estructural.

| DISTRIBUCIÓN DE TRÁNSITO POR CARRIL (k) | |
|---|--|
| Número de carriles | Porcentaje de vehículos pesados en el carril de diseño |
| 2 | 50 50 |
| 4 | 45 45 |
| 6 | 40 40 |

| TASA DE CRECIMIENTO (r) | | |
|-------------------------|------------|---------------------------|
| Tipo de Vehículo | Porcentaje | Tasa Anual de crecimiento |
| automóviles | % 1 | α 1 |
| ómnibus | % 2 | α 2 |
| Camiones livianos | % 3 | α 3 |
| Camiones pesados | % 4 | α 4 |

TABLA 5.1 NIVELES DE CONFIABILIDAD SUGERIDOS POR LA AASHTO

| FUNCION DE LA CARRETERA | URBANOS | RURALES |
|---|----------------|----------------|
| Corredores Arteriales (malla esencial) | 85-99 | 80-99 |
| Colectores (Autopistas RI-RII, clase I-II) | 80-99 | 75-95 |
| Otros | 50-80 | 50-80 |

Tabla 13.9. normal combinado, So.

| Proyecto de pavimento | Flexible | Rígido |
|------------------------------|--------------------|--------------------|
| | 0.40 - 0.50 | 0.30 - 0.40 |
| Construcción nueva | 0,45 | 0,35 |
| Sobrecapas | 0,50 | 0,40 |

TABLA 5.5 VALORES RECOMENDADOS DE INDICE DE SERVICIO

| FUNCIÓN DE LA CARRETERA | PSI_o | PSI_t | ΔPSI |
|---|------------------------|------------------------|-------------|
| Corredores Arteriales (malla esencial) | 4,5 | 2,5 | 2,0 |
| Colectores (Autopistas RI-RII, Clase I-II) | 4,5 | 2,0 | 2,5 |
| Otros | 4,2 | 2,0 | 2,2 |

| CALIDAD DE DRENAJE | MENOR QUE 1% | 1-5% | 5-25% | MAYOR 25% |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------|
| Excelente | 1.40 - 1.35 (1.20) | 1.35 - 1.30 (1.20) | 1.30 - 1.20 (1.20) | 1,20 (1.20) |
| Bueno | 1.35 - 1.25 (1.20) | 1.25 - 1.15 (1.20) | 1.15 - 1.00 (1.10) | 1,00 (1.00) |
| Regular | 1.25 - 1.15 (1.20) | 1.15 - 1.05 (1.10) | 1.0 - 0.80 (0.90) | 0,80 (0.80) |
| Malo | 1.15 - 1.05 (1.10) | 1.05 - 0.80 (0.90) | 0.80 - 0.60 (0.80) | 0,60 (0.80) |
| Muy Malo | 1.05 - 0.95 (1.00) | 0.95 - 0.75 (0.85) | 0.75 - 0.40 (0.80) | 0,40 (0.80) |

| ESPEORES MÍNIMOS RECOMENDADOS | | |
|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| ESAL | CARPETA ASFÁLTICA (IN) | BASE GRANULAR (IN) |
| <50000 | 1.0 (o tratamiento superficial) | 4 |
| 50001 - 150000 | 2,00 | 4 |
| 150001 - 500000 | 2,50 | 4 |
| 500001 - 2000000 | 3,00 | 6 |
| 2000001 - 7000000 | 3,50 | 6 |
| >7000000 | 4,00 | 6 |

| Confiabilidad | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Confiabilidad, R (Porcentaje) | Desviación Normal estándar, ZR |
| 50 | -0 000 |
| 60 | -0 253 |
| 70 | -0 524 |
| 75 | -0 674 |
| 80 | -0 841 |
| 85 | -1 037 |
| 90 | -1 282 |
| 91 | -1 340 |
| 92 | -1 405 |
| 93 | -1 476 |
| 94 | -1 555 |
| 95 | -1 645 |
| 96 | -1 751 |
| 97 | -1 881 |
| 98 | -2 054 |
| 99 | -2 327 |
| 99 9 | -3 090 |
| 99 99 | -3 750 |