

Práctica empresarial como auxiliar de ingeniería civil en los procesos de diseño de pavimentos
en la Empresa Consultores Solano Navas LTDA

Jeison Augusto Rodríguez Orduz

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil

Director

Sergio Manuel Pineda Vargas

Doctor en Ingeniería Mecánica y Mecánica Aplicada

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Ingeniería Civil

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

Para mi madre Yenny Orduz, mi padre Cesar Rodríguez, mi abuela Nieves Bueno y mi familia, que han sido mi mayor apoyo y motivación para lograr esta meta, son quienes se han esforzado día a día para darme lo mejor y formarme como persona.

Agradecimientos

A mis padres y abuela por haber brindado todo tipo de apoyo durante este proceso de formación para mi vida profesional.

A la empresa CONSULTORES SOLANO NAVAS por brindarme la oportunidad de realizar las prácticas empresariales, abrirme sus puertas y ser parte de este logro tan importante para mi vida.

Al ingeniero Marco Antonio quien compartió sus conocimientos conmigo y me guio durante las prácticas empresariales.

A mi director de proyecto de grado, profesor Sergio Pineda por su tiempo, dedicación y orientación.

Tabla de Contenido

| | Pág. |
|--|-------------|
| 1 Aspectos introductorios | 12 |
| 1.1 Introducción | 12 |
| 1.2 Descripción de la empresa y sus antecedentes..... | 14 |
| 1.2.1 Consultores Solano Navas LTDA (CSN) | 14 |
| 1.2.2 Misión de Consultores Solano Navas LTDA (CSN)..... | 14 |
| 1.2.3 Visión de Consultores Solano Navas LTDA (CSN)..... | 15 |
| 1.3 Objetivos..... | 15 |
| 1.3.1.1 Objetivo General..... | 15 |
| 1.3.1.2 Objetivos Específicos..... | 15 |
| 2 Marco de referencia | 16 |
| 2.1 Marco conceptual..... | 16 |
| 2.1.1 Pavimento | 16 |
| 2.1.2 Pavimento flexible | 16 |
| 2.1.3 Pavimento rígido..... | 17 |
| 2.1.4 Bases granulares..... | 17 |
| 2.1.5 Placas huellas | 18 |
| 2.1.6 Subrasante | 18 |
| 2.1.7 Estimación de tránsito de diseño..... | 18 |
| 2.1.8 Período de diseño | 19 |
| 2.1.9 Estudios geotécnicos..... | 19 |
| 2.1.10 Ensayos de penetración estándar | 19 |

| | | |
|---------|--|----|
| 2.1.11 | Ensayo de CBR..... | 20 |
| 2.1.12 | Límite líquido..... | 20 |
| 2.1.13 | Límite plástico | 21 |
| 2.1.14 | Presupuesto de obra | 21 |
| 2.2 | Marco legal | 22 |
| 2.2.1 | Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito 22 | |
| 2.2.2 | Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito, segunda versión (2018)..... | 22 |
| 2.2.3 | Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito | 23 |
| 2.2.4 | Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella..... | 23 |
| 2.2.5 | Cartilla de obras menores de drenaje y estructuras viales | 23 |
| 2.2.6 | Resolución 4100 del 28 de diciembre de 2004 del Ministerio de Transporte | 24 |
| 3 | Metodología | 24 |
| 3.1 | Inducción..... | 25 |
| 3.1.1 | Reconocimiento de los formatos de la empresa para estudios de suelos | 25 |
| 3.1.1.1 | Formato de ensayo de clasificación, límites de consistencia y gradación. | 25 |
| 3.1.1.2 | Formato de ensayo de laboratorio de C.B.R. | 26 |
| 3.1.1.3 | Formato de ensayo de Proctor modificado. | 27 |
| 3.1.2 | Reconocimiento de los formatos de la empresa para estudios de tránsito..... | 28 |
| 3.1.2.1 | Formato de conteo de vehículos | 28 |
| 3.1.2.2 | Formato de volúmenes de tránsito. | 29 |

| | | |
|---------|--|----|
| 3.2 | Capacitación..... | 30 |
| 3.2.1 | Recopilación de la información obtenida en campo de los aforos de tránsito..... | 30 |
| 3.2.1.1 | Tránsito del municipio de Yondó, Departamento de Antioquia | 30 |
| 3.2.1.2 | Tránsito del municipio de Tibú, Departamento de Norte de Santander. | 32 |
| 3.2.2 | Recopilación de la información obtenida en campo de apiques en el Barrio 25 de Enero en el municipio de Yondó – Antioquia | 34 |
| 3.3 | Ejecución..... | 35 |
| 3.3.1 | Asignación de actividades a desarrollar por parte del practicante | 35 |
| 4 | Desarrollo y resultados de la práctica empresarial | 36 |
| 4.1 | Calcular el tránsito para la pavimentación del Barrio 25 de Enero del municipio de Yondó en el departamento de Antioquia | 36 |
| 4.1.1 | Factor de distribución direccional..... | 36 |
| 4.1.2 | Factor de distribución por carril..... | 37 |
| 4.1.3 | Factor de equivalencia | 37 |
| 4.1.3.1 | Tasas de crecimiento de vehículos mixtos..... | 38 |
| 4.1.3.2 | Tránsito generado..... | 38 |
| 4.1.3.3 | Tránsito atraído | 39 |
| 4.1.4 | Cálculo del número de ejes equivalentes | 39 |
| 4.1.5 | Resultados de tránsito para los aforos realizados en el municipio de Yondó..... | 42 |
| 4.2 | Calcular el tránsito para la pavimentación en placa-huella de 7 tramos en diferentes veredas del municipio de Tibú en el departamento de Norte de Santander y realizar su respectivo informe de tránsito | 43 |

| | | |
|-----|--|----|
| 4.3 | Apoyar en el diseño de la placa-huella y cálculo de cantidades para el proyecto del municipio de Tibú en el departamento de Norte de Santander | 44 |
| 4.4 | Apoyar en la elaboración del informe geotécnico de la pavimentación del barrio 25 de Enero del municipio de Yondó | 46 |
| 4.5 | Realizar el diseño de pavimento rígido según INVIAS y el método PCA-84 para la pavimentación del Barrio 25 de Enero del municipio de Yondó..... | 48 |
| 5 | Aportes al conocimiento | 55 |
| 6 | Conclusiones y Recomendaciones | 56 |
| | Referencias bibliográficas..... | 58 |

Lista de Tablas

| | Pág. |
|--|-------------|
| Tabla 1. <i>Localización de apiques en el Barrio 25 de Enero en el municipio de Yondó</i> | 34 |
| Tabla 2. <i>Factor de distribución direccional</i> | 36 |
| Tabla 3. <i>Factor de distribución para el carril de diseño</i> | 37 |
| Tabla 4. <i>Factores de equivalencia</i> | 38 |
| Tabla 5. <i>Tasa de crecimiento según el TPD</i> | 39 |
| Tabla 6. <i>Resultado del tránsito proyectado para un periodo de 20 años</i> | 42 |
| Tabla 7. <i>Resultados de número de ejes equivalentes para los 5 aforos realizados en el barrio 25 de enero</i> | 43 |
| Tabla 8. <i>Resultados de número de ejes equivalentes para los 7 aforos realizados en Tibú</i> | 44 |
| Tabla 9. <i>Categorías de subrasante según el % de CBR</i> | 46 |
| Tabla 10. <i>Resultados de CBR al 95% y módulo resiliente para los apiques realizados en Yondó</i> | 47 |
| Tabla 11. <i>Espesores de losa de concreto en centímetros de acuerdo la combinación de variables para un tipo de tránsito To</i> | 54 |

Lista de Figuras

| | Pág. |
|--|-------------|
| Figura 1. <i>Formato de ensayo de clasificación, límites de consistencia y gradación</i> | 25 |
| Figura 2. <i>Formato de ensayo de CBR, lectura de carga y obtención de resultado</i> | 26 |

| | |
|--|----|
| Figura 3. <i>Formato de ensayo de CBR, cálculo de compactación, humedad y expansión</i> | 27 |
| Figura 4. <i>Formato de ensayo de Proctor modificado</i> | 28 |
| Figura 5. <i>Formato de ensayo de conteo vehicular</i> | 29 |
| Figura 6. <i>Formato de ensayo de volúmenes de tránsito</i> | 30 |
| Figura 7. <i>Localización de los aforos vehiculares en el Barrio 25 de Enero</i> | 31 |
| Figura 8. <i>Localización de información de aforos de Yondó</i> | 31 |
| Figura 9. <i>Localización de los aforos vehiculares en Tibú – Norte de Santander</i> | 33 |
| Figura 10. <i>Localización de información del proyecto del municipio de Tibú – Norte de Santander</i> | 33 |
| Figura 11. <i>Sección de la placa-huella planteada y diseñada</i> | 46 |
| Figura 12. <i>Vías por intervenir en el Barrio 25 de Enero del municipio de Yondó, Antioquia</i> | 49 |
| Figura 13. <i>Resultados del diseño del pavimento por medio del software PCAcálculo</i> | 50 |
| Figura 14. <i>Módulo de rotura vs % de Erosión y Fatiga</i> | 51 |
| Figura 15. <i>Módulo de reacción del conjunto vs % de Erosión y Fatiga</i> | 52 |
| Figura 16. <i>Espesor de losa vs % de Erosión y Fatiga</i> | 52 |
| Figura 17. <i>Recomendaciones para las barras de anclaje y pasadores de carga</i> | 53 |
| Figura 18. <i>Datos del pavimento para el cálculo del espesor del pavimento</i> | 55 |

Resumen

Título: Práctica empresarial como auxiliar de ingeniería civil en los procesos de diseño de pavimentos en la Empresa Consultores Solano Navas LTDA *

Autor: Jeison Augusto Rodríguez Orduz**

Palabras Clave: Pavimento rígido, Pavimento flexible, Placas huellas, Tránsito, CBR, Espesor

Descripción: El siguiente documento presenta el trabajo realizado como proyecto de grado para optar por el título de ingeniero civil por medio de la modalidad de prácticas empresariales como auxiliar de ingeniería en el proceso de diseño de pavimentos en la empresa CONSULTORES SOLANO NAVAS LDTA. Las principales actividades desarrolladas durante la práctica fueron apoyar el cálculo del tránsito, informes geotécnicos y diseño de pavimentos para el proyecto del Barrio 25 de Enero en el municipio de Yondó, Antioquia. A su vez, el apoyo para el diseño de las placas-huellas y el cálculo de su tránsito en el municipio de Tibú, Norte de Santander, para así darle cumplimiento a los objetivos de la práctica. Se presenta la metodología para llevar a cabo las actividades, donde se reconocen los formatos en Excel de la empresa para el cálculo de resultados del laboratorio de suelos y cálculo de ejes equivalentes. Además, se recopila la información de los aforos de tránsito y apiques realizados. Al final del documento, se presentan los aportes de la práctica donde se realiza una plantilla en Excel para el cálculo del espesor del pavimento rígido, y así mismo los resultados obtenidos, los cuales corresponden al número de ejes equivalentes, CBR para un grado de compactación del 95% de la subrasante y los espesores del pavimento rígido según INVIAS y la metodología de PCA a través del software PCACálculo para el proyecto del Barrio 25 de Enero.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Ingeniería Civil. Director: Sergio Manuel Pineda Vargas. Doctor en Ingeniería Mecánica y Mecánica Aplicada.

Abstract

Title: Business practice as a civil engineering assistant in the pavement design process at Consultores Solano Navas LTDA*

Author(s): Jeison Augusto Rodríguez Orduz**

Key Words: Rigid pavement, Flexible pavement, Tread plates, Transit, CBR, Thickness

Description: The following document presents the work done as a degree project to obtain the degree of civil engineer through the modality of business practices as an engineering assistant in the process of pavement design in the company CONSULTORES SOLANO NAVAS LDTA. The main activities developed during the internship were to support the traffic calculation, geotechnical reports and pavement design for the project of Barrio 25 de Enero in the municipality of Yondó, Antioquia. At the same time, the support for the design of the slabs-footprints and the calculation of their traffic in the municipality of Tibú, Norte de Santander, in order to fulfill the objectives of the practice. The methodology to carry out the activities is presented, where the Excel formats of the company for the calculation of results of the soil laboratory and calculation of equivalent single axle loads (ESAL) are recognized. In addition, the information of the traffic and shafts carried out is compiled. At the end of the document, the contributions of the practice are presented, where an Excel template made for the calculation of the thickness of rigid pavements, as well as the results obtained, which correspond to the number of ESAL, CBR for a compaction degree of 95% of the subgrade and the thicknesses of the rigid pavement according to INVIAS and the PCA methodology through the PCAcalculo software for the project of Barrio 25 de Enero

* Degree Work

** Faculty of Physical and Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Civil Engineering. Director: Sergio Manuel Pineda Vargas. PhD in Mechanical Engineering and Applied Mechanics.

1 Aspectos introductorios

1.1 Introducción

El desarrollo de una nación se puede ver afectado y limitado si no hay comunicación o comercio entre sus pueblos. Por lo que, los avances en función de la infraestructura vial son importantes, ya que con la construcción y mejora de las vías se impulsan las actividades sociales, de turismo, comercio y agricultura. Para una nación como Colombia, que fundamenta sus principales actividades económicas en las materias primas o en la agricultura, es de vital importancia el mejoramiento y construcción de las vías secundarias y terciarias, las cuales ayudan en la activación del comercio interno de las regiones y el avance del país (Poveda Pastran, 2022).

Aunque los países de América Latina y el Caribe comparten fuertes lazos culturales, históricos y económicos, aún existen grandes limitaciones de comunicación y conectividad entre ellos. Esto, se debe al poco desarrollo de las naciones de la región, donde la inversión en infraestructura es escasa, teniendo todavía zonas rurales incomunicadas de las urbes, por lo cual, es un gran reto mejorar el estado de las vías secundarias y terciarias, para así mejorar la movilidad y servicios de logística entre los sectores más apartados de las regiones. No solo es importante mejorar la accesibilidad de un territorio, si no también garantizar la facilidad con la que sus habitantes y productos allí producidos puedan salir y ser comercializados en diferentes regiones y ser conectados con el resto de la población (Pérez, 2020).

En este orden de ideas, en Colombia, la gestión vial se encuentra a cargo de la nación, los departamentos y los municipios. Cada nivel administrativo tiene a su cargo una malla vial, con diferente importancia y longitud. La red primaria la constituye vías que unen las principales ciudades, puertos y fronteras terrestres, siendo la que presenta la mayor movilidad de pasajeros y

carga del país. La red secundaria se compone de vías bidireccionales, que comunican los municipios entre sí y son responsabilidad de los departamentos. La red de vías terciarias conecta las veredas con las cabeceras municipales y las vías departamentales (Ospina Ovalle, 2016).

En este sentido, en las vías nacionales de primer, segundo y tercer orden, se construyen obras de drenaje, como alcantarillas, cunetas, canales de descarga y box Culverts. También, se construyen estructuras de protección como estribos de puentes, muros de concreto, gaviones y estructuras para estabilizar taludes, por lo que, es necesario realizar estudios geotécnicos para construirlas (Hernández García et al., 2018).

La variedad de suelos y de formaciones rocosas que se extienden a lo largo del país, hacen que los estudios geotécnicos siempre deban ser incluidos en los diseños, construcción y presupuesto de cualquier tipo de proyecto y obra de infraestructura, representando una gran parte económica de los proyectos y garantizando un adecuado comportamiento de la estructura con el suelo, con lo que se obtiene una seguridad estructural debido a la relación suelo-estructura por medio de la cimentación y garantizando su correcta funcionalidad (Gil Ariza, 2018).

Por otra parte, las prácticas empresariales son una gran oportunidad en la que los estudiantes pueden generar relaciones y contactos profesionales, lo cual puede ser beneficioso para su carrera futura como profesional. También durante este periodo se pone en práctica lo aprendido durante la formación en las aulas de clase, afrontándose a problemas y situaciones del mundo laboral a diario. CONSULTORES SOLANO NAVAS LTDA es una empresa dedicada a la interventoría, estudios y diseños en infraestructura vial, como diseño de rehabilitación de vías, diseño de obras de mantenimiento vial, diseño de pavimentos rígidos y diseño de pavimentos flexibles, en la cual también se prestan asesorías técnicas especializadas en las áreas de geotecnia,

estructuras, acueductos, entre otros. Las prácticas empresariales se enfocaron en el diseño de pavimentos y estudios geotécnicos, para el diseño de vías nuevas o rehabilitación.

1.2 Descripción de la empresa y sus antecedentes

1.2.1 Consultores Solano Navas LTDA (CSN)

“En CONSULTORES SOLANO NAVAS LTDA., desarrollamos servicios de ingeniería y laboratorio de suelos a nivel nacional, mediante la elaboración de estudios, diseños, construcción, interventoría de proyectos de obras civiles y el estudio de materiales para construcción. Nuestro enfoque en la satisfacción del cliente, se orienta a garantizar un servicio de calidad, caracterizado por el cumplimiento en la entrega, la confiabilidad en los trabajos y ensayos ejecutados, gracias al uso de equipos, herramientas especializadas, contratistas, proveedores y profesionales competentes y consientes de lograr la mejora continua del Sistema de Gestión de la Calidad, así como la mejora en el desempeño de cada uno de los procesos con base en la prevención de los riesgos y el aprovechamiento de las oportunidades, para asegurar la satisfacción de nuestras partes interesadas pertinentes” (CSN, 2018).

1.2.2 Misión de Consultores Solano Navas LTDA (CSN).

“La misión de CONSULTORES SOLANO NAVAS LTDA es una empresa de ingeniería dedicada a la elaboración de estudios, diseños, construcción, interventoría de proyectos de obras civiles y estudio de materiales para construcción efectuados en su propio laboratorio de suelos, concretos y pavimentos, apoyados en la tecnología de sus equipos e infraestructura, conocimiento y experiencia de sus profesionales de apoyo para satisfacer de forma eficiente las necesidades de los contratantes” (CSN, 2018).

1.2.3 Visión de Consultores Solano Navas LTDA (CSN).

“La visión de CONSULTORES SOLANO NAVAS LTDA es para el año 2025 CSN mantendrá y fortalecerá su búsqueda de reconocimiento y crecimiento regional y nacional en la elaboración de estudios, diseños, construcción, interventoría de proyectos de obras civiles que ha logrado durante sus años de experiencia en el mercado y de su mano desarrollará y alcanzará el reconocimiento y liderazgo nacional en el estudio de materiales para construcción con el apoyo de su laboratorio de suelos, concretos y pavimentos, soportado en el uso de equipos especializados y personal calificado” (CSN, 2018).

1.3 Objetivos

1.3.1.1 Objetivo General

Brindar apoyo como auxiliar de Ingeniería Civil en la empresa CONSULTORES SOLANO NAVAS LTDA en los proyectos que se encuentran en ejecución actualmente en el área de diseño de pavimentos y estudios geotécnicos con la finalidad de aportar los conocimientos adquiridos durante la carrera.

1.3.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar el acompañamiento en los diseños de pavimentos flexibles o rígidos según las especificaciones técnicas y a su vez el cálculo de volúmenes de tránsito, niveles de servicio y redacción de documentos.
- Apoyar la realización de cálculos y estimación de presupuestos, fichas técnicas y procesos constructivos de los proyectos de la empresa CONSULTORES SOLANO NAVAS LTDA.

- Acompañar los procesos de la clasificación de suelos, cálculo de capacidades portantes, cálculo de CBR y redacción de documentos de informe, de los estudios de suelos realizados por la empresa para la ejecución de proyectos en desarrollo.

2 Marco de referencia

2.1 Marco conceptual

2.1.1 Pavimento

Es una estructura de capas de diferentes materiales y espesores cuya función principal es distribuir cargas concentradas de las ruedas de los vehículos, de manera que la subrasante pueda soportarlas sin fallar o presentar deformaciones excesivas. Las condiciones que debe presentar un pavimento son: una superficie lisa, no resbaladiza, que resista a la intemperie y proteja a la subrasante de perder sus propiedades o partículas, por efecto de la lluvia u otros factores. (Miranda Rebolledo, 2010).

2.1.2 Pavimento flexible

Los pavimentos flexibles están conformados por cemento asfáltico, el cual es un material de consistencia sólida o semisólida de color café oscuro o negro, que está constituido por betunes o mezclas de hidrocarburos, los cuales se encuentran en la naturaleza como tales o se obtienen por medio de la refinación de petróleo. Se dice que el asfalto es un material bituminoso ya que contiene bitumen, es decir, un hidrocarburo soluble en disulfuro de carbono (Burgos Vasquéz, 2014).

Las carpetas de rodadura constituidas por mezclas asfálticas, que soportan las solicitudes de tránsito, absorben estructuralmente los esfuerzos horizontales y parte de los verticales, ya que las cargas generadas por los vehículos se distribuyen hacia las capas inferiores con partículas de

materiales granulares características como la fricción y la cohesión. Dichas cargas generan pequeñas deformaciones que se transmiten entre las capas que componen el pavimento sin que la estructura se rompa o falle (Miranda Rebolledo, 2010). Las capas que conforman en general, los pavimentos flexibles son: carpeta asfáltica, base y subbase, las cuales se construyen sobre la capa subrasante.

2.1.3 Pavimento rígido

Los pavimentos rígidos están conformados por una losa de concreto hidráulico, la cual se apoya sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionado (Base de material granular). Debido a la alta rigidez que presenta el concreto y su elevado coeficiente de elasticidad, los esfuerzos generados por las cargas dinámicas de los vehículos se distribuyen en zonas muy amplias. Siendo el concreto capaz de resistir esfuerzos a tensión en cierto grado, por lo cual el comportamiento del pavimento rígido es suficientemente satisfactorio cuando se presentan zonas de la subrasante débiles. La capacidad estructural del pavimento depende en gran parte de la resistencia de la losa, por lo que la base granular o subrasante no influye en el diseño del espesor de la capa (Ospina Camacho, 2018).

2.1.4 Bases granulares

Las bases granulares en los pavimentos son las capas que soportan la carpeta de rodadura, generalmente son capas de suelos granulares, con partículas que deben tener suficiente fricción entre ellas para resistir y permanecer estables ante las cargas. Por lo cual, deben de cumplir con un límite máximo de finos que pasan el tamiz número 200, manteniendo así el grado de compactación y cohesión entre sus partículas. El exceso de finos en dichas capas puede causar problemas de drenaje al pavimento, generando así un deterioro acelerado en la capa de rodadura. Las bases granulares siempre debe de ser compactadas hasta alcanzar su densidad máxima para minimizar

las deformaciones permanentes generadas por las cargas de los vehículos (Huamán Carbajal, 2020).

2.1.5 Placas huellas

Las placas huellas se conforman por losas delgadas de concreto reforzado con anchos promedios de 0.90 metros y espesores entre 0.15 y 0.20 metros. También están conformadas por vigas, riostras, cunetas, bermas y bordillos, que confinan longitudinal y transversalmente a la placa y la subbase. Estos elementos se funden sobre una capa de afirmado de base granular o suelo cemento. A su vez, una característica de las placas huellas es que entre ellas se construye una losa de concreto ciclópeo con piedra pegada, lo que reduce sus costos de construcción y las hace adecuadas para vías terciarias (Murgueitio Valencia et al., 2015).

2.1.6 Subrasante

Es la capa de terreno natural que soporta la estructura de pavimento. Esta capa depende directamente de la sección transversal y longitudinal del traspado vial, por lo cual, puede estar formada en corte o en relleno del terreno. La capa debe contar con la pendiente longitudinal y la compactación necesaria para soportar las cargas especificadas en los planos de diseño. Consecuentemente, el espesor del pavimento dependerá directamente de la calidad de la subrasante y esta deberá cumplir con unos requisitos de rigidez mínimos, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad (Ospina Camacho, 2018).

2.1.7 Estimación de tránsito de diseño

La estimación de tránsito de vehículos sobre las estructuras de pavimentos es una de las variables más importantes a considerar en el análisis de estas estructuras. Obtener una estimación precisa y acertada es esencial para garantizar que las estructuras diseñadas cumplan con la durabilidad y la proyección esperada por el diseñador (Benavides Bastidas et al., 2018).

2.1.8 Período de diseño

Los análisis de proyección del tránsito se estiman en periodos de 10 a 20 años según el tipo de pavimento que se proyecte o el que sea más conveniente para la ejecución del proyecto. Estos análisis, bajo las premisas teóricas, deben coincidir con el periodo de diseño estructural del pavimento (Londoño Naranjo et al., 2008).

2.1.9 Estudios geotécnicos

Son un conjunto de actividades que comprenden la investigación del subsuelo, los análisis y las recomendaciones de ingeniería para el diseño y construcción de obras. La exploración del subsuelo por medio de ensayos de campo, como ensayos de penetración estándar (SPT) o apiques, y ensayos de laboratorio, los cuales permiten la caracterización física, mecánica e hidráulica del subsuelo. De esta manera, se pueda garantizar que las estructuras construidas tengan un comportamiento adecuado y estabilidad. (Torres Suárez, 2003).

2.1.10 Ensayos de penetración estándar

El ensayo de penetración estándar, conocido por sus siglas en inglés (*Standard Penetration Test - SPT*). Surgió en 1927 en América del Norte. Este ensayo marcó el inicio formal y sistematizado de los ensayos in-situ. Fue desarrollado por un sondista de la compañía Raymond Concrete Pile, quien posteriormente propuso a K.Terzaghi contar el número de golpes necesarios para hincar 30 centímetros el tomador de muestras (Vega Salazar, 2016).

El ensayo consiste en contabilizar el número de golpes necesarios para introducir 45 centímetros de una toma-muestra, también conocida como cuchara partida, dentro de un estrato de suelo. La toma-muestra es golpeada bajo energía constante con una masa de 63.5 kilogramos y con una caída de 76.2 centímetros, según lo indicado por las normativas correspondientes.

El ensayo presenta algunos criterios de rechazo cuando el terreno es muy resistente y no se logra una penetración considerable bajo una cantidad de golpes determinados. El ensayo se da por finalizado cuando se cumplan los siguientes parámetros: se aplican 50 golpes para un tramo de 15 centímetros, se aplican 100 golpes en total y no se observa penetración alguna para 10 golpes (Vega Salazar, 2016).

2.1.11 Ensayo de CBR

El índice de Soporte de California, conocido por sus siglas en inglés (California Bearing Ratio – CBR), tiene como finalidad determinar la capacidad de soporte de suelos, agregados compactados y de muestra inalteradas, con niveles de compactación variables. Este ensayo se utiliza para evaluar la calidad relativa del suelo de subrasante, subbase y base granular.

El CBR mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas. Se define como la fuerza requerida para que un pistón normalizado penetrar a una profundidad determinada y controlada, expresada en porcentaje de la fuerza necesaria para que el pistón penetre a esa misma profundidad y con igual velocidad en una probeta normalizada de material estándar (García González, 2003).

2.1.12 Límite líquido

Se define como la cantidad de humedad en la que el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido con la presencia de agua y se expresa en términos de porcentaje de humedad. Para realizar el ensayo de límite líquido se requiere la cazuela de Casagrande, en la que se esparce una porción de muestra de suelo y se divide en dos partes iguales con un ranurador. Se deja caer la cazuela en repetidas ocasiones y se contabiliza en número de caídas sobre la base, hasta que el suelo cierre debido a los golpes. Se repite el procedimiento 3 veces y se calcula el límite de acuerdo

con la tendencia del porcentaje de la humedad y el número de caídas para hacer fluir el suelo (García Castillo, 2015).

2.1.13 Límite plástico

Se define como la cantidad de humedad en la que el suelo pasa de un estado semisólido a un estado plástico. El ensayo para calcular el límite plástico consiste en presionar una porción de suelo húmedo en repetidas ocasiones hasta logra formar rollos de un diámetro de 3.2 milímetros aproximadamente, de tal manera que se pueda alcanzar el punto de humedad en el que se produce el agrietamiento o desmoronamiento de los rollos. El límite plástico es la humedad más baja en la que se pueden formar los rollos de suelo sin que se presenten grietas o se desboronen (García Castillo, 2015).

2.1.14 Presupuesto de obra

Se entiende como presupuesto de obra la determinación y la asignación de los recursos necesarios para la ejecución de los objetivos del proyecto o de una obra. El cual es no es únicamente una presentación o un esquema de valores organizados o un listado de recursos. Es una importante herramienta que ayudara a planificar estratégicamente la ejecución de un proyecto, y la comunicación entre todos los participantes. Del mismo modo, al ser la base del proyecto, se permite un manejo de recursos, que son distribuidos a cada una de las actividades que se van a desarrollar durante la ejecución, las cuales tienen una cantidad determinada. Cuando se crea un presupuesto se está creando una base de datos o un registro histórico que genera experiencia para futuros proyecto de similares características. El presupuesto a su vez es una herramienta de control que ayuda a realizar un seguimiento al plan de ejecución de la obra establecido, permitiendo conocer las diferencias entre lo planificado y lo ejecutado, en aras de tomar las medidas correctivas necesarias (Rebolledo Bolaños, 2003).

2.2 Marco legal

2.2.1 Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito

La ley ha fijado al Instituto Nacional de Vías la responsabilidad de apoyar a los entes territoriales, tanto en los aspectos de organización de sus agencias viales, como en los de transferencia de tecnología. En cumplimiento de este último principio, donde se ofrecen recomendaciones en relación con el diseño de pavimentos para vías rurales con escasos volúmenes de tránsito pesado, a partir de información básica que resulte accesible a las frecuentemente reducidas posibilidades de los entes viales de los organismos territoriales. Tales especificaciones están en el programa de apoyo para aplicar este Manual llamado PAV-NT1 (Murgueitio Valencia et al., 2007).

2.2.2 Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito, segunda versión (2018)

El manual de diseño de pavimentos de vías con medios y altos volúmenes de tránsito tiene como finalidad proporcionar al país una herramienta actualizada, adaptada a los materiales y condiciones climáticas del país y acorde a las especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo de materiales del año 2013, que le permita solucionar los problemas de pavimentos flexibles nuevos y reconstrucciones totales de una forma homogénea y con una suficiencia estructural que procure la racionalización y protección de las inversiones en pavimentación (Benavides Bastidas et al., 2018).

2.2.3 Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito

El manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito está orientado hacia el diseño de pavimentos de concreto para carreteras de diversa índole, desde caminos rurales hasta vías de primer orden. Otras aplicaciones de los pavimentos de concreto como son la pavimentación de vías urbanas, parqueaderos, patios industriales, muelles, vías para la explotación de minas o aeropuertos están por fuera del alcance de este manual. El objetivo del manual es el de establecer un catálogo de diseño de estructuras en función de las variables más importantes que inciden en la determinación de los espesores y calidades de las capas (Londoño Naranjo et al., 2008).

2.2.4 Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella

La guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella se orienta al diseño de pavimentos en placa-huella, que dan a la ingeniería nacional un conocimiento teórico y práctico, una opinión para la pavimentación de vías terciarias que conlleva a la utilización de materiales y mano de obra locales. Se adopta dicha guía de diseño mediante el decreto 4401 de 2017 del Ministerio de Transporte (Murgueitio Valencia et al., 2015).

2.2.5 Cartilla de obras menores de drenaje y estructuras viales

La cartilla de obras menores de drenaje y estructuras viales se orienta en apoyar el diseño, presupuesto y construcción de elementos de drenaje tales como cunetas y alcantarillas desde un enfoque hidráulico y estructural. A su vez, diseños de puentes, pontones y *box culverts*, en el cual se presentan diferentes anchos y longitudes de diseño, donde se incluyen sus planos de detalles y despieces de aceros. También presenta diseños en muros de contención y estribos, donde se detallan sus dimensiones y cantidades de obra. Además, un capítulo de diseño de estructuras de

pavimento flexible, rígido, semirrígido, placa-huella y caminos ancestrales, junto a sus planos de detalle y cantidades de obra (Hidalgo Montoya et al., 2020).

2.2.6 Resolución 4100 del 28 de diciembre de 2004 del Ministerio de Transporte

La resolución 4100 del 28 de diciembre de 2004, en la que el Ministerio de Transporte adopta los límites de pesos brutos vehiculares, máximos pesos por eje y dimensiones de los vehículos de transporte terrestre de carga por carretera, para su operación normal en red vial a nivel nacional, de acuerdo con las definiciones, designaciones y clarificaciones establecidas en la Norma Técnica Colombiana NTC 4788 (Resolución 4100 de 2004).

3 Metodología

En un periodo de cuatro (4) meses, la práctica empresarial consistió en desempeñar labores como asistente en el diseño de pavimentos y estudios geotécnicos, y se dividió en tres etapas para cumplir con su propósito. Inicialmente, se recibió una inducción por parte del tutor, en la que se explicaron los procesos necesarios para ejecutar los proyectos, el cálculo de resultados y entregables. Después, se realizó una capacitación interactiva basada en la obtención de resultados de laboratorios de suelos y aforos de tránsito con plantillas de Excel de la empresa y la lectura de manuales de diseño de pavimentos, usando como guía principal los lineamientos del Instituto Nacional de Vías (INVIAS). Una vez finalizada la fase de capacitación, se inició la ejecución práctica de todos los conocimientos adquiridos, elaborando informes de suelos, informes de tránsito, informes de diseño de pavimentos y presupuestos de obra, todo bajo la supervisión del tutor.

3.1 Inducción

Fue la primera etapa del proceso de prácticas, que duró dos semanas, donde se abarcaron y aclararon las actividades a realizar durante el proceso, que duró dieciséis (16) semanas.

3.1.1 Reconocimiento de los formatos de la empresa para estudios de suelos

3.1.1.1 Formato de ensayo de clasificación, límites de consistencia y gradación.

El formato que se observa en la figura 1 consiste en obtener los resultados de gradación del suelo por medio del tamizaje realizado en el laboratorio, el cálculo del porcentaje de humedad, límites de consistencia (límite líquido y límite plástico), índice de plasticidad, porcentaje de gravas, arenas y finos, con los que se puede clasificar el suelo según la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras y Transporte Estatales (A.A.S.H.T.O) y el Sistema Unificado de Clasificación de suelos.

Figura 1.

Formato de ensayo de clasificación, límites de consistencia y gradación

| CSN | | ENSAYO DE CLASIFICACIÓN LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN I.M.V.E. | | CÓDIGO: PO-011 | |
|----------------------------|--|--|--|-----------------------|--|
| | | 122-13 - E - 123-13 - E - 125-13 - E - 126-13 | | VERSION: 1 | |
| | | | | FECHA: NOVIEMBRE 2020 | |
| FECHA: | | | | | |
| ORDEN DE SERVICIO No.: | | | | | |
| EMPRESA SOLICITANTE: | | | | | |
| PROYECTO: | | | | | |
| UBICACIÓN: | | | | | |
| CONTRATISTA: | | | | | |
| FECHA DE LOS RESULTADOS: | | | | | |
| TIPO DE MATERIAL: | | | | | |
| N.º DE HUMEDAD: | | | | | |
| PESO DE RECIPI. + SUELO: | | | | | |
| PESO DE RECIPI. + SUELO: | | | | | |
| PESO RECIPI. VACÍO: | | | | | |
| PESO AGUA: | | | | | |
| PESO RECIPI. VACÍO: | | | | | |
| N.º HUMEDAD: | | | | | |
| LÍMITES DE CONSISTENCIA | | | | | |
| LÍMITE LÍQUIDO (LL) | | | | | |
| LÍMITE PLÁSTICO (LP) | | | | | |
| ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP) | | | | | |
| GRUPO | | | | | |
| ARENAS | | | | | |
| FINOS | | | | | |
| CLASIFICACIÓN | | | | | |
| Índice de Grupo | | | | | |
| A.A.S.H.T.O. | | | | | |
| U.S.C. | | | | | |
| DATOS SONDEO | | | | | |
| MUESTRA | | | | | |
| RECOMENDADO POR: | | | | | |
| GRADACIÓN | | | | | |
| Paso (mm) | | Paso (mm) | | Paso (mm) | |
| % | | % | | % | |
| 1" (25.4) | | 75 (3.0) | | 100.00% | |
| 3/4" (19.0) | | 60 (2.4) | | 100.00% | |
| 1/2" (12.5) | | 40 (1.6) | | 100.00% | |
| 3/8" (9.5) | | 35 (1.4) | | 100.00% | |
| No. 20 (0.85) | | 30 (1.2) | | 100.00% | |
| No. 40 (0.425) | | 25 (1.0) | | 100.00% | |
| No. 60 (0.25) | | 20 (0.8) | | 100.00% | |
| No. 100 (0.15) | | 15 (0.6) | | 100.00% | |
| No. 200 (0.075) | | 10 (0.4) | | 100.00% | |
| Total | | 100 | | 100.00% | |
| Paso 200 | | 0.0 | | 0.00% | |
| Total | | 100 | | 100.00% | |
| Límites de Atterberg | | | | | |
| Límite Líquido (LL) | | | | | |
| Límite Plástico (LP) | | | | | |
| Índice de Plasticidad (IP) | | | | | |
| Grupos | | | | | |
| Arenas | | | | | |
| Finos | | | | | |
| CLASIFICACIÓN | | | | | |
| Índice de Grupo | | | | | |
| A.A.S.H.T.O. | | | | | |
| U.S.C. | | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | | |
| ELABORADO POR: | | | | | |
| REVISADO POR: | | | | | |
| APROBADO POR: | | | | | |
| FECHA DE ENTREGA: | | | | | |


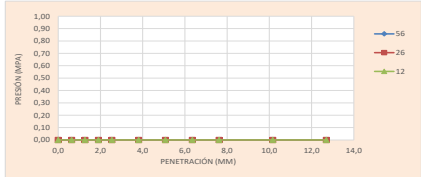
Nota. Recuperado de “formatos de Consultores Solano Navas LTDA”.

3.1.1.2 Formato de ensayo de laboratorio de C.B.R.

El formato que se observa en la figura 2 y 3, consiste en calcular el % CBR por medio de las lecturas de las cargas y a determinada distancia de penetración, las cuales dependen de la compactación del material, la humedad de la muestra. Que son importantes para obtener el porcentaje de CBR corregido, con el cual se trabajará y se tendrá de referencia para la subrasante de la vía.

Figura 2.


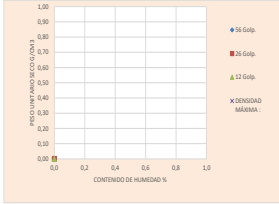

Formato de ensayo de CBR, lectura de carga y obtención de resultado

| | | | | | | |
|---|----------|---|---------------|---|------------|---------------|
|  | | CONSULTORES SOLANO NAVAS LTDA ENSAYO C.B.R. DE LABORATORIO NORMA I.N.V.E. 148 / 2013 | | CODIGO: FO-27 VERSION: 3 FECHA: FEBRERO DE 2018 | | |
| FECHA | | | | | | |
| ORDEN DE SERVICIO No. | | | | | | |
| PROYECTO | | | | | | |
| UBICACIÓN | | | | | | |
| TIPO DE MATERIAL | | | | | | |
| MOLDE No. | 1 | | 3 | | 8 | |
| No DE GOLPES | 56 | | 26 | | 12 | |
| DIAS DE INMERSIÓN | 4 | | 4 | | 4 | |
| PENETRACIÓN (mm) | LEC | CARGA (KN) | PRESIÓN (MPa) | LEC | CARGA (KN) | PRESIÓN (MPa) |
| 0,0 | 0 | | 0,00 | 0 | | 0,00 |
| 0,6 | 1 | | 0,00 | 1 | | 0,00 |
| 1,3 | 2 | | 0,00 | 2 | | 0,00 |
| 1,9 | 3 | | 0,00 | 3 | | 0,00 |
| 2,5 | 4 | | 0,00 | 4 | | 0,00 |
| 3,8 | 5 | | 0,00 | 5 | | 0,00 |
| 5,1 | 6 | | 0,00 | 6 | | 0,00 |
| 6,4 | 7 | | 0,00 | 7 | | 0,00 |
| 7,6 | 8 | | 0,00 | 8 | | 0,00 |
| 10,2 | 9 | | 0,00 | 9 | | 0,00 |
| 12,7 | 10 | | 0,00 | 10 | | 0,00 |
| CBR A 0.1" | 0,0 | | 0,0 | | 0,0 | |
| CBR A 0.2" | 0,0 | | 0,0 | | 0,0 | |
| CBR CORR. 0.1" | 0,0 | | 0,0 | | 0,0 | |
| CBR CORR. 0.2" | 0,0 | | 0,0 | | 0,0 | |
|  | | | | | | |
| %Densidad max | Densidad | CBR | CBR CORREGIDO | | | |
| 95% | 0,00 | 0,0 | #IVALORI | | | |
| 98% | 0,00 | 0,0 | #IVALORI | | | |
| 100% | 0,00 | 0,0 | #IVALORI | | | |
| OBSERVACIONES | | | | REALIZADO POR: | | |
| | | | | VISTO BUENO DE: | | |
| | | | | APROBADO POR: | | |
| | | | | FECHA DE ENTREGA: | | |

Nota. Recuperado de “formatos de Consultores Solano Navas LTDA”.

Figura 3.

Formato de ensayo de CBR, cálculo de compactación, humedad y expansión

| | | | | |
|--|--|---|--|--|
|  | | CONSULTORES SOLANO NAVAS LTDA ENSAYO C.B.R. DE LABORATORIO NORMA I.N.V E- 148 / 2013 | | CÓDIGO: PD-21 VERSIÓN: 3 FECHA FEBRERO DE 2013 |
| FECHA | | | | |
| ORDEN DE SERVICIO No. | | | | |
| PROYECTO | | | | |
| UBICACIÓN | | | | |
| CONTRATISTA | | | | |
| FECHA DE LOS ENSAYOS | | | | |
| TIPO DE MATERIAL | | | | |
| COMPACTACION Prueba No. _____ No. De golpes _____ Humedad deseada 0,0 0,0 0,0 Humedad natural #IDIV/OI #IDIV/OI #IDIV/OI Humedad adicional #IDIV/OI #IDIV/OI #IDIV/OI Peso muestra húmeda, (g) 0 0 0 Peso muestra seca, (g) #IDIV/OI #IDIV/OI #IDIV/OI Agua adicional _____ Molde No. _____ Peso molde _____ Volumen molde (cm ³) _____ Peso molde + muestra húmeda (g) _____ | | |  | |
| HUMEDAD DE MOLDEO Tara No. _____ Peso tara + suelo húmedo (g) _____ Peso tara + suelo seco (g) _____ Peso tara (g) _____ Humedad (%) #IDIV/OI #IDIV/OI #IDIV/OI Peso unitario seco (g/cm ³) #IDIV/OI #IDIV/OI #IDIV/OI | | | VALORES CBR CORREGIDO %  | |
| EXPANSIÓN DEL MATERIAL Altura muestra en el molde (mm) _____ Lectura inicial (mm) 0,00 0,00 0,00 Lectura día 1 expansión (mm) _____ Lectura día 2 expansión (mm) _____ Lectura día 3 expansión (mm) _____ Lectura día 4 expansión (mm) _____ % expansión 0,02% 0,22% 0,31% | | | | |
| HUMEDAD DE PENETRACION Tara No. _____ Peso tara + suelo húmedo (g) _____ Peso tara + suelo seco (g) _____ Peso tara (g) _____ Humedad penetración (%) #IDIV/OI #IDIV/OI #IDIV/OI | | | | |
| OBSERVACIONES | | | ELABORADO POR: | |
| | | | REVISADO POR: | |
| | | | APROBADO POR: | |
| | | | FECHA DE ENTREGA: | |


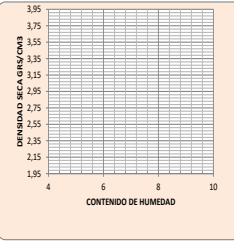
Nota. Recuperado de “formatos de Consultores Solano Navas LTDA”.

3.1.1.3 Formato de ensayo de Proctor modificado.

El formato que se observa en la figura 4 permite calcular la densidad máxima y el contenido de humedad óptima. En el formato se suministran los datos obtenidos en laboratorio tales como peso del molde más el suelo húmedo, peso del molde, peso del suelo seco; con dichos datos se obtiene la gráfica de densidad seca Vs el contenido de humedad de las muestras, y así poder obtener la máxima densidad y humedad óptima.

Figura 4.

Formato de ensayo de Proctor modificado

|  | | CONSULTORES SOLANO NAVAS LTDA | | CODIGO: FO-27 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------|--|-------------------|------------------------|--------------------|--------------------------|-----|----|-------------------|---|---------------------------|---------------------|--|-----------------|------------------|----------------|---|--|--|--|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-------------------------------------|------|------|------|------|-----------|--|--|--|--|---------|--|--|--|--|-----------------------------|--|--|--|--|---------------------------|--|--|--|--|---------------|------|------|------|------|------------------|--|--|--|--|---------------------|--|--|--|--|------------------------|---------|---------|---------|---------|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| | | RELACIONES DE HUMEDAD-MASA UNITARIA SECA EN LOS SUELOS ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN I.N.V. E 142/2013 | | VERSION: 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | FECHA: FEBRERO DE 2018 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FECHA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ORDEN DE SERVICIO No. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EMPRESA SOLICITANTE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PROYECTO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| UBICACIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CONTRATISTA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FECHA DE LOS ENSAYOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TIPO DE MATERIAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>MOLDE PROCTOR MODIFICADO</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PESO MOLDE + SUELO HUMEDO</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PESO MOLDE .gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PESO SUELO HUMEDO .gr</td> <td>0,0</td> <td>0,0</td> <td>0,0</td> <td>0,0</td> </tr> <tr> <td>DENSIDAD HUMEDA .gr/cm³</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align:center">HUMEDADES</td> </tr> <tr> <td>CAPSULA</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PESO CAP + SUELO HUMEDO .gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PESO CAP + SUELO SECO .gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PESO AGUA .gr</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>PESO CAPSULA .gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PESO SUELO SECO .gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CONTENIDO DE HUMEDAD %</td> <td>#/0#/#/</td> <td>#/0#/#/</td> <td>#/0#/#/</td> <td>#/0#/#/</td> </tr> <tr> <td>DENSIDAD SECA .gr/cm³</td> <td>#/0#/#/</td> <td>#/0#/#/</td> <td>#/0#/#/</td> <td>#/0#/#/</td> </tr> </tbody> </table> | | | | | | MOLDE PROCTOR MODIFICADO | 1 | 2 | 3 | 4 | PESO MOLDE + SUELO HUMEDO | | | | | PESO MOLDE .gr | | | | | PESO SUELO HUMEDO .gr | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | DENSIDAD HUMEDA .gr/cm ³ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | HUMEDADES | | | | | CAPSULA | | | | | PESO CAP + SUELO HUMEDO .gr | | | | | PESO CAP + SUELO SECO .gr | | | | | PESO AGUA .gr | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | PESO CAPSULA .gr | | | | | PESO SUELO SECO .gr | | | | | CONTENIDO DE HUMEDAD % | #/0#/#/ | #/0#/#/ | #/0#/#/ | #/0#/#/ | DENSIDAD SECA .gr/cm ³ | #/0#/#/ | #/0#/#/ | #/0#/#/ | #/0#/#/ |
| MOLDE PROCTOR MODIFICADO | 1 | 2 | 3 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PESO MOLDE + SUELO HUMEDO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PESO MOLDE .gr | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PESO SUELO HUMEDO .gr | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DENSIDAD HUMEDA .gr/cm ³ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| HUMEDADES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CAPSULA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PESO CAP + SUELO HUMEDO .gr | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PESO CAP + SUELO SECO .gr | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PESO AGUA .gr | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PESO CAPSULA .gr | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PESO SUELO SECO .gr | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD % | #/0#/#/ | #/0#/#/ | #/0#/#/ | #/0#/#/ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DENSIDAD SECA .gr/cm ³ | #/0#/#/ | #/0#/#/ | #/0#/#/ | #/0#/#/ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <tr> <td>PESO DEL MOLDE :</td> <td>0,0</td> <td>gr</td> <td>DENSIDAD MÁXIMA :</td> <td></td> <td>gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>VOLUMEN DEL MOLDE :</td> <td></td> <td>cm³</td> <td>HUMEDAD ÓPTIMA :</td> <td></td> <td>%</td> </tr> </table> | | | | | | PESO DEL MOLDE : | 0,0 | gr | DENSIDAD MÁXIMA : | | gr/cm ³ | VOLUMEN DEL MOLDE : | | cm ³ | HUMEDAD ÓPTIMA : | | % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PESO DEL MOLDE : | 0,0 | gr | DENSIDAD MÁXIMA : | | gr/cm ³ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VOLUMEN DEL MOLDE : | | cm ³ | HUMEDAD ÓPTIMA : | | % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ELABORADO POR: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| REVISADO POR: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| APROBADO POR: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FECHA DE ENTREGA: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Nota. Recuperado de “formatos de Consultores Solano Navas LTDA”.

3.1.2 Reconocimiento de los formatos de la empresa para estudios de tránsito

3.1.2.1 Formato de conteo de vehículos

El formato de conteo vehicular que se observa en la figura 5 es donde se discretiza el tráfico en tres grandes grupos los cuales son autos, buses y camiones. Teniendo en cuenta que los camiones se dividen en cinco grupos C2-P, C2-G, C3, C3-S2 y C3-S3. Se cuenta la cantidad de vehículos que pasan sobre la vía cada 15 minutos por 24 horas y 7 días de la semana, esto para lograr un mayor espectro de datos y realizar un mejor procesamiento e interpretación de ellos. Obteniendo el tránsito promedio diario semanal, uno de los parámetros principales para calcular los espesores del pavimento.

Figura 5.

Formato de ensayo de conteo vehicular

| HORA INICIO | | HORA FINAL | | AUTOS | | BUSSES | | C2-P | C2-H | C3 Y C4 | | C5 | C5 | OBSERVACIONES |
|-------------|-------------|------------|--|-------|--|--------|--|------|------|---------|--|----|----|---------------|
| | | | | | | | | | | | | | | |
| 06:00 a. m. | 06:15 a. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 06:15 a. m. | 06:30 a. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 06:30 a. m. | 06:45 a. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 06:45 a. m. | 07:00 a. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 07:00 a. m. | 07:15 a. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 07:15 a. m. | 07:30 a. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 07:30 a. m. | 07:45 a. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 07:45 a. m. | 08:00 a. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 08:00 a. m. | 08:15 a. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 08:15 a. m. | 08:30 a. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 08:30 a. m. | 08:45 a. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 08:45 a. m. | 09:00 a. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 09:00 a. m. | 09:15 a. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 09:15 a. m. | 09:30 a. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 09:30 a. m. | 09:45 a. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 09:45 a. m. | 10:00 a. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 10:00 a. m. | 10:15 a. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 10:15 a. m. | 10:30 a. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 10:30 a. m. | 10:45 a. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 10:45 a. m. | 11:00 a. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 11:00 a. m. | 11:15 a. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 11:15 a. m. | 11:30 a. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 11:30 a. m. | 11:45 a. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 11:45 a. m. | 12:00 p. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 12:00 p. m. | 12:15 p. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 12:15 p. m. | 12:30 p. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 12:30 p. m. | 12:45 p. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 12:45 p. m. | 01:00 p. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 01:00 p. m. | 01:15 p. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 01:15 p. m. | 01:30 p. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 01:30 p. m. | 01:45 p. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 01:45 p. m. | 02:00 p. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 02:00 p. m. | 02:15 p. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 02:15 p. m. | 02:30 p. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 02:30 p. m. | 02:45 p. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 02:45 p. m. | 03:00 p. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 03:00 p. m. | 03:15 p. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 03:15 p. m. | 03:30 p. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 03:30 p. m. | 03:45 p. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 03:45 p. m. | 04:00 p. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 04:00 p. m. | 04:15 p. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 04:15 p. m. | 04:30 p. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 04:30 p. m. | 04:45 p. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 04:45 p. m. | 05:00 p. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 05:00 p. m. | 05:15 p. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 05:15 p. m. | 05:30 p. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 05:30 p. m. | 05:45 p. m. | | | | | | | | | | | | | |
| 05:45 p. m. | 06:00 p. m. | | | | | | | | | | | | | |
| Total | | | | | | | | | | | | | | |
| Aviso | | | | | | | | | | | | | | |

Nota. Recuperado de “formatos de Consultores Solano Navas LTDA”.

3.1.2.2 Formato de volúmenes de tránsito.

El formato que se observa en la figura 6 consiste en llenar la información obtenida en hojas de Excel, divididas en los 7 días de la semana que se realiza el conteo, donde la hoja suma el total de vehículos que transitan en la vía según su tipo. Luego, la información se lleva al formato de volúmenes de tránsito, que agrupa el total de vehículos que transitan en la vía en siete días y calcula el promedio diario semanal.

Figura 6.

Formato de ensayo de volúmenes de tránsito

| VOLUMENES DIARIOS DE TRANSITO | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|----|-------|-------|-----------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|------------------|---------|
| CONTEOS DIARIOS | Autos | Buses | C2- P | C2- G | C3 | C3-S2 | C3-S3 | T. DIARIO | %Autos | %Buses | %C2- P | %C2- G | %C3 | %C3-S2 | %C3-S3 | % Total Camiones | %TOTAL |
| DIA 1 | 27 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 31 | 87,10 | 0,00 | 6,45 | 3,23 | 3,23 | 0,00 | 0,00 | 12,90 | 100,00 |
| DIA 2 | 21 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 24 | 87,50 | 0,00 | 4,17 | 4,17 | 4,17 | 0,00 | 0,00 | 12,50 | 100,00 |
| DIA 3 | 22 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 25 | 88,00 | 0,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 0,00 | 0,00 | 12,00 | 100,00 |
| DIA 4 | 26 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 30 | 86,67 | 0,00 | 6,67 | 3,33 | 3,33 | 0,00 | 0,00 | 13,33 | 100,00 |
| DIA 5 | 26 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 29 | 89,66 | 0,00 | 3,45 | 3,45 | 3,45 | 0,00 | 0,00 | 10,34 | 100,00 |
| DIA 6 | 24 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 28 | 85,71 | 0,00 | 7,14 | 3,57 | 3,57 | 0,00 | 0,00 | 14,29 | 100,00 |
| DIA 7 | 24 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 27 | 88,89 | 0,00 | 3,70 | 3,70 | 3,70 | 0,00 | 0,00 | 11,11 | 100,00 |
| Promedio Diario-Semanal | 24 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 28 | 87,63% | 0,00% | 5,15% | 3,61% | 3,61% | 0,00% | 0,00% | 12,37% | 100,00% |
| TPDS | 28 | | | | | | | | | | | | | | | | |

Nota. Recuperado de “formatos de Consultores Solano Navas LTDA”.

3.2 Capacitación

Fue la segunda etapa del proceso de prácticas, que duró cuatro semanas, donde se afianzaron los conocimientos obtenidos en la capacitación y se realizaron nuevas actividades como la recopilación de información obtenida en campo y lectura detalla de las normas.

3.2.1 Recopilación de la información obtenida en campo de los aforos de tránsito

3.2.1.1 Tránsito del municipio de Yondó, Departamento de Antioquia

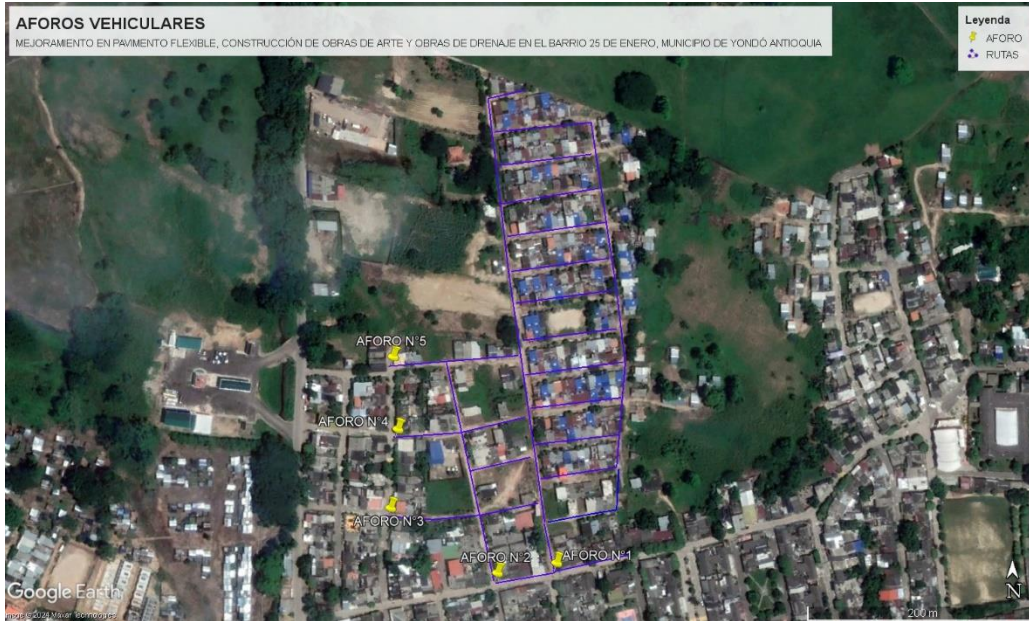
Se recopila la información de los aforos de tránsito por medio de conteos manuales que fueron realizados en el barrio 25 de enero del municipio de Yondó, durante doce horas continuas y durante 7 días de la semana, desde el día 04 de marzo hasta el día diez 10 de marzo del 2024. Los cuales contaron con cinco puntos estratégicos de toma de aforos en todo el barrio para poder contar y discretizar los vehículos que entran y salen del barrio.

Distribución de los aforos:

- El aforo número 1 se realizó en la Carrera 53 con calle 55
- El aforo número 2 se realizó en la Carrera 54 con calle 55
- El aforo número 3 se realizó en la Carrera 55a con calle 56
- El aforo número 4 se realizó en la Carrera 55a con calle 57
- El aforo número 5 se realizó en la Carrera 55a con calle 58

Figura 7.

Localización de los aforos vehiculares en el Barrio 25 de Enero



Nota. Recuperado de “Google Earth”.

La información recopilada de los aforos es guardada en los respectivos formatos de Excel y en una carpeta común de datos del proyecto.

Figura 8.

Localización de información de aforos de Yondó

| Nombre | Fecha de modificación | Tipo | Tamaño |
|--|-----------------------|----------------------|----------|
| 1. ESTUDIO TRÁNSITO YONDO #1 - AFORO SIN IMPORTAR EL SENTIDO | 9/04/2024 1:51 p. m. | Hoja de cálculo d... | 3.431 KB |
| 2. ESTUDIO TRÁNSITO YONDO #2 - AFORO SIN IMPORTAR EL SENTIDO | 9/04/2024 1:51 p. m. | Hoja de cálculo d... | 3.431 KB |
| 3. ESTUDIO TRÁNSITO YONDO #3 - AFORO SIN IMPORTAR EL SENTIDO | 9/04/2024 1:51 p. m. | Hoja de cálculo d... | 3.434 KB |
| 4. ESTUDIO TRÁNSITO YONDO #4 - AFORO SIN IMPORTAR EL SENTIDO | 9/04/2024 1:51 p. m. | Hoja de cálculo d... | 3.434 KB |
| 5. ESTUDIO TRÁNSITO YONDO #5 - AFORO SIN IMPORTAR EL SENTIDO | 9/04/2024 1:51 p. m. | Hoja de cálculo d... | 3.439 KB |

Nota. Recuperado del proyecto del Barrio 25 de Enero del municipio de Yondó

3.2.1.2 Tránsito del municipio de Tibú, Departamento de Santander.

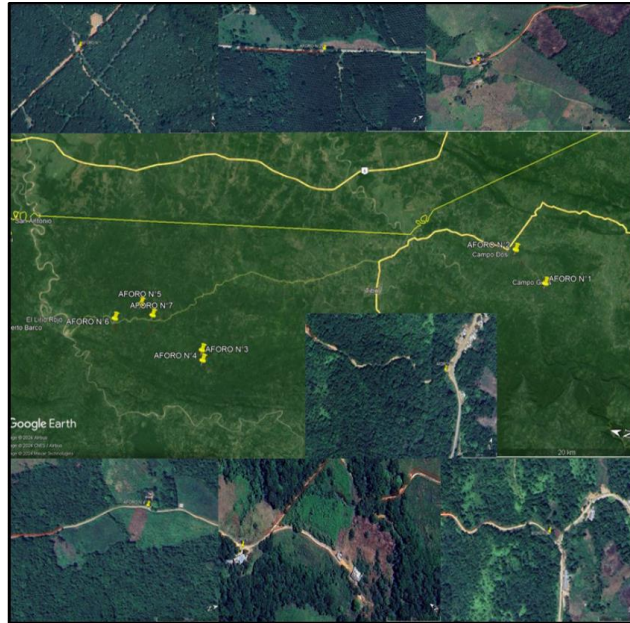
Se recopila la información de los aforos de tránsito por medio de conteos manuales que fueron realizados en los diferentes puntos de aforos en las veredas del municipio de Tibú, específicamente en las siguientes zonas rurales Campo Giles, Campo Dos, Mirador caño indio, Kilometro 42 vía Tibú – La gabarra, Kilometro 46 vía Tibú – La Gabarra y la vereda Vetas. Durante doce horas continuas y durante 7 días de la semana, desde el día cuatro (01) de abril hasta el día siete (07) de abril del dos mil veinticuatro (2024). Contaban con siete puntos estratégicos de toma de aforos en las diferentes zonas rurales del municipio.

Distribución de los aforos:

- El aforo número 1 se realizó en Campo giles
- El aforo número 2 se realizó en Campo Dos
- El aforo número 3 se realizó en el Mirador Caño Indio 1
- El aforo número 4 se realizó en el Mirador Caño Indio 2
- El aforo número 5 se realizó en el Kilómetro 42
- El aforo número 6 se realizó en el Kilómetro 46
- El aforo número 7 se realizó en Vetas

Figura 9.

Localización de los aforos vehiculares en Tibú – Norte de Santander



Nota. Recuperado de “Google Earth”.

La información recopilada de los aforos es guardada en los respectivos formatos de Excel y en una carpeta común de datos del proyecto.

Figura 10.

Localización de información del proyecto del municipio de Tibú – Norte de Santander

| Nombre | Tipo |
|--|----------------------|
| 1. CAMPO GILES #1 - ESTUDIO TRÁNSITO TIBU - 1 AFORO SIN IMPORTAR EL SENTIDO | Hoja de cálculo d... |
| 2. CAMPO DOS #2 - ESTUDIO TRÁNSITO TIBU - 1 AFORO SIN IMPORTAR EL SENTIDO | Hoja de cálculo d... |
| 3. MIRADOR CAÑO INDIÓ #3 - ESTUDIO TRÁNSITO TIBU - 1 AFORO SIN IMPORTAR EL SENTIDO | Hoja de cálculo d... |
| 4. MIRADOR CAÑO INDIÓ #4 - ESTUDIO TRÁNSITO TIBU - 1 AFORO SIN IMPORTAR EL SENTIDO | Hoja de cálculo d... |
| 5. KM42 #5 - ESTUDIO TRÁNSITO TIBU - 1 AFORO SIN IMPORTAR EL SENTIDO | Hoja de cálculo d... |
| 6. KM46 #6 - ESTUDIO TRÁNSITO TIBU - 1 AFORO SIN IMPORTAR EL SENTIDO | Hoja de cálculo d... |
| 7. VETAS #7 - ESTUDIO TRÁNSITO TIBU - 1 AFORO SIN IMPORTAR EL SENTIDO | Hoja de cálculo d... |

Nota. Recuperado del proyecto del municipio de Tibú – Norte de Santander

3.2.2 *Recopilación de la información obtenida en campo de apiques en el Barrio 25 de Enero en el municipio de Yondó – Antioquia*

Se recopila la información de los apiques, donde se confirma la ubicación del apique, el registro fotográfico, la información suministrada por el laboratorista de las granulometrías, límite líquido, límite plástico, humedad, Proctor modificado y CBR a las muestras obtenidas en campo.

Para la pavimentación en pavimento rígido del Barrio 25 de Enero se realizaron 16 apiques distribuidos por todo el barrio, con una profundidad promedio de 1.5 metros. La localización de los apiques en coordenadas planas se puede observar en la tabla 1.

Tabla 1.

Localización de apiques en el Barrio 25 de Enero en el municipio de Yondó

| Apique | Coordenada | |
|--------|--------------|---------------|
| | Latitud | Longitud |
| 1 | 7°0'51.10"N | 73°54'41.60"O |
| 2 | 7°0'50.10"N | 73°54'41.20"O |
| 3 | 7°0'48.90"N | 73°54'41.40"O |
| 4 | 7°0'47.80"N | 73°54'41.00"O |
| 5 | 7°0'47.00"N | 73°54'41.60"O |
| 6 | 7°0'46.10"N | 73°54'41.00"O |
| 7 | 7°0'544.90"N | 73°54'40.90"O |
| 8 | 7°0'44.20"N | 73°54'39.70"O |
| 9 | 7°0'42.90"N | 73°54'40.40"O |
| 10 | 7°0'42.40"N | 73°54'40.40"O |
| 11 | 7°0'43.70"N | 73°54'41.60"O |
| 12 | 7°0'41.90"N | 73°54'41.20"O |
| 13 | 7°0'41.30"N | 73°54'40.30"O |
| 14 | 7°0'40.00"N | 73°54'40.30"O |
| 15 | 7°0'39.40"N | 73°54'39.60"O |
| 16 | 7°0'39.80"N | 73°54'40.00"O |

Nota. Recuperada de la información del proyecto del Barrio 25 de Enero en el municipio de Yondó

3.3 Ejecución

Fue la tercera etapa del proceso de prácticas y la más larga, la cual conto con una duración de diez semanas, donde en las dos semanas finales se trabajó en la elaboración de productos finales de la práctica, durante esta etapa se realizó el cálculo del tránsito de los respectivos proyectos en ejecución, la realización y planteamiento de los informes de los entregables con el acompañamiento continuo del tutor de la práctica.

3.3.1 *Asignación de actividades a desarrollar por parte del practicante*

En esta etapa las principales actividades desarrolladas por el practicante fueron:

- Calcular el tránsito para la pavimentación del Barrio 25 de Enero del municipio de Yondó en el departamento de Antioquia, en pavimento rígido y realizar el informe de tránsito.
- Calcular el tránsito para la pavimentación en placa-huella de 7 tramos en diferentes veredas del municipio de Tibú en el departamento de Norte de Santander y realizar su respectivo informe de tránsito.
- Apoyar en el diseño de la placa-huella y cálculo de cantidades para el proyecto del municipio de Tibú en el departamento de Norte de Santander.
- Apoyar en la elaboración del informe geotécnico de la pavimentación del Barrio 25 de Enero del municipio de Yondó.
- Realizar el diseño de pavimento rígido según INVIAS y el método PCA-84 para la pavimentación del Barrio 25 de Enero del municipio de Yondó.
- Apoyar en la elaboración del presupuesto de obra pavimentación del Barrio 25 de Enero del municipio de Yondó.

4 Desarrollo y resultados de la práctica empresarial

El desarrollo de la práctica en la empresa Consultores Solano Navas LTDA, como auxiliar de ingeniería en los procesos de diseño de pavimentos y el apoyo en la elaboración de informes geotécnicos durante cuatro meses, comprende los siguientes resultados.

4.1 Calcular el tránsito para la pavimentación del Barrio 25 de Enero del municipio de Yondó en el departamento de Antioquia

Se realizó el cálculo del tránsito promedio diario (TPD), para poder proyectar el número de ejes equivalentes que transitarán sobre el pavimento en un periodo de 20 años. Donde se consideran diferentes parámetros como el porcentaje de tránsito atraído, el tránsito generado por la pavimentación, los factores de equivalencia de los vehículos según AASHTO y el método de la cuarta potencia del Manual de diseño de pavimentos flexibles, el ancho de la calzada, los carriles por sentido y la confiabilidad.

4.1.1 Factor de distribución direccional

Según el diseño de la vía se proyectan calzadas de 3.6 metros de ancho con la cual se obtiene el parámetro de factor de distribución direccional, con un valor de 1.0 según los criterios de la tabla 2 según Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito (Murgueitio Valencia et al., 2007).

Tabla 2.

Factor de distribución direccional

| Ancho de la calzada | Tránsito de diseño | Fd |
|-------------------------------------|-----------------------------------|------|
| Menos de 5 m | Total en los dos sentidos | 1.00 |
| Igual o mayor de 5 m y menor de 6 m | 3/4 del total en los dos sentidos | 0.75 |
| Igual o mayor de 6 m | 1/2 del total en los dos sentidos | 0.50 |

Nota. Recuperada del Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito. Ministerio de Transporte.

4.1.2 Factor de distribución por carril

Se plantea un solo carril por cada sentido de la vía, donde se obtiene un factor de distribución para el carril de diseño (Fca) de 1.00 según la tabla 3 según el Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito (Murgueitio Valencia et al., 2007).

Tabla 3.

Factor de distribución para el carril de diseño

| Número total de carriles en cada sentido | Factor de distribución para el carril de diseño (Fca.) |
|---|---|
| 1 | 1.00 |
| 2 | 0.90 |
| 3 | 0.60 |
| 4 o más | 0.45 |

Nota. Recuperada del Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito. Ministerio de Transporte.

4.1.3 Factor de equivalencia

Se toman como referencia los factores de equivalencia de AASHTO y el método de la cuarta potencia para cada tipo de vehículo, sus valores se pueden evidenciar en la tabla 4 según Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito segunda versión (Benavides Bastidas et al., 2018).

Para el diseño del pavimento rígido del barrio 25 de Enero se toma como referencia los factores de equivalencia según la cuarta potencia para el cálculo de los ejes de equivalencia de 80 kN.

Tabla 4.*Factores de equivalencia*

| FACTORES DE EQUIVALENCIA | | |
|--------------------------|------------|------------|
| VEHÍCULO | FDV AASHTO | FDV CUARTA |
| BUSETAS | 0.25 | 0.25 |
| BUS | 0.81 | 0.8 |
| NTERMUNICIPAL 2 EJES | 2.23 | 2.22 |
| NTERMUNICIPAL 3 EJES | 2.26 | 2.37 |
| C2P | 0.31 | 0.32 |
| C2G | 4.03 | 4.12 |
| C3 | 5.22 | 6.18 |
| C2-S1 | 6.18 | 6.26 |
| C3-S2 | 8.16 | 9.68 |
| C3-S3 | 8.16 | 9.68 |

Nota. Recuperada del Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito, segunda versión

4.1.3.1 Tasas de crecimiento de vehículos mixtos

4.1.3.2 Tránsito generado

Es el tránsito que se genera por la mejora de las vías, donde se escoge o se plantea una tasa de crecimiento. Para este proyecto se estima una tasa de crecimiento del 4,0%, ya que se proyecta que la población de Yondó circule y utilice las nuevas vías pavimentadas. También teniendo como referencia la tabla 5 según el Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito, donde se plantean rangos de tasas de crecimiento según el TPDs y para el proyecto se tiene un TPDs de 29 vehículos mixtos, con un porcentaje de 10.80% de vehículos comerciales. (Murgueitio Valencia et al., 2007).

Tabla 5.*Tasa de crecimiento según el TPD*

| TDPS | Tasa de crecimiento (%) | | | | # Estaciones analizadas |
|--------------|-------------------------|----------|-----------------------|----------|-------------------------------|
| | Total vehículos | | Vehículos comerciales | | |
| | Rango | Promedio | Rango | Promedio | |
| < 500 | 2.0 - 4.0 % | 3.6% | 2.0 - 4.0 % | 2.9% | 28 |
| 500 - 1000 | 3.0 - 6.0 % | 3.4% | 2.0 - 4.0 % | 2.6% | 49 |
| 1000 - 2500 | 3.0 - 6.0 % | 4.3% | 2.0 - 5.0 % | 3.3% | 134 |
| 2500 - 5000 | 3.0 - 6.0 % | 4.3% | 3.0 - 5.0 % | 3.4% | 144 |
| 5000 - 10000 | 3.0 - 6.0 % | 4.5% | 3.0 - 5.0 % | 3.8% | 146 |
| > 10000 | 3.0 - 6.0 % | 4.3% | 3.0 - 6.0 % | 3.8% | 89 |

Nota. Recuperada del Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito. Ministerio de Transporte.

4.1.3.3 Tránsito atraído

El tránsito atraído circulará por la vía por las ventajas o beneficios que ofrecerá, y actualmente utiliza otras rutas porque están en mejor estado que las del Barrio 25 de Enero. Se plantea para la proyección del tránsito una tasa de crecimiento de 4% para el tránsito atraído, debido que según el plan de ordenamiento territorial la vía principal del barrio será en el futuro una arteria principal del municipio.

4.1.4 Cálculo del número de ejes equivalentes

Se calculo el número de ejes equivalentes para un periodo de 20 años y una tasa de crecimiento del 4%, con ecuaciones suministradas por el Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito, que plantea dos tipos de ecuaciones según la ecuación 1 por medio del modelo exponencial sugerido por AASTHO o la ecuación 2 por medio del modelo lineal de INVIAS que considera que el crecimiento del tránsito de las vías del país es lineal (Benavides Bastidas et al., 2018).

Ecuación de crecimiento exponencial

$$N = (No) * \frac{(1 + r)^n - 1}{r} \quad (1)$$

Donde:

N: Es el número de ejes equivalentes de 80 kN que circularán por el carril de diseño durante el período de diseño (n).

No: Es el número de ejes equivalentes de 80 kN que circularán por el carril de diseño en el año base o de puesta en servicio del pavimento.

r: Es la tasa de crecimiento anual de tránsito de vehículos comerciales (decimal).

n: Número de años del periodo de diseño.

Ecuación de crecimiento lineal

$$N = (2 * No + (n - 1) * d) * \frac{n}{2} \quad (2)$$

Donde:

N: Es el número de ejes equivalentes de 80 kN que circularán por el carril de diseño durante el período de diseño (n).

No: Es el número de ejes equivalentes de 80 kN que circularán por el carril de diseño en el año base o de puesta en servicio del pavimento.

r: Es la tasa de crecimiento anual de tránsito de vehículos comerciales (decimal).

d = Diferencia común = No*r

n: Número de años del periodo de diseño

Las ecuaciones de crecimiento exponencial y lineal tienen en común una variable desconocida, la cual es el número de ejes equivalentes que circulara en el año base o en la puesta en servicio del pavimento (No), y se calcula con la ecuación 3 (Benavides Bastidas et al., 2018).

$$N_o = (N_i + N_a + N_g) * F_d * F_{ca} \quad (3)$$

Donde:

No: Es el número de ejes equivalentes de 80 kN que circularán por el carril de diseño en el año base o de puesta en servicio del pavimento.

Ni: Es el número de ejes equivalentes de 80 kN en el año de la medición del tránsito o proyecto del pavimento, corregido por el tiempo transcurrido entre este y la puesta en servicio.

Na: Es el número de ejes equivalentes de 80 kN en el año base o de puesta en servicio, atraído de otras carreteras.

Ng: Es el número de ejes equivalentes de 80 kN en el año base o de puesta en servicio, generados por la mejora de la carretera.

Fd: Factor de distribución direccional.

Fca: Factor de distribución por carril.

Luego de obtener el número de ejes equivalentes para el periodo de diseño planteado, se realiza la corrección del tránsito proyectado para garantizar una confiabilidad mayor al 50%, la cual se realiza con la ecuación 4 (Benavides Bastidas et al., 2018).

$$N' = 10^{0.05Z_r} * N \quad (4)$$

Donde:

Zr: el valor del coeficiente correspondiente a una distribución normal y a la confiabilidad deseada.

N': es el tránsito equivalente corregido para proporcionar un determinado nivel de confianza.

Se observan los resultados en la tabla 6 para una confiabilidad del 95% y un Zr de 1.6449.

Tabla 6.

Resultado del tránsito proyectado para un periodo de 20 años

| Año [n] | Año | Confiabilidad del 95% | | | |
|-----------|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------------|
| | | INVIAS Lineal | AASHTO Exponencial | INVIAS N'Lineal | AASHTO N' Exponencial |
| 1 | 2024 | 4,240 | 4,240 | 5,125 | 5,125 |
| 2 | 2025 | 8,651 | 8,651 | 10,454 | 10,454 |
| 3 | 2026 | 13,230 | 13,237 | 15,989 | 15,997 |
| 4 | 2027 | 17,980 | 18,007 | 21,728 | 21,761 |
| 5 | 2028 | 22,899 | 22,968 | 27,673 | 27,756 |
| 6 | 2029 | 27,987 | 28,127 | 33,822 | 33,991 |
| 7 | 2030 | 33,245 | 33,492 | 40,177 | 40,475 |
| 8 | 2031 | 38,673 | 39,073 | 46,736 | 47,219 |
| 9 | 2032 | 44,270 | 44,876 | 53,500 | 54,232 |
| 10 | 2033 | 50,037 | 50,911 | 60,470 | 61,526 |
| 11 | 2034 | 55,974 | 57,188 | 67,644 | 69,112 |
| 12 | 2035 | 62,080 | 63,716 | 75,023 | 77,001 |
| 13 | 2036 | 68,356 | 70,506 | 82,608 | 85,205 |
| 14 | 2037 | 74,802 | 77,566 | 90,397 | 93,738 |
| 15 | 2038 | 81,417 | 84,909 | 98,391 | 102,612 |
| 16 | 2039 | 88,202 | 92,546 | 106,591 | 111,841 |
| 17 | 2040 | 95,156 | 100,488 | 114,995 | 121,439 |
| 18 | 2041 | 102,280 | 108,748 | 123,604 | 131,421 |
| 19 | 2042 | 109,574 | 117,339 | 132,419 | 141,803 |
| 20 | 2043 | 117,037 | 126,273 | 141,438 | 152,599 |

Nota. Recuperada de la información del proyecto del Barrio 25 de Enero en el municipio de Yondó

Donde se obtiene un valor de 152,599 de ejes equivalentes para 20 años, considerando los factores de equivalencia de la cuarta potencia y con referencia una tasa de crecimiento de 4 % y un tránsito de 4241 vehículos comerciales para el primer año.

4.1.5 Resultados de tránsito para los aforos realizados en el municipio de Yondó

En tabla 7 se exponen los resultados obtenidos para los 5 aforos realizados para la pavimentación del Barrio 25 de Enero, cabe resaltar que los aforos tuvieron los mismos parámetros de diseño expuestos anteriormente.

Tabla 7.

Resultados de número de ejes equivalentes para los 5 aforos realizados en el barrio 25 de enero

| Aforos | Periodo de diseño [años] | Número de ejes equivalentes acumulados |
|--------------------------|-------------------------------------|---|
| N°1 – Cra 53 con Cll 55 | 20 | 152,599 |
| N°2 – Cra 54 con Cll 55 | 20 | 152,599 |
| N°3 – Cra 55a con Cll 56 | 20 | 135,901 |
| N°4 – Cra 55a con Cll 57 | 20 | 100,558 |
| N°5 – Cra 55a con Cll 57 | 20 | 126,254 |

Nota. Recuperada de la información del proyecto del Barrio 25 de Enero en el municipio de Yondó

4.2 Calcular el tránsito para la pavimentación en placa-huella de 7 tramos en diferentes veredas del municipio de Tibú en el departamento de Norte de Santander y realizar su respectivo informe de tránsito

Se realizó el cálculo de tránsito para los 7 tramos planteado en el municipio de Tibú, donde se utilizar las mismas formulas planteadas para el cálculo del tránsito en el municipio de Yondó, donde se obtuvo diferentes resultados de aforos, por lo cual se tienen diferentes resultados de TPDs, donde el máximo fue de 64 vehículos mixtos en Campo Giles y el mínimo de 26 vehículos mixtos en mirador Caño Indios, con unos porcentajes de vehículos comerciales de 19.76 y 21.08 respectivamente. Cabe resaltar que las zonas de estudios se encuentran separadas unas de otra.

Los parámetros para el cálculo de número de ejes equivalentes fueron los siguientes, se trabajó con un ancho de calzada de 5 metros, un carril por sentido con un factor direccional de 0.75, una tasa de crecimiento de 5.5% para el transito atraído y una tasa de 5% para el transito generado, una confiabilidad del 95% y un Zr de 1.6449.

Los resultados de los ejes de equivalentes se pueden observar en la tabla 8, donde se proyectó el tránsito en un periodo de 20 años, teniendo en cuenta los factores de equivalencia de la cuarta potencia.

Tabla 8.

Resultados de número de ejes equivalentes para los 7 aforos realizados en Tibú

| Tramo | Periodo de diseño [años] | Número de ejes equivalentes acumulados |
|--------------------------------|-----------------------------|---|
| Tramo N°1 – Campo Giles | 20 | 258.433 |
| Tramo N°2 – Campo Dos | 20 | 260.433 |
| Tramo N°3 – Mirador Caño Indio | 20 | 121.981 |
| Tramo N°4 – Mirador Caño Indio | 20 | 92.142 |
| Tramo N°5 – Km 42 | 20 | 74.667 |
| Tramo N°6 – Km 46 | 20 | 123.363 |
| Tramo N°7 – Vetas | 20 | 146.916 |

Nota. Recuperada de la información del proyecto de la pavimentación en placas-huella en el municipio de Tibú

4.3 Apoyar en el diseño de la placa-huella y cálculo de cantidades para el proyecto del municipio de Tibú en el departamento de Norte de Santander

Se apoyo en el diseño de la placa-huella en la que se tuvieron en cuenta los elementos que la componen, donde se tiene un ancho de calzada de 5.0 metros, la cual se distribuye en dos placas de 0.9 metros de ancho, un concreto ciclópeo de piedra pegada central de 0.9 metros de ancho, en los extremos de las placas un sobre ancho de 0.45 metros en los dos costados y una berma cuneta de 0.7 metros de ancho. Se plantean dimensiones iguales o parecidas a la *cartilla de obras menores de drenaje y estructuras vial* y se tienen como guía los diseños presentados en la cartilla debido a que el proyecto hace parte del programa de “Colombia Rural” (Hidalgo Montoya et al., 2020).

Se plantean una subbase granular de espesor de 15 centímetros, placas de concreto de 21 MPa con espesor de 15 centímetros, las placas estarán reforzadas con acero transversal y longitudinal donde las placas tendrán un largo de 3.0 metros.

A su vez, se plantea una viga riostra la cual les dará confinamiento transversal a las placas con un peralte de 25 centímetros y un ancho de 20 centímetros, la cual ira reforzada con 4 varillas número 3 y ganchos número tres cada 25 centímetros.

La berma-cuneta le dará confinamiento longitudinal a la placa-huella, la cual contará con un bordillo de base de 20 centímetros y alto de 55 centímetros, que se reforzará con 2 varillas número 4 y un gancho en forma de s cada 15 centímetros con una varilla número 3 de longitud de 60 centímetros. La cuneta contará con una placa de espesor de 15 centímetros y un largo de 55 centímetros la cual presentará una inclinación para el bombeo de las aguas, se reforzará con una malla de 3 varillas longitudinales número 4 cada 15 centímetros y varillas transversales número 2 cada 30 centímetros.

Las placas tendrán un refuerzo longitudinal de varillas número 4 cada 15 centímetros y refuerzo transversal número 3 cada 20 centímetros.

Todos los elementos que componen la placa-huella serán construidos con concreto de 21 MPa, excepto la piedra pegada que se compone de un concreto ciclópeo.

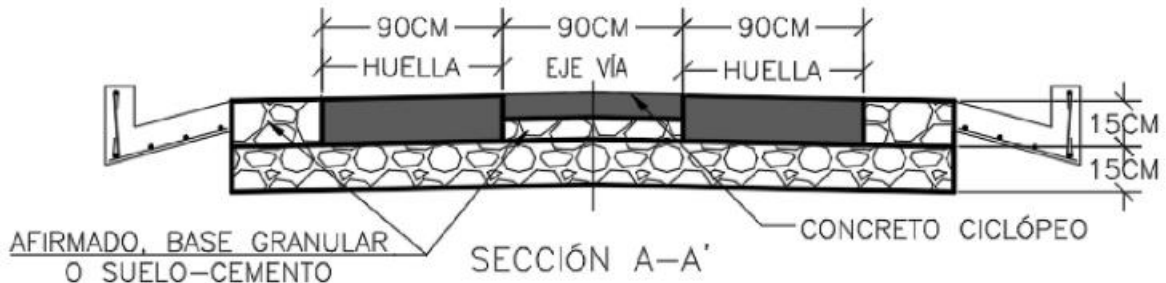
Los sobre anchos en las curvas presentara la misma distribución de acero que las placas.

Al inicio y al final de la placa se construirán rampas de transición las cuales tendrán un ancho de 5 metros y un largo de 1.5 metros, la cual se reforzará con acero longitudinal y transversal número 3 cada 20 centímetros.

En la figura 11 se observa la sección de la placa huella diseñada para el proyecto de Tibú.

Figura 11.

Sección de la placa-huella planteada y diseñada



Nota. Recuperada de la cartilla de obras menores de drenaje y estructuras viales

4.4 Apoyar en la elaboración del informe geotécnico de la pavimentación del barrio 25 de Enero del municipio de Yondó

Se brindó apoyo en el cálculo de los CBR con los formatos y datos obtenidos en los laboratorios de la empresa, se realizaron 16 apiques en el Barrio 25 de Enero en el municipio de Yondó, donde se caracterizaron en 5 categorías según el Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito, las cuales se observan en la tabla 9 (Murgueitio Valencia et al., 2007).

Tabla 9.

Categorías de subrasante según el % de CBR

| Clase o Tipo | CBR% | Comportamiento subrasante |
|--------------|---------|---------------------------|
| S1 | < 2 | Malo |
| S2 | 2 - 5 | Regular |
| S3 | 5 - 10 | Bueno |
| S4 | 20 - 10 | Muy bueno |
| S5 | > 20 | |

Nota. Recuperada del Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito. Ministerio de Transporte

Se observa que los resultados de los CBR al 95% se encuentran en un rango de 3.0 a 4.3, donde se evidencia que las condiciones y propiedades del suelo son similares, a lo largo de todo el barrio, donde se deberá establecer cuál será el CBR de diseño más conveniente para la estructura de pavimento.

Se calcula el módulo resiliente de la subrasante a partir del valor de CBR, para suelos arena limosos y gravas limosas, por medio de la correlación propuesta por AASHTO y tomada del Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con medios y altos volúmenes de tránsito (Benavides Bastidas et al., 2018).

$$Mr = 17.6 * (CBR)^{0.64} \quad (5)$$

Donde:

Mr: Valor del Módulo Resiliente, en MPa

CBR: En porcentaje

En la tabla 10 se observan los resultados del CBR al 95% y el valor del módulo resiliente en PSI.

Tabla 10.

Resultados de CBR al 95% y módulo resiliente para los apiques realizados en Yondó

| Apique | Coordenada | | CBR al 95% | MR [MPa] |
|--------|--------------|---------------|------------|----------|
| | Latitud | Longitud | | |
| 1 | 7°0'51.10"N | 73°54'41.60"O | 3.5 | 39.24 |
| 2 | 7°0'50.10"N | 73°54'41.20"O | 3.3 | 37.79 |
| 3 | 7°0'48.90"N | 73°54'41.40"O | 3.4 | 38.52 |
| 4 | 7°0'47.80"N | 73°54'41.00"O | 3.3 | 37.79 |
| 5 | 7°0'47.00"N | 73°54'41.60"O | 3.2 | 37.05 |
| 6 | 7°0'46.10"N | 73°54'41.00"O | 4.3 | 44.76 |
| 7 | 7°0'544.90"N | 73°54'40.90"O | 4 | 42.74 |
| 8 | 7°0'44.20"N | 73°54'39.70"O | 3 | 35.55 |
| 9 | 7°0'42.90"N | 73°54'40.40"O | 3.2 | 37.05 |
| 10 | 7°0'42.40"N | 73°54'40.40"O | 4.2 | 44.10 |
| 11 | 7°0'43.70"N | 73°54'41.60"O | 4.1 | 43.42 |
| 12 | 7°0'41.90"N | 73°54'41.20"O | 3.1 | 36.31 |
| 13 | 7°0'41.30"N | 73°54'40.30"O | 3.4 | 38.52 |
| 14 | 7°0'40.00"N | 73°54'40.30"O | 3.5 | 39.24 |
| 15 | 7°0'39.40"N | 73°54'39.60"O | 3.2 | 37.05 |
| 16 | 7°0'39.80"N | 73°54'40.00"O | 3 | 35.55 |

Nota. Recuperada de la información del proyecto del Barrio 25 de Enero en el municipio de Yondó

4.5 Realizar el diseño de pavimento rígido según INVIAS y el método PCA-84 para la pavimentación del Barrio 25 de Enero del municipio de Yondó

Se brindo apoyo en el diseño del pavimento rígido para el Barrio 25 de Enero en el municipio de Yondó, Antioquia. En el cual se pavimentará 2350.29 metros, que se distribuirán en las siguientes calles y carreras.

- Carrera 53 entre calle 55 y Calle 61a.
- Carrera 51 entre calle 55a y Calle 61.
- Carrera 54 entre calle 55 y Calle 58.
- Calle 55a entre carrera 53 y carrera 51.
- Calle 56 entre carrera 55a y carrera 51.
- Calle 56a entre carrera 54 y carrera 51.
- Calle 57 entre carrera 55a y carrera 51.
- Calle 57a entre carrera 53 y carrera 51.
- Calle 58 entre carrera 55a y carrera 51.
- Calle 58a entre carrera 53 y carrera 51.
- Calle 59 entre carrera 53 y carrera 51.
- Calle 59a entre carrera 53 y carrera 51.
- Calle 60 entre carrera 53 y carrera 51.
- Calle 60a entre carrera 53 y carrera 51.
- Calle 61 entre carrera 53 y carrera 51.
- Calle 61a entre carrera 53 y carrera 51.

En la figura 12, se observan las vías que serán intervenidas.

Figura 12.

Vías por intervenir en el Barrio 25 de Enero del municipio de Yondó, Antioquia



Nota. Recuperado de "Google Earth"

Según el cálculo de tránsito realizado anteriormente con cinco puntos de aforos en las entradas y salidas del barrio, se obtuvo cinco resultados de número de ejes equivalentes acumulados para un periodo de 20 años donde se escoge el mayor resultado, siendo ciento cincuenta y dos mil quinientos noventa y nueve (152,599) ejes equivalentes de 80 kN los que transitarán hasta el año 2043.

Para el diseño se plantea un CBR de 3.5%, que está entre el rango de los resultados de los 16 apiques, y es el valor promedio de CBR. En las zonas donde el CBR sea menor al valor de 3.5 se plantea realizar un mejoramiento de la subrasante.

Se plantea para el pavimento un concreto hidráulico de módulo de rotura de 4.0 MPa y a su vez una base granular con un espesor de 18 centímetros.

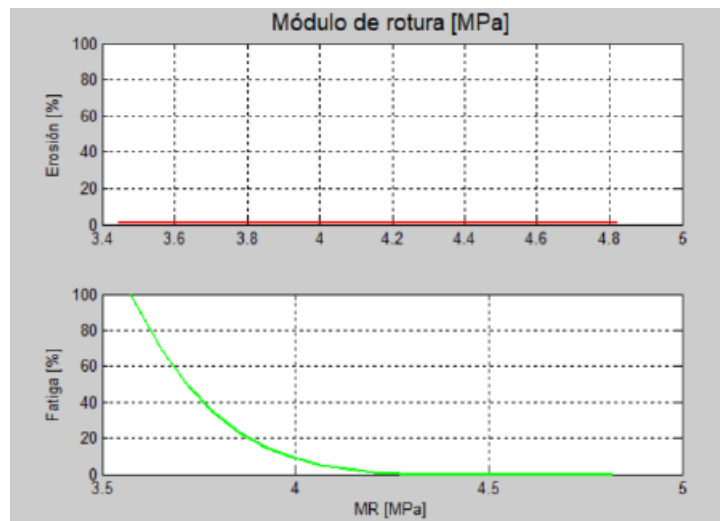
Se trabaja con un factor de seguridad de 1.1, debido a que se plantea que la vía principal del barrio sea una arteria urbana del municipio a futuro. También, se utiliza un diámetro de 12.7 milímetros para los pasadores con una resistencia a la fluencia del acero (f_y) de 420 MPa.

Los resultados del software son favorables para una losa de espesor de 20 centímetros para las cargas y repeticiones esperadas en el periodo de 20 años proyectados, con un porcentaje de fatiga de 8.91 y de erosión de 1.21, siendo los dos menores el 100%, lo que permite deducir que el pavimento no fallará por fatiga ni erosión y el planteamiento inicial es válido.

A su vez, el software nos suministra unas gráficas donde se puede observar el comportamiento de módulo de rotura, módulo de reacción del conjunto y el espesor de la losa vs la fatiga y la erosión.

Figura 14.

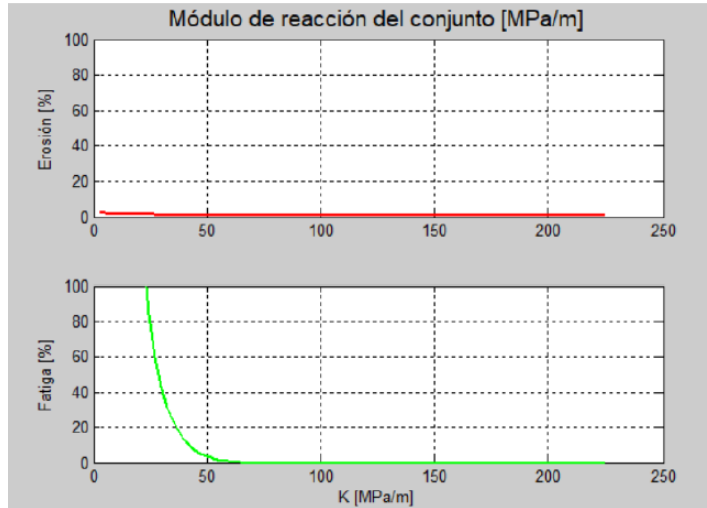
Módulo de rotura vs % de Erosión y Fatiga



Nota. Recuperado del software “PCAcálculo”

Figura 15.

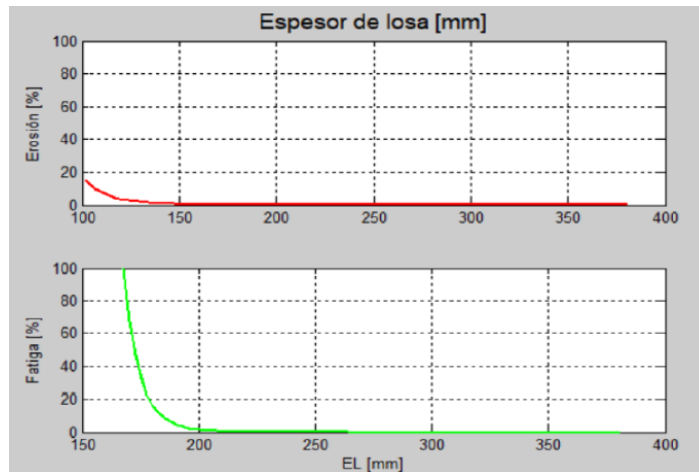
Módulo de reacción del conjunto vs % de Erosión y Fatiga



Nota. Recuperado del software “PCAcálculo”

Figura 16.

Espesor de losa vs % de Erosión y Fatiga



Nota. Recuperado del software “PCAcálculo”

También recomienda las barras de anclaje y los pasadores de carga, donde sugiere una longitud y separación de las barras, que se pueden observar en la siguiente figura.

Figura 17.

Recomendaciones para las barras de anclaje y pasadores de carga

| | | |
|--|------|----|
| Recomendación para barras de anclaje: | | |
| Longitud: | 85 | cm |
| Separación entre barras: | 120 | cm |
| Recomendación para pasadores (fy=60 ksi): | | |
| Longitud: | 35 | cm |
| Separación entre barras: | 30 | cm |
| Diámetro de barras: | 2.54 | cm |

Nota. Recuperado del software “PCAcálculo”

Luego, se diseñará el pavimento mediante el manual de diseño de pavimentos para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito, el cual suministra unas tablas con espesores de losa de concreto en centímetros, en que se deben considerar los siguientes parámetros para seleccionar el espesor: el tránsito proyectado, el CBR del suelo, el tipo de soporte de la losa, el módulo de rotura del concreto que se utilizará y si se confina la estructura del pavimento con bermas laterales y si presenta pasadores de carga (Londoño Naranjo et al., 2008).

El tránsito proyectado a 20 años para el diseño del pavimento es de 152,499 ejes equivalentes, por consiguiente, la categoría del tránsito según el manual es de To, debido a que el CBR que se utiliza para el diseño es de 3.5%. Asimismo, se tiene un suelo tipo S2, el módulo de rotura del concreto que se plantea utilizar es de 4.0 MPa, por lo cual, se obtiene que se trabajará con un MR tipo 2. La estructura de pavimento será soportada por una base granular, el pavimento tendrá dovelas, pero no bermas laterales.

Tabla 11.

Espesores de losa de concreto en centímetros de acuerdo la combinación de variables para un tipo de tránsito To

| | | T0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|----|---|-------|------|----|----|-------|------|----|----|-------|------|----|----|-------|------|----|----|-------|------|
| | | S1 | | | | S2 | | | | S3 | | | | S4 | | | | S5 | | | |
| | | Dy | B | No Dy | No B | Dy | B | No Dy | No B | Dy | B | No Dy | No B | Dy | B | No Dy | No B | Dy | B | No Dy | No B |
| SN | MR1 | - | - | 24 | 28 | 23 | 27 | 23 | 27 | 21 | 24 | 21 | 24 | 20 | 24 | 20 | 24 | 20 | 23 | 20 | 23 |
| | MR2 | - | - | 23 | 27 | 22 | 26 | 22 | 26 | 20 | 24 | 20 | 24 | 20 | 23 | 20 | 23 | 19 | 22 | 19 | 22 |
| | MR3 | - | - | 23 | 26 | 21 | 25 | 21 | 25 | 20 | 23 | 20 | 23 | 19 | 22 | 19 | 22 | 19 | 22 | 19 | 22 |
| | MR4 | - | - | 21 | 24 | 20 | 24 | 20 | 24 | 19 | 22 | 19 | 22 | 18 | 21 | 18 | 21 | 18 | 21 | 18 | 21 |
| BG | MR1 | - | - | 23 | 26 | 22 | 26 | 22 | 26 | 21 | 24 | 21 | 24 | 20 | 23 | 20 | 23 | 20 | 23 | 20 | 23 |
| | MR2 | - | - | 22 | 25 | 21 | 25 | 21 | 25 | 20 | 23 | 20 | 23 | 19 | 22 | 19 | 22 | 19 | 22 | 19 | 22 |
| | MR3 | - | - | 21 | 24 | 20 | 24 | 20 | 24 | 19 | 22 | 19 | 22 | 19 | 22 | 19 | 22 | 18 | 21 | 18 | 21 |
| | MR4 | - | - | 20 | 23 | 19 | 23 | 19 | 23 | 18 | 21 | 18 | 21 | 18 | 21 | 18 | 21 | 17 | 20 | 17 | 20 |
| BEC | MR1 | - | - | 20 | 23 | 19 | 22 | 19 | 22 | 18 | 21 | 18 | 21 | 18 | 20 | 18 | 20 | 17 | 20 | 17 | 20 |
| | MR2 | - | - | 19 | 22 | 19 | 21 | 19 | 21 | 17 | 20 | 17 | 20 | 17 | 20 | 17 | 20 | 17 | 19 | 17 | 19 |
| | MR3 | - | - | 18 | 21 | 18 | 21 | 18 | 21 | 17 | 19 | 17 | 19 | 16 | 19 | 17 | 19 | 16 | 19 | 17 | 19 |
| | MR4 | - | - | 18 | 20 | 17 | 20 | 18 | 20 | 16 | 19 | 17 | 19 | 16 | 18 | 17 | 18 | 16 | 18 | 17 | 18 |

Nota. Recuperado del Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito

Según la tabla 11 para tránsito To, los cuales se encuentran en un rango de 0 a 1,000,000 de ejes equivalentes y las variables de diseño presentadas anteriormente, se obtiene que el espesor de la losa según el manual de INVIAS para concretos rígidos es de 25 centímetros.

Por ello, se observa que el manual de INVIAS es muy conservador en su diseño respecto al diseño obtenido según la metodología PCA-84.

5 Aportes al conocimiento

Se aportó un nuevo formato de Excel para el cálculo del espesor del pavimento rígido según el manual de INVIAS, llamado “Cálculo de espesor de losa para pavimentos rígidos según la normativa de INVIAS” y archivado en la base de datos de la empresa Consultores Solano Navas LTDA, para sus futuros diseños de pavimentos, donde se tabula toda la información suministrada por el manual para así poder calcular el espesor de la losa dándole los parámetros requeridos para el diseño como el tránsito a un periodo de 20 años, resistencia del concreto (módulo de rotura del concreto), porcentaje del CBR de la subrasante, tipo de suelo de soporte donde se va a construir el pavimento y si la estructura presentara dovelas y berma o no. Donde la plantilla de Excel por medio de sus funciones realizará una búsqueda en las tablas y dará el espesor de la losa para los parámetros dados. Por otra parte, se actualizaron las fórmulas del formato de Excel para el cálculo de los números de ejes equivalentes.

Figura 18.

Datos del pavimento para el cálculo del espesor del pavimento

| DATOS | | |
|------------------------------|------------|--------------------------|
| Transito (Ejes equivalentes) | 152,599 | T0 |
| % CBR | 3.5 | S2 |
| Suelo de soporte | BG | Base Granular |
| MR | MR2 | 40 [kg/cm ²] |
| Dovelas | SI | |
| Bermas | NO | |

Nota: Para un periodo de diseño de 20 años

Nota: la BG y BEC tendran un espesor de 15 cm.

| | |
|---------------------------|----------------|
| Espesor de la losa | 25 [cm] |
|---------------------------|----------------|

Recomendaciones para la selección de los pasadores de carga según el espesor del pavimento.

| Diametro del pasador | Longitud del pasador | Separación entre centros de los separadores |
|----------------------|----------------------|---|
| 32 [mm] | 1 ¼ | 300 [mm] |

6 Conclusiones y Recomendaciones

El desarrollo de la práctica empresarial permitió adquirir y desarrollar nuevas habilidades para llevar a cabo el cálculo de tránsito, el diseño de pavimentos y los informes geotécnicos para el proyecto del Barrio 25 de Enero y la pavimentación en placa-huella en las veredas del municipio de Tibú. Asimismo, se alcanzaron los resultados esperados de las labores realizadas en el cumplimiento de los objetivos planteados para la práctica y se evidenciaron a través de los informes y productos finales entregados a las entidades correspondientes, para su futura ejecución.

Se contribuyó a la empresa durante la práctica empresarial, mejorando los formatos utilizados para calcular resultados de laboratorio, formato para el cálculo de ejes equivalentes, y diseño del formato de cálculo de espesor de pavimento rígido según la normativa de INVIAS, para facilitar su interpretación. A su vez, se verificó que sus funciones fueran correctas y estuvieran actualizadas según las normas y manuales correspondientes.

Las prácticas empresariales han sido importantes para crecer como persona y crear una experiencia profesional enriquecedora, ya que han permitido enfrentar problemas y desafíos reales de la ingeniería, donde se debe tomar decisiones reflejadas en el desarrollo de los proyectos y plasmadas en obra. A su vez, crear habilidades esenciales como el trabajo de equipo con los demás profesionales que son muy importantes para el crecimiento personal y profesional.

A su vez, se recomienda a las futuras generaciones de ingenieros tener la mayor disposición ante la información suministrada por los docentes de la universidad, debido a que la ingeniería civil es importante para el desarrollo de una nación, contribuyendo a facilitar o mejorar la calidad de la vida de las personas con las aplicaciones que ofrece en cada ámbito.

Las prácticas empresariales son muy determinantes para que los futuros ingenieros se enfrenten a retos reales antes de lograr su titulación, evidenciando fortalezas, debilidades y oportunidades de cada aprendiz.

Por último, se destacan las bases brindadas en el proceso de formación por la Universidad Industrial de Santander en las áreas de pavimentos y geotecnia, ya que han sido de gran importancia para poder lograr el cumplimiento de los objetivo general y específicos satisfactoriamente.

Referencias bibliográficas

Benavides Bastidas, C. A., Polanco de Hurtado, M., González Fernández, A. J., Ruiz de Murgueitio, J. E., Chavarro Barreto, E., Arenas Lozano, H. L., Cruz Velasco, Lucio Gerardo, Rivera López, Gerardo Antonio, Solano Fajardo, E. de J., & Loría Salazar, L. G. (2018). Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito, segunda versión. Universidad del Cauca & Ministerio de transporte.

Burgos Vasquez, B. M. (2014). Análisis comparativo entre un pavimento rígido y un pavimento flexible para la ruta s/r: Santa Elvira – El Arenal, en la comuna de Valdivia. Universidad Austral de Chile.

CSN – Consultores Solano Navas. (2018). <https://www.csn.com.co/wp/>

García Castillo, X. (2015). Comparación de los efectos de diferentes métodos de estabilización de subrasantes en arcillas bogotanas. Uniandes.

García González, F. (2003). Relación entre las propiedades mecánicas de arcillas de subrasante de Bogotá. Uniandes.

Gil Ariza, J. D. (2018). Conceptualización de la metodología de un estudio geotécnico definitivo con base en la literatura científica y la normativa legal vigente. Universidad Católica de Colombia.

Hernández García, L. C., Botero Pardo, J. A., Sandino Bonilla, E., & Murillo Ospina, I. A. (2018). Obras de arte para vías en concreto reflectivo. Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI).

Hidalgo Montoya, C. A., Botero Hernández, B. A., Bonett Díaz, R. L., Hernández Arango, M. S., Mejía Hernández, W. de J., Serna Quintero, A. F., Otálvaro Barco, M., Bustamante

Hernández, J. J., Muñoz Cano, F. A., Meteus Tuberquia, B., & Echeverri Arias, J. A. (2020). Cartilla de obras menores de drenaje y estructuras viales. Universidad de Medellín & Ministerio de transporte.

Huamán Carbajal, J. C. (2020). Evaluación de la degradación de bases granulares en el diseño de pavimentos flexibles. Universidad Peruana Los Andes.

Londoño Naranjo, C. A., Álvarez Pabón, J. A., & instituto Colombiano de Productores de Cemento. (2008). Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito.

Miranda Rebolledo, R. J. (2010). Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos. Universidad Austral de Chile.

Murgueitio Valencia, A., Orobio Quiñones, J. C., Orobio Quiñones, A., Sánchez Ordóñez, J. F., Paz Achipiz, C. I., Mosquera Rivera, J. M., Hernández Galino, C. A., & Gómez Realpe, J. H. (2015). Guía de diseño de pavimentos con placa-huella. Ministerio de transporte.

Murgueitio Valencia, A., Ruiz Estrada, J. E., Solano Fajardo, E. de J., Botina Muñoz, L. E., Paz Achipiz, C. I., Arboleda Vélez, C., & Rivas Muñoz, N. (2007). Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito. Ministerio de Transporte.

Orobio, A., & Castro Mesa, J. (2014). PCACálculo. Windows. Universidad del Valle.

Ospina Camacho, J. P. (2018). Diseño estructural de pavimento rígido de las vías urbanas en el municipio del Espinal – departamento del Tolima. Universidad Cooperativa de Colombia.

Ospina Ovalle, G. (2016). El papel de las vías secundarias y los caminos vecinales en el desarrollo de Colombia. Revista de Ingeniería, 20–27.

Pérez, G. (2020). Caminos rurales: vías claves para la producción, la conectividad y el desarrollo territorial. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Boletín FAL (No 377).

Poveda Pastran, G. A. (2022). Estado del arte sobre el desarrollo de nuevas tecnologías empleadas para la construcción y mantenimiento de vías terciarias en Colombia. Universidad Santo Tomás.

Rebolledo Bolaños, A. (2003). Presupuestos enfocados a un control de obra efectivo. Uniandes.

Resolución número 4100 de 2004. Ministerio de Transporte. Por la cual se adoptan los límites de pesos y dimensiones en los vehículos de transporte terrestre automotor de carga por carretera. para su operación normal en la red vial a nivel nacional. 28 de diciembre de 2004.

Torres Suárez, M. C. (2003). Revisión de conceptos relacionados con Estudios Geotécnicos, a la luz de las Normas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98.

Vega Salazar, L. (2016). Revisión bibliográfica de ensayos in-situ en el marco de la academia, la industria y las normativas bajo el contexto colombiano y norte americano. Uniandes.