
**PRACTICA EMPRESARIAL PARA LA ASISTENCIA TÉCNICA EN EL CAMPO
DE CONSULTORÍA, GEOTECNIA PARA PAVIMENTOS
Y DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LOS PROYECTOS QUE ADELANTA
LA EMPRESA TORRES ING S.A.S**



FABIO NELSON TORRES

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2010

**PRACTICA EMPRESARIAL PARA LA ASISTENCIA TÉCNICA EN EL CAMPO
DE CONSULTORÍA, GEOTECNIA PARA PAVIMENTOS
Y DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LOS PROYECTOS QUE ADELANTA
LA EMPRESA TORRES ING S.A.S**

FABIO NELSON TORRES

**Trabajo de grado para optar el título de
Ingeniero Civil**

Director

EDUARDO CASTAÑEDA

Ingeniero Civil

Docente de la escuela de Ingeniería Civil

Universidad Industrial de Santander

Tutor de la práctica

JOSE RUBEN TORRES CAMARGO

Ingeniero Civil

Gerente general Torres Ing. S.A.S

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2010

*Porque mejor es la sabiduría
que las piedras preciosas;
Y todo cuanto se puede desear,
no es de compararse con ella.*

Proverbios 8: 11

*Dedicado a mi amado Dios,
por su amor y respaldo diario
A mi querida mama Rosa Elena
A mis generosos tíos
Bernarda, Lorenzo y Nelly, Carlos e Irene,
a Juan Carlos Garcia y hermanos.
Gracias a su gran colaboración
en cada una de mis necesidades
hoy puedo abrazarlos y compartir con
ustedes este gran triunfo en mi vida*

Dios los bendiga y acompañe siempre.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco sinceramente al ingeniero Eduardo Alberto Castañeda Pinzón por su gran colaboración como director de mi proyecto de grado; al Ingeniero José Rubén Torres Camargo por darme la oportunidad de realizar la práctica en su empresa en donde adquirí muchos conocimientos técnicos referentes a la carrera. Y a cada uno de los profesores que forman parte de la facultad de ingeniería civil, quienes me brindaron oportunamente su apoyo y enseñanzas.

A la Universidad Industrial de Santander por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de ingresar como estudiante a esta apasionante carrera de Ingeniería Civil, la cual me ha dado muchas satisfacciones, me ha permitido cumplir con mis metas y me ha formado en todas las áreas que se requieren para llegar a ser un gran profesional, siempre al servicio de la comunidad y al mejoramiento de mi país.

RESUMEN

TITULO: PRACTICA EMPRESARIAL PARA LA ASISTENCIA TÉCNICA EN EL CAMPO DE CONSULTORÍA, GEOTECNIA PARA PAVIMENTOS Y DISEÑO DE PAVIMENTOS EN LOS PROYECTOS QUE ADELANTA LA EMPRESA TORRES ING. S.A.S*

AUTOR: TORRES, Fabio Nelson**

PALABRAS CLAVES: Diseño de pavimentos, Obras hidráulicas, Estudio geotécnico, Ensayos de laboratorio, Análisis de esfuerzos y deformaciones, Suelo de sub-rasante.

DESCRIPCION: Este libro contiene la descripción de la práctica laboral desarrollada en la empresa Torres Ing. S.A.S, en la ciudad de Bucaramanga Santander en el proyecto titulado “**Estudios y diseños de pavimentos, obras hidráulicas y de contención para la construcción de algunos sectores de la red vial secundaria del Departamento de Norte de Santander**”.

Describe como se desarrollo el estudio geotécnico, y el diseño de pavimentos para varios corredores viales de la red secundaria del Departamento de Norte de Santander, en la cual el autor participo como auxiliar de ingeniería, buscando la información preliminar, preparando y participando en las visitas de campo, coordinando los ensayos de laboratorio, realizando el procesamiento de información de resultados, el diseño de pavimentos y el análisis de esfuerzos y deformaciones respectivo para nueve corredores viales.

Como conclusión más importante se determino que para que las hipótesis tomadas para el diseño de pavimentos sean validas (coeficiente de drenaje), se debe garantizar el correcto manejo del agua, realizando correctamente las obras de drenaje de la vía, ya que esta afecta de manera grave el diseño si no se controla adecuadamente.

El aporte desarrollado titulado “Guía de geotecnia de pavimentos para vías de segundo orden” pretende poner a disposición de los estudiantes una herramienta introductoria sobre cómo se debe realizar un estudio geotécnico para esta clase de vías y suministrar una orientación acerca de la metodología que se debe utilizar en el estudio previo al diseño de pavimentos. En cinco capítulos se describen la importancia de la normatividad y responsabilidad referente a estos estudios, la recopilación de información, las exploraciones de campo, como se deben realizar las pruebas de laboratorio y clasificación de suelos, y la evaluación de la capacidad mecánica del suelo de sub-rasante previo al diseño de pavimentos.

*Proyecto de grado

**Facultad de ingeniería Físico-Mecánicas. Escuela de ingeniería Civil. Director: Eduardo Alberto Castañeda Pinzón. Tutor de la práctica empresarial: Ing. José Rubén Torres Camargo.

ABSTRACT

TITLE: BUSINESS PRACTICUM FOR TECHNICAL CONSULTING ON GEOTECHNICAL PAVEMENT AND DESIGN OF PAVEMENT IN THE PROJECTS LED BY TORRES COMPANY ING. S.A.S *

Author: Torres, Fabio Nelson**

KEYWORDS: pavement design, hydraulic, geotechnical studies, laboratory tests, Analysis of stresses and strains, sub-ground floor

DESCRIPTION: This book contains a description of the company internship developed in Torres Ing SAS, in Bucaramanga, Santander as a part of a project entitled "**Research and design of pavements, hydraulic and containment for the construction of some sections of the secondary road network of the Department of Norte de Santander**".

This paper describes how the geotechnical and pavement design for multiple corridors of the secondary network of the Department of Norte de Santander were developed. The author participated as an assistant engineer, seeking preliminary information, preparing and participating in field visits, coordinating laboratory tests, performing information processing performance, pavement design and analysis of stresses and strains corresponding to nine corridors.

As the most important conclusion, it was determined that for the assumptions made for the pavement design to be valid (drainage coefficient), it should be ensured proper water management to properly carry out the drainage of the road, as this affects serious design if it is not controlled properly.

The developed contribution entitled "Geotechnical guide for second order roads pavement" aims to provide students an introductory tool on how to conduct a geotechnical study for this kind of ways and provide guidance on the methodology to be used in the previous study to design pavements. In five chapters, it is described the importance of regulation and liability relating to these studies, the collection of information, scans on the field, how they should perform laboratory tests and soil classification and assessment of soil mechanical subgrade ability prior to the design of pavements.

* Graduation Project

** Faculty of Physics and Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Eduardo Alberto Castillo Pinzón. Internship Tutor: Mr. José Rubén Torres Camargo.

CONTENIDO

INTRODUCCION	16
OBJETIVOS.....	17
ALCANCE	18
CAPITULO 1: DESCRIPCION DE LA EMPRESA TORRES ING S.A.S	19
1.1 EXPERIENCIA.....	20
1.2 POLITICAS DE CALIDAD.....	20
1.3 VISION.....	20
1.4 CONFORMACION DE LA EMPRESA	21
CAPITULO 2. CARACTERISTICAS DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL.....	22
2.1 RESPONSABILIDADES ADQUIRIDAS EN TORRES INGENIERIA S.A.S	23
2.2 CONTRATO DEL ESTUDIO Y DISEÑO DE PAVIMENTOS, OBRAS HIDRAULICAS Y DE CONTENCIÓN PARA LA CONSTRUCCION DE ALGUNOS SECTORES DE LA RED VIAL SECUNDARIA DEL DEPARTAMENTO DE NORTE DE SANTANDER.....	24
CAPITULO 3. TRABAJO PRELIMINAR.....	25
3.1 PROGRAMACION VISITAS DE CAMPO	28
CAPITULO 4. ESTUDIO GEOTECNICO	32
5.1 TOMA DE MUESTRAS.....	32
4.2 ENSAYOS DE LABORATORIO.....	33
4.2.1 GRANULOMETRIA.....	33
4.2.2 LIMITES DE ATTERBERG	34
4.2.3 ENSAYO DE PROCTOR	36
4.2.4 ENSAYO DE CBR	38

CAPITULO 5 DISEÑO DE PAVIMENTOS.....	42
5.1 ESTUDIO DE TRÁNSITO.....	42
5.1.1 TRÁNSITO EXISTENTE.....	43
5.1.2 TRÁNSITO ATRAIDO O DESVIADO.....	44
5.1.3 TRÁNSITO ACTUAL.....	44
5.1.4 TRÁNSITO GENERADO.....	44
5.1.5 TRÁNSITO DESARROLLADO.....	45
5.1.6 CRECIMIENTO NORMAL DEL TRÁNSITO.....	45
5.1.7 TRÁNSITO FUTURO.....	46
5.2 CARGA DE TRÁNSITO.....	47
5.3 DETERMINACION DEL CBR DE DISEÑO.....	48
5.4 DISEÑO DE PAVIMENTOS SEGÚN EL METODO AASHTO 93.....	50
5.4.1 TRÁNSITO (N).....	51
5.4.2 PARAMETRO DE CONFIABILIDAD (R).....	51
5.4.3 SERVICIABILIDAD (PSI).....	52
5.4.4 MODULO RESILIENTE DE LA SUBRASANTE (MR).....	53
5.4.5 DIMENSIONAMIENTO DE LAS CAPAS DE PAVIMENTO.....	55
5.4.5.1 COEFICIENTES DE DRENAJE.....	57
5.5 ANALISIS DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES.....	58
5.5.1 PARAMETROS ADMISIBLES DE DISEÑO.....	60
CONCLUSIONES.....	64
BIBLIOGRAFIA.....	65

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Mapa geológico del departamento de norte de Santander.	26
Ilustración 2. Mapa vial del departamento de Norte de Santander.	27
Ilustración 3. Plano geológico superpuesto con el plano vial del municipio de Chinacota.....	28
Ilustración 4. Resultados de laboratorio del apique realizado en el K0+826 de la vía La Laguna-Silos	35
Ilustración 5. Formato de hoja de cálculo para determinar la curva de humedad vs densidad seca.....	37
Ilustración 6. Hoja de cálculo del ensayo CBR.	40
Ilustración 7. Hoja de resumen para la vía Cachira – Los Mangos.....	41
Ilustración 8. Formato realizado para realizar los conteos de tránsito.	42
Ilustración 9. Volúmenes y factores de daño referentes a la vía Carmen – Sumare.	47
Ilustración 10. Proyección vehicular a 20 años de la vía Carmen - Sumare	48
Ilustración 11. Resumen de laboratorio vía Carmen – Sumare.	49
Ilustración 12. Programa para calcular la ecuación AASHTO 93 utilizando los parámetros de la vía Salazar - Arboledas.....	54
Ilustración 13. Grafico representativo del numero estructural en las capas asfálticas.....	56
Ilustración 14. Calculo de esfuerzos y deformaciones con el programa DEPAV para la vía Carmen-Sumare.....	62
Ilustración 15. Resultados obtenidos con el programa DEPAV.	63

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tramos viales contratados para realizar el estudio y diseño de pavimentos.....	24
Tabla 2. Clasificación de tránsito según el manual de diseño de pavimentos asfálticos para bajos volúmenes de tránsito	46
Tabla 3. Tasa de crecimiento anual vehicular para diseño de pavimentos asfálticos de bajos volúmenes de tránsito	46
Tabla 4. Índice de serviciabilidad según el tipo de vía.	53
Tabla 5. Espesores mínimos de las capas según el número de ejes equivalentes.	56
Tabla 6. Clasificación de drenaje según tiempo de evacuación del agua.....	57
Tabla 7. Clasificación de drenaje según la calidad y el tiempo de exposición a humedad.....	58

LISTA DE IMAGENES

Imagen 1. Observación de fallo sobre el K0+800 de la vía Cachira - Los Mangos	29
Imagen 2 Fallo sobre la vía Toledo - Labateca	29
Imagen 3 observación visual de las rocas sobre la vía Cachira-Los mangos	30
Imagen 4. Reconocimiento del estado de la rasante sobre el K0+300 de la vía Laguna – Silos	30
Imagen 5. Cantera ubicada sobre la vía Gramalote – Carmen de Nazareth.	31
Imagen 6. Apique tomado sobre el K13+000 en la vía Salazar - Arboledas	32
Imagen 7. Apique tomado sobre el K1+000 de la vía Gramalote – Carmen de Nazareth	33
Imagen 8 Realización de ensayo de granulometría muestra de Salazar - Arboledas	34
Imagen 9. Ensayo de Proctor Modificado.	36
Imagen 10. Preparación de las probetas en el laboratorio.....	38
Imagen 11. Las muestras se sumergen en agua durante un periodo de 3 días	39
Imagen 12. Realización del ensayo CBR.....	39

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ecuación del método AASHTO	50
Ecuación 2. Ecuación para determinar el espesor de las capas de la estructura de pavimento.	55
Ecuación 3. Criterio Barker	59
Ecuación 4. Calculo de deformación unitaria de tracción en la base de la carpeta.	60
Ecuación 5. Deformación vertical de compresión de la superficie de subrasante.	61
Ecuación 6. Esfuerzo vertical de compresión.	61

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. APORTE GUIA DE GEOTECNIA DE PAVIMENTOS PARA VIAS DE SEGUNDO ORDEN.....	66
Anexo 2. INFORME ESTUDIO GEOTECNICO PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS DE LA VIA ARBOLEDAS – SALAZAR DEPARTAMENTO DE NORTE DE SANTANDER.....	118

INTRODUCCION

Pocas veces las personas se preguntan que existe detrás del diseño de una vía, Transitamos constantemente a través de ellas y son parte fundamental de nuestra vida, vivimos en un mundo en donde el estar incomunicados sería un grave problema, la sociedad no podría desarrollarse de no ser por el trabajo de los ingenieros quienes junto con otros expertos en diversas áreas han dedicado su vida y esfuerzo al estudio, gestión, planeación, diseño y construcción de vías.

Este proyecto de grado pretende narrar la experiencia adquirida como practicante en la empresa TORRES ING S.A.S, experiencia que ha sido fundamental, ya que me permitió incursionar en un área fascinante como es la aplicación de la geotecnia de vías, y el diseño de pavimentos.

Se espera con este proyecto contribuir a otros estudiantes de ingeniería civil a que incursionen en este interesante tema, dejando claro precedente de que la experiencia práctica es fundamental en el área de la geotecnia y en general de todas las ramas de la carrera.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL: Asistir en los diseños y estudios de los proyectos que lleve a cabo la empresa TORRES ING S.A.S en el área de geotecnia de pavimentos y diseño de pavimentos, como auxiliar de ingeniería.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Participar en el estudio Geotécnico para la pavimentación de varios corredores viales de la red secundaria del departamento de Norte de Santander, en las siguientes vías:

Gramalote – Carmen de Nazareth, Toledo – Chinacota, Chinacota – Ragonvalia, Toledo – Labateca, La Laguna – Silos, Cachira – Los Mangos, Salazar – Arboledas, Carmen – Sumare y Llano Grande – Teorama.

- Asistir en el diseño de pavimentos de los siguientes tramos de las vías secundarias del departamento de Norte de Santander:

Gramalote – Carmen de Nazareth, Toledo – Chinacota, Chinacota – Ragonvalia, Toledo – Labateca, La Laguna – Silos, Cachira – Los Mangos, Salazar – Arboledas, Carmen – Sumre y Llano Grande – Teorama.

- Participar como asistente en las pruebas de laboratorio y coordinación de los estudios que requieran las vías a estudiar.

ALCANCE

Se pretende a través de esta práctica empresarial y del proyecto que adelanta la empresa TORRES ING S.A.S poner a disposición de la comunidad el conocimiento adquirido a lo largo de la carrera de ingeniería civil en la Universidad Industrial de Santander en el área de pavimentos y geotecnia como contribución al mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades que se verán beneficiadas con la realización de este proyecto.

CAPITULO 1: DESCRIPCION DE LA EMPRESA TORRES ING S.A.S



La empresa TORRES ING S.A. fue fundada en el año de 2009 por el ingeniero Rubén Torres egresado de la Universidad Industrial de Santander, y especialista en Vías y Geotecnia en la Universidad Pontificia Bolivariana, la empresa se encuentra ubicada en la carrera 27a # 48-130 Barrio Soto Mayor de la ciudad de Bucaramanga Santander. Actualmente cuenta con amplias oficinas, dotadas de un capital humano joven y trabajador, cuenta con laboratorios de Suelos y Pavimentos en donde se encuentran maquinas de Corte directo, CBR, equipos de perforación a percusión para ensayos SPT y equipo de perforación a Roto Percusión marca Petty con torre y motor Reggeneris.

1.1 EXPERIENCIA

La empresa cuenta con experiencia en vías terrestres y geotecnia, abarca diversos campos como diseño de obras de mantenimiento vial, interventoria en obras de mantenimiento vial, diseños viales de primera, segunda y tercera fase, diseño de obras de estabilización, moldeamiento y diseño de obras de protección de taludes para ampliaciones viales y obras de infraestructura, estudios geotécnicos para cimentación de estructuras como zapatas, losas, pilotes, pantallas ancladas, submuraciones para excavaciones y diseños de obras complementarias en vías y estudios de suelos en general.

1.2 POLITICAS DE CALIDAD

Cuenta con grandes políticas de calidad entre las cuales se encuentra el satisfacer las necesidades del cliente mediante mejora continua de los servicios especializados en Diseño, Construcción, asesoría de proyectos relacionados con las vías, geotecnia, infraestructura y obras complementarias con alta calidad técnica y humana, garantizando ahorro en programación y presupuesto apoyado en un equipo joven, dinámico, emprendedor, competitivo orientado hacia la excelencia.

1.3 VISION

La visión de la empresa es ser una empresa sólida frente al mercado de servicios de Diseño e Interventoria y construcción de obras civiles viales y geotécnicas, a nivel nacional e internacional con la filosofía permanente de mejoramiento continuo, mediante la capacitación y evaluación de los ingenieros especialistas y la aplicación del estado más avanzado del conocimiento, la tecnología y software en diseño, con el fin de ampliar la cobertura de atención en servicios a todos los

niveles y zonas del país. Su compromiso cotidiano se encamina a superar las expectativas de sus clientes.

TORRES ING S.A.S se ha posicionado rápidamente en el medio realizando trabajos para empresas como Metrolinea, Concesión Autopistas de Santander, CDMB, Secretaria de planeación de Norte de Santander, Alcaldía de Bucaramanga, entre otras.

1.4 CONFORMACION DE LA EMPRESA

La empresa está conformada y apoyada por un equipo humano de gran calidad, equipos de ingeniería, laboratorios de suelos y pavimentos, y convenios institucionales.

Dentro del equipo humano cuenta con ingenieros especialistas en vías, geotecnia, y estructuras, auditor de calidad, auxiliares de ingeniería, dibujantes, comisión topográfica, laboratoristas y operadores.

Se dispone de equipos de levantamiento topográfico (altimetría, planimetría), equipos digitales para ayuda en diseño, software AUTOCAD CIVIL 3D 2009- Geoslope w-Novo SPT- Plaxis "2D"-Sistemas de Información geográfica-ARC VIEW, vehículos para transporte de equipos y personal, laboratorio de suelos y pavimentos maquinas de perforación SPT y roto percusión.

CAPITULO 2. CARACTERISTICAS DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL

La practica empresarial es posible gracias a la ley 30 de 1992 donde se estipulo que la cooperación interinstitucional entre la empresa y la universidad es altamente benéfica para la comunidad estudiantil y empresarial, pues genera mayor calidad en la formación del futuro profesional. Ya que el practicante desarrollara en la empresa los conocimientos aprendidos durante sus estudios en la universidad.

Durante la práctica empresarial el estudiante adquiere responsabilidades con la empresa, y con la universidad, estas responsabilidades consisten en cumplir con los objetivos de la práctica, mantener la confidencialidad de la información que maneja la empresa, rendir informes a la universidad cada dos meses de las actividades realizadas, tener un comportamiento adecuado dentro de la empresa y aplicar los conocimientos adquiridos en la universidad.

La universidad asignara un profesor quien dirigirá, y supervisara al estudiante en su práctica, de igual manera la empresa designara un supervisor quien se encargara de dirigir al estudiante dentro de la empresa. El estudiante deberá colaborar y acatar todas las normas internas de la empresa, estar atento y colaborar con sus conocimientos aportando ideas y trabajo.

Para legalizar estas actividades se procede a firmar un convenio realizado entre las partes, la Universidad, la Empresa, y el Estudiante, además el practicante debería realizar un plan de proyecto en donde se estipulan los objetivos y el propósito de la práctica.

2.1 RESPONSABILIDADES ADQUIRIDAS EN TORRES INGENIERIA S.A.S

La responsabilidad adquirida en la empresa consistió en prestar asistencia en el estudio geotécnico realizado para la pavimentación de varios corredores viales de la red secundaria del departamento de Norte de Santander, en los siguientes tramos: La Laguna – Silos, Cachira – Los Mangos, Carmen – Sumare, Toledo – Labatca, Toledo –Chinacota, Chinacota – Ragonvalia, Salazar – Arboledas, Gramalote – Carmen de Nazareth, Llano grande – Teorama.

Asistir en las pruebas de laboratorio, y colaborar en la coordinación de las visitas de campo, y demás estudios requeridos, como algunas proyecciones de obras de contención y acondicionamiento de la banca.

Colaborar con el diseño de pavimentos, realizar los estudios de tránsito y los informes necesarios para cada corredor vial.

2.2 CONTRATO DEL ESTUDIO Y DISEÑO DE PAVIMENTOS, OBRAS HIDRAULICAS Y DE CONTENCION PARA LA CONSTRUCCION DE ALGUNOS SECTORES DE LA RED VIAL SECUNDARIA DEL DEPARTAMENTO DE NORTE DE SANTANDER

La gobernación del departamento de Norte de Santander, en vista de la necesidad de mejorar la comunicación entre sus municipios, contrató a la empresa TORRES INGENIERIA S.A.S, para hacer la consultoría y el diseño de pavimentos de algunos tramos de la red vial secundaria del departamento, en vista del mal estado en que se encuentran algunas vías, en algunos tramos a intervenir.

El estudio comprende, los estudios geotécnicos de pavimentos, diseño de algunas obras hidráulicas y de contención referentes a algunos sectores y tramos de la red vial secundaria del departamento de Norte de Santander.

Se incluyen visitas de campo realización y análisis de laboratorios, realización de informes y diseños.

Los tramos a intervenir son los siguientes:

Tabla 1. Tramos viales contratados para realizar el estudio y diseño de pavimentos.

INFORMACION VIAS		
CORREDOR VIAL	PROYECTADO (Km)	CONTRATADO (Km)
GRAMALOTE-CARMEN DE NAZARETH	15	3
TOLEDO-CHINACOTA	6	3
CHINACOTA-RAGONVALIA	5	3
TOLEDO-LABATECA	1	1
LA LAGUNA-SILOS	3	3
CACHIRA-LOS MANGOS	8	4
SALAZAR-ARBOLEDAS-CUCUTILLA	15	6
EL CARMEN-SUMARE	10	3
LLANO GRANDE -TEORAMA	9	3

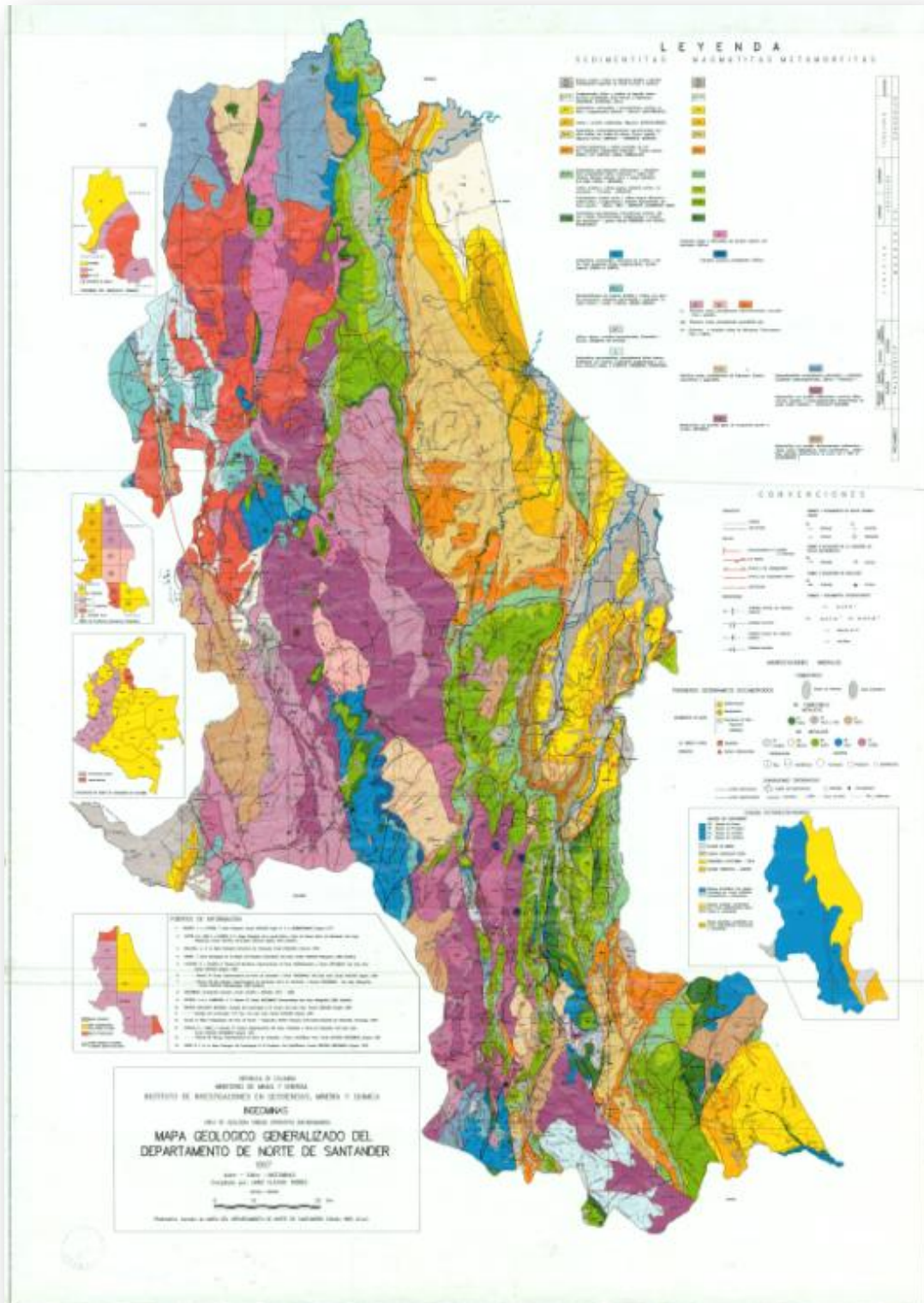
CAPITULO 3. TRABAJO PRELIMINAR

En un estudio Geotécnico es muy importante realizar la recopilación de información existente referente al sitio en estudio, en este caso las vías secundarias o tramos a intervenir, por esta razón se procedió a buscar la información climática, geológica y geográfica existente, así como la información general de los municipios donde están localizadas estas vías, a través de los esquemas de ordenamiento territorial (EOT), mapas geológicos, mapas viales, hidrográficos entre otros en diferentes formatos. Para adquirir esta información se recurrió a la gobernación de Norte de Santander quienes facilitaron a través de la secretaria de planeación los EOT y POT de cada municipio a intervenir, también los mapas geológicos, viales del departamento y municipios en formato DWG, Pdf y algunos en el software Arcview.

Las entidades estatales que facilitan estos mapas son el Ingeominas y el Instituto Geografico Agustín Codazzi (IGAC), los EOT y POT se pueden adquirir en la gobernación de cada departamento del país.

Con esta información y basados en la información preliminar existente en los POT y EOT de los diferentes municipios se procedió a ubicar las vías secundarias y los tramos a intervenir de acuerdo al contrato. (Ver tabla numero 1.)

Ilustración 1 Mapa geológico del departamento de norte de Santander.

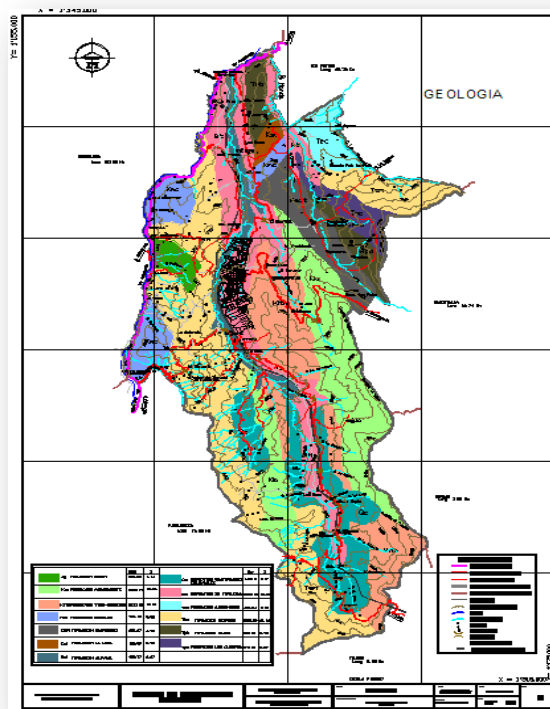


3.1 PROGRAMACION VISITAS DE CAMPO

Con la información pertinente, se procedió a programar visitas de campo a las vías para identificar visualmente el estado de la banca, posibles problemas de estabilización, materiales de rasante, geología de la zona, posibles canteras, etc.

Para la programación de las visitas fue necesario el mapa geológico de cada municipio, el cual se encontró en los anexos de los EOT junto con el mapa vial, superponiendo estos, se procedió a plotearlos para llevarlos a campo.

Ilustración 3. Plano geológico superpuesto con el plano vial del municipio de Chinacota.



La gobernación de Norte de Santander se comprometió con la empresa para facilitar el transporte a los sitios determinados, facilitando vehículos y conductor, los viajes se realizaron en compañía del Geólogo José Neyith Contreras, el Ingeniero José Rubén Torres, y el Autor, se llevó GPS para referenciar los sitios

inestables, cámara fotográfica, cámara de video, y demás implementos necesarios para el trabajo en campo como Brújula, Martillo de Geología, y los planos.

Imagen 1. Observación de fallo sobre el K0+800 de la vía Cachira - Los Mangos



En campo se procedió a recorrer las vías en camioneta, realizando paradas en ciertos puntos inestables donde el ingeniero especialista consideraba necesario observar la geología, los materiales de rasante, tomar fotos, tomar georeferenciación con GPS y video, siempre con los planos geológicos de cada zona. En algunas vías se tomó en video todo el recorrido para no tener problemas más adelante en la oficina.

Imagen 2 Fallo sobre la vía Toledo - Labateca



Imagen 3 observación visual de las rocas sobre la vía Cachira-Los mangos



Imagen 4. Reconocimiento del estado de la rasante sobre el K0+300 de la vía Laguna – Silos



Imagen 5. Cantera ubicada sobre la vía Gramalote – Carmen de Nazareth.



Se solicitó a la gobernación los inventarios de alcantarillas de los corredores viales, así como una topografía detallada de las vía existentes, donde se ubicaran también las obras de arte como alcantarillas, box culvert, muros, puentes y de mas, con el fin de realizar los diseños geométricos respectivos de los corredores, trabajo a cargo del ingeniero Thomas Guerrero.

También se pidió a la gobernación la toma de apiques cada 500 metros en los tramos de los corredores viales a intervenir, con el fin de realizar las pruebas de laboratorio pertinentes, como granulometría, limites de Atterberg, Proctor modificado, y CBR, con el fin de identificar las características mecánicas del suelo de subrasante. Sobre el cual debería ir la estructura de pavimento respectiva.

CAPITULO 4. ESTUDIO GEOTECNICO

Con los apiques, tomados por la gobernación de Norte de Santander y la información recolectada en las visitas de campo, se realizó la clasificación de la información, y las pruebas de laboratorio respectivas para cada corredor vial.

5.1 TOMA DE MUESTRAS

Imagen 6. Apique tomado sobre el K13+000 en la vía Salazar - Arboledas



Los apiques se tomaron según las normas nacionales del INVIAS¹ Para una profundidad de de entre 1 y 1.5 metros, tomando en cuenta solo la capa de la rasante, ya que algunas vías se encontraban a nivel (de recebo para lo cual habían utilizado crudo de rio) que no era el natural, por esta razón se especifico que se empacaran bolsas separadas de plástico con especificación de profundidad, margen de la vía y abscisa, con el fin de que el suelo conservara su humedad natural. Las muestras debían tener entre 25 y 35 kg de peso, cantidad suficiente para realizar las pruebas de laboratorio.

¹ I.N.V E -101-07

Imagen 7. Apique tomado sobre el K1+000 de la vía Gramalote – Carmen de Nazareth



Se procedió a almacenar las muestras en el laboratorio, para luego realizar las pruebas anteriormente mencionadas.

4.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

4.2.1 GRANULOMETRIA

La granulometría se realizó según las normas nacionales del INVIAS², tomando primero la humedad natural del terreno, y pasando el material por los tamices respectivos, las pruebas se hicieron lavadas para el material que pasa el tamiz número 4, con el fin de determinar más exactamente los finos, se tomaron los datos, y se determinó la curva granulométrica respectiva.

² I.N.V E-123 -07

Imagen 8 Realización de ensayo de granulometría muestra de Salazar - Arboledas



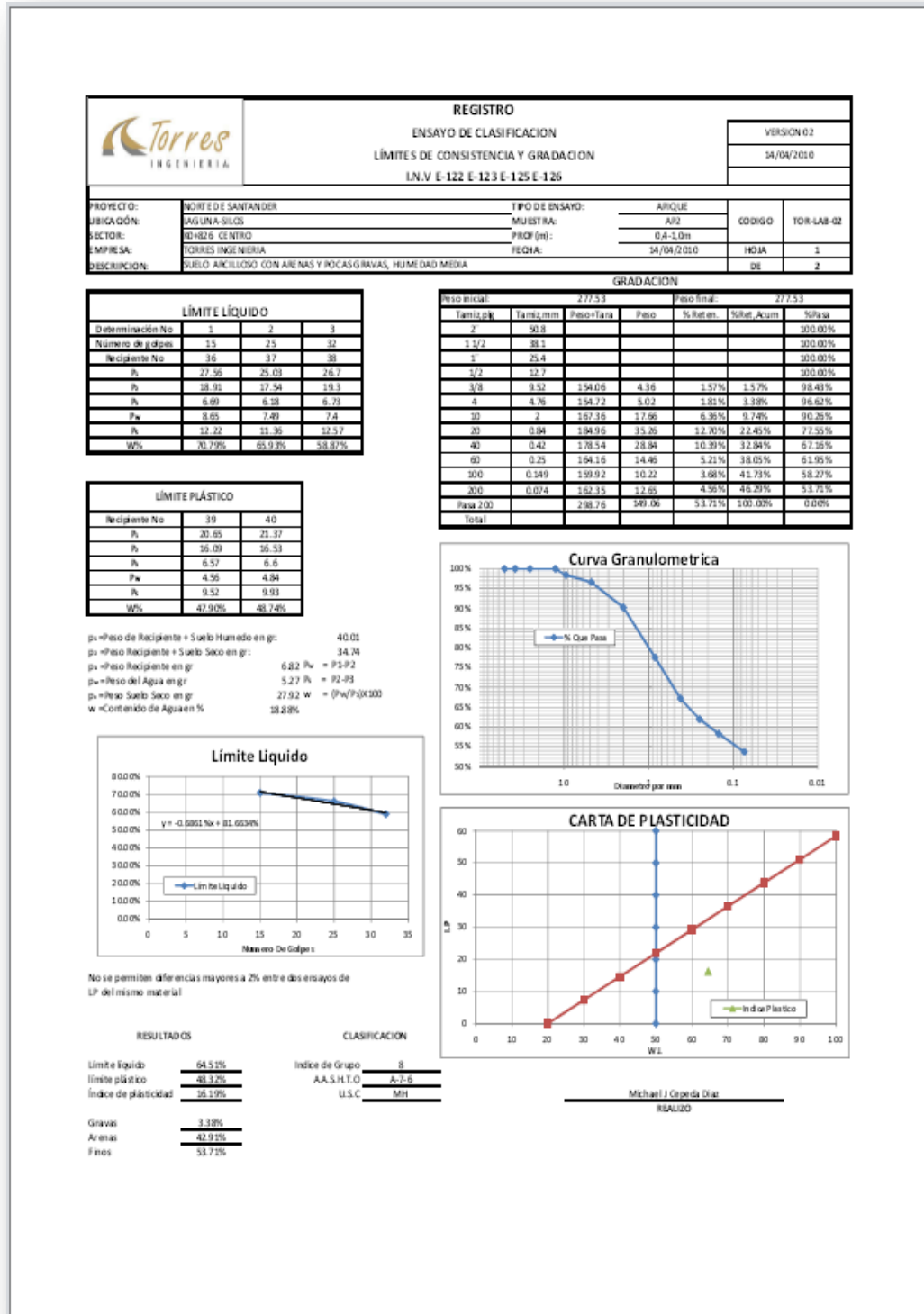
4.2.2 LIMITES DE ATTERBERG

Una vez realizada la granulometría se procedió a realizar las pruebas de límite líquido y límite plástico a las muestras. Se realizaron los ensayos de acuerdo a la norma nacional del INVIAS³, y se clasificaron los suelos según el método AASTHO y el método USCS.

Para organizar los datos obtenidos en laboratorio, se procedió a programar unas hojas de cálculo, que procesaran la información, determinando curva granulométrica, y grafica de límite líquido, con el fin de presentar en los informes y tener un archivo de los resultados de laboratorio.

³ I.N.V E-125-07, I.N.V E-126-07

Ilustración 4. Resultados de laboratorio del apique realizado en el K0+826 de la vía La Laguna-Silos



Posteriormente al procesamiento de los datos de laboratorio, se clasificaron los suelos, de acuerdo al método AASTHO y el método USCS⁴, corroborando que las clasificaciones fueran similares, e identificando el tipo de material de subrasante a lo largo del corredor vial.

4.2.3 ENSAYO DE PROCTOR

Para poder determinar las capacidades mecánicas del suelo de subrasante, fue necesario realizar el ensayo de Proctor Modificado, Este método se emplea para determinar la relación entre la humedad y la masa unitaria de los suelos compactados en un molde de tamaño dado con un martillo de 10 lb que cae desde una altura de 454 mm o 18”.

Dado que los moldes con los que cuenta la empresa son de diámetro de 15.2 cm o 152.4 mm y tienen una altura promedio de 17.6 cm se procedió a compactar con un martillo de 10 lb a 56 golpes de acuerdo a la norma Nacional INVIAS⁵.

Imagen 9. Ensayo de Proctor Modificado.



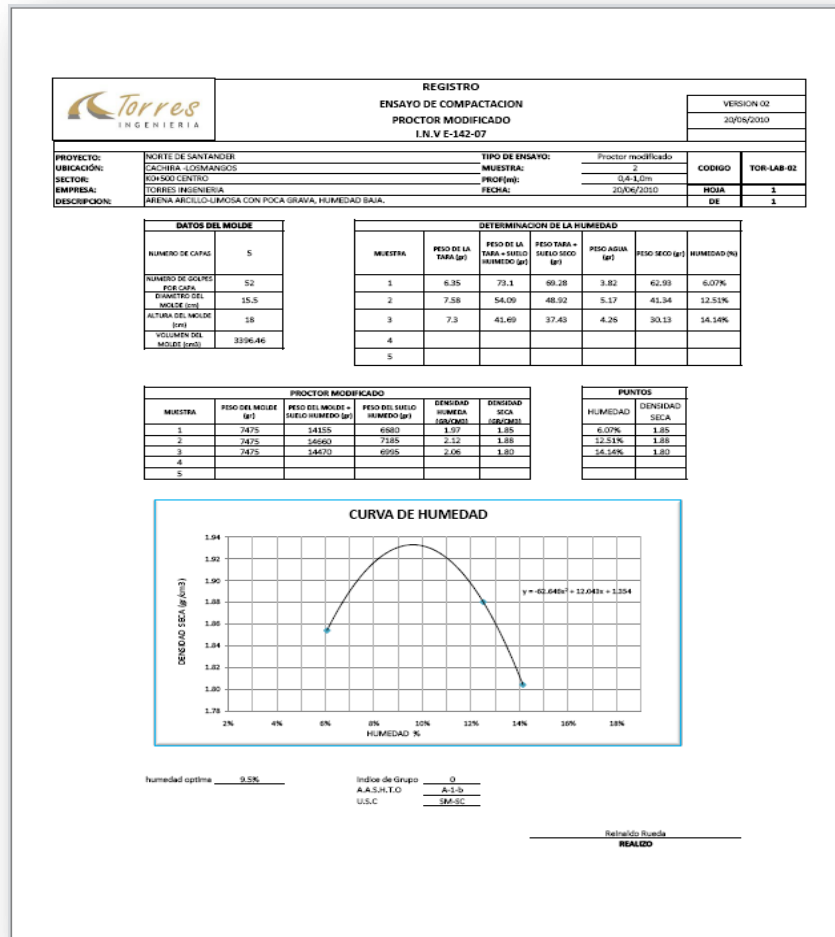
⁴ Ruiz Vázquez, Gonzales Huesca, Geología Aplicada a la Ingeniería Civil, Limusa.

⁵ I.N.V E-142-07

Se preparo una hoja de cálculo en el software Excel para procesar los datos de laboratorio de Proctor Modificado y poder determinar la humedad optima de compactación de acuerdo a la curva Proctor. A continuación se muestra una de las hojas de cálculo de Proctor modificado.

El ensayo de proctor se realizó solo al suelo de subrasante, no se tomo en cuenta el material de recebo ya que no era de importancia puesto que lo importante era determinar la capacidad mecánica del suelo de la subrasante, de igual manera se hizo con el ensayo de CBR.

Ilustración 5. Formato de hoja de cálculo para determinar la curva de humedad vs densidad seca.



Una vez determinada la humedad óptima de compactación se procedió a continuar con el ensayo CBR de cada muestra para determinar la capacidad de resistencia de los suelos en estudio.

4.2.4 ENSAYO DE CBR

El ensayo de CBR (California Bearing Ratio) evalúa la resistencia de materiales Cohesivos que contengan tamaños máximos de partículas de 19 mm o 3/4", se realiza con tres probetas de material compactado en cinco capas a 12, 25 y 56 golpes a la humedad óptima de compactación, las especificaciones de este ensayo se encuentran en la norma nacional de INVIAS⁶.

Una vez preparadas las probetas en el laboratorio se deben dejar sumergidas en agua durante un periodo de tres días con el fin de realizar el ensayo en el estado más crítico posible.

Imagen 10. Preparación de las probetas en el laboratorio.



⁶ I.N.V E-148-07.

Imagen 11. Las muestras se sumergen en agua durante un periodo de 3 días



Después del periodo de inmersión las muestras se sacan de la pila y se dejan reposar por un periodo de 15 minutos, antes de fallarlos en la máquina de CBR.

Imagen 12. Realización del ensayo CBR.



El ensayo consiste en hacer penetrar un cilindro metálico de 49.6 mm diámetro con un área de 1935 mm², a una velocidad uniforme de 1.27 mm por minuto, una profundidad de 12.7 mm sobre la muestra de suelo, midiendo la carga en KN

Las gráficas comparan la penetración en mm vs la presión en Mpa y los valores de CBR se toman a los 2.54 mm y a los 5.08 mm, el valor de CBR obtenido será el mayor de los dos, y los valores se toman al 100%, 95% y 90% de la densidad seca.

Una vez obtenidos todas las pruebas de laboratorio se realizó una hoja de resumen de laboratorios para cada corredor vial donde se especificaban todos los resultados de las pruebas realizadas, con esta información se procedió a tomar los datos para realizar el diseño de pavimentos.

Ilustración 7. Hoja de resumen para la vía Cachira – Los Mangos.

RESUMEN DE LAORATORIOS CACHIRA-INSTITUTO LOS MANGOS												
ABSISA	ROFUNDIDA	DESCRIPCION	HUMEDAD NATURAL %	LIMITE LIQUIDO %	INDICE PLASTICO %	PASA No 4 %	PASA 200 %	CLASIFICACION U.S.C	CLASIFICACION AASTHO	INDICE DE GRUPO	HUMEDAD OPTIMA %	%CBR
K0+000 I	0,0-0,4m	SUELO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,4-1,0m	LIMOSO	54.49%	57.41%	22.62%	89.01%	56.49%	MH	A-7-6	2	17.5	3.8
K0+500 C	0,0-0,4m	SUELO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,4-1,0m	ARENO-	6.08%	24.27%	3.21%	86.85%	24.93%	SM-SC	A-1-b	0	9.5	27.6
K1+000 C	0,0-0,4m	GRAVA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,4-1,0m	ARENOSA	4.82%	21.93%	0.38%	57.98%	19.43%	GM	A-1-b	0	5.5	38.7
K1+500 D	0,0-0,4m	ARENA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,4-1,0m	LIMOSA	17.51%	28.93%	6.53%	79.09%	30.82%	SM	A-2-4	0	12.5	31.9
K2+000 C	0,0-0,4m	ARENA CON	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,4-1,0m	GRVA Y	8.17%	19.22%	1.13%	69.27%	21.86%	SM	A-1-b	0	7.5	73.3
K2+500 I	0,0-0,4m	ARENA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,4-1,0m	ARCILLOSA	12.02%	29.67%	10.19%	99.65%	28.57%	SC	A-2-4	0	9.7	19.4
K3+000 D	0,0-0,4m	ARENA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,4-1,0m	LIMOSA	9.27%	22.99%	3.79%	97.47%	43.62%	SM	A-4	0	10	27.0
K3+500 I	0,0-0,4m	ARENA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,4-1,0m	LIMOSA	4.95%	20.50%	2.14%	88.17%	22.02%	SM	A-1-b	0	9.5	5.4
K4+000 C	0,0-0,4m	ARENA CON	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,4-1,0m	GRAVAS Y	5.67%	21.30%	3.50%	62.78%	17.13%	SM	A-1-b	0	-	-
K4+500 I	0,0-0,4m	ARENA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,4-1,0m	LIMOSA Y	8.90%	22.72%	2.29%	85.02%	25.13%	SM-SC	A-2-4	0	10	62.5
K5+000 C	0,0-0,4m	ARENA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,4-1,0m	LIMOSA	9.90%	22.46%	3.83%	84.63%	37.20%	SM	A-4	0	8	30.3

Una vez obtenidos los resultados de los laboratorios se procedió a analizar los valores para efectuar el diseño de pavimentos.

CAPITULO 5 DISEÑO DE PAVIMENTOS

5.1 ESTUDIO DE TRÁNSITO

Para poder realizar el diseño de pavimentos es necesario conocer el número de ejes equivalentes que transitaran por la vía en el periodo de diseño, ya que el pavimento es una estructura que debe resistir pulsaciones de carga ocasionadas por el tránsito de los vehículos que transitan por ella.

Fue necesario solicitar a la gobernación de Norte de Santander que realizaran unos conteos de tránsito en las vías a estudiar, con el fin de conocer la cantidad de ejes equivalentes a los cuales se verá solicitada la estructura de pavimento, para ello se realizo un formato que fue enviado a los ingenieros encargados por parte de la gobernación para realizar esta tarea.

Ilustración 8. Formato realizado para realizar los conteos de tránsito.

CONTEOS MANUALES DE TRÁNSITO								
1. DATOS DE CONTROL								
1. PROYECTO:								
2. LUGAR:								
3. SENTIDO DE CIRCULACIÓN: Municipio de: _____ a municipio: _____								
FECHA: ___ / ___ / ___								
II. REGISTRO	1	2	3	4	5	6	7	TOTAL
HORA	AUTOMÓVIL TAN-CAMPERO PICKUP 4x4	BUSETA BUS	CARRO 2 EJES PEQUEÑO-PERSON (COP)	CARRO 2 EJES GRANDE (COP)	CARRO 3 Y 4 EJES (COP)	CARRO 3 EJES (C)	CARRO 4 EJES (+C)	
0:00 - 1:00								
1:00 - 2:00								
2:00 - 3:00								
3:00 - 4:00								
4:00 - 5:00								
5:00 - 6:00								
6:00 - 7:00								
7:00 - 8:00								
8:00 - 9:00								
9:00 - 10:00								
10:00 - 11:00								
11:00 - 12:00								
12:00 - 13:00								
13:00 - 14:00								
14:00 - 15:00								
15:00 - 16:00								
16:00 - 17:00								
17:00 - 18:00								
18:00 - 19:00								
19:00 - 20:00								
20:00 - 21:00								
21:00 - 22:00								
22:00 - 23:00								
23:00 - 24:00								

Elaborado por: _____

OBSERVACIONES: _____

Los conteos de tránsito se realizaron por tres días consecutivos las veinticuatro horas en todos los corredores viales, se determinaron puntos estratégicos desde donde se tomaron los conteos en ambas direcciones.

Paralelo a esto se procedió a buscar en la página web del INVIAS si existía algún tipo de conteos realizado, o si existía en la página web del Ministerio de Transporte, en el parte de estadísticas del parte automotor alguna información histórica de conteos vehiculares, sin embargo no se encontró información dado a que estas vías son de segundo orden, por lo cual fue necesario recurrir al manual de diseño de pavimentos asfálticos de bajos volúmenes de tránsito del INVIAS, en donde especifica cómo se deben hacer las proyecciones para este tipo de vías.

Una vez obtenidos los resultados de los conteos de tránsito se procedió a procesar los datos programando una hoja de cálculo en el Software Microsoft office Excel, donde se calculo el tránsito existente, tránsito atraído, el tránsito generado, el tránsito desarrollado, y finalmente el tránsito proyectado en ejes equivalentes a veinte años.

5.1.1 TRÁNSITO EXISTENTE

Es el tránsito existente antes de la mejora de la vía en funcionamiento, usualmente se determina con conteos de tránsito.

En este caso se determino con los conteos de tránsito realizados por la Gobernación de Norte de Santander en las vías en estudio durante tres días consecutivos las veinticuatro horas.

5.1.2 TRÁNSITO ATRAIDO O DESVIADO

Es el tránsito desviado desde otros medios o desde otras vías cercanas, que no cambian ni su origen ni su destino, si no que toman la vía debido a sus mejoras en tiempos de recorrido, disminución de las distancias, mejoras en las características geométricas, en la comodidad y en la seguridad.⁷

Para estos casos se determino que no era significativo ya que las vías son de segundo orden y son paso obligado para la comunicación no existiendo otras vías cercanas que presten un servicio similar.

5.1.3 TRÁNSITO ACTUAL

El tránsito actual es el tránsito existente mas el tránsito atraído, para estos estudios donde el tránsito atraído se desprecia se tomo como tránsito actual al tránsito existente.

5.1.4 TRÁNSITO GENERADO

Este tránsito consta de viajes vehiculares distintos a los del transporte público que no se realizarían si no se construye o mejora la carretera, costa del tránsito inducido o tránsito que nunca antes se había realizado por ningún modo de transporte, tránsito convertido o viajes nuevos que antes se hacían en otros medios de transporte y que ahora se realizarían en vehículos particulares, y tránsito trasladado que consiste en viajes previamente hechos a destinos completamente diferentes pero que ahora se harían por la vía.

⁷ Rafael Cal y Mayor R. James Cárdenas G., Ingeniería de Tránsito fundamentos y aplicaciones, Alfaomega.

Para efectos del estudio se tomo en cuenta la recomendación de Rafael Cal y Mayor quien dice que la tasa de incremento para el tránsito generado oscila entre el 5% y el 25% del tránsito actual, con un periodo de generación de uno o dos años después de que la carretera ha sido abierta al servicio.

Para las vías en estudio se tomo un crecimiento del 15% correspondiente a la media de los valores indicados por Cal y Mayor.

5.1.5 TRÁNSITO DESARROLLADO

Es el tránsito generado debido a las mejoras del suelo adyacente a la vía, la tasa de crecimiento es del orden del 5% del tránsito actual.

Para las vías en estudio se determinaron incrementos del 5% ya que se espera que el mejoramiento de la vía traiga progreso y facilite el comercio entre los pueblos.

5.1.6 CRECIMIENTO NORMAL DEL TRÁNSITO

Es el crecimiento de volumen de tránsito debido al aumento normal en el uso de los vehículos, la producción industrial de mas vehículos, y el deseo de las personas por movilizarse⁸, se traduce en un incremento anual, el cual se debe determinar mediante proyecciones de tránsito basados en series históricas de aforos vehiculares que se hayan realizado en la vía con anterioridad.

Por motivo de que no se encontró información previa de aforos vehiculares en estas vías, se determino recurrir al manual de diseño de pavimentos asfálticos de

⁸ Rafael Cal y Mayor R. James Cárdenas G., Ingeniería de Tránsito fundamentos y aplicaciones, Alfaomega.

bajos volúmenes de tránsito del INVIAS, donde clasifica el tránsito en dos niveles, según la tabla 2.1 del Manual.

Tabla 2. Clasificación de tránsito según el manual de diseño de pavimentos asfálticos para bajos volúmenes de tránsito

Nivel de tránsito	Número de ejes equivalentes de 80 kN durante el período de diseño en el carril de diseño
T1	< 150.000
T2	150.000 - 500.000

Y tomando como referencia de crecimiento la tabla 2.3 del manual.

Tabla 3. Tasa de crecimiento anual vehicular para diseño de pavimentos asfálticos de bajos volúmenes de tránsito

Nivel de tránsito	Tasa de crecimiento
T1	2.0
T2	3.0

Fuente: Elaboración propia con base en los conteos de INVIAS –.

De esta manera se determino la tasa de crecimiento normal de tránsito para cada vía según su respectivo estudio.

5.1.7 TRÁNSITO FUTURO

Es el tránsito esperado al final de un periodo de diseño el cual se estipula no mayor a 20 años ya que se estima que después de ese periodo la confiabilidad de cualquier proyecto se pierde.

El tránsito futuro es la resultante de la suma entre el tránsito existente, tránsito atraído, crecimiento normal de tránsito, tránsito generado, y el tránsito desarrollado.

Para las vías en estudio, el periodo de diseño se tomo de 10 años, sin embargo se calculo hasta 20 años. Ya que por motivos económicos se pretende que la vía a los diez años tenga un mantenimiento que le permita continuar funcionando otros diez años.

5.2 CARGA DE TRÁNSITO

Con base en la información anteriormente establecida, se expreso el tránsito en función de ejes equivalentes de 8.2 toneladas, tomando en cuenta que los vehículos que realmente afectan la vía son los buses o camiones C2P, C2G, C3, C4, C5, y mayores C5, que transitan por las vías en estudio.

Conociendo los factores de daño de cada tipo de eje, se procedió a realizar la proyección vehicular hasta 20 años. Y determinar el número de ejes equivalentes que debe resistir el pavimento diseñado para cada vía.

A continuación se muestran los volúmenes y factores de daño para cada tipo de eje en la vía Carmen – Sumare

Ilustración 9. Volúmenes y factores de daño referentes a la vía Carmen – Sumare.

	AUTOS	BUS+C2P	C2G	C3 Y C4	C5	>C5
VOLUMENES	32	22	6	14	0	0
FACTORES	0	1.14	3.44	3.76	4.4	4.72

Cabe destacar que los factores de daño son los mismos, para cada tipo de eje, solo varían los volúmenes de tránsito dependiendo de cada vía en estudio.

Posteriormente se realizo la proyección vehicular a 20 años en ejes equivalentes.

Ilustración 10. Proyección vehicular a 20 años de la vía Carmen - Sumare

AÑO	BUS+C2P	C2G	C3 Y C4	C5	>C5	Σ Nee D	Nee ANUAL
2010	22	6	14	0	0	99	36284
2011	22	6	15	0	0	101	37010
2012	22	6	15	0	0	103	37750
2013	23	6	15	0	0	105	38505
2014	23	6	16	0	0	108	39275
2015	24	7	16	0	0	110	40060
2016	24	7	16	0	0	112	40862
2017	25	7	17	0	0	114	41679
2018	25	7	17	0	0	116	42512
2019	26	7	17	0	0	119	43363
2020	26	7	18	0	0	121	44230
2021	27	7	18	0	0	124	45114
2022	27	8	18	0	0	126	46017
2023	28	8	19	0	0	129	46937
2024	29	8	19	0	0	131	47876
2025	29	8	19	0	0	134	48833
2026	30	8	20	0	0	136	49810
2027	30	8	20	0	0	139	50806
2028	31	9	21	0	0	142	51822
2029	31	9	21	0	0	145	52859
2030	32	9	21	0	0	148	53916

De esta manera se realizo a cada vía el estudio de tránsito para posterior mente realizar el diseño de pavimentos a 10 años.

5.3 DETERMINACION DEL CBR DE DISEÑO

El ensayo de CBR o (California Bearing Ratio) se realiza con el fin de determinar la capacidad de soporte del suelo de subrasante, en los resultados de laboratorio se puede observar que el valor de CBR varia durante el recorrido de la vía, dado a que esta pasa por diferentes tramos donde el suelo suele tener diferentes características mecánicas, de esta manera y según los resultados de laboratorio

se suele sectorizar la vía en tramos que contengan suelos de características mecánicas similares, por ello se realizaron sectorizaciones en las vías a estudiar aunque en algunas no, ya que los tramos eran muy cortos y no ameritaban realizar una sectorización, por lo general estos cambios en las características mecánicas del suelo de subrasante ocasionan diferencias en los espesores de las capas de pavimento.

Así como se presentan diferencias en las características mecánicas del suelo, en tramos grandes, también suelen presentarse valores de CBR diferentes en tramos cortos, por esta razón es necesario determinar un CBR de diseño para cada tramo, o sector.

El CBR de diseño se determina tomando un percentil a los valores de CBR que arroja el laboratorio en los tramos o tramo estudiado. En este caso se tomo un percentil del 80% para realizar todos los diseños.

Ilustración 11. Resumen de laboratorio vía Carmen – Sumare.

RESUMEN CARMEN - SUMARE			
ABSISA	PROFUNDIDAD	DESCRIPCION	%CBR
K0+000 C	0,0-0,80m	GRAVA ARCILLOSA Y LIMOSA, MEZCLA DE GRAVA, ARCILLA, LIMO, Y ARENA, HUMEDAD	12
K0+500 C	0,15-1,00m	GRAVA ARCILLOSA, MEZCLA DE GRAVA, ARENA Y ARCILLA, HUMEDAD MEDIA.	
K1+000 D	0,13-1,0m	GRAVA MAL GRADADA, CON ARENA Y FINO, HUMEDAD BAJA.	33
K1+500 C	0,10-0,80m	GRAVA MAL GRADADA, CON ARENA Y FINO, HUMEDAD BAJA..	
K2+000 C	0,12-0,64m	FRAGMENTOS DE GRAVA Y ARENA CON POCOS FINOS, HUMEDAD MEDIA.	15
K2+500 C	0,0-0,85m	FRAGMENTOS DE PIEDRA GRAVA Y ARENA CON POCO FINO, HUMEDAD MEDIA.	
K3+000 D	0,30-1,00m	GRAVA ARCILLOSA Y LIMOSA, CON ARENAS, HUMEDAD BAJA.	26

Por ejemplo, para este tramo de 3 km, se determino un CBR de diseño de 14% para un percentil del 80%, dado a que en la zona predominan suelos gravosos y arenosos, lo cual se refleja en el valor CBR.

El percentil es la división de una serie de datos en 100 partes iguales y se toma el valor de la variable a observar que está por debajo del porcentaje dado.

Lo que se busca es que el CBR de diseño funcione para el 80% de todos los puntos determinados, ya que entre menor sea su valor más espesor tendrá la estructura de pavimento y por lo tanto será más costosa.

5.4 DISEÑO DE PAVIMENTOS SEGÚN EL METODO AASHTO 93

Una vez determinado el CBR de diseño para cada vía, se procedió a realizar el diseño de pavimentos según el método AASHTO 93 el cual trabaja con la siguiente ecuación.

Ecuación 1. Ecuación del método AASHTO

$$\log N = Z_r * S_o + 9,36 \log(SN + 1) - 0,20 + \left[\frac{\log \left[\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} \right] + 2,32 \log MR - 8,07$$

El método consiste en encontrar un numero estructural (SN) con el cual se pueden determinar los espesores de las capas de pavimento, subbase, base y capa asfáltica que puedan resistir la carga a la que se verá sometida la estructura.

Los parámetros con los que trabaja la ecuación son los siguientes:

N = tránsito en ejes equivalentes a 8,2Ton

Zr = desviacion estandar normal

So = error normal

ΔPSI = diferencia entre el indice de serviciabilidad inicial y final

MR = modulo resiliente de la subrasante en $\frac{Lb}{pulg^2}$

SN = numero estructural indicativo del espesor total del pavimento

Para los diseños se tomaron los siguientes valores:

5.4.1 TRÁNSITO (N)

El tránsito se determina en ejes equivalentes de 8.2 ton, y se obtiene del estudio de tránsito anteriormente realizado para un periodo de diseño determinado.

En este caso se tomaron los valores para 10 años.

5.4.2 PARAMETRO DE CONFIABILIDAD (R)

El parámetro de confiabilidad es un parámetro que representa el grado de confianza del cálculo realizado, el método solicita este grado de confianza para asegurar que el espesor determinado dure por lo menos el periodo de diseño, en el algoritmo de cálculo este parámetro se liga con la desviación estándar normal Z_r y el error normal S_o , asignado por efectos o errores en el cálculo del tránsito. El factor de confiabilidad del diseño tiene en cuenta las variaciones al azar, tanto en la predicción del tránsito como en la predicción del comportamiento y por lo tanto proporcionan un nivel de confianza (R) para que los tramos de pavimento sobrevivan al periodo por el cual fueron diseñados. Con el nivel de confiabilidad

que se le dé al diseño, se obtienen valores de variación en la predicción del comportamiento del pavimento S_o y los valores de desviación estándar Z_r .

Para el caso se tomaron valores de R de 85% con valor de Z_r de 1.037, y S_o de 0.44.

5.4.3 SERVICIABILIDAD (PSI)

Definida como la capacidad del pavimento para brindar un uso confortable y seguro a los usuarios. Se expresa en términos de índice de serviciabilidad presente, representa el confort en la conducción de vehículos en la vía, se mide de acuerdo al bacheo, la rugosidad, el grado de agrietamiento, y profundidad de las huellas de tránsito, la escala va del 0 al 5 siendo el 0 el PSI mínimo y 5 el máximo.

El ΔPSI se toma como la resta entre el PSI inicial representado cuando la vía esta recién construida y el PSI final cuando el pavimento cumpla su periodo de diseño.

La serviciabilidad inicial que se estimo para este pavimento inmediatamente después de la construcción del mismo es de $PSI_o=4.0$ y se espera que al final del periodo de diseño y por las condiciones de uso se tenga una calificación del nivel de serviciabilidad de $PSI_f=2.0$.

Por lo tanto, se tiene que el cambio en la serviciabilidad es: $\Delta PSI=4.0-2.0=2.0$

La siguiente tabla indica los valores de serviciabilidad según el tipo de vía.

Tabla 4. Índice de serviciabilidad según el tipo de vía.

TIPO DE VIA	AASHTO
Autopista	2.5 – 3.0
Carretera	2.0 – 2.5
Zonas industriales	2.0 – 3.0
Urbano principal	1.5 – 2.0
Urbano secundario	1.5 – 2.0

5.4.4 MODULO RESILIENTE DE LA SUBRASANTE (MR)

Las deformaciones elásticas o resilientes son de recuperación instantánea y se llaman plásticas a las que permanecen después de cesar la carga.

Bajo carga móvil, la deformación permanente se va acumulando y para ciclos intermedios, la deformación permanente para cada ciclo disminuye, hasta que prácticamente desaparece en los ciclos finales, llegando la muestra aun estado tal en que toda la deformación es recuperable, eso es un comportamiento resiliente.

El modulo resiliente se define como el esfuerzo desviador repetido aplicado en compresión triaxial entre la deformación recuperable.

Debido a que los pavimentos están sometidos a esfuerzos dinámicos, es importante determinar la capacidad que tiene la subrasante para recuperarse elásticamente, se han realizado muchos ensayos experimentales para determinar el comportamiento esfuerzo-deformación de la subrasante, entre ellos el de modulo resiliente, sin embargo en nuestro país no hay los medios para realizarlo directamente, por lo que se realiza una correlación con el valor CBR de la subrasante.

El método AASHTO dice que el Mr se puede calcular según las siguientes ecuaciones:

$$Mr \text{ (lb/pulg}^2\text{)} = 1500 \times \text{CBR} \text{ (para suelos de grano fino de 10\% o menos)}$$

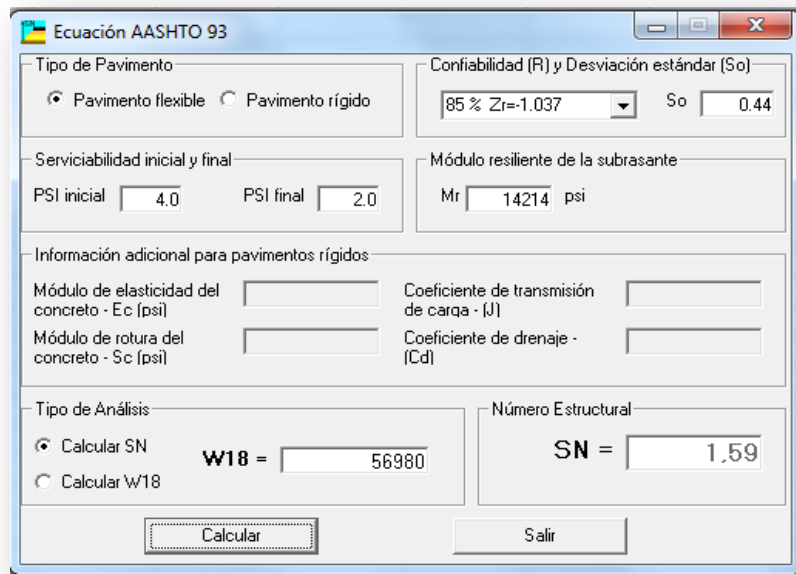
$$Mr \text{ (lb/pulg}^2\text{)} = 3000 \times \text{CBR}^{0.65} \text{ (para CBR de 7.2\% al 20\%)}$$

$$Mr \text{ (lb/pulg}^2\text{)} = 4326 \times \ln(\text{CBR}) + 241 \text{ (para suelos granulares)}$$

De esta manera se procedió a calcular el valor Mr de cada tramo en estudio según su CBR de diseño.

Una vez determinados estos valores se procedió a utilizar la ecuación 1, para determinar el coeficiente estructural SN de cada corredor vial, como la manipulación de la ecuación es complicada, se utilizo un programa para calcular la ecuación AASHTO 93.

Ilustración 12. Programa para calcular la ecuación AASHTO 93 utilizando los parámetros de la vía Salazar - Arboledas



5.4.5 DIMENSIONAMIENTO DE LAS CAPAS DE PAVIMENTO

Una vez obtenido el valor del coeficiente estructural, es necesario dimensionar las capas de subbase, base y capa asfáltica, capaz de soportar las cargas de diseño.

Para ello el método AASHTO utiliza la ecuación siguiente.

Ecuación 2. Ecuación para determinar el espesor de las capas de la estructura de pavimento.

$$SN = a_1 * h_1 + a_2 * h_2 * m_2 + a_3 * h_3 * m_3$$

Donde:

a_i = coeficiente estructural de cada capa.

h_i = espesor de cada capa en pulgadas

m_i = coeficiente de drenaje de la capa i

Conociendo el modulo resiliente M_r de la base granular y subbase granular asumidos según el material que se utilizara como base y subbase granular, también se pueden determinar realizando ensayos de CBR a las capas.

M_r de BG = 28000 MP

M_r de SBG = 15000 MP

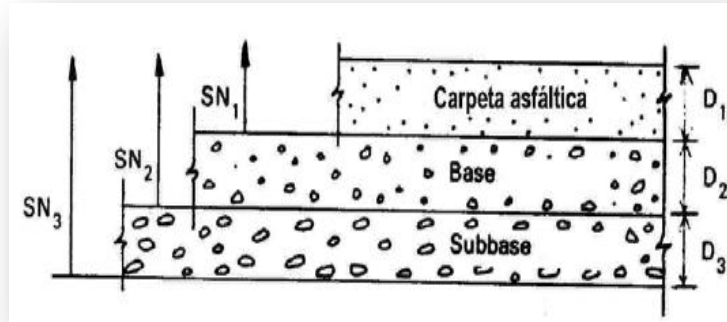
Tomando estos valores se puede calcular el SN de cada capa con la ecuación AASHTO por lo que:

$$SN_3 = a_1 * h_1 + a_2 * h_2 * m_2 + a_3 * h_3 * m_3$$

$$SN_2 = a_1 * h_1 + a_2 * h_2 * m_2$$

$$SN_1 = a_1 * h_1$$

Ilustración 13. Grafico representativo del número estructural en las capas asfálticas.



De tal manera que el SN_3 se sustenta sobre la capa de subrasante utilizando el MR de subrasante, el SN_2 se sustenta sobre la capa de subbase utilizando el MR de subbase, y el SN_1 se sustenta sobre la capa de base y utiliza el MR de la base granular.

Por lo que se puede calcular el valor SN_1 y SN_2 y despejar los espesores.

La guía AASHTO determina los espesores mínimos de las capas así:

Tabla 5. Espesores mínimos de las capas según el número de ejes equivalentes.

ESPESORES MÍNIMOS(pulg)		
$N * 10^6$	Concreto Asfáltico. (pulg)	Base Granular (pulg)
<0.05	1 o TSD	4.0
0.05-0.15	2.0	4.0
0.15-0.5	2.5	4.0
0.5-2.0	3.0	6.0
2.0-7.0	3.5	6.0
>7.0	4.0	6.0

5.4.5.1 COEFICIENTES DE DRENAJE

El parámetro de diseño (m_i) está asociado a las características del material drenante que depende de la calidad de drenaje y del % de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanas a la saturación.

La guía AASHTO clasifica el drenaje de la siguiente manera:

Tabla 6. Clasificación de drenaje según tiempo de evacuación del agua.

Tiempo de Evacuación	Calidad de Drenaje
2 Horas	Excelente
1 Día	Bueno
1 Semana	Aceptable
1 Mes	Pobre
No Drena	Muy pobre

Según localidad de drenaje:

Tabla 7. Clasificación de drenaje según la calidad y el tiempo de exposición a humedad

Calidad del Drenaje	% De tiempo en que la estructura está expuesta a niveles de Humedad cercanos a la Saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.4 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 0.20	1.2
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.0
Aceptable	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.8
Pobre	1.15 - 1.05	1.08 - 0.80	0.80 - 0.60	0.6
Muy Pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.4

Con las guías y el método anteriormente descrito, se procedió a dimensionar las estructuras de pavimento flexible en todos los corredores viales, según sus características y resultados de laboratorios.

5.5 ANALISIS DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES

Posteriormente al dimensionamiento se realizó el análisis de esfuerzos y deformaciones de cada diseño, utilizando el programa DEPAV, con el fin de verificar el comportamiento de la estructura propuesto por el método AASHTO.

Los datos de entrada para el diseño son los siguientes:

Radios de carga: 13.06 cm (Ejes simple)

Presión de contacto: 5.6 Kg/cm²

Distancia entre llantas: 39.18cm

Tránsito esperado en término de ejes equivalentes

Espesores de capas MDC-2, y SBG - 1

Modulo elástico de cada capa MDC-2 = 1860 Mpa, SBG-1 = según criterio Barker.

Relación de poisson de cada capa MDC-2 = 0.35, SBG = 0.4

Se consideran ligadas las interfaces entre capas, y análisis linealmente elástico.

Vehículo de diseño: C3-C4, (debido a que es el vehículo más pesado que circulo por el sector).

Los módulos de elasticidad de cada capa se calcularon de acuerdo al criterio Barker. El cual se utiliza solo para material granular.

Según la siguiente ecuación:

Ecuación 3. Criterio Barker

$$E_{capa\ superior} = E_{capa\ inferior} * (1 + 7.18 * \log(e\ capa)) - 1.56 * \log(E_{capa\ inferior}) * \log(e\ capa)$$

Donde:

$E_{capasup}$ = modulo de la capa a calcular, subbase o base.

$E_{capainf}$ = modulo de la capa inferior, subrasante o subbase según el caso.

e_{capa} = espesor de la capa en consideración, subbase o base.

Partiendo de la subrasante, para la cual se estimo el modulo de elasticidad según el modulo resiliente calculado para cada vía, se procedió a calcular el modulo de elasticidad del resto de las capas. Utilizando la ecuación 3.

De esta manera se estipulo el valor de los módulos de elasticidad de las capas de base granular.

5.5.1 PARAMETROS ADMISIBLES DE DISEÑO

Es necesario determinar los parámetros admisibles de diseño para luego comparar con el análisis en el programa Depav.

Los parámetros admisibles se tomaron según los siguientes criterios

- **ANÁLISIS EN LA CARPETA ASFÁLTICA**

Para la carpeta asfáltica se realizo el control de fatiga o agrietamiento según el criterio SHELL. En donde la deformación unitaria de tracción en la base de la carpeta se calcula con la siguiente ecuación:

Ecuación 4. Calculo de deformación unitaria de tracción en la base de la carpeta.

$$\epsilon_{t1} = (0.856 * Vb + 1,08) * E^{-0.36} * \left(\frac{N}{K}\right)^{-0.2}$$

Donde:

N (No de repeticiones de ejes de 8.2 ton)

E (Capa de cemento asfaltico) = 25000 Kg/cm² = 2.5*10⁹ N/m²

Vb (Volumen de asfalto)= 11.45%

K (Factor de calage): 10

De acuerdo al número de ejes equivalentes de cada vía, el valor de E_{t1} cambia según el caso.

- **ANALISIS EN LA SUBRASANTE**

A la subrasante se le realizo el control de ahuellamiento según el criterio SHELL, donde se calcula la deformación vertical de compresión sobre la superficie con la siguiente ecuación:

Ecuación 5. Deformación vertical de compresión de la superficie de subrasante.

$$\epsilon_z = 1.8 * 10^{-2} * N^{-0.25} \rightarrow NC = 95\%$$

Conociendo que:

N = (No de repeticiones de ejes de 8.2 ton)

Como cada vía tiene un valor diferente de ejes equivalentes, el valor de E_z varia.

También se cálculo el esfuerzo vertical de compresión según el criterio de Dormon y Kerhoven.

Donde el esfuerzo vertical de compresión se calcula de la siguiente manera.

Ecuación 6. Esfuerzo vertical de compresión.

$$eps_v = \frac{0.007 * E3}{1 + 0.7 * \text{Log } N}$$

Donde:

E3 (Modulo de la subrasante)

N (No de repeticiones de ejes de 8.2 ton)

$$epsv = en \text{ Kg/cm}^2$$

Para cada vía el valor de ejes equivalentes es diferente y por lo tanto el valor de $epsv$ será diferente para cada vía en estudio.

Una vez determinados los valores admisibles de diseño se utilizo el programa DEPAV con los valores referentes a cada vía, con el fin de compararlos para saber si el diseño cumple o no.

A continuación se muestra el ejemplo de la vía Carmen Sumare.

Ilustración 14. Calculo de esfuerzos y deformaciones con el programa DEPAV para la vía Carmen-Sumare.

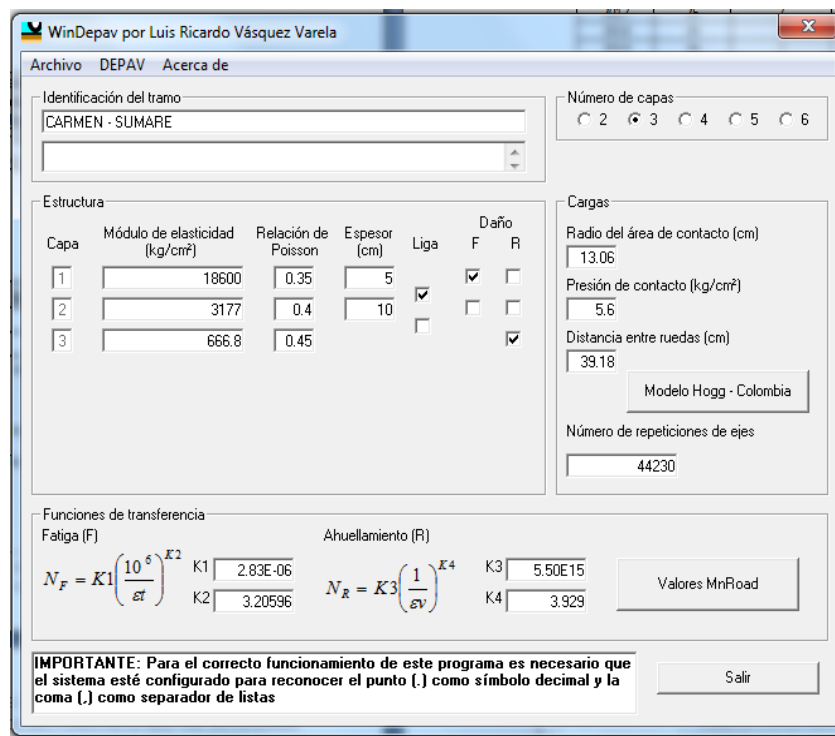


Ilustración 15. Resultados obtenidos con el programa DEPAV.

WinDepav - Resultados

Archivo

Título del problema: Revisión de un diseño de cuatro capas con Número de capas: 4 NESE: 44

Eje de carga		Posición del valor máximo para una carga			Funciones de transferencia			
Radio de las ruedas (cm)	10.80	A	Bajo una rueda simple	Agrietamiento		Ahuellamiento		
Distancia entre los centros de las ruedas (cm)	32.40	B	Bajo una de las ruedas de la carga	K1	2.830E-06	K3	5.500E+15	
Presión de contacto de las ruedas (kg/cm ²)	5.60	C	Al centro de la carga	K2	3.206	K4	3.929	

Estructura, respuestas estructurales y comportamiento

No.	E (kg/cm ²)	v	Z (cm)	st (kg/cm ²)	sz (kg/cm ²)	et (10 ⁻⁶)	Tensión: NF / FDF	ez (10 ⁻⁶)	Compresión: NR / FDR
1	30	0.35	0.00	9.71 B	5.60 A	158 C		-96 C	
Ligada			15.00	-6.85 B	1.07 B	-174 B	3.196E+006 0.01	176 B	
2	1	0.35	15.00	0.11 C	1.07 B	-174 B		492 B	
Ligada			30.00	-0.03 A	0.74 C	-150 C		364 C	
3	1	0.35	30.00	0.18 C	0.74 C	-150 C		566 C	8.405E+004 0.53
Ligada			40.00	0.29 C	0.62 C	-33 C		399 C	
4	6	0.45	40.00	0.17 C	0.62 C	-33 C		74 C	

Deflexión en el centro de la rueda doble D0 (1/100 mm): 17.28

Radio de curvatura (m): 314.34

Radio x Deflexión (m x mm/100): 5

Exportar resultados

Aceptar

De esta manera comparando los valores obtenidos con los valores admisibles se estipulo si los diseños eran o no correctos para todas las vías en estudio, debiendo cumplir todas con el análisis realizado.

Para mayor información se anexa el aporte (Guía de geotecnia de pavimentos para vías de segundo orden), y como ejemplo se anexa el (Informe estudio geotécnico para diseño de pavimentos de la vía arboledas – Salazar del departamento de Norte de Santander).

CONCLUSIONES

- La práctica laboral afianza mucho los conocimientos adquiridos en la universidad y permite el aprendizaje de otros que son muy importantes en el desarrollo profesional del estudiante.
- Los estudios de geotecnia de vías y pavimentos contribuye claramente en el correcto desarrollo funcional de la vía, es indispensable realizarlo de manera clara y responsable tomando siempre los datos más fieles de campo.
- Para que las hipótesis del diseño de pavimentos sean validas, se debe garantizar el correcto manejo del agua, ya que esta afecta de manera grave el diseño si no se controla adecuadamente.
- Se debe garantizar que las muestras tomadas en campo sean en cantidad suficiente y sean tomadas bajo supervisión de un ingeniero capacitado, ya que la cantidad de material se reduce al realizar el tamizado y puede no ser suficiente para realizar las pruebas de Proctor y CBR, además hay que garantizar que la muestra sea del suelo de subrasante y no de algún material de relleno colocado sobre la vía.
- Es importante dejar reposar el tiempo suficiente la probeta de CBR antes de fallarla, más si se trata de suelos finos, ya que algunas veces se generan presiones de poros que adicionan una resistencia al suelo alterando los resultados.

BIBLIOGRAFIA

Rafael Cal y Mayor, James Cárdenas G, Ingeniería de tránsito fundamentos y aplicaciones, México, Alfaomega, 2007, 597.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INVIAS), Normas técnicas de laboratorio y construcción, 2007.

Ruiz Vázquez, Gonzales Huesca, Geología aplicada a la ingeniería civil, México DF, Limusa (Noriega Editores), 2009,256.

Paulo Emilio Bravo, Diseño de carretas técnica y análisis de proyecto, Bogotá-Colombia, Cargraphics S.A imprelibros, 1998, 397.

Fernando Sánchez Sabogal, Pavimentos tomo 1 y tomo 2, Bogotá – Colombia, 596.

Nicholas J. Garber Lester A. Hoel, Ingeniería de tránsito y carreteras, Mexico DF, Thomsom, 2004, 1170.

Rico del Castillo, La ingeniería de suelos en las vías terrestres carreteras, ferrocarriles y aeropistas, Mexico DF, Limusa (Noriega editores), 1996, 643.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INVIAS), Manual de diseño de pavimentos flexibles para bajos y medianos volúmenes de tránsito, 2007.

NSR-98 (Normas Colombianas de diseño y construcción sismo resistente, Titulo H, Bogotá –Colombia, 1998.

**Anexo 1. APORTE GUIA DE GEOTECNIA DE PAVIMENTOS PARA VIAS DE
SEGUNDO ORDEN**

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	73
OBJETIVO	74
ALCANCE	74
JUSTIFICACION	75
CAPITULO 1. NORMTIVIDAD	76
1.1 RESPONSABILIDAD	76
CAPITULO 2. RECOPIACION DE INFORMACION	78
2.1 PLANEACION DE VISITAS DE CAMPO	82
CAPITULO 3. EXPLORACION DE CAMPO	85
3.1 APIQUES	85
CAPITULO 4. ENSAYOS DE LABORATORIO	89
4.1 HUMEDAD NATURAL	89
4.2 ENSAYO DE GRANULOMETRIA	90
4.3 LIMITES DE ATTERBERG	93
4.3.1 LIMITE LÍQUIDO	93
4.3.2 LIMITE PLASTICO	96
4.4 CLASIFICACION DE LOS SUELOS	99
4.4.1 METODO USCS	99
4.4.1.1 CLASIFICACION DE SUELOS DE GRANOS GRUESOS	99
4.4.1.2 CLASIFICACION DE SUELOS DE GRANOS FINOS	101
4.4.2 CLASIFICACION AASTHO	103
CAPITULO 5. CAPACIDAD MECANICA DEL SUELO DE SUBRASANTE	106
5.1 ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO	107

5.2	ENSAYO DE CBR.....	110
5.3	PERFILES ESTRATIGRAFICOS.....	116

LISTA DE IMAGENES

Imagen 1. visita de campo Cachira los Mangos	83
Imagen 2. Toma muestra de roca.	83
Imagen 3. Reconocimiento de la rasante sobre el K0+280 de la vía Silos – La laguna.	84
Imagen 4. Vista de estratos de roca de una cantera ubicada sobre la vía Toledo-Chinacota.....	84
Imagen 5. Realización de apique sobre el K8+350 de la vía Llano grande Teorama del departamento de Norte de Santander.	86
Imagen 6. Apique en la vía Salazar Arboledas sobre el K13+000.	87
Imagen 7. Apique sobre la vía Salazar-Arboledas	88
Imagen 8. Tamices.	91
Imagen 9. Ensayo de granulometría.	91
Imagen 10. Preparación de la mezcla para la realización del ensayo de límite líquido.	94
Imagen 11. Extendiendo el material sobre la cazuela.....	94
Imagen 12. Realizando la ranura.	94
Imagen 13. Tomando los golpes.....	94
Imagen 14. Tomando la muestra de humedad.	95
Imagen 15. Ensayo de límite plástico.	98
Imagen 16. Rollos de suelo de 3mm.....	98
Imagen 17. Proctor modificado.	107
Imagen 18. Compactando.....	108
Imagen 19. Registro de datos	108
Imagen 20. Preparación del ensayo CBR compactación.....	110
Imagen 21. Enraza.....	111
Imagen 22. Colocación de los anillos de carga.....	111
Imagen 23. Se sumergen en agua.....	112
Imagen 24. Fallo en la maquina CBR	113

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Plano de localización de planchas topográficas del área metropolitana de Bucaramanga (IGAC).....	80
Ilustración 2. Mapa Geológico del departamento de Norte de Santander (INGEOMINAS).....	80
Ilustración 3. Mapa vial del departamento de Norte de Santander (INVIAS)	81
Ilustración 4. Ejemplo de Fotografía aérea sobre Cartagena vuelo VC-987 de 1961	81
Ilustración 5. Grafica de granulometría.	92
Ilustración 6. Determinación de la grafica humedad vs numero de golpes	96
Ilustración 7. Carta de plasticidad.	101
Ilustración 8. Tabla para clasificación de suelo según ASSTHO.	103
Ilustración 9. Densidad seca vs humedad.	109
Ilustración 10. Valor de la relación soporte CBR.....	113
Ilustración 11. Curvas CBR.....	114
Ilustración 12. CBR vs densidad seca	114
Ilustración 13. Resumen para evaluar el CBR de diseño.....	115
Ilustración 14. Resumen resultados de laboratorio.	116

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Determinación de la humedad.	89
Ecuación 2. Porcentaje retenido.	92
Ecuación 3. Porcentaje que pasa.	92
Ecuación 4. Índice de plasticidad.	97
Ecuación 5. Coeficientes de uniformidad y curvatura.	100
Ecuación 6. Calculo del índice de grupo.	104
Ecuación 7. Índice de grupo para los grupos A-2-6 y A-2-7.	105
Ecuación 8. Densidad húmeda.	109

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tamaños de tamices para granulometría.....90

Tabla 2. Criterio para seleccionar el percentil según el Instituto de Asfalto. 116

INTRODUCCION

Para la realización de un proyecto vial, es necesario realizar un estudio de geotecnia que permita identificar, clasificar, y conocer la capacidad portante de los suelos sobre los cuales se sustentara la vía, dado a que este es un procedimiento largo que sigue una serie de metodologías que se deben realizar guiados por el especialista del que no existe gran cantidad de material bibliográfico, se decidió realizar una guía sencilla de geotecnia de pavimentos para vías secundarias, que permita al estudiante tener una herramienta introductoria y le brinde ayuda, ya que a lo largo de los años las vías han tenido una proyección que va en aumento, pues el desarrollo ha incentivado la necesidad de que el país cuente con una infraestructura vial acorde al desarrollo al cual se enfrentara en un futuro cercano, por ello el ingeniero debe estar preparado para enfrentarse a un estudio de suelos ya que es indispensable para el correcto desempeño futuro de una vía, y garantizar su buen comportamiento, pues si el estudio de suelos no es correcto, se pueden presentar graves complicaciones sobre la banca en el futuro.

Se espera que esta guía sea de ayuda a los estudiantes que deseen participar activamente en esta área, y les permita tener las nociones primarias sobre cómo se debe realizar un estudio geotécnico para una vía de segundo orden.

OBJETIVO

Este aporte tiene como objetivo poner a disposición de los estudiantes e ingenieros un material introductorio, referente al estudio geotécnico de vías de segundo orden, suministrar una orientación acerca de la metodología sobre cómo se debe realizar el estudio previo al diseño de pavimentos.

ALCANCE

Se pretende dar pautas acerca de cómo se debe realizar el estudio geotécnico de pavimentos, tomando en cuenta la normatividad vigente, se espera que sirva como material previo al estudiante que pretenda conocer más acerca de este tema con el fin de prestar una introducción de conocimiento general.

De ninguna manera se debe interpretar esta guía como una metodología para realizar estudios si no que se debe recurrir a toda la normatividad vigente y consultar todos los documentos técnicos existentes referente a este tema.

JUSTIFICACION

“La mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la física y las ciencias naturales a los problemas que involucran las cargas impuestas a la carga superficial de la corteza terrestre”.⁹

Muchos de los problemas que se encuentran en ingeniería tiene que ver en el cómo se transmiten las cargas a los suelos, más aun cómo reaccionan estos a las mismas. Las vías no son la excepción, merecen un estudio detallado de geotecnia donde se clasifiquen los suelos y las capacidades mecánicas de estos, pues son estos los que sustentaran la estructura vial.

Es muy importante comprender que una vía es una superficie de rodadura por la cual pasaran determinadas cargas de tránsito, que a su vez transmiten una carga a la subrasante de la vía, es decir a la corteza terrestre que sustenta dicha vía, siendo variables las características propias del suelo y sus características mecánicas, ya que la vía tendrá que pasar por diferentes zonas donde las características de los suelos son diferentes, tanto geológicamente, como mecánicamente, además de enfrentar variaciones en la humedad y otros factores que afectan el suelo.

Dado a que la bibliografía respecto a este tema es escasa, se decidió realizar este aporte con el fin de hacer conocer a los interesados cómo se debe realizar un estudio de suelos para vías de segundo orden, presentando una guía que sirva al estudiante a comprender el proceso llevado a cabo al realizar el estudio.

⁹ Karl von terzaghi.

CAPITULO 1. NORMTIVIDAD

La normatividad vigente en Colombia es la NSR-98 título H donde se encuentra toda la información referente a como se deben realizar los estudios geotécnicos y exploración del subsuelo en Colombia, esta norma se encuentra actualmente en transitoriedad a la norma NSR-2010, se espera que para el día 15 de diciembre de 2010 salga la nueva norma, todos los estudios geotécnicos deberán estar regidos por esta norma, según la ley 400 de 1997, y decreto 33 de 1998.

Existen otras entidades gubernamentales, departamentales que también refieren normas regionales para realizar estudios geotécnicos como la Corporación Autónoma Regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga (CDMB) y otras cuya jurisdicción e influencia depende de la ubicación regional ya que estas están distribuidas por todo el país, por lo que es importante conocer cuáles son las corporaciones o entidades ambientales que rigen en el sitio donde se realizara el proyecto.

Los laboratorios y demás especificaciones técnicas se rigen por el Instituto Nacional de Vías INVIAS quien define la normatividad para realizar todos los estudios de laboratorio y exploración, además de implantar las normas de construcción de vías en Colombia.

1.1 RESPONSABILIDAD

Es importante tener en cuenta que toda obra vial “debe tener un estudio de suelos firmado por un ingeniero civil titulado, matriculado y con tarjeta profesional vigente, facultado por este fin por la ley 400 de 1997”¹⁰, y “El cumplimiento de las normas básicas mínimas, no exime al ingeniero responsable de la ejecución del estudio

¹⁰ NSR-98 H.1.1.2.1

geotécnico, de realizar todas las investigaciones y los análisis adicionales necesarios para garantizar un adecuado conocimiento del subsuelo, la estabilidad de la edificación, las construcciones vecinas y la infraestructura preexistente”¹¹.

¹¹ NSR-98 H.1.1.2.2

CAPITULO 2. RECOPIACION DE INFORMACION

Para realizar efectivamente un estudio geotécnico de vías, es importante adquirir y recopilar toda la información referente al proyecto que se piensa realizar, la vía puede existir ya, o puede estar en fase de diseño, en cualquiera de los dos casos es indispensable recopilar toda la información referente a esta, se debe conocer el clima, la ubicación, el trazado, mapas geológicos, de amenazas, hidrológicos, viales, topográficos, etc.

Toda esta información, brinda al ingeniero la base para reconocer las ventajas y desventajas del terreno, y de la geología a la que se enfrenta, esta información se puede adquirir en entidades estatales entre las cuales se encuentran el Instituto Geografico Agustin Codazzi (IGAC), Ingeominas, o también las gobernaciones de cada departamento, e incluso si es necesario se pueden comprar o adquirir imágenes satelitales o fotografías aéreas como LANDSAT, SPOT etc.

- Instituto Geografico Agustin Codazzi (IGAG): allí se pueden encontrar los planos topográficos, los cuales están divididos por regiones y por planchas las cuales se pueden solicitar a pedido, estas planchas se encuentran en forma física o digital, en escalas 1:25000, 1:50000 también se encuentra todo lo referente a la agrología, catastro, geografía y cartografía.
- Instituto Colombiano de Minería y Geología (Ingeominas): allí se encuentran los planos geológicos respectivos de todo el país, los cuales también se pueden solicitar a pedido en medio magnético o físico, también está todo lo referente a la minería en Colombia, ya que esta es la autoridad gubernamental respecto a este tema.

- **Gobernaciones:** en las gobernaciones de cada departamento hay un banco de datos donde se encuentran los esquemas de ordenamiento territorial (EOT) y planes de ordenamiento territorial (POT) de cada municipio, allí se puede tener información referente a la climatología, geología, topografía, amenazas, población, tasas de crecimiento, tasas de producción agrícola, hidrología, mapas de isohietas, mapas viales etc.
- **Imágenes satelitales:** también es posible comprar imágenes satelitales donde se aprecien las condiciones topográficas del terreno, se vean las vías, los ríos, y se pueden apreciar fallos, depresiones, cobertura vegetal etc, las imágenes se pueden comprar por internet.
- **Fotografías aéreas:** las fotografías aéreas también son de gran utilidad, el IGAG suministra fotografías aéreas con especificaciones del año en el que fue tomado, el registro, numero de vuelo, la escala y la altura, también se pueden programar vuelos personalizados para fotografiar las zonas necesarias e interpretarlas con técnicas de fotogrametría.
- **INVIAS:** el Instituto nacional de vías, provee toda la información referente a los conteos de tránsito vehiculares además de tener todos los mapas viales del país. Cuenta con estudios de vías y conteos vehiculares a demás rige la normatividad de pruebas de laboratorios y de construcción de vías.

A continuación se muestran algunos ejemplos de planos y fotografías que se pueden conseguir en las instituciones anteriormente mencionadas.

Ilustración 16. Plano de localización de planchas topográficas del área metropolitana de Bucaramanga (IGAC).

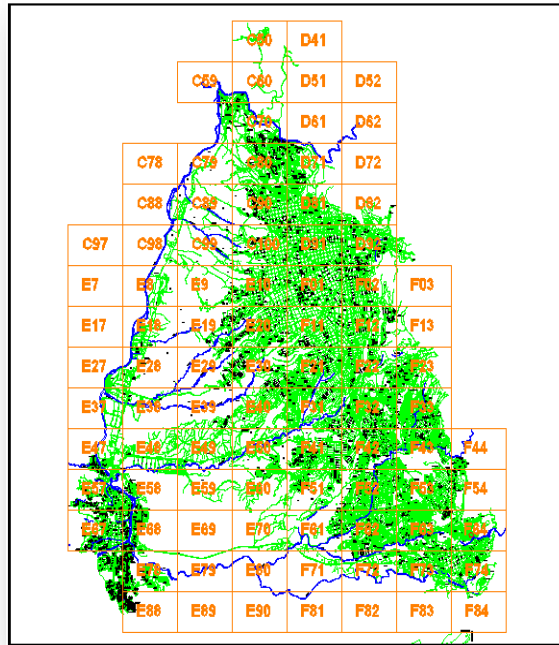


Ilustración 17. Mapa Geológico del departamento de Norte de Santander (INGEOMINAS)

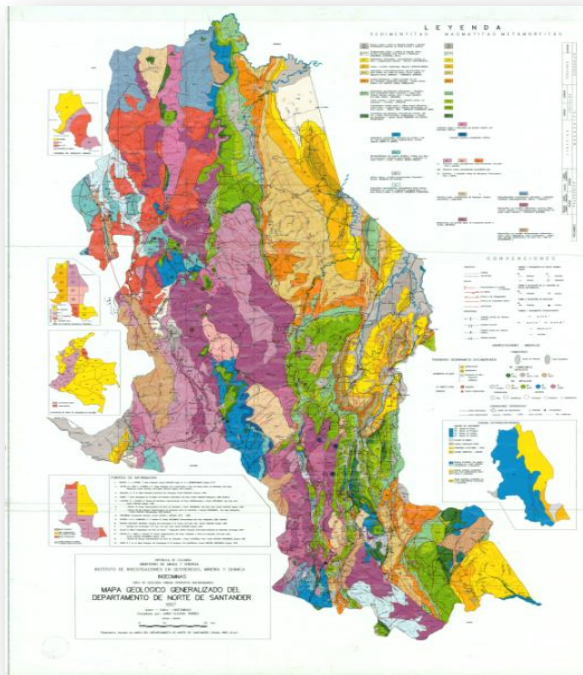


Ilustración 18. Mapa vial del departamento de Norte de Santander (INVIAS)



Ilustración 19. Ejemplo de Fotografía aérea sobre Cartagena vuelo VC-987 de 1961



Una vez obtenida la recopilación referente al proyecto, es necesario clasificarla, analizarla, observar cuales son los puntos clave, las ventajas que se tienen y las desventajas que afrontará el proyecto. Esta información le da al ingeniero una idea más clara y global del estado en el que se encuentra la zona en estudio.

Paralelo a la recopilación de información se debe ir realizando un informe en donde se describan las condiciones del proyecto, como la ubicación, la geología, el clima, el propósito del informe, los objetivos, alcance y todo lo referente al proyecto, ya que el informe es la cara que se dará a conocer al cliente, allí se deberán dar a conocer todos los resultados del estudio.

2.1 PLANEACION DE VISITAS DE CAMPO

Una vez identificados los problemas posibles que enfrenta la vía, es necesario planear visitas de campo para examinar en campo la información, se debe ir en compañía de expertos en otras ramas como Geólogos, ingenieros geotecnistas, el diseñador de la vía, así como auxiliares, se debe llevar el material que se selecciono, como planos geológicos, viales, orográficos etc. además de herramientas como cámara, brújula, martillo geológico, GPS, cámara de video, libreta de apuntes, diseños preliminares etc, con el fin de chequear en campo todos los puntos y características de los suelos, rocas y materiales.

Se debe chequear la vía existente, o el trazado, ir mirando los suelos, la geología, la topografía, los accidentes geográficos, ríos, quebradas, y todo o que compete al estado de la banca.

El objetivo principal es identificar y ubicar todos los puntos inestables que requieran por ejemplo obras de arte, drenajes, o estudios más profundos de la subrasante de la vía.

Imagen 13. visita de campo Cachira los Mangos



Imagen 14. Toma muestra de roca.



Imagen 15. Reconocimiento de la rasante sobre el K0+280 de la vía Silos – La laguna.



Imagen 16. Vista de estratos de roca de una cantera ubicada sobre la vía Toledo-Chinacota.



De esta manera se identifican los sitios inestables y se observa el estado de la banca.

CAPITULO 3. EXPLORACION DE CAMPO

Consiste en la ejecución de apiques, trincheras, perforaciones estáticas o dinámicas, u otros procedimientos exploratorios reconocidos en la práctica, con el fin de ejecutar pruebas directas o indirectas en el terreno y obtener muestras para ensayos de laboratorio. La exploración debe ser amplia y suficiente para garantizar un adecuado conocimiento del subsuelo hasta la profundidad afectada por la construcción, teniendo en cuenta la complejidad del proyecto¹².

3.1 APIQUES

Un apique consiste en realizar una excavación u hoyo bajo el suelo de subrasante, para extraer una muestra alterada de material, a la cual se le deberá realizar ensayos de granulometría, y límites, con el fin de clasificar el suelo de acuerdo a sus características mecánicas y geotécnicas.

Se deben realizar apiques sobre la subrasante de la vía, para poder definir las características mecánicas del suelo que sustentara la vía, es demasiado importante definir el perfil estratigráfico, para ello existen diferentes mecanismos los cuales son nombrados en la norma INVIAS E-101-07 (investigación de suelos y rocas para propósitos de ingeniería), los apiques deben realizarse sobre la vía mínimo cada 500 metros¹³

La profundidad de los apiques o perforaciones para estratos de pavimentos en carreteras, aeropuertos, o áreas de estacionamiento, deberá ser al menos de 1.5 m (5 pies) por debajo del nivel proyectado para la subrasante, pero circunstancias especiales pueden aumentar esa profundidad o disminuir. Los sondeos para

¹² NSR-98 H.3.2.2.

¹³ Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías de bajos y medios volúmenes de tránsito, capítulo 4, INVIAS

estructuras o terraplenes deberán llevarse por debajo del nivel de influencia de la carga propuesta, determinado mediante un análisis de transmisión de esfuerzos en capas de suelo profundas.¹⁴

Imagen 17. Realización de apique sobre el K8+350 de la vía Llano grande Teorama del departamento de Norte de Santander.



Para realizar un apique es necesario llevar a campo herramientas como barra, pica, pala, saca tierra, metro etc, también se deben tener bolsas plásticas, sacos, marcador, y papel.

El procedimiento consiste en realizar un hoyo o excavación de 1m x 1m o dimensiones definidas por el ingeniero a una profundidad de 1.5 m o según se requiera, utilizando la barra, y de mas herramientas anteriormente mencionadas, el material se debe sacar y guardar en bolsas plásticas, con el fin de que la humedad natural no se pierda, se deben tomar las muestras en cantidad suficiente (40 kg) aproximadamente, para realizar las pruebas de laboratorio como

¹⁴ INV E-101-07 parágrafo 7.2.

granulometría, límites, proctor y CBR. Además de esto, se debe colocar una nota donde especifique la abscisa, la profundidad, margen y el nombre de la vía dentro de una bolsa plástica, de tal manera que no se dañe por la humedad natural del suelo.

Si existen varios estratos dentro del apique es recomendable separarlos en bolsas diferentes para no mezclarlos y así tener las muestras tal como están en el terreno. De esta manera se garantiza que los ensayos de laboratorio sean más confiables.

Imagen 18. Apique en la vía Salazar Arboledas sobre el K13+000.



Se deben tomar las profundidades con cinta y estar seguros de que la nota quede bien escrita, además de empacar las muestras muy bien para que no se pierdan o dañen durante el transporte.

Imagen 19. Apique sobre la vía Salazar-Arboledas



Una vez obtenidos las muestras se deben llevar al laboratorio para realizar las pruebas correspondientes.

CAPITULO 4. ENSAYOS DE LABORATORIO

A las muestras obtenidas de los apiques se deben realizar los ensayos de laboratorio correspondientes, como humedad, granulometría, límites de Atterberg, Proctor, y CBR.

4.1 HUMEDAD NATURAL

El contenido de agua del material se define como la relación, expresada en porcentaje, entre la masa de agua que llena los poros o "agua libre", en una masa de material, y la masa de las partículas sólidas de material.¹⁵ Este ensayo se debe hacer inmediatamente a las muestras antes de que se pierda la humedad por motivos ambientales.

La humedad natural se determina tomando una muestra de suelo natural, en una tara pesándolo y secando en el horno durante mínimo 18 horas, para luego tomar el peso del suelo seco, por diferencia de pesos se determina el % de humedad natural.

Ecuación 7. Determinación de la humedad.

$$\% \text{ humedad} = \frac{W1 - W2}{W2 - Wc} \times 100$$

Donde:

W1=masa del recipiente y del espécimen húmedo.

W2=masa del recipiente y del espécimen seco.

Wc=masa del recipiente.

¹⁵ INV E-122-07

4.2 ENSAYO DE GRANULOMETRIA

El ensayo granulométrico tiene por objeto la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo¹⁶.

El ensayo de granulometría se debe realizar según la norma INVIAS INV E-123-07, donde especifica el procedimiento que se debe realizar para tal fin.

Este ensayo consiste en separar las partículas de tamaños específicos al hacer pasar el material, por los tamices, de esta manera se determinan los porcentajes de material que quedan retenidos en dichos tamices, los tamices varían en tamaño desde 75 mm hasta 75 μ m.

Tabla 8. Tamaños de tamices para granulometría

Tamiz,plg	Tamiz,mm
2"	50.8
1 1/2"	38.1
1"	25.4
3/4"	19.05
1/2"	12.7
3/8"	9.52
No	mm
4	4.76
10	2
20	0.84
40	0.42
60	0.25
100	0.149
200	0.074

Los materiales retenidos en los tamices 2" a 3/8" son considerados como gravas, los materiales retenidos en los tamices No 4 al No 200 son considerados como arenas, y los materiales que pasan el No 200 se consideran finos. Los materiales que pasan el No 4 se lavan sobre el tamiz No 200 con el fin de sacar el valor de los finos con mayor exactitud, ya que los finos usualmente se pegan a las partículas más grandes y es difícil obtener el valor real al sacudirlos, por ello es mejor lavar el material.

¹⁶ INV E-123-07.

Imagen 20. Tamices.



Imagen 21. Ensayo de granulometría.



El material retenido en los tamices se pesa y se saca el porcentaje de la siguiente manera.

Ecuación 8. Porcentaje retenido.

$$\%retenido = ((masa\ retenida) / (masa\ total)) \times 100$$

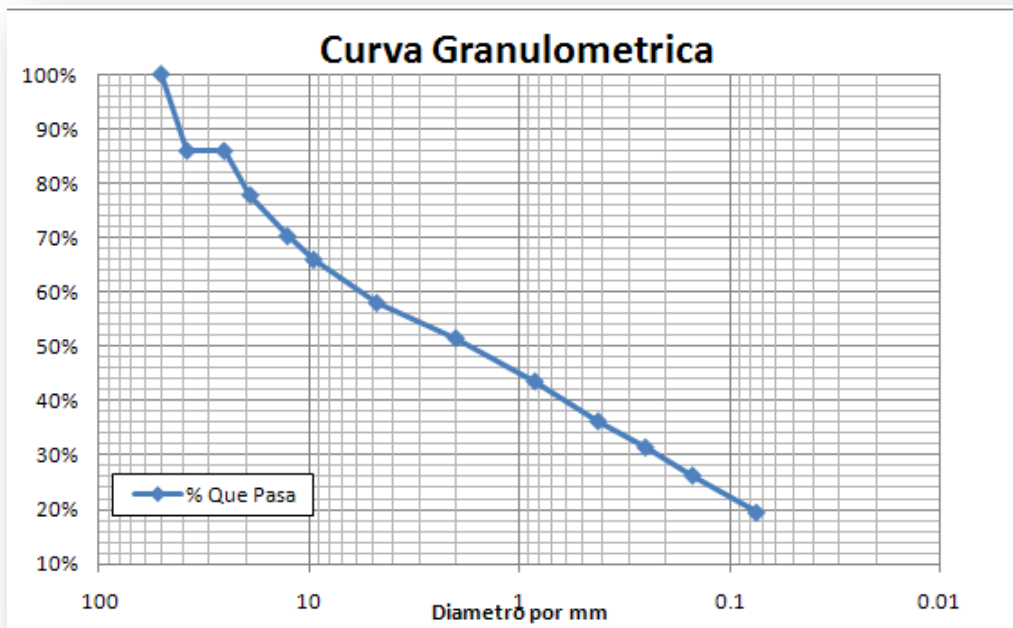
El porcentaje que pasa por el tamiz se calcula de la siguiente manera.

Ecuación 9. Porcentaje que pasa.

$$\%pasa = ((masa\ total - masa\ retenida) / (masa\ total)) \times 100$$

Una vez obtenidos estos datos se procede a realizar la curva granulométrica donde se grafica el porcentaje que pasa vs el diámetro en milímetros.

Ilustración 20. Grafica de granulometría.



4.3 LIMITES DE ATTERBERG

4.3.1 LIMITE LÍQUIDO

El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando éste se halla en el límite entre el estado líquido y el estado plástico.¹⁷

Para realizar este ensayo es necesario tener los implementos necesarios, de acuerdo a la norma INV E-125 DEL INVIAS, vasija de evaporación, espátula, aparato de límite líquido, ranurador, calibrador, recipientes, balanza de sensibilidad de 0.01g, y un horno.

La determinación del límite líquido es muy importante para determinar cuál es el grado de plasticidad del suelo. Se realiza tomando una porción del material que pasa el tamiz No 40, se le agrega entre 20 y 30 ml de agua, y se mezcla bien en la vasija de evaporación amasándola y tajándola con la espátula, se puede adicionar más agua de 1 a 3 ml por vez amasando el material hasta que quede una pasta uniforme dura, luego esta se extiende en la cazuela de Casagrande con la espátula a un espesor de 10mm y después con el ranurador se hace una ranura por el centro, luego se levanta y golpea la cazuela girando la manija a una velocidad de dos revoluciones por segundo, se van contando los golpes hasta que las dos mitades de la pasta de suelo se pongan en contacto en el fondo de la cazuela, algunas veces el suelo se desliza sobre la cazuela y no se puede determinar el límite líquido. Luego se toma una muestra, se pesa el material y se determina la humedad. El procedimiento se realiza dos veces más agregándole más agua de tal manera que el número de golpes para que se junten las mitades disminuyan más o menos en un orden de 10. Y se toma la humedad.

¹⁷ INV E-125-07

Imagen 22. Preparación de la mezcla para la realización del ensayo de limite liquido.



Imagen 23. Extendiendo el material sobre la cazuela.



Imagen 24. Realizando la ranura.



Imagen 25. Tomando los golpes.



Imagen 26. Tomando la muestra de humedad.



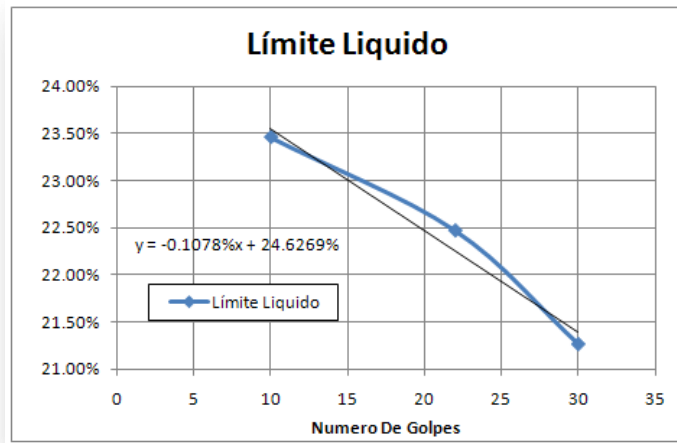
Después de realizar el ensayo, se procede a procesar los datos en hoja de cálculo, y realizar la grafica de límite líquido.

Se calcula el contenido de humedad del suelo con la ecuación numero 1, el porcentaje de humedad se debe tomar con aproximación del entero más próximo.

Luego se grafica la cantidad de humedad vs el numero de golpes. Obteniendo así la curva, a la cual se le agrega una línea de tendencia y se determina la ecuación

de la misma, el límite líquido será la humedad a los 25 golpes remplaceando en la ecuación del grafico.

Ilustración 21. Determinación de la grafica humedad vs numero de golpes



4.3.2 LIMITE PLASTICO

El límite plástico de un suelo es el contenido más bajo de agua, en el cual el suelo permanece en estado plástico. El índice de plasticidad de un suelo es el tamaño del intervalo de contenido de agua, expresado como un porcentaje de la masa seca de suelo, dentro del cual el material está en un estado plástico. Este índice corresponde a la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico del suelo.¹⁸

Este ensayo se rige por la norma INV E-126-07, donde se determina el límite plástico de un suelo de acuerdo al moldeo manual de rollos de suelo el cual sigue la siguiente definición:

¹⁸ INV E-126-07

Se denomina límite plástico a la humedad más baja con la cual pueden formarse rollos de suelo de unos 3mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa, sin que dichos rollos se desmoronen.

Se deben tener los siguientes materiales:

Espátula, vasija de evaporación, balanza de 100g, aparato de enrollamiento (manos), vidrio esmerilado, recipiente, horno, y tamiz No 40.

El procedimiento es el siguiente: se toma una muestra de suelo que pase el tamiz No 40 como se indica con anterioridad, luego se toma en la vasija de evaporación y se mezcla echándole poca agua, se amasa hasta que pueda formarse con facilidad una esfera de suelo sin que se pegue a los dedos, luego se forman rollos de masa de suelo de 3mm de diámetro con la mano en la superficie plana, en este caso el vidrio, una vez obtenido el diámetro se divide el rollo en 6 u 8 trozos y se vuelve a repetir el proceso de enrollamiento, hasta que el rollo se agriete y se desmorone en la mano, luego se toman los pedazos, se pesan en un recipiente para luego secarlo al horno, así se hace con todos los especímenes, y se toma la humedad de estos de acuerdo a la ecuación numero 1.

El límite plástico se determina sacando el promedio de humedad, que da los especímenes, en ningún caso la diferencia de humedad de los especímenes debe ser mayor a 2%.

Una vez obtenido el límite líquido y el límite plástico, se puede determinar el índice de plasticidad el cual se calcula de la siguiente manera.

Ecuación 10. Índice de plasticidad.

$$\text{Índice de plasticidad} = \text{límite líquido} - \text{límite plástico}$$

Imagen 27. Ensayo de límite plástico.

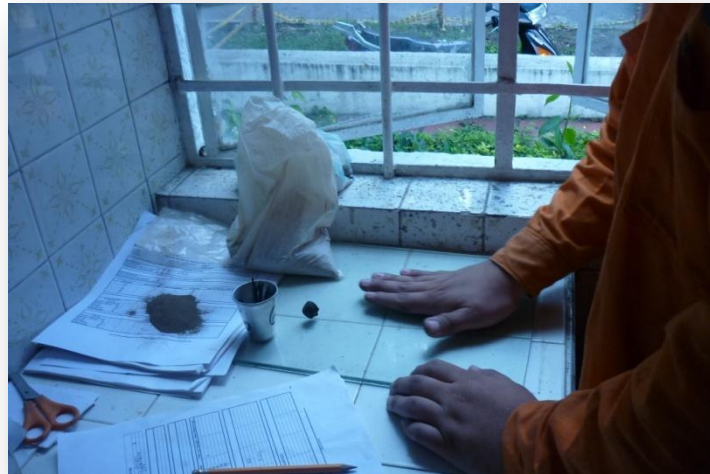


Imagen 28. Rollos de suelo de 3mm.



Una vez obtenido el índice de plasticidad se pueden clasificar los materiales por el sistema unificado de clasificación de suelos USCS y por el método AASTHO.

4.4 CLASIFICACION DE LOS SUELOS

Los suelos se deben clasificar utilizando la carta de plasticidad para suelos finos determinada por el método unificado de clasificación de suelos USCS, y el método AASTHO.

4.4.1 METODO USCS

El método USCS fue un método desarrollado por Casagrande para identificar y agrupar suelos en forma rápida en obras militares durante la guerra. Este sistema divide los suelos primero en dos grandes grupos, de granos gruesos y de granos finos. Los primeros tienen más del 50 por ciento en peso de granos mayores que 0,08 mm; se representan por el símbolo G si más de la mitad, en peso, de las partículas gruesas son retenidas en tamiz 5 mm, y por el símbolo S si más de la mitad pasa por tamiz 5 mm. A la G o a la S se les agrega una segunda letra que describe la graduación: W, buena graduación con poco o ningún fino; P, graduación pobre, uniforme o discontinua con poco o ningún fino; M, que contiene limo o limo y arena; C, que contiene arcilla o arena y arcilla. Los suelos finos, con más del 50 por ciento bajo tamiz 0,08 mm, se dividen en tres grupos, las arcillas (C), los limos (M) y limos o arcillas orgánicos (O). Estos símbolos están seguidos por una segunda letra que depende de la magnitud del límite líquido e indica la compresibilidad relativa: L, si el límite líquido es menor a 50 y H, si es mayor.

4.4.1.1 CLASIFICACION DE SUELOS DE GRANOS GRUESOS

Si el porcentaje de gravas es mayor al 50% del material retenido en el tamiz No 4, el material será una grava, si el material que pasa el No 4 es mayor del 50% será una arena, si menos del 5% del material pasa por el tamiz No 200,

se debe calcular el coeficiente de uniformidad, (C_u), y el coeficiente de curvatura (C_c) de las arenas o de las gravas.

Ecuación 11. Coeficientes de uniformidad y curvatura.

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{10} * d_{60}}$$

Si el valor de $C_u > 4$ y $1 < C_c < 3$ entonces será una Gw o grava bien gradada, si no satisface la condición será Gp o grava mal gradada.

Si el valor de $C_u > 6$ y $1 < C_c < 3$ será un Sw o arena bien gradada, si no satisface la condición será arena mal gradada o Sp.

Si más que el 12%, en peso, de la muestra de ensaye pasa por No 200, analice los valores del límite líquido (w_L) e índice de plasticidad (IP) mediante la línea "A" de la carta de plasticidad). Clasifique la muestra como grava limosa (GM), o arena limosa (SM), si los resultados de los límites de consistencia muestran que los finos son limosos, es decir, si al dibujar w_L versus IP, este punto cae bajo la línea "A" o el IP es menor que 4. Clasifique la muestra como grava arcillosa (GC), o arena arcillosa (SC), si los finos son arcillosos, es decir, si al dibujar el w , versus IP, cae sobre la línea "A" y el IP es mayor que 7. Si el punto del límite líquido versus índice de plasticidad cae prácticamente en la línea "A" o está sobre esta línea, pero el índice de plasticidad está comprendido entre 4 y 7, dé clasificación doble tal como GM-GC o SM-SC. Si pasa por tamiz No 200 del 5 al 12% de la muestra, el suelo llevará clasificación doble, basada en los criterios de graduación y límites de consistencia, tales como GW-GC o SP-SM. En casos dudosos, la regla es favorecer a la clasificación de menos plasticidad.

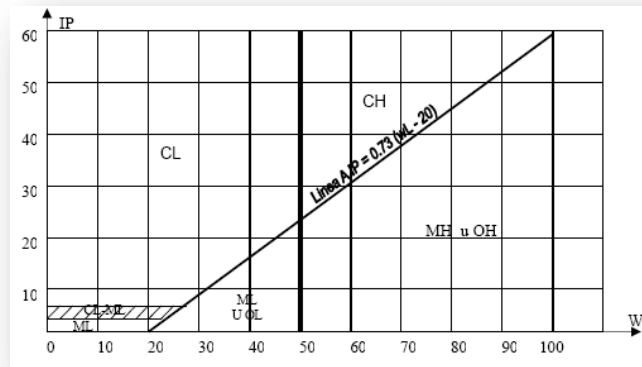
4.4.1.2 CLASIFICACION DE SUELOS DE GRANOS FINOS

Para clasificar los suelos de granos finos, se debe tener en cuenta la carta de plasticidad.

Clasifique el suelo como una arcilla inorgánica (C), si al dibujar el punto del límite líquido versus índice de plasticidad, éste cae sobre la línea "A" y el índice de plasticidad es mayor que 7. Si el límite líquido es menor que 50 y el punto wL versus IP cae sobre la línea "A" y el IP es mayor que 7, clasifíquela como arcilla inorgánica de baja a media plasticidad (CL), y como arcilla de alta plasticidad (CH) si el Límite Líquido es mayor que 50 y el punto wL versus IP cae sobre la línea A.

En caso que el límite líquido exceda a 100 o el IP exceda a 60, se debe expandir la carta de plasticidad manteniendo las mismas escalas y pendiente de la línea "A".

Ilustración 22. Carta de plasticidad.



Clasifique el suelo como limo inorgánico M, si al dibujar el punto wL vs Ip cae bajo la línea "A" o el Ip es menor que 4, a menos que se sospeche que hay materia orgánica presente en cantidades suficientes como para influir en las propiedades del suelo (suelo de color oscuro y olor orgánico cuando está húmedo y tibio), en

cuyo caso se debe efectuar un segundo límite líquido con la muestra de ensaye secada al horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas. Se clasifica como limo o arcilla orgánicos (O), si el límite líquido después del secado al horno, es menor que 75% del límite líquido de la muestra original determinado antes del Secado.

Clasifique el suelo como limo inorgánico de baja plasticidad (ML), o como limo o limo arcilla orgánicos de baja plasticidad (OL), si el límite líquido es menor que 50 y al dibujar wL versus IP cae bajo la línea "A" o el IP es menor a 4. Clasifique el suelo como limo inorgánico de media a alta plasticidad (MH), o como una arcilla u limo arcilla orgánico de media a alta plasticidad (OH), sí el wL. Es mayor que 50 y el punto dibujado de wL versus IP cae bajo la línea "A" o el IP es menor a 4. Con el fin de indicar sus características de borde, algunos suelos de grano fino deben clasificarse mediante simbología doble. Si el punto dibujado del wL versus IP cae prácticamente en la línea "A" o sobre la línea "A" donde el Índice de Plasticidad tiene un rango de 4 a 7, el suelo debe tener clasificación doble tales como CL-ML o CH-OH. Si el punto dibujado de wL versus IP cae prácticamente en la línea del límite líquido igual a 50, el suelo deberá tener clasificación doble tales como CL-CH o ML-MH.

Para comprender mejor el método se recomienda remitirse al libro Geología Aplicada a la ingeniería Civil¹⁹, o a otra fuente de información que trate este tema.

¹⁹ GEOLOGIA APLICADA ALA INGENIERIA CIVIL, Ruiz Vasques, Gonzales Huesca, Limusa, cap 3

4.4.2 CLASIFICACION AASTHO

Esta clasificación de suelos fue desarrollada por la American association of state highway and transportation officials (AASTHO) para clasificar suelos y agregados para la construcción de carreteras.

La clasificación AASTHO establece 7 grupos de suelos y agregados con base en la determinación en el laboratorio de la granulometría, el límite líquido y el límite plástico, un octavo grupo corresponde a los suelos orgánicos, esta clasificación puede ser utilizada cuando se requiera una clasificación geotécnica precisa, especialmente para la construcción de carreteras.

Ilustración 23. Tabla para clasificación de suelo según ASSTHO.

TABLA N° 1 : Clasificación de Suelos según AASHTO

CLASIFICACION GENERAL	Materiales Granulares (igual o menor del 35% pasa el tamiz N° 200)							Materiales Limo - Arcillosos (más del 35% que pasa el tamiz N° 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
SUB - GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
% que pasa el Tamiz											
N° 10	50 máx.										
N° 40	30 máx.	50 máx.	51 máx.								
N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características del Material que pasa el tamiz N° 40											
Límite Líquido			NO PLÁSTICO	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 máx.
Índice de Plasticidad	6máx	6 máx.		10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Tipos de Material	fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Grava, arenas limosas y arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Terreno de Fundación	Excelente a Bueno						Regular a Deficiente				

NOTA: El índice de plasticidad de los suelos A-7-5 es igual o menor que su Límite Líquido 30, el de los A-7-6 mayor que su Límite Líquido (fig. 1) se halla indicada la relación ente lo LL e IP de los materiales finos. Dicho de otro modo, el grupo A-7 es subdividido en A-7-5 ó A-7-6 dependiendo del Límite Plástico (L.P.)
Si el LP ≥ 30, la clasificación es A-7-6
Si el LP < 30, la clasificación es A-7-5

La evaluación de los suelos dentro de cada grupo se hace mediante un índice de grupo, que es un valor calculado a partir de una fórmula empírica.

La clasificación se realiza una vez realizados los ensayos de granulometría y límites, se requiere trabajar con el límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, y con la granulometría.

Para clasificar el suelo se debe ir a la tabla, conociendo el valor en porcentaje que pasa el tamiz No 200, el índice de plasticidad y el índice de grupo. Se debe clasificar el material en el primer grupo de izquierda a derecha donde cumpla las características solicitadas.

El índice de grupo se deberá calcular de la siguiente manera²⁰.

Ecuación 12. Cálculo del índice de grupo.

$$IG = (F - 35) * (0.2 + 0.005 * (LL - 40)) + 0.01(F - 15)(IP - 10)$$

Donde:

F= porcentaje que pasa el tamiz No 200, expresado como un número entero.

LL=límite líquido

IP=índice de plasticidad

Si el índice de grupo calculado da negativo, se debe registrar como cero.

Si el suelo no tiene plasticidad, se registra el índice de grupo como cero.

Siempre se debe registrar con el número entero más próximo.

El índice de grupo en los suelos que correspondan al subgrupo A-2-6 y A-2-7 debe calcularse utilizando la siguiente fórmula.

²⁰ AASTHO GG-11 (CLASIFICACION DE SUELOS Y AGREGADOS PARA LA CONSTRUCCION DE VIAS)

Ecuación 13. Índice de grupo para los grupos A-2-6 y A-2-7.

$$IG = 0.01(F - 15)(IP - 10)$$

El índice de grupo debe ser utilizado solo para comparar suelos dentro del mismo grupo y no en suelos de grupos diferentes.

De esta manera se puede tener una clasificación más exacta de los materiales que conforman la subrasante de la vía.

CAPITULO 5. CAPACIDAD MECANICA DEL SUELO DE SUBRASANTE

Para obtener el valor de la capacidad mecánica del suelo de subrasante, el departamento de carreteras de california desarrollo un método conocido como California Bearing Ratio o (CBR). Este método es una forma de clasificar el suelo para ser usado como subrasante de una vía.

Fue desarrollado por el departamento de carreteras de California en 1929 y es la carga unitaria correspondiente a 0.1” o 0.2” de penetración expresada en porcentaje en un respectivo valor estándar.

El ensayo de CBR se utiliza en vías para determinar a través de una correlación el modulo resiliente de un suelo (MR), esto con el fin de realizar el diseño de pavimentos respectivo para una vía.

Este ensayo se puede realizar insitu, o en el laboratorio en este caso se describirá el desarrollo en el laboratorio.

El numero CBR se obtiene de la relación de la carga unitaria en (Lb/pul²) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración de un pistón de penetración de 19.4 cm² de área, dentro de una muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a una carga unitaria patrón en (Lb/pul²) requeridas para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado.

Para realizar el ensayo CBR es necesario compactar el material al contenido de humedad óptimo para un suelo específico determinado por el ensayo de proctor modificado²¹

²¹ INV E-142-07

5.1 ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

El ensayo de proctor modificado se realiza con el fin de obtener la humedad óptima de compactación de un suelo, está regido por la norma INV E-142-07.

Este método se emplea para determinar la relación entre la humedad y la masa unitaria de los suelos compactados en un molde de tamaño dado con un martillo de 10 lb que cae desde una altura de 454 mm o 18”.

El ensayo consiste en compactar un suelo que pasa el tamiz No 4 a 56 golpes dependiendo del diámetro del molde utilizado, en capas de 5cm con una humedad inicial de 4%, una vez compactado se pesa, se toma muestra de humedad y se vuelve a realizar lo mismo adicionándole más agua, en porcentajes de 3% hasta lograr que el peso del molde con el suelo sea menor que el anterior.

Imagen 29.Proctor modificado.



Imagen 30. Compactando.

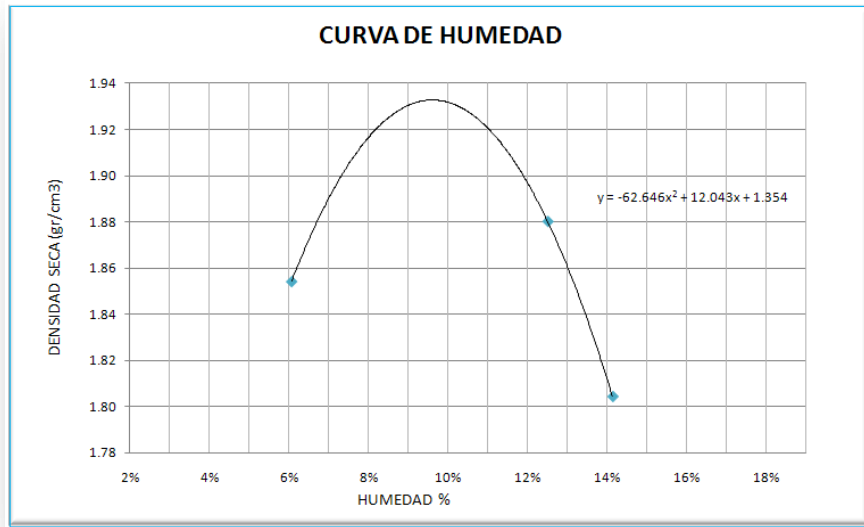


Imagen 31. Registro de datos



Luego de esto se procesan los datos y se obtiene una grafica de densidad seca vs humedad.

Ilustración 24. Densidad seca vs humedad.



La densidad húmeda y seca se calcula de la siguiente manera.

Ecuación 14. Densidad húmeda.

$$D_h = W_s / v \quad D_s = D_h / (1+W\%)$$

Donde:

Ws= peso del suelo húmedo

V=volumen del molde

W%=humedad del suelo en porcentaje.

La humedad óptima de compactación es la humedad máxima determinada por la grafica en porcentaje.

5.2 ENSAYO DE CBR

Una vez obtenida la humedad óptima de compactación por medio del ensayo de proctor modificado se puede realizar el ensayo de CBR regido por la norma INV E-148.

Antes de realizar el ensayo de CBR se deben preparar las muestras utilizando los moldes de CBR ya preparados según la norma lo indica, luego se toma el material y se compacta en capas de 5cm con un martillo de 10 Lb que se deja caer desde una altura de 18" se realizan tres probetas por apique a 12, 25 y 56 golpes de acuerdo al diámetro de los moldes que se tengan en el laboratorio. Una vez realizado esto se sumergen en agua durante tres días para dejar que el material absorba la humedad.

Imagen 32. Preparación del ensayo CBR compactación.



Imagen 33. Enraza



Imagen 34. Colocación de los anillos de carga.



Imagen 35. Se sumergen en agua.



Una vez preparadas las probetas para el ensayo, se procede a fallar las muestras en la maquina CBR, antes de fallar las muestras, se debe sacar los moldes y dejarlos escurrir durante 15 minutos aproximadamente, para luego llevarlos a la maquina, donde se hace penetrar el cilindro en la muestra una profundidad de 12.7 mm.

La maquina indica la carga necesaria para la penetración así como la profundidad a la que va el cilindro.

Para realizar este ensayo se recomienda seguir la norma INV E 148, ya que en esta guía solo se describe lo básico acerca de cómo se realiza el ensayo de CBR.

Imagen 36. Fallo en la maquina CBR



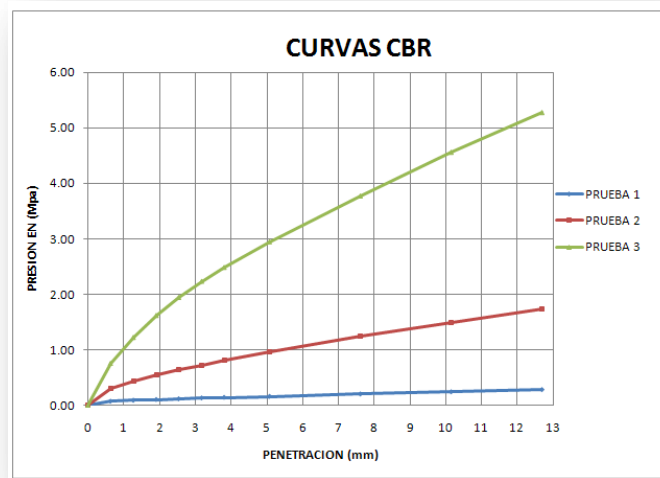
5.2.1 INTERPRETACION DE LOS DATOS CBR

El CBR se toma a los 2.54mm y a los 5.08mm de penetración, relacionándolos con los resultados de la muestra patrón, se debe tomar el valor más alto de los dos y se deben procesar los datos para obtener las curvas.

Ilustración 25. Valor de la relación soporte CBR

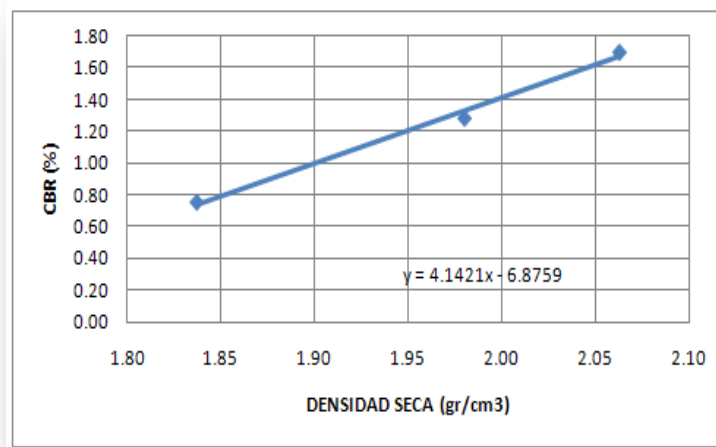
Penetración		Presión		
mm	Pulgadas	MPa	Kg./cm ²	lb/plg ²
2.54	0.1	6.90	70.31	1.000
5.08	0.2	10.35	105.46	1.500

Ilustración 26. Curvas CBR.



La selección del CBR se realiza realizando una grafica de CBR en % vs densidad seca en (gm/cm³).

Ilustración 27. CBR vs densidad seca



Se debe sacar una línea de tendencia con su ecuación, y se calcula la densidad seca al 100, 95 y 90%. Por lo general se toma el valor de CBR referente al 95% de la densidad seca.

5.2.2 DETERMINACION DEL CBR DE DISEÑO PARA PAVIMENTOS

Una vez realizados todos los ensayos de CBR para cada punto se debe realizar un resumen del tramo, este debe contener la descripción de los suelos, la abscisa, la profundidad y el valor de CBR.

Ilustración 28. Resumen para evaluar el CBR de diseño.

RESUMEN CARMEN - SUMARE			
ABSISA	PROFUNDIDAD	DESCRIPCION	%CBR
K0+000 C	0,0-0,80m	GRAVA ARCILLOSA Y LIMOSA, MEZCLA DE GRAVA, ARCILLA, LIMO, Y ARENA,	12
K0+500 C	0,15-1,00m	GRAVA ARCILLOSA, MEZCLA DE GRAVA, ARENA Y ARCILLA, HUMEDAD MEDIA.	
K1+000 D	0,13-1,0m	GRAVA MAL GRADADA, CON ARENA Y FINO, HUMEDAD BAJA.	33
K1+500 C	0,10-0,80m	GRAVA MAL GRADADA, CON ARENA Y FINO, HUMEDAD BAJA..	
K2+000 C	0,12-0,64m	FRAGMENTOS DE GRAVA Y ARENA CON POCOS FINOS, HUMEDAD MEDIA.	15
K2+500 C	0,0-0,85m	FRAGMENTOS DE PIEDRA GRAVA Y ARENA CON POCO FINO, HUMEDAD MEDIA.	
K3+000 D	0,30-1,00m	GRAVA ARCILLOSA Y LIMOSA, CON ARENAS, HUMEDAD BAJA.	26

Debido a que se realizan ensayos de CBR a cada muestra tomada de la subrasante a lo largo de la vía, y que estos resultados son diferentes a causa de las variaciones naturales de los suelos, es necesario tomar un valor de CBR para diseñar la estructura definitiva, que represente el tramo en estudio.

El problema radica en cual valor se debe tomar. Para solucionar este problema existen varios criterios, pero el más utilizado es el del Instituto de Asfalto que recomienda tomar un valor tal que el 60, 75, o 87.5%, de los valores individuales sea igual o mayor que él, (es decir un percentil), de acuerdo al tránsito que circule sobre la estructura de pavimento, estos valores pueden cambiar de acuerdo al criterio del ingeniero diseñador.

A continuación se ilustra, la tabla recomendada por el Instituto de Asfalto.

Tabla 9. Criterio para seleccionar el percentil según el Instituto de Asfalto.

numero de ejes de 8.2 toneladas en el carril de diseño	percentil a seleccionar para hallar la resistencia
≤ 10 exp 4	60%
10 exp 4 -10 exp 6	75%
≥ 10 exp 6	87.50%

5.3 ZONIFICACION DE LA VIA

Una vez determinados todos los ensayos, se puede zonificar la vía de acuerdo a la clasificación de los suelos y el valor de CBR registrado.

Es aconsejable realizar un resumen de laboratorios en donde se muestren todos los resultados de laboratorio.

Ilustración 29. Resumen resultados de laboratorio.

RESUMEN CARMEN SUMARE												
ABSISA	PROFUNDIDAD	DESCRIPCION	HUMEDAD NATURAL %	LIMITE LIQUIDO %	INDICE PLASTICO %	PASA No 4 %	PASA 200 %	CLASIFICACION S.U.C.S	CLASIFICACION AASTHO	INDICE DE GRUPO	HUMEDAD OPTIMA %	%CBR
K0+000 C	0,0-0,80m	GRAVA ARCILLOSA Y LIMOSA, MEZCLA DE GRAVA, ARCILLA, LIMO, Y ARENA, HUMEDAD MEDIA.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			10.85%	23.23%	4.29%	59.23%	31.42%	GC-GM	A-2-4	0	8.0%	11.94
K0+500 C	0,15-1,00m	GRAVA ARCILLOSA, MEZCLA DE GRAVA, ARENA Y ARCILLA, HUMEDAD MEDIA.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			13.65%	22.30%	8.39%	58.85%	28.32%	GC	A-2-4	0	8.5%	
K1+000 D	0,13-1,0m	GRAVA MAL GRADADA, CON ARENA Y FINO, HUMEDAD BAJA.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			6.72%	0.00%	0.00%	60.97%	29.30%	GP	A-2-4	0	8.0%	32.74
K1+500 C	0,10-0,80m	GRAVA MAL GRADADA, CON ARENA Y FINO, HUMEDAD BAJA..	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			9.24%	0.00%	0.00%	56.20%	25.46%	GP	A-2-4	0	7.0%	
K2+000 C	0,12-0,64m	FRAGMENTOS DE GRAVA Y ARENA CON POCOS FINOS, HUMEDAD MEDIA.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			11.98%	21.34%	3.45%	46.26%	12.99%	GC-GM	A-1-a	0	8.5%	14.96
K2+500 C	0,0-0,85m	FRAGMENTOS DE PIEDRA GRAVA Y ARENA CON POCO FINO, HUMEDAD MEDIA.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			11.98%	19.35%	2.04%	42.57%	8.00%	GC-GM	A-1-a	0	-	
K3+000 D	0,30-1,00m	GRAVA ARCILLOSA Y LIMOSA, CON ARENAS, HUMEDAD BAJA.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			8.92%	23.59%	5.50%	42.45%	4.92%	GC-GM	A-1-a	0	8.5%	26.26

En base a este se puede separar por tramos la vía entre las abscisas donde las características y descripción de los suelos y valor de CBR sean similares. Pudiendo referenciar por tramos en el plano de diseño las zonas con iguales características, las cuales podrían tener variaciones en los espesores de pavimentos.

BIBLIOGRAFIA

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INVIAS), Normas técnicas de laboratorio y construcción, 2007.

Ruiz Vázquez, Gonzales Huesca, Geología aplicada a la ingeniería civil, México DF, Limusa (Noriega Editores), 2009,256.

Rico del Castillo, La ingeniería de suelos en las vías terrestres carreteras, ferrocarriles y aeropistas, Mexico DF, Limusa (Noriega editores), 1996, 643.

NSR-98 (Normas Colombianas de diseño y construcción sismo resistente, Titulo H, Bogotá –Colombia, 1998.

AASTHO GG-11 (Clasificación de suelos y agregados para la construcción de vías)

**Anexo 2. INFORME ESTUDIO GEOTECNICO PARA DISEÑO DE
PAVIMENTOS DE LA VIA ARBOLEDAS – SALAZAR DEPARTAMENTO DE
NORTE DE SANTANDER**

**ESTUDIOS Y DISEÑOS DE PAVIMENTOS,
OBRAS HIDRAULICAS Y DE CONTENCIÓN
PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ALGUNOS
SECTORES DE LA RED VIAL SECUNDARIA
DEL DEPARTAMENTO DE NORTE DE
SANTANDER**

ARBOLEDAS-SALAZAR

**ESTUDIO GEOTECNICO PARA DISEÑO
DE PAVIMENTOS**

ING. JOSÉ RUBÉN TORRES CAMARGO
MAT PROF 68202-154152 SDT



SEPTIEMBRE de 2010

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO 1. OBJETIVOS Y ALCANCE	123
1.1 OBJETIVOS.....	123
1.2 ALCANCE DEL PROYECTO.....	123
CAPITULO 2. LOCALIZACION Y DESCRIPCION DEL PROYECTO	125
2.1 DESCRIPCION DEL PROYECTO.....	125
2.1.1 CARACTERISTICAS GENERALES DEL PROYECTO	125
2.1.2 LOCALIZACION	125
2.1.3 CLIMA	127
2.1.4 PRECIPITACION	128
2.1.5 TEMPERATURA	129
CAPITULO 3. INFORMACION GEOLOGICA EXISTENTE	131
3.1 GEOLOGIA.....	131
3.1.1 GEOMORFOLOGIA Y MORFODINAMICA	132
3.1.2 CLASIFICACION DE LAS UNIDADES GEOMORFOLOGICAS	133
3.1.3 UNIDADES DE ORIGEN DENUDACIONAL (UDE)	133
3.1.4 UNIDADES DE ORIGEN DENUDACIONAL (UD)	134
3.1.5 UNIDADES DE ORIGEN FLUVIAL (UF)	134
CAPITULO 4. TRABAJOS DE CAMPO	135
4.1 ACTIVIDADES DE CAMPO.....	135
4.2 INSPECCION VISUAL.....	135
4.3 ESTUDIOS DE SUELOS.....	136
4.3.1 REALIZACION DE APIQUES	136
4.3.2 EVALUACION DE MATERIALES DE CANTERAS	137

CAPITULO 5. CARACTERISTICAS GEOTECNICAS	138
5.1 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO Y PERFILES ESTRATIGRAFICOS.....	138
5.2 EVALUACION DE GRANULOMETRIA Y LÍMITES.....	138
5.3 ENSAYOS DE PROCTOR Y CBR EN EL LABORATORIO.....	140
CAPITULO 6. FUENTE DE MATERIALES	144
6.1 FUENTE DE MATERIALES.....	144
6.2 ENSAYOS DE LABORATORIO.....	144
6.1 TRABAJOS DE CAMPO.....	145
6.2 ENSAYOS DE LABORATORIO.....	145
6.3 ANALISIS PLAN DE UTILIZACION.....	145
CAPITULO 7. DISEÑO DE MEZCLAS	146
7.1 DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS PARA PAVIMENTO.....	146
CAPITULO 8. ESTUDIO DE TRANSITO	147
8.1 PROYECCION VEHICULAR.....	147
8.1.1 TRANSITO ACTUAL	147
8.1.2 TRANSITO ATRAIDO	148
8.1.3 TRANSITO GENERADO	148
8.1.4 TRANSITO DESARROLLADO	149
8.1.5 PROYECCION DEL TRÁFICO A 20 AÑOS	151
8.1.6 CALCULO DE EJES EQUIVALENTES PARA PAVIMENTO FLEXIBLE	151
8.1.6.1 DETERMINACION DE LA TASA DE CRECIMIENTO DE TRANSITO ANUAL	151
8.2 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ESTUDIO DE TRANSITO.....	154



CAPITULO 9. DISEÑO DE PAVIMENTOS	155
9.1 LA SUBRASANTE.....	155
9.1.1 TRAMO K4+000 AL K8+000	155
9.2 DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE.....	156
9.2.1. TRANSITO.	159
9.2.2. SERVICIABILIDAD Δ PSI.	159
9.2.3. CONFIABILIDAD.	160
9.2.4. CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES TRAMO 1.	161
9.2.5. CONDICIONES DE DRENAJE.	161
9.2.6. DETERMINACIÓN DE ESPESORES	162
9.3. DIMENSIONAMIENTO DE PAVIMENTOS.....	163
9.3.1 DIMENSIONAMIENTO TRAMO K4+000 A K8+000.....	163
CAPITULO 10. SECCIONES TRANSVERSALES	170
CAPITULO 11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	171

CAPITULO 1. OBJETIVOS Y ALCANCE

1.1 OBJETIVOS

Este informe contiene un análisis detallado que permite identificar y evaluar mediante guías y ensayos, las características Geotécnicas para el diseño de pavimentos y estructuras que sean necesarias en el acondicionamiento de la vía secundaria que conduce del Municipio de Arboledas al municipio de Salazar en el Departamento de Norte de Santander.

1.2 ALCANCE DEL PROYECTO

Identificar y caracterizar mediante técnicas de exploración y muestreo los materiales que conforman la subrasante en toda la longitud del proyecto.

Determinar y caracterizar mediante ensayos de laboratorio las propiedades físicas y mecánicas más importantes de los suelos representativos de la subrasante y homogenizar mediante los resultados de CBR, sectores para el diseño de la estructura del pavimento.

Identificar las condiciones estructurales de la vía existente. Definir los espesores y materiales más apropiados que pueden ser colocados de acuerdo a las condiciones del proyecto y que constituirán la estructura de pavimento; así como las zonas de extracción y botaderos de los materiales durante la construcción.

Mediante conteos vehiculares determinar el tráfico que se presenta en la zona actualmente y en base a esto hacer proyecciones de tráfico futuro y atraído con el fin de determinar las cargas de diseño para esta Vía.



Diseñar una estructura que sea cómoda, funcional, segura y económica. Presentar sugerencias de tipo constructivo y de mejoramiento que conlleven a un óptimo desarrollo del proyecto.

CAPITULO 2. LOCALIZACION Y DESCRIPCION DEL PROYECTO

2.1 DESCRIPCION DEL PROYECTO

2.1.1 CARACTERISTICAS GENERALES DEL PROYECTO

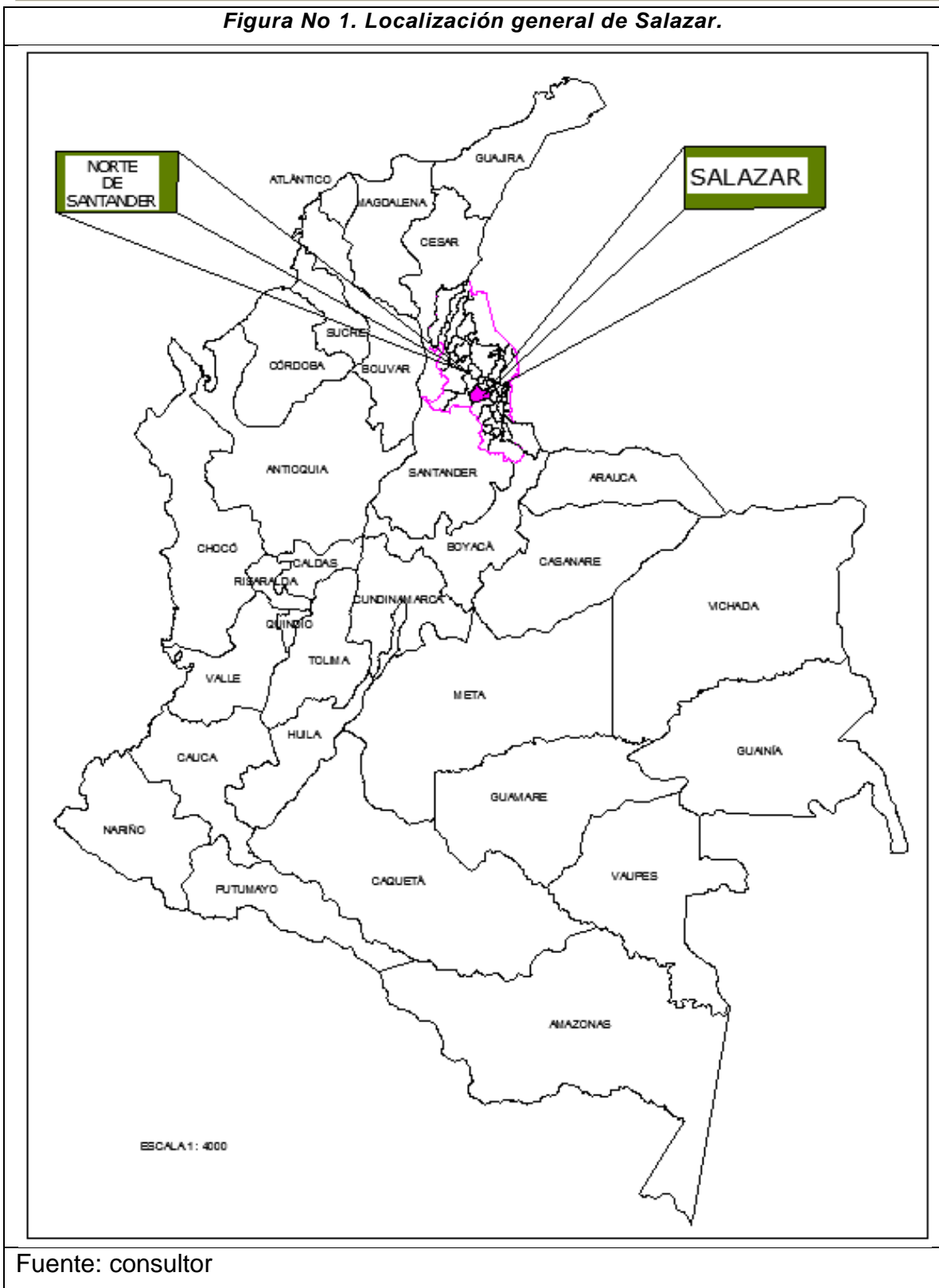
La recuperación y pavimentación de la vía secundaria que comunica el municipio de Arboledas con el municipio de Salazar en el departamento de Norte de Santander es de gran importancia, ya que al ser la única vía que comunica Arboledas con Salazar se convierte en pieza clave para el desarrollo de estas regiones, la vía es paso obligado para los comerciantes que sacan sus productos agrícolas hacia Pamplona y hacia Cúcuta, por esta razón se hace indispensable la ejecución de las obras de pavimentación.

Este proyecto comprende el análisis Geotécnico y el diseño de pavimentos para la vía secundaria que comunica el municipio de Arboledas con el municipio de Salazar en el departamento de Norte de Santander entre las abscisas K4+000 a la abscisa K8+000

2.1.2 LOCALIZACION

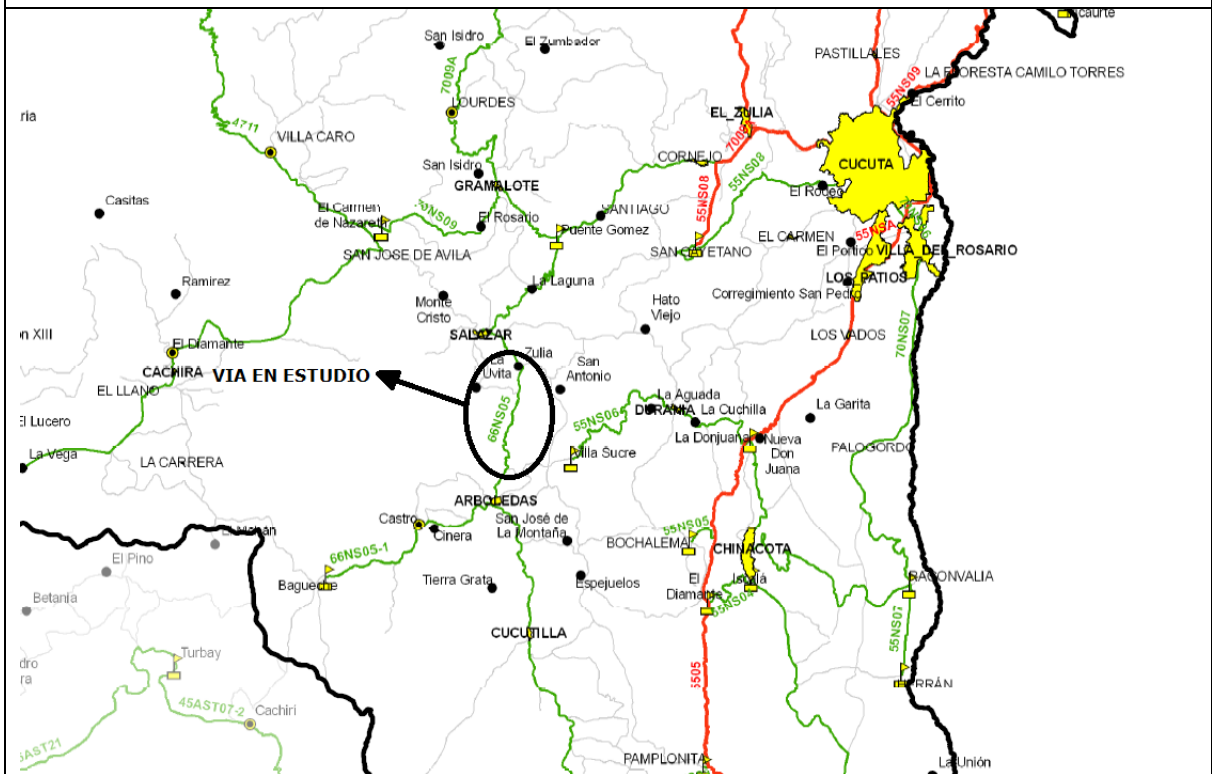
La vía se encuentra localizada en Colombia al Sur-Oriente del departamento de Norte de Santander entre el municipio de Arboledas y el municipio de Salazar, el tramo en estudio hace parte de la red de vías secundarias del departamento de Norte de Santander, cuenta con una longitud de aproximadamente 30 Km de los cuales se pavimentaran 4 Km, actualmente la vía se encuentra nivel de subrasante, tiene una banca entre 5 y 6m y un metro de cuneta.

Figura No 1. Localización general de Salazar.



Fuente: consultor

Figura No 2. Localización general del proyecto



Fuente: consultor

2.1.3 CLIMA

Existen factores que determinan las características hidrológicas de una región, la orografía, la geología. El análisis del recurso hídrico de una región, no se puede limitar sólo al área de estudio, ya que este está relacionado por diferentes causas climatológicas de carácter Global, Regional y Local.

Factores Globales: La Zona de Convergencia Inter Tropical ejerce su influencia en las cercanías de la línea ecuatorial, la intensa radiación solar en esta región, da lugar a ascensos masivos de aire cálido (vientos alisios) procedentes de las regiones tropicales, dando como resultado un cinturón de baja presiones que con su dinámica están íntimamente relacionado con el carácter bimodal de las precipitaciones en la zona andina.

Factores Regionales: La generación de lluvias en el 75% del territorio de norte de Santander obedece en general a las condiciones climáticas presentes en la hoya hidrográfica del Lago de Maracaibo. Parte de la humedad generada en el lago de Maracaibo por acción de los vientos es distribuida en la gran cuenca del río catatumbo.

Factores Locales: El relieve es el principal factor que provoca la ascensión del aire caliente y húmedo proveniente de los valles y/o del lago de Maracaibo, actuando como barreras orográficas a las masas de nubes que se concentran para originar las precipitaciones.

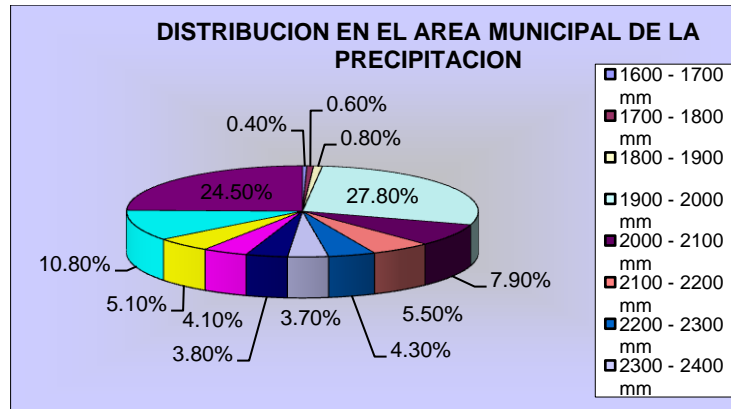
2.1.4 PRECIPITACION

La precipitación durante un año meteorológico normal es de carácter bimodal, presentándose las máximas en abril – Junio, septiembre – diciembre y las mínimas en enero – marzo, julio – agosto.

Los rangos de precipitación en el municipio están entre los 1000 y 3000 mm máximos anuales. En la zona centro del municipio las precipitaciones están entre 2000 y 2500 mm tomando el área de influencia del área suburbana de Castro, hasta el límite Norte del municipio cubriendo parte de las veredas, Barrientos, Potreros, Chicagua y el Mohan.

El resto del municipio tanto al Oriente como al Occidente en las zonas del casco urbano y Villa Sucre, y las veredas del sur occidente del municipio la precipitación disminuye hasta un rango de 1500 a 2000 mm., la figura presenta el porcentaje de área municipal que se encuentra en cada rango de precipitación.

La siguiente es la distribución de la precipitación en el área del municipio:



2.1.5 TEMPERATURA

En esta región, el régimen de temperatura del aire en nuestro país está determinado por la situación geográfica de Colombia en el mundo y las particularidades fisiográficas de su territorio. El primer factor influye ante todo sobre la amplitud anual de la temperatura del aire, mientras que el segundo lo hace sobre la variabilidad espacial de la misma.

En esta región, el régimen de temperatura del aire se particulariza por la presencia de los llamados pisos térmicos, consistentes en la disminución de la temperatura media del aire a medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar.

En el municipio los pisos térmicos varían desde cálidos con temperatura media anual superior a los 24 grados centígrados en la zona nordeste del municipio hacia la zona de Villa Sucre y sus veredas aledañas como San Pablo Viejo y Nuevo, La Florida, Santa Bárbara, Antigua, Aguada, Pericos, Bateas, Termópilas, la Argentina, Bejucales, Gurapal y Peña Blanca, así mismo el área de influencia del casco urbano, Huerta Chiquita, San Antonio del Filo, Rudeta, Siravita y parte de Guacamayas, Cintera, Volcán y Castro, hasta los muy fríos con temperaturas

inferiores a los 6°C los cuales tipifican las zonas de páramo en occidente del territorio hacia las veredas Quebrada Grande, Santo Domingo, Playoncito y Helechal Bajo y Alto.

CAPITULO 3. INFORMACION GEOLOGICA EXISTENTE

De acuerdo al EOT del municipio de Arboledas se puede determinar los factores Geológicos, estratigráficos y geomorfológicos que más se destacan en este municipio.

En el tramo en estudio se determinaron las zonas geológicas, los aspectos determinantes del diagnostico se desarrollan con base en el reconocimiento detallado de campo, en el cual se realizaron las siguientes actividades:

- Comprobación de la geología de la zona.
- Revisión estratigrafía sobre taludes
- Revisión de los afloramientos de agua existentes en los taludes, drenajes superficiales, humedad y su efecto en los taludes.
- Protección existente en taludes, vegetación.

3.1 GEOLOGIA

De acuerdo a las manifestaciones mineralógicas de las formaciones aflorantes en el área del municipio de Arboledas, representados por las formaciones Uribante, luna, Cogollo y Colón y por complejos Ígneo-metamórficos.

Las exploraciones geológicas con algún interés minero, solo han sido incipientes y se han llevado a cabo sobre las rocas sedimentarias de las formaciones del Cretaceo aflorantes en el área.

El grupo de rocas de las formaciones Uribante y Cogollo han sido reproductoras de petróleo en el área de Tibú, sin embargo en el área del municipio no se ha detectado ningún indicio, ni tampoco ECOPEPETROL ha realizado exploraciones.

Las rocas Igneas y Metamólicas, aflorantes presentan manifestaciones de feldespatos, pero sin estudios detallados sobre la calidad de estos minerales.

3.1.1 GEOMORFOLOGIA Y MORFODINAMICA

La complementación de ésta temática consistió en incluir y ubicar los procesos morfodinámicos que afectan el área rural, y analizar su relación en la generación de áreas susceptibles a amenazas naturales.

La geomorfología es una rama de la geología que describe las formas del relieve, tanto estructural como superficialmente. Analiza el origen y evolución del modelado del paisaje, como resultado de la acción de varios factores tales como la composición del material rocoso. La historia geológica y los diferentes tipos de procesos geológicos que han actuado sobre la tierra, entre los cuales tenemos: Los procesos estructurales, denudacionales y depositacionales.

La caracterización geomorfológica le permite al municipio la planificación del uso de la tierra y el proceso de ocupación del territorio, determinado por los usos y actividades más convenientes para la distribución de los asentamientos y las actividades humanas y sus proyectos de infraestructura como escuelas, centros de salud, puentes y vías.

Para la identificación y clasificación de las geoformas presentes hay que tener en cuenta la forma del relieve y su génesis ya que cada unidad posee un comportamiento mecánico diferente a los agentes degradacionales que modelan y modifican el paisaje.

Las formas del relieve en el municipio de Arboledas, tienen su origen en el levantamiento de la Cordillera Oriental durante el Neogeno y movimientos

diferenciados de la Cuenca de Maracaibo, que dio como resultado plegamientos, fallas y proceso denudacionales que dieron origen a una gran cantidad de sedimentos que fueron depositados discordantemente sobre las litologías presentes.

3.1.2 CLASIFICACION DE LAS UNIDADES GEOMORFOLOGICAS

Según la clasificación del ITC de Holanda las principales geoformas presentes en el municipio de Arboledas, de acuerdo a su origen son:

3.1.3 UNIDADES DE ORIGEN DENUDACIONAL (UDE)

Las unidades de este tipo están asociadas a rocas sedimentarias, las cuales fueron afectadas por la fuerte tectónica compresiva, enmarcada dentro de la evolución de la Cordillera Oriental, lo que generó un fuerte control estructural de la secuencia sedimentaria, presentando franjas dispersas, siguiendo el rumbo de las fallas.

Como resultado de estos procesos estructurales, las rocas sedimentarias presentan estructuras de tipo sinclinal y anticlinales con ejes cortos, con fuerte diaclasamiento. Las estructuras de tipo monoclinas, dominan gran parte de la secuencia sedimentaria que desarrollan extensos planos estructurales que forman cuchillas y escarpes de falla.

Los procesos estructurales que generan este tipo de geoformas, producen fuerte diaclasamiento en las diferentes litologías generando procesos denudacionales que acompañan la génesis de las geoformas, como resultado se combina los dos

tipos de procesos estructural y denudacional, éstas áreas se ubican hacia la zona central del municipio.

Esta unidad se presenta sobre rocas sedimentarias tipo lutitas y calizas con intercalaciones de capas de areniscas, pertenecientes a las formaciones Luna, Cogollo y Colón. La geoforma se caracteriza por presentar lomos que llevan el rumbo o dirección de las unidades, el sistema de drenaje está relacionado con la estratificación y la tectónica de la zona.

3.1.4 UNIDADES DE ORIGEN DENUDACIONAL (UD)

Este tipo de unidades se desarrolla sobre unidades litológicas Igneas y Metamórficas, modeladas por fuertes procesos erosivos y fenómenos de remoción en masa queda como resultado una topografía con pendientes que varían de pronunciadas a escarpadas. Las unidades presentan fuerte meteorización generando un alto perfil de saprolito y suelos de poca profundidad.

Esta geoforma se caracteriza por presentar una topografía de pendientes fuertes, muy disectada por las corrientes hídricas y su localización en el área del municipio la referencia hacia el costado Occidental.

3.1.5 UNIDADES DE ORIGEN FLUVIAL (UF)

Corresponde a todos los Depósitos Aluviales. Esta geoforma se forma a expensas de corrientes superficiales de quebradas o ríos que depositan materiales detriticos, presentan pendientes suaves (6 – 12%), formando abanicos con topografía plano ondulosa, ligeramente disectadas. En una geoforma de éstas se localiza la cabecera municipal en el cauce del Río Arboledas.

CAPITULO 4. TRABAJOS DE CAMPO

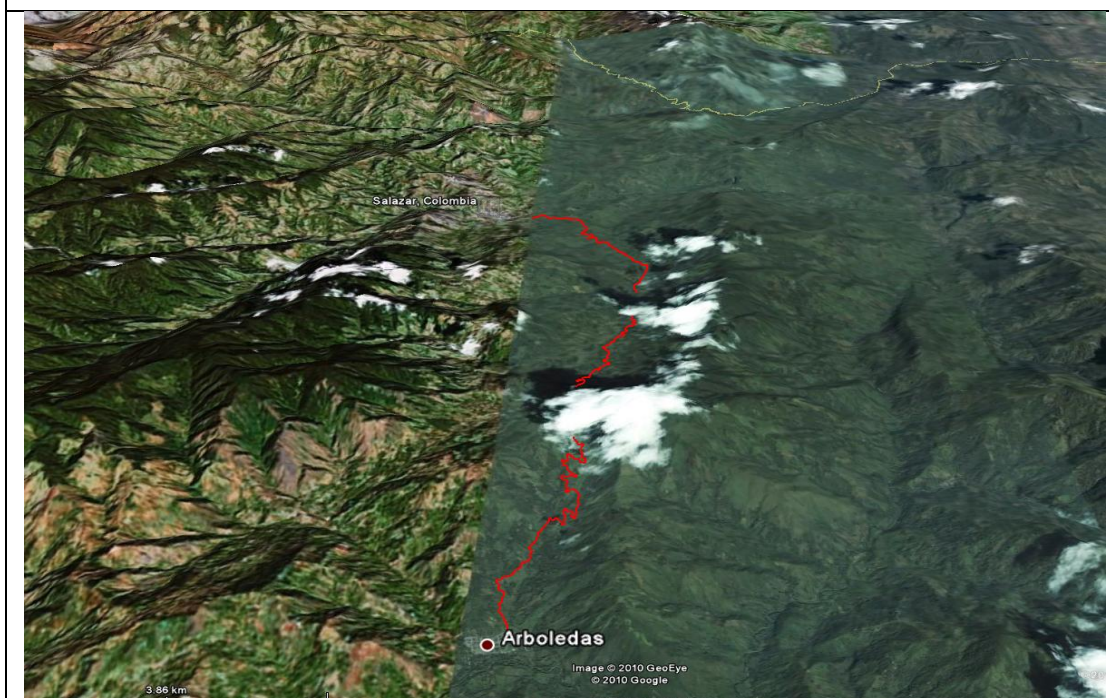
4.1 ACTIVIDADES DE CAMPO

De acuerdo con las actividades de campo realizadas durante los meses de Septiembre 2010. El desarrollo de la investigación se planteó en fases que definieron las características de los materiales constituyentes de la vía, así:

4.2 INSPECCION VISUAL

Se efectuó una inspección visual sobre el tramo de la vía en estudio desde Arboledas hacia Salazar.

Imagen No 1. Vía en estudio.



Fuente: Google Earth.

El tramo en estudio se encuentra comprendido en la vía que comunica los municipios de Arboledas con Salazar tiene una longitud de 30 Km, de los cuales 4 Km se proyectan a pavimentar, a partir del K4+000 hasta el K8+000, la vía actualmente se encuentra a nivel de subrasante y cuenta con una banca de 6m de ancho y 1m de cuneta.

4.3 ESTUDIOS DE SUELOS

4.3.1 REALIZACION DE APIQUES

Sobre la vía se realizaron apiques cada 500 metros con el fin de determinar mediante ensayos de laboratorio la granulometría, humedad natural, límites de la subrasante de la vía, y perfiles estratigráficos existentes bajo la subrasante de la vía, de acuerdo a las normas nacionales del INVIAS, los resultados de laboratorio y los perfiles estratigráficos se encuentran en el anexo "Resultados de laboratorio".

Esta información permite zonificar la vía identificando tramos de similares características Geotécnicas, además de permitir identificar los lugares en donde se encuentran problemas o suelos de características especiales que requieran un tratamiento especializado.

Imagen No 2. Apique No 3 K13+000



Fuente: consultor

En el laboratorio se procedió a caracterizar el material y evaluar sus características mecánicas.

4.3.2 EVALUACION DE MATERIALES DE CANTERAS

Se tomaron muestras de material de la cantera llamada las Tangas, cercana a la vía y que corresponde a material de peña, de se procederá a analizar el material para determinar si sirve como material de base y súbbase granular.

CAPITULO 5. CARACTERISTICAS GEOTECNICAS

5.1 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO Y PERFILES ESTRATIGRAFICOS

En el laboratorio se procedió a analizar las muestras de los apiques hechos sobre el corredor de la vía secundaria Arboledas - Salazar, con el fin de determinar sus características mecánicas, y su perfil estratigráfico el cual se obtuvo de valoraciones de campo y resultados de laboratorio.

Con estos perfiles estratigráficos y apoyados con las propiedades índices de los suelos y la consistencia de los mismos, fue posible definir unidades homogéneas de diseño.

Los ensayos se realizaron según la normas del instituto nacional de vías INVIAS.

5.2 EVALUACION DE GRANULOMETRIA Y LÍMITES

Se procedió a realizar el ensayo de granulometría en el laboratorio para caracterizar el material.

Imagen No 3. Ensayo de granulometría



Fuente: consultor

Se realizaron a las muestras ensayos de límites de Atterberg , limite liquido y limite plástico, con el fin de determinar su plasticidad, característica importante del suelo, ya permite identificar si los finos de una muestra son arcillosos o limosos.

Imagen No 4. Ensayo de límites



Fuente: consultor

5.3 ENSAYOS DE PROCTOR Y CBR EN EL LABORATORIO

Se procedió a realizar en el laboratorio ensayos de Proctor modificado con el fin de conocer la humedad óptima de compactación para la posterior realización del ensayo de CBR.

El suelo se compacto con 5 capas de 56 golpes cada una como lo indica la norma nacional de vías INVIAS.

Imagen No 5. Ensayo de Proctor.



Fuente: consultor

Conociendo la humedad óptima de compactación se procedió a realizar el ensayo de CBR compactando a 12 golpes, 25 golpes y 56 golpes respectivamente y fallando las muestras en la máquina de CBR.

Imagen No 6. Ensayo de CBR



Fuente: consultor

En la siguiente tabla se consignan los resultados de la caracterización de las muestras obtenidos a partir de los apiques relazados en la vía.

RESUMEN DE LABORATORIO ARBOLEDAS - SALAZAR												
ABSISA	PROFUNDIDAD	DESCRIPCION	HUMEDAD NATURAL %	LIMITE LIQUIDO %	INDICE PLASTICO %	PASA No 4 %	PASA 200 %	CLASIFICACION S.U.C.S	CLASIFICACION AASTHO	INDICE DE GRUPO	HUMEDAD OPTIMA %	%CBR
K4+000 C	0,2-1,0	ARENA LIMOSA, ARENA CON LIMO Y POCA AGRAVA, HUMEDAD MEDIA.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			19.42%	30.03%	3.15%	63.54%	17.75%	SM	A-7-6	0	12.5%	51.03
K4+500 C	0,2-1,0	GRAVA ARCILLOSA CON ARENA, HUMEDAD MEDIA.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			11.31%	25.14%	18.82%	51.86%	12.40%	GC	A-7-6	0		
K5+000 C	0,2-1,0	ARENA LIMOSA ARCILLOSA CON GRAVA, HUMEDAD MEDIA.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			16.33%	31.22%	8.50%	68.90%	28.96%	SC/SM	A-7-6	0	13.0%	12.84
K5+500 C	0,2-1,0	GRAVA LIMOSA ARCILLOSA CON ARENA, HUMEDAD BAJA.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			9.84%	24.50%	7.62%	66.63%	36.97%	GC-GM	A-7-6	0		
K6+000 C	0,2-1,0	GRAVA LIMOSA ARCILLOSA CON ARENA, HUMEDAD MEDIA ALTA.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			22.92%	41.46%	16.00%	57.63%	30.63%	GC/GM	A-7-6	0	19.0%	26.88
K6+500 D	0,2-1,0	ARENA LIMOSA ARCILLOSA CON GRAVA, HUMEDAD MEDIA.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			11.58%	28.55%	8.39%	73.69%	29.66%	SC-SM	A-7-6	0		
K7+000 C	0,2-1,0	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA, HUMEDAD MEDIA.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			13.75%	29.17%	10.03%	72.46%	32.88%	SC	A-7-6	0	15.0%	19.55
K7+500 I	0,2-1,0	ARENA LIMOSA CON GRAVA, HUMEDAD MEDIA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			14.90%	25.30%	2.97%	76.11%	22.43%	SM	A-7-6	0		
K8+000 C	0,2-1,0	ARENA LIMOSA ARCILLOSA CON GRAVA, HUMEDAD MEDIA.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			19.44%	27.82%	9.18%	69.91%	36.49%	SC-SM	A-7-6	0	14.0%	15.80

Con los perfiles estratigráficos y apoyados con las propiedades índices de los suelos y la consistencia de los mismos, fue posible definir unidades homogéneas de diseño, con lo cual se propone una alternativa para la estructura de pavimento, con el fin de realizar los análisis técnicos y económicos para decidir que espesores y tipo de estructura de pavimento es la más conveniente construir para el desarrollo del proyecto. Estos perfiles se encuentran en los anexos "Resultados de laboratorio y perfiles estratigráficos"

Lo cual determina las características de resistencia de la subrasante, de esta manera se puede zonificar por tramos la vía para determinar con mayor precisión las características de resistencia que deberá tener la estructura que se construirá sobre la subrasante.

CAPITULO 6. FUENTE DE MATERIALES

Este capítulo se refiere a la localización, selección, cubicación y clasificación de fuentes de materiales para la construcción de la estructura del pavimento, concretos estructurales, terraplenes, pedraplenes y otros usos, al acopio de información necesaria para obtener los permisos de explotación ante las autoridades competentes, teniendo en cuenta los criterios y requisitos establecidos en el numeral correspondiente el Estudio de Impacto Ambiental, contenidos en los presentes términos de referencia.

Los materiales empleados en la construcción de las capas de los pavimentos deben cumplir las especificaciones generales de construcción de carreteras versión 2007

6.1 FUENTE DE MATERIALES

Para la ejecución del proyecto se han evaluado las propiedades mecánicas del material de la cantera denominada Las Tangas, de la cual se tomaron muestras que se procedieron a examinar.

6.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

Para el estudio de fuente de materiales, se han considerado la fuente que han servido para realizar el mantenimiento de la vía y la pavimentación de los otros sectores. Esta se encuentra en las cercanías de la vía en estudio, se realizaran ensayos para determinar la viabilidad de utilizarlas como materiales para la estructura de pavimento u obras complementarias, previa manufactura de las

mismas. Lo anterior se fundamenta en la posibilidad de bajar los costos por transporte.

6.1 TRABAJOS DE CAMPO

Se hicieron algunos muestreos de la cantera. El muestreo es selectivo con el propósito de tener una muestra lo más representativa de las fuentes de material, indagando sobre el uso que se les podría dar bien sea como material de base granular, rellenos de reposición y conformación, triturados y arenas para concretos hidráulicos, etc.

6.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

Se realizaron algunas pruebas a materiales recolectados de la cantera, con trabajos de manufacturación en laboratorio, obteniendo un material ideal que reflejará en lo posible el que se obtendría por quienes realicen la obra. Estos pueden sufrir algunas modificaciones en la medida que los constructores tengan la tarea de procesarlos y obtener así los diferentes materiales para construcción como es la sub base y agregados pétreos para los concretos. (Ver anexos resultados de laboratorio, y resumen)

6.3 ANALISIS PLAN DE UTILIZACION

No se define debido a que se debe realizar gestiones de tipo ambiental y de libertad de explotación. Se ha tomado como referencia material extraído de cada una de las fuentes, donde se indica su situación y ubicación con respecto al sitio del proyecto.

CAPITULO 7. DISEÑO DE MEZCLAS

7.1 DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS PARA PAVIMENTO

Este material estructural que es elaborado en planta, debe cumplir con estándares de calidad, y debe asegurar que la producción del concreto asfáltico sea resistente a la deformación plástica bajo la acción del tránsito, resistir la desintegración debido al tránsito y al clima, debe ser flexible para que la mezcla se deforme elásticamente sin que se agriete, ni se rompa debido a las pequeñas deflexiones que le imparte el tránsito a la estructura en sí, así como también debe ser resistente a la fatiga, para soportar las deformaciones repetidas ocasionadas por el paso de cargas inferiores a las de rotura cuyos efectos se acumularan hasta el agotamiento de la mezcla; además, debe proporcionar seguridad al deslizamiento bajo condiciones desfavorables de alta velocidad y presencia de agua; la mezcla a su vez también debe ser impermeable, para ejercer resistencia al paso del agua y al aire, visto desde el punto de vista de la durabilidad, porque se altera la estabilidad y la adherencia árido ligante.

Además la mezcla proporcionada por la planta debe ser fácil de trabajar, para que el extendido, conformado y compactación, no se dificulte cuando se estén ejecutando los trabajos de pavimentación.

La mezcla que se va a utilizar para conformar la carpeta de rodadura será del tipo MDC-2 (mezcla densa en caliente tipo 2).

CAPITULO 8.ESTUDIO DE TRANSITO

8.1 PROYECCION VEHICULAR

Considerando que las carreteras se proyectan para atender las necesidades futuras, es necesario hacer proyecciones confiables para periodos relativamente largos hasta 20 años; y no porque las mismas dejen de ser funcionales en estos tiempos, sino que para periodos mayores la confiabilidad de cualquier proyección se pierde.

La vía Arboledas - Salazar es de gran importancia ya que es la única vía que conecta el municipio de Arboledas con el municipio de Salazar en el departamento de Norte de Santander, por esta razón es importante que se mantenga en buen estado. La proyección de este estudio se tomo a partir de conteos de transito realizados en ambos sentidos en el lugar.

8.1.1 TRANSITO ACTUAL

Para determinar el transito actual, se realizaron conteos vehiculares de 24 horas por tres días consecutivos.

Se consideran confiables los conteos, ya que la vía no tiene mayores problemas de estabilidad y permite el transito normal en la zona.

Los conteos proporcionaron la siguiente información.

COMPOSICION VEHICULAR TRAFICO ACTUAL

VEHICULOS	%	288	DIARIO
AUTOS	47,17	125	42
BUSES	21,51	57	19
C2P	18,87	50	17
C2G	20,38	54	18
C3 Y C4	0,75	2	1
C5	0,00	0	0
>C5	0,00	0	0
TPD GLOBAL		96	97

Para el estudio se decidió tomar el tránsito global y el más crítico de los puntos donde se midió el flujo vehicular ya que se trata de una vía de segundo orden y la banca de la vía es de apenas 5m, por lo que los vehículos transitan siempre por la mitad de la vía.

8.1.2 TRANSITO ATRAIDO

La identificación de este tráfico, es parte fundamental de la demanda futura de la vía en estudio, se analizó de la siguiente manera:

Ya que la Zona de influencia de la vía es pequeña, comprendiendo el área entre Arboledas y Salazar, hace parte de la red secundaria, y que el estado de la vía es aceptable, no se espera una elevada atracción de tráfico.

8.1.3 TRANSITO GENERADO

El tránsito generado, TG, consta de aquellos viajes vehiculares, distintos a los del transporte público, que no se realizarían si no se construye la nueva carretera. Al tránsito generado se le asignan tasas de incremento entre el 5% y el 25% del tránsito actual, con un periodo de generación de uno o dos años después de que la carretera ha sido abierta al servicio.

Tomando en cuenta que en la zona hay variedad de cultivos clave para el desarrollo de estos municipios, a demás de la industria ganadera ya que es un municipio en donde se produce leche carnes y cueros, de exportación, ya que el desarrollo comercial del municipio de Arboledas tiene gran potencial, se estimo la tasa de incremento de transito generado en un 15% ya que con la vía los pobladores podrán sacar sus productos hacia Arboledas, Cúcuta y Venezuela.

El transito generado seria:

% DE INCREMENTO		15	
VEHICULOS	%	97	GENERADO
AUTOS	47,17	42	6
BUSES	21,51	19	3
C2P	18,87	17	3
C2G	20,38	18	3
C3 Y C4	0,75	1	0
C5	0,00	0	0
>C5	0,00	0	0

8.1.4 TRANSITO DESARROLLADO

El tránsito desarrollado TD, es el incremento del volumen de tránsito debido a las mejoras en el suelo adyacente a la carretera. A diferencia del tránsito generado, el tránsito desarrollado continúa actuando por muchos años después que la nueva carretera ha sido puesta al servicio. El incremento del tránsito debido al desarrollo normal del suelo adyacente forma parte del crecimiento normal del tránsito, por lo tanto, éste no se considera como una parte del tránsito desarrollado.

Pero la experiencia indica que en carreteras construidas con bajas especificaciones, el suelo lateral tiende a desarrollarse, generando un tránsito adicional el cual se considera como tránsito desarrollado, valores que diferentes

autores como Rafael Cal y Mayor sugieren en el orden del 5% del tránsito actual. Tomamos esta recomendación, luego:

% DE INCREMENTO	5
-----------------	---

VEHICULOS	%	97	DESARROLLADO
AUTOS	47,17	42	2
BUSES	21,51	19	1
C2P	18,87	17	1
C2G	20,38	18	1
C3 Y C4	0,75	1	0
C5	0,00	0	0
>C5	0,00	0	0

El tránsito generado total sería la suma de los anteriores:

VEHICULOS	ACTUAL	GENERADO	DESARROLLADO	TOTAL
AUTOS	42	6	2	50
BUSES	19	3	1	23
C2P	17	3	1	20
C2G	18	3	1	22
C3 Y C4	1	0	0	1
C5	0	0	0	0
>C5	0	0	0	0

Composición final vehicular será:

VEHICULOS	116	%
AUTOS	50	48,0
BUSES	23	22,0
C2P	20	20,0
C2G	22	21,0
C3 Y C4	1	2,0
C5	0	0,0
>C5	0	0,0

8.1.5 PROYECCION DEL TRÁFICO A 20 AÑOS

Tomando en cuenta que no existen referencias de conteos históricos en la vía, ni tampoco en vías similares cercanas a la vía actual, se procedió a tomar como referencia el manual de INVIAS para vías con medios y bajos volúmenes de tránsito.

8.1.6 CALCULO DE EJES EQUIVALENTES PARA PAVIMENTO FLEXIBLE

Para realizar los modelos de diseños de pavimentos es necesario llevar el tránsito proyectado a ejes equivalentes AASTHO, según se encuentra establecido en el manual de pavimentos del Invias para vías con medios y bajos volúmenes de tránsito.

8.1.6.1 DETERMINACION DE LA TASA DE CRECIMIENTO DE TRANSITO ANUAL

En los estudios de volúmenes de tránsito es necesario conocer la composición de los distintos tipos de vehículos. La composición vehicular se mide en términos de porcentajes sobre el volumen total. Por ejemplo, porcentaje de automóviles, de autobuses y de camiones.

Dado que la vía Salazar-Arboledas es una vía de segundo orden, no cuenta con series históricas de tránsito con las cuales se pueda hacer una regresión lineal para determinar el incremento anual, ya que solo se tomaron conteos vehiculares de tres días en la zona, se determinó recurrir a la norma nacional del Invias, al manual de diseño de pavimentos de vías con bajos volúmenes de tránsito, donde señala en el ítem 2.3 pg. 8 la forma como se puede tomar el incremento para vías

con bajos volúmenes de tránsito en el territorio nacional como es el caso de la vía Salazar-Arboledas.

Recurriendo a la tabla número 2.1 del manual, se clasifica el tránsito de una vía con bajos volúmenes de tráfico en dos niveles.

Nivel de tránsito	Número de ejes equivalentes de 80 kN durante el período de diseño en el carril de diseño
T1	< 150.000
T2	150.000 - 500.000

Tomando como referencia la tabla 2.3 del manual

Nivel de tránsito	Tasa de crecimiento
T1	2.0
T2	3.0

Fuente: Elaboración propia con base en los conteos de INVIAS –.

Dado que el valor de ejes equivalentes para la vía es menor a 150000 ejes equivalentes para el periodo de diseño de 10 años, se puede definir para la vía un incremento anual de 2.0%. con el cual se realizaron los siguientes cálculos.

El cálculo de ejes equivalentes se muestra en las siguientes tablas.

Factores de daño

VEHICULOS	AUTOS	BUS+C2P	C2G	C3 Y C4	C5	>C5
VOLUMENES	50	43	22	1	0	0
FACTORES	0	1,14	3,44	3,76	4,4	4,72

El factor de daño se toma referenciando en un eje sencillo de rueda doble con carga de 8.2 Toneladas.

Ejes equivalentes a 20 años con incremento anual de 2.0%.

AÑO	BUS+C2P	C2G	C3 Y C4	C5	>C5	∑ Nee D	Nee ANUAL
2010	43	22	1	0	0	128	46743
2011	44	22	1	0	0	131	47678
2012	45	22	1	0	0	133	48632
2013	46	23	1	0	0	136	49604
2014	47	23	1	0	0	139	50597
2015	48	24	1	0	0	141	51608
2016	49	24	1	0	0	144	52641
2017	50	25	1	0	0	147	53693
2018	51	25	1	0	0	150	54767
2019	52	26	1	0	0	153	55863
2020	53	26	1	0	0	156	56980
2021	54	27	1	0	0	159	58119
2022	55	27	2	0	0	162	59282
2023	56	28	2	0	0	166	60468
2024	57	29	2	0	0	169	61677
2025	58	29	2	0	0	172	62910
2026	59	30	2	0	0	176	64169
2027	60	30	2	0	0	179	65452
2028	62	31	2	0	0	183	66761
2029	63	31	2	0	0	187	68096
2030	64	32	2	0	0	190	69458

8.2 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ESTUDIO DE TRANSITO

1. La vía Arboledas - Salazar a pesar de estar a nivel de subrasante, la banca no tiene mayores problemas de estabilidad, por lo que los conteos de transito se pueden tomar como validos.
2. La vía Arboledas - Salazar presenta un moderado tráfico de Buses, camiones C2P, camiones C2G y muy pocos camiones C3-C4 que representan un 61% del tráfico total.
3. El tráfico inicial de la vía hace prever una demanda para el año 2011 cercana a los 47678 ejes equivalentes, para pavimento flexible.
4. Para un periodo de diseño de 10 años, tomados a partir del año 2010, se espera que para el año 10 correspondiente al año 2020 transiten por la vía 56980 ejes equivalentes, para pavimento flexible.
5. Para el año 2030 se espera que transiten por la vía 69458 ejes equivalentes, para pavimento flexible.

CAPITULO 9. DISEÑO DE PAVIMENTOS

9.1 LA SUBRASANTE

Tomando como base la información recopilada en los trabajos de campo y de laboratorio, como material imprescindible para el diseño de cualquier estructura de pavimento, se realizó un análisis por unidades homogéneas de diseño, determinando como parámetro de selección básica la capacidad portante de la subrasante, con humedades similares y suelos idénticos y de iguales características. A continuación se hace un análisis detallado de cada unidad homogénea por sector, que servirán como base para la modulación de las estructuras de pavimento.

9.1.1 TRAMO K4+000 AL K8+000

Este sector se caracteriza por geofomas de origen denudacional con numerosos conos de deyección en el corredor vial, los suelos encontrados presentan color amarillento a habano claro con pendientes moderadas a altas. Encontramos suelos en la subrasante con contenidos de arena importantes, los cuales son materiales arenosos, estos suelos de acuerdo a los análisis de laboratorio realizado no son muy susceptibles a los cambios de humedad, De acuerdo a los resultados de resistencia de la sub rasante obtenidos mediante los ensayos de CBR y la caracterización realizada, se estimo los 4Km como un tramo homogéneo para el diseño de pavimentos.

Tabla N.2. Valores de CBR para el tramo

ABSISA	PROFUNDIDAD	DESCRIPCION	%CBR
K4+000 C	0,2-1,0	ARENA LIMOSA, ARENA CON LIMO Y POCA AGRAVA, HUMEDAD MEDIA.	51.0
K5+000 C	0,2-1,0	ARENA LIMOSA ARCILLOSA CON GRAVA, HUMEDAD MEDIA.	12.8
K6+000 C	0,2-1,0	GRAVA LIMOSA ARCILLOSA CON ARENA, HUMEDAD MEDIA ALTA.	26.9
K7+000 C	0,2-1,0	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA, HUMEDAD MEDIA.	19.5
K8+000 C	0,2-1,0	ARENA LIMOSA ARCILLOSA CON GRAVA, HUMEDAD MEDIA.	15.8

Fuente: El consultor

Para este tramo se tomo un CBR de diseño de 23% para un percentil de 80% ya que presenta un sector donde predominan los suelos arenosos y gravosos.

9.2 DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

Para efectos del diseño se utiliza el método de diseño AASTHO, para el cual se obtienen los espesores de cada capa componente de la estructura del pavimento y luego se hará un chequeo de esfuerzos y deformaciones para verificar el cálculo de dichos espesores.

El método de diseño AASTHO, está basado primordialmente en identificar o encontrar un número estructural denominado en el contexto como “SN” que pueda soportar el nivel de carga solicitado. Para determinar este número, el método proporciona la ecuación siguiente:

$$\log N = Z_r * S_o + 9,36 \log(SN + 1) - 0,20 + \left[\frac{\log \left[\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} \right] + 2,32 \log MR - 8,07$$

donde:

donde:

N = tránsito en ejes equivalentes a 8,2Ton

Z_r = desviación estandar normal

S_o = error normal

ΔPSI = dif entre el indice de serviciabilidad inicial y final

MR = modulo resiliente de la sub – rasante en $\frac{Lb}{pulg^2}$

SN = numero estructural indicativo del espesor total del pavimento

TRANSITO (N): para el cálculo del tránsito, el método considera los ejes equivalentes sencillos de 18000Lb o 8,2 tn, calculado dependiendo del porcentaje de distribución direccional (FD) y factor de distribución por carril (FC).

PARAMETRO DE CONFIABILIDAD “R”

El método trata de lograr un cierto grado de confianza en el cálculo entregado, para el espesor total de la estructura, y asegurar que las diversas alternativas de selección estructural que se obtengan, duraran como mínimo el periodo de diseño. En el algoritmo de cálculo este parámetro se liga con la desviación estándar Z_r y el error normal S_o asignado por efectos o errores en el cálculo del tránsito. El factor de confiabilidad del diseño tiene en cuenta las variaciones al azar, tanto en la predicción del tránsito como en la predicción del comportamiento y por lo tanto proporcionan un nivel de confianza (R) para que los tramos de pavimento

sobrevivan al periodo por el cual fueron diseñados. Con el nivel de confiabilidad que se le dé al diseño, se obtienen valores de variación en la predicción del comportamiento del pavimento S_o y los valores de desviación estándar Z_r .

SERVICIABILIDAD (PSI).

Definida como la capacidad del pavimento para brindar un uso confortable y seguro a los usuarios. Se expresa en términos de índice de serviciabilidad presente.

La serviciabilidad inicial que se estimó para este pavimento inmediatamente después de la construcción del mismo es de $PSI_0=4.0$ y se espera que al final del periodo de diseño y por las condiciones de uso se tenga una calificación del nivel de serviciabilidad de $PSI_f=2.0$.

Por lo tanto, se tiene que el cambio en la serviciabilidad es: $\Delta PSI=4.0-2.0=2.0$

EL MODULO RESILIENTE DE LA SUB-RASANTE

La subrasante es el suelo sobre la cual descansara toda la estructura del pavimento. Haciendo esta consideración, la subrasante desempeña un papel importante en el proceso matemático de diseño; en la década de los 50 se puso más énfasis en las propiedades fundamentales de la subrasante y se idearon ensayos para caracterizar mejor estos suelos. Ensayos usando cargas estáticas o de baja velocidad de deformaciones como el CBR, compresión simple, son remplazados por ensayos dinámicos y de repetición de cargas como el ensayo del modulo resiliente, que representa mucho mejor lo que sucede bajo un pavimento en lo concerniente a tensiones y deformaciones. El ensayo de modulo resiliente no es muy común en nuestro medio, debido a altos costos de operación del equipo

y la disposición del mismo, esto hace que realizar este ensayo directamente sobre la subrasante sea inconveniente y dificultoso, por esta razón se usan correlaciones entre el ensayo de CBR con el modulo resiliente.

9.2.1. TRANSITO.

Del capítulo 8 del presente informe se trata el transito y su proyección para los 10 años, donde se obtiene información acerca de las repeticiones en ejes equivalentes "N" de 8.2Ton. Para este caso.

$$N^{\circ} \text{ de repeticiones de ejes de } 8.2 \text{ Ton} = 6.9 * 10^4$$

9.2.2. SERVICIABILIDAD Δ PSI.

- Serviciabilidad inicial: (Po)

$$Po = 4.0$$

- Serviciabilidad final: (Pt)

$$Pt = 2.0$$

TABLA N°3. COEFICIENTES DE SERVICIABILIDAD PARA DIFERENTES VIAS

TIPO DE VIA	AASHTO
Autopista	2.5 – 3.0
Carretera	2.0 – 2.5
Zonas industriales	2.0 – 3.0
Urbano principal	1.5 – 2.0
Urbano secundario	1.5 – 2.0

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

$$\Delta PSI = 2.0$$

9.2.3. CONFIABILIDAD.

R= 85% Confiabilidad

Zr= 1.037 Desviación normal estándar

So= 0.44 Variaciones en la predicción del comportamiento del pavimento, (sin errores en la estimación del tránsito).

9.2.4. CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES TRAMO 1.

- Resistencia de la subrasante:

$$TRAMO\ 1\ CBR_{Diseño} = 23\%$$

$$MR_{STE} = 4326 * \ln(CBR) + 241, PSI$$

$$MR_{STE} = 13805\ PSI = 966.36\ Kg/cm^2$$

- Coeficiente de capa a_1 del asfalto $a_1 = 0.44$ (tomado del manual del Invias)
- Coeficiente de capa a_2 de la base = 0.13.
- Coeficiente de capa a_3 de la subbase = 0.11.

9.2.5. CONDICIONES DE DRENAJE.

El parámetro de diseño (mi) está asociado a las características del material drenante que depende de la calidad de drenaje y el % de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanas a la saturación.

Tiempo de Evacuación	Calidad de Drenaje
2 Horas	Excelente
1 Día	Bueno
1 Semana	Aceptable
1 Mes	Pobre
No Drena	Muy pobre

Calidad del Drenaje	% De tiempo en que la estructura está expuesta a niveles de Humedad cercanos a la Saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.4 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 0.20	1.2
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.0
Aceptable	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.8
Pobre	1.15 - 1.05	1.08 - 0.80	0.80 - 0.60	0.6
Muy Pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.4

Coefficientes de drenaje para diseño:

CAPA	m
Base granular	m ₂ = 1
Sub-base	m ₃ = 1

9.2.6. DETERMINACIÓN DE ESPESORES

A continuación se presenta la tabla de espesores mínimos recomendados por la AASTHO. La estructura definitiva debe tener espesor de capas superiores o iguales a estas, dependiendo del tránsito. En este proyecto se tiene un tránsito equivalente de 6.9×10^4 .

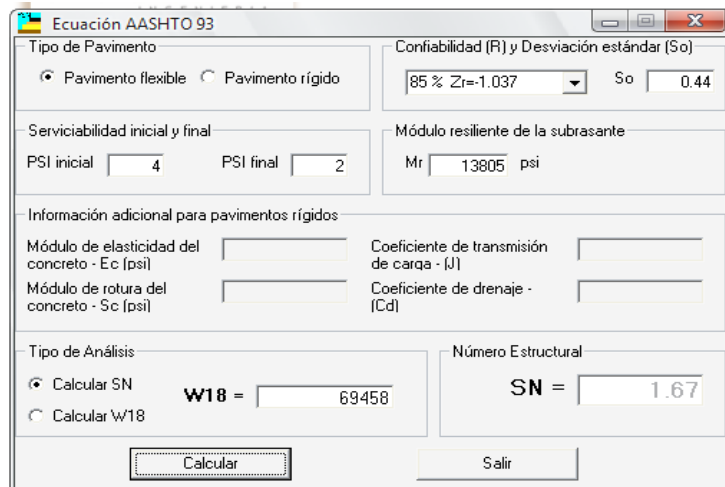
ESPEORES MÍNIMOS(pulg)		
N*10 ⁶	Concreto Asfáltico. (pulg)	Base Granular (pulg)
<0.05	1 o TSD	4.0
0.05-0.15	2.0	4.0
0.15-0.5	2.5	4.0
0.5-2.0	3.0	6.0
2.0-7.0	3.5	6.0
>7.0	4.0	6.0

9.3 DIMENSIONAMIENTO DE PAVIMENTOS

9.3.1 DIMENSIONAMIENTO TRAMO K4+000 A K8+000

El numero estructural “SN” de diseño AASTHO, encontrado para las condiciones de soporte de esta subrasante con CBR de diseño de 23% y transito de 6.9×10^4 , es de 2.20 (SN=2.20) obtenido de la ecuación de AASTHO. Con este cálculo y las demás consideraciones, se estimo que la estructura de diseño por el método es la siguiente:

Figura N. 1 Resultados método de cálculo AASTHO



The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. The 'Tipo de Pavimento' is set to 'Pavimento flexible'. The 'Confianza (R) y Desviación estándar (So)' is set to '85 % Zi=-1.037' and 'So = 0.44'. The 'Serviciabilidad inicial y final' are set to 'PSI inicial = 4' and 'PSI final = 2'. The 'Módulo resiliente de la subrasante' is set to 'Mr = 13805 psi'. The 'Tipo de Análisis' is set to 'Calcular SN', resulting in 'W18 = 69458' and 'Número Estructural SN = 1.67'. Buttons for 'Calcular' and 'Salir' are visible at the bottom.

Fuente: El consultor

Con el número estructural calculado y los coeficientes de capa se procede a dimensionar la estructura de pavimento.

DISEÑO PARA CBR DE 23%										
ESTRUCTURA DISEÑADA	CAPAS	MDC-2		BASE GRANULAR			SUBBASE GRANULAR			Numero estructural (SN)
		Epesor (cm)	Coeficiente de capa	Epesor (cm)	Coeficiente de capa	Características de Drenaje	Epesor (cm)	Coeficiente de capa	Características de Drenaje	
		OPCION 1	5	0.44	18	0.13	1	0	0.11	
OPCION 2	5.5	0.44	15	0.13	1	0	0.11	1	1.72	
OPCION 3	6	0.44	12	0.13	1	0	0.11	1	1.65	

FIGURA N°3. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PROPUESTA K4+000 – K8+000

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO TIPO 1



FUENTE: EL CONSULTOR

- **Calculo de esfuerzos y deformaciones**

El cálculo de estos parámetros se realizó con el programa DEPAV, con el fin de verificar el comportamiento de la estructura propuesta por el método de la AASTHO.

Los siguientes son los datos de entrada para el diseño Racional:

- Radios de carga: 13.06 cm (Ejes simple)
- Presión de contacto: 5.6 Kg/cm²
- Distancia entre llantas: 39.18cm
- Transito esperado en termino de ejes equivalentes: $6.9 \cdot 10^4$
- Espesores de capas MDC-2=5cm, SBG - 1 = 18cm.
- Modulo elástico de cada capa MDC-2 = 1860 Mpa, SBG-1 = 317.7.
- Relación de poisson de cada capa MDC-2 = 0.35, SBG = 0.4
- Se consideran ligadas las interfaces entre capas, y análisis linealmente elástico.
- Vehículo de diseño: C3-C4, (debido a que es el vehículo más pesado que circulo por el sector)

Para el cálculo de los módulos de las capas granulares constituyentes de la estructura se hará con el criterio de Barcker para lo cual:

$$E_{capasup} = E_{capainf} * (1 + 7.18 \log(e_{capa})) - 1.56 * \log(E_{capainf}) * \log(e_{capa})$$

Donde:

$E_{capasup}$ = modulo de la capa a calcular, subbase o base.

$E_{capainf}$ = modulo de la capa inferior, subrasante o subabase según el caso.

e_{capa} = espesor de la capa en consideración, subbase o base.

Partiendo de la subrasante, para la cual se estimo el modulo $E_{subrasante} = 966.36 \text{ kg/cm}^2$,

Aplicando la ecuación se obtuvo un E de la BG-1 = 9670.18 kg/cm^2

Parámetros admisibles de diseño

Criterios generales de diseño de pavimentos flexibles:

Análisis en la carpeta asfáltica, (Control de fatiga o agrietamiento):

Según criterio SHELL:

- Deformación unitaria de tracción en la base de la carpeta

$$\epsilon_{t1} = (0.856 * Vb + 1,08) * E^{-0.36} * (N/K)^{-0.2}$$

Teniendo en cuenta que:

N (No de repeticiones de ejes de 8.2 ton) = 6.9×10^4

E (Capa de cemento asfáltico) = 25000 kg/cm^2

Vb (Volumen de asfalto) = 11.45%

K (Factor de calage) : 10

Reemplazando en la ecuación se obtuvo el valor de $\epsilon_{t1} = 0.00524$
cm

Análisis en la subrasante, (Control de ahuellamiento):

Según criterio SHELL:

- Deformación vertical de compresión sobre la superficie de la subrasante:

$$\epsilon_z = 1.8 * 10^{-2} * N^{-0.25} \rightarrow NC = 95\%$$

Conociendo que:

N (No de repeticiones de ejes de 8.2 ton) = 6.9×10^4

Remplazando en la ecuación se obtuvo

Según criterio de Dormon y Kerhoven:

- Esfuerzo vertical de compresión:

$$epsv = \frac{0.007 * E3}{1 + 0.7 * \text{Log } N}$$

Donde:

E3 (Modulo de la subrasante) = 966.36 kg/cm²

N (No de repeticiones de ejes de 8.2 ton) = 6.9x10⁴

Remplazando en la ecuación se obtuvo

$$epsv = 1.54 \text{ Kg/cm}^2$$

Los esfuerzos calculados con el programa DEPAV, se resumen en la siguiente tabla:

WinDepav por Luis Ricardo Vásquez Varela

Archivo DEPAV Acerca de

Identificación del tramo
ARBOLEDAS - SALAZAR

Número de capas
2 3 4 5 6

Capa	Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	Relación de Poisson	Espesor (cm)	Liga	Daño	
					F	R
1	25000	0.35	5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	9670.18	0.4	18	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	966.36	0.45		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>

Cargas

Radio del área de contacto (cm)
13.06

Presión de contacto (kg/cm²)
5.6

Distancia entre ruedas (cm)
39.18

Modelo Hogg - Colombia

Número de repeticiones de ejes
69458

Funciones de transferencia

Fatiga (F)

$$N_F = K1 \left(\frac{10^6}{\sigma} \right)^{K2}$$
 K1 2.83E-06
 K2 3.20596

Ahuellamiento (R)

$$N_R = K3 \left(\frac{1}{\sigma_v} \right)^{K4}$$
 K3 5.50E15
 K4 3.929

Valores MnRoad

IMPORTANTE: Para el correcto funcionamiento de este programa es necesario que el sistema esté configurado para reconocer el punto (.) como símbolo decimal y la coma (,) como separador de listas

Salir

WinDepav - Resultados

Archivo

Título del problema ARBOLEDAS - SALAZAR Número de capas 3 NESE 69,458

Eje de carga		Posición del valor máximo para una carga			Funciones de transferencia			
Radio de las ruedas (cm)	13.06	A Bajo una rueda simple			Agietaamiento		Ahuellamiento	
Distancia entre los centros de las ruedas (cm)	39.18	B Bajo una de las ruedas de la carga			K1 2.830E-06	K3 5.500E+15		
Presión de contacto de las ruedas (kg/cm ²)	5.60	C Al centro de la carga			K2 3.206	K4 3.929		

Estructura, respuestas estructurales y comportamiento

No.	E (kg/cm ²)	ν	Z (cm)	st (kg/cm ²)	sz (kg/cm ²)	et (10 ⁻⁶)	Tensión: NF / FDF	ez (10 ⁻⁶)	Compresión: NR / FDR
1	25,000.38	0.35	0.00	12.64 B	5.60 A	271 B		-126 C	3.076E+007 0.00
	Ligada		5.00	2.21 C	5.01 B	-48 A	2.025E+008 0.00	-82 C	
2	9,669.97	0.40	5.00	2.82 B	5.01 B	-48 A		-93 C	1.023E+008 0.00
	Ligada		23.00	-4.39 B	0.82 B	-350 C	3.400E+005 0.20	414 B	
3	966.69	0.45	23.00	0.14 C	0.82 B	-350 C		684 B	3.994E+004 1.74

Deflexión en el centro de la rueda doble D0 (1/100 mm) 55.28

Radio de curvatura (m) 187.91

Radio x Deflexión (m x mm/100) 10,388.20

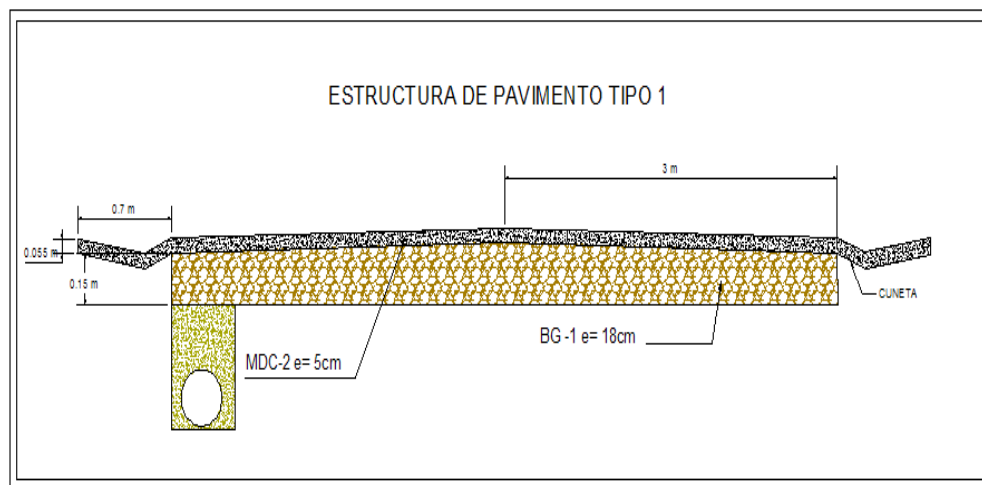
Exportar resultados

Aceptar

CALCULADOS DEPAV	
Et=	2.830E-06 cm
Ez=	684 X 10 ⁻⁶
epsv=	0.82 kg/cm ²

Como puede verse, los esfuerzos que se tienen con la estructura propuesta son menores que los admisibles, por consiguiente la estructura propuesta por el método de la AASTHO, cumple con los esfuerzos que le van a ser aplicados durante el periodo de diseño, por lo tanto se adopta esta estructura para el tramo.

CAPITULO 10. SECCION TRANSVERSAL



CAPITULO 11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se analizaron y se dimensionaron tres diferentes alternativas de solución en pavimento flexible variando los espesores de capa, para cada tramo homogéneo determinado.
- El diseño de un pavimento, consiste en establecer una estructura para una duración determinada bajo las solicitaciones del tráfico y el medio en donde se llevara a cabo la construcción de la vía y además debe ser económica y rentable.
- El sector presenta en su subrasante materiales muy susceptibles a los cambios de humedad, expandiendo si se aumenta su humedad o por el contrario si disminuye su contenido de humedad. Por lo tanto si se quiere dar a la vía un periodo de vía útil es necesario, proteger la estructura de pavimento diseñada de los cambios de humedad que se pueda ver expuesta la subrasante, por tal motivo es necesario reemplazar una capa de 50 cm de material de subrasante por material granular que funcione de filtro y proteja contra los cambios de humedad.
- La disponibilidad de excelentes materiales para conformar la estructura, la evaluación del tránsito y los espectros de carga creados alrededor de estos, nos lleva a concluir el siguiente dimensionamiento para el pavimento flexible, sujetas también al diseño geométrico planta – perfil proyectado a lo largo de los 4.0 kilómetros de vía.
- Se realizó el diseño de pavimento flexible, utilizando la metodología AASHTO-93.

- La estructura de pavimento flexible para un periodo de diseño de 10 años debe construirse con los siguientes espesores y capas.
- **Tramo K4+000 – K8+000**

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO TIPO 1



- Los materiales empleados en la construcción de las capas de los pavimentos deben cumplir las especificaciones generales de construcción de carreteras versión 2007.
- Deberán ser construidos filtros longitudinales son recomendados ubicarlos debajo de la estructura del pavimento y no debajo de la cuneta (Ver detalle anexo secciones transversales), este filtro, que puede ser de tipo Francés, y será de dimensión mínimo de 1.20m en profundidad y de ancho mínimo 0.60m en las zonas donde el borde interno de la vía se encuentra contra el talud. Esto para garantizar que todas las suposiciones de drenaje que se hicieron en la etapa de diseño se cumplan, además como los estudios se hicieron en un periodo de verano no se detecto nivel freático, es posible que el agua subterránea y subsuperficial en invierno ascienda y haga que se afecte la capacidad de soporte de la subrasante, sino se tiene en cuenta esta recomendación para evacuar el agua, la estructura puede fallar prematuramente.

-
- Los sitios que presentan problemas con la estabilidad de la banca de la vía deberán estabilizarse antes de pavimentarse la vía.